

Ультразвуковая толщинометрия (УТТ)

Считается, что курс по ультразвуковой толщинометрии (УТТ) не является одним из самых сложных для освоения в процессе обучения. Но не каждый специалист может усвоить курс по ультразвуковой толщинометрии в полном объеме с тем условием, чтобы успешно выдержать комплексный экзамен в соответствии с СТБ EN 473:2011 и EN ISO 9712:2012.

Для того, чтобы усвоить курс по ультразвуковой толщинометрии, специалист должен иметь технический склад ума, а лучше среднее или высшее техническое образование, уметь выполнять расчёты на калькуляторе и выдержать курс обучения без пропусков занятий.

Целью курса «Ультразвуковая толщинометрия» является совершенствование и углубление знаний по ультразвуковой толщинометрии, получение практических навыков работы с ультразвуковыми толщиномерами типа Булат-1S, Туз-1, Туз-2, DM-4, DMS и другими современными толщиномерами.



Минимальное количество часов для проведения обучения, которое включает в себя получение, как теоретических знаний, так и практических навыков:

- Уровень 1 - 40 часов
- Уровень 2 - 24 часа (непосредственное обучение на Уровень 2 - 64 часа).

Срок обучения на 1-й уровень – 5 дней (1 неделя).

Срок обучения на 2-й уровень – 8 дней (1,5 недели).

Форма обучения – с отрывом от производства.

Режим занятий – 8 -10 часов в день.

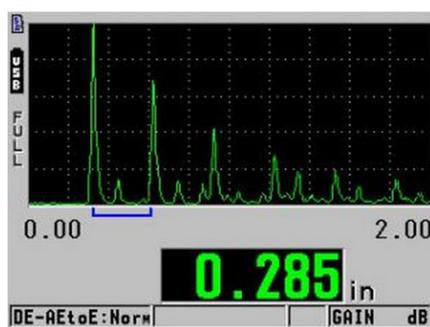
Традиционно ультразвуковая толщинометрия является составной частью ультразвукового контроля, и таким образом, её относят к методам НК.

Точность проведения измерений с помощью ультразвука - это важный момент, который выделяет ультразвуковую тощинометрию из области дефектоскопии и должен быть учтен при подготовке специалистов, проводящих ультразвуковые измерения толщины.

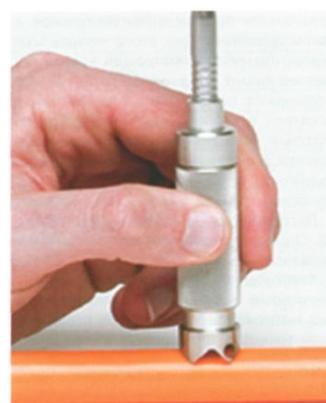
Специалист должен знать, с какой точностью он должен выполнять измерения и как её добиться при проведении измерений. Практика показывает, что персонал, имеющий сертификат по ультразвуковой дефектоскопии, в курс обучения которого не входила углубленная подготовка по обеспечению точности проведения измерений, может испытывать затруднения при обеспечении точности при проведении измерений, связанные с оценкой остаточной толщины изделия в процессе эксплуатации. Очевидно, что сертификация специалистов для данного направления актуальной.



Измерение толщины через покрытие.



Измерение толщины по переотраженным эхо-сигналам.



Использование V-образного пружинного держателя.

В соответствии с EN 14127:2011 специалист, выполняющий ультразвуковые измерения толщины в соответствии с данным документом должен знать физические основы ультразвука, а также иметь теоретические и практические навыки измерения толщины ультразвуковым методом. Кроме этого, специалист должен иметь

информацию конструкции объекта контроля подлежащего измерению и его материале, особенностях эксплуатации, возможном состоянии его обратной поверхности. В качестве подтверждения своей квалификации специалист должен иметь сертификат в соответствии со стандартом СТБ EN 473 (EN ISO 9712:2012) или его эквивалента.

Особую актуальность получаемые знания при прохождении данного курса пригодятся специалистам при подготовке к проведению измерений остаточной толщины объектов без удаления покрытия, горячих объектов, например, с температурами $100^{\circ}\text{C} \div 200^{\circ}\text{C}$ и более, а так же написание методики по оценке неопределённости измерений с использованием ультразвукового толщиномера.

Как вариант одной из методик, разработанной преподавателем нашего учебного центра Марцинкевичем А. В. приводится ниже. Автор не претендует на совершенство методики. Любые вопросы и предложения принимаются автором к обсуждению и рассмотрению.

Методика выполнения измерений ультразвуковым методом неразрушающего контроля с использованием толщиномера Туз-2

Содержание

- 1 Вводная часть.
- 2 Нормативные ссылки
- 3 Точность измерений
- 4 Метод измерений
- 5 Средства измерений и образцы для настройки
- 5.1 Толщиномеры
- 5.2 Образцы для настройки
- 6 Квалификация персонала
- 7 Условия проведения измерений
- 8 Подготовка к проведению измерений
- 8.1 Требования к объекту контроля
- 8.2 Настройка толщиномера
- 9 Выполнение измерений
- 10 Обработка результатов измерений
- 10.1 Модель измерения
- 10.2 Анализ входных величин
- 10.3 Анализ корреляций
- 10.4 Суммарная неопределённость
- 10.5 Расширенная неопределённость
- 11 Результаты наблюдений
- 12 Оформление результатов измерений

Приложение А (справочное) Настройка толщиномера Туз-2

Приложение Б (справочное) Пример расчёта неопределённости измерений при проведении ультразвуковой толщинометрии

1 Вводная часть

Измерение толщины стенки стальных монометаллических объектов, таких как технологические трубопроводы, сосуды, аппараты, резервуары, змеевики печей ультразвуковым эхо-импульсным методом при одностороннем доступе с помощью ультразвуковых толщиномеров Туз-1, Туз-2, Булат 1М, Булат 1S посредством измерения времени прохождения ультразвукового импульса.

2 Нормативные ссылки

В данном документе использованы ссылки на ниже перечисленные документы:

ГОСТ 8.010-99 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения.

ГОСТ ИСО 5577-2009 Контроль неразрушающий ультразвуковой. Словарь.

СТБ 8003-93 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверка средств измерений. Основные положения.

СТБ 8004-93 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений.

СТБ EN 473-2011 Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала в области НК. Общие положения.

СТБ ИСОМЭК 17025-2007 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

ISO/IEC Guide 98 Руководство по оценке неопределённости измерений.

EN 14127:2011 Неразрушающий контроль. Ультразвуковой метод измерения толщины.

3 Точность измерений

Точность измерений рассчитывается в соответствии с настоящей методикой. Точность измерений должна указываться в виде численного значения расширенной неопределённости в миллиметрах умножением стандартной неопределённости на коэффициент охвата $k=2$ при доверительной вероятности 95%.

4 Метод измерений

Измерения толщины проводят косвенно эхо-импульсным ультразвуковым методом.

Измерение толщины осуществляется на основе результатов измерения интервала времени возбуждения ультразвукового импульса излучающей пьезопластиной (источник излучения) до момента прихода первого эхо-сигнала на приемную пьезопластину (приемник излучения) с учетом времени пробега ультразвука в линиях задержки и контактной смазке (рисунок 1).

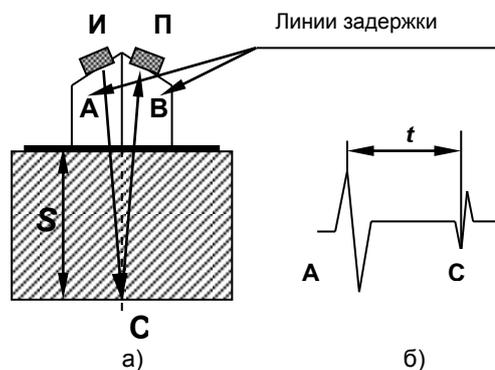


Рисунок 1 - Схема измерения раздельно-совмещенным преобразователем. Путь ультразвука имеет V-образную траекторию пути: а - ПЭП с плоским протектором с линиями задержки и осуществлением контакта посредством жидкости; б – импульсы при прохождении ультразвука.

5 Средства измерений и образцы для настройки

5.1 Толщиномеры

Ультразвуковые измерения проводят при помощи толщиномеров, предназначенных для измерения времени распространения ультразвука. Как правило, толщиномер состоит из электронного блока, ПЭП и соединительного кабеля.

Должны использоваться толщиномеры прошедшие государственные приёмочные испытания согласно СТБ 8001 или метрологическую аттестацию согласно СТБ 8004.

Измерение толщины должно быть выполнено с помощью ультразвукового толщиномера с цифровым индикатором.

При проведении измерений применяются раздельно-совмещенные ПЭП, излучающие продольные волны по нормали к поверхности.

ПЭП должны быть подобраны таким образом, чтобы рабочий диапазон ПЭП в соответствии с паспортом на толщиномер перекрывал измеряемый диапазон.

Должны применяться ПЭП в соответствии с требованиями изготовителя толщиномера.

5.2 Образцы для настройки

В качестве образцов для проведения калибровки толщиномера с целью последующего проведения измерений могут быть использованы:

- а) контрольные образцы (КО);
- б) бездефектные участки изделия подлежащего контролю.

КО предназначены для проверки работоспособности и настройки толщиномера.

Каждый КО должен иметь маркировку, регистрационный номер и толщины, по которым проводится настройка и паспорт.

В паспорте на КО должны указываться тип, регистрационный номер образца, его назначение, результаты аттестации и поверок. К паспорту должен быть приложен чертеж КО. Паспорт подписывается руководителями метрологической службы и ответственного за неразрушающий контроль организации.

Эскиз КО (рекомендуемый) для измерения плоскопараллельных изделий, труб, штуцеров и гибов диаметром более 100мм приведен на рисунке 2.

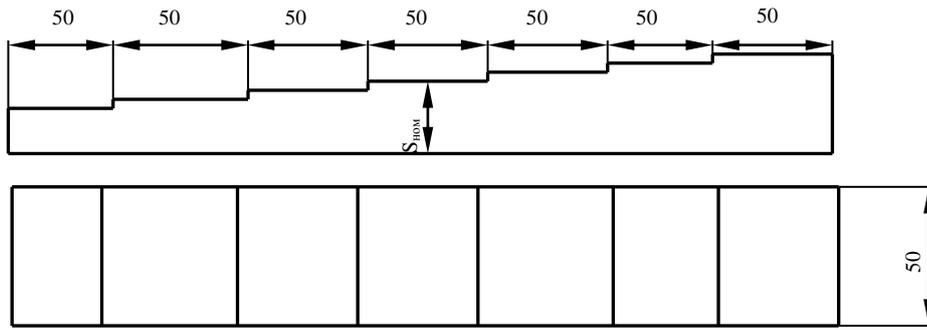


Рисунок 2 - КО для настройки толщиномера при измерении толщины основного металла плоскопараллельных изделий: $S_{НОМ}$ – номинальная толщина контролируемого элемента изделия

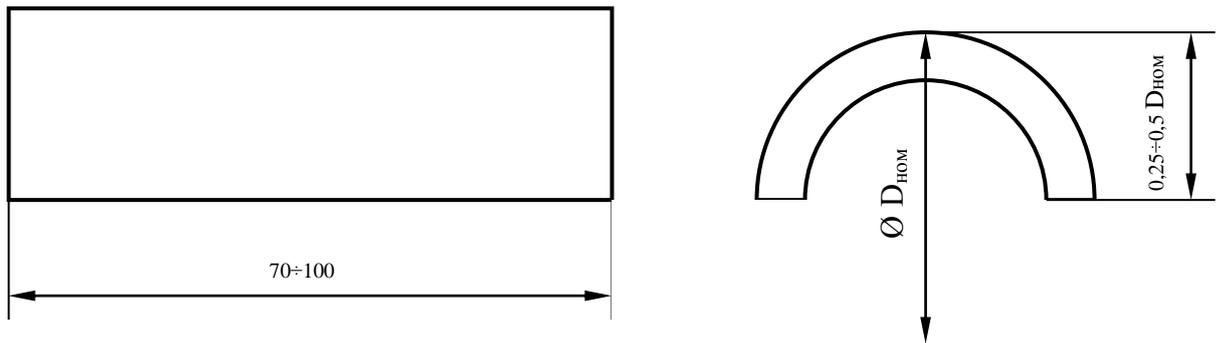


Рисунок 3 - КО для настройки толщиномера при измерении толщины основного металла изделий с криволинейной поверхностью в виде труб: $D_{НОМ}$ – номинальный диаметр контролируемого элемента изделия

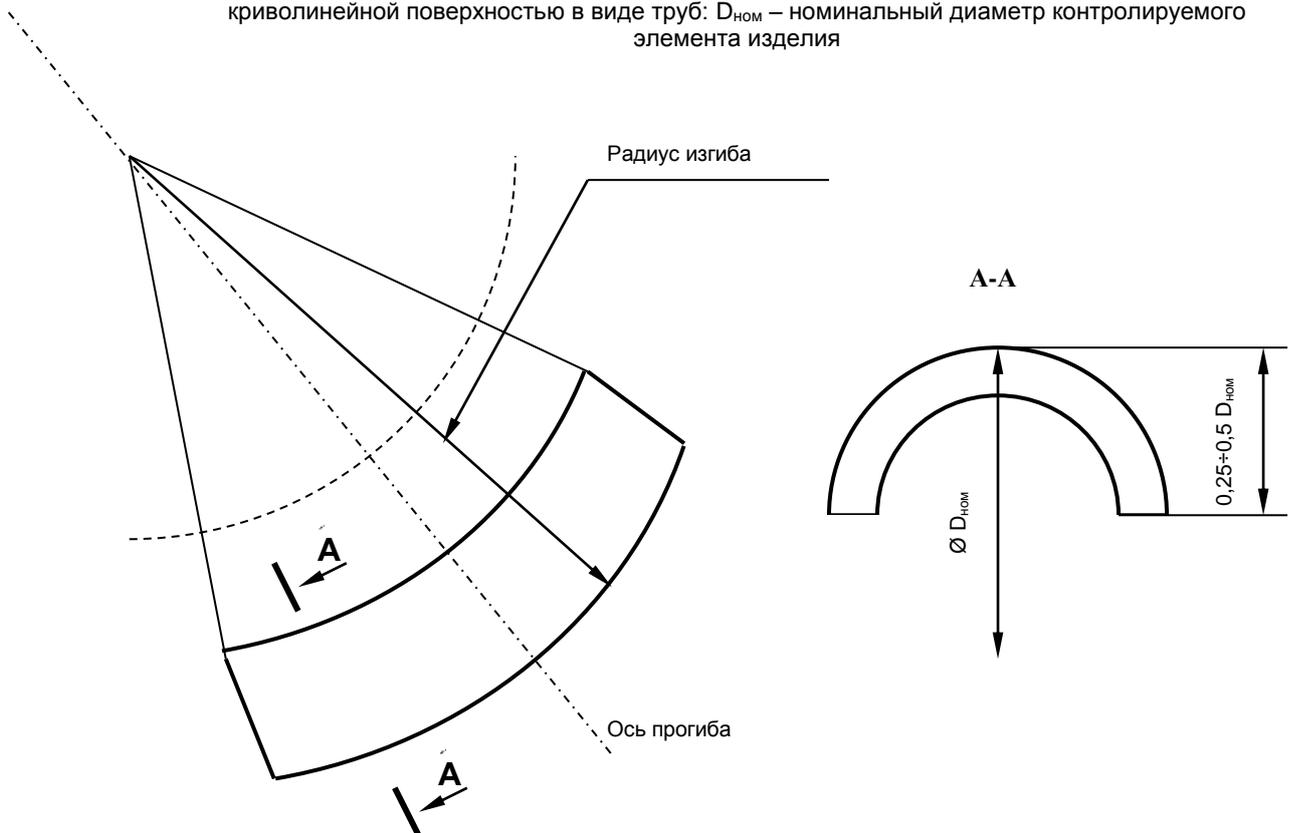


Рисунок 4 - КО для настройки толщиномера при измерении толщины основного металла изделий с криволинейной поверхностью в виде гибов труб: $D_{НОМ}$ – номинальный диаметр контролируемого элемента изделия

В металле образцов не должно быть внутренних дефектов, которые могут быть выявлены ультразвуковыми методами контроля.

На рабочих поверхностях КО, т.е. на поверхностях установки ПЭП, не должно быть отслаивающейся окалины, рыхлой коррозии, забоин, вмятин трещин и других поверхностных дефектов.

Шероховатость рабочих поверхностей КО, R_a , должна быть не хуже 2,5 мкм.

Диапазон толщин КО должна удовлетворять измеряемому диапазону. Толщина одной ступеньки КО должна соответствовать номинальной или минимальной толщине контролируемого соединения.

Толщины для настройки и скорость ультразвука в КО должны быть известны.

При измерении толщины может проводиться настройка аппаратуры по одной или нескольким точкам КО.

При измерении толщины труб и гибов диаметром менее 100 мм КО выполняются в виде фрагментов этих изделий. КО могут изготавливаться из материала объекта контроля, имеющего такие же соответствующие качество поверхности ввода ультразвука и обратной поверхности, геометрические отклонения и структуру. Фрагменты изделий в качестве КО могут применяться и в других случаях по решению специалистов 3^{-го} уровня по ультразвуковому контролю.

Эскизы КО (рекомендуемые) для измерения труб, штуцеров и гибов диаметром до 100 мм приведены на рисунках 3 и 4.

6 Квалификация персонала

К проведению работ допускаются специалисты имеющие 1, 2 или 3 уровень квалификации в соответствии со стандартом СТБ ЕН 473 по ультразвуковому методу неразрушающего контроля, изучившего данную методику.

7 Условия проведения измерений

Условия проведения измерений должны находиться в соответствии с технической документацией на толщиномер

Наиболее качественные выполнения измерений толщины металла изделий достигается при их проведении в случае положительной температуры изделия и окружающей среды от +5⁰ до +40⁰С. При более низких или более высоких температурах требование выполнения калибровки аппаратуры при температуре контроля является обязательным. Настройка толщиномера на КО должна проводиться при температуре контроля.

Шероховатость подготавливаемой поверхности должна быть не хуже R_z 40 мкм.

Кривизна контролируемой поверхности должна находиться в соответствии с технической документацией на прибор.

8 Подготовка к проведению измерений

8.1 Требования к объекту контроля

Перед началом выполнения измерений с помощью визуального осмотра конструкции необходимо убедиться в качестве подготовленной поверхности и отсутствии видимых дефектов с целью возможности проведения измерений.

Поверхность измерения должна быть ровной, очищена от пыли, загрязнений, брызг металла, отслаивающегося защитного слоя и других помех, влияющих на процесс измерения. Шероховатость подготовленной поверхности должна быть не хуже R_z 40 мкм.

Предпочтительно, чтобы размеры подготовки зоны контакта были, по меньшей мере, в два раза больше размера (диаметра) преобразователя.

При подготовке к измерениям должен быть обеспечен свободный доступ к объекту измерения и возможность размещения средств измерения. Средства измерений должны быть исправны, поверены и подготовлены в соответствии с инструкцией по их эксплуатации.

Каждый геометрический параметр конструкции измеряют, как правило, в нескольких наиболее характерных сечениях или местах, которые указываются в нормативно-технической, проектной или технологической документации на объект измерения.

Конструкция должна быть размечена на участки, подлежащие контролю. Точки установки преобразователей пронумерованы в соответствии со схемой, указанной в технической документации. Разметку следует выполнять так, чтобы она не мешала измерению и не стиралась при осуществлении процесса измерения.

Число и расположение контролируемых участков должно указываться проектной организацией в рабочих чертежах конструкций в зависимости от геометрических размеров, назначения и технологии их изготовления.

Перед проведением контроля должны быть освобождены от жидкости трубы, резервуары и т. д.

Допускается выполнение измерений конструкций наполненных водой или другой жидкостью (трубы, резервуары и др). При этом возможность выполнения толщинометрии и точностные характеристики измерений в этих условиях должны быть предварительно установлены экспериментальной проверкой по решению специалистов 3^{-го} уровня по ультразвуковому контролю.

Между изделием и рабочими поверхностями ультразвуковых преобразователей должен быть обеспечен надежный акустический контакт.

Акустический контакт между ПЭП и контактной поверхностью осуществляется с помощью контактной жидкости. Плохой контакт приводит к потере энергии ультразвуковой волны, искажению сигнала и временного отрезка пути в изделии.

Для ПЭП со стандартной плоской контактной поверхностью акустический контакт может осуществляться с помощью воды, консистентной смазки, жидкого геля и т. д. Контактная смазка не должна обладать отрицательным воздействием на контролируемый объект и быть безопасной для здоровья оператора.

Время контакта с поверхностью у ПЭП следует устанавливать минимально необходимым временем для проведения измерений в соответствии с рекомендациями производителя.

В некоторых случаях выполняют контроль по поверхности без предварительной подготовки поверхности, однако точность проведения измерений при этом ухудшается.

Поверхность может иметь покрытие. Каждый случай измерения через покрытие требует отдельного рассмотрения. Если имеется возможность удаления покрытия, целесообразно произвести эту операцию. Полной уверенности в том, что под покрытием отсутствует воздушный зазор или воздушное пространство нет.

8.2 Настройка толщиномера

Настройка толщиномера должна выполняться в порядке установленной в документации на толщиномер.

Настройка толщиномера состоит из двух основных операций:

- а) коррекция пробега ультразвука в линии задержки ПЭП («нуль» толщиномера);
- б) установка скорости ультразвука в материале объекта контроля.

Следует обратить внимание на то, что точность проведения измерений напрямую связана с корректностью проведения данных операций. Некачественная настройка может вызвать значительное увеличение неопределённости измерений.

При проведении настройки толщиномеров с цифровой индикацией должны быть выполнены следующие технологические операции:

1. Установка рабочих параметров в меню толщиномера для проведения контроля.

2. Настройка толщиномера:

а) коррекция пробега ультразвука в линии задержки ПЭП («нуль» толщиномера) путём настройки ПЭП по образцу на корпусе толщиномера (при его наличии)*.

*ПРИМЕЧАНИЕ. Толщиномер может выполнять автоматическую установку «ноля». Для уверенности в таких случаях необходимо убедиться в этом по документации на прибор.

б) Установка скорости ультразвука в соответствии со скоростью звука в материале изделия*.

*ПРИМЕЧАНИЕ. Предпочтение следует отдавать настройке с использованием КО, так как поверхность ПЭП может иметь износ. Кроме этого, при калибровке по одной точке точность измеряемого диапазона зависит от выбранной толщины образца для настройки.

Настройка толщиномера может производиться:

- а) с использованием КО;
- б) без использования КО по части бездефектной конструкции с известной толщиной;
- в) без использования КО по установке известной скорости распространения ультразвука в материале изделия.

Для того, чтобы добиться наиболее точных результатов в процессе проведения измерений, следует отдавать предпочтение проведению настройки толщиномера с использованием КО или использовать бездефектный участок конструкции с известной толщиной.

Пример настройки толщиномера «Туз-2» приведен в приложении А.

Проверка настройки толщиномера в процессе выполнения измерений толщины должна производиться через определенные промежутки времени:

- а) перед началом выполнения работы;
- б) через определенные промежутки времени, но не реже чем через четыре часа;
- в) в случае неисправности преобразователя или соединительного кабеля;
- г) в случае значительного изменения температуры материала конструкции или оборудования;
- д) в случае если при выполнении основных операций контроля производится подстройка или перенастройка;

е) по окончании выполнения работ.

9 Выполнение измерений

Измерения проводят на участках, подлежащих контролю в соответствии с разметкой. В каждой точке проводится по одному измерению.

При выполнении измерений остаточной толщины при обследовании в процессе эксплуатации следует обратить внимание на то, что обратная сторона стенок таких конструкции могут быть подвержена сильной эрозии, пятнистой и язвенной коррозии, питтингу которые составляют области с низкой отражательной способностью. На каждом из заранее намеченных участков выполняется как минимум три измерения толщины. За результат измерения принимают минимальное значение.

Считывание результата измерения производится после получения устойчивого и достоверного показания. Для цифровых приборов оно характеризуется либо одним значением, либо двумя, изменяющимися в пределах дискретности прибора. В последнем случае записывают более неблагоприятное значение.

При измерении толщины конструкций по криволинейным поверхностям раздельно-совмещенным преобразователем плоскость акустического экрана, разделяющего излучающий и приемный элементы, должна быть ориентирована перпендикулярно образующей конструкции (рисунок 5), например, трубы.

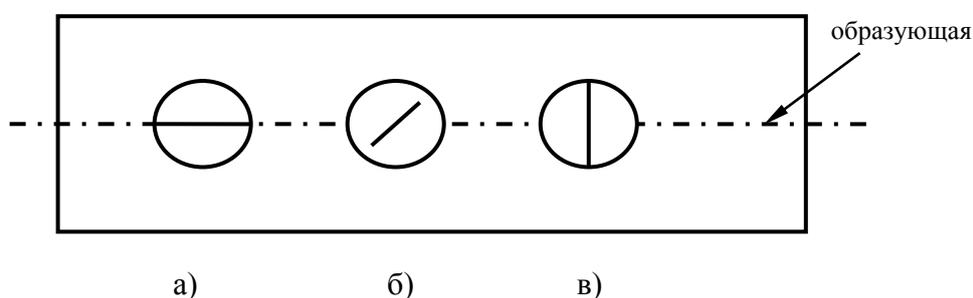


Рисунок 5 - Плоскость акустического экрана раздельно-совмещенного преобразователя прямоугольной формы ориентирована: а), б) - неправильно, в) – правильно.

Раздельно-совмещенные преобразователи характеризуются несимметричностью ультразвукового пучка, поэтому в сомнительных случаях, их рекомендуется при установке на плоской поверхности поворачивать вокруг своей вертикальной оси на 90° .

Перед проведением ультразвуковой толщинометрии целесообразно знать состояние обратной поверхности. В этом можно убедиться путём визуального осмотра, а в недоступных местах с использованием эндоскопов с осуществлением доступа через технологические люки или отверстия.

При отсутствии сведений о характере коррозионных повреждений изделия они могут быть ориентировочно получены при установке ПЭП в заранее намеченном месте изделия на основе следующих рекомендаций:

- толщиномер стабильно показывает значение толщины, равное номинальной толщине изделия или близкое к нему - изделие коррозионным повреждениям не подвергнуто;

- толщиномер стабильно показывает значение толщины меньше номинальной толщины изделия - объект подвергнут сплошной равномерной коррозии;

- толщиномер показывает номинальное значение толщины, а при дальнейшей перестановке ПЭП на ограниченном участке - нулевое (или нестабильное) значение и значение меньше номинального – изделие подвергнуто пятнистой или язвенной коррозии (нулевое и нестабильное показания соответствуют установке ПЭП над скосом коррозионной язвы).

Для того, чтобы добиться высокой точности измерений трубопроводов, резервуаров и других объектов, заполненных жидкостью, перед проведением измерений её целесообразно сливать. В противном случае часть ультразвуковой энергии уходит в жидкость, что приведёт к уменьшению амплитуды отражённого эхо-сигнала от обратной поверхности и, как следствие, снижению точности измерений в сторону увеличения толщины стенки.

Если результат измерения существенно отличается от ожидаемого и не связан с грубой ошибкой измерения, целесообразно эти участки проконтролировать дефектоскопом, с использованием наклонного ПЭП с углом ввода 40° или 50° так как причиной уменьшения показания толщины может быть нарушение сплошности металла. Применение дефектоскопа может быть полезным и в других случаях, когда возникает неопределенность в оценке показаний толщиномера.

10 Обработка результатов измерений

10.1 Модель измерения.

Измерение толщины стенки стальных монометаллических объектов, таких как технологические трубопроводы, сосуды, аппараты, резервуары, змеевики печей ультразвуковым эхо-импульсным методом при одностороннем доступе с помощью ультразвуковых толщиномеров Туз-1, Туз-2, Булат 1М, Булат 1S, осуществляется по первому донному сигналу.

Измерения толщины проводят эхо-импульсными ультразвуковыми толщиномерами с помощью раздельно-совмещенных ПЭП. За счет применения раздельно-совмещенных ПЭП, которые содержат две отдельные пластины, одна из которых работает на излучение, а другая на прием (рисунок 1), в значительной степени уменьшаются реверберационные помехи, что и уменьшает мертвую зону до нужного значения.

Ультразвуковые колебания, которые возбуждаются в объекте контроля раздельно-совмещенным ПЭП, имеют V-образную траекторию, которая может привести к ошибке измерений. Для этого в программное обеспечение приборов заложена коррекция показаний измерений. Таким образом, с учетом коррекции, прибор будет вычислять толщину контролируемого материала по формуле:

$$H = AC \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

В общем случае, если скорость ультразвука в изделии с известна, то, измеряя время t прохождения ультразвука в изделии в прямом и обратном направлениях, можно определить толщину изделия H по формуле:

$$H = \frac{c \cdot t}{2} \quad (2)$$

С учетом схемы измерения остаточной толщины объектов контроля, время распространения ультразвуковых колебаний от поверхности изделия до донной поверхности и обратно связано с толщиной изделия зависимостью:

$$H = h_0 + \delta h_s + \delta h_{Rz} + \delta h_x \quad (3)$$

где H - измеренная толщина объекта контроля;

h_0 – действительная толщина изделия;

δh_s – составляющая толщины изделия, обусловленная погрешностью толщиномера;

δh_{Rz} – составляющая толщины изделия, обусловленная шероховатостью обратной поверхности;

δh_x - составляющая толщины изделия, обусловленная дискретностью измерений.

10.2 Анализ входных величин

Анализ входных величин представлен в таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Входная величина	Неопределенность измерения	Формула для расчёта стандартной неопределённости	Параметры, влияющие на неопределенность измерения
1.	h_0	Показания толщиномера	$u_{h_0} = 0$	-
2.	δh_s	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: Равномерный	$u_{\delta h_s} = \frac{\delta h_s}{\sqrt{3}}$	Определяется при ежегодной аттестации прибора. Эта величина зависит от измеряемой толщины изделия и его марки (приложение А).
3.	δh_{Rz}	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: Равномерный	$u_{\delta h_{Rz}} = \frac{\delta h_{Rz}}{\sqrt{3}}$	Неопределенность, связанная с шероховатостью поверхности ввода и отражающей поверхности.*
4.	δh_x	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: Равномерный	$u_{\delta h_x} = \frac{\delta h_x}{2\sqrt{3}}$	Неопределенность, связанная с дискретностью толщиномера.

Примечания:

* При шероховатости поверхности ввода Rz соответствующей не хуже 40мкм и увеличении шероховатости отражающей поверхности:

- с Rz 40 мкм до Rz 160 мкм, целесообразно увеличить значение входной величины до $\pm 0,1$ мм.

- с Rz 160 мкм до Rz 320 мкм, целесообразно увеличить значение входной величины до $\pm 0,2$ мм.

10.3 Анализ корреляций

Так как все источники неопределенностей имеют разную природу, то все входные величины полагают некоррелированными (независимыми).

10.4 Суммарная неопределённость

Рассчитать суммарную неопределённость в соответствии с формулой:

$$u_n = \sqrt{u_{\delta h_s}^2 + u_{\delta h_{Rz}}^2 + u_{\delta h_x}^2} \quad (4)$$

10.5 Расширенная неопределённость

Рассчитать расширенную неопределённость для вероятности $P = 0,95$ коэффициент охвата $k = 2$ в соответствии с формулой:

$$U_{(H)} = k \cdot u_{(H)} . \quad (5)$$

Пример оценки неопределенности измерения толщины изделия представлен в приложении Б.

11 Результаты наблюдений

Статистическую обработку результатов в процессе измерений при контроле остаточной толщины в местах пятнистой и язвенной коррозии не проводят. За результат измерения принимают минимальное показание толщиномера.

12 Оформление результатов измерений

Результат измерения записывается в виде:

$$H = H_x \pm U_{(H)}, \text{ мм} \quad (6)$$

Пример: 3,80 мм ± 0,20 мм.

Значение доверительной вероятности допускается не указывать, если $P = 0,95$.

При оформлении результатов нескольких измерений, имеющих одинаковые показатели точности, в виде таблицы или ряда значений показатели точности в виде расширенной неопределённости указываются один раз для всех результатов измерений.

Наименьшие разряды числовых значений результата измерения и численных показателей точности должны быть одинаковы.

На основе записи в журнале лицо, допущенное к оформлению результатов контроля, оформляет заключение о результатах измерения толщины, в котором приводятся следующие сведения:

- а) фамилия и имя специалиста;
- б) квалификация специалиста;
- в) тип толщиномера и серийный номер;
- г) описание типа преобразователя (включая размеры пьезоэлемента/частоту) и серийный номер;
- д) образцы для настройки;
- е) тип контактной смазки;
- ж) материал изделия;
- з) идентификационные данные объекта контроля;

- и) ссылки на применяемые нормативные документы;
- к) результаты измерений;
- л) заключение о соответствии требованиям нормативного документа;
- м) подпись специалиста.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Настройка толщиномера «Туз-2»

А.1 Назначение и основные характеристики ультразвукового толщиномера «Туз-2»

Ультразвуковой толщиномер «Туз-2» - прибор для измерения толщины материалов основанный на принципах ультразвукового метода неразрушающего контроля. В тощиномере используется контактный способ измерения толщины объекта контроля (ОК).

Диапазон измеряемых толщин для изделий со скоростями ультразвука от 4000 м/с до 6500 м/с зависит от выбранного типа преобразователя приведены в таблице А.1:

Таблица А.1

Условное обозначение преобразователя	Диапазон измерения, мм	Диаметр рабочей поверхности, мм
П112-10-6/2-Т-003	0,6...50,0	8
П112-5-10/2-Т-003	1,2...300,0	12

Указанные диапазоны измерений верны для ОК с плоскопараллельными поверхностями при использовании преобразователей без защитных протекторов. За пределами измерительного диапазона измерение невозможно или дополнительная погрешность значительно возрастает.

Предельные значения параметров контролируемых объектов, ограничивающие область применения толщиномера (для металлов):

- максимально допустимое значение параметра шероховатости со стороны ввода УЗК $R_z = 160$ мкм;
- максимально допустимое значение параметра шероховатости со стороны, противоположной стороне ввода УЗК, $R_z = 320$ мкм;
- минимальный радиус кривизны выпуклой поверхности со стороны ввода УЗК – 3 мм при толщине стенки 1 мм;
- максимальная непараллельность поверхностей – 3 мм на участке базовой длины 20 мм;
- максимальная температура поверхности контролируемого изделия – $+50$ °С.

Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности толщиномера $\Delta_{\text{осн}}$ при измерении толщины составляют

$$\delta_{\text{осн}} = \pm (0,1 + 0,005N_x) \text{ мм,}$$

где N_x – численное значение толщины, выраженное в мм.

Толщиномер может производить измерения с дискретностью 0,1мм и 0,01 мм.

Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности толщиномера Δ_N при

измерении толщины составляют $\pm (0,1+0,005N_x)$ мм, где N_x – численное значение толщины, выраженное в мм.

Пределы допускаемой относительной погрешности при измерении скорости распространения УЗК составляют $\pm 1,5 \%$ измеряемой величины (на измерительной базе более 20 мм).

Пределы допускаемой дополнительной погрешности толщиномера при измерении толщины, вызванные изменением температуры окружающего воздуха на каждые 10°C от границ температурного диапазона $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ составляют не более $\pm 0,5 \delta_{\text{осн}}$.

Пределы допускаемой дополнительной погрешности толщиномера при измерении толщины со стороны шероховатой поверхности, вызванной шероховатостью поверхности $Rz = 160$ мкм для преобразователей П112-2,5-12/2-Т-003 и $Rz = 80$ мкм для преобразователей П112-5,0-10/2-Т-003 и П112-10-6/2-Т-003, составляют $\pm 0,1$ мм.

Пределы допускаемой дополнительной погрешности толщиномеров, при измерении толщины со стороны гладкой поверхности, вызванной шероховатостью поверхности $Rz = 320$ мкм для преобразователей П112-2,5-12/2-Т-003 и $Rz = 160$ мкм для преобразователей П112-5,0-10/2-Т-003 и П112-10-6/2-Т-003, составляют $\pm 0,2$ мм.

Пределы допускаемой дополнительной погрешности толщиномера при измерении толщины криволинейных поверхностей с радиусом кривизны 10 мм для преобразователя П112-10-6/2-Т-003 и радиусом кривизны 30 мм для преобразователя П112-5-10/2-Т-003 составляют $\pm 0,1$ мм.

Пределы допускаемой дополнительной погрешности толщиномера при измерении толщины непараллельных поверхностей при непараллельности 3 мм на базовой длине 20 мм составляют:

$\pm 0,3$ мм в диапазоне толщин от 1 до 10 мм;

$\pm (0,2 + 0,01N_x)$ мм в диапазоне толщин N_x от 10 до 50 мм.

А.2 Порядок настройки ультразвукового толщиномера «Туз-2».

А.2.1. Подготовка толщиномера «Туз-2» к работе.

Присоединить к разъемам " → " и " ⇐ " прибора преобразователь на требуемый диапазон толщины измеряемых изделий.

Включить прибор нажатием на клавишу .

Проверить ресурс батареи путём нажатия в режиме "Измерение" клавишу . Ресурс батареи должен составлять не менее 40%. В противном случае произвести зарядку.

При степени заряженности батареи меньше 10% во всех режимах работы толщиномера начинает мигать точка в старшем разряде индикатора, напоминая о необходимости зарядить аккумуляторную батарею. При полном разряде батареи на индикаторе загораются все десятичные точки, и прибор выключается.

При включении прибор автоматически устанавливается в режим "Измерение", сохраняя все установки, бывшие до его предыдущего выключения (на рисунке прибор находится в режиме ожидания, измерений при нормальной чувствительности приемного тракта).



Включить режим автоматической калибровки "нуля". При автоматической калибровке "нуля" (подрежим "А") мигание точки в младшем разряде указывает на периодическое проведение калибровки ПЭП. Если ПЭП не подсоединен к прибору или прибор находится в подрежиме "Р" (ручная калибровка), мигание точки отсутствует.

В режиме измерения и индикации толщины точка в младшем разряде горит непрерывно, указывая на наличие акустического контакта.

А.2.2 Настройка толщиномера «Туз-2».

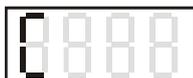
Реальная скорость звука в материале ОК по причине изменения материала, температуры окружающей среды, шероховатости поверхности, термической обработки или другим причинам может изменяться. С этой целью, для повышения точности измерений необходимо использовать КО с параметрами соответствующими ОК.

Чтобы точно измерить толщину материала, в толщиномере «Туз-2» должно быть установлено число скорости ультразвука в меню толщиномера соответствующее скорости ультразвука в материале контролируемого изделия с учётом влияющих факторов, таких как износ поверхности ПЭП, криволинейность поверхности изделия и др.

С этой целью для повышения точности проведения измерений необходимо проводить калибровку толщиномера с использованием контрольных образцов.

Находясь в режиме "Измерение", нажать клавишу .

На индикаторе кратковременно появится изображение:



затем на индикаторе появится значение установленной скорости УЗК, например:

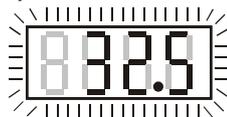


Находясь в режиме калибровки по скорости, установить ПЭП (подключенный к толщиномеру) через слой контактной смазки на подготовленный образец с известной толщиной.

На индикаторе кратковременно появляется буква "Н" в старшем разряде



а, затем высвечивается значение измеренной толщины в мигающем режиме:



При этом необходимо, не снимая ПЭП с образца, клавишами  или  установить на индикаторе действительное значение толщины образца.

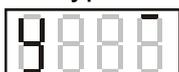
Если нажать и удерживать клавиши  или , то происходит ускоренная установка числового значения.

При снятии ПЭП с образца на индикаторе появится новое значение скорости УЗК, соответствующее контролируемому материалу.

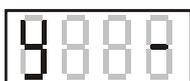
Нажатие клавиши  переводит прибор в режим "Измерение", если установлен подрежим "А" режима калибровки "нуля" или в режим калибровки "нуля", если установлен подрежим "Р". Для перехода в режим измерения при ручной калибровке "нуля" необходимо нажать клавишу  в момент отсутствия акустического контакта.

Рекомендуется запомнить это значение скорости с тем, что бы использовать его в дальнейшем для контроля изделий из этого материала.

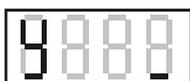
Для установки усиления необходимо в режиме "Измерение" нажать клавишу  и держать ее более 5 с. После отпускания на индикаторе появится одно из трех изображений, соответствующих разным уровням чувствительности:



высокий уровень



нормальный уровень



низкий уровень

Клавишами  или  установить нормальный уровень чувствительности и нажать клавишу . Прибор запомнит установленный уровень и перейдет в режим установки величины недопустимого утонения.

Обычно при контроле рекомендуется устанавливать нормальный уровень чувствительности приемного тракта. Высокий уровень можно использовать при контроле криволинейных тонкостенных поверхностей. Низкий уровень используется при повышенном уровне акустических помех, в том числе и от ПЭП.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Пример расчёта неопределённости измерений при проведении ультразвуковой толщинометрии при настройке толщиномера Туз-2 без использования КО путём установки известной скорости ультразвука в стали

Б.1 Исходные данные

Провести измерения толщины стенки третьего пояса резервуара вместимостью 10000 м³ номинальной толщиной 12 мм в процессе эксплуатации.

Измерения проводятся с помощью ультразвукового толщиномера «Туз-2» с использованием раздельно-совмещённого преобразователя П112-5-12/2-Б-002

Толщиномер «Туз-2» поверен и соответствует техническим условиям изготовителя.

Предел допускаемого значения основной погрешности толщиномера «Туз-2» не более: $\pm(0,1 + 0,005H)$ мм.

Дискретность измерения: 0,1 мм.

Используемый ультразвуковой преобразователь: П112-5-10/2-Т-003.

Материал измеряемого изделия: Ст3.

Контактная смазка: солидол.

Шероховатость поверхности ввода ультразвука в изделие: $R_z \leq 40$ мкм.

Предполагается наличие равномерной коррозии на обратной поверхности стенки резервуара, что примерно соответствует $R_z \approx 120$ мкм.

Предполагается параллельность поверхностей в точках проведения измерений.

Поверхность в точке проведения измерения является плоской.

Произведена зачистка резервуара. Резервуар освобожден от жидкости.

Специалист имеет 2^{-0й} уровень по ультразвуковому методу неразрушающего контроля, а так же с данной методикой проведения измерений и знаком с использованием ультразвукового толщиномера «Туз-2».

Температура при проведении измерений составляет $+5^0 \div +30^0$ °С.

Относительная влажность окружающего воздуха 95% при температуре $+15^0$.

Атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа;

Б.2. Проведение измерений.

Измерения толщины проводит специалист ручным способом эхо-импульсным ультразвуковым толщиномером «Туз-2» с использованием отдельно-совмещённого преобразователя П112-5-10/2-Т-003.

Настройка толщиномера перед проведением измерений производится по КО в соответствии с паспортом на толщиномер «Туз-2». При проведении настройки показания по цифровому индикатору толщиномера в соответствии с дискретностью прибора 0,1 мм. Считывание результата измерения производится после получения устойчивого и достоверного показания, которое характеризуется либо одним значением, либо двумя значениями, изменяющимися в пределах дискретности прибора.

Б. 5 Математическая модель измерения.

Время распространения ультразвуковых колебаний от поверхности изделия до донной поверхности и обратно связано с толщиной изделия зависимостью:

$$H = h_0 + \delta h_s + \delta h_{R_z} + \delta h_x$$

где H - измеренная толщина объекта контроля;

h_0 – действительная толщина изделия;

δh_s – составляющая толщины изделия, обусловленная погрешностью толщиномера рассчитывается по формуле $(0,1 + 0,005H)$ мм;

δh_{R_z} – составляющая толщины изделия, обусловленная шероховатостью обратной поверхности соответствует 0,1мм в соответствии с паспортом на прибор;

δh_x - составляющая толщины изделия, обусловленная дискретностью измерений соответствует 0,1мм.

Б.6 Анализ входных величин

Анализ входных величин при проведении настройки без использования КО путём установки скорости 5920м/с в меню толщиномера представлен в таблице Б.1.

Таблица Б.1

№ п/п	Входная величина	Неопределенность измерения	Формула для расчёта стандартной неопределённости	Вклад неопределённости
1.	h_0	Показания толщиномера	$u_{h_0} = 0$	-
2.	δh_s	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: Равномерный	$u_{\delta h_s} = \frac{\delta h_s}{\sqrt{3}}$	$u_{\delta h_s} = \frac{\delta h_s}{\sqrt{3}} = \frac{0,1 + 0,005}{\sqrt{3}} = 0,09 \text{ мм}$
3.	δh_{Rz}	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: Равномерный	$u_{\delta h_{Rz}} = \frac{\delta h_{Rz}}{\sqrt{3}}$	$u_{\delta h_{Rz}} = \frac{\delta h_{Rz}}{\sqrt{3}} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,06 \text{ мм}$
4.	δh_x	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: Равномерный	$u_{\delta h_x} = \frac{\delta h_x}{2\sqrt{3}}$	$u_{\delta h_x} = \frac{\delta h_x}{2\sqrt{3}} = \frac{0,1}{2\sqrt{3}} = 0,023 \text{ мм}$

Б.7 Суммарная неопределённость

Рассчитать суммарную неопределённость:

$$U_H = \sqrt{0,09^2 + 0,06^2 + 0,023^2} = \sqrt{0,0081 + 0,0036 + 0,0005} = 0,11 \text{ мм}$$

Б. 8 Измерение.

Результат измерения по индикатору толщиномера: 11,8 мм.

Б.9 Расширенная неопределенность.

Расширенная неопределенность: $U_{(h)} = 2 \cdot 0,11 = 0,22 \text{ мм} = 0,3 \text{ мм}$.

Б,10 Результат измерения.

Результат измерения $H = (11,8 \pm 0,3) \text{ мм}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Пример расчёта неопределённости измерений при проведении ультразвуковой толщинометрии при настройке толщиномера Туз-2 с использованием КО

В.1 Исходные данные

Провести измерения толщины стенки третьего пояса резервуара вместимостью 10000 м³ номинальной толщиной 12 мм в процессе эксплуатации.

Измерения проводятся с помощью ультразвукового толщиномера «Туз-2» с использованием раздельно-совмещённого преобразователя П112-5-12/2-Б-002

Толщиномер «Туз-2» поверен и соответствует техническим условиям изготовителя.

Предел допускаемого значения основной погрешности толщиномера «Туз-2» не более: $\pm(0,1 + 0,005H)$ мм.

Дискретность измерения: 0,1 мм.

Используемый ультразвуковой преобразователь: П112-5-10/2-Т-003.

Материал измеряемого изделия: Ст3.

Контактная смазка: солидол.

Шероховатость поверхности ввода ультразвука в изделие: $R_z \leq 40$ мкм.

Предполагается наличие равномерной коррозии на обратной поверхности стенки резервуара, что примерно соответствует $R_z \approx 120$ мкм.

Предполагается параллельность поверхностей в точках проведения измерений.

Поверхность в точке проведения измерения является плоской.

Произведена зачистка резервуара. Резервуар освобожден от жидкости.

Специалист имеет 2^{-0й} уровень по ультразвуковому методу неразрушающего контроля, а так же с данной методикой проведения измерений и знаком с использованием ультразвукового толщиномера «Туз-2».

Температура при проведении измерений составляет $+5^0 \div +30$ °С.

Относительная влажность окружающего воздуха 95% при температуре $+15^0$.

Атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа;

В.2. Проведение измерений.

Измерения толщины проводит специалист ручным способом эхо-импульсным ультразвуковым толщиномером «Туз-2» с использованием раздельно-совмещённого преобразователя П112-5-10/2-Т-003.

Настройка толщиномера перед проведением измерений производится по КО в соответствии с паспортом на толщиномер «Туз-2». При проведении настройки показания по цифровому индикатору толщиномера в соответствии с дискретностью прибора 0,1 мм. Считывание результата измерения производится после получения устойчивого и достоверного показания, которое характеризуется либо одним значением, либо двумя значениями, изменяющимися в пределах дискретности прибора.

В. 5 Математическая модель измерения.

Время распространения ультразвуковых колебаний от поверхности изделия до донной поверхности и обратно связано с толщиной изделия зависимостью:

$$H = h_0 + \delta h_s + \delta h_{R_z} + \delta h_x$$

где H - измеренная толщина объекта контроля;

h_0 – действительная толщина изделия;

δh_s – составляющая толщины изделия, обусловленная погрешностью толщиномера при настройке по КО на ступеньке толщиной 12мм соответствует дискретности прибора 0,1мм;

δh_{R_z} – составляющая толщины изделия, обусловленная шероховатостью обратной поверхности соответствует 0,1мм в соответствии с паспортом на прибор;

δh_x - составляющая толщины изделия, обусловленная дискретностью измерений соответствует 0,1мм.

В.6 Анализ входных величин

Анализ входных величин при проведении настройки с использованием плоскопараллельного КО с диапазоном толщин от 5мм до 30мм, материал образца сталь 20, толщина для настройки 12мм представлен в таблице Б.1.

Таблица Б.1

№ п/п	Входная величина	Неопределенность измерения	Формула для расчёта стандартной неопределённости	Вклад неопределённости
1.	h_0	Показания толщиномера	$u_{h_0} = 0$	-
2.	δh_s	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: Равномерный	$u_{\delta h_s} = \frac{\delta h_s}{\sqrt{3}}$	$u_{\delta h_s} = \frac{\delta h_s}{\sqrt{3}} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,06 \text{ мм}$
3.	δh_{Rz}	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: Равномерный	$u_{\delta h_{Rz}} = \frac{\delta h_{Rz}}{\sqrt{3}}$	$u_{\delta h_{Rz}} = \frac{\delta h_{Rz}}{\sqrt{3}} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,06 \text{ мм}$
4.	δh_x	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: Равномерный	$u_{\delta h_x} = \frac{\delta h_x}{2\sqrt{3}}$	$u_{\delta h_x} = \frac{\delta h_x}{2\sqrt{3}} = \frac{0,1}{2\sqrt{3}} = 0,023 \text{ мм}$

В.7 Суммарная неопределённость

Рассчитать суммарную неопределённость:

$$U_H = \sqrt{0,06^2 + 0,06^2 + 0,023^2} = \sqrt{0,0036 + 0,0036 + 0,0005} = 0,088 \text{ мм}$$

В. 8 Измерение.

Результат измерения по индикатору толщиномера: 11,8 мм.

В.9 Расширенная неопределенность.

Расширенная неопределенность: $U_{(h)} = 2 \cdot 0,088 = 0,18 \text{ мм} = 0,2 \text{ мм}$.

В.10 Результат измерения.

Результат измерения $H = (11,8 \pm 0,2) \text{ мм}$.
