

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ РЕГИСТРАЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЭХО СИГНАЛОВ ОТ ВНУТРЕННИХ ОБЛАСТЕЙ СТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА

Серебренников А.В.

научный руководитель докт. техн. наук Демченко И.И.

Сибирский федеральный университет

Актуальной проблемой является определение локальных внутренних механических напряжений в элементах металлических конструкций горных машин. Из литературных источников были выделены основные физические методы, применимые для неразрушающего контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) деталей машин в процессе их эксплуатации (см. Серебренников А.В., Демченко И.И., Серебренников В.Л. Оценка методов и приборов для измерения механических напряжений в конструкционных материалах горных машин. Ж. «Безопасность труда в промышленности», Москва, 2013, №11, с. 56-61).

Анализ работы существующих приборов для измерения НДС внутри деталей машин показал, что с помощью этих приборов невозможно определить внутренние локальные напряжения. В связи с этим был предложен ультразвуковой способ определения внутренних механических напряжений в поперечном сечении элемента металлоконструкции (Патент РФ №2455637).

Целью настоящих исследований являлась оптимизация условий регистрации ультразвуковых эхо сигналов от внутренних областей стального образца.

Определение оптимального расстояния приемного датчика от главной плоскости фокусирующей акустической линзы

Для регистрации ультразвуковых эхо сигналов от внутренней области стального образца использовался дефектоскоп УСД-60 в экспериментальной установке, описанной в патенте РФ № 2465583. На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки.

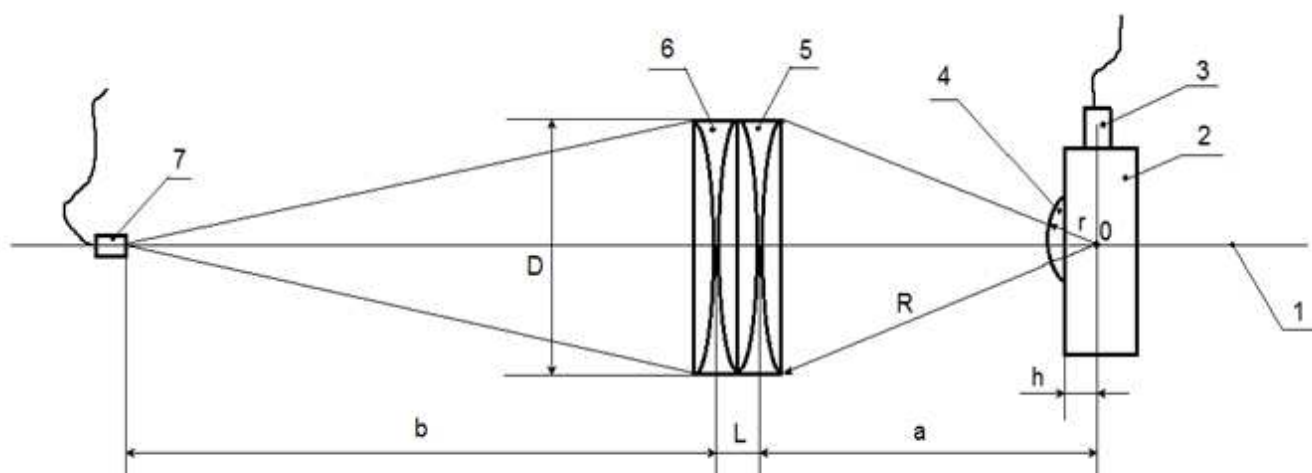


Рис. 1.

На общей главной акустической оси 1 обеих акустических собирающих линз расположены центры элементов установки: стальной образец 2 с генерирующим датчиком 3 и стальным сферическим сегментом 4, акустические собирающие линзы 5 и 6, изготовленные из органического стекла, и приемный датчик 7. На рис. 1: точка O – центр сферической поверхности сегмента 4; h – расстояние от центра O сферической поверхности сегмента 4 до плоской боковой поверхности стального образца 2; r – ради-

ус кривизны сферической поверхности сегмента 4; R – радиус кривизны вогнутой поверхности линзы 5; L – расстояние между главными плоскостями линз 5 и 6; D – апертура линз; a – расстояние от точки O до главной плоскости линзы 5; b – расстояние от приемного датчика 7 до главной плоскости линзы 6.

Все элементы экспериментальной установки помещались в ванну, наполненную водой.

Было установлено расстояние $a = 27,5$ см от вертикальной оси генерирующего датчика 3 до главной плоскости линзы 5 так, чтобы расстояние h от центра O сферической поверхности стального сегмента 4 до плоской боковой поверхности стального образца 2 было равно $h = 1,5$ см. В этом случае точка O совпадала с фокусом F линзы 5 при ее фокусном расстоянии $f = 27,5$ см. Приемный датчик 7, находящийся на главной акустической оси линз, перемещался вдоль этой оси на расстояния от 15 до 35 см от главной плоскости линзы 6 с шагом 0,5 см.

Для регистрации эхо сигналов использовался следующий режим дефектоскопа УСД-60: напряжение – 200 В; частота заполнения импульсов – 5 МГц; периодов – 5; частота следования импульсов – 200 Гц; усиление – 100 Дб.

Была проведена одна серия измерений амплитуд эхо сигналов в зависимости от расстояния b (рис. 2). Как видно из рис. 2, в интервале от 17 до 25 см амплитуда эхо сигнала постоянна, а вне этого интервала – зарегистрировано несколько локальных максимумов. Это обусловлено тем, что в направлениях близких к общей главной акустической оси линз распространяются ультразвуковые волны, рассеянные как от внутренних областей стального образца, так и волны, отраженные от внутренних поверхностей образца и сферического стального сегмента. Для того, чтобы погасить указанные ультразвуковые волны необходимо поместить цилиндр, поглощающий ультразвук, на общей главной акустической оси между линзами 5 и 6.

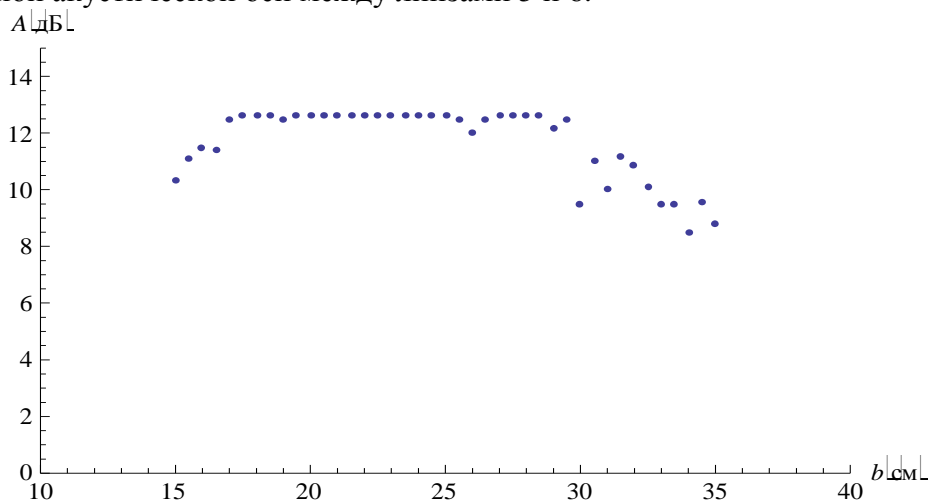


Рис. 2.

В центре между линзами 5 и 6 была закреплена пробка с максимальным диаметром 2,7 см на их общей главной акустической оси. Было установлено расстояние $a = 27,5$ см от вертикальной оси генерирующего датчика 3 до главной плоскости линзы 5. Приемный датчик 7, находящийся на главной акустической оси линз, перемещался вдоль этой оси на расстояния от 15 до 35 см от главной плоскости линзы 6 с шагом 0,5 см. Было проведено 5 серий измерений амплитуд эхо сигналов и построен график зависимости средних амплитуд эхо сигналов от расстояния b (рис. 3). Как видно из рис. 3, зарегистрировано восемь локальных максимумов амплитуды эхо сигналов.

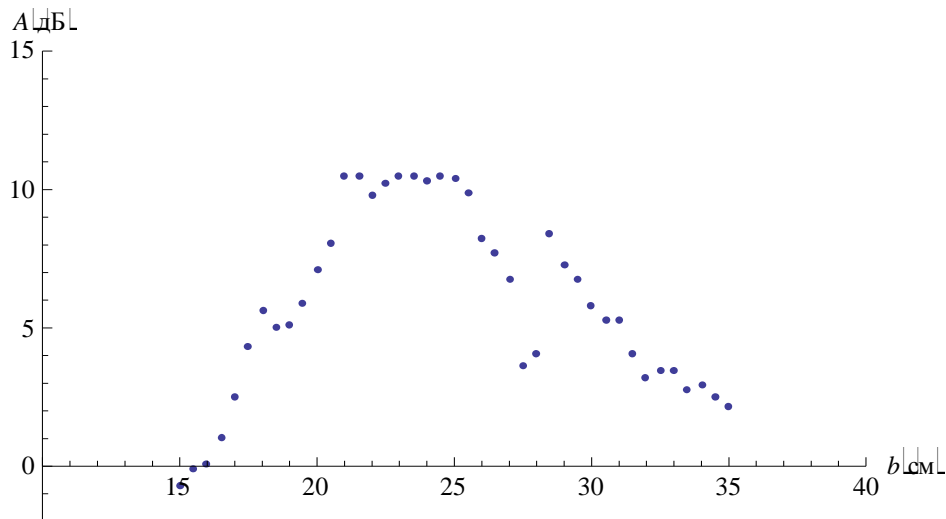


Рис. 3.

В окрестностях пятого и шестого локальных максимумов зависимости средних амплитуд эхо сигналов были аппроксимированы методом наименьших квадратов. Пятый максимум (рис. 4) зарегистрирован при $\square_{\square\square\square} \approx 28 \text{ см}$, что приблизительно равно фокусному расстоянию одной линзы $\square_{\square} = 27,5 \text{ см}$. Вероятно, в этом случае на приемном датчике 7 фокусируются ультразвуковые волны, дифрагированные от внутренней области образца 2, расположенной вблизи фокуса F линзы 5.

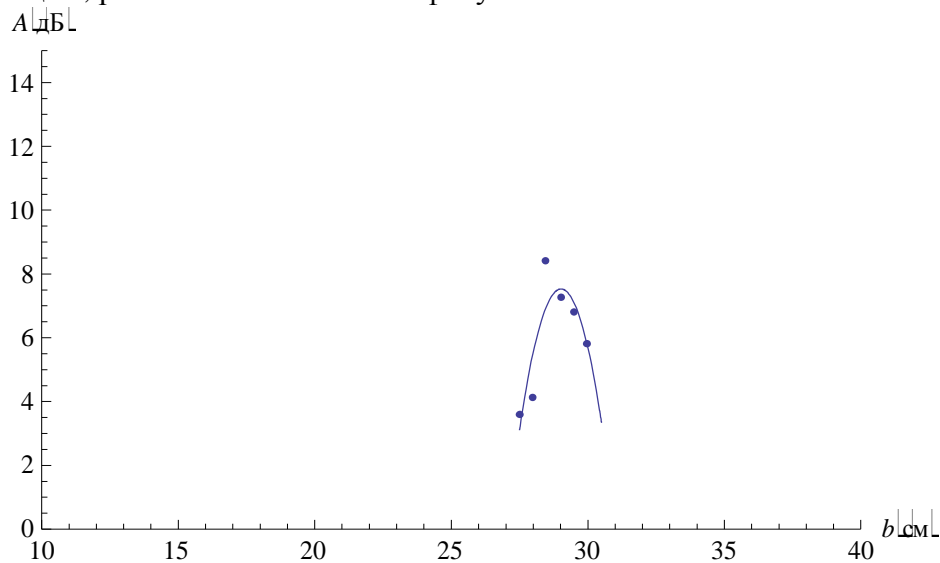


Рис. 4.

По-видимому, шестой максимум амплитуды эхо сигнала при $\square_{\square\square\square} \approx 31 \text{ см}$ (рис. 5) обусловлен тем, что приемный датчиком 7 зарегистрировал ультразвуковые волны отраженные от стенки стального образца 2, расположенной напротив плоской поверхности стального сферического сегмента 4. Проведенный расчет углов преломления на границе раздела стального сферического сегмента и воды показал, что в этом случае мнимый источник излучения ультразвуковых волн должен находиться на расстоянии 0,5 см справа от точки O (рис. 1).

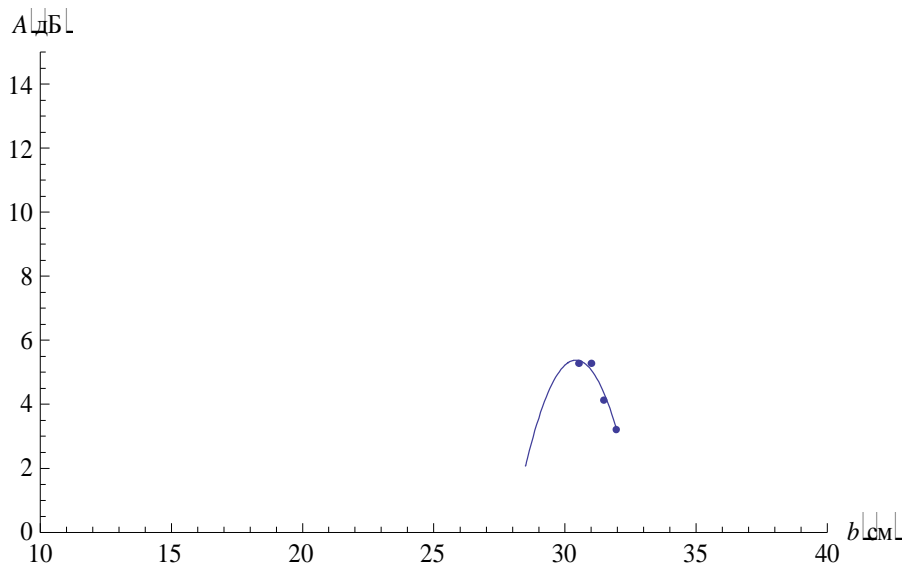


Рис. 5.

По формуле линзы, состоящей двух одинаковых собирающих линз, было рассчитано расстояние $\square_{\square\square\square} = \square$ при $\square = \square_{\square} + 0,5 \text{ см}$, где $\square_{\square} = 27,5 \text{ см}$ – фокусное расстояние одной линзы и $\square = 14,8 \text{ см}$ – фокусное расстояние системы двух линз:

$$\frac{1}{\square} = \frac{1}{\square} + \frac{1}{\square}.$$

Отсюда

$$\square_{\square\square\square} = \frac{\square_{\square}}{\square - \square} \approx 31,4 \text{ см},$$

что приблизительно равно полученному значению $\square_{\square\square\square}$. Остальные локальные максимумы, вероятно, появляются в результате отражений ультразвуковых волн от поверхностей стального образца и сферического стального сегмента.

Вывод: Результаты проведенного опыта показывают, что определено оптимальное расстояние регистрации эхо сигналов от внутренней области стального образца, расположенной вблизи фокуса F линзы 5, совпадающего с центром O сферической поверхности стального сегмента 4.