ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 16827— 2016

Контроль неразрушающий

КОНТРОЛЬ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ

Определение характеристик несплошностей

**(ISO 16827:2012
Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Characterization and sizing of discontinuities, IDT)**

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Управлением метрологии Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, Техническим комитетом по стандартизации ТК 371 «Неразрушающий контроль»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 июля 2016 г. № 858-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 16827:2012 «Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Определение характеристик и размера несплошностей» (ISO 16827:2012 «Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Characterization and sizing of discontinuities», IDT).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5 (пункт 3.5), т. к. представленные методы позволяют дать только оценку размера несплошностей.

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного 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

© Стандартинформ, 2016

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 Принципы определения характеристик несплошностей . . . 1
3.1 Общие положения . . . 1
3.2 Требования к состоянию поверхности . . . 2
4 Методы отраженных импульсов . . . 2
4.1 Общие положения . . . 2
4.2 Положение несплошности . . . 2
4.3 Ориентация несплошности . . . 2
4.4 Оценка множественных индикаций . . . 3
4.5 Форма несплошности . . . 3
4.6 Максимальная амплитуда индикации . . . 4
4.7 Методы оценки размера несплошности . . . 4
5 Метод прохождения сигнала . . . 6
5.1 Общие положения . . . 6
5.2 Положение несплошности . . . 6
5.3 Оценка множественных несплошностей . . . 6
5.4 Уменьшение амплитуды сигнала . . . 7
5.5 Оценка размера несплошности . . . 7
Приложение А (справочное) Анализ множественных индикаций . . . 10
Приложение В (справочное) Методы классификации формы несплошности . . . 12
Приложение С (справочное) Метод оценки размера по максимальной амплитуде эхо-сигнала . . . 19
Приложение D (справочное) Методы оценки размера с перемещением преобразователя . . . 20
Приложение Е (справочное) Итерационный метод оценки размера несплошности . . . 27
Приложение F (справочное) Математические алгоритмы для оценки размера несплошности . . . 31
Приложение G (справочное) Примеры специальных методов оценки размера . . . 34
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации . . . 36

Предисловие к стандарту ИСО 16827

Международная организация по стандартизации (ИСО) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (комитетов — членов ИСО). Разработка международных стандартов обычно осуществляется Техническими комитетами ИСО. Каждый комитет-член, заинтересованный в деятельности, для которой был создан Технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете, международные правительственные и неправительственные организации, имеющие связи с ИСО, также принимают участие в работе. Что касается стандартизации в области электротехники, то ИСО работает в тесном контакте с Международной электротехнической комиссией (МЭК).

Проекты межгосударственных стандартов разрабатываются в соответствии с правилами Директив ИСО/МЭК, Часть 2.

Основная задача Технических комитетов заключается в подготовке международных стандартов. Проекты международных стандартов, принятые Техническими комитетами, рассылаются комитетам-членам на голосование. Их опубликование в качестве международных стандартов требует одобрения не менее 75 % комитетов-членов, принимающих участие в голосовании.

Следует иметь в виду, что некоторые элементы настоящего стандарта могут быть объектом патентных прав. ИСО не несет ответственности за идентификацию какого-либо одного или всех патентных прав.

ИСО 16827 был подготовлен подкомитетом ИСО/ТК 135 «Контроль неразрушающий», подкомитетом ПК 3 «Ультразвуковой контроль».

Введение к стандарту ИСО 16827

Настоящий стандарт основывается на стандарте ЕН 583-5:2000+А1:2003 «Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Часть 5. Характеристика и определение размеров неоднородностей».

Настоящий стандарт связан со следующими стандартами:

ИСО 16810 Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Общие принципы (ISO 16810 Non-destructive testing — Ultrasonic testing — General principles)

ИСО 16811 Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Регулировка чувствительности и диапазона развертки (ISO 16811 Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Sensitivity and range setting — Transmission technique)

ИСО 16823 Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Техника прохождения сигнала (ISO 16823 Non-destructive testing — Ultrasonic test)

ИСО 16828 Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Метод времяпролетной дифракции для обнаружения и определения размера несплошностей (ISO 16828 Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Time-of-flight diffraction technique as a method for detection and sizing of discontinuities)

ИСО 23279 Контроль неразрушающий сварных швов. Ультразвуковой контроль. Определение характеристик индикаций в сварных швах (ISO 23279 Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Characterization of indications in welds)

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Контроль неразрушающий

КОНТРОЛЬ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ

Определение характеристик несплошностей

Non-destructive testing. Ultrasonic testing. Characterization of discontinuities

Дата введения — 2016—11—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие принципы и методы для определения параметров ранее обнаруженных несплошностей, чтобы обеспечить их оценку по применяемым критериям приемки.

Настоящий стандарт применим к несплошностям в материалах, указанных в ИСО 16810.

2 Нормативные ссылки

Нижеследующие документы, на которые приводятся ссылки, являются обязательными для применения настоящего стандарта. В отношении датированных ссылок действительно только указанное издание. В отношении недатированных ссылок действительно последнее издание публикации (включая любые изменения), на которую дается ссылка:

ИСО 16810:2012 Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Общие принципы (ISO 16810 Non-destructive testing — Ultrasonic testing — General principles)

ИСО 16811 Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Регулировка чувствительности и диапазона развертки (ISO 16811 Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Sensitivity and range setting — Transmission technique)

ИСО 16823 Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Техника прохождения сигнала (ISO 16823 Non-destructive testing — Ultrasonic test)

ИСО 16828 Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Метод времяпролетной дифракции для обнаружения и определения размера несплошностей (ISO 16828 Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Time-of-flight diffraction technique as a method for detection and sizing of discontinuities)

ИСО 23279 Контроль неразрушающий сварных швов. Ультразвуковой контроль. Определение характеристик индикаций в сварных швах (ISO 23279 Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Characterization of indications in welds)

3 Принципы определения характеристик несплошностей

3.1 Общие положения

Определение характеристик несплошностей включает в себя определение тех характеристик, которые необходимы для их оценки по известным критериям приемки.

Определение характеристик несплошностей может включать в себя:

а) определение основных ультразвуковых параметров (амплитуда эхо-сигнала, время прохождения);

Издание официальное

b) оценку характеристик основной формы и ориентации несплошности;

c) оценку размера, которая может выполняться в виде:

- оценки одного или нескольких условных размеров (или площади/объема) в пределах ограничений методов или

- оценки некоторых согласованных параметров, например, амплитуды эхо-сигнала, которая считается представляющей физический размер;

d) оценку положения, например близости к поверхности или к другим несплошностям;

e) определения любых других параметров или характеристик, которые могут оказаться необходимыми для полной оценки;

f) оценку вероятного характера несплошности, например, трещина или включение, если такая возможность предоставляется благодаря достаточному знанию испытуемого объекта и истории его изготовления.

Если контроль испытуемого объекта в соответствии с принципами ИСО 16810 дает достаточные данные о несплошности для ее оценки по критериям приемки, в дальнейшем определении характеристик нет необходимости.

Методики, используемые для определения характеристик, следует определять в сочетании с применяемыми критериями приемки.

3.2 Требования к состоянию поверхности

Чистота обработки и профиль поверхности должны быть такими, чтобы можно было достаточно верно оценить несплошность. В большинстве случаев более гладкая и плоская поверхность дает более правильные результаты.

Для большинства практических целей рекомендуется чистота обработки поверхности Ra = = 6,3 мкм — для поверхностей после механической обработки и 12,5 мкм — для поверхностей после дробеструйной обработки.

Вышеуказанные требования к поверхности обычно ограничивают теми участками, на которых определяют характеристики несплошности.

Метод подготовки поверхности не должен создавать поверхность, которая приводит к высокому уровню поверхностного шума.

4 Методы отраженных импульсов

4.1 Общие положения

Основные ультразвуковые характеристики/параметры несплошности, которые обычно используют для оценки методами отраженных импульсов, описаны в 4.2—4.7.

Эти характеристики/параметры должны быть определены в соответствующем стандарте или любом соответствующем договорном документе и должны удовлетворять требованиям ИСО 16810 (подраздел 10.1).

4.2 Положение несплошности

Положение несплошности определяется как ее положение в испытуемом объекте относительно согласованной базовой системы координат.

Положение несплошности необходимо определить относительно одной или нескольких опорных точек и с учетом отмеченных на преобразователе точек и угла наклона пучка преобразователя, необходимо также измерить положение преобразователя и длину пути пучка, при которых наблюдается максимальная амплитуда отраженного импульса.

В зависимости от геометрии испытуемого объекта и типа несплошности может понадобиться подтверждение положения несплошности из другого направления или с другим углом преобразователя, чтобы отраженный импульс не был вызван, например, трансформацией волн на поверхности испытуемого объекта.

4.3 Ориентация несплошности

Ориентация несплошности определяется как направление или плоскость, по которым расположена главная ось (оси) несплошности относительно опорной точки испытуемого объекта.

Ориентацию можно определить путем геометрической реконструкции, аналогичной той, которая описана для определения положения, разница состоит в том, что обычно требуется больше углов наклона пучка и/или направлений сканирования, чем для простого определения положения.

Ориентацию можно также определить из наблюдения направления сканирования, в котором получают максимальную амплитуду отраженного импульса.

В нескольких областях применения точное определение ориентации несплошности не требуется, нужно лишь определение проекции несплошности на одну или несколько заранее установленных плоскостей и/или сечений в испытуемом объекте.

4.4 Оценка множественных индикаций

Метод распознавания одиночных и множественных несплошностей может быть основан на качественной оценке или количественных критериях.

Качественное определение состоит из оценки посредством наблюдения изменений ультразвуковых индикаций, соответствуют ли такие индикации одной или нескольким раздельным несплошностям. На рисунке 1 приведены типичные примеры сигналов из группы несплошностей в поковке или отливке.

Если критерии приемки выражены в максимально допустимых размерах, необходимо выполнить предварительные количественные измерения, чтобы определить, следует ли раздельные несплошности оценивать отдельно или вместе в соответствии с заранее установленными правилами, касающимися оценки группы.

Такие правила могут быть основаны на концентрации отдельных несплошностей в группе, выраженной в сумме значений их условных размеров (длины, площади или объема относительно общей длины, площади или объема группы). В качестве альтернативы эти правила могут определять минимальное условное расстояние между отдельными несплошностями, часто в виде отношения размеров соседних несплошностей.

Если требуется более полное определение характеристик группы индикаций, можно попытаться с помощью методов, описанных в приложении А, определить, возникает ли отраженный импульс из ряда близко расположенных, но раздельных несплошностей или из одной непрерывной несплошности с рядом отдельных отражающих граней.

4.5 Форма несплошности

4.5.1 Простая классификация

Существует ограниченное число основных форм отражателя, которые можно идентифицировать с помощью ультразвукового контроля. Во многих случаях оценка по применяемым критериям приемки требует только ограниченной классификации, описанной в В.1. Согласно этому несплошность классифицируется как:

1) точечная, т. е. без существенного распространения в любом направлении;
2) удлиненная, т. е. с существенным распространением только в одном направлении;
3) сложная, т. е. с существенным распространением более чем в одном направлении.

При необходимости эту классификацию можно разделить на подгруппы:

a) планарная, т. е. с существенным распространением только в двух направлениях, и
b) объемная, т. е. с существенным распространением в трех направлениях.

В зависимости от требований приемочных норм:

a) к каждой из вышеуказанных классификаций могут быть применены отдельные критерии приемки или

b) несплошность, независимо от ее конфигурации — точечная, удлиненная или сложная, — проецируется на одно или более заранее установленных сечений, и каждая проекция консервативно рассматривается как трещиноподобная планарная несплошность.

Простая классификация обычно ограничивается использованием тех преобразователей и методов, которые указаны в процедуре контроля. Дополнительные преобразователи или методы используются только по согласованию.

4.5.2 Детализированная классификация формы

Для того чтобы правильно идентифицировать типы несплошностей, определенные в критериях приемки, или провести точную оценку пригодности для определенной цели, может понадобиться выполнение более детализированной оценки формы несплошности.

В В.2 приведено руководство по методам, которые могут быть использованы для более детализированной классификации. Для этого могут потребоваться дополнительные преобразователи и направления сканирования, помимо тех, что определены в процедуре контроля для обнаружения несплошностей, также может понадобиться использование специальных методов, описанных в приложениях E, F и G.

Классификация формы несплошности будет ограничиваться определением тех форм несплошностей, которые необходимы для точной оценки несплошности по критериям приемки или в соответствии с другими требованиями. Достоверность такой классификации следует доказать для конкретной области применения (например, материалы и конфигурация объекта контроля, процедура контроля, тип аппаратуры и преобразователей).

4.6 Максимальная амплитуда индикации

Максимальная амплитуда импульса, отраженного от несплошности, связана с ее размером, формой и ориентацией. Ее измеряют путем сравнения с данным контрольным уровнем в соответствии с методами, описанными в ИСО 16811.

В зависимости от области применения и критериев приемки максимальная амплитуда отраженного импульса может:

a) непосредственно сравниваться с контрольным уровнем, который является приемочной нормой;

b) использоваться для определения эквивалентного размера несплошности путем сравнения с импульсом, отраженным от эталонного отражателя в том же интервале акустического пути в исследуемом материале, или в контрольном образце с такими же акустическими свойствами, как описано в 4.7.2;

c) использоваться в методах определения условного размера с перемещением преобразователя, основанных на определенном падении амплитуды отраженного импульса (например, 6 дБ) ниже максимума, как описано в 4.7.3.

4.7 Методы оценки размера несплошности

4.7.1 Общие положения

Оценка размера несплошности заключается в определении одного или более размеров/площадей проекции несплошности на заранее установленные направления и/или сечения.

Краткое описание этих методов приведено в приложении F, а более подробная информация изложена в ИСО 16811.

4.7.2 Методы максимальной амплитуды отраженного импульса

Эти методы основаны на сравнении максимальной амплитуды импульса, отраженного от несплошности, с амплитудой импульса, отраженного от эталонного отражателя, в том же интервале акустического пути.

Они значимы только в том случае, когда:

a) форма и ориентация несплошности благоприятны для отражения; следовательно, необходимо выполнить измерения амплитуды отраженного импульса с разных направлений или под разными углами, за исключением тех случаев, когда форма и ориентация уже известны и

b) размеры несплошности, перпендикулярно к оси пучка, менее ширины пучка в одном или обоих направлениях;

c) основная форма и ориентация эталонного отражателя подобны форме и ориентации оцениваемой несплошности.

Эталонным отражателем может быть дискообразный отражатель, например плоскодонное отверстие, или удлиненный отражатель, например боковое цилиндрическое отверстие или пропил.

Несплошности, характеристики которых оценивают, можно классифицировать следующим образом:

1) несплошности, площадь отражения которых менее ширины пучка во всех направлениях;

2) несплошности, площадь отражения которых имеет узкую, удлиненную форму, т. е. длина ее превышает ширину пучка, а поперечный размер меньше ширины пучка.

Для несплошностей, соответствующих перечислению 1) , площадь несплошности, проецируемая на сечение, перпендикулярное к оси ультразвукового пучка, принимается эквивалентной площади дискообразного отражателя, перпендикулярного к оси пучка и дающего максимальный отраженный импульс той же амплитуды в том же интервале акустического пути.

Для несплошностей, соответствующих перечислению 2), эталонные отражатели обычно имеют удлиненную форму, располагаются перпендикулярно к оси ультразвукового пучка и характеризуются определенным поперечным профилем. Такими отражателями могут быть надрезы с прямоугольным, U- или V-образным профилем или цилиндрические отверстия и т. п.

4.7.3 Методы оценки размера с перемещением преобразователя

При использовании наклонного преобразователя обычно определяются следующие условные размеры:

- размер l, параллельный боковому направлению сканирования, определяемый боковым перемещением преобразователя (см. рисунок 2);

- размер h, перпендикулярный к поперечному направлению сканирования, определяемый поперечным перемещением преобразователя (см. рисунок 2).

При использовании прямого преобразователя обычно определяются размеры l_1 и l_2 в направлениях, параллельных поверхности сканирования, путем перемещения преобразователя в двух взаимно перпендикулярных направлениях (см. рисунок 3).

Эти методы подразделяют на три категории:

1) методы фиксированного уровня амплитуды, в которых края несплошности считаются соответствующими нанесенным на график положениям, в которых амплитуда отраженного импульса падает ниже установленного уровня оценки;

2) методы, в которых края несплошности считаются соответствующими нанесенным на график положениям, в которых максимальная амплитуда отраженного импульса в любом положении на несплошности падает на установленное число децибел. Края несплошности могут быть нанесены на график по оси пучка или по заранее установленному краю пучка;

3) методы, в которых стремятся определить положения отдельных импульсов, отраженных от вершин несплошности или от отражающих граней рядом с краями.

Основные методы определения условного размера с перемещением преобразователя приведены в приложении D.

4.7.4 Выбор методов оценки характеристик

Выбор метода (методов) оценки характеристик зависит от конкретной области применения и типа изделия, а также от размера и характера несплошности.

Применяют следующие правила:

a) методы максимальной амплитуды отраженного импульса (см. 4.7.2) могут быть применены только в том случае, когда измеряемый размер менее ширины пучка 6 дБ преобразователя;

b) методы фиксированного уровня амплитуды [см. 4.7.3, перечисление 1)] могут быть применены к несплошностям любых размеров, но поскольку измеренный условный размер является произвольной величиной, зависящей от выбранного определенного уровня амплитуды, то эти методы следует применять только в том случае, когда этого требуют приемочные нормы;

c) методы, основанные на перемещении преобразователя при определенном падении дБ ниже максимальной амплитуды импульса, отраженного от определенной несплошности [см. 4.7.3, перечисление 2)], могут быть применены только в том случае, когда измеренный размер превышает ширину пучка при таком же падении дБ. Если это условие не выполняется, то размер несплошности следует принять равным применяемой ширине пучка;

d) методы, основанные на определении положения отдельных краев несплошности [см. 4.7.3, перечисление 3)], могут быть применены только в том случае, когда ультразвуковая индикация из несплошности обнаруживает два или более разрешимых максимумов отраженного импульса;

e) если определяемый размер оценен более чем одним методом по 4.7.3, то следует использовать значение, измеренное тем методом, который может продемонстрировать самые высокие надежность и точность.

В качестве альтернативы можно принять самое большое измеренное значение.

4.7.5 Методы оценки размеров с помощью фокусирующих ультразвуковых преобразователей

Если для определения размеров используют фокусирующие преобразователи, то могут быть использованы методы, описанные в 4.7.2 и 4.7.3, при условии, что несплошность попадает в фокальную зону пучка. В общем, правила, приведенные в 4.7.4, применимы также к фокусирующим преобразователям.

Если требуется более высокая точность определения размеров, может быть использован альтернативный метод, основанный на построении ряда изображений несплошности с разверткой типа С.

Изображения несплошности наносятся на график посредством итерационного процесса с шагами падения (увеличения чувствительности) на 6 дБ начиная с исходного изображения, соответствующего падению на 6 дБ от максимального импульса, отраженного от несплошности, до шага, где увеличение размера несплошности уже не превышает полуширину пучка 6 дБ преобразователя.

В принципе этот итерационный метод может быть использован с фокусированными и нефокусированными ультразвуковыми пучками, но в том случае, когда требуется высокая точность, он оптимально подходит для использования с фокусированными пучками. Этот метод подробно приведен в приложении E.

4.7.6 Использование математических алгоритмов для оценки размеров

Основная цель методов оценки размеров, представленных в 4.7.2 и 4.7.3, заключается в сравнении оценки размера несплошности с приемочными уровнями, выраженными через максимально допустимые размеры (или площади/объемы). Если для оценки действительного размера несплошности требуется более высокая точность, но имеются только данные, полученные с помощью методов, описанных в 4.7.2 и 4.7.3, то могут быть использованы математические алгоритмы.

В приложении F подробно описаны алгоритмы, которые могут быть использованы для оценки действительных размеров несплошностей, которые более или менее диаметра ультразвукового пучка.

4.7.7 Специальные методы оценки размеров

Специальные методы оценки размеров дополняют методы, изложенные в 4.7.2—4.7.6, и могут быть использованы в определенных областях применения, где требуются более высокие уровни надежности и точности.

При необходимости надежность и точность специального метода, применяемого для выполнения определенных критериев приемки, следует продемонстрировать на тех же конфигурации и типе материала, с использованием той же процедуры контроля и типа аппаратуры и преобразователей.

Приведенный ниже список специальных методов не является исчерпывающим из-за большого числа имеющихся и постоянной разработки новых методов. Описаны наиболее распространенные применяемые методы, использование которых в достаточной мере проверено на практике.

a) Дельта-методы

Эти методы могут быть использованы для подтверждения планарного характера несплошности (если это так) и для оценки размера в поперечном направлении (размер *h* на рисунке 2) планарной несплошности. Дельта-методы основаны на обнаружении и определении положения отраженных импульсов, дифрагированных краями несплошности.

b) Методы трансформации волн

В соответствующих случаях эти методы могут быть использованы для обнаружения и определения характеристик планарных несплошностей. В этих методах используется трансформация волн для генерирования дополнительного ультразвукового пучка под другим углом отражения и с другой скоростью, когда плоскость несплошности ориентирована под соответствующим углом к падающему пучку. В определенных случаях эти методы также могут быть использованы для оценки размера, но они требуют применения специальных контрольных образцов, представляющих испытуемый объект и содержащих планарные отражатели различных размеров.

c) Другие специальные методы

Примеры других ультразвуковых методов оценки размера объемных и планарных несплошностей:

- акустическая голография;
- акустическая томография;
- методы, в которых используются пучки с переменным углом;
- методы синтезированной фокусированной апертуры (SAFT); и
- реконструкция секториальных изображений с разверткой типа B.

В G.2 описаны принцип и основные характеристики SAFT.

5 Метод прохождения сигнала

5.1 Общие положения

Общий принцип и требования к методу прохождения сигнала приведены в ИСО 16823.

В следующих подразделах приведены некоторые ультразвуковые параметры и характеристики проходящих сигналов, которые могут быть использованы, отдельно или в комбинации, для оценки несплошности этим методом.

5.2 Положение несплошности

При использовании прямых преобразователей положение несплошности определяется как положение на поверхности испытуемого объекта в двумерной системе координат, в котором наблюдается уменьшение максимальной амплитуды проходящего сигнала.

Если практически осуществимо направить ультразвуковые пучки через исследуемую область в двух различных направлениях, например, путем использования пары наклонных преобразователей, как показано на рисунке 4, то можно определить трехмерное положение несплошности.

5.3 Оценка множественных несплошностей

Вначале необходимо качественное определение несплошности (непрерывная или прерывистая) путем наблюдения изменений амплитуды сигнала во время прохождения преобразователя над несплошностью.

Если амплитуда сигнала остается сравнительно постоянной, то несплошность можно классифицировать как непрерывную и оценивать как таковую по критериям приемки.

В противном случае, если амплитуда сигнала обнаруживает заметные максимумы и минимумы, несплошность можно классифицировать как прерывистую. В этом случае необходимо количественно определить, достаточно ли высокая концентрация отдельных несплошностей в поврежденной области, чтобы применить ограничения размера/площади, наложенные критериями приемки.

Концентрация несплошностей в поврежденной области может быть выражена, например, через отношение между:

a) размерами (или площадями) отдельных несплошностей и расстояниями между ними;

b) общей длиной несплошностей и данной общей длиной и

c) общей площадью отдельных несплошностей и данной общей площадью.

5.4 Уменьшение амплитуды сигнала

Этот параметр учитывают, когда амплитуда сигнала падает ниже определенного уровня оценки.

Если сигнал полностью исчезает, необходимо определить пределы зоны на поверхности сканирования, в которой это происходит.

В случае только частичной потери сигнала необходимо определить положение на поверхности сканирования, соответствующее уменьшению максимальной амплитуды, вместе со значением уменьшения дБ относительно сигнала, полученного в зоне без несплошностей.

Если площадь поверхности сканирования, на которой происходит уменьшение амплитуды сигнала, менее площади поперечного сечения ультразвукового пучка, то размер несплошности перпендикулярно к пучку можно оценить путем сопоставления уменьшения амплитуды с уменьшением, обусловленным известным эталонным отражателем, например плоскодонным отверстием, в типичном образце материала без несплошностей [см. 5.5, перечисление a)].

Если сравнительно постоянное частичное уменьшение амплитуды сигнала наблюдается в зоне, существенно превышающей площадь ультразвукового пучка, то возможно, что несплошность может принять форму, например, полосы многочисленных небольших включений, участка аномальной зернистой структуры, слоя полупроницаемого для ультразвука материала или большой несплошности под большим сжимающим напряжением.

5.5 Оценка размера несплошности

Оценка размера несплошности заключается в определении одного или более размеров (или площадей) проекции несплошности на поверхность сканирования. В частности, размеры (или площади), определенные таким образом, сравнивают с применяемыми приемочными нормами, когда эти нормы выражены через максимально допустимые размеры (или площади) проекций, чтобы оценить приемлемость или неприемлемость несплошности.

Методы оценки размеров можно классифицировать по следующим двум категориям:

a) методы, основанные на сравнении уменьшения максимальной амплитуды сигнала относительно уменьшения максимальной амплитуды сигнала от эквивалентного отражателя. Принятие этих методов оценки размеров ограничено случаем, когда размер (или площадь) зоны на поверхности сканирования, соответствующей уменьшению амплитуды сигнала ниже уровня оценки, менее размера (или площади) проекции преобразователя на поверхность сканирования.

В этом случае определяется уменьшение максимальной амплитуды сигнала относительно амплитуды сигнала в зоне без несплошностей, вместе с отражателем, которым обычно является плоскодонное отверстие, перпендикулярное к оси пучка, расположенной на данной глубине (например, на полутолщине), дающее то же уменьшение максимальной амплитуды проходящего сигнала.

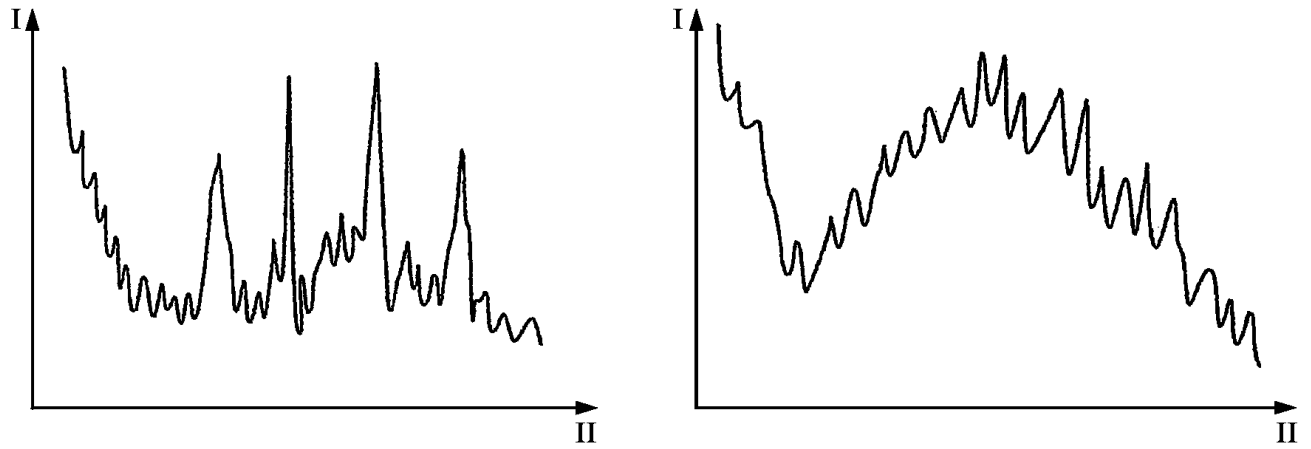
Размер (или площадь) проекции несплошности на плоскость, перпендикулярную к оси пучка, принимается равным размеру (или площади) плоскодонного отверстия;

b) методы, основанные на уменьшении амплитуды сигнала в сочетании с перемещением преобразователя. Эти методы заключаются в определении зоны на поверхности сканирования, соответствующей потере сигнала или уменьшению амплитуды по сравнению с данным значением (чаще всего 6 дБ) относительно амплитуды сигнала из зоны без несплошностей.

Значения, отличные от 6 дБ, могут быть использованы в том случае, когда они указаны в справочных документах, в частности при оценке несплошностей, которые частично проницаемы для ультразвука.

Протяженность зоны, определенной таким образом, принимается равной протяженности проекции несплошности на поверхность сканирования.

Поскольку метод прохождения сигнала чаще всего используется для определения сравнительно больших несплошностей, когда не требуется слишком высокая точность определения размера, то для большинства областей применения достаточны методы, описанные выше в перечислении b). В этом отношении данные, собранные с помощью методов, описанных выше в перечислении a), представляют собой справочную информацию, которая может быть использована для обеспечения воспроизводимости контроля, но не в качестве основы для непосредственного определения размера несплошностей.

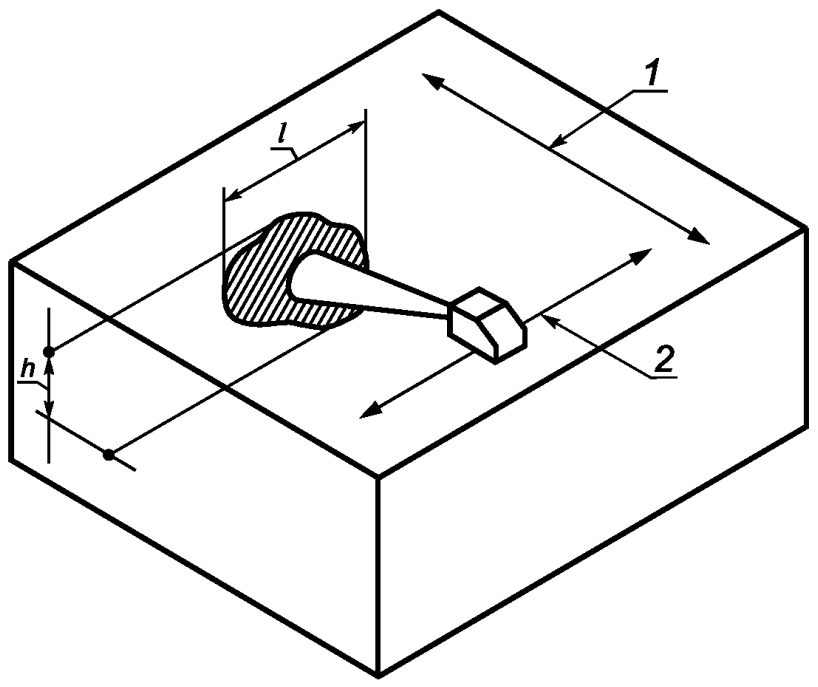


a) Разрешимая группа несплошностей

b) Неразрешимая группа несплошностей

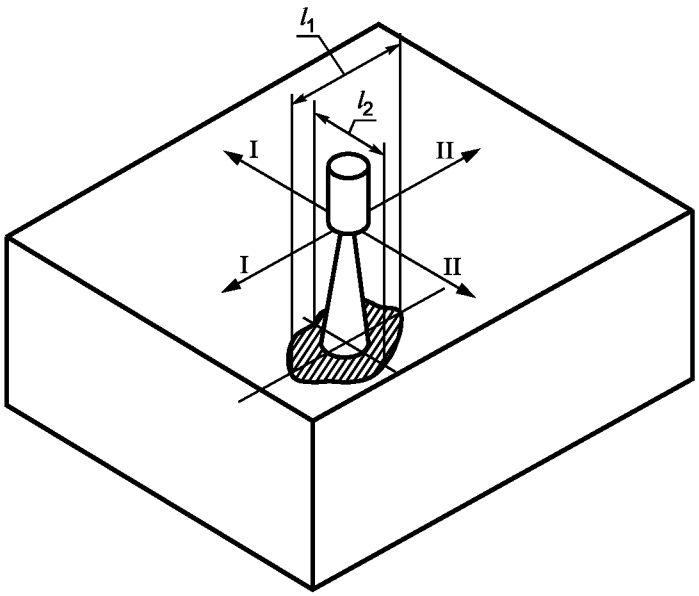
I — амплитуда сигнала; II — время прохождения

Рисунок 1 — Примеры сигналов с разверткой типа *A* из группы несплошностей в поковке или отливке



1 — поперечное перемещение; *2* — боковое перемещение

Рисунок 2 — Параметры проекции *l* и *h* для обычного определения размера несплошности с помощью наклонного преобразователя



I — перемещение преобразователя; II — перемещение преобразователя

Рисунок 3 — Параметры l_1 и l_2 для обычного определения размера несплошности с помощью прямого преобразователя

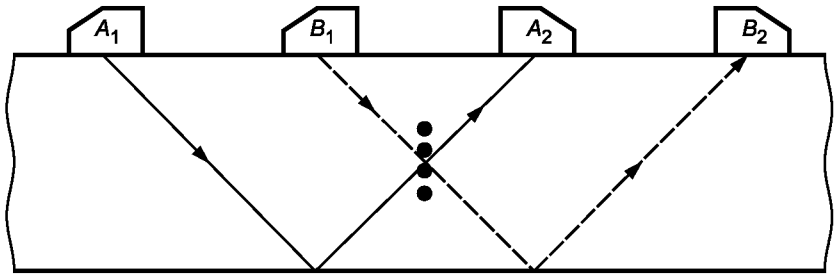


Рисунок 4 — Определение положения несплошностей методом прохождения сигнала с помощью наклонных преобразователей

Несплошность находится на пересечении двух путей пучков A_1A_2 и B_1B_2, где наблюдается уменьшение максимальной амплитуды проходящего сигнала.

Приложение А
(справочное)

Анализ множественных индикаций

Ниже описаны некоторые методы, которые могут быть использованы для распознавания прерывистых и непрерывных несплошностей.

Методы А.1 и А.2 наиболее оптимальны для сварных швов, но их можно также применять для других областей, в которых практически осуществимо применение наклонного преобразователя. Метод А.3 характеризуется более широким применением, но ограничен в отношении минимальной площади несплошностей, которые подлежат оценке.

А.1 Определение характеристик с помощью бокового сканирования

В случае несплошностей, обнаруживающих одиночную, острую индикацию с разверткой типа *A*, направление сканирования, угол падения пучка, размер и частоту преобразователя следует выбирать таким образом, чтобы получить наименьшую практически достижимую ширину пучка на расстоянии от несплошности, а тщательное боковое сканирование следует проводить в однородной контактной среде.

Заметные провалы на огибающей амплитуды эхо-сигнала свидетельствуют о наличии прерывистой несплошности. Это должно быть подтверждено путем проведения поворотного и кругового сканирований рядом с кажущимися разрывами, и эти сканирования должны показать резкие падения амплитуды эхо-сигнала ниже нормальной амплитуды и отсутствие существенных вторичных эхо-сигналов. Любая другая характеристика свидетельствует о том, что кажущиеся разрывы обусловлены изменением боковой ориентации.

А.2 Определение характеристик с помощью поперечного (по толщине) сканирования

Тщательные поперечные сканирования проводят на несплошности не менее чем в двух направлениях в коротких интервалах акустического пути; следует также отметить форму огибающей эхо-сигнала.

Значительные провалы или полные разрывы в огибающей эхо-сигнала свидетельствуют о том, что несплошность может быть прерывистой. Если позволяют условия доступа, рекомендуется построить составную картину по толщине несплошности путем нанесения на график всех эхо-сигналов, наблюдаемых из нескольких различных направлений и под различными углами. Для эффективного применения этого метода необходимы гладкие, плоские поверхности сканирования с каждой стороны несплошности и высокая точность графического построения.

А.3 Теневой (зеркально-теневой) метод

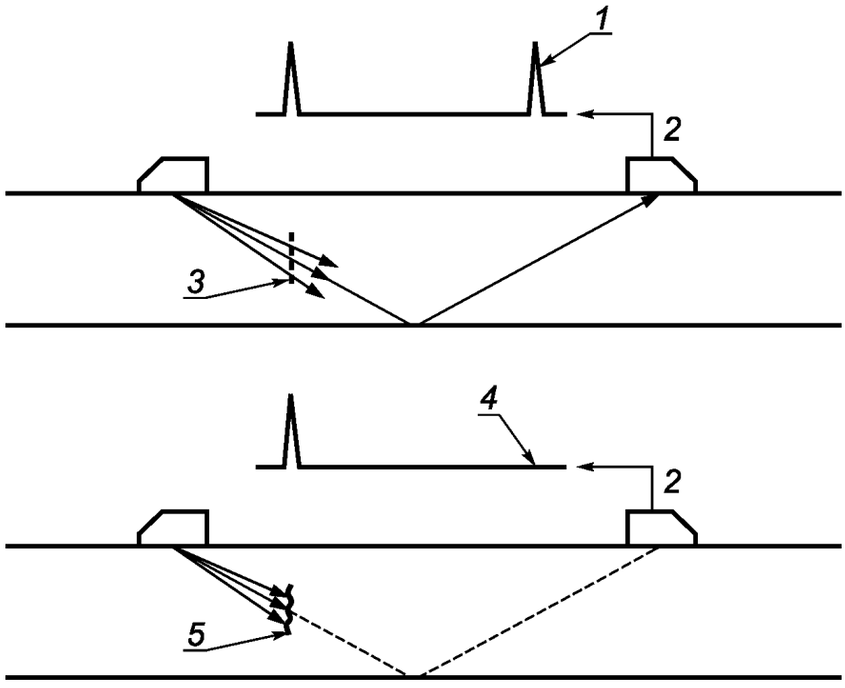
Этот метод полезен в том случае, когда размеры несплошности или группы несплошностей приблизительно равны ширине пучка.

Этот метод проиллюстрирован на рисунке А.1, но он также применим в случае прямых преобразователей, с использованием отдельных передающих и принимающих преобразователей или с мониторингом изменений амплитуды донного эхо-сигнала.

Сильный проходящий сигнал через поврежденную область является свидетельством отсутствия существенной несплошности. Амплитуда проходящего сигнала связана с отношением площади несплошности к площади пучка.

Разрешение всех вышеуказанных методов можно повысить путем использования фокусирующих преобразователей с фокусным расстоянием, близким к интервалу акустического пути несплошности.

Поскольку размер несплошности по толщине обычно играет исключительно важную роль, то несплошность следует принять непрерывной, если только нет убедительного доказательства, что она является прерывистой в этом направлении.



1 — проходящий сигнал; *2* — развертка типа *A*; *3* — прерывистая несплошность; *4* — нет проходящего сигнала; *5* — непрерывная несплошность

Рисунок А.1 — Теневой (зеркально-теневой) метод для распознавания непрерывных и прерывистых несплошностей

Приложение В
(справочное)

Методы классификации формы несплошности

В.1 Простая классификация

В.1.1 Общие положения

Простая классификация формы несплошности основана на определении, имеет ли несплошность существенную протяженность в одном или более направлениях. В контексте настоящего стандарта термин «значительная протяженность» определяется как размер, превышающий минимальный измеримый размер, с учетом ширины пучка и разрешения преобразователя в интервале пути пучка на несплошности.

В контексте настоящего стандарта основные формы несплошностей определяются следующим образом:

- точечная: без существенного распространения в любом направлении;
- удлиненная: с существенным распространением только в одном направлении;
- большая: существенное распространение в двух перпендикулярных направлениях (планарная) или в трех перпендикулярных направлениях (объемная).

Чтобы оценить, имеет ли несплошность существенное распространение, можно использовать один из следующих методов (см. В.1.2 и В.1.3). В обоих методах сканируют несплошности с двух направлений, перпендикулярных друг к другу, и использование перемещений двух преобразователей (перпендикулярно и параллельно направлению сканирования) для каждого направления сканирования (см. рисунок В.1). Пример процедуры определения характеристик дефектов в сварных швах представлен на блок-схеме в ИСО 23279.

В.1.2 Метод реконструкции

Для каждого сканирующего перемещения изображение несплошности реконструируется путем нанесения на график ряда эхо-сигналов от несплошности, в которой амплитуда эхо-сигнала превышает уровень оценки/регистрации. Затем размеры этих изображений сравнивают с минимальным измеримым размером.

В.1.3 Метод огибающей эхо-сигнала

Для каждого сканирующего перемещения наблюдается форма индикации с разверткой типа *A* из несплошности, а также изменение амплитуды эхо-сигнала при перемещении преобразователя. Несплошность, обнаруживающая одну острую индикацию, плавно возрастающую до максимальной амплитуды перед плавным падением до базовой линии, классифицируется как несплошность без существенного распространения.

Все индикации другого типа, например множественные пики на развертке типа *A* или нерегулярное изменение амплитуды эхо-сигнала при перемещении преобразователя, считаются признаками несплошностей с существенным распространением.

В.2 Детализированная классификация

В.2.1 Общие положения

В том случае, когда требуется более точная оценка формы и характера несплошности в соответствии с В.1, применяются методы, описанные ниже.

В оценке этого типа необходимо построить картину типа и размера несплошности, согласующуюся со всеми полученными измерениями. При обнаружении значительных расхождений, которые невозможно разрешить, выносят заключение о типе несплошности с наиболее жесткими критериями приемки и наиболее пессимистическими значениями размера несплошности.

Основные типы и формы несплошности, которые можно распознать:

1) точечная:
   a) сферическая;
   b) планарная;
2) удлиненная:
   a) цилиндрическая;
   b) планарная;
3) большая:
   a) объемная;
   b) гладкая планарная;
   c) шероховатая планарная;
4) множественная:
   a) сферическая;
   b) планарная.

Этот список следует рассматривать не как перечень несплошностей для целей приемки, а как список форм, идентификация которых может помочь правильно классифицировать типы несплошностей, определенные в приемочных нормах на несплошности.

Для оценки этих форм и их ориентации можно использовать три метода в комбинации. Они основаны на:

a) формах огибающей эхо-сигнала (см. В.2.2);
b) направленной отражательной способности (см. В.2.3);

с) дополнительных параметрах, например положении, ориентации, множественных индикациях (см. 4.2—4.4).

В.2.2 Метод формы огибающей эхо-сигнала

Форма огибающей эхо-сигнала от несплошности представляет собой изменение формы и амплитуды эхо-сигнала, когда ультразвуковой пучок проходит через несплошность.

Наблюдаемая форма огибающей эхо-сигнала является функцией формы и размера несплошности, используемого преобразователя, а также направления и угла сканирования.

Несплошности сканируют с помощью каждого преобразователя в двух взаимно перпендикулярных направлениях, т. е. вдоль и поперек несплошности, и следует отмечать форму эхо-сигнала в каждом направлении. Сканирование из дополнительных направлений и с помощью других преобразователей может представить полезную дополнительную информацию.

На рисунках В.2—В.5 показаны типичные огибающие амплитуд эхо-сигналов от несплошностей различных типов, перечисленных в В.2.1.

Форма огибающей 1

На рисунке В.2 показана типичная огибающая точечной несплошности. В любом положении преобразователя развертка типа *A* показывает один острый эхо-сигнал. При перемещении преобразователя амплитуда плавно возрастает до одного максимума перед плавным падением до уровня шума.

Форма огибающей 1 указывает на одну отражающую поверхность в направлении, в котором проходит ультразвуковой пучок. Эта поверхность может быть криволинейной (т. е. сферической или цилиндрической) или же она может быть плоской и гладкой, или шероховатой, но слишком малой, чтобы давать характеристику формы огибающих 2 или 3.

Форма огибающей 2

На рисунке В.3 показана типичная огибающая удлиненной гладкой несплошности. В любом положении преобразователя развертка типа *A* показывает один острый отраженный эхо-сигнал. Когда ультразвуковой пучок перемещается над несплошностью, эхо-сигнал плавно возрастает до плато и удерживается с незначительными изменениями амплитуды до 4 дБ, пока пучок не выйдет за пределы несплошности, где эхо-сигнал плавно упадет до уровня шума.

Форма огибающей 2 свидетельствует о большой отражающей поверхности, приблизительно равной ширине пучка 6 дБ или более и расположенной приблизительно перпендикулярно к оси пучка в направлении сканирования. Например, цилиндрический отражатель будет давать форму огибающей 1 по своему диаметру и форму огибающей 2 по своей длине. В качестве другого примера можно привести несплошность в многослойном листе, исследуемую с помощью прямого преобразователя, которая дает форму огибающей 2 в обоих направлениях.

Форма огибающей 3

На рисунках В.4а) и В.4b) показаны типичные огибающие большой шероховатой несплошности. Существуют два варианта этой формы в зависимости от угла падения пучка из преобразователя на несплошность.

Если прямой или наклонный пучок падает на несплошность перпендикулярно, то рисунок В.4а) характеризует действительную картину. В любом положении преобразователя развертка типа *A* показывает один острый, но неровный эхо-сигнал. Перемещение преобразователя может вызвать большие (более ±6 дБ) хаотические флуктуации амплитуды (эти флуктуации вызваны отражением от других граней несплошности, а также хаотической интерференцией волн, рассеянных на группе граней).

Когда пучок падает на несплошность под углом, то действительную картину представляет «форма блуждающего эхо-сигнала», показанная на рисунке В.4b). В любом положении преобразователя развертка типа *A* показывает протяженную группу сигналов («дочерние пики») в колоколообразной огибающей импульса. При перемещении преобразователя каждый дочерний пик проходит через огибающую импульса, возрастая до своего максимума к центру огибающей, а затем падает. Общий сигнал может обнаруживать большие (более ±6 дБ) хаотические флуктуации амплитуды.

Форма огибающей 3 свидетельствует о шероховатой несплошности или несплошности неправильной формы, состоящей из ряда отдельных отражающих граней. Примером может служить большая трещина с шероховатой поверхностью. Важной характеристикой формы огибающей 3 является то, что каждый отдельный пик в общем эхо-сигнале последовательно достигает своей максимальной амплитуды, вызывая «повторяющееся эхо».

Форма огибающей 4

На рисунке В.5 показана типичная огибающая множественной несплошности при использовании прямого и наклонного преобразователей. В любом положении преобразователя развертка типа *A* показывает группу сигналов, которые можно выделить в данном интервале. При перемещении преобразователя эти сигналы возрастают и падают случайным образом, но сигнал из каждого отдельного элемента несплошности, если он выделяется, показывает характеристику формы огибающей 1.

Форма огибающей 4 свидетельствует о группе небольших, хаотически распределенных отражателей; она отличается от формы огибающей 3 тем, что не создает эффект «повторяющегося эха».

В В.3 рассмотрено использование этих форм огибающей в комбинации и в сочетании с информацией о направленной отражательной способности и другими параметрами.

B.2.3 Направленная отражательная способность

Этот термин используется для описания изменения амплитуды эхо-сигнала из несплошности в зависимости от угла, под которым ультразвуковой пучок падает на несплошность.

О несплошностях, которые обнаруживают сравнительно постоянные амплитуды эхо-сигнала в широком интервале углов падения, говорят, что они имеют низкую направленную отражательную способность, и наоборот.

Амплитуда эхо-сигнала из несплошности зависит от ее размера, ориентации и контура поверхности. Измеряя амплитуду эхо-сигнала из различных направлений и под различными углами (с учетом влияния интервала на амплитуду эхо-сигнала), можно получить информацию об этих характеристиках. Например, дефект, который обнаруживает очень низкую направленную отражательную способность, вероятно, будет сферическим. Наоборот, несплошность, которая обнаруживает очень высокую направленную отражательную способность, вероятно, будет большим гладким отражателем, расположенным перпендикулярно к углу падения пучка, при котором наблюдалась максимальная амплитуда эхо-сигнала.

Направленная отражательная способность очень малых плоских отражателей является сравнительно низкой и возрастает с увеличением размера отражателя, пока он не достигнет ширины ультразвукового пучка. Этот эффект может быть использован для оценки размера несплошности. Например, при выполнении кругового сканирования короткого включения в сварном шве качественную оценку его длины можно провести, определив направленную отражательную способность в направлении длины.

B.3 Комбинация данных

Металлургические несплошности могут иметь сложные формы и создавать сложные эхо-сигналы при перемещении по ним пучка. Тем не менее в большинстве случаев можно идентифицировать основную форму из их форм огибающей и направленной отражательной способности, дополненных (в случае больших несплошностей) определением точного положения отдельных их граней или выступов на поверхности.

В таблице B.1 приведены все особенности типичных огибающих всех типов и форм несплошностей, определенных в B.2.1, для комбинирования результатов классификации в соответствии с B.2.2 и B.2.3.

Ориентация небольших планарных несплошностей обычно определяется регистрацией угла падения пучка, при котором получается максимальная амплитуда эхо-сигнала, эта ориентация перпендикулярна к оси пучка.

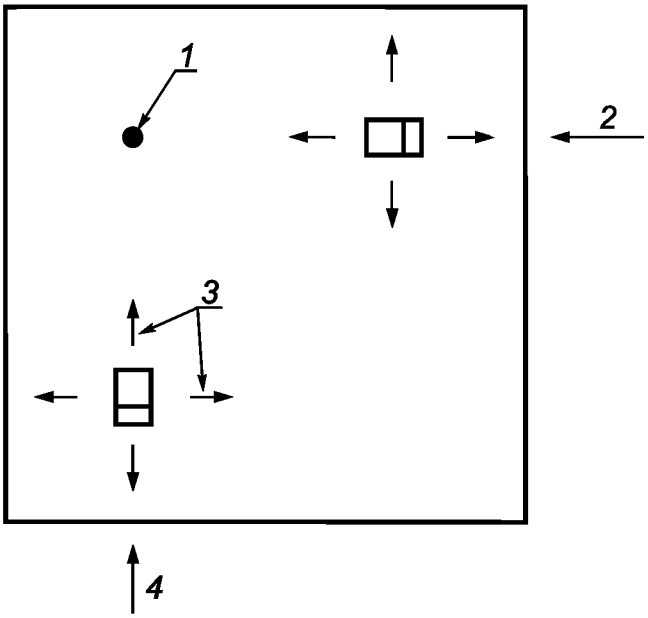
Чем больше число углов, под которыми исследуется несплошность, тем выше точность. Несплошности, которые расположены перпендикулярно к поверхности испытуемого объекта и разрывают поверхность или очень близки к этому, обычно обнаруживают максимальную амплитуду эхо-сигнала из обоих направлений, когда угол падения находится между 40° и 50°.

Таблица B.1 — Руководство по детализированной классификации

Форма/тип	Форма динамичного эхо-сигнала		Направленная отражательная способность	Примечание
	Поперечное перемещение	Боковое перемещение		
Точечная сферическая	Форма 1	Форма 1	Очень низкая	Определение положения точки
Точечная планарная	Форма 1	Форма 1	Средняя	Только определение положения точки
Удлиненная цилиндрическая	Форма 1	Форма 2	Очень низкая в поперечной плоскости. Высокая в боковой плоскости (см. примечание)	Определение положения точки путем поперечного перемещения
Удлиненная планарная	Форма 1	Форма 2	Средняя в поперечной плоскости. Высокая в боковой плоскости (см. примечание)	Положение концов можно определить отдельно путем бокового перемещения
Большая объемная	Форма 3	Форма 2 или 3	Средняя в поперечной плоскости. Средняя в боковой плоскости (см. примечание)	Обычно можно определить приближенное очертание
Большая гладкая планарная	Форма 2	Форма 2	Очень высокая	Положение концов можно определить отдельно
Большая шероховатая планарная	Форма 3	Форма 3	Средняя	Как правило, можно определить положение отдельных граней и концов

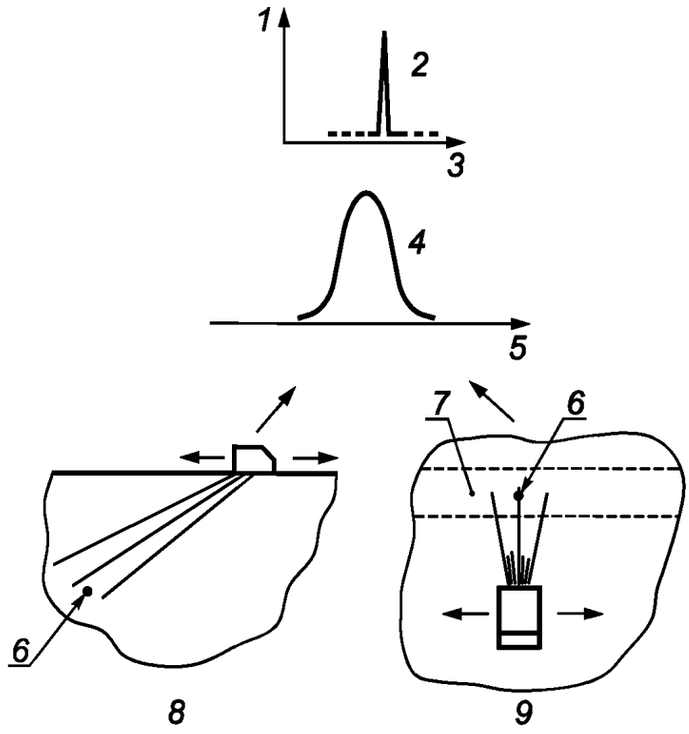
Окончание таблицы В.1

Форма/тип	Форма динамичного эхо-сигнала		Направленная отражательная способность	Примечание
	Поперечное перемещение	Боковое перемещение		
Множественная сферическая	Форма 4	Форма 4	Очень низкая	Как правило, можно определить положение краев группы
Множественная планарная	Форма 4	Форма 4	Средняя	
Примечание — Поперечная и боковая плоскости определяются следующим образом: - поперечная плоскость — перпендикулярно к главной оси несплошности или определенному направлению; - боковая плоскость — параллельно главной оси несплошности или под прямыми углами к поперечной плоскости.				



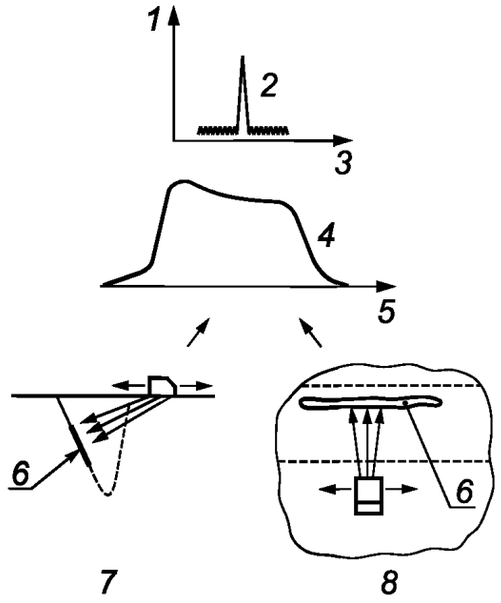
1 — несплошность; *2* — направление сканирования 1; *3* — перемещения преобразователя; *4* — направление сканирования 2

Рисунок В.1 — Перемещения преобразователя и направления сканирования для простой классификации формы несплошности при использовании наклонных преобразователей



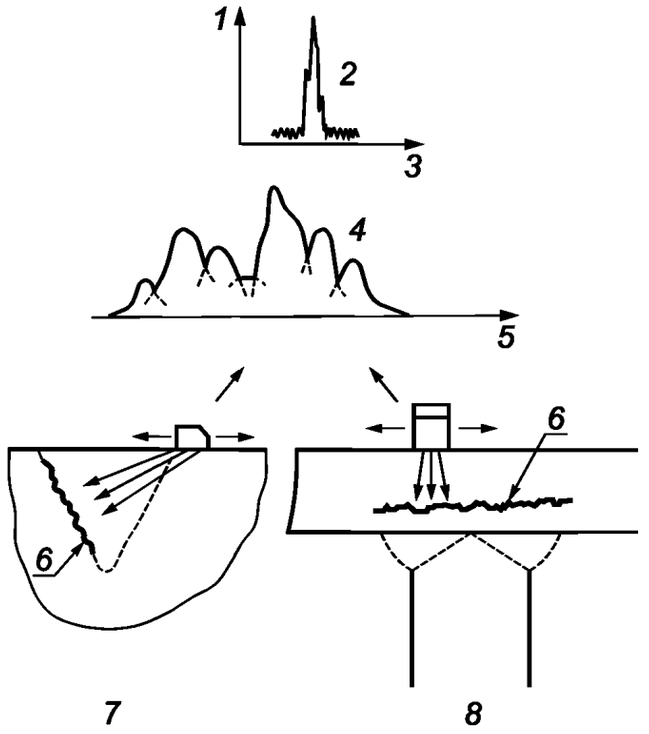
1 — амплитуда; *2* — развертка типа *A*; *3* — интервал; *4* — изменение максимальной амплитуды сигнала; *5* — положение преобразователя; *6* — отражатель; *7* — сварной шов; *8* — типичная картина в направлении по толщине; *9* — типичная картина в боковом направлении (по длине)

Рисунок В.2 — Форма огибающей 1



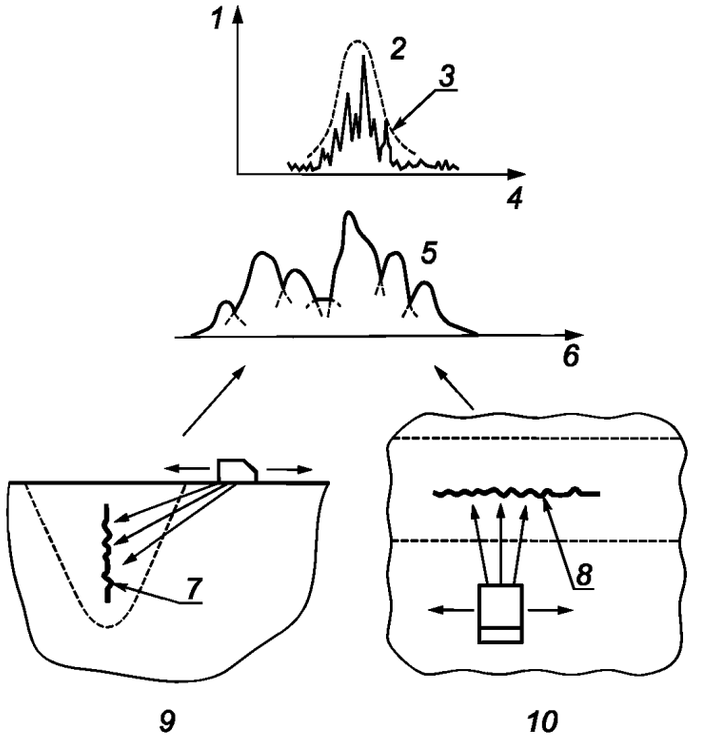
1 — амплитуда; *2* — развертка типа *A*; *3* — интервал; *4* — изменение максимальной амплитуды сигнала; *5* — положение преобразователя; *6* — отражатель; *7* — типичная картина в направлении по толщине; *8* — типичная картина в боковом направлении (по длине)

Рисунок В.3 — Форма огибающей 2



1 — амплитуда; *2* — развертка типа *A*; *3* — интервал; *4* — изменение максимальной амплитуды сигнала; *5* — положение преобразователя; *6* — отражатель; *7* — типичная картина в направлении по толщине; *8* — типичная картина в боковом направлении (по длине)

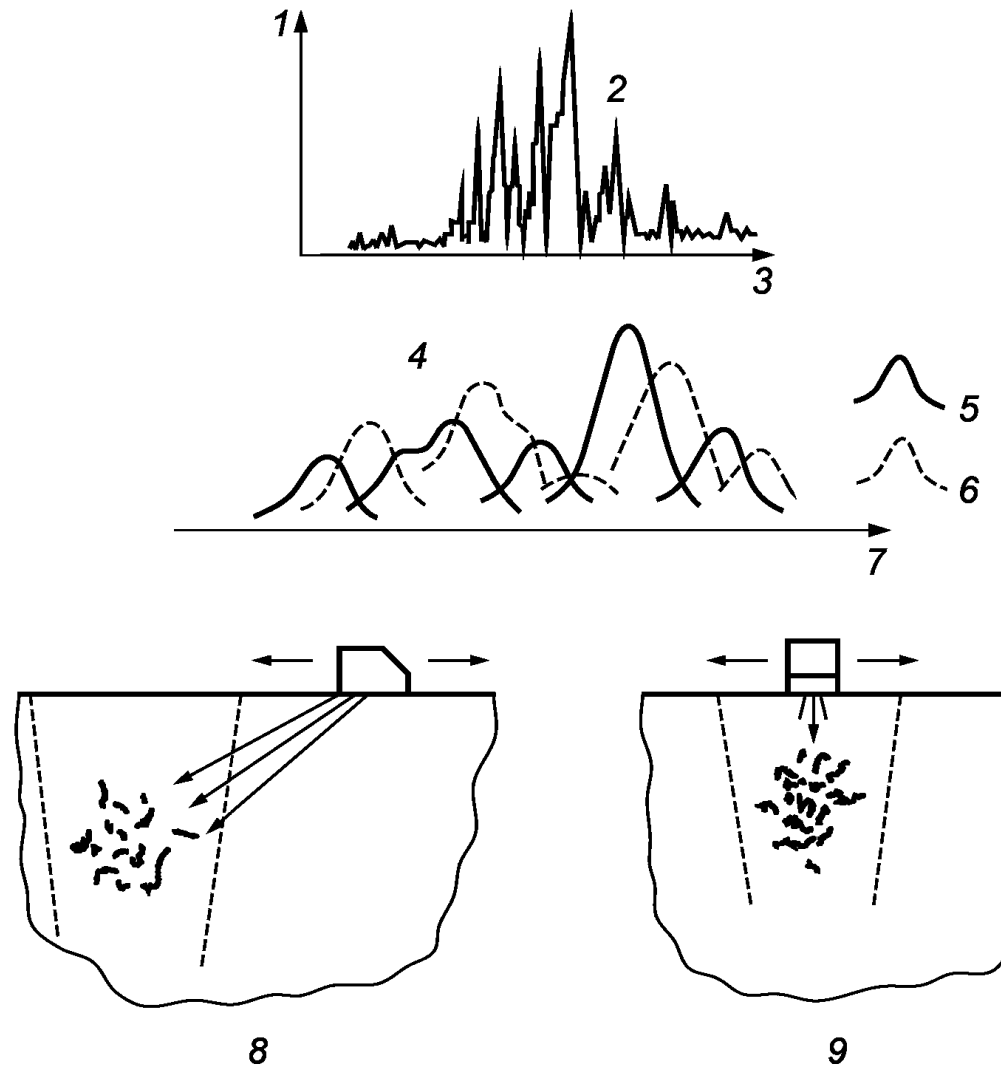
a) Форма огибающей 3a — Перпендикулярное падение пучка на несплошность



1 — амплитуда; 2 — развертка типа A; *3* — огибающая импульса; *4* — интервал; *5* — изменение максимальной амплитуды сигнала; *6* — положение преобразователя; *7* — отражатель; 8 — отражатель, протяженный по длине; *9* — типичная картина в направлении по толщине; *10* — типичная картина в боковом направлении (по длине)

b) Форма огибающей 3b — Косое падение пучка на несплошность

Рисунок B.4 — Формы огибающих 3a и 3b



1 — амплитуда; *2* — развертка типа *A*; *3* — интервал; *4* — изменение максимальной амплитуды сигнала; *5* — эхо-сигналы в коротком интервале; *6* — эхо-сигналы в длинном интервале; *7* — положение преобразователя; *8* — типичная картина в направлении по толщине; *9* — типичная картина в боковом направлении (по длине)

Рисунок В.5 — Форма огибающей 4

Приложение С
(справочное)

Метод оценки размера по максимальной амплитуде эхо-сигнала

С.1 Метод амплитуда — расстояние — диаметр (АРД)

С.1.1 Принцип

В данном методе максимальная амплитуда эхо-сигнала от несплошности выражается через эквивалентный диаметр дискообразного отражателя, перпендикулярного к оси пучка и в том же интервале акустического пути, что и измеряемая несплошность. Кривые АРД, показывающие зависимость между амплитудой эхо-сигнала, интервалом и диаметром отражателя, обычно определяются теоретически для определенного типа преобразователя, диаметра преобразователя и частоты ультразвука.

При применении диаграммы АРД делается поправка на влияние, оказываемое на амплитуду эхо-сигнала различиями в затухании и потере передачи между исследуемым объектом и калибровочным образцом. Подробные сведения о применении этого метода приведены в ИСО 16811.

С.1.2 Области применения и ограничения

1) Чем меньше и ровнее несплошность и чем перпендикулярнее она к оси пучка, тем точнее будет измеренный эквивалентный размер.

2) При контроле в больших интервалах этот метод обладает преимуществом над методом DAC (коррекция амплитуда — расстояние) в том, что калибровочные образцы не требуются.

3) Его диапазон областей применения простирается от края ближнего поля и так далеко в материале, насколько сигналы из несплошности можно отличить от уровня шума. Должны быть выполнены следующие условия:

- сигнал от несплошности должен быть доведен до максимума;
- индикации, используемые для определения размера, должны отличаться от уровня шума;
- индикация от несплошности не должна подвергаться эффектам интерференции от других эхо-сигналов, например, отражений от сторон исследуемого объекта.

4) Геометрия исследуемого объекта или соответствующего типичного образца материала должна обеспечивать донный эхо-сигнал, который может быть использован для оценки затухания в материале и потери прозрачности границы преобразователя с изделием.

5) Поскольку амплитуда эхо-сигнала из отражателя зависит от частоты, следует использовать только узкополосные преобразователи.

С.2 Метод кривой коррекции амплитуда — расстояние (АРК)

С.2.1 Принцип

Данный метод основан на выражении максимальной амплитуды эхо-сигнала из несплошности через число дБ, на которое она выше или ниже амплитуды эхо-сигнала из эталонного отражателя в том же интервале. Эталонными отражателями могут быть боковые цилиндрические отверстия, плоскодонные отверстия или отражатели другой формы, например, квадратные или V-образные надрезы, в зависимости от указания.

Кривая АРК, показывающая зависимость между амплитудой и интервалом эхо-сигнала, определяется экспериментальным путем для действительного преобразователя, используемого для оценки. Эта кривая строится из ряда отражателей в механически обработанном калибровочном образце с низким затуханием или в типичном образце исследуемого материала. В первом случае при применении этого метода делается допуск на различия в затухании и потере передачи между исследуемым объектом и калибровочным образцом.

При использовании метода прямого определения размера максимальная амплитуда эхо-сигнала от несплошности выражается через ту же ширину, диаметр или другой соответствующий размер, что и у эталонного отражателя, дающего такую же максимальную амплитуду эхо-сигнала в том же интервале. Подробные сведения об этом методе приведены в ИСО 16811.

С.2.2 Области применения и ограничения

1) Интервал, в котором можно применять данный метод, зависит от типа эталонного отражателя. При использовании плоскодонных отверстий или других небольших отражателей данный метод можно использовать только за пределами ближней зоны. Однако при использовании удлиненных отражателей, например, боковых цилиндрических отверстий, данный метод можно также использовать в ближней зоне.

2) Эхо-сигнал от несплошности, размер которой определяется, должен быть доведен до максимума.

3) Для используемого преобразователя необходимо построить кривую АРК.

4) При использовании калибровочного образца, отличающегося от типичного образца материала, геометрия исследуемого объекта должна обеспечивать донный эхо-сигнал для определения затухания и потери передачи.

Приложение D
(справочное)

Методы оценки размера с перемещением преобразователя

D.1 Методы фиксированного уровня амплитуды

D.1.1 Принцип

В данном методе оценивают размеры несплошности, эхо-сигнал из которой равен установленному уровню оценки амплитуды или выше этого уровня. Уровень амплитуды может быть связан с кривой АРД или на определенном уровне дБ относиться к кривой АРК.

Для выполнения оценки пучок сканирует несплошность, и отмечают положение преобразователя и интервал пути пучка, при которых эхо-сигнал падает до уровня оценки. Затем путем нанесения на график указанного интервала по оси пучка определяют положение края несплошности. В примере, показанном на рисунке D.3, использовался уровень на 6 дБ ниже калибровочной кривой АРК.

В качестве альтернативного варианта, как показано на рисунке D.2, можно нанести на график положение края несплошности по краю пучка 12 или 20 дБ.

Какая бы процедура ни использовалась, ее следует повторить для оценки положения противоположного края дефекта.

D.1.2 Область применения и ограничения

1) Оцененный размер зависит от уровня оценки амплитуды.

2) Это — простой в применении метод, он дает хорошо воспроизводимые значения.

3) Данный метод может быть применен к большим или малым несплошностям, но в последнем случае оцененная длина более тесно связана с шириной пучка, чем с действительным размером несплошности.

4) Уровень оценки следует установить равным или ниже уровня амплитуды.

D.2 Метод падения амплитуды на 6 дБ от максимума

D.2.1 Принцип

Уровень оценки амплитуды в этом методе — 6 дБ ниже максимальной амплитуды эхо-сигнала, наблюдаемой в этом положении на дефекте, а не постоянный, заранее определенный уровень, используемый в предыдущем методе (D.1).

Для выполнения оценки вначале измеряют максимальную амплитуду эхо-сигнала, а затем пучок сканирует несплошность, пока эхо-сигнал не упадет на 6 дБ ниже максимума. Отмечают положение преобразователя и интервал акустического пути, а край несплошности наносят на график по оси пучка. Эту процедуру повторяют на противоположном крае несплошности. Этот метод показан на рисунке D.3.

D.2.2 Область применения и ограничения

1) Если несплошность перпендикулярна к оси пучка, если ее поверхность гладкая и площадь поперечного сечения равна или превышает площадь поперечного сечения пучка, в результате чего получается сравнительно постоянная амплитуда эхо-сигнала по измеряемому направлению, то данный метод может быть использован для оценки размера несплошности со сравнительно высокой степенью точности.

Но если несплошность имеет неправильную форму или переменную площадь поперечного сечения, могут возникнуть значительные ошибки в определении размера.

2) Данный метод применим только в том случае, когда размер измеряемой несплошности не менее ширины пучка 6 дБ в соответствующем интервале акустического пути.

D.3 Метод падения амплитуды на 12 или 20 дБ от максимума

D.3.1 Принцип

Уровень оценки амплитуды устанавливают на 12 или 20 дБ ниже максимальной амплитуды эхо-сигнала, наблюдаемой в любом положении на несплошности. Он также отличается от метода падения на 6 дБ от максимума тем, что край несплошности расположен по краю, а не по оси пучка. Для применения этого метода отмечают максимальную амплитуду эхо-сигнала из любого положения на несплошности, а пучок сканирует несплошность, пока амплитуда эхо-сигнала не упадет на 12 или 20 дБ. Затем отмечают положение преобразователя и интервал пути пучка, а край несплошности располагают по краю пучка 12 или 20 дБ, в зависимости от конкретного случая (см. рисунок D.4). Эту процедуру повторяют для положения противоположного края.

D.3.2 Область применения и ограничения

1) Если несплошность перпендикулярна к оси пучка и обнаруживает равномерную амплитуду эхо-сигнала по направлению сканирования, то данный метод может быть использован для оценки ее абсолютных размеров. Однако необходимо предварительно нанести на график края пучка с помощью гладкого эталонного отражателя, превышающего ширину пучка. В случае невыполнения этих условий данный метод будет давать неточные результаты и применять его не рекомендуется.

2) Данный метод потенциально более точен, чем метод падения на 6 дБ, но необходимость точного нанесения на график краев пучка перед выполнением любых измерений может внести еще один источник возможной ошибки в оценке размера.

3) Данный метод применим только в том случае, когда оцениваемый размер несплошности не менее ширины пучка –12 или –20 дБ на расстоянии несплошности.

D.4 Метод падения амплитуды до уровня шума

D.4.1 Принцип

С помощью данного метода оценивают размеры несплошности, из которой можно наблюдать эхо-сигнал выше уровня фонового шума.

Для применения этого метода ультразвуковой пучок сканирует несплошность и отмечается положение преобразователя и интервал пути пучка, при которых индикация наблюдается выше уровня шума. Затем край несплошности наносят на график по оси пучка, как показано на рисунке D.5.

Эту процедуру повторяют, чтобы определить положение противоположного края несплошности.

D.4.2 Область применения и ограничения

1) Данный метод характеризуется плохой воспроизводимостью, поскольку оцененный размер уменьшается с повышением уровня шума, и наоборот. Однако он полезен для оценки общего размера несплошности или группы несплошностей, особенно в случае высокого уровня шума относительно эхо-сигналов из несплошности.

2) Данный метод дает консервативный результат оценки размера, особенно в тех случаях, когда другие методы могут повлечь за собой риск занижения размера определенной несплошности.

3) Это — сравнительно простой в применении метод, и он не требует установки определенного уровня амплитуды.

D.5 Метод оценки положения вершины несплошности при падении амплитуды на 6 дБ

D.5.1 Принцип

Данный метод отличается от метода падения на 6 дБ тем, что амплитуда эхо-сигнала из каждого конца несплошности принимается в качестве контрольного значения, на котором основано падение на 6 дБ.

Для применения этого метода пучок сканирует несплошность, и отмечают амплитуду эхо-сигнала непосредственно перед его резким падением, когда пучок проходит над краем несплошности.

Затем регистрируют положение преобразователя и интервал пути пучка в той точке, где амплитуда эхо-сигнала упала на 6 дБ ниже отмеченного значения. После этого наносят положение линии несплошности по оси пучка. Эту процедуру повторяют на противоположном крае, используя максимальную амплитуду эхо-сигнала непосредственно рядом с этим краем. Этот метод показан на рисунке D.6.

D.5.2 Область применения и ограничения

1) Данный метод применим только к несплошностям со сравнительно гладкой поверхностью, перпендикулярным к оси пучка и не обнаруживающим резких изменений амплитуды эхо-сигнала в измеряемом направлении. При этих условиях можно оценить размер несплошности со сравнительно высокой степенью точности.

2) По сравнению с методом падения на 6 дБ с максимума данный метод лучше учитывает изменения амплитуды эхо-сигнала по оцениваемому направлению. Однако он более субъективен в своем применении, поскольку оператору не всегда легко принять решение об уровне амплитуды эхо-сигнала, на котором должно быть основано падение на 6 дБ;

3) Данный метод применим только в том случае, когда оцениваемые размеры не менее ширины пучка 6 дБ в интервале несплошности.

D.6 Метод определения положения вершины несплошности по оси пучка

D.6.1 Принцип

Данный метод основан на следующем принципе: когда отдельный пик в общем эхо-сигнале из несплошности находится на максимальной амплитуде, то грань несплошности, дающая этот пик, будет находиться на оси пучка. Эту процедуру повторяют для оценки положения противоположного края.

Этот метод показан на рисунке D.7.

D.6.2 Область применения и ограничения

1) С помощью данного метода можно оценить действительные размеры несплошностей со сравнительно высокой степенью точности.

2) Данный метод применим только к несплошностям с размерами, превышающими разрешение преобразователя по интервалу, и обнаруживающим два или более пиков на развертке типа *A* или по огибающей эхо-сигнала (т. е. форма огибающей 3 или 4, рисунок В.3).

3) Применение данного метода требует опыта и способности выбрать наиболее подходящий угол падения и идентифицировать соответствующие пики из краев несплошности. Если доступ к сканированию из оптимальных направлений ограничен, точность этого метода может снизиться.

D.7 Метод оценки вершины несплошности при падении амплитуды на 20 дБ

D.7.1 Принцип

Данный метод в основном подобен методу оценки положения вершины несплошности по оси пучка, за исключением того, что для определения положения края несплошности используется край пучка 20 дБ.

Для применения этого метода вначале идентифицируется отдельный пик в общем эхо-сигнале из вершины несплошности или последней отражающей грани по соседству с ее краем. Затем этот пик максимизируется, а перемещение преобразователя продолжается с края до тех пор, пока амплитуда эхо-сигнала не упадет на 20 дБ ниже максимального значения. Затем положение этого края наносят на график по краю 20 дБ пучка, который был ранее определен.

Данный метод показан на рисунке D.8.

D.7.2 Область применения и ограничения

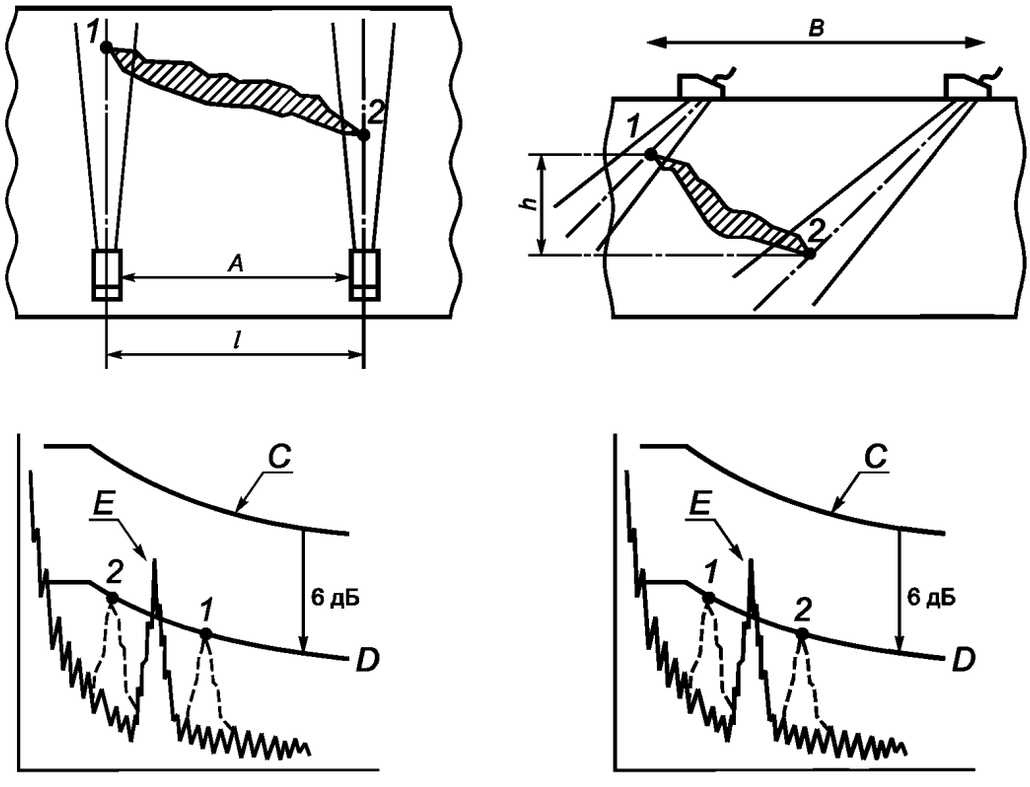
1) С помощью данного метода можно оценивать действительные размеры несплошностей со сравнительно высокой степенью точности.

2) Данный метод применим ко всем несплошностям с размерами, превышающими разрешение преобразователя по интервалу, и обнаруживающим два или больше пиков амплитуды на развертке типа *A* или по огибающей эхо-сигнала (т. е. форма огибающей 3 или 4, см. рисунок B.3).

3) Край пучка 20 дБ наносят на график с помощью ряда небольших округлых отражателей, таких как боковые цилиндрические отверстия диаметром 1,5 или 3 мм.

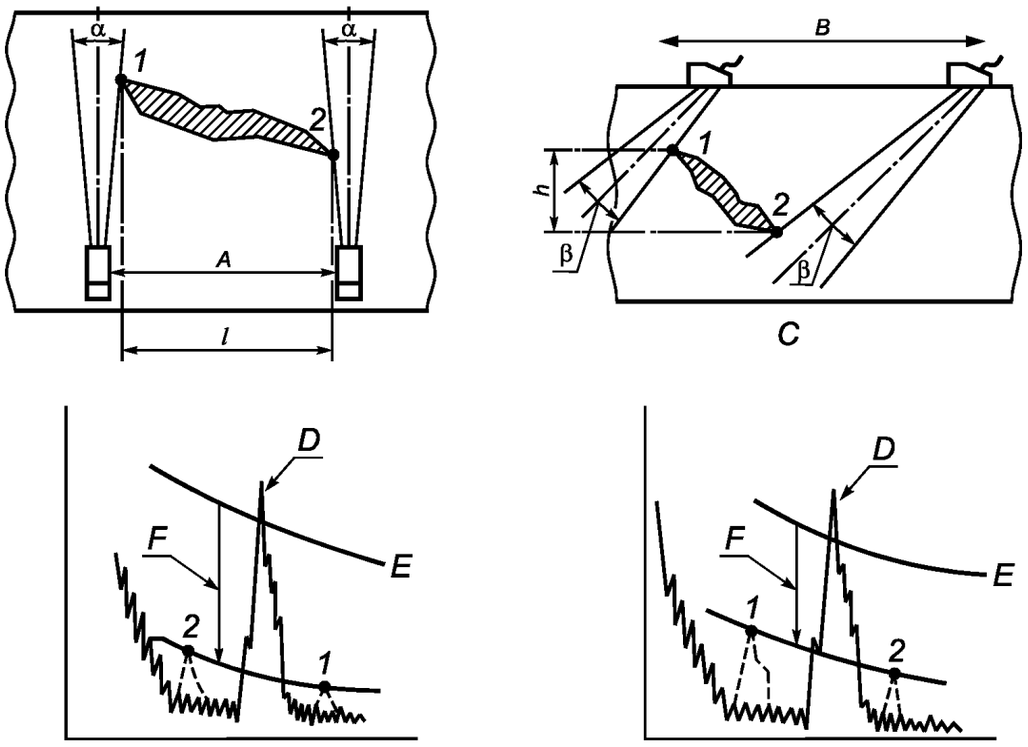
4) Это — потенциально наиболее точный метод оценки размера многогранных несплошностей, но необходимость точного нанесения на график края пучка перед выполнением любого измерения является дополнительным возможным источником ошибки по сравнению с методом определения положения вершины несплошности по оси пучка.

5) Применение данного метода требует опыта и способности выбрать наиболее подходящий угол падения и идентифицировать отдельные пики из краев несплошности.



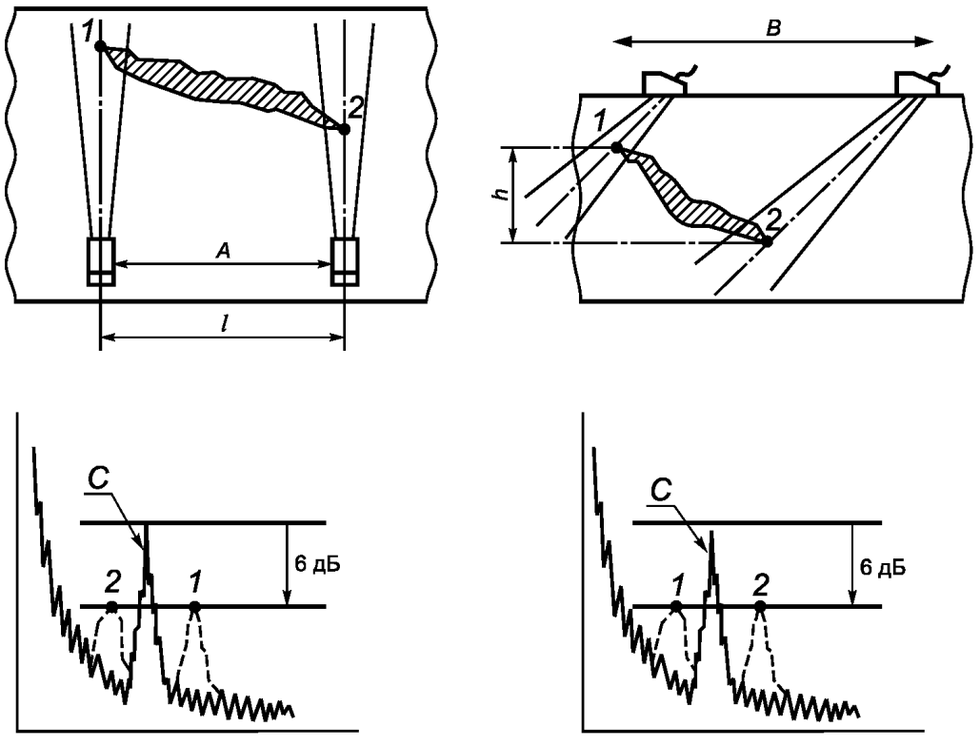
A — боковое перемещение; *B* — поперечное перемещение; *C* — калибровочная кривая; *D* — уровень оценки; *E* — максимальный эхо-сигнал; *1*, *2* — положения и соответствующие амплитуды эхо-сигнала для падения дБ

Рисунок D.1 — Метод фиксированного уровня амплитуды с использованием оси пучка



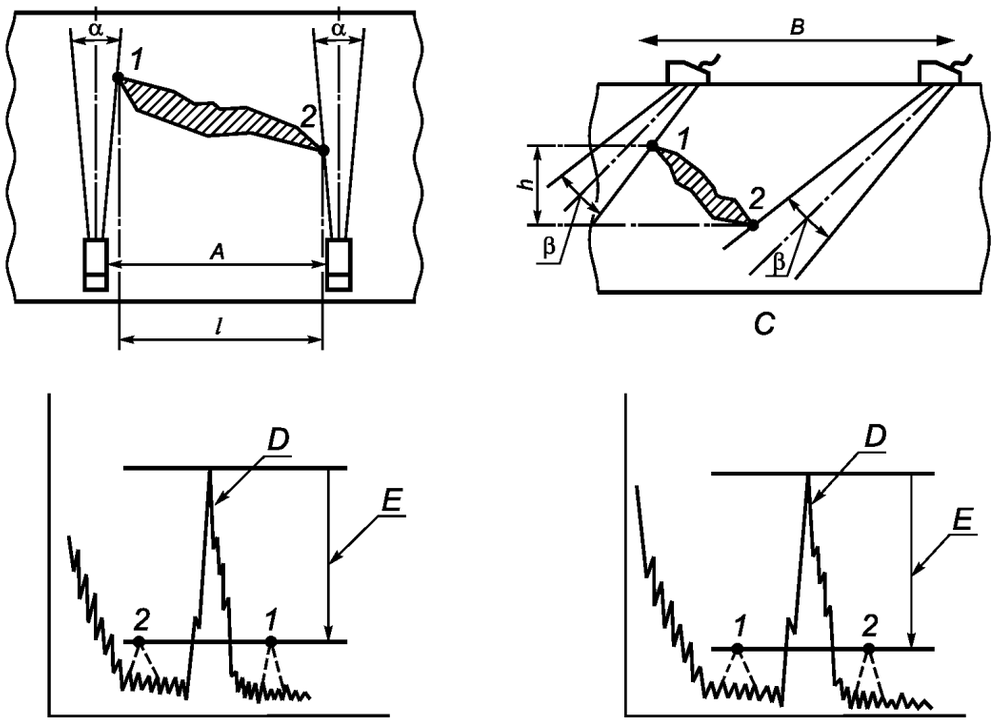
A — боковое перемещение; *B* — поперечное перемещение; *C* — α, β = ширина пучка 12 дБ (для падения на 12 дБ) или ширина пучка 20 дБ (для падения на 20 дБ); *D* — максимальный эхо-сигнал; *E* — калибровочная кривая; *F* — 12 или 20 дБ; *1*, *2* — положения и соответствующие амплитуды эхо-сигнала для падения дБ

Рисунок D.2 — Метод фиксированного уровня амплитуды с использованием краев пучка



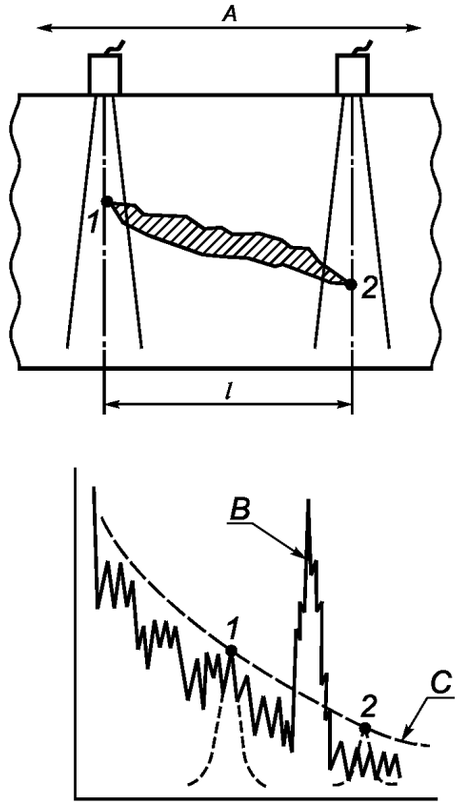
A — боковое перемещение; *B* — поперечное перемещение; *C* — максимальный эхо-сигнал; *1*, *2* — положения и соответствующие амплитуды эхо-сигнала для падения дБ

Рисунок D.3 — Метод падения амплитуды на 6 дБ от максимума



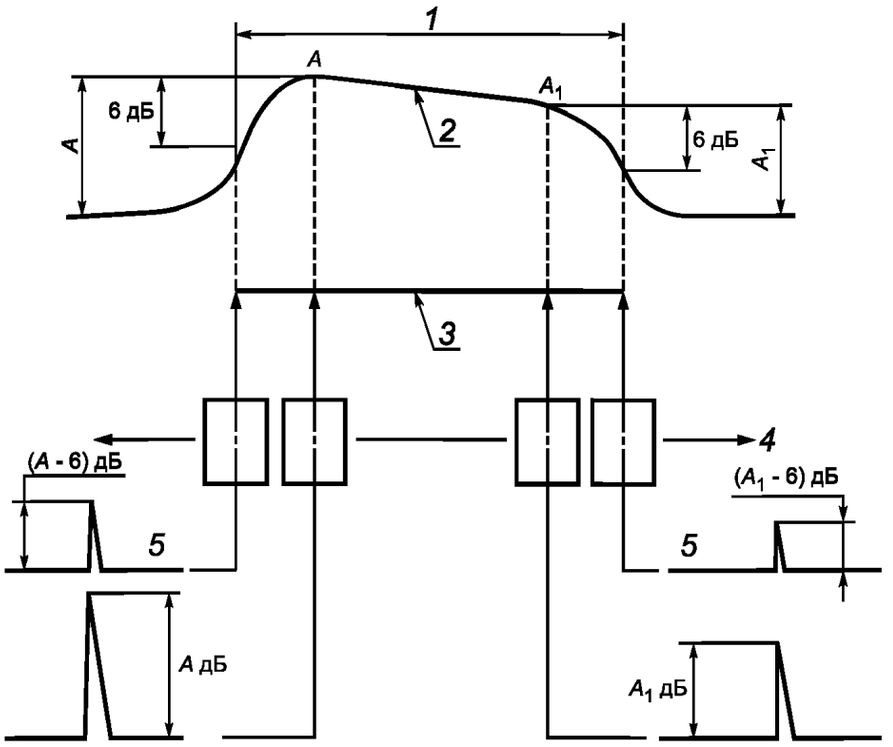
A — боковое перемещение; *B* — поперечное перемещение; *C* — α, β = ширина пучка 12 дБ (для падения на 12 дБ) или ширина пучка 20 дБ (для падения на 20 дБ); *D* — максимальный эхо-сигнал; *E* — 12 или 20 дБ; *1*, *2* — положения и соответствующие амплитуды эхо-сигнала для падения дБ

Рисунок D.4 — Метод падения амплитуды на 12 или 20 дБ от максимума



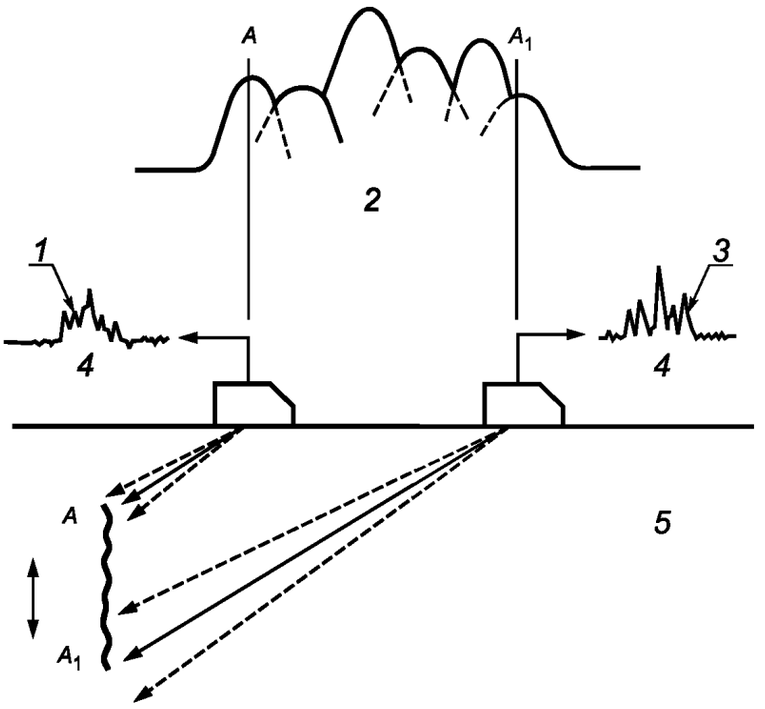
A — перемещение преобразователя; *B* — максимальный эхо-сигнал; *C* — уровень шума; *1*, *2* —положения и соответствующие амплитуды эхо-сигнала для падения дБ

Рисунок D.5 — Метод падения амплитуды до уровня шума (для прямого преобразователя)



1 — измеренная длина отражателя; *2* — изменение максимальной амплитуды сигнала; *3* — отражатель; *4* — направление перемещения преобразователя; *5* — развертка типа *A*

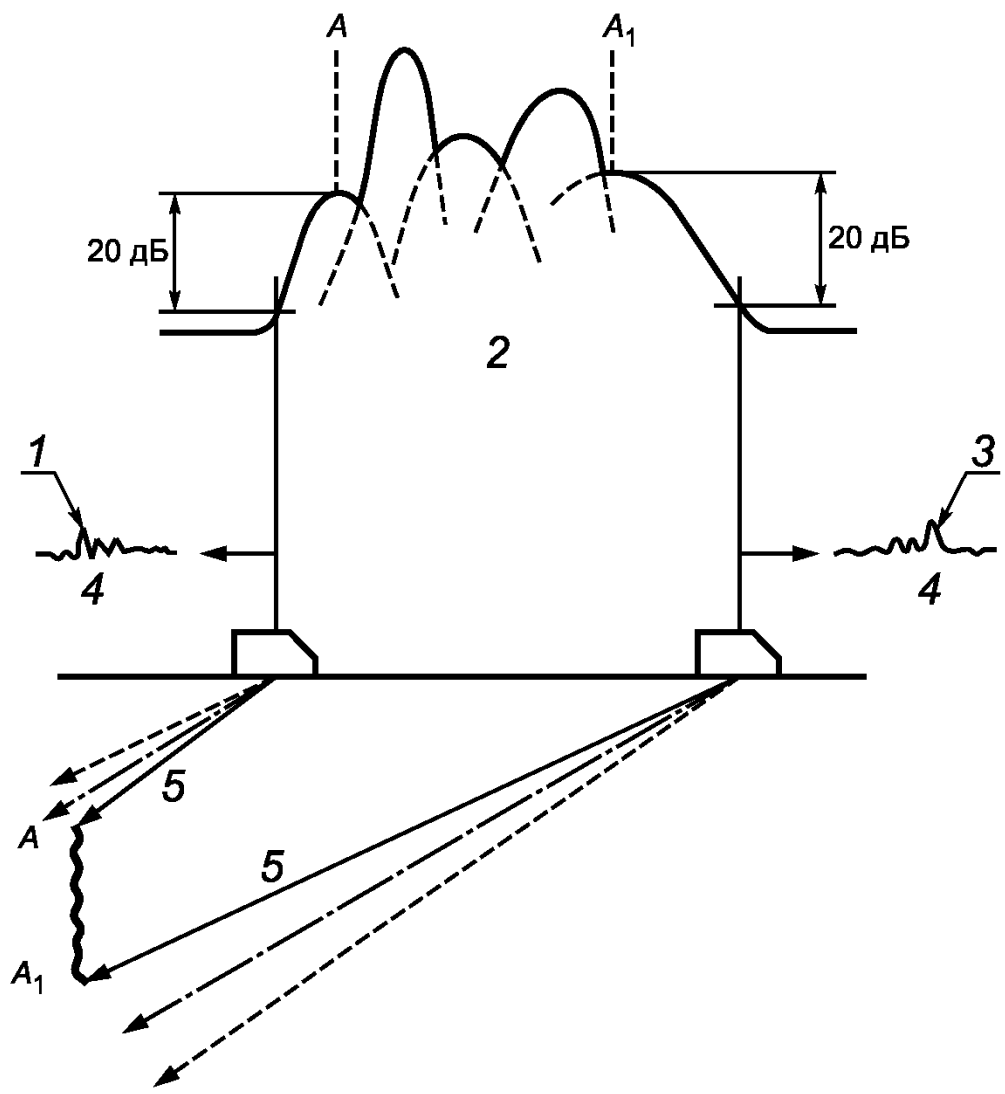
Рисунок D.6 — Метод определения положения вершины несплошности при падении амплитуды на 6 дБ



П р и м е ч а н и е — Края несплошности *A* и A_1 наносят на график по оси пучка, когда их отдельные эхо-сигналы находятся на максимальной амплитуде.

1 — эхо-сигнал *A* при максимальной амплитуде; *2* — изменение максимальной амплитуды сигнала; *3* — эхо-сигнал A_1 при максимальной амплитуде; *4* — развертка типа *A*; *5* — при обратном перемещении преобразователя первым появится эхо-сигнал *A* При прямом перемещении преобразователя первым появится эхо-сигнал A_1

Рисунок D.7 — Метод определения положения вершины несплошности по оси пучка



Примечание — Края несплошности A и A_1 графически наносят на график по краям пучка 20 дБ.

1 — эхо-сигнал *A* на 20 дБ ниже максимальной амплитуды; *2* — изменение максимальной амплитуды сигнала; *3* — эхо-сигнал A_1 на 20 дБ ниже максимальной амплитуды; *4* — развертка типа *A*; *5* — край 20 дБ

Рисунок D.8 — Метод определения положения вершины несплошности при падении амплитуды на 20 дБ

Приложение Е
(справочное)

Итерационный метод оценки размера несплошности

Е.1 Область применения

В настоящем приложении описан метод, в котором используется фокусирующий преобразователь для ультразвуковой оценки размеров отражателя со сравнительно высокой степенью точности. Он применяется при контроле, выполняемом при перпендикулярном падении пучка с помощью прямого преобразователя или при наклонном падении пучка с помощью наклонного преобразователя.

Е.2 Контроль при перпендикулярном падении пучка

Е.2.1 Принцип

Размер и форму отражателя оценивают по ряду изображений с разверткой типа С, построенных на пороговых уровнях –6 , –12 , –18 дБ и т. д. относительно максимальной амплитуды эхо-сигнала из отражателя.

Пороговые уровни могут быть установлены различными способами, например, отметив различные уровни на экране прибора или, как описано ниже, путем последовательных приращений по 6 дБ в усилении прибора.

Шаг и скорость сканирования следует установить в зависимости от эффективного размера ультразвукового пучка и требуемой точности графического построения.

Е.2.2 Регулировка усиления

Усиление прибора устанавливают таким образом, чтобы максимальная амплитуда от оцениваемого отражателя достигала контрольного уровня N, находящегося между 20 % и 80 % от полноэкранной амплитуды.

Е.2.3 Процедура

Ниже приведен один из возможных методов графического построения отражателя.

Усиление возрастает на 6 дБ выше контрольного уровня N до нового значения N_1, а полная площадь отражателя сканируется в направлениях x и y. Результаты этих сканирований наносят на график, вручную или автоматически, отмечая положения оси преобразователя на плоскости прямоугольных координат, когда амплитуда эхо-сигнала достигает контрольного уровня N_1. После увеличения усиления на следующие 6 дБ процедуру графического построения повторяют до значения N_2. Затем графики на N_1 и N_2 оценивают относительно друг друга и профиля пучка 6 дБ преобразователя. Могут наблюдаться следующие ситуации:

Ситуация 1

При уровне усиления N_1 график воспроизводит профиль пучка 6 дБ преобразователя [см. рисунок Е.1a)]. В этом случае:

a) отражатель менее или равен профилю пучка 6 дБ преобразователя; или

b) отражающая зона отражателя при данной настройке усиления N_1 менее профиля пучка 6 дБ.

График при настройке усиления N_2 позволяет разрешить эти две возможности, поскольку если увеличение размера по периферии графика между настройками усиления N_1 и N_2 не превышает полуширину пучка 6 дБ, применяют гипотезу a), приведенную выше.

Если увеличение размера по периферии графика при настройке усиления N_2 превышает полуширину пучка 6 дБ, то это свидетельствует об обнаружении дополнительных менее отражающих зон, которые вносят вклад в построенные новые изображения. В этом случае отражатель следует рассматривать в ситуации 2 b).

Ситуация 2

При уровне усиления N_1 нанесенный на график размер отражателя превышает профиль пучка 6 дБ преобразователя. В этом случае применяют a) или b):

a) увеличение размера по периферии графика между настройками усиления N_1 и N_2 не превышает полуширину пучка 6 дБ преобразователя. В этом случае принимается, что размер отражателя в рассматриваемой плоскости определяется графиком при уровне N_1 [см. рисунок Е.1b)];

b) когда графическое построение выполняется при уровне усиления N_2, появляются дополнительные отражающие зоны. Если это происходит, последующие графики следует строить после увеличения усиления в приращениях по 6 дБ. Затем принимается, что размер отражателя определяется построенным изображением при настройке усиления на 6 дБ ниже, чем при настройке, при которой увеличение размера по периферии изображения уже не превышает полуширину пучка 6 дБ преобразователя [см. рисунки Е.1b) и Е.1c)].

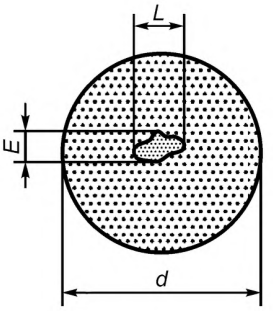
Все операции оценки представлены на рисунке Е.3.

Е.3 Контроль при наклонном падении

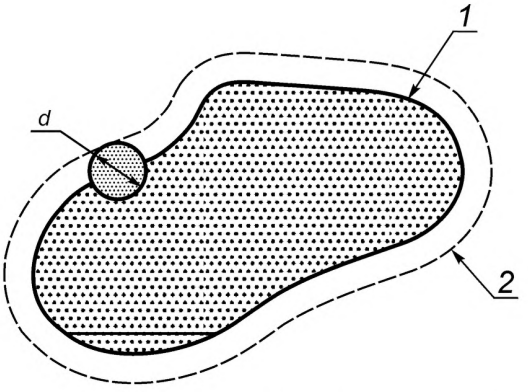
Основная процедура подобна той, что описана выше. Она отличается от контроля при перпендикулярном падении пучка тем, что в то время как сканирование преобразователя происходит только в одной плоскости (т. е. параллельно поверхности исследуемого объекта), действительное построенное изображение — это то, которое видит преобразователь (т. е. в плоскости, перпендикулярной к оси ультразвукового пучка). Из-за этого построенное

изображение искажено в одном направлении (в плоскости, определяемой осью пучка) и перпендикулярно к поверхности сканирования.

Таким образом, когда речь идет о процедуре графического построения, оценка размеров в методе контроля при косом падении пучка подчиняется тем же правилам, что и при контроле при перпендикулярном падении пучка. Однако соответствующий нанесенный размер необходимо умножить на cos α, где α — угол падения пучка, чтобы оценить размер отражателя, перпендикулярного к оси пучка [см. рисунки E.2a) и E.2b)].

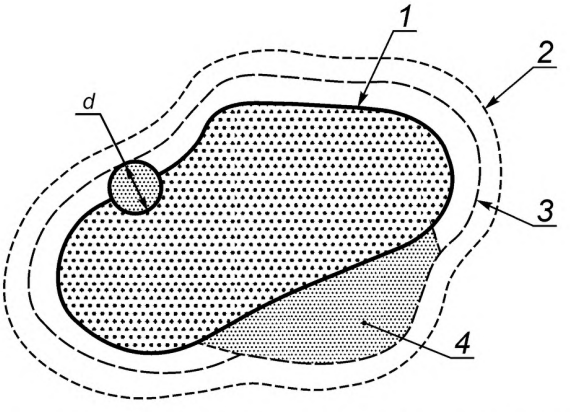


a) Дефект менее поперечного сечения *d* используемого ультразвукового пучка



1 — изображение при уровне N_1; *2* — изображение при уровне N_2

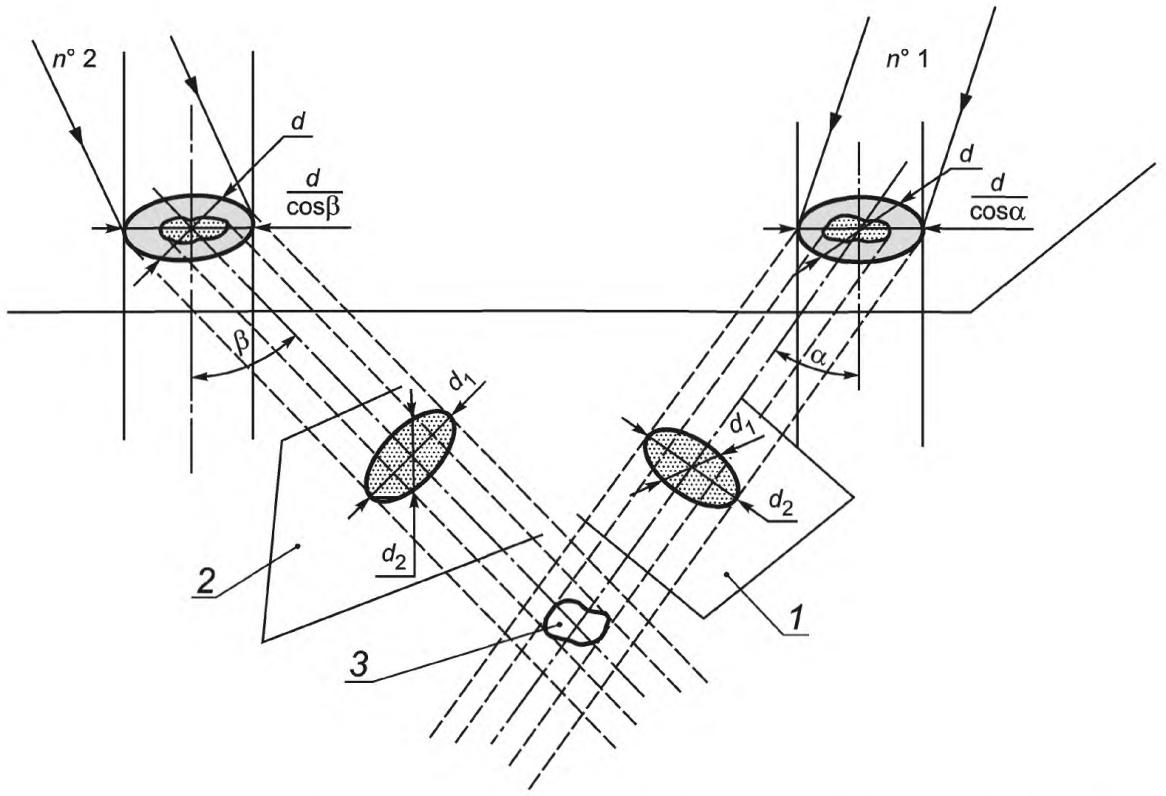
b) Несплошность, превышающая *d*



1 — изображение при уровне N_1; *2* — изображение при уровне N_2; *3* — изображение при уровне N_3; *4* — новая отражающая зона

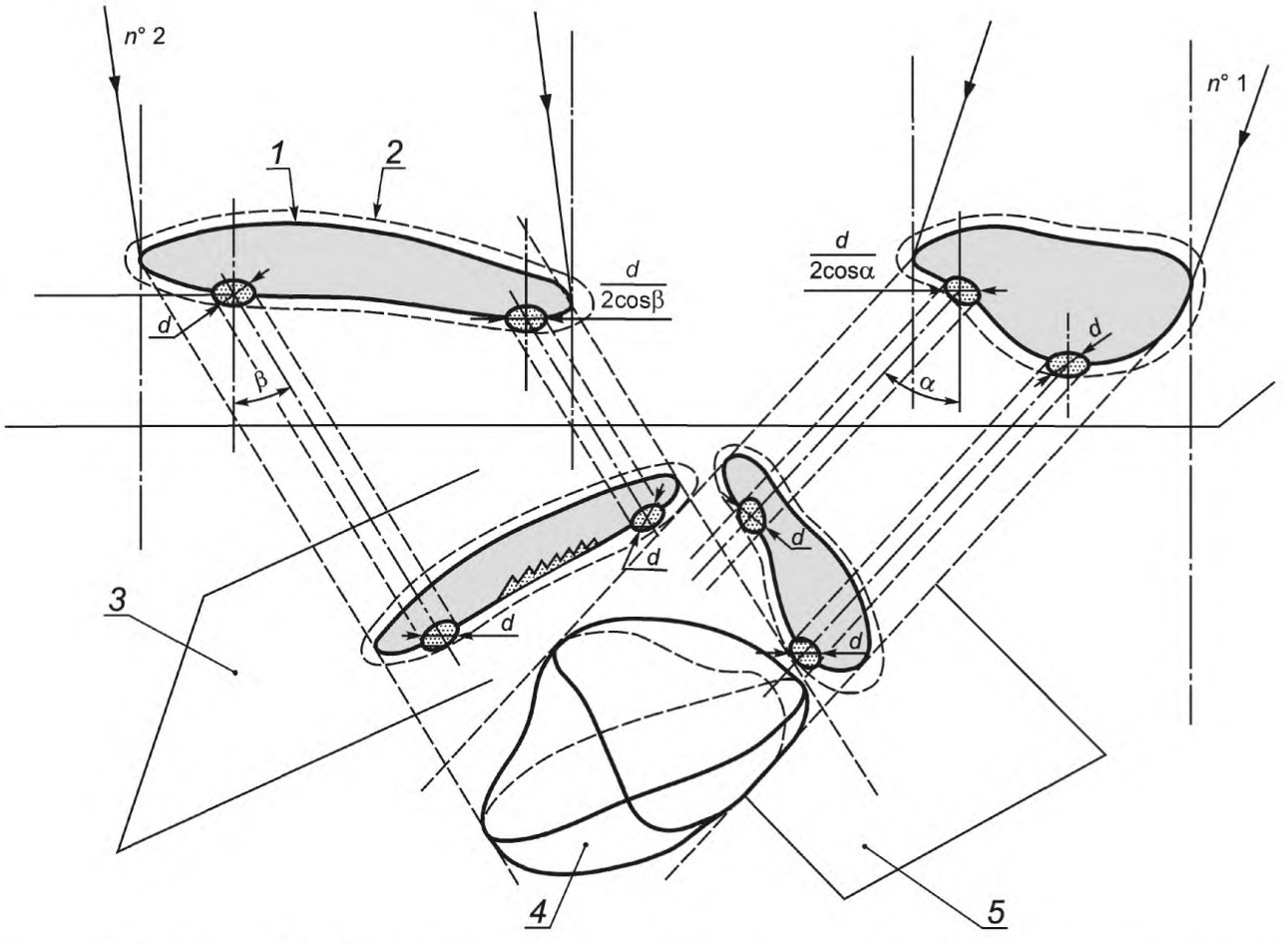
c) Внешний вид новой отражающей зоны

Рисунок E.1 — Контроль с помощью перпендикулярных к поверхности продольных волн



1 — плоскость поперечного сечения первого пучка; *2* — плоскость поперечного сечения второго пучка; *3* — несплошность

a) Несплошность, менее *d*



1 — уровень N_i; *2* — уровень N_{i+1}; *3* — плоскость поперечного сечения второго пучка; *4* — несплошность; *5* — плоскость поперечного сечения первого пучка

b) Несплошность, превышающая *d*

Рисунок Е.2 — Контроль с помощью наклонного пучка сдвиговых или продольных волн

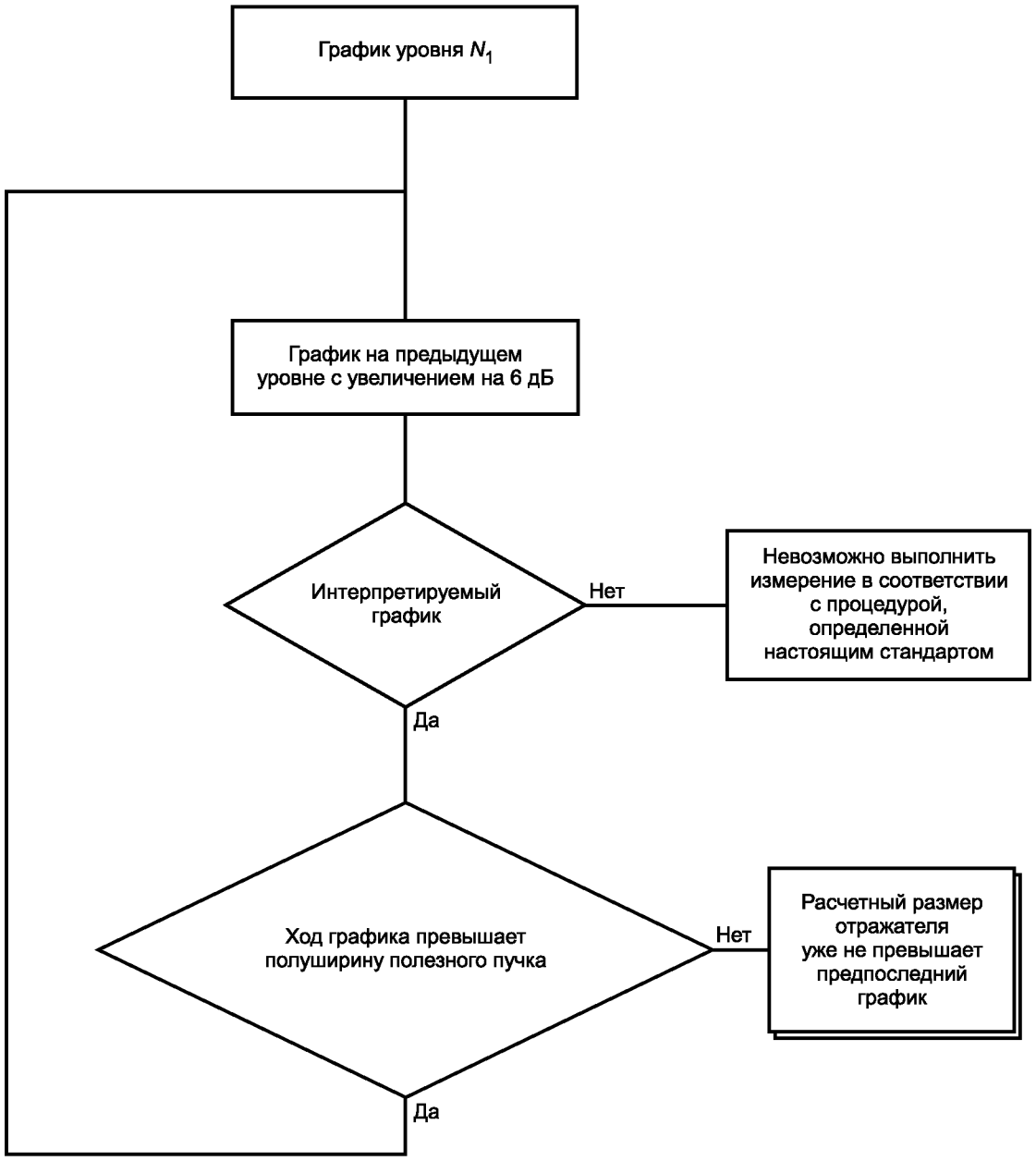


Рисунок Е.3 — Блок-схема операций оценки

Приложение F
(справочное)

Математические алгоритмы для оценки размера несплошности

F.1 Большие планарные несплошности

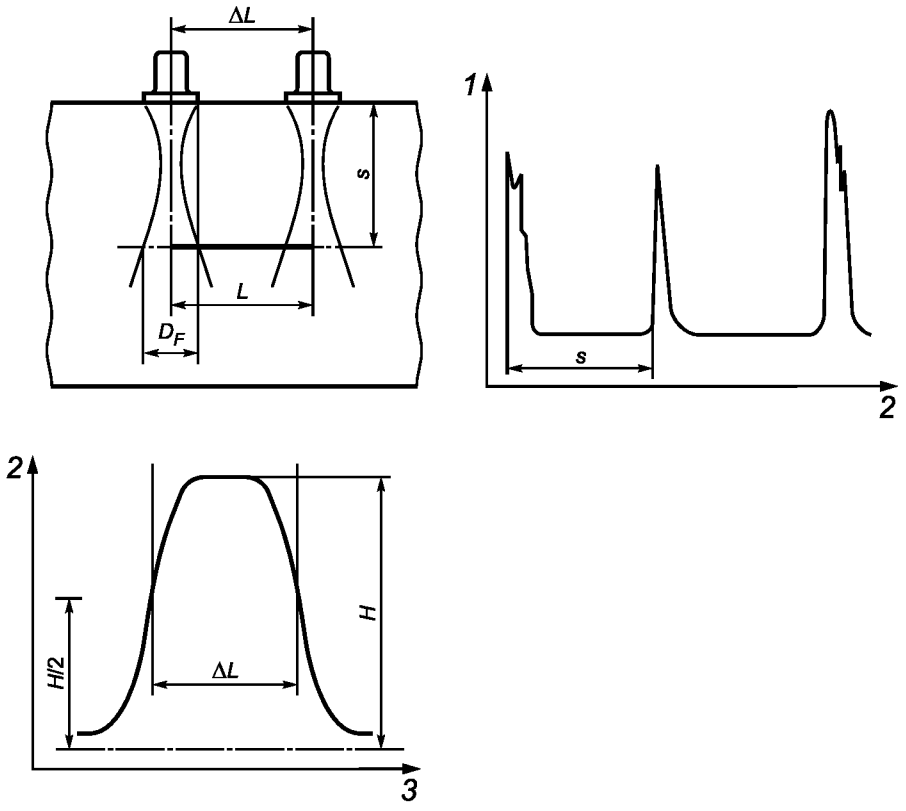
Размер несплошности, превышающей диаметр звукового пучка и параллельной поверхности сканирования, следует оценивать по формуле (см. рисунок F.1):

$$L = \Delta L, \tag{F.1}$$

значимой при

$$s \geq N; \quad L > D_F,$$

где D — диаметр преобразователя в миллиметрах;
$N = 0{,}25\, D^2/\lambda$ длина ближнего поля в миллиметрах;
$D_F = \lambda s/D$ диаметр звукового пучка на расстоянии s;
λ — длина волны в миллиметрах;
s — акустический путь в миллиметрах;
L — действительная длина несплошности;
ΔL = падение 6 дБ — длина.



1 — развертка типа *A*; *2* — амплитуда эхо-сигнала; *3* — положение преобразователя

Рисунок F.1 — Оценка размера большой несплошности, параллельной поверхности сканирования

F.2 Небольшие планарные несплошности

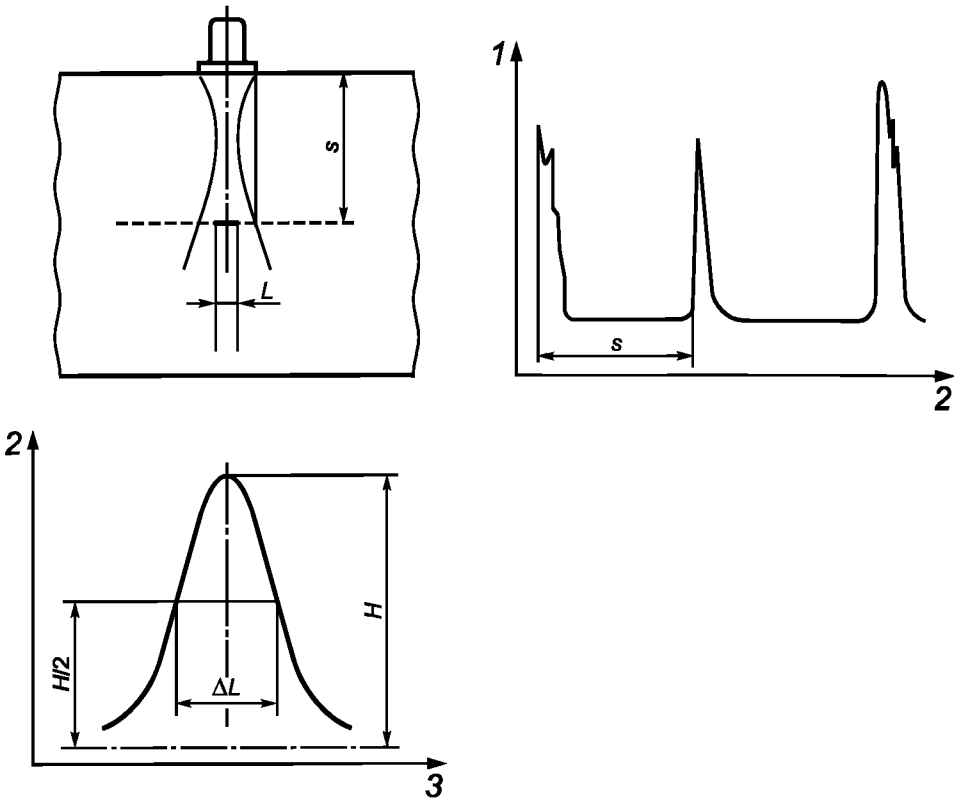
Размер несплошности, которая меньше диаметра звукового пучка и параллельна поверхности сканирования, следует оценивать по формуле (см. рисунок F.2):

$$L = \sqrt{\left\{\left(\frac{1{,}03 \cdot s \cdot \lambda}{\Delta L \cdot D_{eff}}\right)^2 - 1\right\}} \cdot \frac{(D_{eff})^2}{2{,}13}, \tag{F.2}$$

значимой при

$$s \geq 4N; \quad L \geq 2\lambda,$$

где $D_{eff} = 2 \cdot \sqrt{\lambda_{eff} \cdot N_{eff}}$. (F.3)



1 — развертка типа А; *2* — амплитуда эхо-сигнала; *3* — положение преобразователя

Рисунок F.2 — Оценка размера небольшой несплошности, параллельной поверхности сканирования

Эту процедуру следует выполнять с помощью двух преобразователей с различной длиной ближнего поля в отношении не менее 2:1.

Пример 1 — Преобразователь 1 (f_1; D_1),
Преобразователь 2.1 ($f_{2.1} = 2f_1$; $D_{2.1} = D_1$).
Пример 2 — Преобразователь 1 (f_1; D_1),
Преобразователь 2.2 ($f_{2.2} = f_1$; $D_{2.2} = 1{,}5\ D_1$),
где f — частота;
d — диаметр преобразователя.

Для выбранной пары преобразователей необходимо отметить следующие значения:
преобразователь 1:
ΔL_1 — длина, определенная методом падения амплитуды на 6 дБ;
L_1 — длина, вычисленная с помощью формулы (F.2);
преобразователь 2:
ΔL_2 — длина, определенная методом падения амплитуды на 6 дБ;
L_2 — длина, вычисленная с помощью формулы (F.2).
Если два из этих четырех значений равны, то это значение считается размером несплошности.
Если оцененный размер несплошности меньше двух длин волны, отражатель следует считать точечным, дискообразным отражателем, диаметр которого можно вычислить из амплитуды эхо-сигнала (например, методом АРД).

F.3 Планарные несплошности в цилиндрическом испытуемом объекте

В случае планарных несплошностей размеры (длину и ширину) можно оценить методами, описанными в F.1 и F.2 (см. рисунок F.3).

Если оценка длины планарной несплошности превышает диаметр звукового пучка, то ширину несплошности W можно вычислить из уравнения:

$$W = \frac{1{,}11(d_{DSR})^2}{\sqrt{s \cdot \lambda}}, \quad \text{(F.4)}$$

где d_{DSR} — диаметр «дискообразного отражателя», соответствующий амплитуде эхо-сигнала индикации;

s — акустический путь;

λ — длина волны.

В случае коротких отражателей (по сравнению с диаметром акустического поля) можно использовать приближенное уравнение:

$$W = \frac{(d_{DSR})^2}{L}, \quad \text{(F.5)}$$

где L — осевая длина несплошности, определенная методом по F.1 или F.2.

Примечание — Из-за шероховатости реальных планарных несплошностей ширина несплошности, вычисленная из амплитуды эхо-сигнала, может быть меньше ширины, определенной на основе динамичного эхо-сигнала, как описано в пункте F.2.

$$W = \frac{0{,}32\,\lambda}{\sin\left(\frac{\Delta W \cdot 180}{s \cdot \pi}\right)}. \quad \text{(F.6)}$$

Для оценки размера несплошности в осевом направлении можно использовать один из методов, описанных в F.1 или F.2.

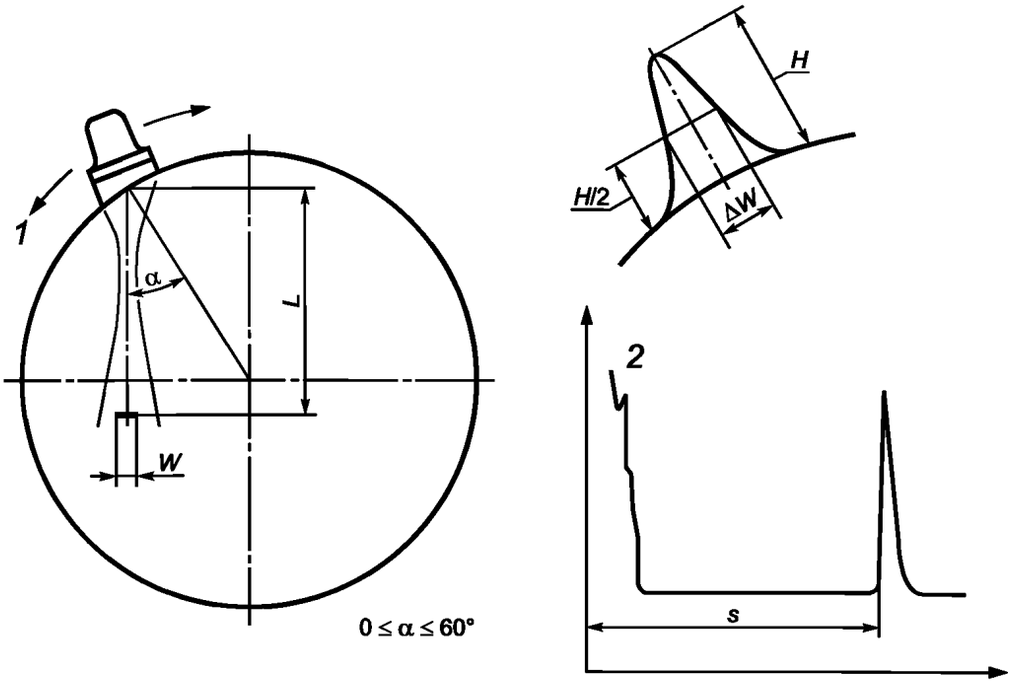
Формула (F.6) значима только в том случае, когда

$$s \geq 3N,$$

$$W > \lambda,$$

где W — действительная ширина несплошности;

ΔW = падение 6 дБ — ширина.



1 — клин; *2* — развертка типа *A*

Рисунок F.3 — Оценка размера несплошности на цилиндрической поверхности сканирования

Приложение G
(справочное)

Примеры специальных методов оценки размера

G.1 Дельта-методы

a) Дифракционно-временной (TOFD) метод

Данный метод в его простейшем виде показан на рисунке G.1. Более подробные сведения об этом методе приведены в ИСО 16828. Обычно используются наклонные преобразователи с очень широким расхождением пучка. Поскольку расстояние $2s$ между ними поддерживается постоянным, то в дополнение к дифрагированным эхо-сигналам будут получены два контрольных эхо-сигнала, один из которых обусловлен прямым прохождением между двумя преобразователями (боковая волна), а другой — отражением от дна. В простом случае, когда несплошность находится посередине между преобразователями, глубину верхней вершины вычисляют по формуле

$$T = \frac{2\sqrt{d^2 + s^2}}{v}, \qquad (G.1)$$

где T — время, которое необходимо импульсу для прохождения пути от передатчика к приемнику через вершину трещины, с;

$2s$ — расстояние между преобразователями, мм;

d — глубина вершины трещины под испытуемой поверхностью, мм;

v — скорость распространения звука, мм/с.

Подобное вычисление используют и для определения глубины нижней вершины.

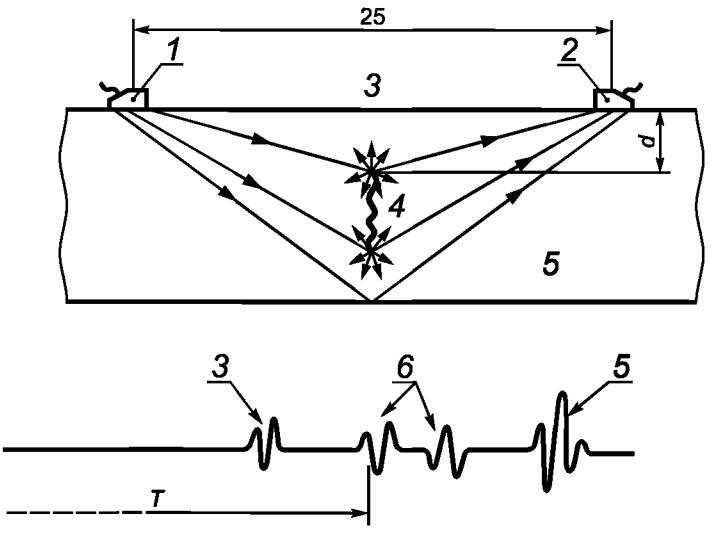
Поскольку можно точно измерить время, которое необходимо дифрагированному импульсу для прохождения пути от одного преобразователя к другому, возможна значительно большая точность оценки размера (в частности для больших несплошностей), чем та, которая может быть получена с помощью методов, основанных на амплитуде эхо-сигнала из несплошности. Однако чтобы интерпретировать данные TOFD, желательно отобразить наблюдаемые сигналы с разверткой типа *B*.

b) Пример дельта-метода с двумя преобразователями

На рисунке G.2 показан случай оценки размера трещин, перпендикулярных к оси пучка, выходящих на поверхность напротив поверхности сканирования.

В этом случае можно выполнить калибровку на образцах, содержащих пропилы с прямоугольными сечениями различной высоты, расположенные перпендикулярно к оси пучка.

На развертке типа *A* размер h трещины определяется путем сравнения двух эхо-сигналов из трещины с взаимным положением аналогичных эхо-сигналов, создаваемых надрезами в калибровочном образце.



1 — передатчик; *2* — приемник; *3* — боковая волна; *4* — трещина; *5* — донный эхо-сигнал; *6* — дифрагированные волны

Рисунок G.1 — Расположение преобразователя и типичная для метода TOFD форма высокочастотного эхо-сигнала

G.2 Метод синтезированной фокусированной апертуры (SAFT)

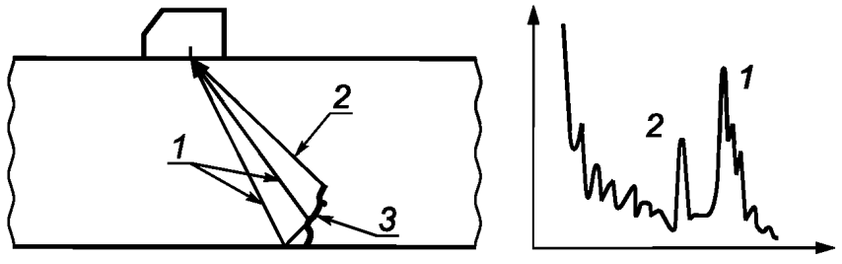
SAFT — это метод моделирования большого фокусирующего преобразователя путем цифровой обработки всей информации об интервале/амплитуде, полученной с помощью сканирования несплошности обычным нефокусированным пучком. Его преимущество над обычным фокусирующим преобразователем заключается в наличии переменного фокусного расстояния.

Основной принцип этого метода следующий:

При сканировании несплошности ультразвуковым пучком вначале наблюдается сигнал в момент, когда передний фронт пучка пересекает несплошность. При дальнейшем сканировании амплитуда сигнала возрастает до максимума по оси пучка, а затем падает до нуля на заднем фронте пучка. Наряду с этими изменениями амплитуды изменяется также время прохождения акустического пути; в случае прямого преобразователя акустический путь будет минимальным, когда будет находиться на оси пучка. Применив электронную коррекцию к этим изменениям в интервале по ширине пучка, можно взаимно сложить большое число отдельных сигналов из несплошности. Этот процесс, выполняемый на оцифрованных сигналах с помощью соответствующего компьютера, значительно улучшает отношение сигнал/шум, поскольку шумовые сигналы хаотически накладываются, в то время как сигналы из несплошности накладываются предпочтительным образом.

Оптимальное наложение сигналов будет происходить только в том случае, когда поправки для интервала акустического пути основаны на истинном положении несплошности. Поправки, основанные на ложном положении, приведут к значительно сокращенной сумме наложенных сигналов. Этот метод очень чувствителен к данному эффекту и, следовательно, очень точная оценка положения несплошности возможно при выполнении ряда суммирований, основанных на различных предполагаемых положениях несплошности, и регистрации положения, при котором наблюдается максимальная амплитуда наложенных сигналов.

Этот метод особенно полезен для определения положений источников сигналов дифракции на вершинах планарной несплошности, поскольку эти сигналы часто очень малы и могут быть потеряны в общем уровне шума при использовании обычных методов определения размера.



1 — эхо-сигнал из корня трещины; *2* — дифракция на вершине трещины; *3* — трещина

Рисунок G.2 — Дельта-метод. Примеры поперечной трещины, выходящей на поверхность напротив поверхности сканирования

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 16810:2012	—	*
ИСО 16811	—	*
ИСО 16823	—	*
ИСО 16828	—	**
ИСО 23279	—	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

** Соответствующий национальный стандарт отсутствует. Международный стандарт на языке оригинала находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

УДК 620.179.16:006.354 ОКС 19.100

Ключевые слова: неразрушающий контроль, ультразвуковой контроль, несплошность, размер несплошности, поперечное сканирование, боковое сканирование, эхо-сигнал

Редактор *Л.Б. Чернышова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 26.07.2016. Подписано в печать 25.08.2016. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,21. Тираж 31 экз. Зак. 1988.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru