

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА ПРЯМОГО ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ИЗМЕРИТЕЛЕ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В БАРАБАНЕ КОТЛА

Соломичева С.В., аспирант; Тарасюк В.П., доц., к.т.н.

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Общий анализ проблемы и постановка задачи исследований. Для обеспечения метрологической надежности и технологической безопасности работы котлоагрегатов тепловых электростанций необходимо обеспечить оперативный контроль уровня жидкости в барабане котла. Существующие способы контроля уровня жидкости в барабане котла не позволяют производить контроль уровня в режиме реального времени с требуемым разрешением [1]. Поэтому предложен способ измерения уровня с помощью ультразвукового эхо-локационного метода [2]. Уровень жидкости в барабане котла определяют по выходному сигналу приемника пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) с учетом особенностей акустического тракта.

Акустическим трактом называют путь ультразвукового сигнала от излучателя до отражателя и далее к приемнику колебаний (излучатель (1) – протектор (2) – иммерсионный слой (3) – объект контроля (4) – отражатель (5) – объект контроля (4) – иммерсионный слой (3) – протектор (2) – приемная пьезопластина (1)). Для стенки барабана котла он показан на рисунке 1:

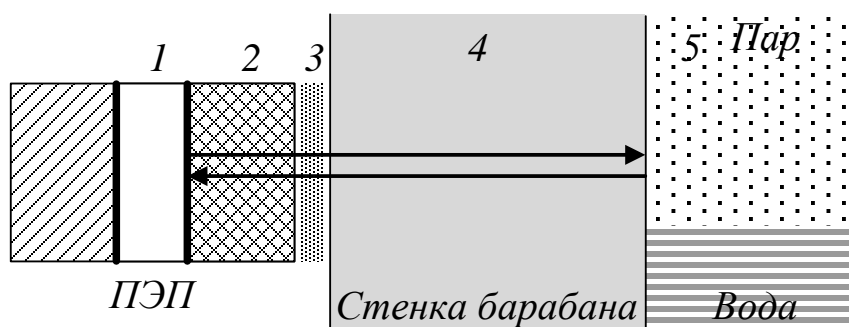


Рисунок 1 – Акустический тракт прямого ПЭП в измерителе уровня жидкости в барабане котла

Как видно из рисунка 1, ультразвук проходит через три среды, следовательно, в акустическом тракте возникают следующие эффекты: ослабление в протекторе, частичное отражение, частичное преломление, трансформация на границе объекта контроля и отражателя, затухание в стали (поглощение, рассеяние) при распространении ультразвука в контролируемой среде. Следовательно, все эти факторы оказывают влияние на амплитуду полезного сигнала на приемнике ПЭП.

Целью данной работы является исследование модели акустического тракта для прямого ПЭП в измерителе уровня жидкости в барабане котла, чтобы определить амплитуду полезного сигнала в зависимости от размера преобразователя, глубины прохождения ультразвука, отражения, акустических свойств материала и частоты колебаний.

Основная часть. Ранее была получена модель звукового поля вдоль оси излучения [2] для частоты 2 МГц, основанная на относительном звуковом давлении, создаваемом ультразвуковой волной на акустической оси круглого излучателя на расстоянии X от его поверхности. Относительное звуковое давление определяется по формуле:

$$\frac{P(x)}{P_0} = \left| P_0 2 \sin \left[\frac{\pi}{\lambda} \cdot \left(\sqrt{a^2 + x^2} - x \right) \right] \right|, \quad (1)$$

где a – радиус излучателя; P_0 – давление, создаваемое преобразователем в любой точке под поверхностью раздела либо непосредственно на излучателе, $P(x)$ – давление, создаваемое преобразователем в любой точке на расстоянии X [3]. Зависимость акустического поля излучателя от расстояния вдоль оси излучения представлена на рисунке 2:

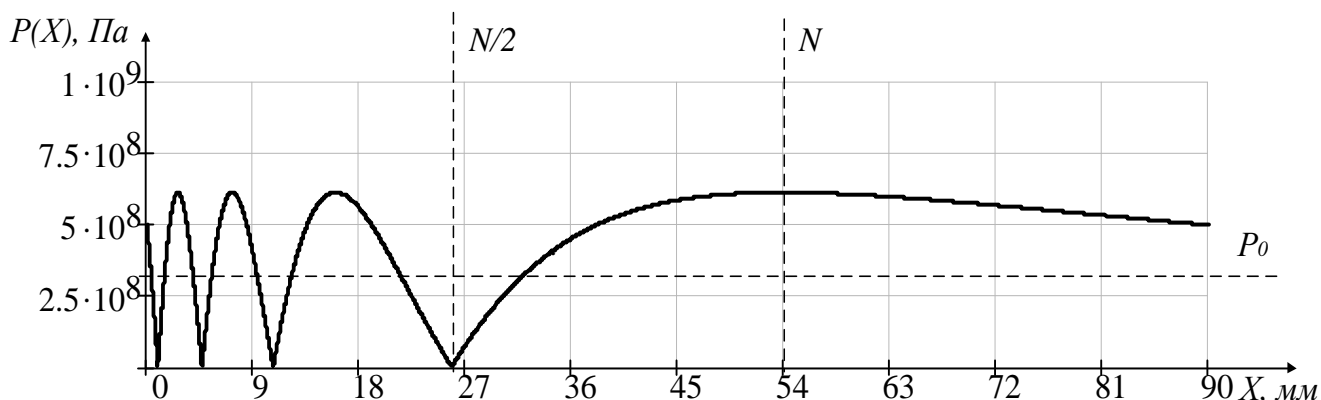


Рисунок 2 – Акустическое поле излучателя вдоль оси излучения

Из рисунка 2 следует, что звуковое давление вдоль оси колеблется от нуля до удвоенного среднего значения, с удалением от источника расстояние между минимумами и максимумами увеличивается, а крутизна кривых изменения давления уменьшается. В точке $N/2$ находится глубокий минимум, а в точке N – последний максимум. Очевидно, что в данном случае интерес представляет дальняя зона излучения. Граница ближней зоны прямонаправленного преобразователя с круглым пьезоэлементом радиуса a равна:

$$N = \frac{4a^2 - \lambda^2}{4\lambda} = 0,054, \text{ м.} \quad (2)$$

За пределами ближней зоны акустическое поле приобретает форму усеченного конуса с небольшим углом на вершине. В дальней зоне на расстоянии $X > 3N$ изменение давления в звуковой волне для площади излучателя S следует закону [4]:

$$P = P_0 \frac{\pi N}{X} = P_0 \frac{S}{\lambda X}. \quad (3)$$

Расчет акустического тракта будет проводится для дальней зоны излучения ультразвука, т.к. выполняется условие ($176\text{мм} > 3N$). За модель отражателя взята «протяженная плоскость», которая соответствует донному сигналу и имеет схему:

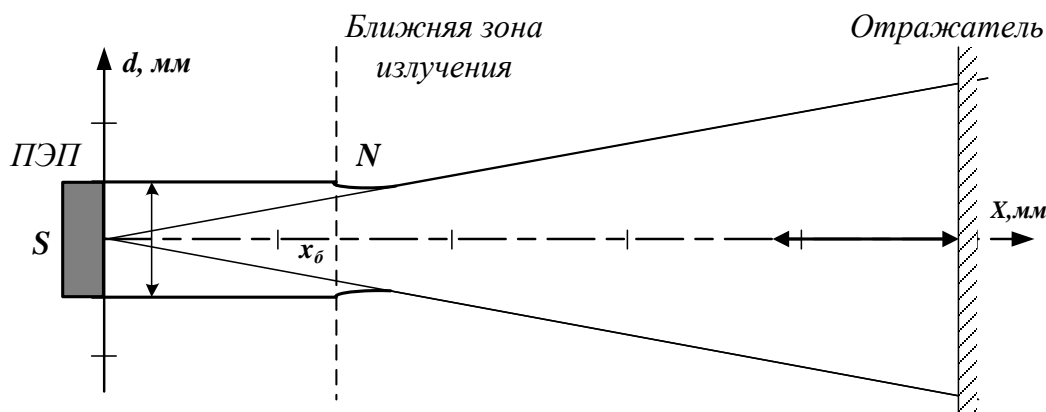


Рисунок 3 – Схема акустического тракта для модели «протяженная плоскость»

На рисунке 3: d – диаметр излучателя, площадью S ; X – расстояние от пьезопластины до отражателя; x_0 – граница ближней зоны

Расчетная формула акустического тракта для модели «протяженная плоскость»:

$$20\log\left(\frac{A}{A_0}\right) = 20\log\left(\frac{S}{2\lambda X} e^{-2\delta X}\right), \quad (4)$$

где, λ – длина поперечной волны в изделии; S - площадь ультразвукового преобразователя; δ - коэффициент затухания, учитывающий поглощение и рассеяние волн в стали; A_0 - амплитуда колебаний акустического зондирующего импульса на поверхности преобразователя (в момент излучения); A - амплитуда колебаний волн, отраженных и пришедших на поверхность преобразователя (в момент приема эхосигнала). Учтем зависимость коэффициента затухания от температуры $\delta(T)$ и получим диапазон амплитуд:

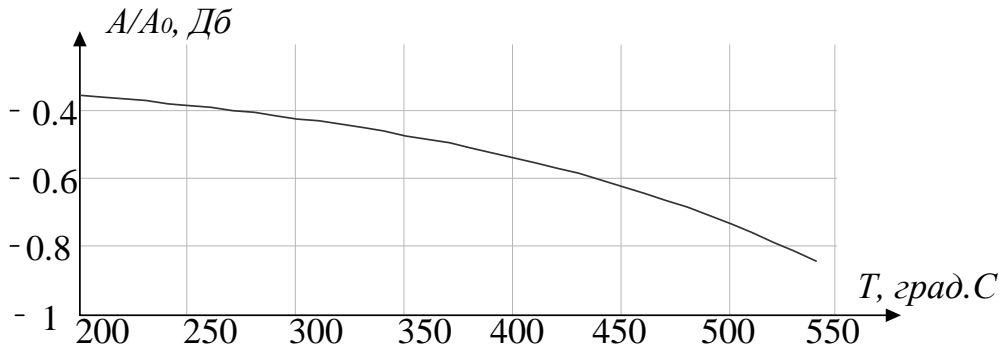


Рисунок 4 – Диапазон амплитуды полезного сигнала

Из рисунка 4 видно, что амплитуда полезного сигнала уменьшается от $-0,39$ до $-0,85$ Дб в зависимости от повышения температуры по мере прохождения вглубь стенки барабана.

В модели (4) акустического тракта не учитывается явление дифракции волн при излучении, отражении и приеме. Этими свойствами можно пренебречь, если ограничить минимальные размеры преобразователя и отражателя. Они должны быть больше $\lambda/2$, для этого определим эквивалентную площадь донного сигнала от отражателя.

Согласно определению эквивалентной площади амплитуда донного эхосигнала равна амплитуде эхосигнала от диска, расположенного на той же глубине X [5].

$$\frac{A}{A_0} = \frac{S}{2\lambda X} e^{-2\delta X} = \frac{S_d S}{\lambda^2 X^2} e^{-2\delta X} \quad (5)$$

Следовательно, правые части уравнений равны, а также равны и левые части этих уравнений. Откуда получим эквивалентной площади амплитуда донного сигнала:

$$S_d ekv = \frac{\lambda X}{2} = 0,00026, м \quad (6)$$

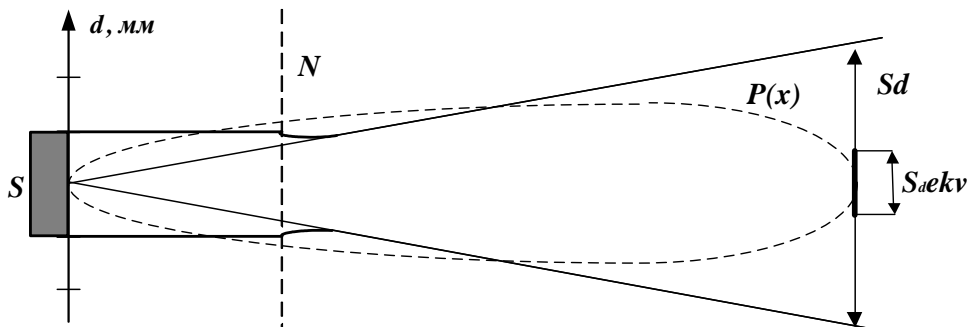


Рисунок 5 – Схема акустического поля $P(x)$.

Использование величины S_d не всегда оптимально, т.к. она не отображает реальную эффективную площадь акустического поля (рисунок 5). Для этого в акустике введено понятие эквивалентной площади донной поверхности $S_{d\text{ekv}}$. Очевидно, что эквивалентная площадь донной поверхности увеличивается с глубиной прозвучивания. Это связано с различием зависимостей амплитуды эхосигнала от расстояния.

Величина $S_{d\text{ekv}}$ является максимальной площадью диска, прозвучиваемой на заданной глубине. Т.е. если необходимо получить сигнал от большей площади, то необходимо использовать ПЭП с большими геометрическими размерами пьезопластины, т.к. амплитуда эхосигнала от ПЭП с заданными параметрами уже не возрастает, отраженный эхосигнал будет формироваться только от части необходимой поверхности, равной $S_{d\text{ekv}}$. Таким образом, для рассматриваемого ПЭП при площади излучателя $S=0.00101 \text{ мм}^2$, получили площадь максимального эквивалентного донного сигнала $S_{d\text{ekv}}=0.00026 \text{ мм}^2$. Теперь можем определить геометрические параметры отражателя и их соответствие условию $\lambda/2$, при котором можно пренебречь дифракцией. При диаметре излучателя 25 мм, диаметр отражателя составит 12 мм. Следовательно, условие ($\lambda/2=0,00147 < 12 \text{ мм}$) выполняется.

Выводы.

1. Получена модель (4) акустического тракта для прямого ПЭП в измерителе уровня жидкости в барабане котла, которая позволила определить, что амплитуда полезного сигнала в зависимости от размера преобразователя, глубины прохождения ультразвука, акустических свойств материала и частоты колебаний, уменьшается от -0,39 до -0,85 Дб при росте температуры по мере прохождения стенки барабана котла.

2. Установлена максимальная эквивалентная площадь амплитуды донного эхосигнала равна $S_{d\text{ekv}}=0.00026 \text{ мм}^2$, на основании которой определен диаметр отражателя 12 мм.

3. Условие ($\lambda/2=0,00147 < 12 \text{ мм}$) выполняется, что подтверждает адекватность использования модели акустического тракта (4) «протяженной плоскости» для прямого ПЭП в измерителе уровня жидкости в барабане котла и позволяет пренебречь явлениями дифракции в протекторе и иммерсионной жидкости, подтверждая звукопрозрачность стенки барабана при частоте 2 МГц.

Перечень ссылок

1. Авраменко С.В. Компьютерная система мониторинга уровня жидкости в барабане котла/ С.В. Авраменко, В.П. Тарасюк// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація» - 2012. – Вип.. 22(200). – с. 135-143.

2. Авраменко С.В. Исследование математической модели распространения ультразвука в стенке барабана котла / С.В. Авраменко, В.П. Тарасюк// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація» - 2013. – Вип.. 1(24). – с. 205-214.

3. Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля /Под ред. И.Н. Ермолова. – М.Машиностроение, 1986. – 280с. с.178

4. Неразрушающий контроль. Кн.2. Акустические методы контроля: Практик. Пособие/ И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов; под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш.шк., 1991. – 283с. С.73

5. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Пер. с нем. – М: Металлургия, 1991г., 752с.