

УДК 62-1.31:62-403

С.В. Авраменко, В.П. Тарасюк (канд. техн. наук, доц.)
ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра электронной техники
E-mail: svetikkrasota@mail.ru, vita_post@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В СТЕНКЕ БАРАБАНА КОТЛА

В работе исследуется математическая модель распространения ультразвука в стенке барабана котла для измерения уровня жидкости. На основе коэффициента распространения ультразвукового сигнала в стенке барабана, включающего в себя зависимости изменения коэффициентов затухания и отражения ультразвука от структурных свойств стали, плотности, температуры жидкости и пара, можно судить об уровне воды. Установлено, что в металле с ростом его температуры коэффициент затухания звука увеличивается в зависимости от размера зерен и толщины стенки. Для границы раздела сред сталь-вода наблюдается меньшее отражение сигнала, чем для границы сталь-пар. Эти особенности учтены при выборе частоты генерации сигнала и информативного параметра.

Ключевые слова: коэффициент отражения, затухание, распространение ультразвука, приемник, уровень воды, интенсивность.

Общий анализ проблемы и постановка задачи исследований

Эффективная эксплуатация барабанных парогенераторов в условиях теплоэлектроцентралей и теплоэлектростанций может осуществляться при условии строгого поддержания уровня воды в барабане котла в допустимых пределах, указанных в инструкции по эксплуатации для каждого котла индивидуально. Для данной конструкции котла типа БКЗ120-10ГМ согласно инструкции по эксплуатации [1] средний уровень воды в барабане должен поддерживаться на 200 мм ниже геометрической оси барабана. Для обеспечения нормального питания котла водой отклонения среднего уровня воды не должны превышать ± 50 мм, отклонение уровня на +150 мм и -100 мм приводит к аварийным ситуациям (гидроудар и пережег опускных труб соответственно) и приводит к останову котла. Для уменьшения затрат на внеочередные пуски и ремонтные работы при аварийных остановках необходим оперативный контроль уровня воды в барабанах, имеющих весьма ограниченный запас воды. Это является важной и актуальной задачей при их эксплуатации [2].

Существующие системы контроля уровня воды в барабане парогенераторов основаны на непосредственном наблюдении за уровнем по водомерному устройству. В этом случае применяют показывающие дифманометры-уровнемеры [2]. Их недостатком является то, что сразу после продувки, уровень в водомерной колонке значительно выше исходного. По мере охлаждения воды, уровень приближается к начальному. Температура в барабане может изменяться от (450-550) °C на выходе до (200-300)°C на входе. Уменьшение температуры питательной воды на 100 °C при неизменной нагрузке котла и коэффициенте избытка воздуха приводит к росту температуры перегретого пара на (25-30) °C, следовательно, он может находиться за пределами видимости водомерной колонки. Т.е. уровень в барабане может быть на (10-30) мм выше уровня в колонке, что может привести к аварийной ситуации.

© Авраменко С.В., Тарасюк В.П., 2013

Поэтому, необходим иной способ измерения уровня, который не окажет влияния на ход технологического процесса, что является одним из основных требований измерения уровня.

Анализ существующих решений

Данной проблематикой занимаются Рязанский приборостроительный завод ОАО «ТЕПЛОПРИБОР» («Система измерения уровня воды в барабане энергетического котла гидростатическим методом») [3], АОЗТ «Укراгропромкомплекс» (автоматика котельного оборудования) [4] и др. Уровень измеряется гидростатическим методом (измерение перепада давления в конденсационном сосуде). В связи с тем, что нарушение герметизации барабана недопустимо и измерение перепада давления в конденсационном сосуде является косвенной оценкой уровня, данный способ измерения не удовлетворяет выше описанным требованиям. Поэтому предложен способ измерения уровня зеркальным ультразвуковым методом, который не имеет перечисленных недостатков.

Цель работы – исследовать математическую модель распространения ультразвука в стенке барабана котла, что позволит применить данный метод в компьютеризированной системе контроля для измерения уровня жидкости в барабане. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- разработать математическую модель распространения ультразвука в стенке барабана котла;
- определить информативный параметр, по которому можно будет судить о состоянии уровня воды в барабане котла;
- выбрать частоту генерации ультразвукового сигнала, удовлетворяющую условиям измерения уровня;
- оценить параметры распространения ультразвука в стенке барабана (коэффициенты затухания и отражения).

Основная часть

Ультразвуковой метод широко используется в научных исследованиях, для изучения свойств и строения веществ, в дефектоскопии и т.д.. Он основан главным образом на зависимости скорости распространения и затухания акустических волн от свойств и процессов, происходящих в исследуемых объектах [5]. В компьютеризированной системе контроля для уровня жидкости в барабане котла предлагается использовать зеркальный ультразвуковой метод, потому что он позволяет учесть следующие характеристики: толщину стенки барабана, которая составляет 88 мм; наличие разнородных сред: углеродистая сталь марки 22К, перегретый пар или вода; широкий температурный диапазон и высокое давление в барабане (10 МПа).

При выборе преобразователя в данном случае следует руководствоваться температурным фактором. В настоящее время существует ряд высокотемпературных ультразвуковых преобразователей, для которых рабочий диапазон температур составляет от 10 до 600°C, диаметр контактной поверхности колеблется от 7,5 до 16 мм, частота сигнала от 2 до 10 МГц, при этом толщина стенки стали не должна превышать 300 мм. Для обеспечения акустического контакта необходимо использовать специальные контактные пасты. Высокотемпературная контактная паста с высокой вязкостью и твердым наполнением, предназначена для измерений по горячей поверхности; диапазон температур: +200...+600°C. Однако паста может использоваться до потери проводящих способностей, поэтому ее необходимо заменять через 100 часов. В таком случае затрудняется использование контактной пасты, и возможно использование сухого контакта. Для этой цели используются насадки для стандартных преобразователей – иммерсионные преобразователи или роликовые преобразователи.

Измерение уровня воды в барабане котла будет основано на анализе интенсивности выходного сигнала приемника $I_{вых}$ звукового излучения с учетом затухания ультразвука в

металле. Информативной составляющей выходного сигнала будет отличие в коэффициентах отражения эхо-сигналов от границ раздела сред сталь-вода, сталь-пар, по которым и оценивается значение уровня воды в барабане котла. Интенсивность выходного сигнала $I_{\text{вых}}$ можно представить в виде функциональной зависимости изменения сгенерированного излучателем сигнала I_0 от функции коэффициента распространения ультразвука в металле K_p :

$$I_{\text{вых}} = I_0 \cdot f(K_p), \tag{1}$$

с учетом коэффициента затухания сгенерированного излучателем сигнала в стали K_3 и коэффициента затухания отраженного от границы раздела сред сигнала $K_{3_отр} = K_3 \cdot K_{отр}$. При этом будем считать, что угол падения равен углу отражения, и отраженный сигнал будет затухать наружу таким же образом, как и сгенерированный при прохождении внутри стенки:

$$K_p = K_3 + K_3 \cdot K_{отр} = K_3(1 + K_{отр}), \tag{2}$$

где $K_{отр}$ – коэффициент отражения, зависящий от среды (вода или пар).

Примем допущение, что ультразвуковая волна падает по нормали к исследуемому объекту, а излучатель (И) и приемник (П) непосредственно контактирует со стенкой барабана через контактную жидкость. На рисунке 1 схематично изображен принцип распространения волны в стенке барабана котла:

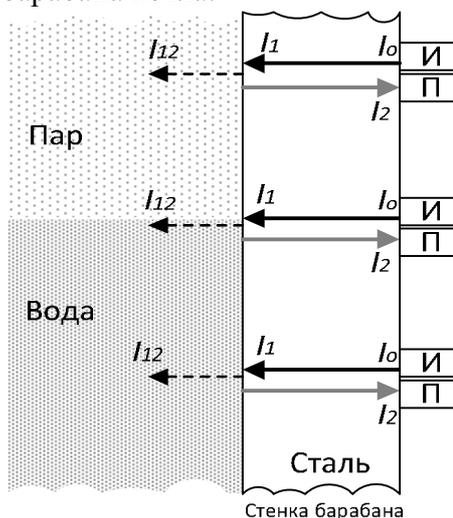


Рисунок 1 – Распространение волны в стенке барабана котла

где I_0 - начальная интенсивность сигнала от излучателя, $I_1 = I_0 \cdot f(K_3)$ - зависимость интенсивности сигнала от коэффициента затухания в данной среде на расстоянии равном ширине стенки барабана, $I_{12} = I_0 \cdot f(K_3, K_{np})$ - интенсивность сигнала при прохождении в граничащую среду (K_{np} - коэффициент прохождения, зависящий от среды), $I_2 = I_0 \cdot f(K_p)$ - интенсивность отраженного сигнала, вернувшегося в приемник.

Коэффициент затухания K_3 (1/м) состоит из коэффициентов поглощения $K_{погл}$ и рассеяния $K_{рас}$:

$$K_3 = K_{погл} + K_{рас}. \tag{3}$$

Сталь имеет поликристаллическую структуру и состоит из большого количества зерен, ориентированных случайным образом. При переходе ультразвука от одного кристалла в другой скорость звука из-за анизотропии может измениться в большей или меньшей степени. В результате возникает частичное отражение, преломление, рассеяние и затухание ультразвука[6].

Затухание в стали определяется поглощением и рассеянием ультразвука на границах зерен и структурных составляющих, оно существенно зависит от соотношения средней величины размера зерна D_{cp} и длины волны λ (рисунок 2).

При $D_{cp} \gg \lambda$ волны поглощаются в каждом зерне, и затухание определяется в основном поглощением. При $\lambda \approx D_{cp}$ затухания резко возрастает за счет диффузного рассеяния упругих волн, проникающих между отдельными кристаллами металла. Особенно большое затухания при $\lambda \approx (3 \div 4)D_{cp}$, потому что до диффузного рассеяния добавляется поглощения, связанное с релаксацией (уменьшением) теплопроводности на анизотропных кристаллах. При $\lambda \gg D$ происходит рассеяние волн мелкими кристаллами металла, коэффициент затухания пропорционален f^4 , где f - частота колебаний УЗК. Эти свойства необходимо учесть при выборе частоты. В интервале $\lambda \gg (10 \div 15)D_{cp}$ упругие волны затухают слабо, и редко наблюдаются помехи от структурных составляющих, чем и будем руководствоваться при выборе частоты генерации ультразвукового сигнала.

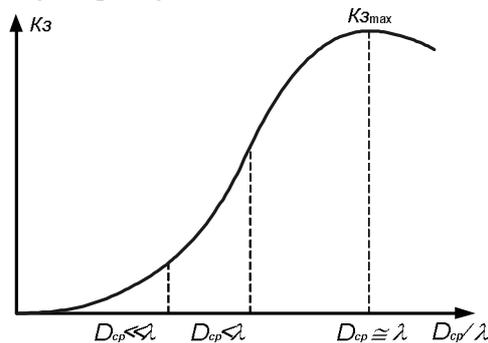


Рисунок 2 – Схематическая зависимость коэффициента затухания от среднего диаметра зерна и длины волны

При повышении частоты длина волны уменьшается и повышается вероятность отражения ее от дефектов металла. Но при повышении частоты увеличивается коэффициент затухания ультразвука в металле, ухудшаются условия ее прохождения через поверхность ввода и увеличивается интенсивность отражения от границ зерен и неоднородностей металла. По мере удаления ультразвуковой волны от источника колебаний ее амплитуда, давление и интенсивность уменьшаются по экспоненциальному закону, что обусловлено затуханием. Оно предопределяется физико-механическими характеристиками среды, типом волны и учитывается коэффициентом затухания K_z [7]. Зная характеристики распространения ультразвука, оценим и выберем оптимальную частоту, которая обеспечит наибольшую чувствительность при минимальных потерях энергии на рассеяние и поглощение ее дефектами металла.

Используя справочные данные изменения среднего диаметра зерна от температуры барабана [8], получим: при минимальной температуре в барабане котла $T_{min} \approx 215$ °С средний диаметр зерен стали составляет $D_{cp} = 0,041$ мм, при максимальной температуре $T_{max} \approx 540$ °С средний диаметр зерен равен $D_{cp} = 0,072$ мм. Исходя из условия $\lambda \gg (10 \div 15)D_{cp}$, зададимся граничными значениями длин волн: $\lambda_{min} = 1,23$ мм, $\lambda_{max} = 2,17$ мм.

Из табличного значения скорости звука в стали $c_{ст} = 5900$ м/с и определим диапазон частот, соответствующий граничным длинам волн: $f_{max} = 5$ МГц, $f_{min} = 2$ МГц.

На величину коэффициента рассеяния $K_{рас}$ влияет соотношение среднего размера зерна к длине волны. При выбранном нами условии соотношения $\lambda \gg (10 \div 15)D_{cp}$ коэффициент рассеяния $K_{рас}$ будет пропорционален f^4 и коэффициент затухание в данном случае определяется выражением:

$$K_z = A \cdot f + B \cdot f^4 \cdot D_{cp}^3(T), \quad (4)$$

где A и B – постоянные экспериментальные значения параметров, $A=0,096 \cdot 10^{-6}, (с/м)$, $B=0,4977 \cdot 10^{-24}, (с^4/м^4)$ [6]. В результате установим зависимость коэффициента затухания ультразвука в стали от среднего диаметра зерна и роста температуры при прохождении его к внутренней поверхности стенки барабана для различных частот генерации сигнала $f=2, 4, 5$ МГц (значения выбранных частот соответствуют стандартному ряду величин), представленную на рисунке 3. Из полученных расчетов следует, что коэффициент затухания прямо пропорционален увеличению диаметра зерен в результате роста температуры, а также возрастает с увеличением частоты. Наименьшее затухание ультразвукового сигнала наблюдается при минимальном значении частоты ($f=2$ МГц).

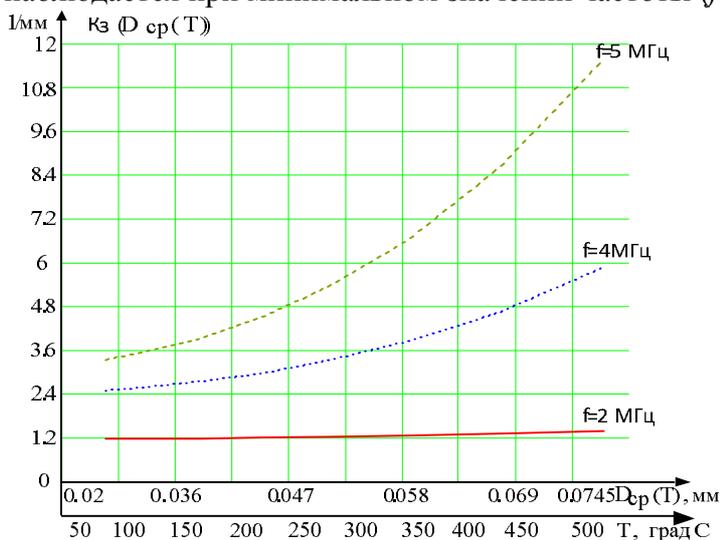


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента затухания ультразвука в стали от среднего диаметра зерна и роста температуры при прохождении

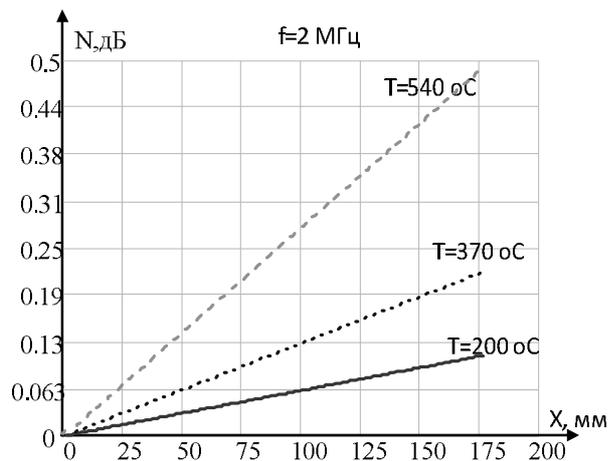


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента затухания ультразвука в дБ в стали по ширине стенки.

Из выражения (4) определим затухания ультразвука, обусловленное рассеянием и поглощением. Оно описывается экспоненциальным законом уменьшения амплитуды с расстоянием, в отрицательных децибелах [6], используя формулу:

$$N = 20 \lg(e^{-K_s \cdot X}), \tag{5}$$

где X - расстояние от источника ультразвука до внутренней стенки барабана.

Поскольку каждый последующий эхо-сигнал проходит расстояние, равное удвоенной толщине стенки барабана $2X$ (внутри от И и обратно к П), принимая условно, что $K_{omp}=1$, то формула и зависимость примет вид: $N = 20 \lg(e^{-2K_s \cdot X})$. На рисунке 4 показана зависимость коэффициента затухания ультразвука в дБ в стали по ширине стенки в обе стороны для максимальной, минимальной и средней рабочих температур. При переводе дБ в разы, зависимость показывает, что для $f=2$ МГц сигнал затухает в 1,06 раз.

Необходимо также учитывать, что есть отражение от воды и пара, для чего оценим K_{omp} . При падении звуковой волны на границу раздела сред сталь-вода или сталь-пар, часть энергии будет отражаться в первую среду, а остальная энергия будет проходить во вторую среду (вода или пар). Необходимо учесть условие: толщина стенки, через которую проходит ультразвуковая волна, должна быть: $X \gg (\lambda_{cm}/4)$, иначе стенка будет звуко-прозрачной и звуковая волна практически полностью пройдет во вторую среду [9]. Соотношение между отраженной энергией и энергией, проходящей во вторую среду, определяется волновыми сопротивлениями первой и второй среды. При отсутствии дисперсии скорости звука волновое сопротивление не зависит от формы волны и выражается формулой:

$$Z_i = \rho_i \cdot c_i, \tag{6}$$

где ρ_i - плотность одной из сред, $кг/м^3$, c_i - скорость ультразвуковой волны в материале, $м/с$, Z_i – волновое сопротивление среды, $кг/(м^2с)$. Т.к. плотность и скорость звука в среде зависит от температуры, очевидно, что волновое сопротивление примет вид: $Z_i = \rho_i(T) \cdot c(T)$. Скорость звука в воде или водяном паре в зависимости от температуры вычисляется по формуле:

$$c_{в,п} = \sqrt{\frac{\gamma R(T + 273)}{M}}, \tag{7}$$

где γ - показатель адиабаты, для воды и водяного пара при температурах от 200 до 600 °C составляет 5,87; $R = 8,31$ Дж/мольK - универсальная газовая постоянная; $M = 0,018$ кг/моль – молярная масса воды. Для твердых тел, в нашем случае, стали:

$$c_{ст} = \sqrt{\frac{G}{\rho_{ст}}} = \sqrt{\frac{E}{2(1 + \mu)\rho_{ст}}}, \tag{8}$$

где G - модуль сдвига для стали равен 79,3 ГПа, E – модуль Юнга, ГПа (табличное значение, зависит от температуры), μ - коэффициент Пуассона для стали равен 0,28.

Т.к. вторая среда в данном случае акустически более «мягкая», т.е. $Z_1 > Z_2$, то при отражении фаза волны изменяется на 180°. Коэффициенты отражения и прохождения будут определяться следующим образом:

$$K_{отр} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \tag{9}$$

где $K_{отр}$ – коэффициент отражения звукового давления, Z_1 – волновое акустическое сопротивление первого вещества (сталь), в котором распространяется звуковая волна, $кг/(м^2с)$, Z_2 – волновое сопротивление второго вещества (вода или пар), в которое проходит звуковая волна, $кг/(м^2с)$. Воспользовавшись справочными данными для плотностей стали 22К, воды и водяного пара в заданном диапазоне температур [10] на основании акустических сопротивлений можно определить коэффициенты отражения ультразвука для границ раздела сред сталь-вода, сталь-пар (рисунок 5).

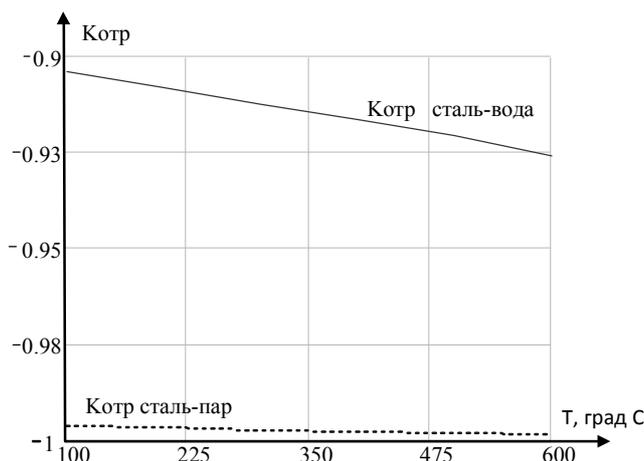


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента отражения ультразвука от температуры для границ раздела сред сталь-вода, сталь-пар

Знак «-» означает, что фаза отраженной волны меняется на противоположную по отношению к фазе падающей волны. В процентах отраженная волна составит в среднем 91,5 %, а прошедшая 8,5 % от падающей волны для границы сталь-вода, и 99,9% и 0,0009%

соответственно для границы сталь-пар. Из данных расчетов следует, что интенсивность отраженного сигнала от воды будет меньше, чем от пара. Таким образом, по интенсивности ультразвукового сигнала, полученного приемником можно судить об уровне воды в барабане котла.

Полученные результаты исследования математической модели распространения ультразвука в стенке барабана котла $K_p = K_3 + K_3 \cdot K_{omp} = K_3(1 + K_{omp})$ дают основания представить интенсивность отраженного сигнала в виде зависимостей:

$$\begin{cases} I_1 = I_0 \cdot f(K_3(f, D_{cp}, T), X) & \text{при } X \in (0..88)\text{мм} \\ I_{12} = I_0 \cdot f(K_3(f, D_{cp}, T)K_{omp}(T, \rho, c), X) & \text{при } X = 88\text{мм} \\ I_2 = I_0 \cdot f(K_3(f, D_{cp}, T)K_{omp}(T, \rho, c), X) & \text{при } X \in (88..176)\text{мм}, \end{cases} \quad (10)$$

которые, если начальный сигнал I_0 условно принять за единицу, графически примут вид, представленный на рисунке 6:

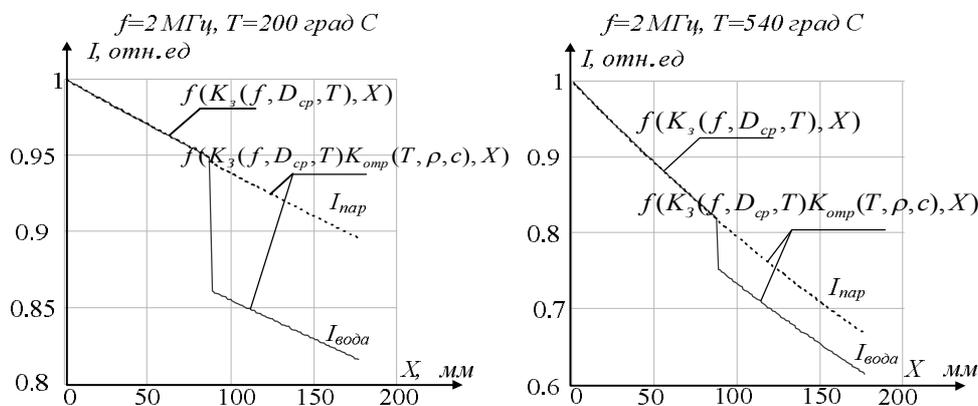


Рисунок 6 – Изменение интенсивности сигнала на выходе приемника на частоте генерации 2МГц при минимальной и максимальной температурах

Зависимости на рисунке 6 показывают, что по мере роста температуры разница между отраженным сигналом от пара и воды сокращается, что влечет за собой необходимость температурной коррекции. Полученные результаты дают возможность представить подход к измерению уровня ультразвуковыми методами следующим образом:

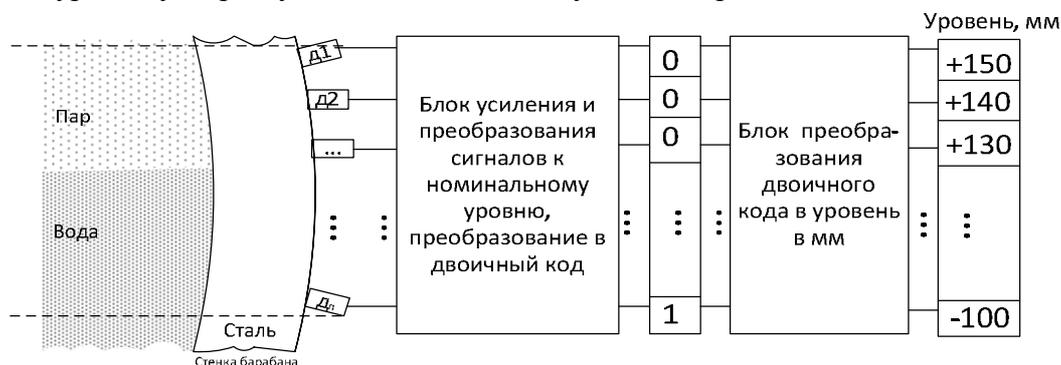


Рисунок 7 – Подход к измерению уровня воды по разнице отраженных сигналов от границ раздела сред сталь-вода, сталь-пар

По всему диапазону допустимого изменения уровня жидкости необходимо распределить n датчиков таким образом, чтобы дискретность измерения каждого из них была не менее 10 мм. Полученным сигналам присвоим уровни «0» - для сигнала отраженного от

пара, «1» - для сигнала отраженного от воды, и пронормируем соответственно уровню в мм. С помощью компаратора сравниваем сигналы от датчиков всего диапазона измерений и по полученному двоичному коду оцениваем уровень жидкости в барабане котла.

Исходя из данных расчетов следует, что интенсивность отраженного сигнала от воды при всех исследуемых значениях температуры будет меньше, чем от пара. Руководствуясь полученными результатами можно судить о наличии на пути распространения колебаний воды или пара. Располагая группу пар датчиков по всей возможной высоте изменения уровня воды в барабане котла, компьютеризированная система контроля уровня оперативно отслеживает изменение уровня воды с учетом основных дестабилизирующих факторов (температуры, плотности и давления).

Выводы

1. В данной работе получена и исследована математическая модель распространения ультразвука в стенке барабана котла, толщиной 88 мм, с учетом наличия разнородных сред: углеродистая сталь марки 22К, перегретый пар, вода; широкого диапазона температур (215-540°C) и высокого давления в барабане (10 МПа).

2. Информативным параметром, по которому судят о состоянии уровня воды в барабане котла, является изменение интенсивности выходного сигнала приемника $УЗК I_{\text{вых}} = I_0 \cdot f(K_p)$, связанное с различными коэффициентами отражения от границ разделов сред сталь-вода ($K_{\text{отр}} = -0,93$) и сталь-пар ($K_{\text{отр}} = -1$).

3. Полученные результаты исследований показывают, что затухание волны существенно зависит от частоты генерации сигнала, ширины стенки барабана и температуры. Расчеты показывают, что наиболее информативный сигнал будет при частоте 2 МГц, потому что при данной частоте затухание ультразвука в стали будет минимальным (0,5 дБ). Установлено, что коэффициент отражения волны для границ раздела двух сред сталь-вода на 7-10% ниже, чем для границы сталь-пар, что позволяет отслеживать уровень по интенсивности сигнала, вернувшегося в приемник.

Список использованной литературы

1. Временная инструкция по эксплуатации котлоагрегата БКЗ 120-100 ГМ-2, 1982.
2. Цане С.В. Газотурбинные и парогенераторные установки тепловых электростанций / С.В. Цане. - М.: МЭИ, 2002. - 426 с.
3. ТехСовет. Путеводитель по эффективным техническим решениям. Он-лайн журнал [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.tehsoviet.ru/>.
4. АОЗТ «Укргропромкомплекс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.uapk.com.ua/avtomatika_kotlov.html.
5. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / глав. ред. И.П. Голямина. - М.: «Советская энциклопедия», 1979. - 400 с.
6. Алешин Н. П. Ультразвуковая дефектоскопия: справ. пособие. / Н.П. Алешин, В.Г. Лупачев. - Минск: Высшая школа, 1987. - 277 с.
7. Клиндух В.Ф. Неразрушающие методы контроля и диагностики узлов и деталей подвижного состава / В.Ф. Клиндух, В.М. Макиенко, Е.Н. Кузьмичев; ГОУ ВПО Дальневост.гос. ун-т путей сообщения. - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006.
8. Кретов Е. Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении / Е. Ф. Кретов. - СПб: ООО «Радиоавионика», 1995.
9. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. - М: Машиностроение, 1981. - 240 с.
10. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики: справочник [Электронный ресурс] / А.А. Александров, К.А. Орлов, В.Ф. Очков. - Режим доступа: <http://tw.t.mpei.ac.ru/rbtpp>.

Надійшла до редакції:
18.04.2013

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

С.В. Авраменко, В.П. Тарасюк

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Дослідження математичної моделі розповсюдження ультразвуку в стінці барабана котла. В роботі досліджено математичну модель розповсюдження ультразвуку в стінці барабана котла, за допомогою якої можливо оцінювати рівень рідини. Одержано залежність коефіцієнта загасання і відображення ультразвуку від структурних властивостей сталі, густини, температури рідини і пари. Встановлено, що в металі з ростом його температури коефіцієнт загасання звуку збільшується в залежності від розміру зерен і товщини стінки. Для межі розділу середовищ сталь-вода спостерігається відображення сигналу нижче, ніж для межі сталь-пар. Ці особливості враховані при виборі частоти генерації сигналу і інформативного параметра.

Ключові слова: коефіцієнт відображення, загасання, розповсюдження ультразвуку, приймач, рівень води, інтенсивність.

S. Avramenko, V. Tarasyuk

Donetsk National Technical University

A Study of the Mathematical Model of Ultrasonic Propagation in the Drum Boiler Wall. Efficient operation of drum steam in thermal power plants can be performed by a strict maintenance of the water level in the drum within certain limits. The parameter that characterizes the balance of the boiler is water level in the boiler drum. This paper provides a mathematical model of ultrasonic signal propagation in the drum wall. When using the ultrasound method we took into account the following features of the boiler drum: the drum wall thickness is 88 mm; there are heterogeneous media in the boiler (carbon steel 22K, superheated steam, water); wide temperature range and high pressure in the vessel. For steel-water border the ultrasonic wave amplitude decreases exponentially at the distance $10\lambda s$ (λs is wavelength in steel). In gases and liquids without impurity particles there is no scattering and damping is determined by absorption. The absorption coefficient is proportional to the frequency squared. The greatest damping will be at the highest temperature 540 °C, which corresponds to the presence of superheated steam behind the wall, and the lowest - at 215 °C - nutritional fluid, the intermediate temperature – water-steam mixture. The results show that wave damping depends strongly on the width of the drum wall, graininess of steel and temperature, which has different values for steam and water in the drum. The reflection coefficients of the wave at the borders between two media are significantly different for water and steam, which will affect the intensity of the signal returned to the receiver. These features have been taken into account for frequency signal generation selecting. The studies resulted in obtaining the dependence of damping coefficient and reflection coefficient of ultrasound on the structural properties of steel, density, liquid and vapor temperature, and the dependence of the reflection coefficient of the temperature for steel-vapor and steel-water interfaces. The calculations show that the intensity of the reflected signal from water will be less than that of steam. Thus, the intensity of the ultrasonic signal received by the receiver can show the level of water in the boiler drum. An informative parameter that shows the water level state in the boiler drum is the range difference of the intensities of signals obtained from steel-vapor and water-steel interfaces.

Key words: reflection coefficient, damping, ultrasonic propagation, receiver, water level, intensity.