

УДК62-1.31:62-403

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В ТОЛСТОСТЕННЫХ ГЕРМЕТИЧНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ

Авраменко С.В., аспирант; Белов А.С., студент; Тарасюк В.П., доц., к.т.н.
(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Общий анализ проблемы и постановка задачи исследований. Толстостенные резервуары получили широкое применение в производстве и промышленности. В большинстве случаев данные емкости используют для переработки и хранения вредных и ядовитых химических веществ, топлива или горюче-смазочных материалов, а также при необходимости поддержания конкретных условий (давления и температуры), зачастую агрессивных и опасных для человека. Возникает вопрос о разработке современных электронных средств для мониторинга уровня жидкости в толстостенных резервуарах. В качестве таких средств предлагается использовать акустические ультразвуковые датчики.

Цель работы –разработка структурной схемы электронного устройства контроля уровня жидкости в толстостенных герметичных резервуарах. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **задачи**:

- проанализировать существующие методы измерения уровня жидкости;
- исследовать принцип измерения уровня с помощью ультразвука;
- разработать структурную схему электронного устройства контроля уровня жидкости в толстостенных герметичных резервуарах

Анализ существующих методов измерения уровня:

- 1.механические(способ установки - поплавковый или буйковый) основаны на принцип перемещения поплавка через механические связи или систему дистанционной передачи;
- 2.гидростатические (способ установки -монтаж на днище резервуара) основан на уравнивании давления столба измеряемой жидкости и столба жидкости, которая заполняет измерительный прибор на каком-либо производстве;
- 3.электрические (способ установки-электроды опускаются в исследуемую жидкость) основан на измерении сопротивления между электродами;
- 4.акустическиеили ультразвуковые (способ установки-на наружные поверхности резервуара)основан на явлении отражения ультразвуковых колебаний от плоскости раздела сред;
- 5.радарные (способ установки- монтаж над исследуемой жидкостью в резервуаре) основан на явлении отражения электромагнитных колебаний от плоскости раздела сред жидкость-газ;
- 6.рефлексные или волноводные (способ установки - монтаж специального зонда в

резервуар) основан на явлении отражения электромагнитных колебаний от плоскости раздела сред жидкость-газ, но электромагнитный импульс распространяется не в газовой среде, а по специальному зонду – волноводу.

Из выше перечисленных методов для контроля уровня жидкости в толстостенных резервуарах выбран акустический, т.к. он имеет следующие преимущества:

- возможность бесконтактных измерений (в том числе через металлические стенки резервуаров), поскольку иной монтаж в данном случае приведет к разгерметизации резервуара;

- отсутствие при реализации метода высоких требований к износостойкости и прочности конструкций оборудования;

- простота конструкции преобразователей и способа их установки на резервуары, как следствие - простота сервисного обслуживания и упрощенный регламент сервисной поддержки;

- акустические датчики обладают широким диапазоном измерения до 6-8 метров (зависит от технических характеристик уз-датчика), могут работать при температурах до 600°C (зависит от степени защиты датчика и типа используемой контактной жидкости), погрешность измерений составляет около $(0.05 \div 0.5)\%$.

Основная часть.

При измерении уровня жидкости в толстостенных герметичных резервуарах основные сложности состоят в следующем [2]: возможен широкий диапазон температуры и давления в резервуаре; высокое давление; широкий разброс плотности; широкий разброс свойств и, как следствие, необходимость в индивидуальном подходе к свойствам жидкости в резервуаре; если работа ведется с агрессивными средами, выход уровня жидкости за допустимые пределы представляет угрозу обслуживающему персоналу в случае аварии или нарушение тех процесса; могут присутствовать бурлящие и пенящиеся поверхности, что затрудняет определение четкой границы сред; наличие толстой стенки резервуара, затрудняющей прохождение ультразвука.

Рассмотрим способы измерения уровня жидкости с помощью ультразвукового метода. Использование данного метода основано на получении отраженного эхо-сигнала от среды измерения с последующей оценкой изменения его интенсивности или времени, за которое сигнал вернулся в приемник, в зависимости от принципа измерения который будет использоваться. Судить об уровне можно по выходной интенсивности сигнала, который является функциональной зависимостью от коэффициентов затухания и отражения:

$$I_{\text{вых}} = I_0 \cdot f(K_{\text{ст}}, K_{\text{отр сред}}), \quad (1)$$

где $I_{\text{вых}}$ - выходная интенсивность сигнала получаемого приемником, I_0 - начальная интенсивность сигнала исходящего от излучателя, $K_{\text{ст}}$ - коэффициент затухания при прохождении через сталь, $K_{\text{отр сред}}$ - коэффициент отражения сигнала от границы двух сред.

На рисунке 1 показан принцип измерения уровня жидкости с помощью ультразвукового метода. Из рисунка 1 видно, что сигнал посланный с уз-датчика проходит через толстую стенку резервуара, доходит до границы двух сред и возвращается обратно. В данном случае, сигнал подвергается затуханию в стенке резервуара и в жидкости. На границе двух сред (жидкость и газ) он отражается и возвращается обратно в приемник, следовательно, суммарное затухание для него увеличится в 2 раза, таким образом сигнал на выходе будет равен:

$$I_{\text{вых}} = I_0 \cdot f(2K_{\text{ст}}, 2K_{\text{ж}}, K_{\text{отр жс}}, T), \quad (2)$$

где $K_{\text{ст}}$ - коэффициент затухания в стали, $K_{\text{ж}}$ - коэффициент затухания в жидкости, $K_{\text{отр жс}}$ - коэффициент отражения на границе жидкости и газа, T - время за которое сигнал дойдет до границы двух сред и вернется обратно в приемник. Время мы можем найти из

формулы зависимости коэффициента затухания от времени:

$$K_{звр} = \frac{1}{T} \ln \left(\frac{p(0)}{p(T)} \right), \text{отсюда } T = \frac{1}{K_{звр}} \ln \left(\frac{p(0)}{p(T)} \right), \quad (3)$$

где $K_{звр}$ - коэффициент затухания от времени, $1/c$, T - время за которое проходит сигнал, c , $p(0)$ - амплитуда звукового давления в начале времени, $p(T)$ - амплитуда звукового давления через время T .

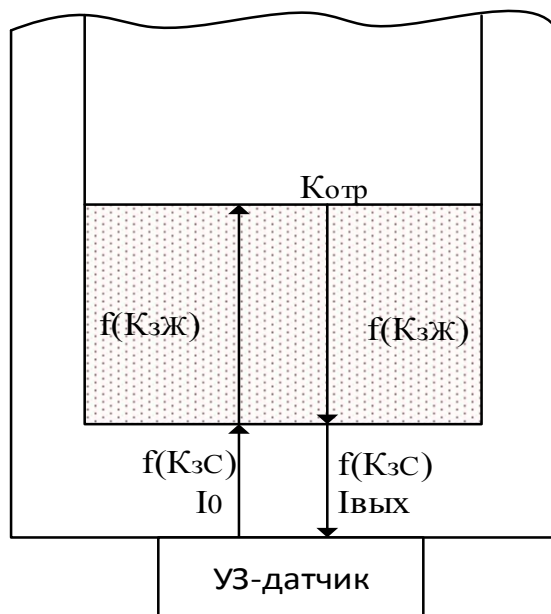


Рисунок 1- Принцип измерения уровня (первый способ)

В данном случае, будет фиксироваться время, за которое сигнал вернулся в излучатель. Зная коэффициенты затухания, отражения и время, можно оценить уровень. Однако данный метод можно использовать в случаях:

- если нам заранее известно, что ширина стенки резервуара отвечает требованиям звукопрозрачности, т.е. сигнал проходит сквозь нее в жидкость практически без отражения на границе сталь-жидкость;
- вероятность поглощения или рассеяния сигнала в газе, граничащем с жидкостью, настолько мала, что отраженный от границы сред сигнал будет достаточно информативным для оценки уровня жидкости в резервуаре;
- не поставлены жесткие требования к допустимым значениям уровня.

Если необходимо контролировать уровень в конкретно заданных пределах и существует вероятность полного поглощения сигнала жидкостью либо газом, предлагаем второй вариант измерения уровня, показанный на рисунке 2.

Датчики располагаются по всему диапазону допустимого колебания уровня на боковой стенке резервуара. Контрольные линии h_{max} и h_{min} отвечают за максимум и минимум уровня в емкости. В данном случае оценка уровня будет производиться по величине выходного сигнала на приемнике. Отражение от границ сред будет иметь разную величину, что и будет основным информативным параметром измерительной системы.

Функциональная зависимость интенсивности выходного сигнала для рисунка 2:

$$I_{вых} = I_0 \cdot f(2K_{зс}t, K_{отр} сред). \quad (5)$$

Согласно этому способу при прохождении уз-волны через стенку резервуара необходимо учесть коэффициенты затухания и коэффициенты отражения от границ сред. Также важным моментом является расчет интенсивности падающей и отраженной волны в каждой среде, так как исходя из него возможен оптимальный выбор УЗ-датчика.

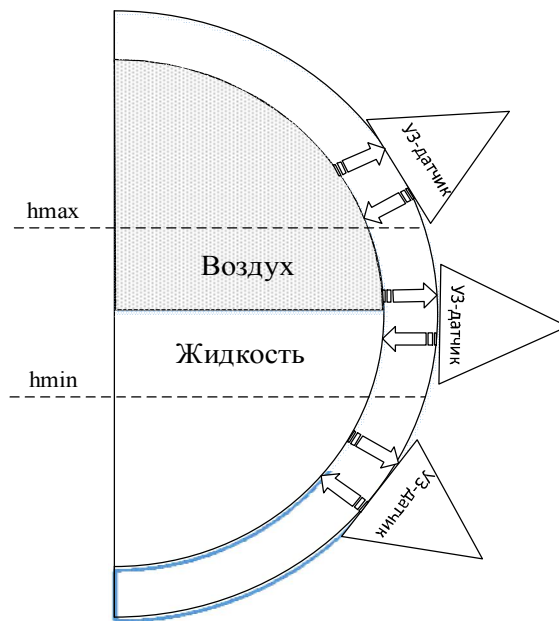


Рисунок 2 - Принцип измерения уровня (второй способ)

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 3). 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. При выбранном нами условии соотношения $\lambda \gg (10 \div 15)D$ коэффициент рассеяния K_p будет пропорционален f^4 и коэффициент затухание в данном случае определяется выражением:

$$K_3 = A \cdot f + B \cdot f^4 \cdot D_{cp}^3(T), \quad (6)$$

Где A та B – экспериментальные значения параметров, [2].

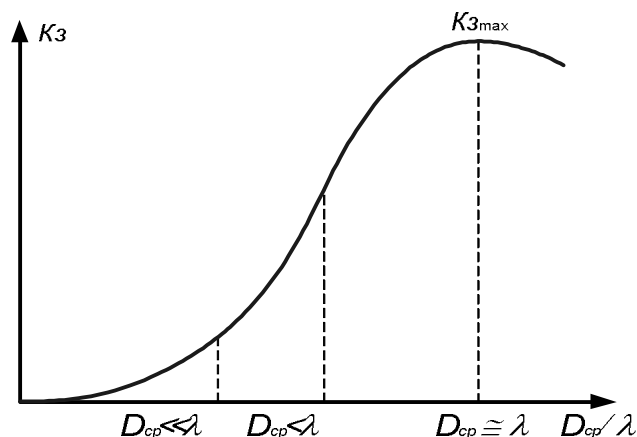


Рисунок 3 - Схематическая зависимость коэффициента затухания от среднего диаметра зерна и длины волны

Зная K_3 стали можно учесть его при оценке отраженного сигнала. 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_3 . Зная характеристики распространения ультразвука, можно выбрать оптимальную частоту, которая обеспечит наибольшую чувствительность при минимальных потерях энергии на рассеяние и поглощение ее дефектами металла.

Чтобы определить коэффициент затухания по ширине стенки резервуара воспользуемся формулой:

$$K_3 p = \frac{1}{L} \ln \left(\frac{p(0)}{p(L)} \right), \quad (7)$$

где $K_3 p$ - коэффициент затухания с расстоянием, $1/m$, L - ширина стенки резервуара, m , $p(0), p(L)$ - амплитуда звукового давления в исходной точке и на расстояние L , Па.

Для получения необходимых значений затухания необходимо рассчитать потери энергии при прохождении границы двух сред а также обратный эхо-сигнал, сначала производится определение акустического импеданса материала согласно формуле [3]:

$$Z_i = \rho_i c_i, \quad (8)$$

где ρ - плотность одной из сред, kg/m^3 , c - скорость уз-волны в материале, m/c , i - среда.

Потери энергии получим из формулы коэффициента пропускания [3] из одной в среды в другую с последующим переводом полученных значений в децибелы:

$$K_{проп} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}, \quad dB = 10 \lg \left(\frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \right) \quad (9)$$

где Z_1 – акустический импеданс стали, Z_2 – акустический импеданс жидкости.

Нахождение потерь энергии эхо-сигнала производится по коэффициенту отражения, который также будет переведен в децибелы:

$$K_{отр} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}, \quad dB = 10 \lg \left(\frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_1 + Z_2)^2} \right) \quad (10)$$

Получив коэффициенты пропускания и отражения, находим интенсивность падающей и отраженной волны [4].

$$I_{над} = p^2 / 2\rho c, \quad I_{отр} = K_{отр} I_{над} \quad (11)$$

где p – акустическое давление в среде: $p = \rho c \omega A$, а $\omega = 2\pi \varphi$ - круговая частота колебаний, A - амплитуда смещения колеблющихся частиц.

В итоге, зная эти величины можно представить выходную интенсивность сигнала, как многопараметрическую зависимость:

$$I_{вых} = I_0 f(2(K_3 p(L, P)), K_{отр}(Z_1, Z_2), K_{проп}(Z_1, Z_2)) \quad (13)$$

Исходя из выше перечисленного для расчета коэффициентов пропускания и отражения необходимо учесть следующие параметры: плотность сред участвующих в измерении;

скорость звука в материале из которого изготовлен толстостенный резервуар; скорость звука в жидкости и газе; температурные параметры процесса внутри емкости; выбрать частоту, обеспечивающую минимальное затухание уз в стали.

На основании проведенных выше исследований можно предложить следующую структурную схему электронного устройства контроля уровня жидкости в толстостенном герметичном резервуаре:

В данной структурной схеме данные полученные от ультразвуковых датчиков (УЗ) по всему диапазону поступают на первичный преобразователь (ПП), нормирующий преобразователь (НП), затем через мультиплексор (MUX) в аналогово цифровой преобразователь (АЦП) с последующей обработкой в микропроцессорном блоке (МК) с отображением результатов на персональном компьютере (ПК). По величине принятого сигнала можно определить от какой границы сред он отразился и в какой контрольной точке находится. Также можно установить скорость изменения уровня жидкости по времени возврата посланного сигнала на приемник. Оператор производит мониторинг уровня жидкости в резервуаре, в случае выхода уровня за допустимые пределы принимаются соответствующие действия со стороны персонала.

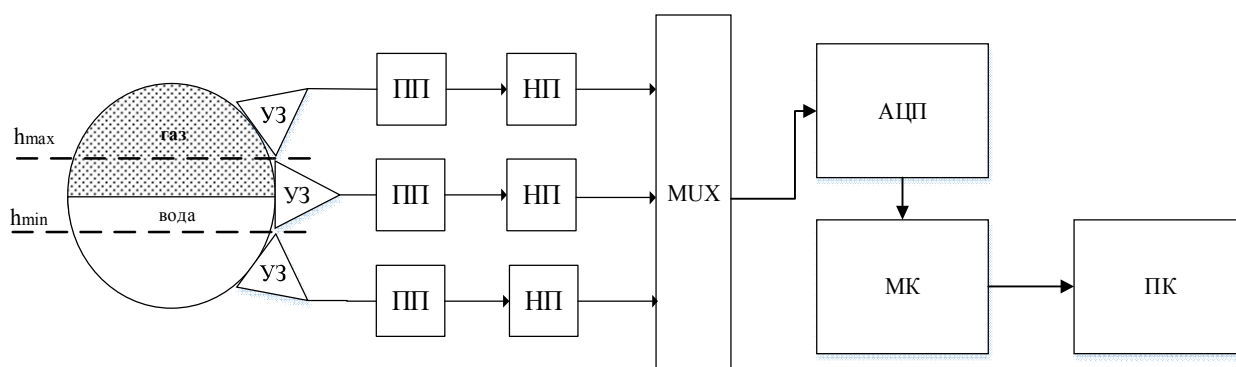


Рисунок 4- Структурная схема электронного устройства контроля уровня жидкости в резервуаре

Выводы:

1. В результате анализа существующих методов измерения уровня жидкости и с учетом особенностей исследуемого объекта выбран ультразвуковой метод, основанный на принципе принятия и сравнения отраженного эхо-сигнала от границ различных сред (сталь - вода, сталь - перегретый пар).

2. Анализ УЗ-метода в представленных моделях дает возможность с определенной точностью устанавливать истинное значение уровня с учетом $K_{зс}$, $K_{отр.сред}$ и т.д.

3. Предложена структурная схема электронного устройства контроля уровня жидкости в толстостенном герметичном резервуаре, первичным преобразователем которого являются УЗ-датчики.

Перечень ссылок

1. Уровнемер. Методы определения уровня жидкости и сыпучих материалов [<http://www.rospribor.com/index.html?name=faq&op=view&id=57>]

2. Алешин Н.П. Ультразвуковая дефектоскопия: справ.пособ. / Н.П. Алешин, В.Г. Лупачев. М.: Высшая школа.1987- 271 с.

3. Ультразвук. Основы теории распространения ультразвуковых волн [<http://engineering-solutions.ru/ultrasound/theory>].

4. Клиндух В.Ф. Неразрушающие методы контроля и диагностики узлов и деталей подвижного состава: учебное пособие / В.Ф.Клиндух, В.М.Макиенко, Е.Н.Кузьмичёв. - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2005. - 109 с.