



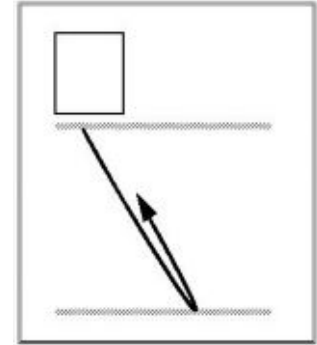
## Ультразвуковой контроль с использованием ЭМАП (поперечные горизонтальные волны) Краткое руководство (AS-TM-A11)

### Содержание

1. Общие сведения об ЭМАП.....	2
2. Оборудование.....	2
2.1. Приборы.....	2
2.2. Преобразователи и их принадлежности.....	3
2.3. Постоянный магнит (датчик), высокочастотная катушка.....	3
2.4. Принадлежности.....	4
2.4.1. Модуль преобразования сигнала.....	4
2.4.2. Кабели.....	5
2.4.3. Приспособления для преобразователя.....	6
3. temate® PowerBox H. Конфигурация, настройка и эксплуатация.....	7
3.1. Принцип управления лучом.....	7
3.2. Конфигурация 1 (дуэт).....	8
3.3. Конфигурация 2 (тандем).....	9
3.4. Настройка.....	12
3.5. Эксплуатация.....	13
3.5.1. Ручной контроль.....	13
3.5.2. Полуавтоматическое сканирование с использованием энкодера.....	14

## 1. Общие сведения об ЭМАП

- Используемые в ультразвуковом контроле электромагнитные акустические преобразователи (ЭМАП) идеально подходят для генерации «горизонтально поляризованных поперечных волн» в проводящих материалах.
- Преимущества включают в себя:
  - Сухой контакт (бесконтактный способ) позволяет проводить контроль очень горячих (до 1000°C) и очень холодных материалов. Отсутствие контактной жидкости также обеспечивает чрезвычайно надёжные и воспроизводимые результаты контроля с микрометровой точностью.
  - Невосприимчивость к состоянию поверхности. Электромагнитные акустические преобразователи могут осуществлять контроль через покрытия, причём на их эксплуатационные качества не влияют загрязнители, окислительная среда или шероховатость.
  - Удобство размещения преобразователя. Поскольку звук генерируется на объекте, направление звука не зависит от угла ввода преобразователя, что облегчает проведение контроля.
  - Способность к вводу пучка под любым углом, от 0° (перпендикулярно к преобразователю) до 90° (параллельно поверхности).
  - Способность проникать через дендритные крупнозернистые структуры аустенитных сталей без значительного отклонения пучка.
  - Горизонтально поляризованная поперечная волна не претерпевает преобразования на граничных структурах, что облегчает анализ сигнала.
- Для этого приложения электромагнитные акустические преобразователи могут быть использованы только в режиме «pitch-catch» - идентичные генератор (излучающий преобразователь) и приёмник (приёмный преобразователь) разделены.
- Как излучающий, так и приёмный преобразователи могут быть сконфигурированы по способу тандем или по способу дуэт, в зависимости от наличия доступного пространства.
- Горизонтально поляризованные поперечные волны легко генерируются как в ферромагнитных, так и в неферромагнитных материалах.
- Это руководство содержит информацию по генерации поперечных горизонтальных волн в алюминии, углеродистой стали и нержавеющей стали, что достигается за счёт изменения частоты возбуждения.



## 2. Оборудование

### 2.1. Приборы

Компания Innerspec предлагает несколько портативных систем, которые могут быть использованы для контроля с использованием поперечных горизонтальных волн.

- **temate® PowerBox H** с программным обеспечением **PowerUT® H**. Переносной прибор с батарейным питанием для обнаружения дефектов и ручного сканирования.
- **temate® PowerBox 1, 2 & 8** с программным обеспечением **PowerUT®**. Портативные системы, используемые для автоматического или полуавтоматического контроля.



Для получения подробной информации о технических характеристиках каждого прибора посетите наш веб-сайт или обращайтесь в компанию Innerspec Technologies.

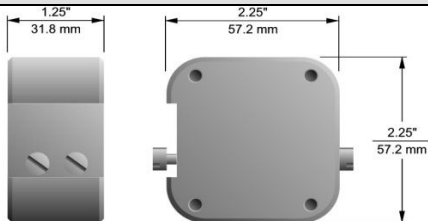
## 2.2. Преобразователи и их принадлежности

Компания Innerspec предлагает преобразователи на базе постоянного магнита с катушкой ЭМАП в форме спирали. Данный преобразователь используется в основном для контроля аустенитных материалов. Сканирование осуществляется за счёт изменения рабочей частоты прибора. Используется только в конфигурации «pitch-catch» с двумя преобразователями (идентичными).

Подробные технические характеристики преобразователя и высокочастотной катушки приведены в каталоге стандартных преобразователей и принадлежностей.

## 2.3. Постоянный магнит (датчик), высокочастотная катушка

Конструкция преобразователей на базе постоянного магнита позволяет легко заменять высокочастотные катушки. Такие преобразователи рассчитаны на максимальную температуру 80°C, если не указано иное. Если требуется проводить контроль при высоких температурах, обращайтесь в компанию Innerspec Technologies для приобретения специализированных преобразователей.

Номер детали	Тип магнита	Магнитное поле	Размеры	Доступные приборы	Другое
274A0121 Крупный L	Постоянный магнит 1" x 1" передняя поверхность  Полюса магнита 1/2" x 1/8"	По нормали		PowerBox H PowerBox 1 PowerBox 2 PowerBox 8	Опции: роликовая опора и энкодер для скани-я

Высокочастотные катушки. Профили пучка и другие характеристики высокочастотных катушек приведены в каталоге преобразователей и принадлежностей.

Номер детали	Совместимый датчик	Геометрия	Ширина (дюймы)	Длина (дюймы)
PC-LA-R-1.000-2.000	274A0121	Рейстрек	1,000	2,000


Поверхности износа. Необходимы для защиты и увеличения срока службы высокочастотных катушек.

Номер детали	Применение	Размеры & Длина
510V0005	Ввод поперечной горизонтальной волны под углом, при температуре до 100°C	Поверхность износа в виде ленты толщина 0,010", 2" x 4,5 м

## 2.4. Принадлежности

### 2.4.1. Модуль преобразования сигнала

Требуется только для систем **temate® PowerBox 1, 2 и 8** (не требуется для прибора **temate® PowerBox H**). Данный модуль обеспечивает согласование полного сопротивления, фильтрацию и первую стадию усиления между высокочастотной катушкой и прибором.

Номер детали	Тип и частота	Датчики и преобразователи	Требуемые кабели	Разъём прибора	Разъём преобразователя	Размеры
245A0132	<p><b>2-х канальный «Pitch-Catch» режим</b>  Эхо-импульсный режим  <b>Угловые пучки и направляемые волны</b>  <b>(включает в себя 2 гнезда для модулей настройки)</b></p>	<p>274A0106  274A0107  274A0120  274A0144  274A0108  160A0062  160A0049  160A0076  160A0119</p>	<p>Одноканальный  1-232A0294  1-232A0234  1-232A0296  2-232A0123  1-232A0411  1-232A0411</p> <p>Двухканальный  1-232A0294  2-232A0234  2-232A0296  4-232A0123</p>	<p>4-2- контактный  Lemo 0B  2-BNC  2-Triaх  2-6-контактный  Lemo 1B</p>	<p>2 или 4-2- контактный  Lemo 0B</p>	 <p>Модуль  4,25" x 6,77" x 2,50"  108 мм x 172 мм x 64 мм  Монтажные отверстия  2,36" x 7,18" (60 мм x 182 мм)</p>





#### 2.4.2. Кабели

Необходимы для подсоединения преобразователей и высокочастотных катушек к модулю преобразования сигнала и приборам.

Номер детали	Длина	Разъём прибора	Разъём модуля преобраз. сигнала	Разъём преобразователя	Прибор	Описание
232A0123	2' (60см)	---	1-2-контактный Lemo 0B	1-2-контактный Lemo 0B	Все	Одноканальный (двухконтактный) кабель высокочастотной катушки
281A0002	4' (122см)	1- Lemo FGG.2G.318	---	---	PowerBox H	PowerBox H, Кабель энкодера
232A0234	6' (182см)	1-Triax	1-Triax	---	PowerBox 1, 2	Одноканальный передающий кабель для PowerBox 1 & 2
232A0296	6' (182см)	1-BNC	1-BNC	---	PowerBox 1, 2	Одноканальный приёмный кабель для PowerBox 1 & 2
232A0294	6' (182см)	1-DB25	1-2-контактный Lemo 1B	---	PowerBox 1, 2	Кабель питания модуля преобразования сигнала
232A0308	6' (182см)	1-DB9	---	1-8-контактный M12	PowerBox 1, 2	PowerBox 1, 2 & 8, Кабель энкодера
232A0411		1-2-контактный Lemo 0B	1-Triax	---	PowerBox H	Одноканальный передающий кабель для PowerBox H
232A0412		1-2-контактный Lemo 0B	1-BNC	---	PowerBox H	Одноканальный приёмный кабель для PowerBox H
xxxxxxx		---	1-2-контактный Lemo 1B	---	PowerBox H	Силовой адаптер модуля преобразования сигнала

### 2.4.3. Приспособления для преобразователя

Роликовые опоры рекомендуется использовать при сканировании ферромагнитных объектов при помощи преобразователей на базе постоянного магнита, а рукоятки используются для локального контроля через отверстия посредством высокотемпературных преобразователей.

Номер детали	Описание	Датчики	Фотография
187A0001	4-х колёсная роликовая опора для преобразователей на базе постоянного магнита	274A0106 274A0107 274A0144 274A0120 274A0108	
187A0003	Роликовая опора для преобразователей большого размера на базе постоянного магнита (используется для осевого сканирования труб и цилиндрических деталей)	274A0107 274A0144 274A0120	
160A0071	Приспособление для позиционирования преобразователей, генерирующих поперечные горизонтальные волны, со встроенными шкалами для угла (поворот в горизонтальной плоскости) и расстояния до оси поворота	274A0133	

### 3. temate® PowerBox H. Конфигурация, настройка и эксплуатация

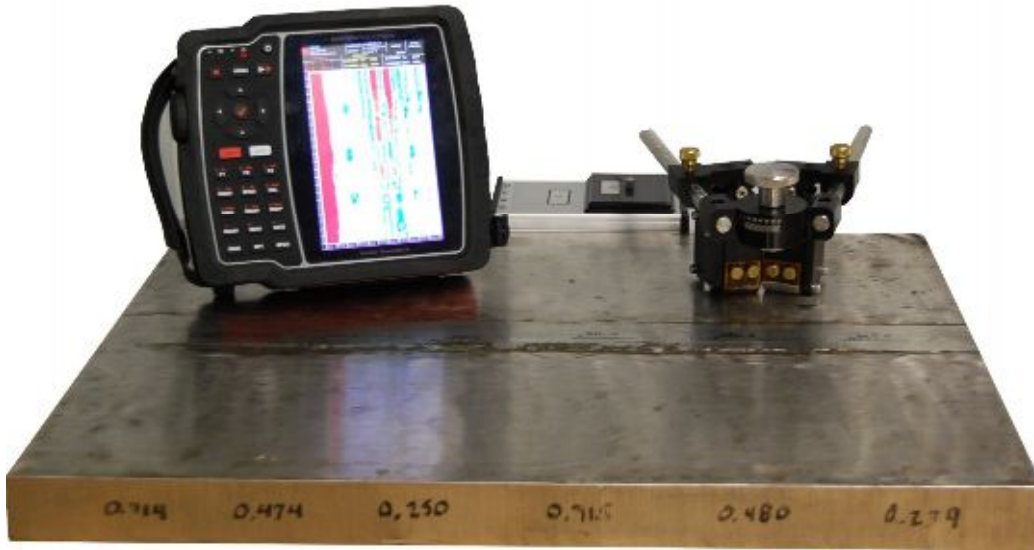


Рисунок 1: прибор Power Box H и наклонные преобразователи

#### 3.1. Принцип управления лучом

Ультразвуковой контроль при помощи пучка, направленного под углом к поверхности, может осуществляться с использованием электромагнитного акустического преобразователя 274A0121 и высокочастотной катушки PC-LA-R-1.000-2.000. Принцип управления лучом показан на рисунке 2.

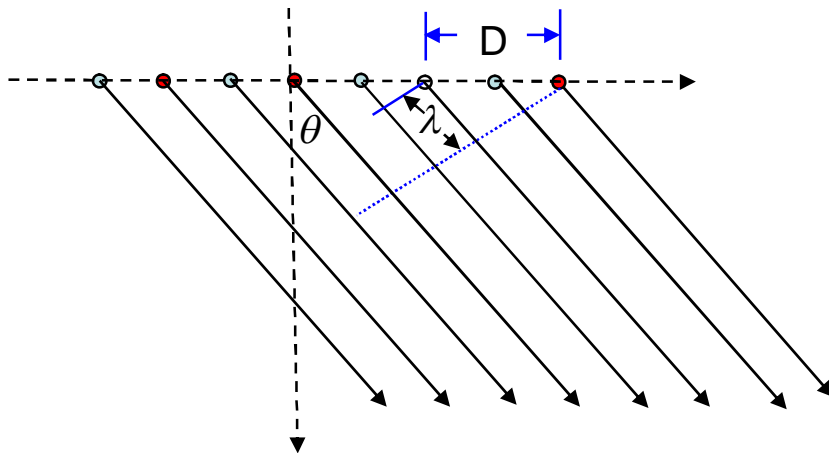


Рисунок 2: Принцип генерации углового пучка при помощи ЭМАП



Красные и зелёные точки обозначают местоположения чередующихся полюсов преобразователя на базе постоянного магнита, в котором высокочастотная катушка кольцевой формы передаёт ток в заданном направлении. Взаимодействие высокочастотного тока с переменным магнитным полем, вызванным чередованием «северного» и «южного» полюсов, приводит к образованию периодической схемы нагрузки. Базовая формула, определяющая принцип управления лучом, выражена уравнением 1.

Для ЭМАП 274A0121:

$$D = 0,25 \text{ дюйма (6,35 мм)}$$

$$D \times \sin \theta = \lambda = C/f$$

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{C}{fD} \right)$$

Здесь  $\theta$  представляет собой угол ввода,  $f$  – частота возбуждения, а  $C$  – скорость распространения волны заданного типа. Для поперечной волны с горизонтальной поляризацией  $C = C_T$ .

### 3.2. Конфигурация 1 (дуэт)

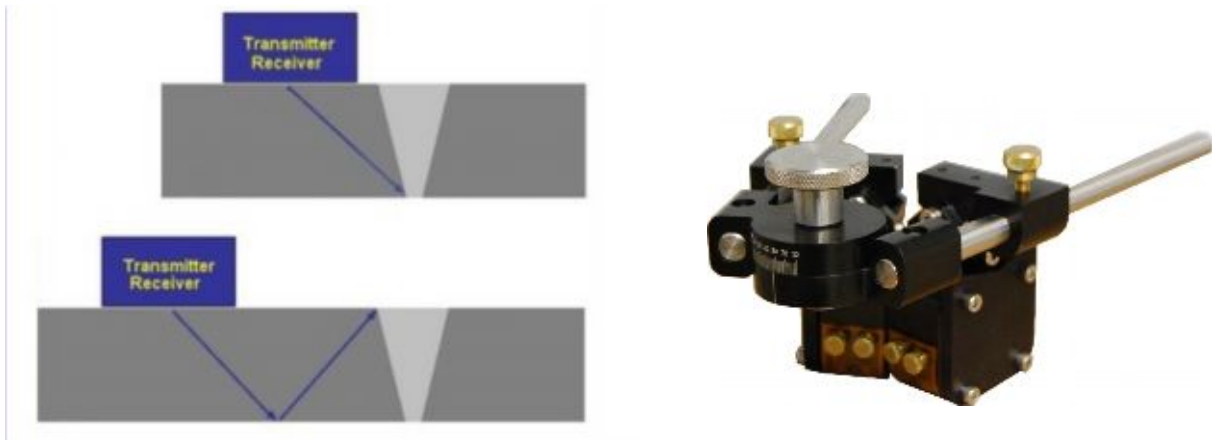
В этой конфигурации излучающий и приёмный преобразователи расположены рядом друг с другом под небольшим углом (от 20 до 30 градусов), как показано на рисунке 3. Для фиксации преобразователей под заданным углом может быть использовано приспособление 160A0071. Угол между преобразователями может быть определён по шкале, нанесённой на приспособлении. «Руки» приспособления также обеспечивают осевое расстояние, на котором ось излучающего преобразователя будет пересекаться с осью приёмного преобразователя по горизонтали. Это расстояние представляет собой половину расстояния однократного отражения (HSD), отсчитываемого от позиции преобразователя. Используя величины осевого расстояния до сварного шва (HSD) и толщины образца можно рассчитать угол ввода (падения) луча по следующему уравнению:

$$HSD = Tk \operatorname{tg} \theta$$

$$\text{Угол ввода луча } \theta = \operatorname{tg}^{-1} (HSD/Tk)$$

Соответствующая частота, необходимая для генерации углового пучка, может быть определена при помощи информации, приведённой в разделе «Настройка» настоящего документа. Теперь оба преобразователя могут быть размещены на расстоянии, которое располагается между HSD и расстоянием однократного отражения, что обеспечивает полное покрытие зоны сварки по вертикали.





**Рисунок 3: Конфигурация 1 (дуэт) - излучающий и приёмный преобразователи расположены рядом друг с другом. Transmitter = Излучающий преобразователь; Receiver = Приёмный преобразователь.**

Примечание:

- Для увеличения чувствительности при обнаружении дефектов, угол между излучающим и приёмным преобразователями должен быть небольшим (максимум 30 градусов).

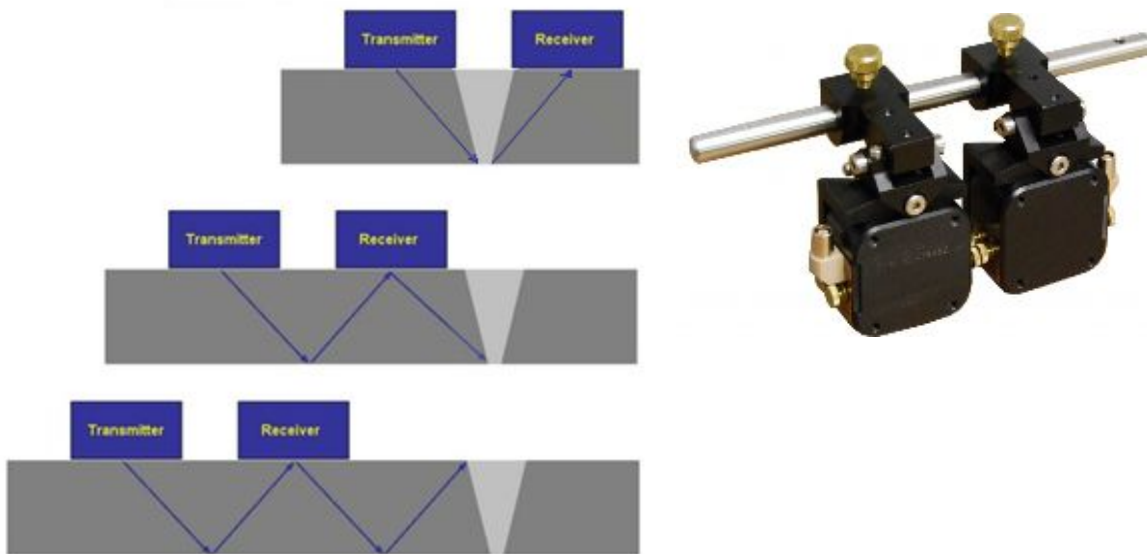
### 3.3. Конфигурация 2 (тандем)

В этой конфигурации излучающий и приёмный преобразователи размещены по способу тандем, как показано на рисунке 4. Для поддержания заданного расстояния между преобразователями может быть использована боковая шкала приспособления для позиционирования преобразователей 160A0071. Приёмный преобразователь всегда размещается перед излучающим преобразователем на расстоянии однократного отражения (FSD).

Преобразователи могут быть сконфигурированы для контроля теньвым методом поперёк сварного шва или могут располагаться с одной из сторон сварного шва с целью обнаружения отражений от дефектов в сварном шве. Минимальное расстояние между излучающим преобразователем и приёмным преобразователем составляет 76,2 мм. Для известных величин угла "θ" и толщины "Tk" расстояние между излучающим и приёмным преобразователями может быть вычислено следующим образом:

$$FSD = 2Tk \operatorname{tg} \theta$$

$$\text{Угол ввода луча } \theta = \operatorname{tg}^{-1} (FSD/2Tk)$$



**Рисунок 4: Конфигурация 2 – размещение излучающего и приёмного преобразователя по методу тандем. Transmitter = Излучающий преобразователь; Receiver = Приёмный преобразователь.**

Для удобства пользователей углы ввода луча вычислены для всех возможных значений толщины, при условии фиксированного расстояния (FSD = 3 дюйма) между излучающим и приёмным преобразователями. Рассчитанные величины приведены в следующей таблице:

Толщина	Угол ввода луча	Расстояние между излучающим и приёмным преобразователями
1,0	56,30	3
1,5	45,00	3
2,0	36,87	3
2,5	30,96	3
3,0	26,56	3
3,5	23,20	3
4,0	20,55	3
4,5	18,43	3
5,0	16,70	3

- Если пользователь, в зависимости от условий конкретного эксперимента, захочет установить другое (отличное от 3 дюймов) расстояние между преобразователями, угол ввода луча  $\theta$  может быть вычислен следующим образом:

Расстояние между излучающим и приёмным преобразователями  $FSD = 2Tk \operatorname{tg}\theta$

Угол ввода луча  $\theta = \text{tg}^{-1} (FSD/2Tk)$

- Для заданного угла ввода, частота возбуждения определяется по формуле:

$$\text{Частота } f = C/D \sin \theta$$

Примечания:

- Для получения информации о частоте и угле ввода обращайтесь к разделу «Настройка» настоящего документа.
- Вследствие ограничений, накладываемых на размеры преобразователей, минимальное расстояние между излучающим и приёмным преобразователями не может составлять менее 3 дюймов.
- Для заданной толщины материала, при изменении расстояния между излучающим и приёмными преобразователями (FSD) угол ввода также будет изменяться, чтобы обеспечить нахождение приёмного преобразователя от излучающего преобразователя на расстоянии однократного отражения.
- Не допускайте образования отражений от задней поверхности. В случае труднодоступных областей объекта контроля, где донные сигналы налагаются на сигналы от зоны сварки, рекомендуется использовать Конфигурацию 1 (дуэт).
- Приёмный преобразователь должен располагаться по отношению к сварному шву на расстоянии, расположенном между HSD и FSD, с целью обеспечения полного покрытия зоны сварки по вертикальной оси.
- Сигнал, получаемый приёмным преобразователем, может быть использован для калибровки и называется «Непосредственно переданный сигнал».
- Отображение на экране прибора A-scan или B-scan развёртки предоставляет только информацию о «Длине пути ультразвукового сигнала». Результаты следует соответствующим образом интерпретировать.
- Конфигурация 2 (тандем) обеспечивает лучшую чувствительность к обнаружению дефектов по сравнению с Конфигурацией 1 (дуэт).

**Преобразователи на базе постоянного магнита могут генерировать очень мощные магнитные поля  
При работе с ними соблюдайте осторожность!**





## 3.4. Настройка

Материал	Толщина	Угол ввода луча	Частота МГц	Модуль настройки	Стандартный настроечный файл
Алюминий	До 125 мм	20	1,462	LP-R-1000 кГц	AL-SH-AB-707 кГц
		25	1,183		
		30	1,000		
		35	0,872		
		40	0,778	LP-R-600 кГц	
		45	0,707		
		50	0,652		
		55	0,610		
		60	0,577		
		65	0,552		
		70	0,532		
		75	0,518		
		80	0,508		
85	0,502				
90	0,500				
Углеродистая сталь	До 125 мм	20	1,462	LP-R-1000 кГц	CS-SH-AB-707 кГц
		25	1,183		
		30	1,000		
		35	0,872		
		40	0,78	LP-R-600 кГц	
		45	0,707		
		50	0,652		
		55	0,610		
		60	0,577		
		65	0,552		
		70	0,532		
		75	0,518		
		80	0,508		
85	0,502				
90	0,500				
Нержавеющая сталь	До 125 мм	20	1,427	LP-R-1000 кГц	SS-SH-AB-690 кГц
		25	1,155		
		30	0,976		
		35	0,851		
		40	0,759	LP-R-600 кГц	
		45	0,690		
		50	0,637		
		55	0,596		
		60	0,563		
		65	0,538		
		70	0,519		
		75	0,505		
		80	0,495		
85	0,490				
90	0,488				

- Если требуется проводить контроль деталей из любых других материалов, обращайтесь в компанию Innerspec Technologies.
- Все настроечные файлы сконфигурированы на угол ввода луча 45 градусов. Для генерации других углов ввода следует изменить частоту в соответствии с данными, указанными в вышеприведённой таблице, и выбрать подходящий модуль настройки.
- Вычислите оптимальное расстояние и установите преобразователи на данном расстоянии от сварного шва, как описано в разделах 3.2 и 3.3.
- Углы ввода менее 20° не используются на практике вследствие наличия более сильных дифракционных максимумов по сравнению с фактическим пучком.
- Модуль «LP-R-1000 кГц» редко используется вследствие острого угла ввода, который также требует, чтобы преобразователь был размещён очень близко от зоны контроля.



Параметры настройки:

Настроечный файл	Частота и синхронизация	Преобразование сигнала	Материал
AL-SH-AB-707 кГц	Частота – 707 кГц Тональные пакеты – 6 циклов Окно данных – 200 мкс Строб 1 Запуск / Длительность – 25 мкс / 25 мкс Строб 2 Запуск / Длительность – 55 мкс / 100 мкс	Усиление – 10 дБ Фильтр удаления несинхронных ВЧ помех - 5 Усреднение - 1 КИХ-фильтр – от 0 до 2,5 МГц	Алюминий
CS-SH-AB-707 кГц	Частота – 707 кГц Тональные пакеты – 6 циклов Окно данных – 200 мкс Строб 1 Запуск / Длительность – 25 мкс / 25 мкс Строб 2 Запуск / Длительность – 55 мкс / 100 мкс	Усиление – 10 дБ Фильтр удаления несинхронных ВЧ помех - 5 Усреднение - 1 КИХ-фильтр – от 0 до 2,5 МГц	Углеродистая сталь
SS-SH-AB-690 кГц	Частота – 690 кГц Тональные пакеты – 6 циклов Окно данных – 200 мкс Строб 1 Запуск / Длительность – 25 мкс / 25 мкс Строб 2 Запуск / Длительность – 55 мкс / 100 мкс	Усиление – 10 дБ Фильтр удаления несинхронных ВЧ помех - 5 Усреднение - 1 КИХ-фильтр – от 0 до 2,5 МГц	Нержавеющая сталь

Эти параметры внесены в стандартные настроечные файлы. Данные конфигурации могут быть изменены с целью оптимизации результатов для различных приложений. Типы модификаций включают:

- Увеличение усреднения с целью улучшения отношения сигнал-шум
- Увеличение количества циклов (максимум - 8 циклов) с целью обеспечения контроля материалов большой толщины и материалов, ослабляющих сигнал
- Настройка коэффициента усиления с целью усиления или ослабления принятых сигналов на экране дисплея

Более подробная информация по работе оборудования приведена в руководстве по эксплуатации прибора **temate® PowerBox H**.

### 3.5. Эксплуатация

#### 3.5.1. Ручной контроль

- Подсоедините преобразователи и модуль преобразования сигнала к прибору Power Box H.
- Включите питание прибора **temate® PowerBox H**.
- Расположите ЭМАП в Конфигурации 1 или Конфигурации 2, учитывая ограничения области контроля по размеру.
- Откройте стандартный настроечный файл для Вашего приложения (см. раздел «Настройка»).
- Настроечные файлы сконфигурированы на такую частоту, которая соответствует углу ввода 45 градусов; следует изменить параметры настроечного файла в соответствии с требованиями конкретного приложения.
- Вычислите параметры контроля (угол ввода, частоту и величину HSD) на базе конфигурации преобразователей и толщины материала.
- Модифицируйте конфигурационный файл в соответствии с Вашими потребностями.
- Настройте строб-импульсы.



### 3.5.2. Полуавтоматическое сканирование с использованием энкодера

- Подсоедините энкодер (PN 281A002) к преобразователю, после чего подсоединитесь к прибору
- Включите питание прибора **temate® PowerBox H**
- Откройте стандартный настроечный файл для Вашего приложения (см. раздел «Настройка»)