На правах рукописи

Сорокин Павел Владимирович

Система контроля уровня жидких сред в герметичных резервуарах

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

ΑΒΤΟΡΕΦΕΡΑΤ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Томск – 2011

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель:	кандидат технических наук, доцент Солдатов Алексей Иванович
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Смирнов Геннадий Васильевич
	доктор физико-математических наук, с.н.с Толкачев Владимир Фомич
Ведущая организация:	Томский государственный архитек- турно-строительный университет (г. Томск)

Защита состоится «<u>24</u>» <u>мая</u> 2011 г. в <u>13-00</u> на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212 269 09 при ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу Россия, 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, ауд. 215 (актовый зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу г. Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан «___» ____ 2011 г.

Ученый секретарь Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212 269 09, к.т.н., доцент

Б.Б.Винокуров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Во многих отраслях промышленности широко используются герметичные сосуды и резервуары для хранения готовой продукции. Часто это токсичные, химически активные жидкости или пищевые продукты. Существует большое количество различных способов и методов, при помощи которых возможно определение уровня жидкости в резервуаре. Большая часть методов требует установки датчиков измерения уровня во внутреннее пространство резервуара. В основе этих методов измерения уровня среды с датчиком. Трудности, которые возникают при таком способе контроля, вполне очевидны:

- 1. Изоляция датчика от воздействия среды в случае контроля агрессивных сред или влияние материала датчика на пищевые продукты составляют самостоятельную и весьма сложную проблему.
- 2. Усложняются условия обеспечения герметизации резервуаров т.к. возникают дополнительные каналы ввода и вывода измерительной информации.
- 3. Физический контакт измерительного датчика с контролируемой средой может привести к некорректным результатам измерения, либо к выходу датчика из строя, в случае внезапного изменения агрегатного состояния при резких перепадах давления, переход из жидкого состояния в газожидкостную смесь, наличие сопутствующих газов.

Потери, обусловленные возрастающей погрешностью измерения объема продукции, зачастую значительно превышают стоимость приборов учета. Одним из способов, радикально решающих указанные проблемы, является неинвазивный способ акустического контроля. Однако, как правило, наличие переходного слоя, которым служит стенка резервуара, снижает точность измерений. Задачи повышения эффективности ультразвукового метода, в частности, точности, актуальны и по сей день. Перспективы повышения точности измерений в основном кроются в особенностях метода измерения и технологии производства приборов, реализующих этот метод.

Вопрос количественного учета продукции, находящейся в герметично закрытых резервуарах, для современной промышленности очень актуален. Контроль и мониторинг за количеством продукции в закрытых резервуарах позволяет снизить как непроизводственные потери (хищения), так и производственные потери – протечки, переливы, ненастроенные дозаторы и т.п. Известно большое количество систем контроля позволяющих получить информацию об уровне заполнения резервуара той или иной жидкостью. Контролируемые жидкости могут быть агрессивными средами, такими как кислоты, щелочи, растворы солей и т. д.

При разработке системы качественного и количественного контроля, приходится сталкиваться с некоторыми жидкостями, которые затрудняют использование ранее разработанных методов измерения. Возрастающие требования к точности и надежности аппаратуры контроля стимулируют теоре-

тические и экспериментальные исследования, направленные на модернизацию и совершенствование традиционных способов. Данная работа лежит в русле такого подхода и посвящена анализу закономерностей акустического тракта, выполненному современными средствами моделирования. Полученные результаты позволили оптимизировать параметры традиционного способа эхолокации и увеличить точность измерения уровня.

Объектом исследования является акустический тракт, содержащий многослойные криволинейные структуры для регистрации объемного содержания жидкостных сред в герметичных резервуарах.

Цель диссертационной работы: уменьшение погрешности ультразвуковых уровнемеров, предназначенных для измерения уровня контролируемой среды в вертикальных и горизонтальных резервуарах за счет оптимизации параметров акустического тракта и разработки способа высокоточного определения начала эхосигнала.

Для достижения поставленной цели исследований решены следующие **основные задачи**:

- 1. Выявлены основные факторы, влияющие на технические и эксплуатационные характеристики, предъявляемые к системам количественного учета продукции на перерабатывающих предприятиях, в частности, на пивоваренных заводах.
- 2. Исследован акустический тракт, содержащий криволинейные многослойные структуры.
- 3. Проанализированы факторы, вызывающие погрешности измерений.
- 4. Разработаны новые методы и способы обработки акустических сигналов для повышения точности измерения.
- 5. Осуществлена аппаратурная реализация способа точной регистрации момента прихода акустического.
- 6. Разработана измерительная аппаратура с улучшенными метрологическими характеристиками для контроля уровня жидкости в герметичных резервуарах и внедрена в практику производства.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- 1.На основе метода геометрической акустики разработана компьютерная модель акустического тракта, содержащего многослойные криволинейные структуры.
- 2. Проведен теоретический анализ структуры волнового поля в акустическом тракте, содержащем цилиндрические промежуточные слои.
- 3.Предложен и реализован способ определения времени прихода эхо сигнала прошедшего через криволинейные слоистые структуры, защищенный патентом РФ №2389981.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов обеспечивается корректным применением современных численных методов, многочисленными экспериментальными исследованиями, устойчивой воспроизводимостью результатов и сопоставлением результатов, полученных разными методами и другими авторами. Достоверность полученных результатов подтверждается практической разработкой системы количественного контроля жидкостей в вертикальных резервуарах.

Практическая значимость заключается в разработке конструктивных решений и практических рекомендаций по проектированию ультразвуковых уровнемеров, способов уменьшения погрешности определения времени распространения ультразвуковых импульсов в контролируемой среде. Разработана и защищена патентами система количественного контроля жидкости в форфасных резервуарах. Предложен способ определения временного положения начала импульса, который позволил существенно снизить погрешность измерений ультразвукового уровнемера. Разработана, изготовлена и внедрена система количественного контроля жидких сред на предприятии ОАО «Томское пиво».

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе на кафедре промышленной и медицинской электроники Томского политехнического университета в курсах «Электронные промышленные устройства» и «Применение ультразвука в технике и медицине», а также при подготовке магистерских диссертаций.

Основные положения, выносимые на защиту:

- 1. Компьютерная модель акустического тракта, содержащего криволинейные промежуточные слои, которая позволяет осуществлять теоретические исследования и прогнозировать результирующую форму приемного сигнала.
- 2. Способ определения временного положения начала эхоимпульса, позволяющий уменьшить погрешность измерения в три раза путем аппроксимации огибающей полиномом второй степени.
- 3. Техническое решение системы количественного контроля уровня жид-кости в герметичных резервуарах.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и осуждались на всероссийской научно практической конференции «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 2003 г.

Публикации. Материалы проведенных исследований опубликованы в 7 печатных работах, включая 1 доклад на конференции, 2 статьи, опубликованные в журналах по перечню ВАК РФ, 3 патента РФ на изобретения и 1 монография. Полный список публикаций приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Ее содержание изложено на 121 страницах машинописного текста, содержит 48 рисунков и 3 таблицы. Библиографический справочник содержит 109 наименований.

Личный вклад. Автор принимал непосредственное участие в постановке задач и ее реализации. Им разработана модель для расчета акустического поля, содержащая многослойные криволинейные структуры, с учетом характеристик излучателя. Изготовлена экспериментальная установка и написана программа динамической визуализации полученных данных в виде 3D изображения. Разработана электрическая схема прибора, написано программное обеспечение для 6-ти канального уровнемера жидкости в герметичных резервуарах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, приведено описание содержания работы и выносимых на защиту основных положений, отражена научная новизна полученных результатов и их практическая ценность.

В первой главе выполнен обзор существующих методов измерения уровня жидкости в закрытых резервуарах, произведено сравнение их технических характеристик, особенности аппаратного исполнения датчиков. Проанализирована возможность использования различных методов измерения применительно к условиям поставленной задачи. Показана важность и актуальность повышения точности измерения уровня и объема в герметичных резервуарах. Отмечена необходимость повышения надежности контроля уровня во время перекачки жидкости в форфасные резервуары. Обоснована необходимость использования эталонного канала при измерении уровня ультразвуковым методом и применение манометрического канала в процессе приема продукта. В результате проведенного анализа сформулированы задачи исследования.

Во второй главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований ультразвукового тракта, содержащего многослойные криволинейные структуры. На основе метода геометрической акустики получены соотношения, позволяющие рассчитать объемное распределение поля в произвольной точке акустического тракта. Главное достоинство метода геометрической акустики – физическая наглядность, из которой вытекает и относительная простота получаемых формул для анализа акустического поля.

Сформулированы исходные положения и принципиальные допущения, которые будут использованы в последующем анализе.

1. Анализ выполнен при условии, что размеры излучателя превышают несколько длин волн, а сам он заключён в абсолютно жесткий экран.

2. Пусть поверхность излучателя совершает осциллирующие колебания, вектор смещения которых совпадает с нормалью к границе раздела сред. Сформулированные допущения являются, по существу, приближением Кирхгоффа при решении волнового уравнения, это решение можно представить в виде:

$$p = \frac{j \cdot k \cdot \rho}{2 \cdot \pi} \cdot \iint_{S} V \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot dS, \qquad (1)$$

где p – звуковое давление в произвольной точке поля, ρ - плотность среды распространения акустического излучения, V – векторное распределение амплитуды колебательной скорости по поверхности излучателя, k – волновое число, S – площадь поверхности излучателя, r – расстояние от произвольной точки на поверхности излучателя до произвольной точки среды.

Формула (1) является интегралом Гюйгенса – Рэлея и служит математической формой принципа Гюйгенса. 3. Суммарный сигнал аддитивно складывается из парциальных сигналов каждой точки поверхности приёмника. Считается, что приёмный пьезопреобразователь заключён в абсолютно жёсткий экран. Из этого условия вытекает, что краевые дифракционные процессы отсутствуют и из дальнейшего анализа на данном этапе могут быть исключены. Электрический выходной сигнал пьезоэлектрического приёмника возникает в результате прямого пьезоэффекта. Опуская второстепенные составляющие, можно записать:

$$E = h \cdot U , \qquad (2)$$

где *E* – напряжённость электрического поля, возникающая при воздействии звукового давления, *U* – механическое напряжение, *h* – пьезоконстанта материала пьезоприёмника.

Механическое напряжение в данном случае является звуковым давлением, представленным выражением (1). Считаем в первом приближении, что зондирующие воздействия имеют уровень, который однозначно сохраняет линейность аналитических зависимостей (1) и (2). Возникающие в результате такого допущения погрешности не превышают величин второго порядка малости.

4. Считается также, что акустические лучи не имеют геометрических параметров, кроме длины, а их распространение подчиняется принципу Ферма.

5. Механизм отражения описывается законами Снеллиуса. Количественные соотношения вычисляются с помощью формул Френеля для наклонного падения.

На рис.1 показан акустический тракт, содержащий пьезокерамический излучатель, протектор и стенку криволинейного (цилиндрического) резервуара. Показан также ход прямых лучей и лучей, сформированных многократным отражением в стенке резервуара.



Рис.1. Траектория прохождения ультразвукового импульса через многослойную среду.

Цифрами обозначен: 1– пьезокерамический излучатель, 2 – протектор, 3 – металлическая стенка резервуара, 4 – иммерсионная среда, 5 - лучи.

Вычисление интеграла (1) по поверхности излучателя возможно только численными методами. Замена операции интегрирования операцией суммирования сопровождается ошибкой дискретизации. Для ее оценки предложен способ, основанный на анализе результатов вычислений, выполненных с различным количеством разбиений. Последовательно увеличивая число разбиений участков поверхности, и производя вычисления, получаем набор значений составляющих сходящийся ряд. Замена интеграла (1) суммой, составленной с учётом перечисленных выше требований, приводит к выражению:

$$P = \sum_{i=1}^{n} \frac{\sin(\omega \cdot t - k \cdot r_i)}{r_i} \cdot \cos a_{\pi} \quad . \tag{3}$$

Выходной сигнал приёмника, размеры которого, как правило, существенно отличаются от точечного пьезопреобразователя, формируется путём аддитивного сложения сигналов точечных приемников. На рис. 2 показана зависимость погрешности расчёта амплитуды сигнала, вызванная квантованием, числа разложений. График 1 и 2 рассчитан для различных расстояний от излучателя.



Рис. 2. Зависимость погрешности расчета относительной амплитуды

На практике наиболее часто встречается режим ударного возбуждения. Аналогом колебаний датчика могут служить колебания круглой мембраны, края которой либо жестко закреплены, либо на краю мембраны действует упругая сила, пропорциональная величине отклонения мембраны. Рассмотренные варианты соответствуют краевым условиям задачи о колебании мембраны. Если U(r,t) - амплитуда поперечных колебаний точек мембраны, то уравнение свободных колебаний мембраны с жестким закреплением краев будет иметь вид:

$$U_{tt} = c^2 \Delta U$$
,

где U_n - вторая производная амплитуды колебаний по времени, C – скорость распространения изгибных колебаний, ΔU - оператор Лапласа, соответственно при начальных условиях:

$$U\Big|_{t=0} = A, \quad U_t\Big|_{t=0} = 0,$$

и граничном условии:

 $U|_{r=h} = 0,$

где A – остаточная амплитуда после снятия возбуждения, U_t - первая производная по времени, r - текущая координата по радиусу, b - радиус мембраны.

Для свободных колебаний мембраны с упругим закреплением краев изменяются только граничные условия:

$$G \cdot U_r \big|_{r=b} = K \cdot U \big|_{r=b} \implies U_r + H \cdot U \big|_{r=b} = 0,$$

где G - модуль сдвига, $G \cdot U_r$ - упругая сила, U_r - первая производная по радиусу.

Решение уравнения будет иметь вид:

$$U(r,t) = 2 \cdot A \cdot b \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_k^2} \cdot J_1(\alpha_k) \cdot J_0(\alpha_k \cdot \frac{r}{b}) \cdot \cos(\frac{\alpha_k \cdot c}{b} \cdot t) \quad , \tag{4}$$

где α_k - положительные корни уравнения $J_0(x) = 0$.

Используя полученные значения корней, были проведены расчеты зависимости амплитуды продольных колебаний поверхности мембраны от времени. Результаты расчетов выражения (4) представлены на рис.3. Экспериментальные исследования деформации поверхности пьезокерамических датчиков подтвердили правильность проведенных расчетов.



Рис.3. Псевдообъемное изображение структуры поля на поверхности датчика, а – эксперимент, б - результат математического моделирования

Произведено исследование эффективности различных методов возбуждения ультразвуковых колебаний. Критерием, по которому эффективность, служила форма и амплитуда сигнала на оценивалась приемном датчике. Результаты эксперимента показали, что ударному возбуждению амплитудой 40 вольт, соответствует возбуждение С радиоимпульсом с амплитудой 200 милливольт на частоте акустической прозрачности стенки резервуара.

По результатам математического моделирования предложена методика определения параметров возбуждающего радиоимпульса, смоделированы и получены экспериментальные подтверждения зависимости формы огибающей электрического сигнала на выходе приемного датчика в зависимости от параметров возбуждающего радиоимпульса, свойств и геометрических размеров протектора, материала и толщины стенки резервуара, радиуса закругления.

Анализ полученных результатов показывает высокую эффективность исследования, проведенного предлагаемым методом расчёта процессов распространения акустических колебаний. Данная методика, даёт возможность получать результаты не только об обобщённых параметрах, таких как распределение амплитуд, но также позволяет исследовать амплитудно-фазовое распределение поля, рассчитывать форму сигнала в любой его точке или интегрированный сигнал любой области. Это позволяет прогнозировать результат применения излучателей и приёмников акустических колебаний практически любой конфигурации.

Большое значение имеет информация о форме сигнала на приёмнике. Именно это служит необходимым условием оптимизации электронного приёмного тракта, имеющей целью получения высоких технических характеристик разрабатываемой аппаратуры. Геометрический метод с применением численного моделирования позволяет сравнительно простыми средствами, без привлечения спектрального анализа на основе преобразований Фурье, вычислять форму принятого сигнала. При этом следует учитывать, что форма зондирующего импульса может быть абсолютно произвольной и даже не описываться каким-либо аналитическим выражением.

В третьей главе описываются методы обработки принятых акустических сигналов. Проводится анализ погрешностей возникающих при определении времени прохождения ультразвукового импульса через контролируемую среду. Погрешность обусловлена тем, что в акустической локации применяются сигналы относительно низкой частоты, время распространения сигнала и его период становятся сравнимыми величинами. Для возбуждения упругих колебаний используют датчики, представляющие собой электроакустическую систему, которая обладает собственной частотой и добротностью. В случае гомогенной изотропной среды распространения сигнал приемника представляет собой модулированный радиоимпульс. Крутизна нарастания фронта огибающей определяется механической добротностью всей системы, включающей пьезоизлучатель, контролируемую среду и пьезоприемник. На рис.4 представлена типичная осциллограмма сигнала, снимаемого с ультразвукового приемного датчика.

Метод определения времени прохождения ультразвукового импульса, получивший наибольшее распространение, основывается на использовании триггера для формирования временного интервала и подсчете количества импульсов в цуге, соответствующем определяемому времени. Начало отсчета устанавливается по переднему фронту возбуждающего импульса, окончание определяется в момент равенства опорного напряжения и мгновенного значения напряжения на втором входе компаратора. Недостатком этого метода является слабая контролируемость интервала времени между началом эхо-импульса и срабатыванием порогового устройства, которое может изменяться при изменении состава среды или других факторов.



Рис. 4. Форма импульсного сигнала на приемнике при локации через боковую стенку форфасного танка.

Для решения задачи повышения точности таких измерений можно применить два пороговых устройства – компараторов. При этом контролируется время задержки срабатывания первого и второго пороговых устройств. После измерения временного интервала между излученным импульсом и срабатыванием порогового устройства, используя второе пороговое устройство, определяют время задержки срабатывания первого порогового устройства от начала эхоимпульса из выражения:

$$\Delta t = \frac{U1}{U2 - U1} \cdot (t_2 - t_1)$$
(5)

где U1 — опорное напряжение первого порогового устройства, U2 — опорное напряжение второго порогового устройства, t_1 - время срабатывания первого порогового устройства, t_2 - время срабатывания второго порогового устройства, ства,

после этого определяют время распространения ультразвукового импульса в контролируемой среде из выражения:

$$\mathbf{t}_{p} = \mathbf{t}_{1} - \Delta \mathbf{t} = \mathbf{t}_{1} - \frac{U1}{U2 - U1} \cdot (t_{2} - t_{1}).$$
(6)

Однако огибающая переднего фронта эхосигнала, как правило, не описывается линейной функцией. Пример реальных сигналов приведен на рис. 5. Поэтому для повышения точности предложен способ, базирующийся на аппроксимации нарастающей части огибающей импульсного сигнала полиномом второй степени вида:

$$s = a \cdot t^2 + b \cdot t + c, \tag{7}$$

где *s* – амплитуда огибающей, *t* – время, *a*, *b*, *c* – коэффициенты полинома.

В общем случае, огибающие максимальных и минимальных экстремумов в соседних периодах импульсного сигнала могут быть различными. Для их описания предлагается использовать два полинома – для максимальных и минимальных величин, которые имеют две общие точки, одна из которых является началом исследуемого сигнала.



Рис.5. Диаграммы сигналов, имеющих равные пиковые значения, но различающиеся формой огибающей

Аналитическое выражение расчёта времени прихода сигнала, принимает вид: $(a_{\max} - a_{\min}) \cdot t^2 + (b_{\max} - b_{\min}) \cdot t + (c_{\max} - c_{\min}) = 0,$ (8)

где индексы при коэффициентах указывают на принадлежность их к аппроксимирующим полиномам максимальных и минимальных экстремумов.

В реальных условиях на форму эхоимпульса существенно влияют помехи и шумы, которые приводят к ошибкам при расчёте уравнений огибающих. Чтобы уменьшить влияние неравномерности нарастания фронта на расчёт, для нахождения коэффициентов уравнения использован метод наименьших квадратов. Коэффициенты аппроксимации находят путём решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} t_{i}^{2} \cdot s_{i} = a \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{i}^{4} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{i}^{3} + c \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{i}^{2} \\ \sum_{i=1}^{n} t \cdot s_{i} = a \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{i}^{3} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{i}^{2} + c \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{i} , \\ \sum_{i=1}^{n} s_{i} = a \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{i}^{2} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{i} + c \cdot n \end{cases}$$
(9)

где *n* – количество точек, выбранных для полиномиальной аппроксимации, индекс *i* – текущий номер экспериментальной точки.

Решение системы уравнений (9) проводилось с помощью метода Крамера. Предложенный способ определения временного положения эхоимпульса защищен патентом РФ. Определена минимальная частота дискретизации входного сигнала, обеспечивающая однозначное определение экстремумов в одном периоде входного сигнала. Погрешность в определении максимальной амплитуды ограничена величиной δ , что определяет количество отсчетов выражением:

$$N = \frac{\pi}{\arccos(1 - \delta)} \tag{10}$$

Результат расчета, проведенный в соответствии с выражением (10), представлен на рис. 6.



Рис. 6. Зависимость ошибки в определении максимальной амплитуды от количества отсчетов на периоде

Некоторые данные экспериментальных исследований представлены на рис. 7.



Рис.7. Зависимость погрешности измерения уровня от расстояния,

1 – метод одного компаратора, 2 – метод аппроксимации огибающей эхоимпульса полиномом второго порядка, 3 – метод аппроксимации огибающей эхоимпульса полиномом третьего порядка.

Применение способа, базирующегося на аппроксимации нарастающей части огибающей импульсного сигнала полиномом второй степени для определения времени прихода эхоимпульса позволяет не менее чем в три раза повысить точность измерения ультразвуковых приборов, использующих время -импульсный метод. Данный метод подразумевает значительное усложнение регистрирующей аппаратуры и требует выполнения большого числа математических расчетов повышенной точности в управляющем контроллере.

<u>В четвертой главе</u> описывается структурная схема измерительного комплекса. Работа измерительного комплекса, представлена в 3-х уровневой системе сбора, обработки, передачи, отображения и хранения информации.

1 - уровень – Измерительный Контроллер, модуль (ИК), выполняет ввод данных с 4-х каналов: 2-х ультразвуковых и 2-х манометрических и осуществляет предварительную обработку вводимой информации. Его структурная схема показана на рис.8.

2 – уровень – Блок Связи - Питания (БСП). Осуществляет выработку питающих напряжений, опрос ИК по интерфейсу RS-485, формирование сигнала привязки к нулю напряжения сети, пересылку получаемой информации в персональный компьютер (ПК), отображение информации, поступающей с каждого из ИК.

3 – уровень – персональный компьютер (ПК) осуществляет прием всей получаемой информации, ее обработку, визуализацию, архивирование.



Рис. 8. Структурная схема измерительного комплекса.

Структурная схема измерительного контроллера показана на рис. 9. Она состоит из следующих основных узлов:

- ультразвуковой измерительной части.
- манометрической измерительной части.
- блока связи.
- управляющего процессора.
- интерфейса индикатора.

Связь с БСП осуществляется по интерфейсу RS-485. Сигнал синхронизации с сетью поступают по кабелю связи – питания.



Рис. 9. Структурная схема Измерительного контроллера.

Ультразвуковая система состоит из двух каналов измерения. Первый канал – эталонный, он состоит из двух датчиков, укрепленных на диаметрально противоположных стенках танка. Один из датчиков является излучающим, второй приемным. Блок формирования импульса состоит из генератора высокой частоты, усилителя мощности и LC-фильтра. Частота генератора в небольших пределах меняется при помощи переменного резистора. Выбор частоты зондирующего импульса определяется параметрами стенки исследуемого резервуара. Все измерения проводятся вблизи перехода через 0 сетевого напряжения. Через интерфейс индикатора, подключенного через специальную плату с шестью индикаторами и 4 кнопками, можно индицировать значения, получаемые со всех каналов измерения. При помощи кнопок 'Режим', '+', '-', 'Ввод', можно изменять константы, участвующие в расчетах уровня жидкости в резервуаре. Блок стабилизаторов обеспечивает питающие напряжение необходимое для нормальной работы устройства. Связь с блоком связи – питания осуществляется по интерфейсу RS-485.

Данные со всех измерительных контроллеров поступают через БСП в персональный компьютер. Управляющая программа осуществляет архивацию получаемых данных, оперативно отображает полученную информации в виде диаграммы уровней, текстовых значений контролируемых параметров и графиков технологических процессов. Вид окна управляющей программы приведен на рис. 10.



Рис. 10. Пример основного окна индикации уровня и объема жидкости в 6 резервуарах.

Сервисная программа, на основе архивной информации, осуществляет анализ работы как производственного цеха в целом, так и каждого резервуара в отдельности. На рис. 11 показано окно интерфейса программного обеспечения системы контроля уровня продуктов в форфасных резервуарах, включающей два каналов акустического и два канала манометрического контроля и расчетный уровень и объем жидкости в резервуаре.



Рис.11. График временных зависимостей.

Внешний вид измерительного контроллера, установленного на форфасном резервуаре, приведен на рис.12.



Рис. 12. Внешний вид измерительного контролера.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- 1. Создана компьютерная модель акустического тракта, содержащего криволинейные промежуточные слои, которая позволяет осуществлять численные теоретические исследования и прогнозировать форму результирующего приемного сигнала с целью оптимизации параметров.
- 2. Разработан способ определения временного положения начала эхоимпульса, позволяющий уменьшить погрешность измерения в три раза путем аппроксимации огибающей полиномом второго порядка.
- 3. Разработан способ определения временного положения начала эхоимпульса, позволяющий повысить точность измерения путем использования двух компараторов.
- 4. Разработана изготовлена и внедрена в производство комплексная система контроля продукции в форфасном цехе ОАО "Томское пиво".
- 5. Разработанные системы защищены патентами РФ: "Способ компенсации погрешности измерения ультразвукового уровнемера", "Устройство компенсации погрешности измерения ультразвукового уровнемера", "Система количественного учета пива в форфасном цехе".

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1. Сорокин П.В. Система количественного учета пива в форфасном цехе \\ Цехановский С.А, Макаров В.С., Солдатов А.И., Сорокин П.В. \\ Материалы всероссийской научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». - Томск, изд. ИОА СО РАН, 2003,- с.126.
- 2. Устройство измерения количества пива в форфасном танке \ Патент РФ на изобретение №2253093 \ заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. – опубл. 27.05.2005, Бюлл. №15. –3 с.
- 3. Способ компенсации погрешности измерения ультразвукового уровнемера: патент РФ на изобретение № 2389981. / Сорокин П.В. и др., заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. – опубл. 20.05.2010, Бюлл. №14. – 3 с.
- 4. Устройство компенсации погрешности измерения ультразвукового уровнемера: патент РФ на изобретение № 2396521. / Сорокин П.В. и др., заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. опубл. 10.08.2010, Бюлл. №22. 3 с.
- 5. Сорокин П.В. Определение временного положения акустического импульса методом аппроксимации огибающей сигнала. / Солдатов А.И., Сорокин П.В., Макаров В.С. // Известия Южного федерального университета. – Технические науки, 2009. – № 10. – с. 178-184.
- 6. Сорокин П.В. Анализ погрешностей в определении временного положения эхо-сигнала при аппроксимации его огибающей полиномом второй степени. / А.И. Солдатов, П.В.Сорокин, А.А. Солдатов. // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2010, – № 9. – с. 92-97.
- Сорокин П.В. Приборы контроля на основе акустических волноводов [монография] / Солдатов А.И., Макаров В.С., Сорокин П.В., —Изд. ТПУ, 2011. — 121 с.