

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Неразрушающего контроля
Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
Кафедра ФМПК

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Сканирующая система для измерения уровня и границ раздела многофазных жидких сред

УДК 621.2.81

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4Б	Ма Синсин		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Федоров Е.М.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой менеджмента	Чистякова Н. О.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ФМПК, профессор	Суржиков А.П.	Д. ф. - м. н., профессор		

Томск – 2016 г.

**Планируемые результаты обучения по программе «Информационно-измерительная техника и технологии неразрушающего контроля»
(магистратура)**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Способность применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения.	Требования ФГОС (ПК-1,6,7,8,10,11.12,13,17,23, 24,27), Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Способность участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ПК-14,15,19,20,21,28,29,30,33) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Способность эксплуатировать и обслуживать современные средства измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ПК-5,18,31,32), Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Способность использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы, использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (, ПК-2,9), Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Способность планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своей специализации с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе.	Требования ФГОС (ПК-3,4,9,16,22,26), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Способность использовать базовые знаний в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции.	Требования ФГОС (ПК-33), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Способность понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Способность эффективно работать индивидуально, в команде по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-3) Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Способность владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-13), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способность ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-4,14,15) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Готовность следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор существующих методов и средств измерения уровня и границ раздел многофазных жидких сред.</p> <p>Разработка математической модели.</p> <p>Экспериментальные исследования емкостных преобразователей уровня.</p> <p>Обработка данных и анализ погрешности.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Чистякова Н. О. Заведующий кафедрой менеджмента, к.э.н</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Анищенко Ю. В. к.т.н, доцент</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>22.09.2014г.</p>
--	---------------------

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Федоров Е.М.</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>1БМ4Б</p>	<p>Ма Синсин</p>		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 124 с., 57 рис., 30 табл.29 источников, 1 прил.

Ключевые слова: измерение уровня, границы раздела многофазных сред, ёмкостной датчик уровня, математическая модель многоэлементного ёмкостного датчика.

Объектом исследования является многофазные жидкости.

Цель работы – исследование и разработка системы измерения уровня и границ раздела жидких сред.

Методология проведения работы и аппарату анализ методов и средств измерения уровня жидких сред; выбор оптимальной конструкции преобразователя; разработка технологии определения уровня многофазных жидких сред и границ разделов; разработка математической модели, описывающей метод измерений, основанный на применении приборов с ёмкостными датчиками уровня.

В результате исследования исследованы и разработаны различные варианты конструктивных решений чувствительных элементов многоэлементного ёмкостного датчика для измерения уровня жидких сред. Предложена методика расчета значения выходной ёмкости многоэлементного ёмкостного измерительного датчика на базе математической модели для плоского конденсатора. Предложены варианты конструкций многоканальных ёмкостных датчиков уровня, которые позволяют получать измерительную информацию от отдельных измерительных каналов измерительного датчика и варьировать основные технические характеристики этих каналов чтобы выполнить поиск решения конкретных измерительных задач.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: диапазон измерения уровня жидкости от 0 до 15 см.

Степень внедрения: проведены экспериментальные исследования по измерения уровня растительного масла и двухфазной среды (растительное масло и дистиллированная вода).

Область применения: в нефтяной промышленности, на предприятиях газовой или пищевой промышленности.

Экономическая эффективность/значимость работы контроль уровня жидких сред и границ раздела.

В будущем планируется создать опытный образец измерительной установки.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты

1. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
2. ГОСТ 12.1.002 – 75 Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах
3. ГОСТ 12.1.004-99 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования
4. ГОСТ 12.1.010-99 Взрывобезопасность
5. ГОСТ 24289-80 Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения
6. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
7. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы

Определения

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Уровень - граница, отделяющая жидкость или сыпучее вещество от выше расположенных газа или жидкости меньшей плотности.

Измерение уровня (уровнеметрия) - процесс измерения высоты уровня жидкости или сыпучего вещества от положения, принятого за нулевое.

Преобразователь уровня - Первичный измерительный преобразователь, непосредственно воспринимающий измеряемый уровень жидкости или сыпучего вещества. Преобразователь уровня – основная составная часть уровнемеров.

Сокращения

Г – генератор

Д – датчик

Ф – фильтр

ПИП – первичный измерительный преобразователь

ЭВМ – электронная вычислительная машина

Оглавление

Введение	3
1. Анализ методов и средств измерения уровня жидких сред.....	6
1.1 Основные параметры жидких сред.....	6
1.2 Классификация методов измерения и контроля уровня жидких сред.	7
1.2.1 Поплавковый уровнемер	11
1.2.2 Буйковый уровнемер.....	14
1.2.3 Емкостной уровнемер	16
1.2.4 Ультразвуковой уровнемер	19
1.2.5 Радарный уровнемер.....	21
1.2.6 Волноводный уровнемер	23
1.2.7 Тепловой уровнемер.....	25
2. Математические модели систем обработки измерительных сигналов емкостных преобразователей	30
2.1 Особенности емкостного метода преобразования измерительной информации при построении математической модели.....	30
2.2 Методы преобразования значения электрической емкости на переменном токе	35
2.3 Метод преобразования электрической емкости по параметрам переходных процессов	40
3. Математическая модель многоэлементного ёмкостного датчика уровня	43
4. Разработка конструкции измерительно-вычислительного устройства	47
5. Экспериментальные исследования устройства для контроля уровня жидких сред.....	51
6. Основные результаты и выводы.....	68
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	69
Введение	69
7.1. Предпроектный анализ.....	69
7.2. Инициация проекта.....	80

7.3. Планирование научно-исследовательских работ	82
7.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	92
8. Социальная ответственность	96
Введение	96
8.1. Профессиональная социальная безопасность.	96
8.2. Экологическая безопасность.....	102
8.3. Безопасность в ЧС	102
8.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	106
9. Заключение	108
Список использованных источников	109
Список публикаций студента	112
Приложение А	113
Scanning system for the interface and Multiphase Level Measurement	113

Введение

Одной из приоритетных задач современной информационно-измерительной техники является измерение и контроль уровня различных жидких и сыпучих сред. Подобная актуальная проблема наиболее широко представлена в различных областях современной промышленности: в нефтяной промышленности (измерение уровня на всех этапах переработки нефти и отпуска различных нефтепродуктов), на предприятиях газовой промышленности (контроль уровня сжиженных газов и границы их раздела) или на предприятиях пищевой промышленности (измерение уровня различных молочных продуктов, пищевых растворов или консервантов). Аналогичные измерительные задачи также присутствуют и в других областях современной промышленности: частности в гидрологии (измерение уровня воды в задемпфированных колодцах) или в химическом производстве (контроль уровня различных агрессивных жидких сред)[1].

Во всех этих случаях широко используются различные типы уровнемеров: как контактного типа (такие как емкостные, электромеханические, и термические), так и бесконтактные варианты (акустические, ультразвуковые, радиоизотопные). Обе разновидности современных уровнемеров обладают рядом недостатков, которые не позволяют использовать один и тот же тип приборов для контроля и измерений при изменении свойств и параметров разнообразных жидких сред, а также при различных условиях работы. В ряде случаев с помощью этих уровнемеров также не удается достичь необходимого диапазона или точности измерения.

Для устранения перечисленных выше недостатков более предпочтительными являются измерительные системы измерения и контроля уровня, и определения границ раздел жидких сред, принцип действия которых основан на оригинальных математических моделях, а также различных физических явлений. Необходимо отметить, что в настоящее время в технической литературе описано достаточно большое количество вариантов структурных схем построения подобных измерительных систем и устройств,

однако объем информации об практически реализованных измерительных устройствах подобного типа весьма ограничен, что говорит об их недостаточном распространении подобных измерительных для решения выше перечисленных задач. В связи с этим все еще остается достаточно актуальным вопрос исследования, разработки и практической реализации информационно-измерительной системы для контроля уровня различных жидких сред, которая бы обладала широким диапазоном измеряемых уровня жидких сред, простотой конструкции, стабильностью показаний, высокой точностью измерений, и позволяла бы автоматизировать процесс измерения, а также обеспечить быструю адаптацию к условиям конкретной задачи измерения уровня разнообразных жидких и сыпучих сред. Наиболее полно отвечает перечисленным требованиям измерительная система с несколькими измерительными датчиками, которая и явилась объектом научных исследований.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование и разработка системы измерения уровня и границ раздел жидких сред.

Для достижения указанной цели в ВКР решались следующие основные задачи:

- разработка технологии определения значения уровня многофазных жидких сред и границ разделов;
- разработка математической модели, описывающей методы измерений, основанной на применении приборов с емкостными датчиками уровня;
- измерение и контроль текущего уровня;
- измерение и контроль положения уровня раздела сред;
- разработка структурной схемы измерителя уровня жидкости;
- оптимизация инструментальных и электронных средств аппаратной реализации измерительной системы.

Теоретической основой ВКР являются исследования в области методов и средств измерения уровня жидких сред, теории ёмкостных измерительных

приборов, интеллектуальных измерительных систем, средств аналоговой и цифровой электроники.

В процессе выполнения ВКР активно применялись аналитические и экспериментальные методы исследований. Аналитические методы исследований базировались на общей теории математического моделирования схемных технических решений и натурального эксперимента в лабораторных условиях.

Для компьютерного моделирования была применен интегрированный пакет для автоматизации математических и инженерно-технических расчетов MathCAD, ориентированный на применение на платформе IBM - совместимых персональных компьютеров.

Практическая ценность ВКР заключается в разработке варианта построения автоматизированной измерительной системы, которая позволяет производить измерения положения уровня многофазных жидких сред.

Отличительной особенностью практического варианта разработанной измерительной системы является обеспечение достаточно высокой точности контроля уровня жидкости при большом перепаде измеряемых значений уровня. Для разработанного варианта измерительной системы не имеет определяющего значения проводимость жидкости, её плотность, температура окружающей среды, давление. Для результатов измерений имеет второстепенное значение наличие электроизоляции, толщина стенок резервуара по высоте, форма резервуара, его проводимость и прозрачность.

1. Анализ методов и средств измерения уровня жидких сред

1.1 Основные параметры жидких сред

Основными параметрами контроля жидких сред являются:

- уровень продукта в ёмкости, H [м], который характеризует положение границы раздела газовой и жидкой сред относительно определённой точки ёмкости, принятой за начало отсчёта;

- объём, V [m^3], который характеризует количество занимаемого продуктом пространства в ёмкости;

- масса, M [кг], который характеризует количество вещества продукта.

Заметим, что от уровня зависит объём занимаемого, им в ёмкости.

Уровень можно определить в соответствии с функцией [2]

$$V = f(H), \quad (1)$$

где $f(H)$ – градуировочная (или калибровочная) характеристика.

Необходимо отметить, что градуировочная характеристика составляется индивидуально для каждой конкретной ёмкости.

Причем сам процесс составления градуировочной характеристики для какой-либо ёмкости называют тарировкой.

Масса и объём произвольного продукта связаны следующим соотношением

$$M = \rho_t V_t, \quad (2)$$

где ρ_t – плотность при температуре t , $кг/м^3$;

V_t – объём при температуре t , $м^3$.

Плотность ρ является основным параметром, который напрямую связанным с другими многочисленными характеристиками жидких сред. Плотность жидкой среды принято выражать абсолютной и относительной величиной. Абсолютная плотность представляет собой массу вещества, заключённую в единице объема:

$$\rho = \frac{M}{V}, \quad (3)$$

Уровень, объём, массу и плотность при любой температуре можно связать одной формулой, которая имеет вид

$$M = \rho V = \rho f(H) . \quad (4)$$

Эта формула иллюстрирует возможность определения уровня через массу и плотность, для случая, если известна градуировочная функция $f(H)$.

Заметим, что электродинамические свойства жидких сред определяются удельной электрической проводимостью σ , а также диэлектрической ε и магнитной μ проницаемостями. Все эти три параметра взаимосвязаны и зависят от температуры и частоты.

Значение диэлектрической проницаемости ε зависит от частоты, на которой производятся измерения. Диэлектрическая проницаемость жидких веществ обычно находится в пределах 1,8-120.

1.2 Классификация методов измерения и контроля уровня жидких сред

В настоящее время важнейшее значение приобретают проблемы повышения эффективности производства и качества выпускаемой продукции. Одним из основных путей решения этих проблем является автоматизация технологических процессов, требующая быстрого и достаточно точного измерения различных электрических и неэлектрических величин, параметров технологических процессов, передачи данных из разных, часто удаленных мест, преобразования их в удобный для использования вид.

Поэтому неотъемлемую, а часто и основную часть, современных автоматизированных систем управления разнообразными технологическими процессами составляют различные средства измерений и контроля, которые позволяют своевременно получать и обрабатывать полученную информацию, обеспечивая тем самым эффективное выполнение различных задач технологического управления.

Важной основой для получения достоверной первичной информации о различных технологических параметрах являются разнообразные первичные

преобразователи для измерения различных неэлектрических величин, которые называют датчиками.

Следует отметить, что именно от метрологических характеристик, которыми обладают первичные измерительные преобразователи, и последующих методов обработки получаемых измерительных сигналов будет в основном определяться эффективность всей проектируемой измерительной системы в целом.

Приборы, используемые для контроля и измерения уровня заполнения различных емкостей и сосудов, или уровнемеры, в зависимости от набора предъявляемых к ним технических требований, подразделяются на два типа:

- на сигнализаторы уровня (используются в случаях, когда требуется только получить информацию о достижении определённого значения уровня);
- на измерители уровня (в этом случае необходимо производить непрерывные измерения уровня жидкости).

В настоящее время существует широкая номенклатура разнообразных средств измерения и контроля уровня, которые используют различные физические методы.

Все известные в настоящее время методы измерения и контроля уровня жидких сред по принципу действия можно условно разделить на четыре большие группы: механические, электрические, акустические и электромагнитные. Классификация методов и устройств контроля уровня жидких сред приведена на рисунке 1.

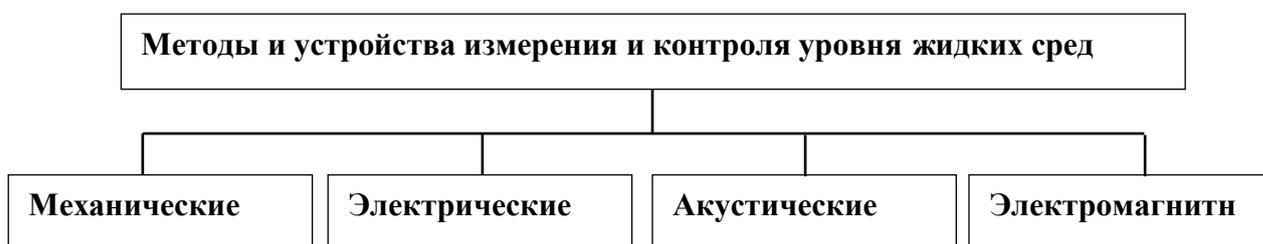


Рисунок 1 – Классификация устройств измерения и контроля уровня жидкостей

Механические устройства измерения уровня определяют уровень жидкости по изменению различных механических параметров таких как:

давление, положение поплавка, шкала метроштока. Классификация механических устройств измерения уровня жидких сред приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Классификация механических устройств измерения и контроля уровня жидкостей

В электрических устройствах контролируется сопротивление или ёмкость. Классификация электрических устройств измерения уровня жидкости приведена на рисунке 3.

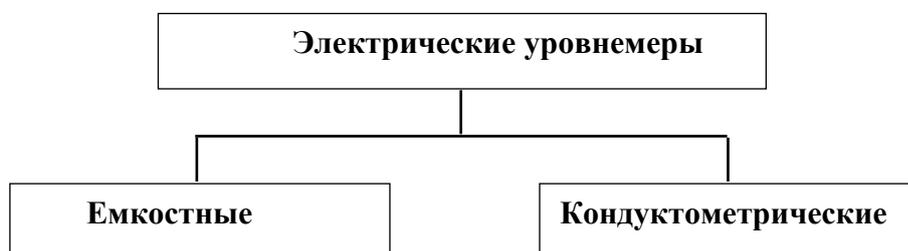


Рисунок 3 – Классификация электрических устройств измерения и контроля уровня жидкостей

В акустических устройствах используются звуковые волны. Классификация акустических устройств измерения уровня жидкости приведена на рисунке 4.

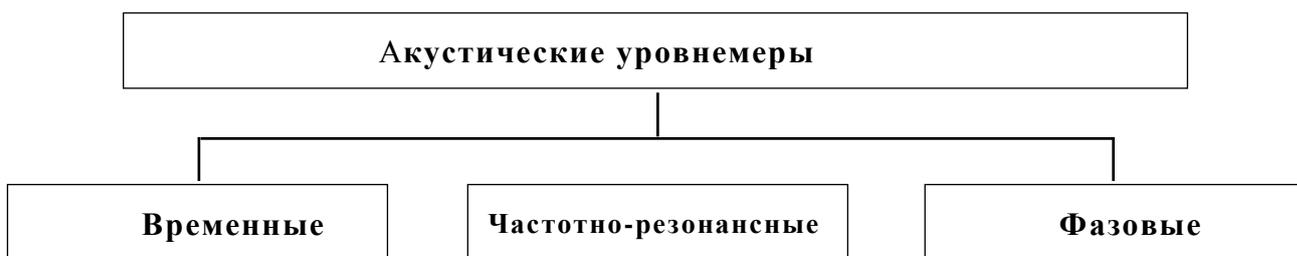


Рисунок 4 – Классификация акустических устройств измерения и контроля уровня жидкостей

В электромагнитных уровнемерах используются электромагнитные волны. Классификация электромагнитных устройств измерения уровня жидкости приведена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Классификация электромагнитных устройств измерения и контроля уровня жидкостей

Важно отметить, что все технические устройства, используемые в настоящее время для измерения и контроля уровня жидкости, по степени распространения можно приблизительно оценить следующими количественными показателями: 23 % – составляют поплавковые уровнемеры; 21 % – вибрационные уровнемеры; 20 % – гидростатические уровнемеры; 15 % – емкостные уровнемеры; 14 % – волновые уровнемеры; 5 % – кондуктометрические уровнемеры; 2 % – прочие устройства [3].

Проведем подробный обзор и анализ различных методов измерений уровня жидких сред.

1.2.1 Поплавковый уровнемер

Согласно ГОСТ 24802-81 «Приборы для измерения уровня жидкости и сыпучих веществ» [4] – поплавок-уровнемер - уровнемер, который основан на измерении перемещения поплавка, частично погруженного в жидкость.

Рассмотрим принцип действия поплавок-уровнемера.

Поплавки являются неотъемлемой частью датчиков положения уровня, датчиков уровня и уровня раздела сред. На тело, погруженное в жидкость, в соответствии с законом Архимеда, действует выталкивающая сила, равная силе тяжести вытесненной телом жидкости.

Рассмотрим общий случай нахождения поплавка в жидкой двухфазной среде с различными плотностями (рисунок 6). Для общего случая нахождения поплавка на границе раздела сред должно быть выполнено условие $\gamma_1 < \gamma_n < \gamma_2$.

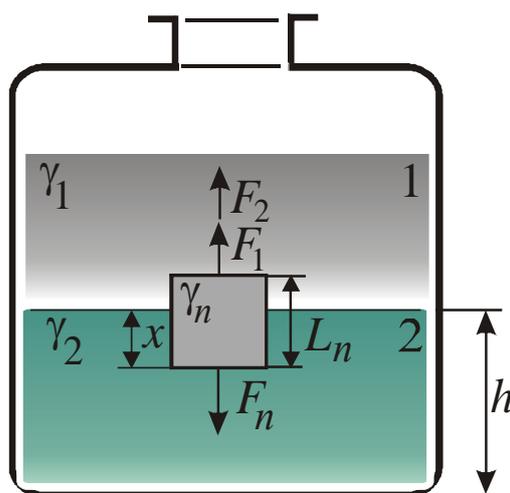


Рисунок 6 – Теория поплавка

На рисунке 6 показано: F_n – сила тяжести поплавка; F_1 , F_2 и – соответственно значения выталкивающих сил, действующих на поплавок со стороны жидких сред 1 и 2; L_n и x – общая высота поплавка и заглубление (осадка) поплавка в среде 2; γ_1 , γ_n , и γ_2 – соответственно плотности среды 1, поплавка и среды 2; S – площадь поперечного сечения цилиндрического поплавка; g – ускорение силы тяжести.

Сила тяжести поплавка F_n уравнивается выталкивающими силами

со стороны обеих жидкостей соответственно F_1 и F_2 . Для состояния равновесия в спокойной жидкости $F_n = F_1 + F_2$. Для этих сил:

$$F_n = SL_n\gamma_n g ; \quad (5)$$

$$F_1 = S(L_n - x)\gamma_1 g ; \quad (6)$$

$$F_2 = Sx\gamma_2 g . \quad (7)$$

Объединяя вместе, получим: $L_n\gamma_n = (L_n - x)\gamma_1 + x\gamma_2$ или $L_n(\gamma_n - \gamma_1) = x(\gamma_2 - \gamma_1)$, откуда осадка поплавок x может быть найдена как

$$x = L_n \frac{(\gamma_n - \gamma_1)}{(\gamma_2 - \gamma_1)} . \quad (8)$$

При однофазной жидкой среде, когда над жидкостью находится газовая среда (воздух), $\gamma_1 = 0$ и осадка поплавок определяется как

$$x = L_n \frac{\gamma_n}{\gamma_2} . \quad (9)$$

Осадка поплавок остается постоянной, независимо от уровня жидкой среды. Такие поплавки получили название как «поплавки постоянного заглубления» и применяются в уровнеметрии как один из вариантов построения следящих преобразователь контроля изменения уровня раздела сред в пространстве.

В отличие от свободно плавающего поплавок в реальных условиях поплавков несет на себе и дополнительную нагрузку. На него, кроме собственного веса (силы тяжести) и выталкивающей Архимедовой силы действуют силы средств кинематической связи с датчиками перемещений, силы трения и силы сопротивления.

Конструктивно поплавки постоянного заглубления выполняются преимущественно в виде шаровидных, цилиндрических или комбинированных тел (рисунок 7). Изготавливают поплавки из металла или пластических материалов, сплошные или пустотелые, с широким диапазоном диаметров – (60 ÷ 400) мм и приведенной плотностью (380 ÷ 640) кг/м³, что обеспечивает им положительную плавучесть.

В большинстве своем поплавки снабжены осевыми пустотелыми втулками, позволяющими поплавку свободно перемещаться вертикально при изменении уровня по скользящей направляющей трубке или стержню.

Изменение плотности жидкости по разным причинам или условий трения в механической системе передачи показаний приводит к искажению результата измерения. Это связано с изменением установленного заглубления поплавка. Причем, эти изменения тем меньше, чем более плоской формой обладает поплавок.



Рисунок 7 – Примеры конструкций поплавков для уровнемеров жидких сред

Следует отметить, что поплавковые уровнемеры не пригодны к применению для контроля уровня вязких жидкостей (например, дизельного топлива, мазута или смол) из-за процесса залипания поплавка, обволакивания его вязкой средой. Кроме того, при контроле уровня криогенных жидких сред из-за процесса кипения верхнего слоя возникает вибрация поплавка, что приводит к значительным искажениям результатов измерения. Наиболее часто поплавковые уровнемеры используют для измерения уровней в больших открытых резервуарах, а также и в закрытых резервуарах, но с низким давлением. Отметим, что применение магнитной связи для передачи перемещения поплавка позволяет герметизировать вывод передачи

информации в измерительный блок, упростить конструкцию датчика, повысить его надёжность, и измерять уровень в резервуарах под давлением.

1.2.2 Буйковый уровнемер

Принцип работы такого уровнемера основан на интеллектуальном позиционировании короткого буйка относительно границы раздела жидких сред по изменению силы тяжести буйка при изменении уровня самих контролируемых сред.

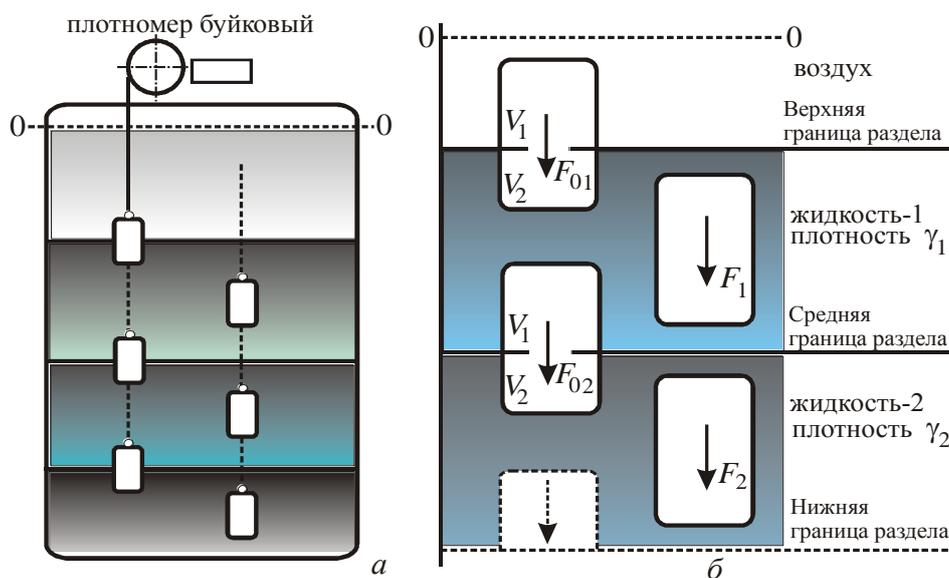


Рисунок 8 - Функционирование буйкового уровнемера (а) и расчет действующих усилий (б)

При контроле уровня раздела сред буюк (рисунок 8) должен располагаться таким образом, чтобы граница раздела проходила перпендикулярно телу буйка, условно разделяя его общий объем V на две (в общем случае) неравные части: V_1 , находящейся в «верхней» и V_2 – в «нижней» жидкости. Причем, $V_1 + V_2 = V$. Согласно закону Архимеда, каждая из составляющих вытесненных жидкостей создают выталкивающие силы, уменьшая силу тяжести буйка. Совершенно очевидно, что буюк, расположенный на других границах раздела будет иметь разные значения силы тяжести, например, F_{01} и F_{02} .

Так, для верхней границы (общий уровень) значение

$$F_{01} = P - V_1 \gamma_1 g . \quad (10)$$

Для средней границы (промежуточный уровень) значение уже равно

$$F_{02} = P - V_2\gamma_2g - V_1\gamma_1g. \quad (11)$$

Здесь γ_1 и γ_2 значения плотности «верхней» и «нижней» жидкостей. При большем количестве контролируемых сред значения усилий F_i определяются аналогичным путем.

Рассчитанные значения усилий, для всех подлежащих контролю границ раздела, вносятся в память электронного устройства уровнемера в виде т.н. «уставок». Выбор этих значений позволяет избирательно следить за изменением положения всех границ раздела сред.

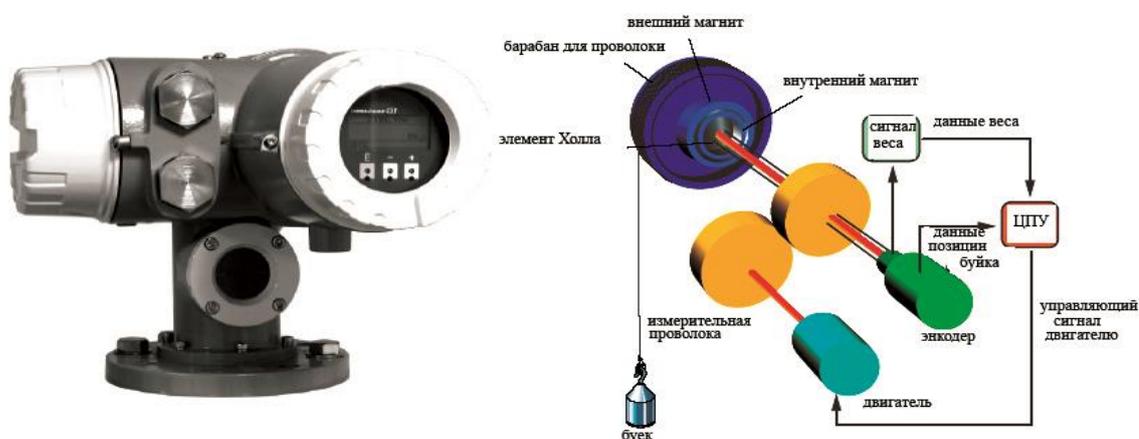


Рисунок 9 - Буйковый уровнемер Proservo

NMS (слева) и кинематическая схема его

функционирования

На рисунке 9 представлен буйковый плотномер – уровнемер Proservo NMS-5 [5].

Применение современных средств позиционирования и измерения позволяет точно измерять положения буйка с очень высоким разрешением, составляющим $\pm 0,7$ мм.

Необходимо отметить, что с помощью самого плотномера можно построить зависимость значений силы тяжести буйка в зависимости от его погружения через многофазную жидкую среду и путем пересчета построить так называемый «профиль плотностей».

«Профиль плотностей» (рисунок 10) представляет собой зависимость текущего значения плотности среды в резервуаре в координатах «плотность –

уровень», т.е. $\gamma = f(h)$. Данные для построения «профиля плотностей» получаются вертикальным сканированием пространства резервуара при изменении глубины погружения короткого буйка от начального значения ($h=0$) до нижней точки (дна) резервуара. Значения плотности рассчитываются в соответствии с приведенными формулами. Техника измерения плотности и аналитические выражения изложены выше.

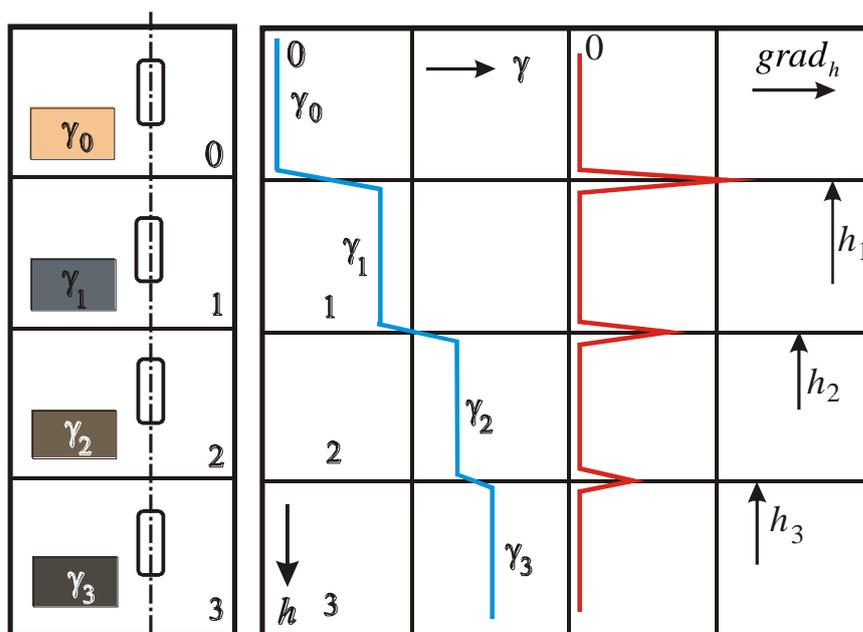


Рисунок 10 - Определение границ раздела сред через «профиль» плотности

Далее, необходимо аппроксимировать кривую $\gamma=f(h)$, определить её первую производную $d\gamma/dh$, т.е. $grad_h\gamma$. Положения локальных максимумов кривой градиента будет соответствовать положениям границ разделов сред.

1.2.3 Емкостной уровнемер

Емкостной уровнемер – уровнемер, основанный на зависимости электрической емкости конденсаторного преобразователя, образованного при помощи одного или нескольких цилиндров, стержней, или пластин, частично введенных в измеряемую жидкость, от высоты уровня жидкости или сыпучего вещества.

Емкостные уровнемеры отличаются разнообразием конструкций преобразователей применительно к различным задачам и условиям эксплуатации.

Датчики емкостных уровнемеров могут работать в высокоагрессивных средах, что имеет значение при использовании уровнемеров во многих отраслях промышленности.

Малая инерционность – качество, исключительно важное для контроля быстропеременных процессов, достигается путем выбора соответствующей частоты питания датчиков

Емкостные уровнемеры выпускаются классов точности 0,5.; 1.0; 2,5[6].

Минимальный диапазон измерений у емкостных уровнемеров составляет 0 - 0,4 м, а максимальный 0 - 20 м. Диапазон измерения зависит от выбранной длины электродов емкостных преобразователей.

Емкостные уровнемеры могут использоваться для измерения уровней электро- и неэлектропроводящих жидкостей в широком диапазоне температур – от криогенных до 250 °С и при давлениях 2,5 ÷ 10 МПа.

Принцип работы емкостных уровнемеров основан на использовании различия электрических свойств жидкости и газового пространства над ней. В качестве основного электрического свойства здесь рассматриваются диэлектрические проницаемости двух контактирующих сред – газовой (воздуха) ϵ_0 и жидкой ϵ_2 . Электрическая емкость чувствительного элемента, который погружен в контролируемую жидкость, изменяется в зависимости от положения уровня жидкости. Чувствительные элементы выполняются в виде протяженных емкостных измерительных преобразователей, состоящих из двух или более электродов – обкладок.

В зависимости от электрических характеристик и свойств жидкости, уровень которых измеряют емкостным методом, разделяют на неэлектропроводные и электропроводные жидкости. Это так же влияет на конструктивное исполнение емкостного измерительного преобразователя.

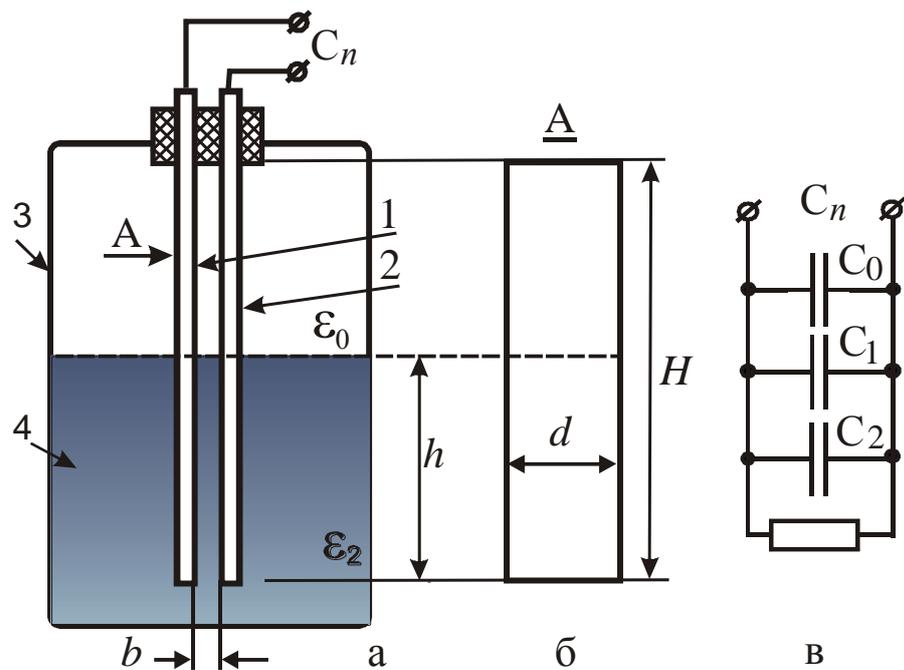


Рисунок 11 – Ёмкостной «плоскость-плоскость» преобразователь уровня непроводящих

Рассмотрим принцип действия емкостного преобразователя уровня неэлектропроводной жидкости в виде двух плоских металлических электродов с размерами d и H и расположенных друг относительно друга с зазором b (рисунок 11). Для каждого значения уровня h жидкости в резервуаре значение емкости преобразователя определяется как емкость двух параллельно соединенных конденсаторов C_1 и C_2 , один из которых определяется частью электродов $(H - h)$, находящихся в газовой среде, а другой – частью электродов h , находящихся в контролируемой жидкости. Кроме того, присутствует и «паразитная» составляющая емкости преобразователя – емкость C_0 , обусловленная проходным изолятором, а также соединительным кабелем от электродов к вторичной измерительной аппаратуре. Значение полной емкости преобразователя запишется, как $C_n = C_0 + C_1 + C_2$.

Для обозначений на рисунке 11 значения емкостей C_1 и C_2 могут быть найдены как:

$$C_1 = \frac{\epsilon_0(H-h)d}{b} \text{ и } C_2 = \frac{\epsilon_0\epsilon_2hd}{b}. \quad (12)$$

Таким образом, полная емкость первичного измерительного преобразователя, помещенного в контролируемую жидкость уровня h , составит

$$C_n = C_0 + \frac{\epsilon_0 d}{b} [H + h(\epsilon_2 - 1)]. \quad (13)$$

Разработка емкостных уровнемеров, независимых к изменению диэлектрической проницаемостей контролируемых сред, стала возможной при использовании нового технического решения в конструкции самого емкостного преобразователя. Таким решением стало применение пространственной сегментации измерительного электрода преобразователя, реализованная, например, в измерителе уровня типа МПУ-100 (рисунок 12).

Преобразователь прибора МПУ-100 конструктивно состоит из двух электродов[7], которые изолированы трубами из стеклопластика. Один из электродов - измерительный, выполнен в виде набора отдельных ламелей (обкладок) равномерно размещенных по всей длине чувствительного элемента, другой электрод - общий (противоэлектрод) имеет целостную конструкцию[8].



Рисунок 12 – Сегментированный емкостной преобразователь уровня МПУ-100

1.2.4 Ультразвуковой уровнемер

Уровнемеры в качестве информативного параметра могут использовать время прохождения ультразвукового импульса через контролируемую жидкость (рисунок 13,а), газовую среду (рисунок 13,б) и общее пространство, занимаемого газовой и жидкой средой (рисунок 13,в).

Эти уровнемеры используют эффект и параметры затухания ультразвукового сигнала при прохождении его через измеряемые среды.

Используя время прохождения в качестве информативного параметра, ультразвуковые датчики уровня по приведенным схемам на рисунке 13 могут работать во время - импульсном, частотно-импульсном или фазовом режимах. Как правило, в реализованных на практике вариантах измерительных приборах используется преимущественно время - импульсный способ.

Различие скоростей распространения звуковых волн в газовой c_1 и жидкой c_2 средах позволяет вести контроль уровня контролируемой среды за счет измерения времени распространения ультразвукового импульса от излучателя 1 до приемника 2, расположенных на верхнем и нижнем торцах сосуда (рисунок 13,в).

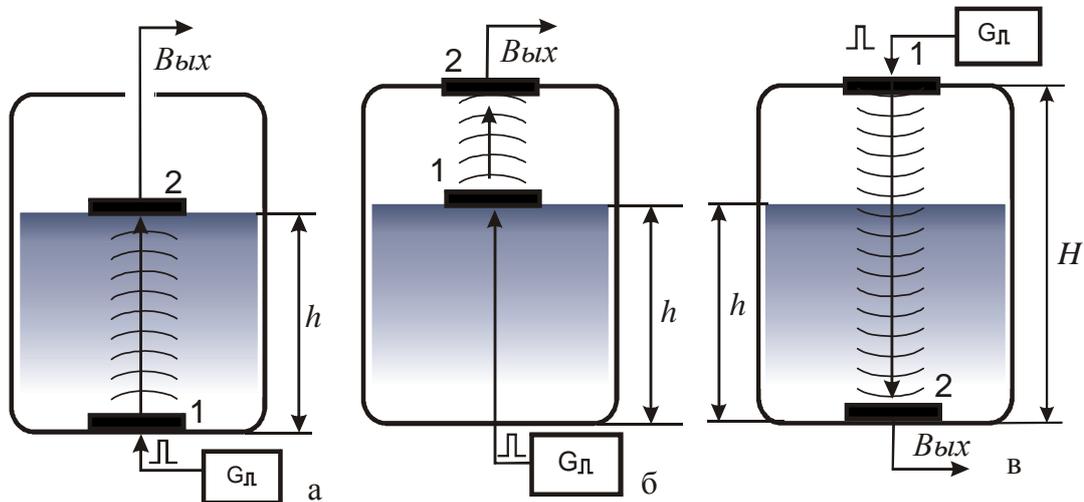


Рисунок 13 – Акустические уровнемеры «прямого» зондирования (диссипативные уровнемеры)

При этом зондируется полная высота резервуара H , а суммарное время прохождения акустической волны

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2, \quad (14)$$

где Δt_1 и Δt_2 соответственно время прохождения газового промежутка $(H-h)$ и слоя жидкости h .

При этом $\Delta t_1 = (H-h)/c_1$ и $\Delta t_2 = h/c_2$.

Совместное решение приведенных выражений позволяет найти функцию преобразования и, соответственно, значение уровня границы раздела сред как:

$$h = (\Delta t \cdot c_1 - H) / \left(\frac{c_1}{c_2} - 1 \right), \quad (15)$$

где Δt - время распространения акустической волны;

c_1 и c_2 – соответственно скорости звука в газовой и жидкой средах;

H – полная высота резервуара.

В качестве примера подобных средств контроля уровня приведем ультразвуковые датчики ДУУ2 и ДУУ2М. Эти датчики служат для измерения уровня различных жидкостей, измерения для многофазных жидкостей (нефть - эмульсия - подтоварная вода и т.п.) уровней раздела сред. Параллельно с измерением уровня датчики измеряют давление и температуры контролируемой среды.

1.2.5 Радарный уровнемер

Принцип действия всех известных радарных уровнемеров основан на измерении времени распространения радиоволны от антенны уровнемера до поверхности продукта, уровень которого измеряется, и обратно. Более широкое распространение получили радарные уровнемеры, применяемые для высокоточных измерений и использующие непрерывное модулированное по частоте радиоизлучение - технология FMCW (frequency modulated continuous wave). Эта технология позволяет реализовать косвенный метод измерения расстояния.

На рисунке 14 частота отражённых колебаний показана штриховой линией. Отражённые сигналы и колебания генератора подводятся к смесителю. Образующаяся на выходе смесителя разностная частота (частота биений) пропорциональна дальности цели. Если частота излучения $f_{изл} = f_0 + \frac{\Delta f_m}{T_m} \cdot t$, где Δf_m - девиация частоты передатчика, то частота сигнала, отражённого от границы раздела, будет равна

$$f_{отп} = f_0 + \frac{\Delta f_m}{T_m} \cdot (t - \tau) = f_0 + \frac{\Delta f_m}{T_m} \cdot \left(t - \frac{2l}{c} \right). \quad (16)$$

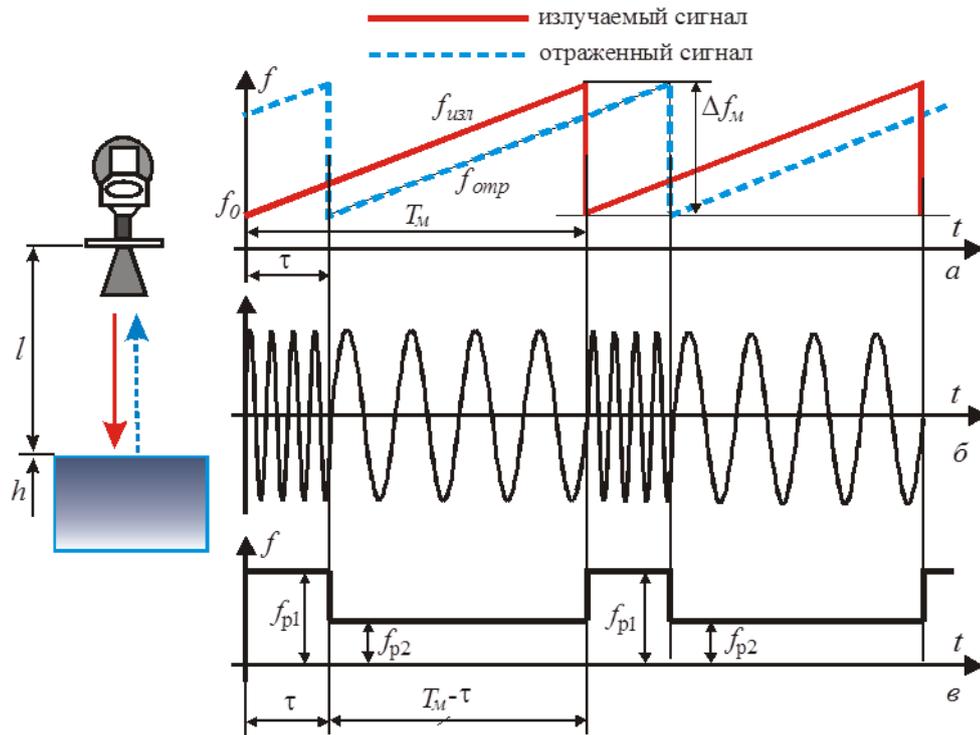


Рисунок 14 – Принцип действия радарных FMCW -уровнемеров

В этом выражении время запаздывания

$$\tau = \frac{2l}{c}, \quad (17)$$

где l – расстояние до границы раздела сред, м;

c – скорость света, м/с.

Разностная частота, выделяемая на выходе смесителя, равна

$$f_p = f_{изл} - f_{отр} = \frac{2\Delta f_M}{cT_M} \cdot l = \frac{2F_M \Delta f_M}{c} \cdot l, \quad (18)$$

что позволяет определить расстояние до границы раздела сред, как

$$l = \frac{c \cdot f_p T_M}{2} = \frac{c \cdot f_p}{2\Delta f_M \cdot F_M}, \quad (19)$$

и искомое значение уровня

$$h = H - l = H - \frac{c}{2\Delta f_M \cdot F_M} \cdot f_p. \quad (20)$$

1.2.6 Волноводный уровнемер

Предполагает одновременное измерение общего уровня и уровня раздела двух сред одним волноводным уровнемером. Таким образом, можно избежать применения дополнительного оборудования на резервуаре.

На рисунке 15: ε_0 , ε_1 , ε_2 – диэлектрические проницаемости газовой (0) и верхней (1) и нижней (2) жидких сред; α_0 и α_1 – характеристики скорости распространения электромагнитной волны для газовой среды и верхней (1) жидкости, причем $\alpha_0 \sim v_0$ и $\alpha_1 \sim v_1$.

Следует отметить, что расстояние до границы раздела сред «жидкость 1 – жидкость 2» может быть измерена только при условии, что диэлектрическая проницаемость жидкости 1 - ε_1 будет намного ниже (не менее чем на 10), чем у жидкости 2 – ε_2 . Это условие диктуется требованием надежного отражения электромагнитного импульса от границы раздела сред 1 и 2.

Для измерения уровня границы раздела двух сред уровнемер использует остаточную энергию импульса первого отражения от верхней границы слоя жидкости 1. Часть энергии импульса не отражается от поверхности верхней среды, а продолжает движение в верхней среде, пока не отразится от границы раздела жидкостей, при этом скорость распространения волны зависит от значения диэлектрической проницаемости верхней среды. При этом известно, что скорость импульса в верхнем слое жидкости меньше по отношению к скорости импульса в газовой среде (воздухе), а именно, обратно пропорционально корню квадратному от значения его диэлектрической проницаемости.

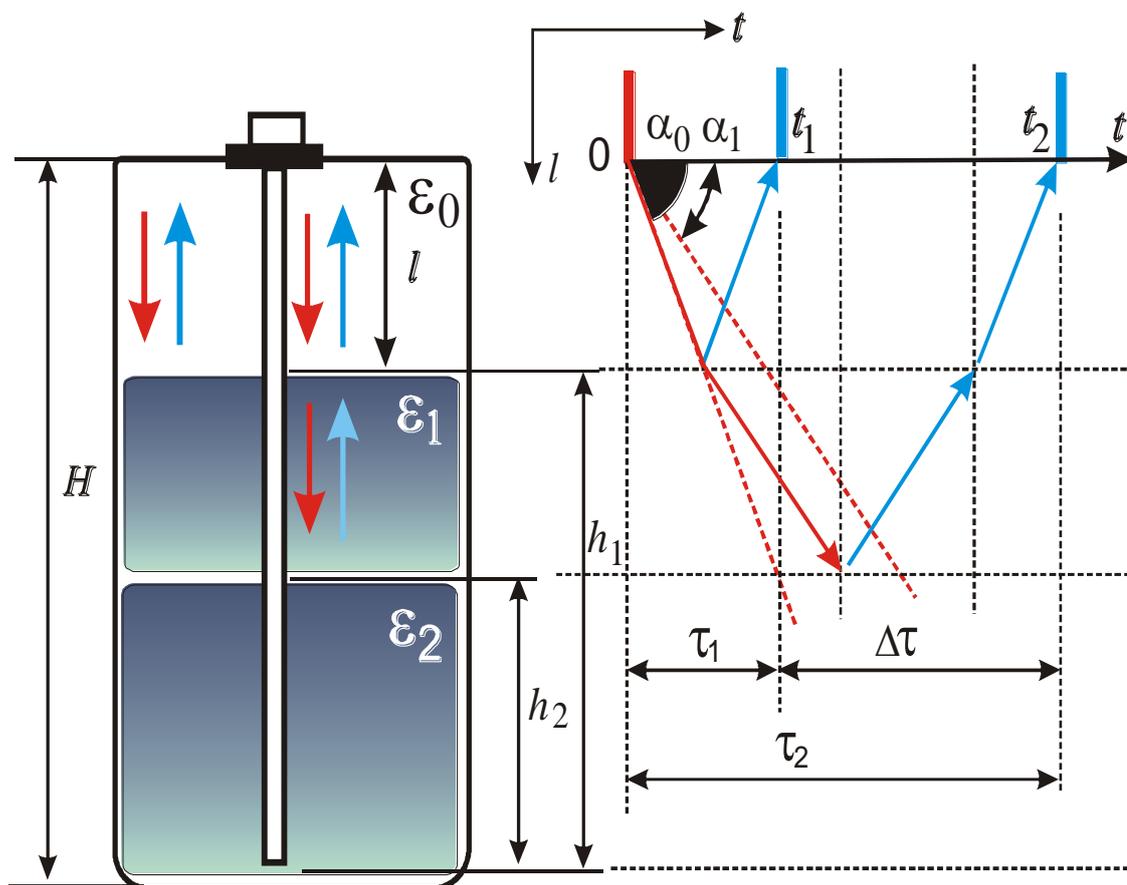


Рисунок 15 – Принцип реализации технологии волноводного уровнемера

Из рисунка 15 видно, что время прохождения импульса от уровнемера до верхней границы и обратно составляет τ_1 , а время прохождения импульса от уровнемера через газовую среду и верхний слой жидкости до границы раздела сред и обратно к уровнемеру составляет τ_2 . По этим значениям и по известным значениям скоростей v_0 и v_1 электронный блок производит вычисления. Один из алгоритмов расчета может быть представлен, как

$$h_1 = H - l = H - \tau_1 v_0 / 2 \quad \text{и} \quad h_2 = h_1 - \Delta\tau v_1 / 2. \quad (21)$$

Причем, значения v_0 и v_1 могут быть предварительно получены экспериментально – при отдельном зондировании пустого и полностью заполненного резервуара контролируемой жидкостью верхнего слоя.

При измерении уровня границы раздела двух сред необходимо соблюдать следующие условия:

- Диэлектрическая постоянная верхней среды должна быть известна и иметь значения от 1,4 до 5.

- Для хорошего отражения требуется, чтобы диэлектрическая постоянная верхней среды была меньше диэлектрической постоянной нижней среды. В то же время максимальное значение диэлектрической постоянной верхней среды должно быть не более 10 при использовании коаксиальных зондов, не более 7 при использовании двойных зондов и не более 8 для одинарных зондов значение диэлектрической постоянной нижней среды – более 15.

- Разность между значениями диэлектрических постоянных контролируемых сред должна быть более 6.

- Толщина слоя верхней среды должна быть не менее 50-100 мм для всех типов зондов. А его максимальная толщина ограничена длиной применяемого зонда.

Уровнемер УМФ300 является отечественной разработкой системы измерения уровня и разделов фаз в многокомпонентных средах и определения количества продукта в каждой из сред.

Преимущества УМФ300:

- Конструктивное упрощение;
- Упрощение в обслуживании;
- Увеличение быстродействия;
- Улучшение качества измерения;
- Увеличение точности измерения в сложных технологических режимах;
- Качество измерения не зависит от расположения аппарата;
- Повышения надежности оборудования;
- Прочный корпус датчика [9].

1.2.7 Тепловой уровнемер

При контроле многофазных сред основной задачей является определение положений границ их раздела. Рассмотренные выше методы

контроля уровня жидких сред с применением тепловых преобразователей с распределенными параметрами не позволяют дать однозначного ответа о пространственном положении границ раздела многофазных сред.

Выход может быть найден, используя способ построения т.н. «профиля» тепловых параметров контролируемой среды по высоте h . В качестве таких параметров могут быть приняты, например, коэффициент теплопроводности или распределение температуры вдоль подогреваемого теплового преобразователя с распределенными параметрами в виде цепочки локальных термочувствительных преобразователей «1...1», как представлено на рисунке 16. Источник тока 2 и нагревательный элемент 3 обеспечивают нагрев всей цепочки чувствительных элементов «1..1» по высоте h . При этом датчики, расположенные в разных средах, каждый со своим коэффициентом теплопроводности, примут «свои» значения температуры. Причем, на границах раздела сред будут наблюдаться резкие изменения температуры. Последовательный опрос выходных сигналов термочувствительных преобразователей «1..1» с помощью блока управления, обработки и индикации 4 позволяет измерить значения температуры t_i в заданных точках по всей высоте h и построить её температурный «профиль», рисунок 16,б. Сам «профиль» температуры дает первую информацию о пространственном расположении границ раздела сред. Для повышения точности измерения положения границ раздела сред в блоке управления, обработки и индикации 4 проводится аппроксимация полученной зависимости распределения температуры $t=f(h)$ и определяется распределение температурного градиента $grad_h t = f(h)$ по высоте h . Положения локальных максимумов градиента $grad_h t = f(h)$ соответствуют положениям уровней h_1 , h_2 и h_3 на примере рис. 16,в. Результат измерения не зависит от изменения параметров контролируемых сред и от временного дрейфа характеристик термочувствительных измерительных преобразователей.

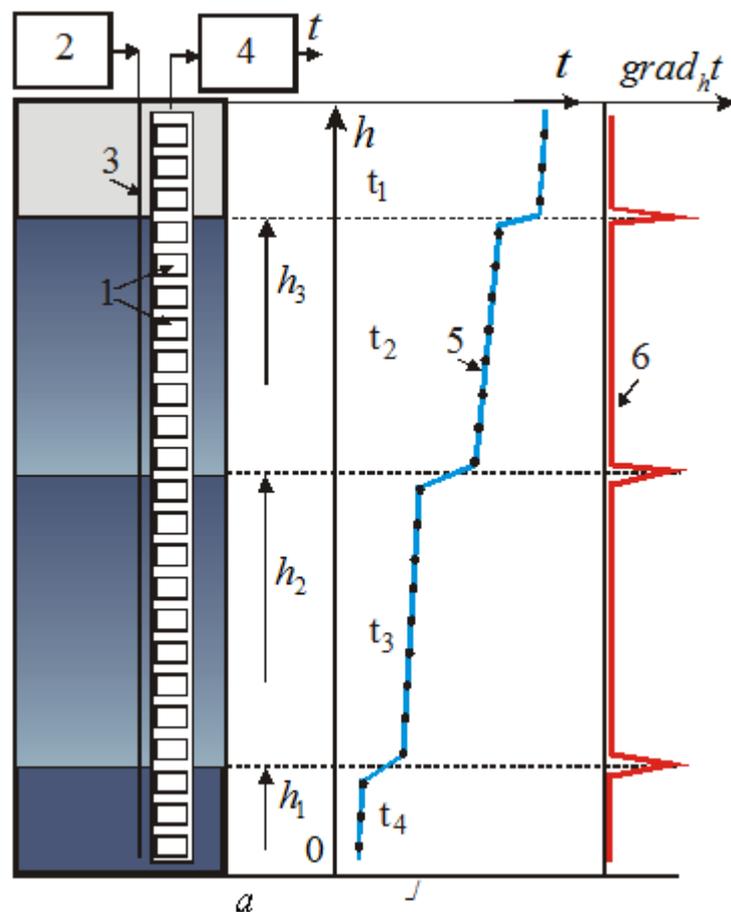


Рисунок 16 – Построение профиля температур и определение границ раздела контролируемых сред

На рисунке 16 показаны: 1 – «цепочка» термочувствительных элементов; 2 – источник постоянного тока; 3 – нагревательный элемент; 4 – блок управления, обработки и индикации; 5 – температурный профиль; 6 – профиль градиента температуры.

Сигнализаторы уровня, работающие в диапазоне температур окружающей среды от -70 до $+200$ °С в качестве чувствительного элемента используют полупроводниковые терморезисторы. Для высоких температур от -70 до $+450$ °С – платиновые терморезисторы.

Эта разность температур, а, следовательно, и значения сопротивлений терморезисторов, зависят от теплопроводности среды, в которую погружен чувствительный элемент. Таким образом, по разности сопротивлений активного и пассивного терморезисторов при соответствующей настройке уровня срабатывания может контролироваться заданное положение уровня в месте установки чувствительного элемента.

Использование дифференциального метода измерения предопределило название этих приборов, как термодифференциальные сигнализаторы уровня (рисунок 17).

Активный и опорный температурные сенсоры включены дифференциально, поэтому изменение температуры процесса или изменение температуры окружающей среды будут мало влиять на работу прибора, т. к. эти изменения одновременно воздействуют на оба сенсора.

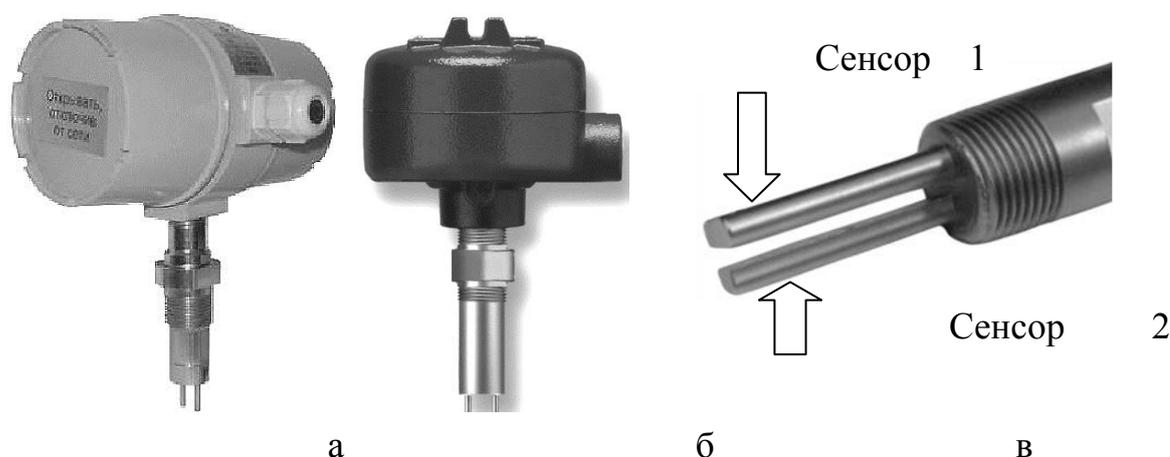


Рисунок 17 – Термодифференциальные сигнализаторы уровня СУПТ 202-02Ex [10] (а), MATEL TG1/TG2 (б) и сенсор сигнализатора TX-0200 [11](в)

Внешний вид и габаритные размеры различных сигнализаторов близки. Конструкция сигнализатора включает корпус, выполненный из алюминия или нержавеющей стали, зонд с чувствительным элементом на нижнем его конце. Длина погружаемой части зонда может выполняться от 50 до 3000 и более мм в соответствии с назначением и особенностями монтажа сигнализатора. Так, например, при контроле уровня и вертикальном положении зонда, его длина представляет собой расстояние от места крепления сигнализатора до положения контролируемого уровня.

Важно отметить, что среди широкого разнообразия современных методов преобразования различных неэлектрических величин, таких как уровень жидких и сыпучих сред, влажности, давления и других, емкостной метод измерения получил наибольшее распространение. Перечислим основные преимущества емкостных преобразователей:

- прежде всего, отсутствие подвижных элементов в конструкции первичных преобразователей, что значительно повышает надежность работы различных измерительных систем и устройств в целом;
- простота технического обслуживания, а также удобство монтажа первичного измерительного преобразователя;
- возможности использования в широком диапазоне температур окружающей среды и давлений;
- высокая чувствительность и искробезопасность;
- малые габаритные размеры и масса;
- небольшие усилия электромеханического взаимодействия между измерительными электродами;
- легкость формирования требуемой формы зависимости между входной и выходной величинами.

2. Математические модели систем обработки измерительных сигналов емкостных преобразователей

2.1 Особенности емкостного метода преобразования измерительной информации при построении математической модели

Работа емкостного преобразователя неэлектрической величины в электрическую величину основана на принципе работы электрического конденсатора. Электрический конденсатор представляет собой систему, которая состоит из двух проводников, которые разделены слоем диэлектрика. Значение электрической емкости конденсатора C в случае плоскопараллельного расположения электродов определяется следующим математическим выражением:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}; \quad (22)$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная, $\varepsilon_0 \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость межэлектродной среды, Ф/м ;

S - площадь электродов конденсатора, м^2 ;

d - расстояние между электродами конденсатора, м .

Как видно из вышеприведенной формулы значение емкости конденсаторного датчика, который имеет плоскопараллельную систему расположения электродов, зависит либо от изменения только одного из трех переменных параметров: относительной диэлектрической проницаемости среды между электродами, площади электродов конденсатора и расстояния между электродами конденсатора, или от комбинации изменения всех этих параметров одновременно.

Как правило, измеряемая неэлектрическая величина, которая обычно в этом случае воздействует только на какой – то один из этих параметров, изменяя тем самым значение емкости самого измерительного датчика. Таким образом, принцип работы любого емкостного датчика (например, датчика измерения уровня жидких сред) определяется видом измеряемой величины и способом воздействия этой физической величины на емкость измерительного

датчика. Следует отметить, что важной отличительной особенностью применяемых емкостных датчиков в современных системах измерения и контроля различных неэлектрических величин является их малая начальная емкость. Это обстоятельство приводит к необходимости использования измерительных каналов работающих на высокой частоте. Использование высокочастотных сигналов в этом случае требует проведения дополнительных аналоговых и цифровых преобразования для получения унифицированных (по току, частоте или по напряжению) выходных сигналов.

Кроме того, при применении емкостных датчиков на точность измерения влияет ещё один параметр. Этим параметром является активное сопротивление утечек первичного измерительного преобразователя. Отметим, что значение сопротивления утечек, например, зависит от качества изоляционных материалов, которые используются в конструкции емкостного преобразователя, и от значения сопротивления утечки для соединительного кабеля, а также от наличия проводящих пленок, которые могут образоваться на поверхности электродов конденсатора. Все это приводит к значительному повышению погрешности измерения различных неэлектрических величин емкостными датчиками.

Поэтому, в идеальном случае метод измерения различных физических величин с помощью емкостных датчиков (например, в системах измерения и контроля уровня жидких сред) предназначены для работы только с диэлектрическими средами, которые обладают достаточно большим значением удельного электрического сопротивления. Если же контролируется, например уровень электропроводной жидкой среды, то в этом случае возникает ряд технических проблем, которые обусловлены необходимостью устранения влияния «паразитной» проводимости.

Кроме того, при использовании емкостных датчиков необходимо применять дополнительные технические и конструктивные меры для устранения влияния на результат измерения изменения относительной

диэлектрической проницаемости контролируемой среды, которые могут быть вызваны, например, изменением температуры или составом контролируемой среды.

Важно отметить, что для получения достоверной первичной информации о контролируемых параметрах для различных технологических процессов важной основой являются первичные измерительные преобразователи различных неэлектрических величин, которые называют датчиками. Именно от метрологических характеристик измерительных датчиков главным образом будет зависеть эффективность всей измерительной системы. Первичные преобразователи являются основным источником получения первичной информации о значениях той или иной неэлектрической величине (например, об уровне). При этом погрешность применяемых измерительных датчиков, как правило, не может быть полностью скорректирована путем применения последующих технических устройств. Поэтому, если метрологические характеристики измерительных датчиков будут неудовлетворительными (низкая точность измерений, невысокое быстродействие, недостаточная надежность и т.п.), то и вся измерительная система в целом будет работать со сбоями, даже если все последующие вторичные преобразователи и вычислительные устройства, которые используются в измерительной системе, будут максимально технически совершенными.

Емкостные датчики уровня удовлетворяют всем требованиям, которые предъявляются к датчикам, как современным средствам измерений. Перечислим основными требованиями, которые предъявляются к датчикам:

- наличие удобной формы зависимости между входной величиной и выходной величиной (как правило эта зависимость является линейной);
- обеспечение однозначной зависимости между входной измеряемой величиной и выходной величиной (характер зависимости в этом случае в

основном обусловлен различными конструктивными и технологическими характеристиками используемых первичных измерительных преобразователей);

- стабильность метрологических характеристик, высокая чувствительность, малая инерционность, а также высокая механическая и электрическая перегрузочная способность измерительных преобразователей;

- технологичность, простота монтажа и эксплуатации;

- отсутствие влияния изменения параметров нагрузки, которая подключена к первичным преобразователям на параметры измеряемой физической величины;

- отсутствие дефицитных материалов или веществ, вредных для окружающей среды и обслуживающего персонала.

Первичные емкостные преобразователи могут также выполняться в виде набора пластин произвольной формы, из набора стержней или цилиндров. Также для дополнительного увеличения начальной емкости измерительных датчиков, и соответственно, для увеличения чувствительности измерительного устройства в целом, емкостной датчик может быть собран из нескольких концентрически расположенных труб, которые образуют параллельно соединенные конденсаторы. Кроме того увеличения начальной емкости измерительных датчиков либо увеличивают площадь электродов или уменьшают расстояние между ними. Заметим, что расстояние между электродами емкостного преобразователя, как правило, лежит в пределах от 1,5 мм до 6 мм.

Важно отметить, что представленные в настоящее время на отечественном рынке емкостные первичные измерительные преобразователи имеют достаточно высокие метрологические характеристики.

Основным направлением повышения точности современных информационно-измерительных систем, ориентированных на применение емкостных измерительных датчиков, является дальнейшее совершенствование

уже известных или применение совершенно новых способов обработки измерительных сигналов получаемых с первичных измерительных преобразователей, а также методов учета внешних возмущающих воздействий и способов их компенсации.

С учетом тенденций развития современных интеллектуальных информационно-измерительных систем в настоящее время наиболее важными задачами при проектировании новейших емкостных преобразователей для измерения различных неэлектрических величин, являются:

- совершенствование технологии обработки измерительных сигналов получаемых с первичных преобразователей;
- выявление и учет определяющих информативных параметров регистрируемых измерительных сигналов;
- возможность предсказания значения контролируемых параметров измеряемой физической величины и последующего принятия технических (организационных) решений в режиме реального времени для исключения аварийных ситуаций в технологическом процессе.

Важно отметить, что корректное решение данной измерительной задачи невозможно без применения априорной информации. Причем эта информация должна быть обязательно формализована в виде математической модели. В свою очередь эта математическая модель должна (по возможности) учитывать все входные воздействия и влияющие факторы, которые воздействуют на информационно-измерительную систему в условиях нормального её функционирования.

Своевременное определение основных информативных параметров, а также оперативный учет и максимальная компенсация всех внешних возмущающих воздействий возможны только в результате разработки адекватной математической модели, которая будет максимально соответствовать всем реальным физическим процессам, которые происходят на входе измерительного преобразователя. Кроме того, на этапе разработки

математической модели необходимо максимально учитывать параметры промежуточных преобразовательных звеньев входящих в состав измерительной системы, а также обеспечить возможность предсказания результатов в случае изменения условий функционирования измерительной системы.

Необходимо отметить, что создание обобщенной математической модели современной информационно-измерительной системы с применением перспективных алгоритмов цифровой обработки многопараметрических сигналов получаемых от современных первичных измерительных преобразователей (которые, как правило, входят в состав интеллектуальных емкостных измерительных датчиков), с возможностью реализации режима прогнозирования возможного значения контролируемой физической величины, а также учета влияния всех внешних возмущающих воздействий и принятия решений в режиме реального времени и в настоящее время все ещё продолжает оставаться весьма актуальной и не полностью решенной задачей.

2.2 Методы преобразования значения электрической емкости на переменном токе

Большинство измерительных преобразователей емкостных датчиков, которые используют в настоящее время в измерительных устройствах и системах работают на переменном токе.

Измерение электрической емкости на переменном токе можно осуществить различными по принципу действия способами. Наиболее распространенными из этих способов измерения емкости являются резонансные, мостовые, емкостно-импульсные и диодно-емкостные.

Принцип действия емкостного уровнемера основан на зависимости значения электрической емкости чувствительного элемента первичного измерительного преобразователя от измеряемого уровня жидкой среды. При этом конструктивно чувствительные элементы емкостных измерительных преобразователей могут выполняться либо в виде цилиндрических коаксиально расположенных электродов или в форме плоских электродов

расположенных параллельно. Конструкция емкостного чувствительного элемента измерительного преобразователя с электродами расположенными коаксиально для измерения уровня неэлектропроводных жидкостей с различными физико-химическими свойствами приведена на рисунке 11.

После преобразования выражения для вычисления значения C_n можно получить уравнение статической характеристики емкостного чувствительного элемента для неэлектропроводных сред. Важно отметить, что для измерения уровня электропроводных жидкостей применяют уровнемеры, у которых металлические электроды обычно изолируют фторопластом. Современной промышленностью выпускаются емкостные уровнемеры, минимальный диапазон измерений которых составляет 0...0,4 м, а максимальный 0...20 м. Кроме того, разработаны емкостные уровнемеры для контроля уровня сыпучих сред. Верхние пределы измерений таких уровнемеров, как правило, ограничены значениями 4...20 м.

Существует несколько возможных вариантов построения емкостных датчиков уровня. Наиболее эффективным для осуществления технологического контроля уровня различных сред в условиях современного производства является применение амплитудных параметрических емкостных датчиков с последовательным преобразованием.

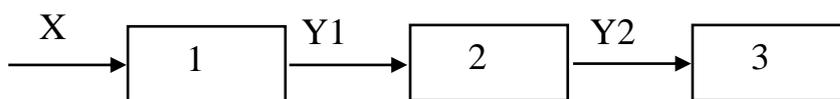


Рисунок 18 - Структурная блок-схема емкостного датчика

Структурная блок-схема такого варианта емкостного датчика уровня (рисунок 18) состоит из следующих элементов: 1 – первичный измерительный преобразователь или чувствительный элемент, который непосредственно выполняет измерение значения контролируемого технологического параметра X , а также вырабатывает сигнал $Y1$ пропорциональный изменениям параметра X ; 2 – усилительно-преобразовательное звено, которое усиливает амплитуду выходного сигнала с элемента 1 и в случае необходимости выполняет ряд

дополнительных последовательных преобразований полученного сигнала; 3 – выходной преобразователь, который выполняет согласование выходного сигнала с датчика с входными параметрами последующего электронного устройства.

Датчик, выполненный по такой структурной схеме, как правило, отличается наиболее простым вариантом конструкции, а также несложной электронной схемой, обладает высокими показателями по надежности и достаточным быстродействием.

Следует также отметить, что при этом для задач в области технологического контроля уровня жидких сред наибольший интерес представляет вариант емкостного измерительного датчика, который выполнен по мостовой измерительной схеме. Одним из основных вопросов эффективного использования такого варианта емкостного датчика уровня является выбор способа его возбуждения. Необходимо отметить, что наибольшее распространение получили способы возбуждения, которые основаны на использовании сбалансированного относительно земли синусоидального сигнала переменного тока. В этом случае на два вывода измерительной схемы такого варианта емкостного датчика уровня подаются сигналы, которые сдвинуты на 180° относительно друг друга. При этом необходимо обеспечить, чтобы среднеквадратическое значение электрического сигнала несущей переменного тока, которое используется для возбуждения датчика, было меньше, чем максимальное значение напряжения постоянного тока, которое может быть подано на измерительный датчик. При этом амплитуда несущей такого электрического сигнала должна быть максимально стабильной, иначе при работе электронной схемы возникнут помехи, которые приведут к искажениям выходное напряжение. Вариант структурной блок-схемы в самом общем виде мостового емкостного уровня с парафазным сигналом возбуждения представлен на рисунке 19.

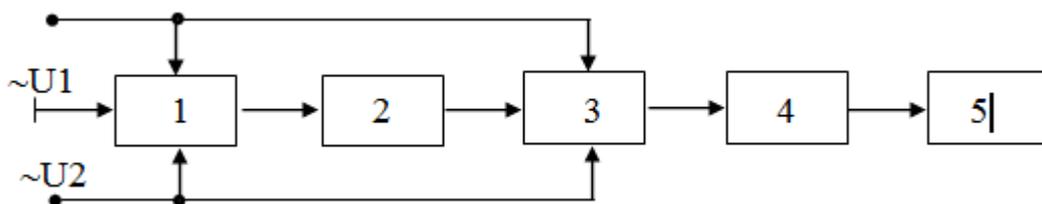


Рисунок 19 - Структурная блок-схема мостового емкостного датчика с парафазным возбуждением

Структурная блок-схема мостового емкостного датчика уровня с парафазным возбуждением содержит следующие элементы (рисунок 19): 1 – емкостный измерительный мост; 2 – полосовой усилитель переменного тока; 3 – синхронный детектор; 4 – фильтр низкой частоты; 5 – усилитель постоянного тока.

Не менее важным для решения указанной измерительной задачи является также вопрос выбора варианта построения схемы для реализации способа возбуждения электрическим сигналом переменного тока. Из всех известных вариантов построения типовых схем возбуждения электрическими сигналами переменного тока для контроля уровня жидких сред наибольшее применение на практике нашли схемы, выполненные на базе дифференциального трансформатора у которого имеется тесная индуктивная связь между плечевыми элементами. Вариант структурной блок-схемы мостового емкостного датчика со схемой возбуждения выполненного с применением дифференциального трансформатора представлен на рисунке 20.

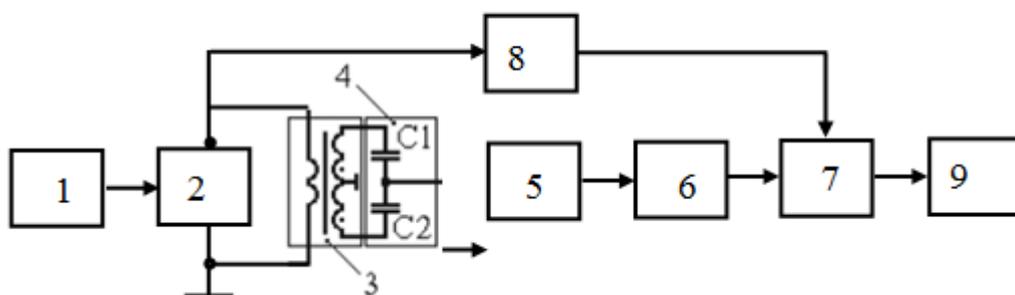


Рисунок 20 - Структурная блок-схема емкостного датчика на базе дифференциального трансформаторного моста

Структурная блок-схема мостового емкостного датчика уровня со схемой возбуждения на базе дифференциального трансформатора (рисунок 20) содержит следующие элементы: 1 – генератор синусоидального напряжения; 2 – усилитель мощности; 3 – дифференциальный трансформатор; 4 – емкостный ПИП; 5 – предварительный усилитель; 6 – узкополосный активный фильтр; 7 – синхронный детектор; 8 – фазовращатель; 9 – выходной буферный усилитель.

Отметим, что дифференциальный трансформатор образует совместно с емкостным преобразователем измерительный мост, у которого вспомогательные плечи представлены элементами с тесной индуктивной связью, а два плеча измерительное и сравнения представлены в виде двух воздушных плоскопараллельных и конструктивно идентичных измерительным конденсатором C_1 и эталонным конденсатором C_2 .

Математическая модель системы обработки измерительных сигналов в информационно-измерительных системах выполненных на основе мостовых методов выглядит следующим образом:

$$C_x = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_z}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)} L \left[1 + (\epsilon_{\text{вк}} - 1) * \frac{h_x}{L} \right]; C_0 = \text{const} \quad ; \quad (23)$$

$$U_{mp11} = \frac{U_m * \sin \varpi t}{K_m} ; \quad (24)$$

$$U_{mp22} = -\frac{U_m * \sin \varpi t}{K_m} ; \quad (25)$$

$$U_\delta = \frac{U_m * \sin \varpi t}{K_m} * \frac{C_x - C_0}{C_x + C_0} ; \quad (26)$$

$$U_y = K_m * U_\delta . \quad (27)$$

Необходимо отметить, что мостовые схемы позволяют, в отличие от резонансных схем, размещать генератор на некотором удалении от измерительной схемы. Однако, наличие измерительного сигнала высокой частоты малого уровня на выходе измерительной схемы создает дополнительные трудности при дистанционной передаче данных.

Кроме того, емкостной метод измерения неэлектрических величин (и особенно в системах измерения и контроля уровня жидких сред) функционально связан с относительной диэлектрической проницаемостью жидкой среды, которая заполняет межэлектродное пространство. В свою очередь, относительная диэлектрическая проницаемость зависит от температуры, состава контролируемой жидкой среды.

2.3 Метод преобразования электрической емкости по параметрам переходных процессов

При работе на постоянном токе решение задачи измерения значения емкости выполняется путем формирования переходного процесса в измерительной RC - цепи. При этом измерительная RC-цепь должна быть подключена к источнику постоянного напряжения с нулевыми начальными условиями (рисунок 21).

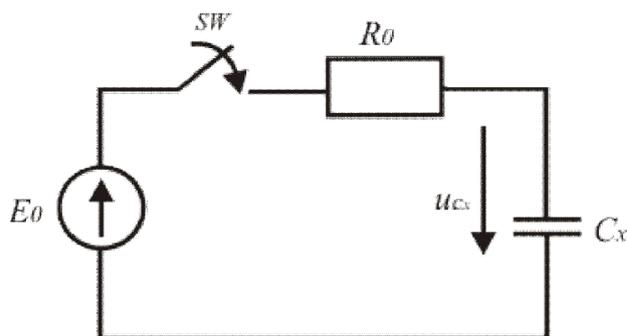


Рисунок 21 – Схема замещения измерительной цепи

При этом искомая величина C_x представляет собой значение емкости первичного измерительного преобразователя; значение величины R_0 известно и входит в состав измерительной цепи. Напряжение $U_{cx}(t)$ будет изменяться по закону аperiodического заряда конденсатора:

$$U_{cx}(t) = E_0 \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \right), \quad (28)$$

где E_0 – значение ЭДС источника энергии;

t – время, с;

τ – постоянная времени.

Очевидно, что именно величина τ содержит информацию об измеряемой величине c_x , т.е.:

$$c_x = \frac{\tau}{R_0}. \quad (29)$$

Таким образом, значение постоянной времени является основным информативным параметром измеряемого сигнала. Именно от точности определения значения постоянной времени во многом зависит точность измерения и быстродействие обработки результата измерения.

Временная диаграмма напряжения на конденсаторе приведена на рисунке 22.

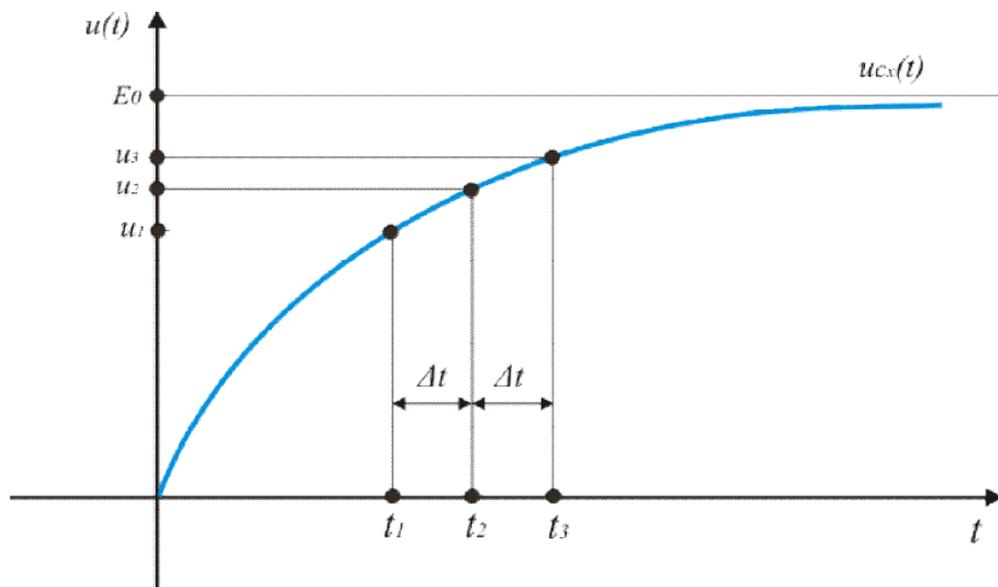


Рисунок 22 – Временная диаграмма напряжения на измерительной RC – цепочке

Мгновенные значения напряжения на конденсаторе можно определить по следующим выражениям[12]:

$$U_c(t_1) = E_0(1 - \exp(-\frac{t_1}{\tau})); \quad (30)$$

$$U_c(t_2) = E_0(1 - \exp(-\frac{t_2}{\tau})); \quad (31)$$

$$U_c(t_3) = E_0(1 - \exp(-\frac{t_3}{\tau})). \quad (32)$$

При этом выбор моментов времени t_1 , t_2 , t_3 не должен носить произвольный характер для того чтобы упростить алгоритм решения системы. Поэтому мгновенные значения выбираются через одинаковые интервалы времени Δt , после произвольно взятого первого момента t_1 .

$$U_c(t_1) = E_0(1 - \exp(-\frac{t_1}{\tau})); \quad (33)$$

$$U_c(t_2) = E_0(1 - \exp(-\frac{t_1 + \Delta t}{\tau})); \quad (34)$$

$$U_c(t_3) = E_0(1 - \exp(-\frac{t_1 + 2\Delta t}{\tau})). \quad (35)$$

Откуда получим:

$$\tau = -\frac{\Delta t}{\ln \frac{u(t_3) - u(t_2)}{u(t_2) - u(t_1)}}. \quad (36)$$

Откуда, для активно-емкостной цепи (рисунок 21) при известном значении R_0 и неизвестной емкости C_x получим:

$$C_x = -\frac{\Delta t}{R_0 \ln \frac{u(t_3) - u(t_2)}{u(t_2) - u(t_1)}}. \quad (37)$$

Рассмотренный выше алгоритм нахождения значения C_x по трем измерениям мгновенных значений напряжения во время развивающегося переходного процесса, очень часто называют «трехточечный алгоритм» или алгоритм «выбранных точек».

Следует заметить, что алгоритм «выбранных точек» имеет ряд преимуществ:

- широкая его область применения алгоритма, так как результаты измерений не зависят от начала переходного процесса;
- так как в алгоритме используется дробь, то осуществляется компенсация погрешности результата измерения от наличия смещения нуля в измерительном канале;
- отношения разностей напряжений в итоговом выражении позволяет также устранять и мультипликативную составляющую погрешности результата измерения.

3. Математическая модель многоэлементного ёмкостного датчика уровня

В настоящее время в измерительной технике находят широкое применение многоэлементные датчики для различных физических величин. Такие датчики, как правило, содержат два и более однотипных чувствительных элемента. Отметим, что такого типа датчики позволяют преобразовать в электрические сигналы различные физические величины, которые распределены в пространстве. Классическим примером такого многоэлементного датчика могут, например, служить мостовые цепи, где каждое плечо моста можно рассматривать как отдельный чувствительный элемент. Кроме того, использование многоэлементных датчиков позволяет одновременно проводить измерения по нескольким измерительным каналам.

Рассмотрим математическую модель многоэлементного емкостного преобразователя уровня неэлектропроводной жидкости в виде нескольких плоских металлических электродов с размерами b и L и расположенных друг относительно друга с зазором d .

Разрабатываемая математическая модель описывает емкостной измерительный датчик уровня, состоящий из трех чувствительных элементов в виде плоских конденсаторов. Каждый из трех чувствительных элементов датчика при этом включается в отдельный измерительный канал. Возможные взаимное расположение и размеры (указаны в сантиметрах) чувствительных элементов такого датчика приведены на рисунке 23.

Моделирование многоэлементного емкостного преобразователя уровня осуществлялось с использованием широко распространенного пакета прикладных программ MathCad.

Функции преобразования для каждого чувствительного элемента такого многоэлементного емкостного преобразователя показаны на рисунке 24.

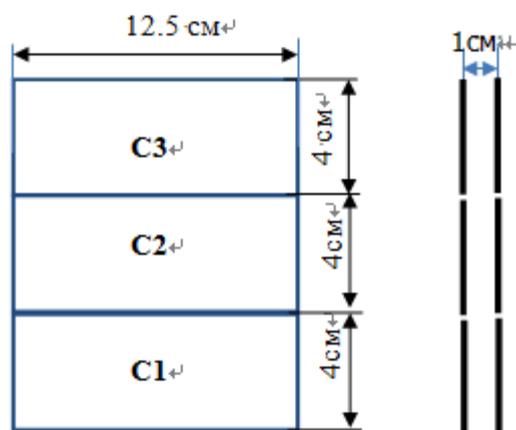


Рисунок 23 – Расположение и размеры чувствительных элементов многоэлементного ёмкостного датчика уровня

Полученные с применением пакета MathCad статические характеристики для такого многоэлементного емкостного преобразователя приведены на рисунках 25 - 27. Уровень жидкости изменялся от 0 до 0.12 м с шагом 0.005 м.

Необходимо отметить, что применение многоэлементных средств измерения уровня в настоящее время позволяет ставить и находить решение все более сложных измерительных задач, которые связаны с измерением параметров различных технических объектов и их исследованием.

Многоэлементные датчики уровня могут находить применение в задачах, для решения которых оказывается возможным и полезным получение измерительной информации об объекте контроля одновременно из нескольких источников.

Таким образом, применение многоэлементных датчиков позволяет значительно расширить круг измерительных задач связанных с преобразованием выходных величин измерительных датчиков в различных современных системах контроля, автоматизации и управления.

$$C1(h) := \begin{cases} \frac{\epsilon_0 \cdot b1 \cdot (L1 - h) + \epsilon_1 \cdot b1 \cdot h}{d} & \text{if } 0 \leq h < 0.04 \\ \frac{\epsilon_1 \cdot b1 L1}{d} & \text{if } 0.04 \leq h \leq 0.12 \end{cases}$$

$$C2(h) := \begin{cases} \frac{\epsilon_0 \cdot b2 L2}{d} & \text{if } 0 \leq h < 0.04 \\ \frac{\epsilon_0 \cdot b2 \cdot (L1 - h + 0.04) + \epsilon_1 \cdot b2 \cdot (h - 0.04)}{d} & \text{if } 0.04 \leq h < 0.08 \\ \frac{\epsilon_1 \cdot b2 L2}{d} & \text{if } 0.08 \leq h \leq 0.12 \end{cases}$$

$$C3(h) := \begin{cases} \frac{\epsilon_0 \cdot b3 L3}{d} & \text{if } 0 \leq h < 0.08 \\ \frac{\epsilon_0 \cdot b3 \cdot (L1 - h + 0.08) + \epsilon_1 \cdot b3 \cdot (h - 0.08)}{d} & \text{if } 0.08 \leq h \leq 0.12 \end{cases}$$

$h := 0, 0.005.. 0.12$

Рисунок 24 – Функции преобразования чувствительных элементов многоэлементного емкостного преобразователя

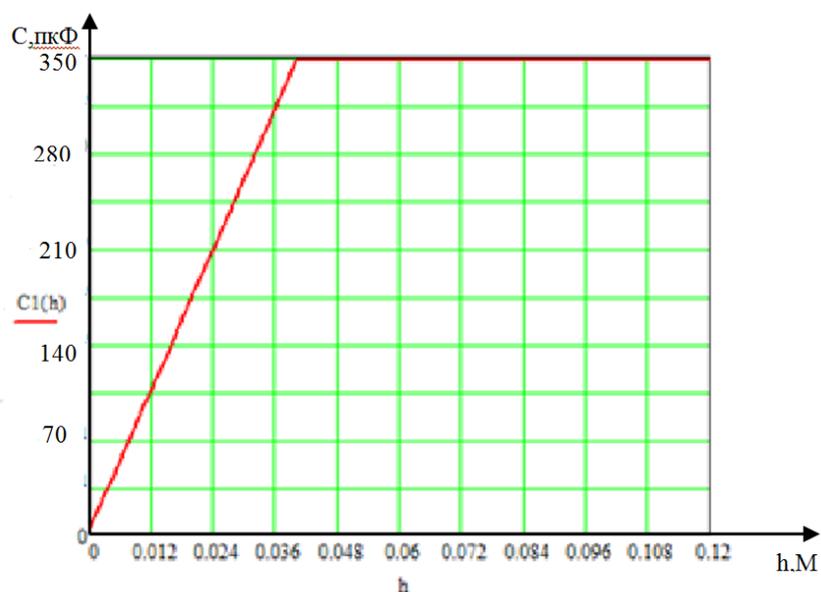


Рисунок 25 – Зависимость ёмкости конденсатора C1 от уровня жидкости

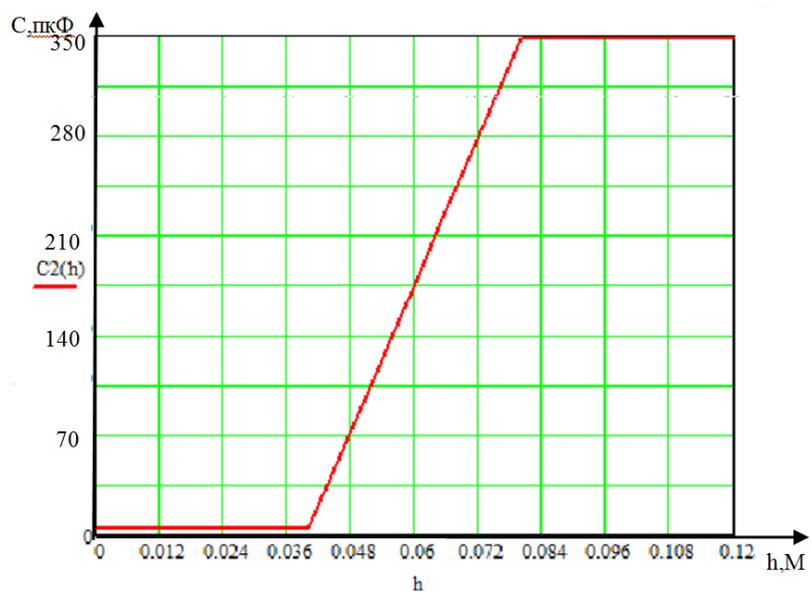


Рисунок 26 – Зависимость ёмкости конденсатора С2 от уровня жидкости

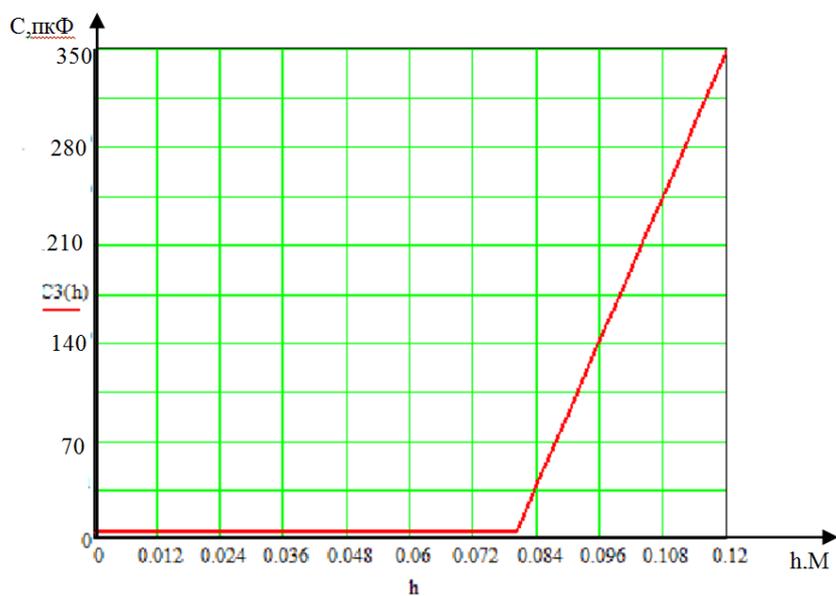


Рисунок 27 – Зависимость ёмкости конденсатора С3 от уровня жидкости

4. Разработка конструкции измерительно-вычислительного устройства

Для практической реализации алгоритмов измерения электрической емкости первичных измерительных преобразователей, а также для визуализации результатов измерений и дистанционной передачи полученных данных было разработано измерительно-вычислительное устройство на основе микроконтроллера, которое позволяет интегрировать устройство с информационно-измерительными системами конечного пользователя по стандартным интерфейсам (RS-232, RS-485 и RS-422[13]).

Как было отмечено выше, измерение электрической емкости можно выполнить несколькими различными по принципу действия способами. Наиболее распространенными из этих способов измерения емкости на переменном токе являются резонансные, мостовые, емкостно-импульсные и диодно-емкостные измерительные схемы.

Наибольшей чувствительностью, простотой конструкции, высокой стабильностью и малыми габаритными размерами обладают емкостно-диодные измерительные схемы. Чтобы исключить зависимость выходного сигнала схемы от входного сопротивления измерителя напряжения, а также для повышения чувствительности, уменьшения нелинейности и расширения диапазона измеряемых значений емкости в устройстве была использована емкостно-диодная измерительная схема (рисунок 28).

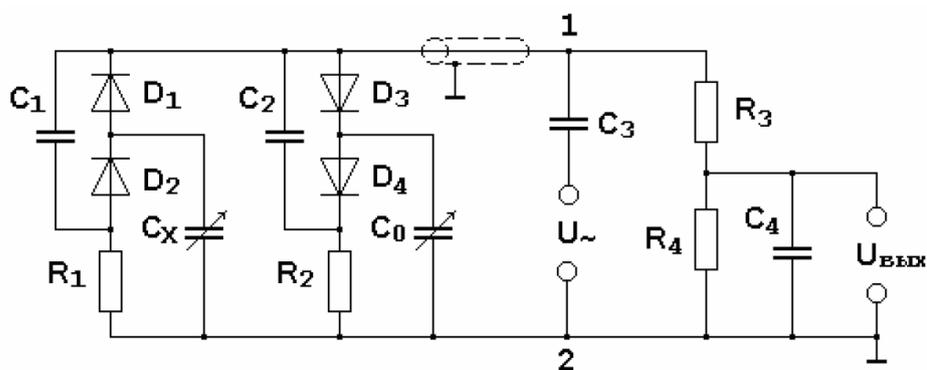


Рисунок 28 - Электрическая схема устройства для измерения емкости датчика [14]

Разработанные емкостные датчики включались в емкостно-диодную измерительную цепь (рисунок 28), которая имеет значительную величину постоянной составляющей выходного сигнала. Отметим, что для компенсации погрешностей емкостного датчика из-за изменения напряжения и частоты питания используется аналогичная электрическая схема с обратным включением диодов.

Принципиальная электрическая схема подключения многоканального емкостного датчика уровня к устройству сбора информации приведена на рисунке 29, а структурная схема на рисунке 30.

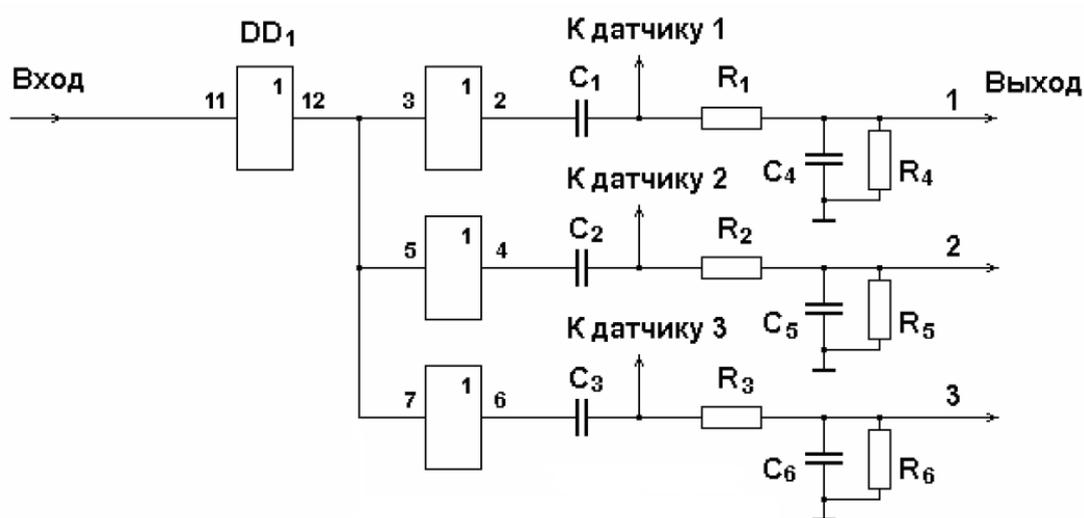


Рисунок 29 - Схема подключения многоканального емкостного датчика уровня [15]

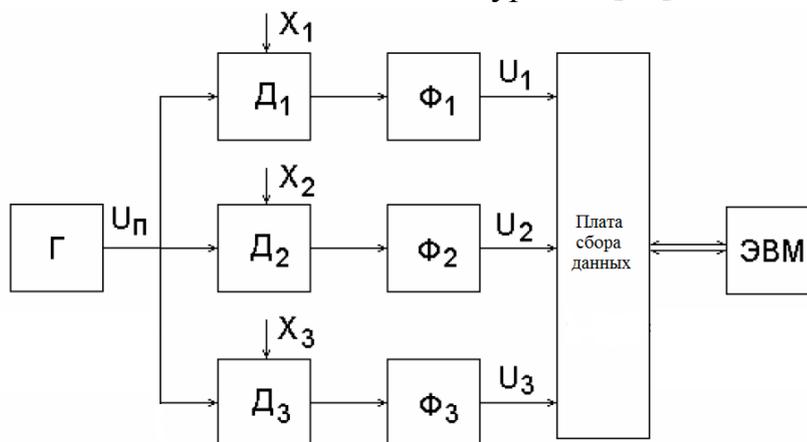


Рисунок 30 - Структурная схема устройства сопряжения многоканального емкостного датчика с ЭВМ [16]

В состав устройства (рисунок 30) входит генератор (на схеме обозначен символом Г), три датчики (на схеме обозначены символом Д) и фильтры (на схеме обозначены символом Ф).

Разработанная конструкция трехканального емкостного датчика позволяет предложить, например, следующий алгоритм определения информации об уровне жидкости. Считаем, что все три емкостных датчика уровня геометрически являются идентичными, сконструированы из идентичных материалов и с использованием одинаковых параметров элементов измерительной цепи.

В этом случае значение емкости «сухих» датчиков уровня при их размещении в идентичной однородной среде, например в воздухе, должна быть одинакова, также как и емкость датчиков уровня, которые полностью погружены, например, в самом простейшем случае, в однофазную жидкость.

При любом значении уровня жидкой среды всегда можно будет определить пару соседних датчиков, значение емкости которых будет одинаково. Например, если уровень жидкости находится внутри диапазона измерения для самого нижнего емкостного датчика – 3, или на границе между датчиками уровня 2 и 3, то значение емкости верхних датчиков уровня 2 и 1 должно быть одинаково. В момент, когда уровень жидкости находится на границе 3-го и 2-го емкостного датчика, то имеются емкостные датчики 2 и 1 с одинаковыми значениями емкости. Когда же уровень будет находиться в диапазоне измерения датчика 2, то одинаковыми значениями емкости должны обладать емкостные датчики 1 и 3. При переходе границы разделов сред между датчиком 2 и 1, два нижних датчика 3, 2 должны обладать одинаковым значением емкости. Таким образом, используя алгоритм поиска датчиков уровня с одинаковыми значениями емкости, представляется возможным определить уровень жидкости. При этом погрешность измерения уровня для однофазной жидкости составляет не более высоты одного емкостного датчика.

При этом за счет уменьшения геометрической высоты каждого из емкостных датчиков, а соответственно увеличение их общего количества,

возможно создание своеобразной «линейки». А погрешность измерения уровня в этом случае составляет не более чем значение высоты единичного элемента – датчика.

Таким образом, использование перспективной измерительной технологии, которая позволяет разместить элементы принципиальных схем измерительных устройств непосредственно на поверхности емкостного измерительного датчика, в сочетании с кодированием значения высоты уровня жидкости несколькими линейками, которые смещены относительно друг друга, позволяет значительно повысить точность измерения уровня жидких сред (погрешность измерения в этом случае не превышает значения высоты единичного чувствительного элемента датчика), а также создавать модели емкостных уровнемеров, показания которых об измеренном уровне не зависят от параметров жидкой среды.

5. Экспериментальные исследования устройства для контроля уровня жидких сред

Экспериментальные исследования были направлены на подтверждение основных теоретических выводов, которые были получены в результате анализа существующих технических решений, в процессе разработки теоретических основ для предлагаемых новых технических решений и результатов математического моделирования, а также оценка их основных метрологических характеристик.

Основной проблемой, которая была решена в рамках выполнения данного этапа ВКР, является изготовление лабораторных образцов, на базе предлагаемых технических решений и создание методики испытаний, которая является необходимой и достаточной для проверки работоспособности и оценки технических характеристик предлагаемых в ВКР технических решений.

Для выполнения поставленной в ВКР цели потребовалось решение следующих задач:

- определение состава оборудования и контролируемых однофазных и многофазных жидких сред, которые необходимы для проведения испытаний;
- изготовление лабораторного образца разработанной конструкции многоэлементного емкостного уровнемера;
- разработка и изготовление варианта испытательного стенда для проведения экспериментальных исследований для проверки работоспособности и определения технических характеристик предлагаемых конструкций уровнемеров.

Программа и методика выполненных при работе над ВКР испытаний, включают в себя следующие основные этапы:

- Экспериментальное подтверждение достоверности и точности предлагаемых математических моделей, которые положены в основу разработанного устройства.

- Лабораторные испытания лабораторного образца с целью проверки общей работоспособности и выявления требований к диапазонам и условиям измерений.

- Метрологическая оценка полученных результатов измерений.

Целью проведенных экспериментов являлось экспериментальное исследование зависимости значения ёмкость первичного измерительного преобразователя тип «плоскость – плоскость» от уровня растительного масла и границ раздел для двухфазной среды (масло – дистиллированная вода). Экспериментальный вариант устройство и экспериментальная схема показаны на рисунки 31 и 32.

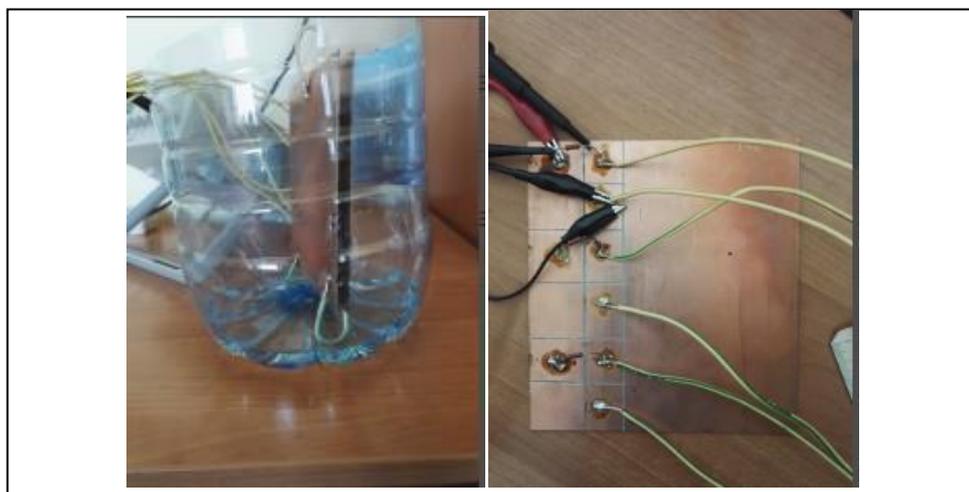


Рисунок 31 — Экспериментальный вариант устройства для измерения уровня с ёмкостным преобразователем

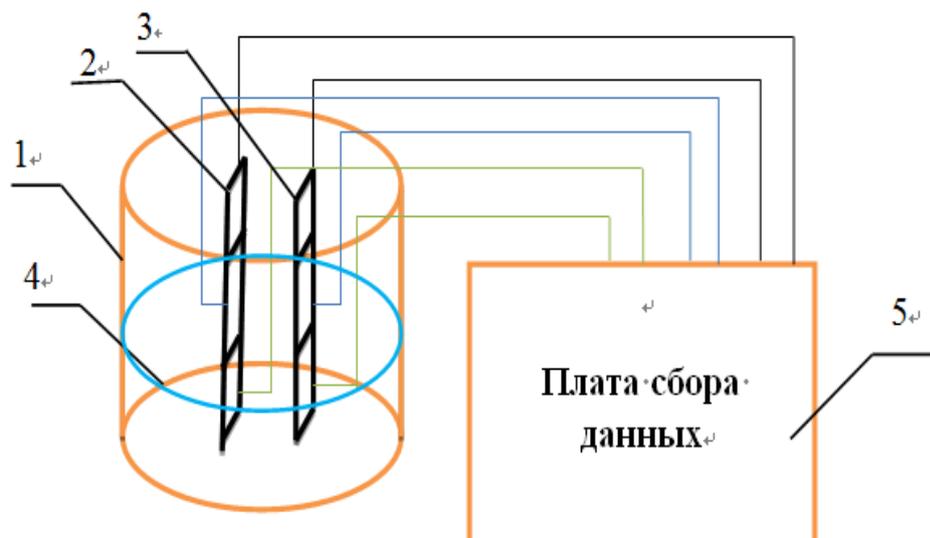


Рисунок 32— Экспериментальная схема измерения уровня с ёмкостным преобразователем

На рисунке 32 показаны: 1 – резервуар; 2,3 – преобразователь; 4 – жидкость; 5 – плата сбора данных.

Объектом контроля являлась жидкая среда в виде растительного масла и дистиллированной воды. С помощью устройства сбора данных выполнялись измерения значений ёмкостей для каждого чувствительного элемента датчика уровня. Полученные числовые данные об уровне жидкости представлены на графиках (рисунки 33).

Значение диэлектрической проницаемости ϵ растительного масла равно 3.1.

В таблице 1 представлены теоретические и экспериментальные значения емкости конденсатора $C1$. В качестве жидкой среды было использовано растительное (подсолнечное) масло.

Таблица 1 – Погрешности измерения емкости конденсатора С1

Уровень масла, м	Ёмкость С1, пФ		Абсолютная Погрешность, пФ	Относительная погрешность, %
	Теоретическое значение	Экспериментальное значение		
0.005	7.068	6.841	0.2266	3.206
0.01	8.294	8.641	0.3468	4.181
0.015	9.521	9.341	0.1798	1.889
0.02	10.75	10.44	0.3064	2.851
0.025	11.97	11.94	0.3305	0.276
0.03	13.20	13.64	0.4403	3.336
0.035	14.43	14.34	0.8627	0.598
0.04	15.56	15.24	0.4129	2.638
0.045	16.88	17.44	0.5605	3.32
0.05	18.11	18.54	0.4339	2.396

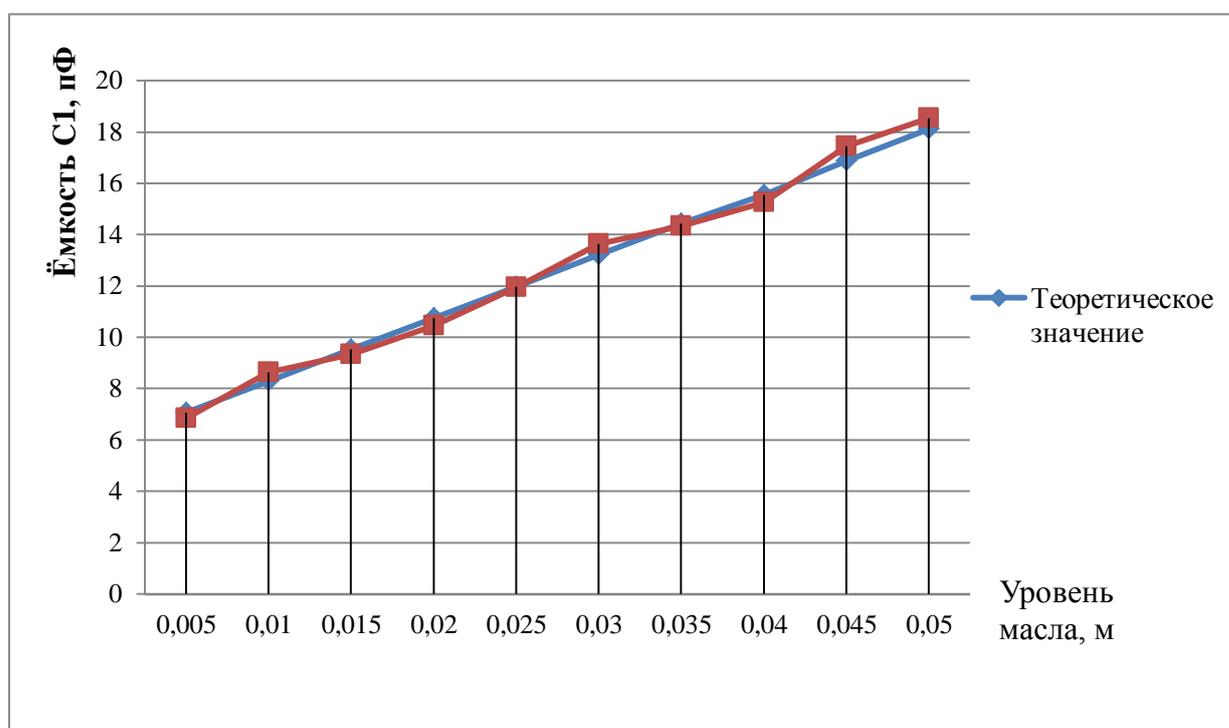


Рисунок 33 – График зависимости ёмкости конденсатора С1 от уровня жидкости

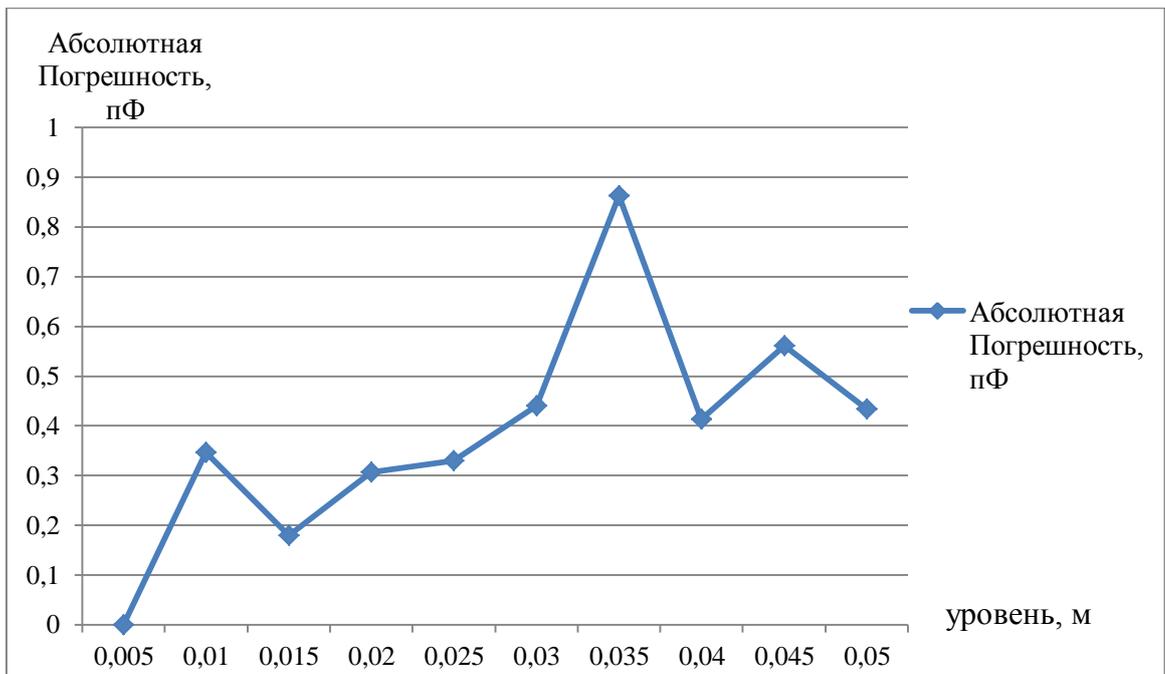


Рисунок 34 – График зависимости абсолютной погрешности конденсатора С1 от уровня жидкости

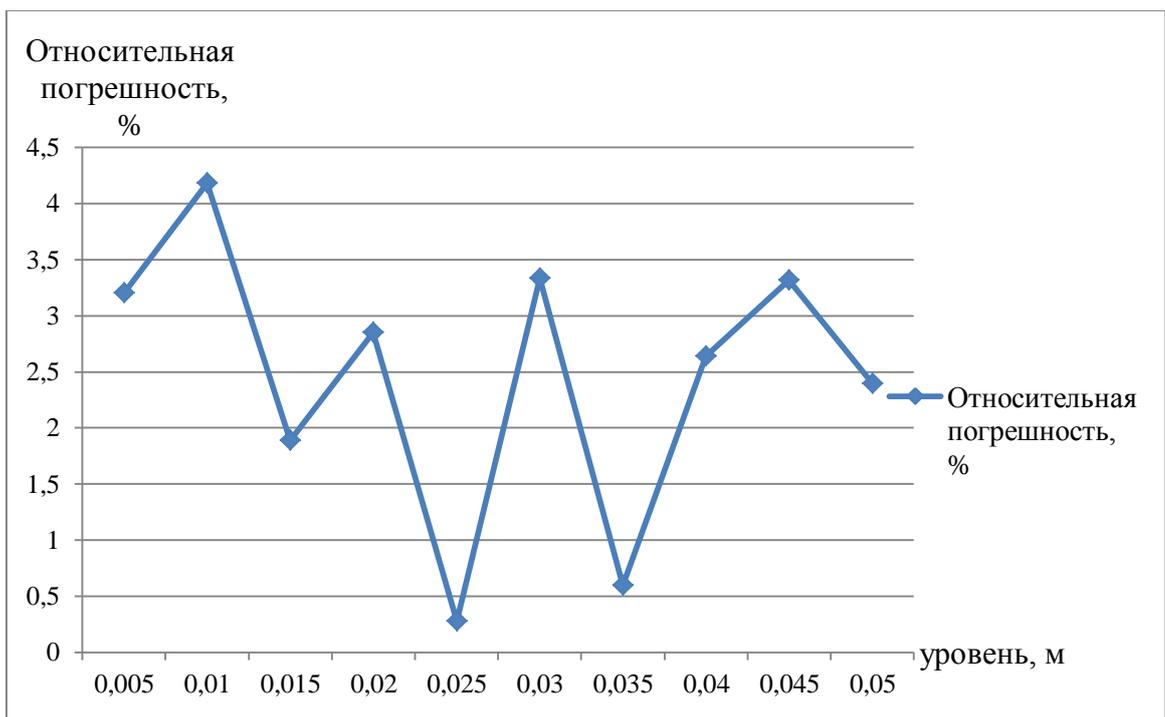


Рисунок 35 – График зависимости относительной погрешности конденсатора С1 от уровня жидкости

В таблице 2 представлены теоретические и экспериментальные значения емкости конденсатора С2. В качестве жидкой среды было использовано растительное (подсолнечное) масло.

Таблица 2 – Погрешности измерения емкости конденсатора С2

Уровень масла, м	Ёмкость С2, пФ		Абсолютная Погрешность, пФ	Относительная погрешность, %
	Теоретическое значение	Экспериментальное значение		
0.055	7.068	7.241	0.1734	2.453
0.06	8.294	7.941	0.3532	4.259
0.065	9.521	9.141	0.3798	3.989
0.07	10.75	10.54	0.2064	1.921
0.075	11.97	11.54	0.433	3.617
0.08	13.20	13.04	0.1579	1.209
0.085	14.43	14.24	0.1863	1.291
0.09	15.56	16.14	0.4871	3.112
0.095	16.88	17.74	0.8605	5.098
0.1	18.11	18.94	0.8339	4.605

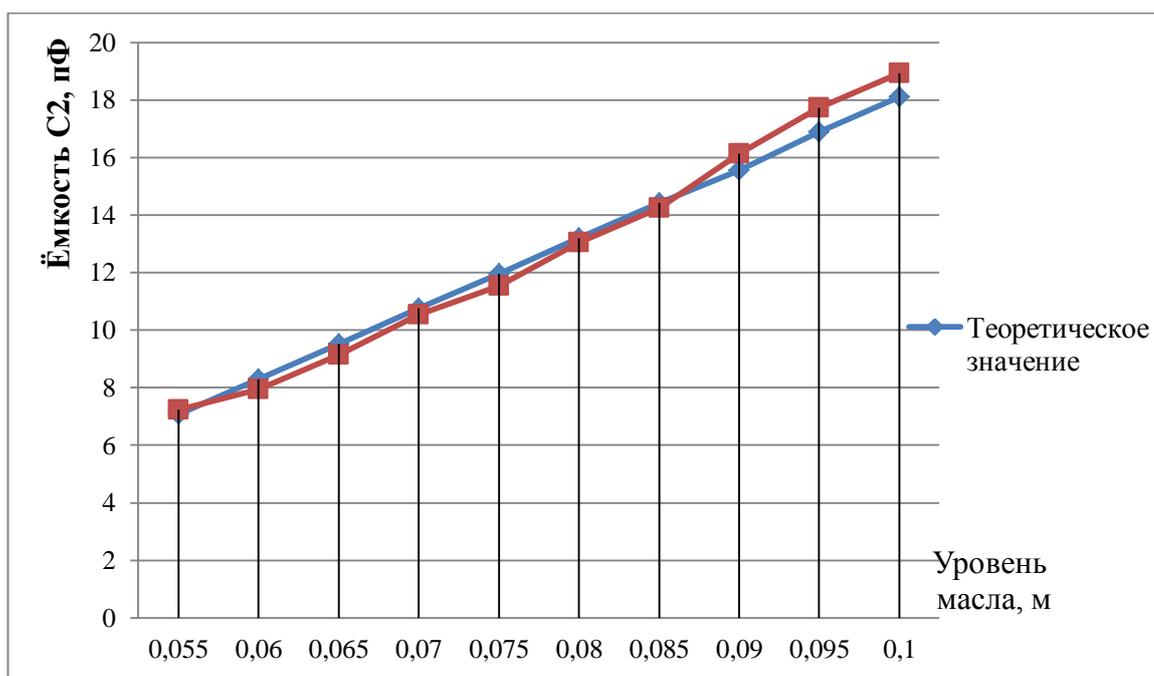


Рисунок 36 – график зависимости ёмкости конденсатора С2 от уровня жидкости

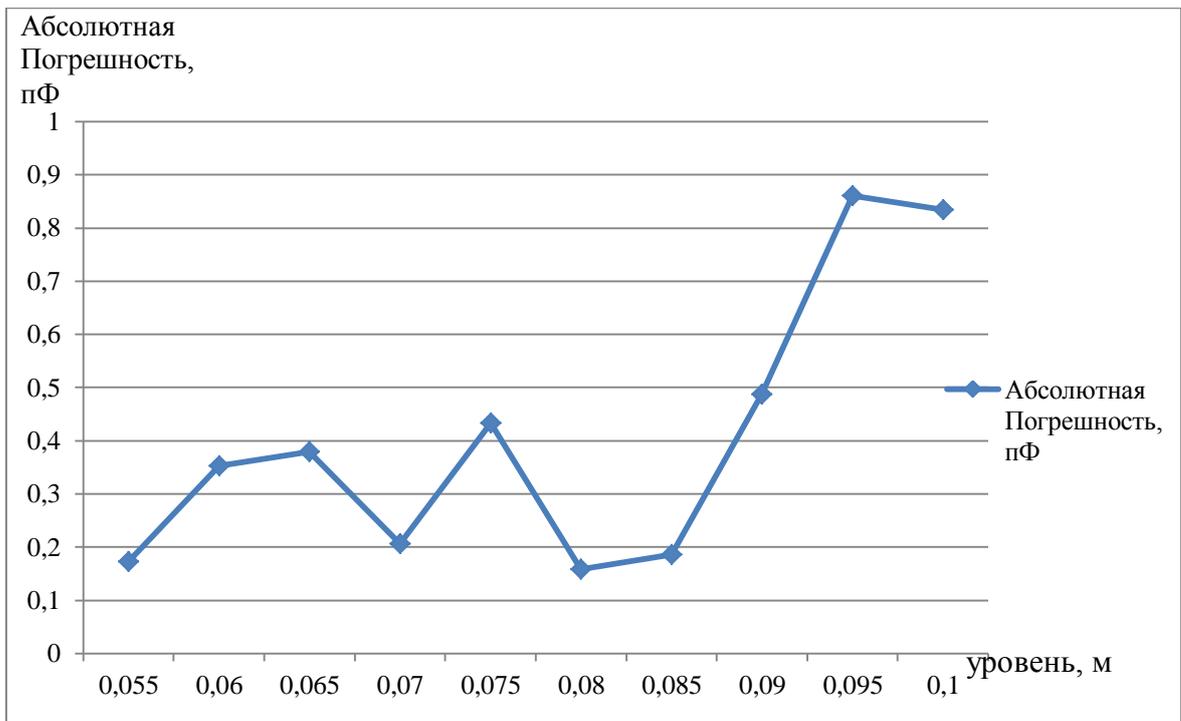


Рисунок 37 – График зависимости абсолютной погрешности конденсатора С2 от уровня жидкости

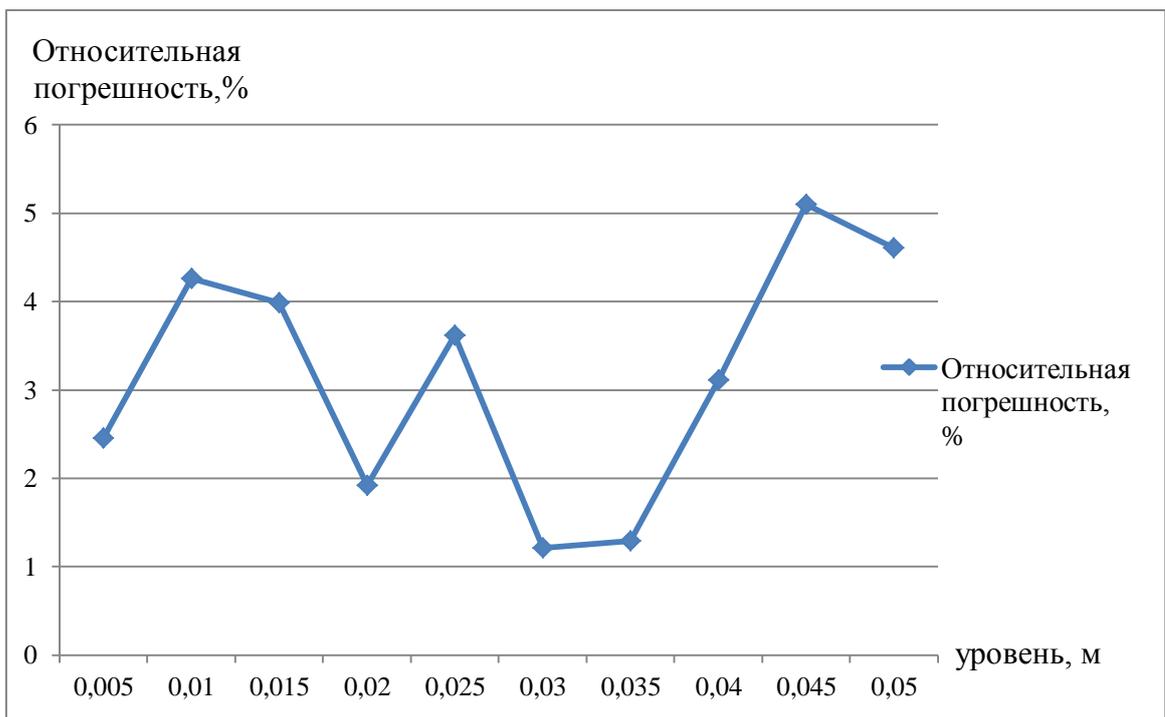


Рисунок 38 – график зависимости относительной погрешности конденсатора С1 от уровня жидкости

В таблице 3 представлены теоретические и экспериментальные значения емкости конденсатора СЗ. В качестве жидкой среды было использовано растительное (подсолнечное) масло.

Таблица 3 – Погрешности измерения емкости конденсатора СЗ

Уровень масла, м	Ёмкость СЗ, пФ		Абсолютная Погрешность, пФ	Относительная погрешность, %
	Теоретическое значение	Экспериментальное значение		
0.105	7.068	6.741	0.3266	4.621
0.11	8.294	7.841	0.4532	5.464
0.115	9.521	9.041	0.4798	5.04
0.12	10.75	11.04	0.2936	2.731
0.125	11.97	12.54	0.5669	4.735
0.13	13.20	13.74	0.5403	4.093
0.135	14.43	15.34	0.9137	6.333
0.14	15.56	16.44	0.7871	5.028
0.145	16.88	17.44	0.5605	3.32
0.15	18.11	19.04	0.9339	5.158

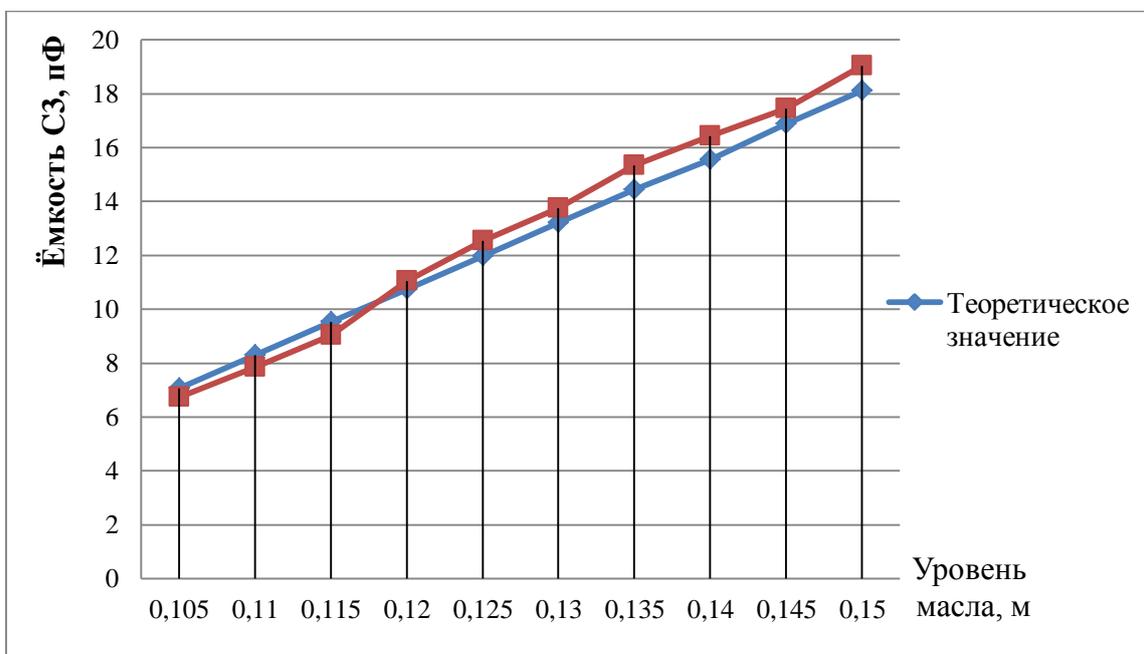


Рисунок 39 – график зависимости ёмкости конденсатора СЗ от уровня жидкости

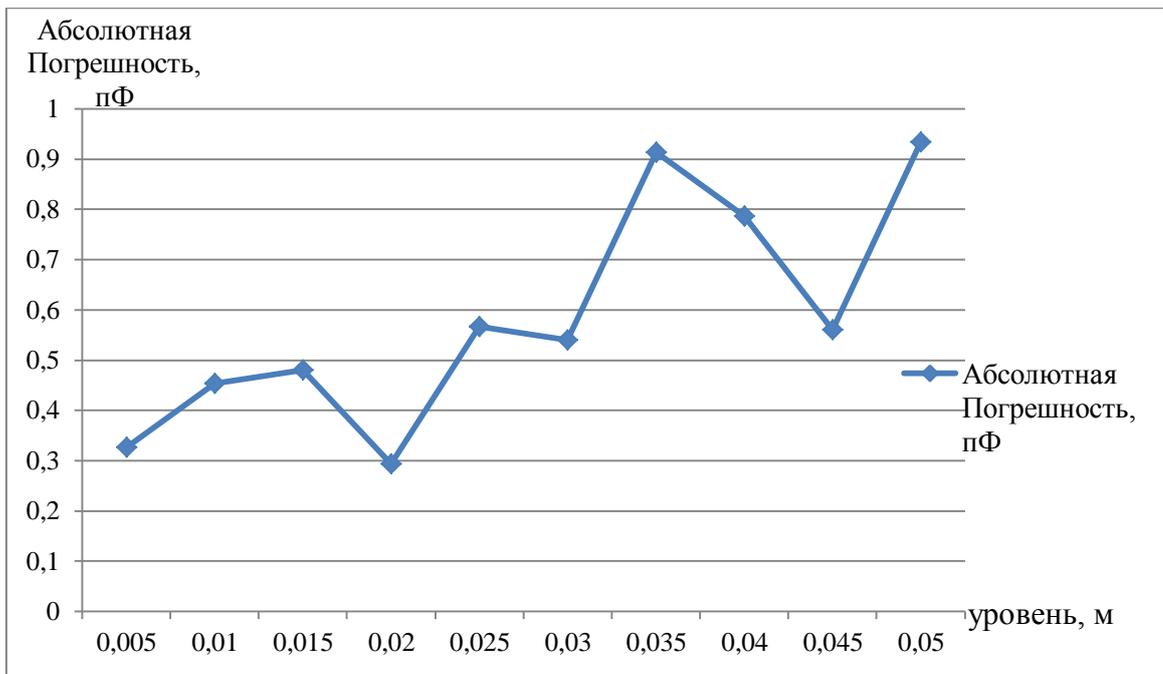


Рисунок 40 – график зависимости абсолютной погрешности конденсатора С3 от уровня жидкости

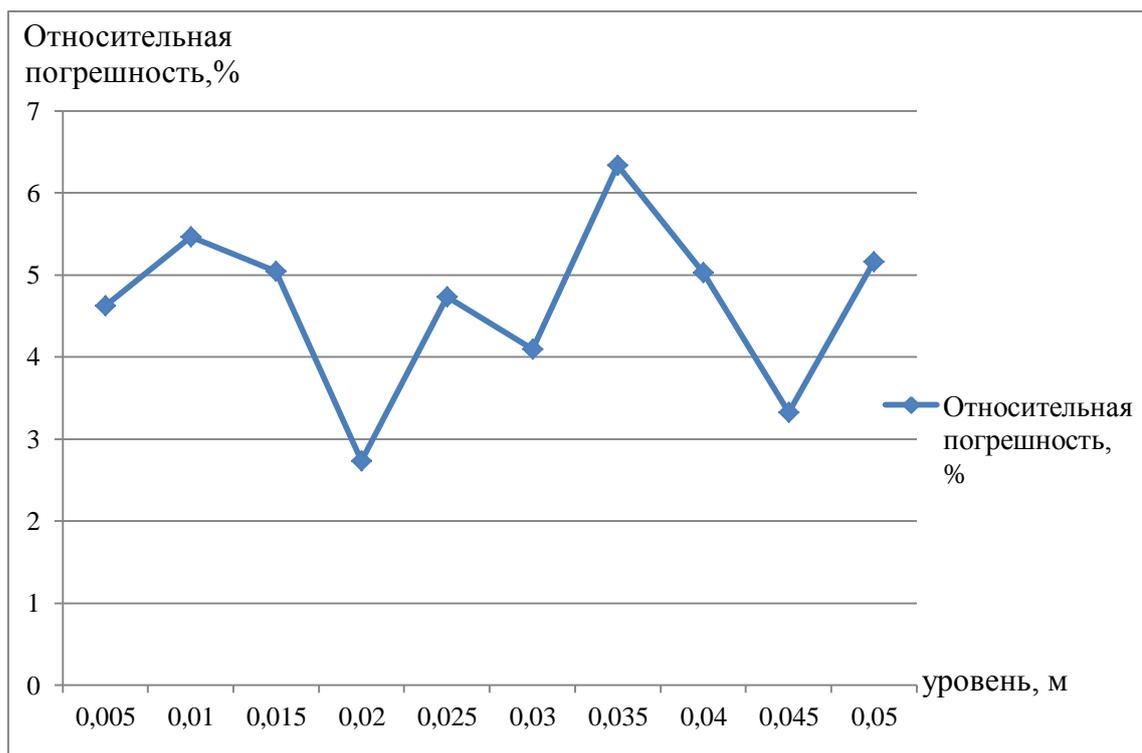


Рисунок 41 – график зависимости относительной погрешности конденсатора С3 от уровня жидкости

В таблице 4 представлены теоретические и экспериментальные значения емкости конденсатора С1. В качестве жидкой среды было использовано

двухфазная жидкость (растительное (подсолнечное) масло плюс дистиллированная вода). Диэлектрическая проницаемость дистиллированной воды $\epsilon=81$. В первоначальном состоянии нижний емкостной преобразователь С1 был полностью погружен в растительное масло, емкостной преобразователь С2 был погружен в масло на половину, а емкостной преобразователь С3 был «сухим». В ходе эксперимента уровень дистиллированной воды в сосуде увеличился от нуля до 15 сантиметров.

Таблица 4 – Погрешности измерения емкости конденсатора С1

Уровень воды, м	Ёмкость С1, пФ		Абсолютная Погрешность, пФ	Относительная погрешность, %
	Теоретическое значение	Экспериментальное значение		
0	18.11	19.27	1.16	6.405
0.05	63.61	59.74	3.87	6.083
0.01	109.1	112.8	3.7	3.391
0.015	154.6	164.4	9.8	6.338
0.02	200.1	209.7	9.6	4.797
0.025	245.6	256.1	10.5	4.275
0.03	291.1	285.7	5.4	1.855
0.035	336.6	328.7	7.9	2.347
0.04	382.1	373.1	9	2.355
0.045	427.6	438.3	10.7	2.502
0.05	473.1	461.1	12	2.536
0.055	473.1	470.6	2.5	0.528
0.06	473.1	473.6	0.5	0.105
0.065	473.1	473.5	0.4	0.084
0.07	473.1	474.4	1.3	0.274
0.075	473.1	473.9	0.8	0.169
0.08	473.1	474.7	1.6	0.338
0.085	473.1	475.5	2.4	0.507
0.09	473.1	476.9	3.8	0.803
0.095	473.1	477.7	4.6	0.972
0.1	473.1	470.2	2.9	0.612
0.105	473.1	478.6	5.5	1.162
0.11	473.1	483.3	10.2	2.155
0.115	473.1	489.4	16.3	3.445
0.12	473.1	493.2	20.1	4.248
0.125	473.1	470.1	3	0.634
0.13	473.1	478.9	5.8	1.225
0.135	473.1	475.5	2.4	0.507
0.14	473.1	475.8	2.7	0.570
0.145	473.1	474.7	1.6	0.338
0.15	473.1	485.6	12.5	2.642

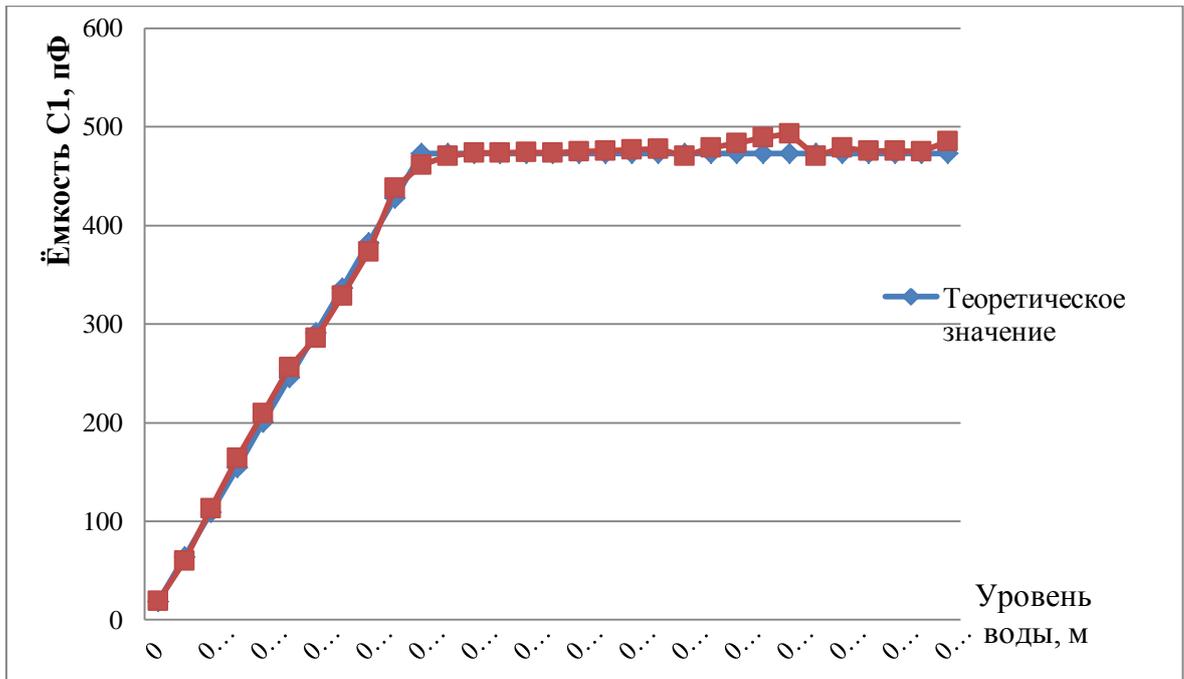


Рисунок 42 – график зависимости ёмкости конденсатора C1 от уровня жидкости

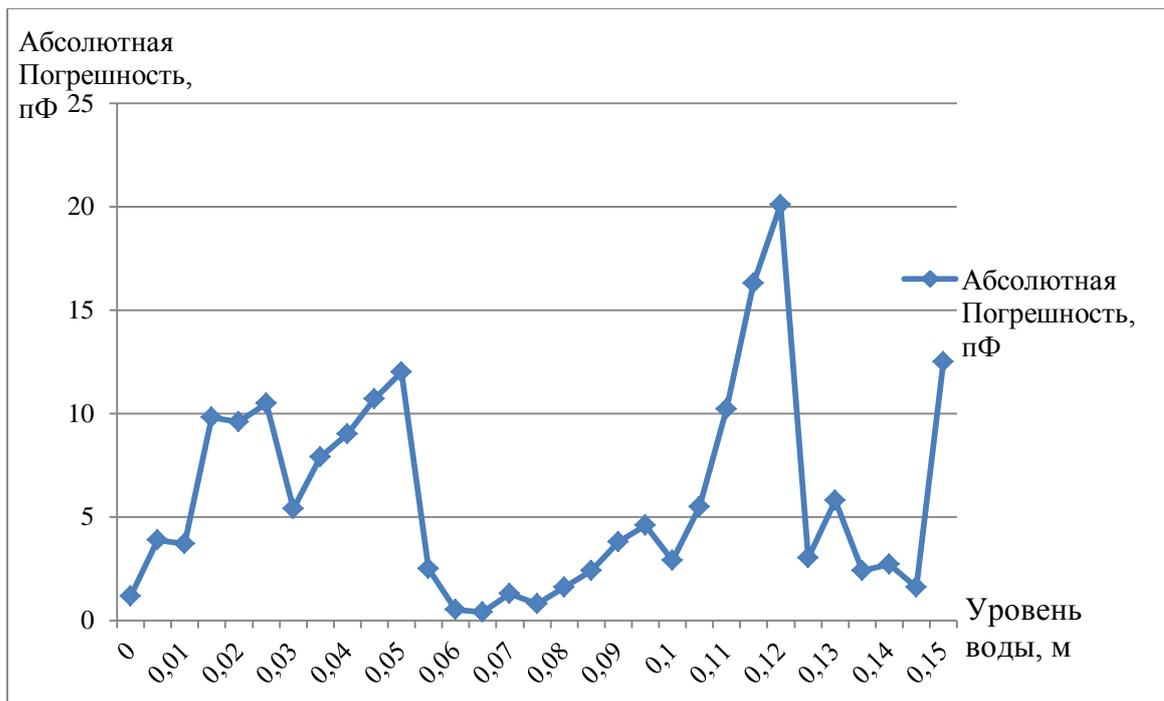


Рисунок 43 – график зависимости абсолютной погрешности конденсатора C1 от уровня жидкости

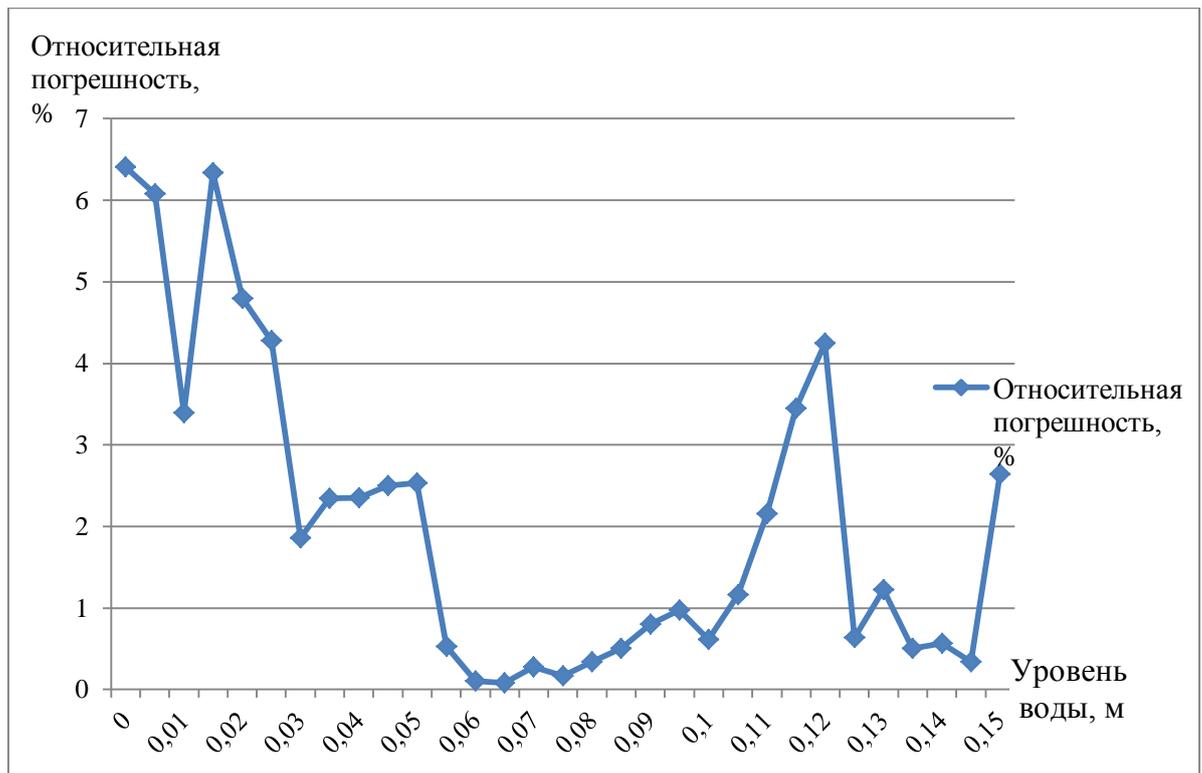


Рисунок 44 – график зависимости относительной погрешности конденсатора С1 от уровня жидкости

Таблица 5 – Погрешности измерения емкости конденсатора С2

Уровень воды, м	Ёмкость С2, пФ		Абсолютная Погрешность, пФ	Относительная погрешность, %
	Теоретическое значение	Экспериментальное значение		
0	11.97	12.26	0.29	2.422
0.05	13.20	13.8	0.6	4.545
0.01	14.43	14.78	0.35	2.425
0.015	15.65	16.01	0.36	2.300
0.02	16.88	17.34	0.46	2.725
0.025	18.11	18.55	0.44	2.429
0.03	18.11	18.67	0.56	3.092
0.035	18.11	18.53	0.42	2.319
0.04	18.11	18.81	0.7	3.865
0.045	18.11	18.97	0.86	4.748
0.05	18.11	18.69	0.58	3.202
0.055	63.61	66.04	2.43	3.820
0.06	109.1	110.8	1.7	1.558
0.065	154.6	159.5	4.9	3.169
0.07	200.1	206.5	6.4	3.198
0.075	245.6	251.3	5.7	2.321
0.08	291.1	300.1	9	3.092
0.085	336.6	347.9	11.3	3.357

0.09	382.1	398.5	16.4	4.292
0.095	427.6	439.4	11.8	2.759
0.1	473.1	453.5	19.6	4.142
0.105	473.1	463.9	9.2	1.944
0.11	473.1	455.2	17.9	3.783
0.115	473.1	478.8	5.7	1.205
0.12	473.1	464.3	8.8	1.860
0.125	473.1	474.2	1.1	0.232
0.13	473.1	484.5	11.4	2.409
0.135	473.1	493.7	20.6	4.354
0.14	473.1	443.3	29.8	6.298
0.145	473.1	463.8	9.3	1.965
0.15	473.1	483.6	10.5	2.219

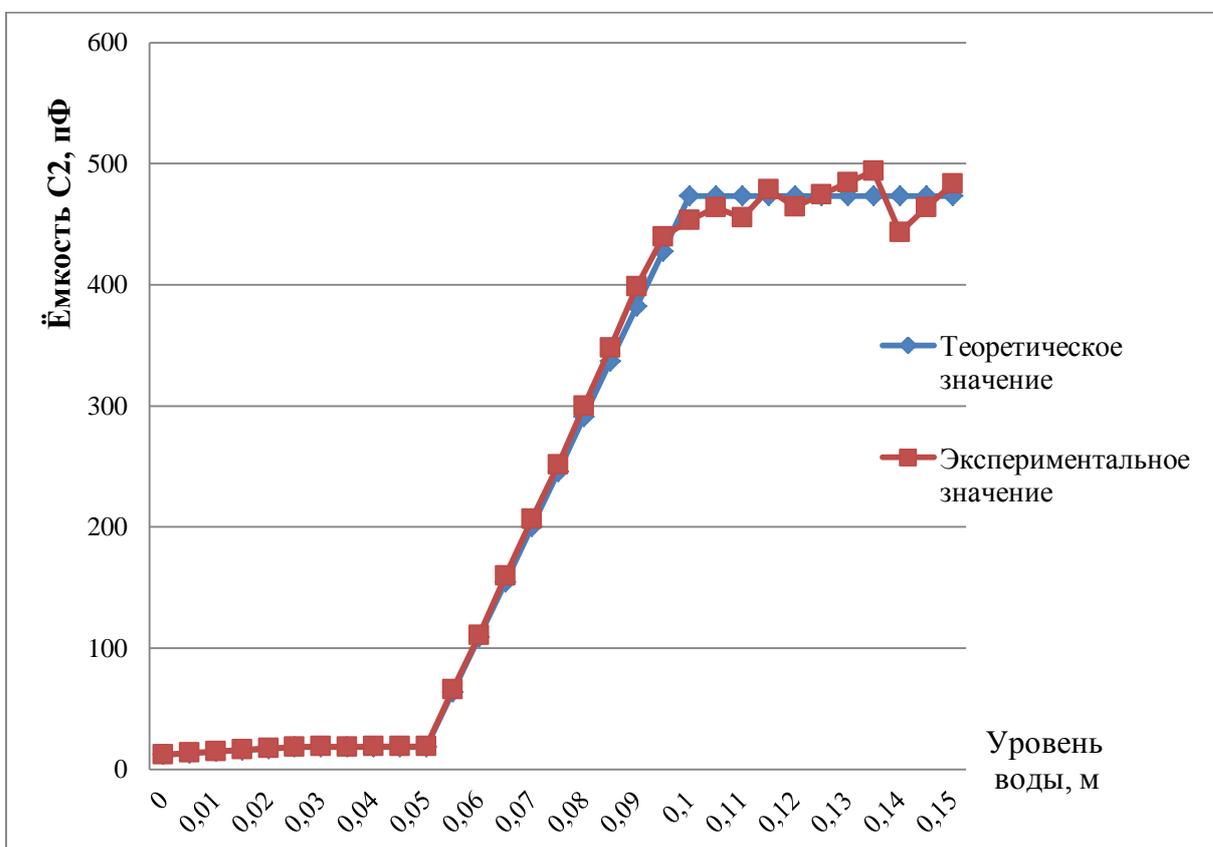


Рисунок 45 – график зависимости ёмкости конденсатора C_2 от уровня жидкости

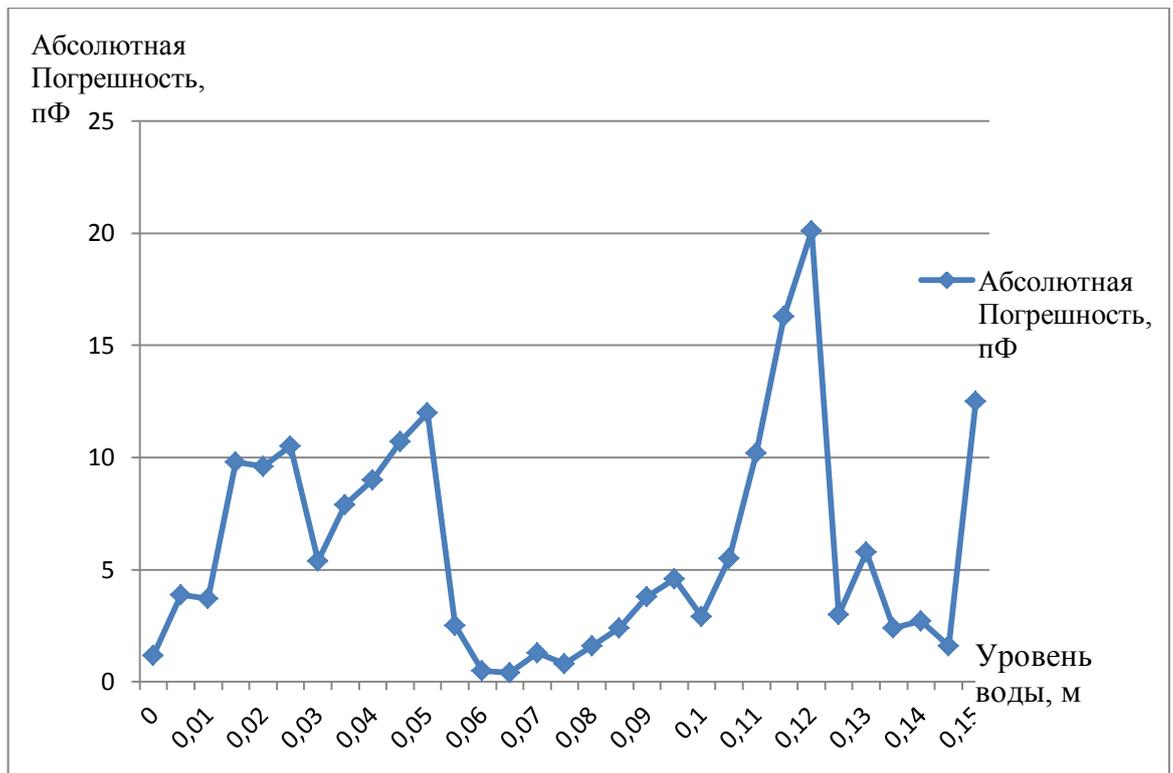


Рисунок 46 – график зависимости абсолютной погрешности конденсатора С2 от уровня жидкости

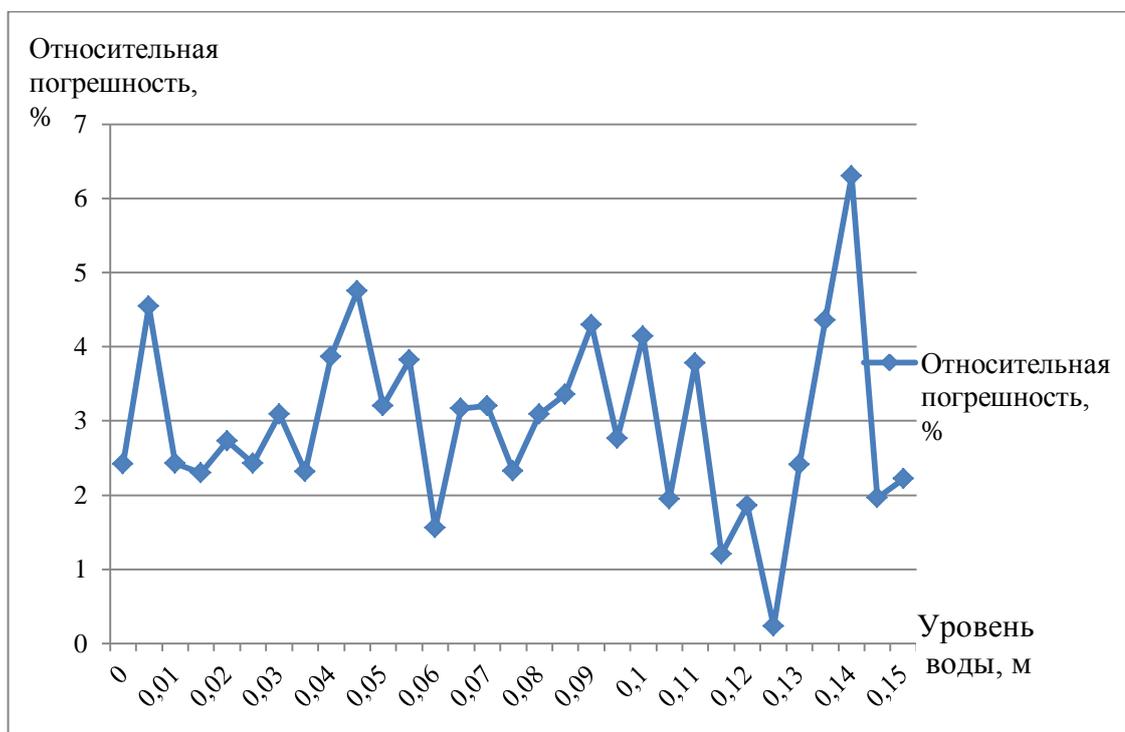


Рисунок 47 – график зависимости относительной погрешности конденсатора С2 от уровня жидкости

Таблица 6 – Погрешности измерения емкости конденсатора С3

Уровень воды, м	Ёмкость С3, пФ		Абсолютная Погрешность, пФ	Относительная погрешность, %
	Теоретическое значение	Экспериментальное значение		
0	5.841	5.667	0.174	2.978
0.05	5.841	5.698	0.143	2.448
0.01	5.841	5.705	0.136	2.328
0.015	5.841	5.739	0.102	1.746
0.02	5.841	5.799	0.042	0.719
0.025	5.841	5.843	0.002	0.034
0.03	7.068	7.213	0.145	2.051
0.035	8.294	8.401	0.107	1.290
0.04	9.521	9.678	0.157	1.648
0.045	10.75	11.24	0.49	4.558
0.05	11.97	12.33	0.36	3.007
0.055	13.20	13.69	0.49	3.712
0.06	14.43	14.98	0.55	3.811
0.065	15.56	16.02	0.46	2.956
0.07	16.88	17.53	0.65	3.851
0.075	18.11	18.51	0.4	2.208
0.08	18.11	17.19	0.92	5.080
0.085	18.11	17.25	0.86	4.748
0.09	18.11	18.36	0.25	1.380
0.095	18.11	18.78	0.67	3.699
0.1	18.11	18.83	0.72	3.975
0.105	63.61	62.01	1.6	2.515
0.11	109.1	110.5	1.4	1.283
0.115	154.6	156.3	1.7	1.099
0.12	200.1	203.4	3.3	1.649
0.125	245.6	249.9	4.3	1.750
0.13	291.1	299.7	8.6	2.954
0.135	336.6	349.3	12.7	3.773
0.14	382.1	392.8	10.7	2.800
0.145	427.6	458.1	30.5	7.132
0.15	473.1	493.9	20.8	4.396

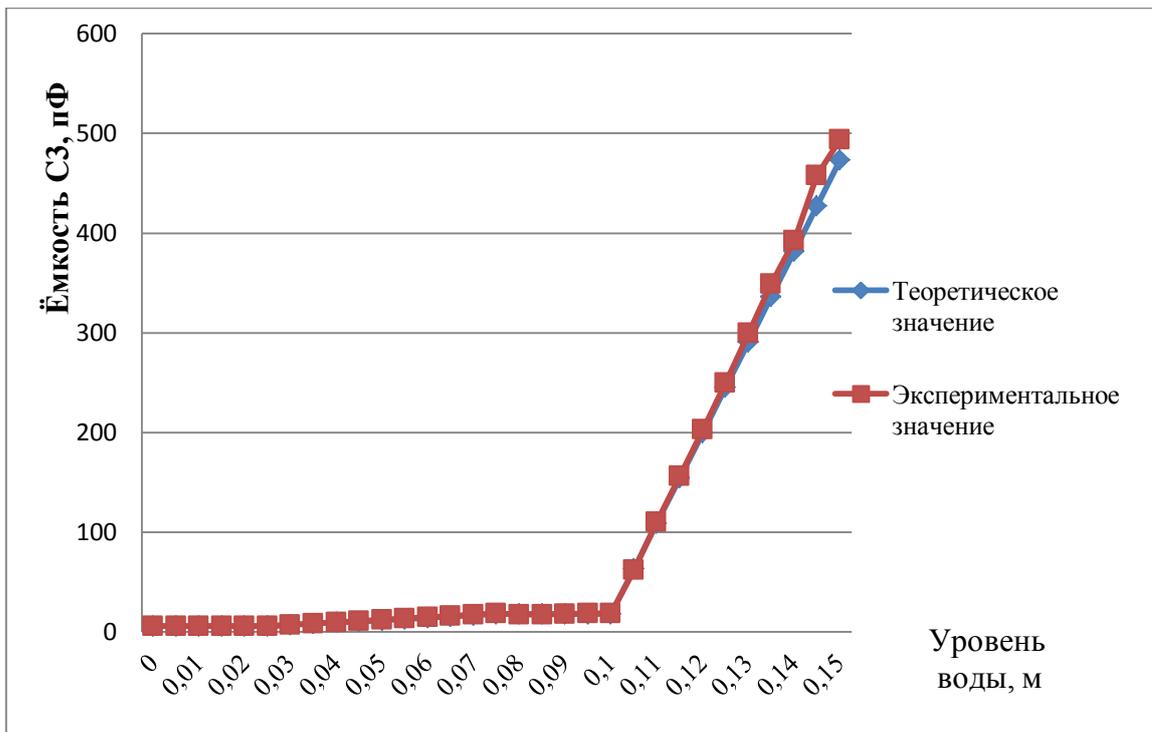


Рисунок 48 – график зависимости ёмкости конденсатора C_3 от уровня жидкости

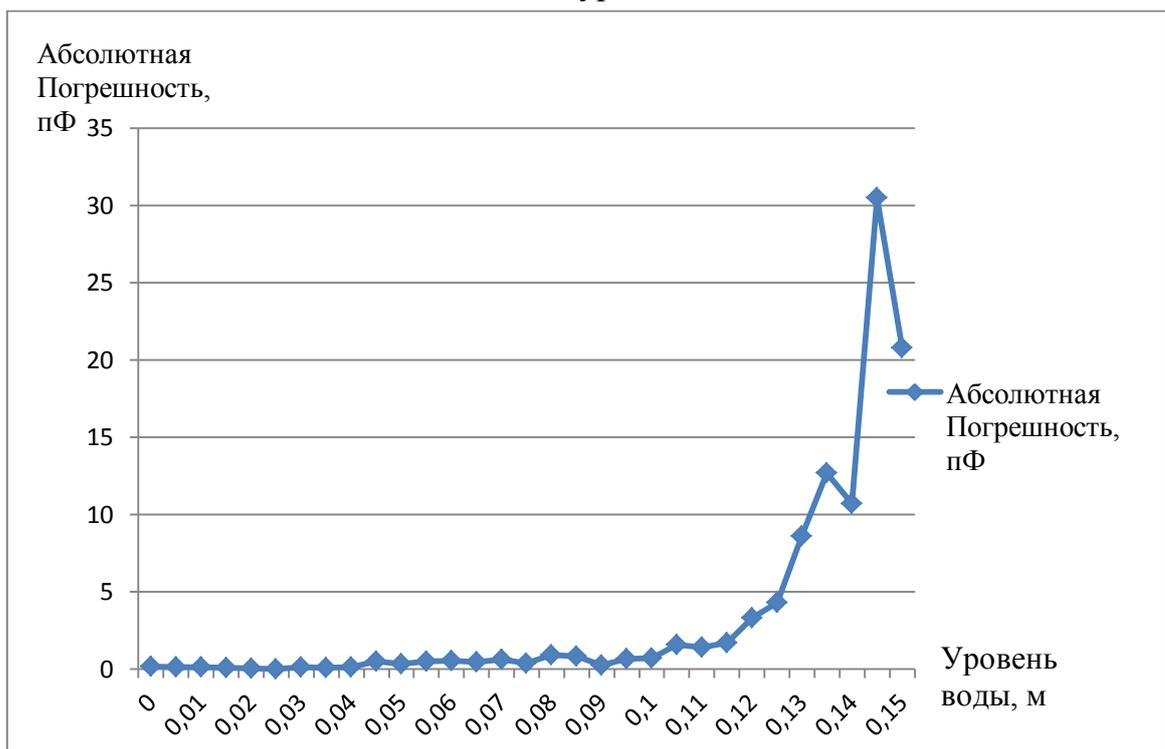


Рисунок 49 – график зависимости абсолютной погрешности конденсатора C_3 от уровня жидкости

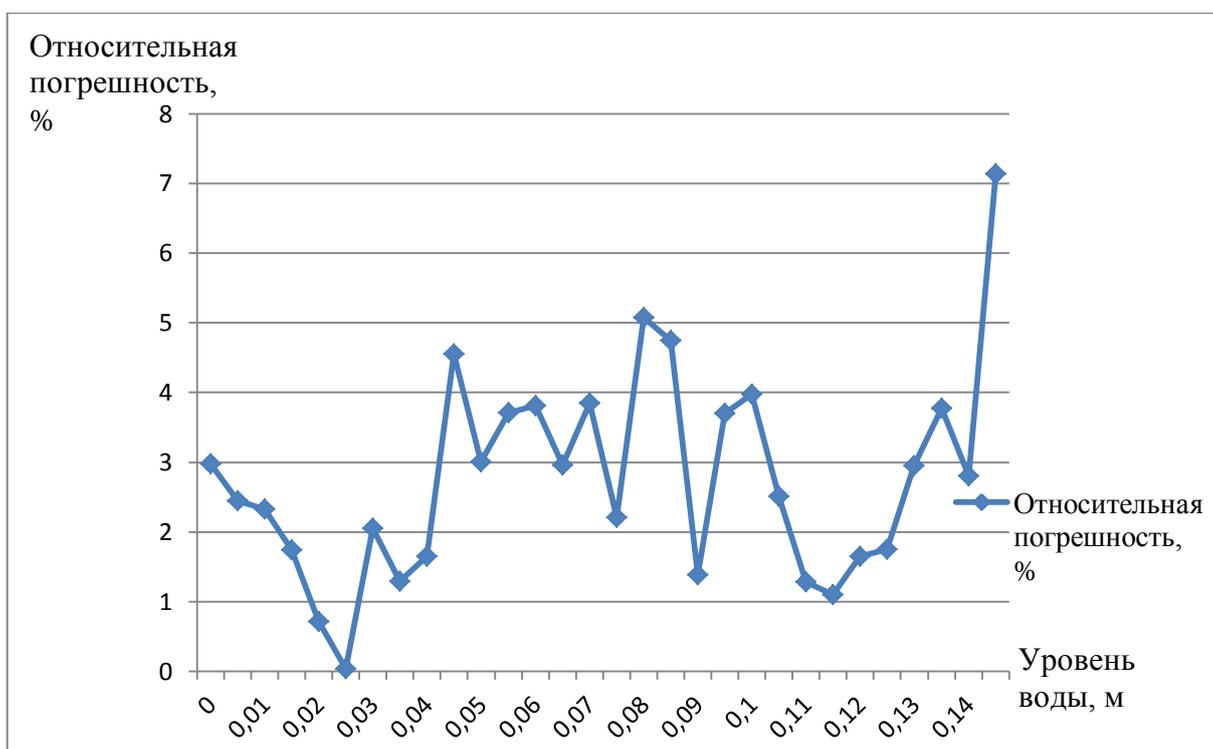


Рисунок 50 – график зависимости относительной погрешности конденсатора С3 от уровня жидкости

Выполненные экспериментальные исследования показали эффективность предлагаемого метода контроля уровня однофазной и многофазной жидких сред, корректность предложенной математической моделей и функции преобразования разработанного варианта конструкции многоэлементного емкостного уровнемера.

Испытания лабораторного образца емкостного преобразователя уровня показали, что использование многоэлементного преобразователя возможно для однофазных и двухфазных жидких сред. Относительная погрешность измерения уровня однофазной среды в виде растительного масла не превышает 6.333, а для двухфазной среды (растительной масло плюс дистиллированная вода) – 7.132.

6. Основные результаты и выводы

В соответствии с целями и задачами при работе над ВКР получили следующие основные результаты:

1. Исследованы и разработаны различные варианты конструктивных решений чувствительных элементов многоэлементного емкостного датчика для измерения уровня жидких сред.

2. Предложена методика расчета значения выходной емкости многоэлементного емкостного измерительного датчика на базе математической модели для плоского конденсатора.

3. Предложено для измерения значения емкости измерительного датчика использовать емкостно-диодную измерительную схему.

4. Предложены варианты конструкций многоканальных емкостных датчиков уровня, которые позволяют получать измерительную информацию от отдельных измерительных каналов измерительного датчика и варьировать основные технические характеристики этих каналов чтобы поискать решения конкретных измерительных задач.

5. Разработана структурная схема и вариант алгоритма сопряжения многоэлементных емкостных датчиков уровня с ЭВМ или микроконтроллерами, которые включают прием и обработку полученной измерительной информации, и позволяющие достоверно измерить уровень жидкости при произвольных значениях диэлектрической постоянной жидкой среды.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуются для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

7.1. Предпроектный анализ

7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевым рынком выполненной работы являются компании занимающиеся переработкой нефти.

Сегментом этого рынка являются мелкие и средние коммерческие организации имеющие связанные с переработкой нефти. Значимыми критериями для данного сегмента рынка, являются размер предприятия и выпускаемая продукция.

1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Таблица 7 — Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда пользователя	0.09	5	3	4	0.5	0.3	0.4
2.Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.07	4	4	4	0.4	0.4	0.4
3. Помехоустойчивость	0.09	5	3	4	0.5	0.3	0.4
4. Энергоэкономичность	0.01	5	5	5	0.25	0.25	0.25
5. Надежность	0.03	3	5	5	0.3	0.5	0.5
6. Уровень шума	0.07	5	3	3	0.5	0.3	0.3
7. Безопасность	0.079	3	4	4	0.15	0.2	0.2
8.Потребность в ресурсах памяти	0.001	3	3	3	0.09	0.09	0.09
9.Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.02	5	5	5	0.25	0.25	0.25
10.Простота эксплуатации	0.06	3	5	5	0.3	0.5	0.5
11.Качество интеллектуального интерфейса	0.06	5	3	3	0.5	0.3	0.3
12.Возможность подключения в	0.003	4	4	4	0.4	0.4	0.4

сеть ЭВМ							
Итого	1						

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 7, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i = 20.3, \quad (38)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

После расчёта средневзвешенного показателя, который составил 20.3, можно судить о том, что перспективность данного продукта крайне низкая. Необходимо повышать некоторые характеристики устройства.

7.1.3 FAST-анализ

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа — в качестве объекта выступает устройство для измерения ёмкости коаксиального кабеля.

2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом приведено в таблице 8.

Таблица 8 — Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование узла	Кол-во деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная

					тельная
Блок стабилизации питания	6	Стабилизация напряжения питания			X
Передачик	4	Возникновение входных сигналов	X		
Усилитель	8	Усиление входных сигналов			X
Дачик ёмкостный	5	Настройка прибора	X		
приёмник	4	Получение выходных сигналов	X		
Логический элемент	4	Преобразование сдвига фазы в промежутки времени		X	
Усилитель напряжения	2	Повышение чувствительности			X

3. Определение значимости выполняемых функций объектом

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

На первом этапе необходимо построить матрицу смежности функции (таблица 9).

Таблица 9 — Матрица смежности

	Стабилизация напряжения питания	Возникновение входных сигналов	Усиление входных сигналов	Настройка прибора	Формирование прямоугольных импульсов	Преобразование сдвига фазы в промежутки времени	Повышение чувствительности
Стабилизация напряжения питания	=	<	=	<	<	<	=
Возникновение входных сигналов	>	=	>	=	=	>	>
Усиление входных сигналов	=	<	=	<	<	<	=
Настройка прибора	>	=	>	=	=	>	>
Получение выходных сигналов	>	=	>	=	=	>	>
Преобразование сдвига фазы в промежутки времени	>	<	>	<	<	=	>
Повышение	=	<	=	<	<	<	=

чувствительности							
------------------	--	--	--	--	--	--	--

Второй этап связан в преобразованием матрицы смежности в матрицу количественных соотношений функций (таблица 10)

Таблица 10 — Матрица количественных соотношений функций

	Стабилизация напряжения питания	Возникновение входных сигналов	Усиление входных сигналов	Настройка прибора	Получение выходных сигналов	Преобразование сдвига фазы в промежутки времени	Повышение чувствительности	того
Стабилизация напряжения питания	1	0.5	1	0.5	0.5	0.5	1	5
Возникновение входных сигналов	1.5	1	1.5	1	1	1.5	1.5	9
Усиление входных сигналов	1	0.5	1	0.5	0.5	0.5	1	5
Настройка прибора	1.5	1	1.5	1	1	1.5	1.5	9

ра								
Получение выходных сигналов	1.5	1	1.5	1	1	1.5	1.5	9
Преобразование сдвига фазы в промежутки времени	1.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1	1.5	7
Повышение чувствительности	1	0.5	1	0.5	0.5	0,5	1	5
								49

В рамках третьего этапа происходит определение значимости функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям таблица 11.

Таблица 11.— Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Функция	Балл	Значимость функции
Стабилизация напряжения питания	5	0.1
Возникновение входных сигналов	9	0.184
Усиление входных сигналов	5	0.1
Настройка прибора	9	0.184
Получение выходных	9	0.184

сигналов		
Преобразование сдвига фазы в промежутки времени	7	0.148
Повышение чувствительности	5	0.1

4. Анализ стоимости функций выполняемых объектом исследования.

Задача данной стадии заключается в том, что с помощью специальных методов оценить уровень затрат на выполнение каждой функции. Сделать это возможно с помощью применения нормативного метода. Расчет стоимости функций приведен в таблице 12.

Таблица 12.—Расчет стоимости функций

Наименование узла	Количество деталей узла	Выполняемая функция	Норма расхода, г	Трудоёмкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
Блок стабилизации питания	6	Стабилизация напряжения питания	—	—	15	—	20
передатчик	4	Возникновение входных сигналов	—	—	23	—	25
Усилитель	8	Усиление входных сигналов	—	—	6	—	17
Датчик ёмкостный	5	Настройка прибора	—	—	5	—	15
приёмник	4	Получение выходных сигналов	—	—	25	—	30
Логический элемент	4	Преобразование сдвига	—	—	5	—	5

		фазы в промежутки времени					
Усилитель напряжения	2	Повышение чувств.	—	—	12	—	15

В дальнейшем путем суммирования затрат по каждой функции определяется общая стоимость каждой из них. Данная информация используется для построения функционально-стоимостной диаграммы на следующей стадии.

5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и её анализ.

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (рисунок 51).

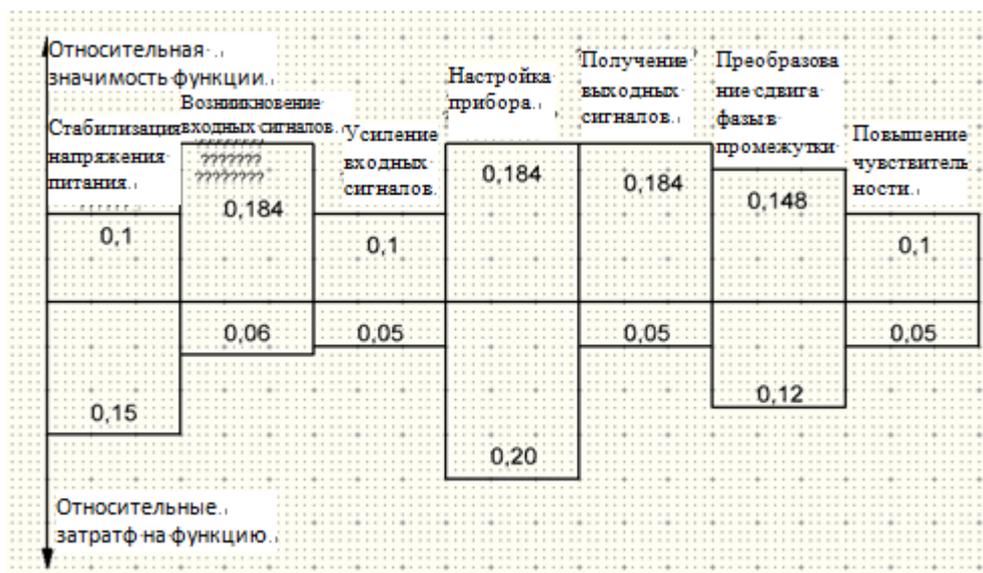


Рисунок 51 — Функционально-стоимостная диаграмма

6. Оптимизация функций выполняемых объектом.

Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить некоторые диспропорции между полезностью функций и затратами на них.

Вышеприведённый анализ показывает небольшое наличие

рассогласования по первой функции (стабилизация напряжения питания).
Можно провести работы по ликвидации данных диспропорций.

В результате проведения FAST-анализа данной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем изменения схемотехники данного блока и как следствие элементной базы.

7.1.6. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

Таблица 13—Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся науднотехнический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации науднотехнического задела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4.	Определена товарная форма науднотехнического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10.	Разработана стратегия	2	1

	(форма) реализации научной разработки		
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	4	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	53	51

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (39)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;
 B_i – балл по i -му показателю.

$$B_{\text{сум}} = \sum B_c = 53 \quad B_{\text{сум}} = \sum B_y = 51$$

Это говорит о том, что перспективность выше среднего. По результатам оценки делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направления ее дальнейшего улучшения, обуровне компетенций недостающих разработчику и возможности привлечения требуемых специалистов в команду проекта.

7.2. Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

- 1. Цели и результат проекта.**
- 2. Организационная структура проекта.**
- 3. Ограничения и допущения проекта.**

Цели и результат проекта: разработка измерителя электрической ёмкости коаксиального кабеля в процессе производства. Заинтересованные стороны проекта представлены в таблице 14.

Таблица 14 — заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
---	---

Руководитель проекта	Качественное выполнение работ в оговоренные сроки
Исполнитель проекта	Разработка измерителя уровня

В таблице 15 представлена информация об иерархии целей проекта и требованиях к результату. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 15 — цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка измерителя уровня и границ раздел многофазных жидких сред. Разработка ресурсоэффективного и экономически выгодного способа измерения уровня.
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка прибора
Требования к результату проекта:	Выполнение в срок

Участники рабочей группы представлены в таблице 16.

Таблица 16 - рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Фёдоров Евгений Михайлович, каф. ФМПК доцент	Руководитель проекта	Координирует деятельность исполнителя проекта	300
2	Ма Синсин, каф. ФМПК, магистрант	Исполнитель проекта	Выполнение проектных работ	2200
ИТОГО:				2500

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут

реализованных в рамках данного проекта. Ограничения представлены в таблице 17.

Таблица 17 - ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	6500
3.1.1. Источник финансирования	Ма Синсин
3.2. Сроки проекта:	01.09.2014-01.06.2016
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.10.2014
3.2.2. Дата завершения проекта	09.06.2016

7.3. Планирование научно-исследовательских работ

7.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

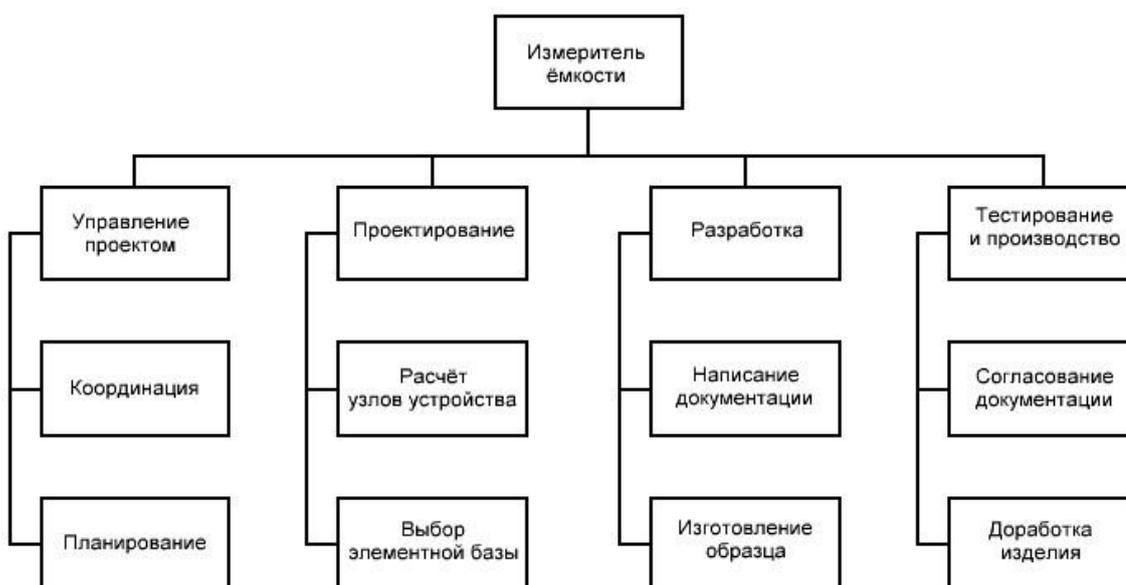


Рисунок 52— Иерархической структуры работ по проекту

7.3.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эту информацию необходимо свести в таблицу (табл. 18).

Таблица 18 -Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	(подтверждающий документ) Результат
1	Постановка ТЗ	Техническое задание
2	Подготовительные работы	Отчеты НИР, патентный поиск
3	Теоретические и экспериментальные исследования	Проведены теоретические расчёты, которые были подтверждены экспериментальным путём
4	Заключительный этап	Пояснительная записка

7.3.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы 18.

Таблица 19-Календарный план проекта

Название	Длительность, рабочие дни	Длительность, календарные дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Получение технического задания	2	2	14.09.14	30.10.14	Исполнитель, руководитель
Анализ задачи	38	45	30.10.14	20.12.14	Исполнитель, руководитель
Сбор информации, анализ технических	43	50	20.12.14	10.03.15	Исполнитель

возможностей.					
Изучение основ и методов	58	80	10.03.15	30.04.15	Исполнитель
Ознакомление с принципам и работы	43	50	30.04.15	14.06.15	Исполнитель
Разработка принципиальной схемы устройства	37	45	10.09.15	20.10.15	Исполнитель
Проведение экспериментов	34	40	20.10.14	4.11.15	Исполнитель
Анализ полученных результатов	13	15	4.11.15	25.11.15	Исполнитель, руководитель
Подготовка графического материала	17	20	25.11.15	16.05.16	Исполнитель
Оформление работы	146	180	14.09.14	30.10.14	Исполнитель
Итого:	431	527			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Код работы	Вид работ	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ																								
			2014					2015										2016									
			9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5				
1	Получение технического задания	2	□	□																							
2	Анализ задачи	45	▨	▨																							
3	Сбор информации, анализ технических возможностей	50			□	□																					
4	Изучение основ и методов	80					□	□																			
5	Ознакомление с принципами работы	50								□	□																
6	Разработка принципиальной схемы устройства	45																									
7	Проведение экспериментов	40																									
8	Анализ полученных результатов	15																									
9	Подготовка графического материала	20																									
10	Оформление работы	80																									

□ - исполнитель ▨ - руководитель

7.3.4 Бюджет научного исследованиями

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.

В эту статью включены затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. Группировка затрат по статьям приведена в таблице 20.

Расчет стоимости материальных затрат проводится по действующим ценам. В стоимость материальных затрат включены транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включены затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье занесены в таблицу 20.

Таблица 20 - сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Интегральные микросхемы	KP140УД22	1	25	25
Интегральные микросхемы	KP544УД2	10	20	200
Логические микросхемы	K561ЛП2	1	20	20
Диоды	1N4004	4	2	8
Конденсаторы	K10-176	20	5	100
Переменные резисторы	СПЗ-4АМ	1	50	50
Подстроечные резисторы	СП5-2ВБ	2	25	50
Транзисторы	КТ361Б	1	2	2
Датчик ёмкосьный	CSN E41B5-32P-10-LZ	1	1950	1950
Провод монтажный	МГШВ	30м	5	150
Припой	ПОС-61	5м	20	100
Канифоль		0,250л	290	290
Плата монтажная		1	50	50
Корпус		1	500	500
Прочие			500	500

расходы			
Всего за материалы			2050
Транспортно-заготовительные расходы(3-5%)			61,5
Итого по статье C_m			4061.5

2. Специальное оборудование для научно-исследовательских работ.

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении специального оборудования учтены затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Все расчеты по приобретению спецоборудования, сводятся в таблицу 21.

Таблица 21 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1	Компьютер высокой мощности	1	25000	25000
2	Паяльная станция	1	2000	2000
3	Цифровой осциллограф	1	АСК-2061	30000
4	Генератор	1	VC-2002	8000
5	Источник питания постоянного напряжения и тока	1	АТН-4235	46000
Итоговая сумма				111000

3. Основная заработная плата

В настоящую статью включена основная заработная плата научных и инженерно-технических работников непосредственно участвующих в выполнении работ по теме. Величина расходов по заработной плате определена исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 22.

Таблица 22 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1.	Получение технического задания	Руководитель	2	1278,62	2557,24
		Студент	2	0	0
2.	Анализ задачи	Руководитель	38	1278,62	48587,56
		Студент	38	0	0
3.	Сбор информации, анализ технических возможностей	Студент	43	0	0
4.	Изучение основ и методов	Студент	58	0	0
5.	Ознакомление с принципами работы	Студент	43	0	0
6.	Разработка принципиальной схемы устройства	Студент	37	0	0
7.	Проведение экспериментов	Студент	34	0	0
8.	Обсуждение полученных результатов	Студент	13	0	0
		Руководитель	13	1278,62	16622,06
9.	Подготовка графического материала	Студент	17	0	0
10.	Оформление работы	Студент	146	0	0
Итого: 67766,86					

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (40)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата руководителя и инженера (дипломника) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{осн} * T_{раб}, \quad (41)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 24);

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (42)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 23).

Таблица 23 - баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководител ь	Исполнител ь
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней	71	71
- выходные дни	51	51
- праздничные дни	20	20
Потери рабочего времени на отпуск	48	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	294

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{дн.р}} = \frac{23264.86 \cdot 10.4}{246} = 983.56, \quad (43)$$

Среднедневная заработная плата исполнителя:

$$Z_{\text{дн.с}} = \frac{6395.7 \cdot 12}{294} = 261.05, \quad (44)$$

Исходя из количества рабочих, основная заработная плата составит для руководителя:

$$Z_{\text{осн.р}} = 983.56 \cdot 53 = 52128.68, \quad (45)$$

для исполнителя:

$$Z_{\text{дн.с}} = 261.05 \cdot 431 = 112512.55, \quad (46)$$

Таблица 24 - расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{м,руб}}$	$Z_{\text{дн, руб.}}$	$T_{\text{р,раб.дн}}$	$Z_{\text{осн, руб.}}$
Руководитель	23264.86	1278,62	53	52128.68
Исполнитель	6395.7	261.05	431	112512.55

4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала составляет в среднем 12% от суммы основной заработной платы.

Таким образом, дополнительная заработная плата:

для руководителя:

$$Z_{\text{дн.р}} = 52128.68 \cdot 0.12 = 6255.4416, \quad (47)$$

для исполнителя:

$$Z_{\text{дн.с}} = 112512.55 \cdot 0.12 = 13501.506, \quad (48)$$

В таблице 25 представлена заработная плата рабочей группы проекта.

Таблица 25 - заработная плата исполнителей ВКР

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	52128.68	112512.55
Дополнительная зарплата	6255.4416	13501.506
Итого	58384.4416	126014.056
Итого по статье $C_{зп}$	184398.5	

5. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (49)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, составляет 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя:

$$C_{внеб} = 0.3 * 184398.5 = 55319.55 \text{ руб}$$

6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

На эту статью относится стоимость работ, выполненных сторонними организациями и предприятиями по заказу данной научно-технической организации, результаты которых используются в конкретном НТИ. В таблице 26 представлены затраты на услуги сторонних организаций.

Таблица 26 - затраты на услуги сторонних организаций

Услуга	Количество	Стоимость одной единицы, руб.	Сумма затрат, руб.
Распечатка на принтере формат А3	4	10	40
Доступ в Internet	2 месяца	390 (в мес.)	780
Итого:			820

7. Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Примем коэффициент накладных расходов равным 90%,

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (50)$$

$$C_{\text{накл}} = 0.9 * 184398.5 = 165958.66 \text{ руб}$$

Таблица 27 - группировка затрат по статьям

№ п/п	Статьи затрат	Сумма, руб
1.	Сырье, материал(за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	2111,5
2.	Специальное оборудование для научных работ	111000
3.	Основная заработная плата	52128.68
4.	Дополнительная заработная плата	8132,02
5.	Отчисления на социальные нужды	55319.55
6.	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями	820
7.	Накладные расходы	165958.66
Итого плановая себестоимость		395470.41

7.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (51)$$

Где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{4344555,7}{5419612,6} = 0,8; I_{финр}^{исп2} = \frac{5419612,6}{5419612,6} = 1; I_{финр}^{исп3} = \frac{2845459,64}{5419612,6} = 0,52.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (52)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 28.

Таблица 28 - сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Надежность	0,2	5	5	4
2. Универсальность	0,2	4	4	5
3. Уровень материалоемкости	0,15	4	4	5
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,20	5	5	4

5.Ремонтопригодность	0,1	5	5	5
6. Энергосбережение	0,15	4	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,15	3,8

$$I_{p-ucn1} = 5*0.2 + 4*0.2 + 4*0.15 + 5*0.2 + 5*0.1 + 4*0.15 = 4.5$$

$$I_{p-ucn1} = 5*0.2 + 4*0.2 + 4*0.15 + 5*0.2 + 5*0.1 + 4*0.15 = 4.5$$

$$I_{p-ucn1} = 4*0.2 + 5*0.2 + 5*0.15 + 5*0.2 + 5*0.1 + 5*0.1 = 4.55$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки (I_{ucni}) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{ucni} = \frac{I_{p-ucni}}{I_{финр}^{ucn.i}}, \quad (53)$$

$$I_{ucn1} = \frac{4,5}{0,8} = 5,625; I_{ucn2} = \frac{4,5}{1} = 4,5; I_{ucn3} = \frac{4,55}{0,52} = 8,75.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп i}}{I_{исп max}}, \quad (54)$$

Таблица 29. Сравнительная эффективность разработки

п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	1	0,52
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,5	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	5,625	4,5	8,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,64	0,51	1

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности

8. Социальная ответственность

Введение

Повышение требований к точности учета количества жидких продуктов (обусловленное введением нового ГОСТа) при проведении различных товарносырьевых операций, например, с бензином, керосином, мазутом, кислотами, сжиженными газами и т.п., предполагает применение высокоточных измерителей уровня жидкостей при реализации объемно-массового метода определения количества продукта. Исследование уровня проводится разными локационными уровнемерами, анализ результатов при разных условиях.

Основной целью данного раздела является создание таких условий, которые обеспечивают безопасность человека в процессе исследования, минимальную вероятность поражения и заболевания работающего, сохранение работоспособности.

В данной выпускной работе был произведен обзор известных методов измерения уровня и границ раздел многофазных жидких сред, а также разрабатывался прибор для измерения уровня. В процессе разработки устройства, были задействованы такие приборы как, паяльная станция, блок питания, генератор, различные измерительные приборы.

8.1. Профессиональная социальная безопасность.

1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 [17], «опасные и вредные производственные факторы. Классификация» факторы, возникающие при проведении данной работы, приведены в таблице 30.

Производственный фактор - фактор, воздействие которого на работающего при определенных условиях, приводит к травмам или резкому ухудшению здоровья, возникновению хронических заболеваний или снижению работоспособности.

Таблица 30 — Опасные и вредные факторы при разработке устройства

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Прибор для измерения уровня	Электромагнитное поле. Электростатическое поле. Недостаточная освещённость выводимой на дисплей информации.	Электрический ток.	Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность - ГОСТ 12.1.038-82;
Измерительные устройства: мультиметр, осциллограф. Генератор. Блок питания. Паяльное оборудование. Лампы дневного света.	Электромагнитное поле. Электростатическое поле. Шум. Повышенная температура внешней среды. Недостаточная освещённость. Повышенная концентрация вредных веществ.	Электрический ток. Ожог.	Нормы параметров электромагнитного и электростатического полей описаны в СанПиН 2.2.4.1191-03 и в ГОСТ 12.1.045-84 соответственно.

Уровень электромагнитного поля

ЭМП создается магнитными катушками отклоняющей системы, находящимися около цокольной части осциллографа или магнито-электрического вольтметра. ЭМП обладает способностью биологического, специфического и теплового воздействия на организм человека.

Биологическое воздействие зависит от длины волны, интенсивности, продолжительности и режимов воздействия ЭМП, размеров, анатомического строения органа, подвергающегося воздействию ЭМП.

Специфическое воздействие ЭМП обусловлено биохимическими изменениями, происходящими в клетках и тканях. Наиболее чувствительными являются центральная и сердечно-сосудистая системы. Наблюдаются

нарушения условно-рефлекторной деятельности, снижение биоэлектрической активности мозга, изменение межнейронных связей.

Тепловое воздействие ЭМП характеризуется повышением температуры тела, локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток вследствие перехода ЭМП в тепловую энергию. Интенсивность нагрева зависит от количества поглощенной энергии и скорости оттока тепла от облучаемых участков тела. Отток тепла затруднен в органах и тканях с плохим кровообращением. К ним, в первую очередь, относят хрусталик глаза.

Нормы параметров электромагнитного поля описаны в СанПиН 2.2.4.1191-03. [18]

Уровень электростатического поля

Электростатическое поле возникает в результате облучения экрана потоком заряженных частиц. Неприятности, вызванные им, связаны с пылью, накапливающейся в электростатически заряженных экранах, которая летит на человека во время его работы за осциллографом. Электростатический потенциал, возникающий в теле человека при его работе за монитором, различен и колеблется в пределах $\pm 0,6$ кВ/м. Потенциал человека служит решающим фактором при осаждении частиц пыли на поверхности тела, что, в свою очередь, может служить причиной кожных заболеваний, порчи контактных линз, при катаракте развивается помутнение хрусталика глаза.

Уровень электростатического поля не должен превышать максимального уровня согласно ГОСТ 12.1.045-84 [19].

Уровень шума

Шум на рабочих местах создается рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникает из вне. Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека.

Прежде всего, шум влияет на различные отделы головного мозга, изменяя нормальные процессы высшей нервной деятельности (жалобы на

утомляемость, общую слабость, апатию, ослабление памяти и т.д.). При воздействии шума наступают изменения в органах зрения человека (понижается устойчивость острота и чувствительность зрения), а также и в вестибулярном аппарате; нарушаются функции желудочно-кишечного тракта; повышается внутричерепное давление; происходят нарушения в обменных процессах организма и т.п. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации.

В результате неблагоприятного воздействия шума на работающего человека происходит снижение производительности труда, увеличивается брак в работе, создаются предпосылки к возникновению несчастных случаев. Поэтому в помещениях уровень шума не должен превышать 65дБ согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [20].

Шум на рабочих местах создается внутренними источниками — элементы питания осциллографа и других измерительных приборов, и внешними источниками - шум с улицы.

Повышенная температура внешней среды

При повышении температуры воздуха уменьшается теплоотдача во внешнюю среду, происходит повышение температуры внутренних органов. Исследователями установлено, что при температуре воздуха более 30°С работоспособность человека начинает падать. Длительное воздействие высокой температуры может привести к значительному накоплению теплоты в организме и перегреванию организма.

В результате воздействия высоких температур на организм человека, происходит снижение производительности труда, повышается утомляемость и раздражительность. Поэтому в рабочих помещениях, температура не должна превышать 22-24°С согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [21].

Недостаточная освещённость

Для оптимизации условий труда имеет большое значение освещение рабочих мест. Задачи организации освещённости рабочих мест следующие: обеспечение различаемости рассматриваемых предметов, уменьшение

напряжения и утомляемости органов зрения. Производственное освещение должно быть равномерным и устойчивым, иметь правильное направление светового потока, исключать слепящее действие света и образование резких теней.

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

Согласно СП 52.13330.2011 [22], уровень общей освещённости в лаборатории при проведении исследований должно составлять не менее 500 лк и цветовой температурой 400-600 К.

Для разрабатываемого устройства согласно ГОСТ Р 50948-2001 [23] яркость знака должна быть 20 кд/м² для плоских дискретных экранов. С учётом минимального объекта различения (пиксель на ЖК дисплее) размером 1 мм, освещённость не должна быть ниже 150 лк.

Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе

Вредные вещества которые могут содержаться в воздухе при производстве печатных плат и пайка включают в себя хлорид железа или персульфат аммония, гидроксид калия, а также сплав Вуда, в состав которого входит кадмий. Согласно ГН 2.1.6.695-98 [24], ПДК хлорида железа и персульфата аммония в воздухе составляет 0,004 мг/м³ и 0,1 мг/м³ соответственно. Кадмия должно содержаться в воздухе не более 0.0003 мг/м³ исходя из ГН 2.1.6.695-98 [25].

Поражение электрическим током

В качестве источника поражения тока может выступать блок питания или оголённые токоведущие линии.

Чтобы исключить опасность поражения электрическим током, необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением приборов в сеть должна быть визуально проверена электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус;

- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети приборы общим выключателем и устранить неисправность;

- запрещается при включенном технике одновременно прикасаться к приборам имеющим естественное заземление (например, радиаторы отопления, водопроводные краны и др.).

Существуют следующие способы защиты от поражения электрическим током в электроустановках:

- защитное заземление;
- зануление;
- защитное отключение;
- защитное разделение сетей;
- предохранительные устройства.

Самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током при эксплуатации измерительных приборов и устройств - защитное заземление, которое предназначено для превращения “замыкания на корпус” в “замыкание на землю”, с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание потенциала).

Ожоги

При не аккуратном обращении с паяльной станцией, есть большая вероятность получить сильные ожоги. Для избежания травм паяльник оснащён специальной теплоизоляционной ручкой и подставкой встроеной в саму станцию. Для предотвращения ожогов при контакте с токоведущими частями приборов или при контакте с корпусом прибора во время короткого замыкания, все приборы должны быть заземлены.

8.2. Экологическая безопасность.

2.1. Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду.

2.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.

2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.

При выполнении данной работы и разработке устройства был задействован флюс для пайки. При работе с которым происходило его испарение. Каких либо негативных воздействий на окружающую среду эти пары не оказывали. Также при работе самого устройства, в окружающую среду ничего не выделяется.

После того как устройство отработает свой срок, его необходимо будет утилизировать как обычный бытовой прибор.

8.3. Безопасность в ЧС

3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

3.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Наиболее вероятной ЧС, которая может возникнуть при проведении исследований, является пожар. Пожар – это неконтролируемое горение вне очага, наносящее материальный ущерб.

Пожар может возникнуть при коротком замыкании в процессе разработки или эксплуатации прибора.

При возникновении пожара необходимо сообщить об этом в городскую пожарную охрану по телефону 01 (при этом необходимо сообщить точный адрес здания, место возникновения пожара или обнаружения признаков пожара, вероятную возможность угрозы людям, а также другие сведения, необходимые

диспетчеру пожарной охраны). Кроме того, следует назвать себя и номер телефона, с которого делается сообщение о пожаре.

Оповестить о пожаре или его признаках людей, находящихся поблизости, и принять необходимые меры для эвакуации всех людей из здания (из опасной зоны). При появлении опасных факторов пожара (дым, потеря видимости, высокая температура, токсичные пары горения) немедленно эвакуироваться в безопасную зону. При возможности сообщить о пожаре руководителям, должностным лицам и всем людям, находящимся в здании.

Также, для предотвращения пожара, необходимо иметь рабочий огнетушитель, план эвакуации и разработанные мероприятия при возникновении пожара. Дополнительно следует провести инструктаж перед началом проведения исследовательских работ.

Основы пожарной безопасности лаборатории определены по ГОСТ 12.1.004-99 [26] и ГОСТ 12.1.010-76 [27].

Пожарная безопасность обеспечивается мерами противопожарной профилактики, направленной на исключение возникновения и поддержания условий горения, и включает комплекс мероприятий, необходимых для предупреждения возникновения пожара, ограничение распространения огня, защиты людей и тушения пожара.

В целях снижения пожарной опасности проводятся технические, эксплуатационные, организационные и режимные мероприятия.

Основным источником возгорания в рабочем кабинете могут быть неисправности электрооборудования и электропроводки (короткое замыкание; токовые перегрузки; искрение контактов, возникновение электрической дуги; неосторожное обращение с огнем).

Предотвращение этого обеспечивается соответствующим конструктивным исполнением, эксплуатацией и содержанием электрооборудования.

Технические мероприятия:

- содержание помещения в чистоте, своевременная уборка мусора;

- работа должна проводиться только при исправном электрооборудовании;
- на видном месте должен быть вывешен план эвакуации;
- уходящий из помещения должен проверить выключены ли нагреваемые приборы, электроприборы и отключены ли силовая и осветительная электрическая сеть.

Эксплуатационные мероприятия:

- обеспечение оптимального электрического и теплового режимов работы прибора;
- своевременно производить профилактический осмотр контактных соединений и оборудования в целом;
- пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения должны быть исправны, и находиться на видном месте;

Режимные мероприятия:

Все вновь принимаемые на работу лица обязаны проходить вводный противопожарный инструктаж о соблюдении мер пожарной безопасности.

С каждым должен быть проведен инструктаж по использованию средств пожаротушения.

Перед началом работы назначается ответственный за пожарную безопасность.

Регулярно проводить осмотры помещений, с целью выявления причин, способных привести к возникновению пожаров.

Каждый сотрудник обязан четко знать и выполнять установленные правила пожарной безопасности, не допускать действий, ведущих к возникновению пожарных ситуаций.

В случае, когда не удастся самостоятельно ликвидировать пожар, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь планом эвакуации.

При проведении эвакуации и тушении пожара необходимо:

▶ с учетом сложившейся обстановки определить наиболее безопасные эвакуационные пути и выходы, обеспечивающие возможность эвакуации людей в безопасную зону в кратчайший срок;

▶ исключить условия, способствующие возникновению паники. С этой целью учителям, преподавателям, воспитателям, и другим работникам образовательного учреждения нельзя оставлять детей без присмотра с момента обнаружения пожара и до его ликвидации;

▶ эвакуацию детей следует начинать из помещения, в котором возник пожар и смежных с ним помещений, которым угрожает опасность распространения огня и продуктов горения. Детей младшего возраста и больных следует эвакуировать в первую очередь;

▶ в зимнее время, по усмотрению лиц, осуществляющих эвакуацию, дети старших возрастных групп могут предварительно одеться или взять теплую одежду с собой, а детей младшего возраста следует выводить или выносить, завернув в одеяла или другие теплые вещи;

▶ тщательно проверить все помещения, чтобы исключить возможность пребывания в опасной зоне детей, спрятавшихся под кроватями, партами, в шкафах или других местах;

▶ выставлять посты безопасности на выходах в здание, чтобы исключить возможность возвращения детей и работников в здание, где возник пожар;

▶ при тушении следует стремиться в первую очередь обеспечить благоприятные условия для эвакуации при пожаре

▶ воздержаться от открывания окон и дверей, а также от разбивания стекол во избежание распространения огня и дыма в смежные помещения. Покидая помещения или здание, следует закрывать за собой все двери и окна.

Руководители организаций, на территории которых применяются, перерабатываются и хранятся опасные (взрывоопасные) сильнодействующие ядовитые вещества, должны сообщать подразделениям пожарной охраны

данные о них, необходимые для обеспечения безопасности личного состава, привлекаемого для тушения пожара и проведения первоочередных аварийно-спасательных работ на этих предприятиях.

По прибытии пожарного подразделения руководитель организации (или лицо, его замещающее) информирует руководителя тушения пожара о конструктивных и технологических особенностях объекта, прилегающих строений и сооружений, количестве и пожароопасных свойствах хранимых и применяемых веществ, материалов, изделий и других сведениях, необходимых для успешной ликвидации пожара, а также организует привлечение сил и средств объекта к осуществлению необходимых мероприятий, связанных с ликвидацией пожара и предупреждением его развития.

8.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

4.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В связи с тем что в разработке и производстве устройства используются опасные химические вещества и соединения, к данной работе не допускаются беременные женщины и люди имеющие болезни связанные с дыхательной системой. Продолжительность действия на человека в течение определённого отрезка времени химических веществ в концентрации, равной максимально разовой ПДК, не должна превышать 15 мин для газообразных химических веществ и 30 мин - для аэрозолей преимущественно фиброгенного действия.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно ГОСТ 12.2.003-91 [28], органы управления производственным оборудованием должны обеспечивать оптимальные условия для управления производственным оборудованием и соответствовать антропометрическим, физиологическим и психофизиологическим свойствам человека, а также

характеру работы, должны обеспечивать эффективное управление производственным оборудованием как в обычных условиях эксплуатации, так и в аварийных ситуациях. Органы управления и функционально связанные с ними средства отображения информации необходимо располагать вблизи друг друга функциональными группами таким образом, чтобы орган управления или рука работающего при манипуляции с ним не закрывали индикаторы. Органы управления в необходимых случаях (например при возможности воздействия на них смежного органа управления, случайного прикосновения, сотрясения и т.п.) должны быть защищены от произвольного или самопроизвольного изменения их положения.

Форма и размеры приводных элементов кнопочных и клавишных выключателей и переключателей должны обеспечивать удобство их применения. Рабочая поверхность кнопок и клавишей, предназначенных для управления пальцем, должна иметь плоскую или слегка вогнутую форму. Рабочая поверхность кнопок, управляемых ладонью, должна быть выпуклой (иметь грибовидную форму). Расстояние между ближайшими точками приводных элементов кнопочных и клавишных выключателей и переключателей при размещении их на производственном оборудовании должно быть не менее 15 мм, а при работе в средствах индивидуальной защиты - не менее 25 мм. Значение хода приводных элементов кнопочных выключателей и переключателей должно обеспечивать визуальное различение положений «включено» и «выключено».

Данный прибор полностью соответствует требованиям описанным в ГОСТ 12.2.003-91 [29]. Основные и дополнительные надписи крупные и достаточно контрастируют с цветом корпуса. Интерфейс является минималистичным и прост в обращении. Кнопки расположены на достаточно большом расстоянии, чтобы избежать случайного нажатия нескольких сразу.

9. Заключение

В данной выпускной квалификационной работе были рассмотрены методы измерения уровня и границ раздела многофазных жидких сред.

В процессе работы над ВКР были предложены и исследованы различные варианты конструкции емкостного датчика для измерения уровня жидких сред.

Предложена методика расчета выходной емкости емкостного датчика на базе математической модели плоского конденсатора, при измерении емкости «сухого» датчика и значения его емкости при полном погружении в однофазную и двухфазную жидкую среду.

Также в ВКР на основе анализа способов преобразования емкости в напряжение была разработана структурная схема измерительного преобразователя для измерительного устройства.

Предложена структурная схема и алгоритм сопряжения многоканального емкостного датчика с ЭВМ или микропроцессорным контроллером, позволяющая выполнить сбор и обработку измерительной информации.

Список использованных источников

1. Петроченков С. А. Исследование и разработка оптико-электронной системы измерения уровня жидкости. 1998 – 3с
2. Блинов Д. И. Лазерные устройства контроля уровня жидких нефтепродуктов в емкостях подвижных объектов. 2015-9с
3. Блинов Д. И. Лазерные устройства контроля уровня жидких нефтепродуктов в емкостях подвижных объектов. 2015.- 27с
4. ГОСТ 24802-81 - «Приборы для измерения уровня жидкости и сыпучих веществ»
5. Буйковый уровнемер Proservo NMS5 Техническая информация [электронный ресурс] - <http://www.pkimrex.ru/opisanie/urovneмер-proservo-nms5>
Дата обращения: 20.12.2014
6. Приборы для измерения уровня [электронный ресурс]
<http://www.c-o-k.ru/library/instructions/afriso/pribory-i-instrumenty/17827/62086.pdf> – 13 с. Дата обращения: 05.03.2015
- 7,8. Уровнемер межфазный МПУ100[электронный ресурс]
<http://www.kipinfo.ru/pribori/3008/>. Дата обращения: 20.09.2015
9. Уровнемер УМФ300 [электронный ресурс] <http://www.nicmi.ru/products3.php>.
Дата обращения: 20.09.2015
10. СУПТ 202-01Ех термодифференциальный сигнализатор уровня, потока и температуры. [электронный ресурс]
http://www.kipkr.ru/catalog/urovneмерy_datchiki_urovnya/supt_202_01ekh/. Дата обращения: 06.07.2015
11. Термодифференциальные сигнализаторы tx, tq, ix, ts[электронный ресурс]-
<http://www.ktecorp.ru/products/420/>. Дата обращения: 24.02.2016
12. Воротников И. Н., Мастепаненко М. А. Способы измерения электрической емкости по параметрам переходного процесса // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. № 10. С. 60–65.

13. Интерфейсы RS-485, RS-422 и RS-232 [электронный ресурс] http://bookasutp.ru/Chapter2_3.aspx. Дата обращения: 08.11.2014
14. Медведев А. Г. Разработка и исследование поверхностных емкостных датчиков для измерения уровня топлива . 2008- 7 с
- 15.16 Медведев А. Г. Разработка и исследование поверхностных емкостных датчиков для измерения уровня топлива. 2008- 15 с
17. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ - «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
18. СанПиН 2.2.4.1191-03 - «Электромагнитные поля в производственных условиях».
19. ГОСТ 12.1.045-84 - «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».
20. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 - «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
21. СанПиН 2.2.4.548-96 - «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
22. СП 52.13330.2011 - «Свод правил. Естественное и искусственное освещение».
23. ГОСТ Р 50948-2001 - «Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности».
24. ГН 2.1.6.695-98 - «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест».
25. ГН 2.1.6.695-98 - «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест».
26. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. - «Пожарная безопасность. Общие требования».
27. ГОСТ 12.1.010-76 - «Взрывобезопасность».
28. ГОСТ 12.2.003-91 - «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

29. ГОСТ 12.2.003-91 - «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

Список публикаций студента

1. 141802-2016 Ма С. -, Степанов А. Б. Методы измерения уровня и границ раздела многофазных жидких сред [Электронный ресурс] // Информационно-измерительная техника и технологии: материалы VI Научно-практической конференции с международным участием, Томск, 27-30 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 65-69. - Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C18/C18.pdf>

2. 880409-2015 Ма С. -. Методы контроля уровня и границ раздела многофазных жидких сред для сепаратора нефти // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т., Томск, 25-29 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 1 - С. 294-298

В процессе публикаций

1. Ма С. -, Степанов А. Б. Разработка математической модели многоэлементного ёмкостного датчика уровня // Неразрушающий контроль: VI Всероссийской научно-технической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», Томск, 23-27 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2016

2. Ма С. -. Методы контроля границ раздела многофазных жидких сред для сепаратора нефти // Неразрушающий контроль: VII Всероссийской научно-практической конференции «Информационноизмерительная техника и технологии», Томск, 25-28 Мая 2016. - Томск: ТГУ

Приложение А

Scanning system for the interface and Multiphase Level Measurement

Introduction

The need for interface measurement arises whenever immiscible liquids—those incapable of mixing—reside within the same vessel. The lighter material rises to the top and the heavier material settles at the bottom. In oil production, for example, water or steam is used to extract oil from a well. Well fluids then route to production separators where they settle into their primary constituent parts as a water-hydrocarbon interface. Water may also be used as a transport medium or a cleaning agent and forms an interface with an allied material which is later extracted.

Interfaces are most commonly found in the diverse separation processes that are essential to every industry. Separation recovers additives, catalysts or solvents, extracts impurities, and routes media into different processing channels.

Though our emphasis is on liquid/liquid interface, interfaces also form between liquid and solids, liquid and foam, or liquid and a gas—such as gases (other than air) that are used in tank blanketing.

Immiscible liquids meet along an interface layer where they undergo some amount of emulsification. This emulsion layer (also called a rag layer) may form a narrow and precise boundary; but more frequently it is a broader gradient of mixed liquids—or liquids mixed with particles that form a slurry. Generally, the thicker the emulsion layer, the greater will be the measurement challenge.

Knowing the position of a process interface is necessary for maintaining product quality and operations efficiency. The interface is measured and controlled by precision level switches and transmitters.

Level sensors are used to detect liquid level. The liquid to be measured can be inside a container or can be in its natural form (e.g. a river or a lake). The level measurement can be either continuous or point values. Continuous level sensors measure level within a specified range and are used to know the exact amount of

liquid in a certain place and Point level sensors only measures a specific level, generally this is used to detect high level alarms or low level alarms.

There are many physical and application variables that affect the selection of the optimal level monitoring solution for industrial and / or commercial processes. The selection criteria include the physical: state (liquid, solid or slurry), temperature, pressure or vacuum, chemistry, dielectric constant of medium, density or specific gravity of medium, agitation, acoustical or electrical noise, vibration, mechanical shock, tank or bin size and shape; and the application constraints: price, accuracy, appearance, response rate, ease of calibration or programming, physical size and mounting of the instrument, monitoring or control of continuous or discrete (point) levels.

Float level sensors

Liquid level floats, also known as float balls, are spherical, cylindrical, oblong or similarly shaped objects, made from either rigid or flexible material, that are buoyant in water and other liquids. They are non-electrical hardware frequently used as visual sight-indicators for surface demarcation and level measurement. They may also be incorporated into switch mechanisms or translucent fluid-tubes as a component in monitoring or controlling liquid level.

Liquid level floats, or float switches, use the principle of material buoyancy (differential densities) to follow fluid levels. Solid floats are often made of plastics with a density less than water or other application liquid, and so they float. Hollow floats filled with air are much less dense than water or other liquids, and are appropriate for some applications.

A special application of float type sensors is the determination of interface level in oil-water separation systems. Two floats can be used with each float sized to match the specific gravity of the oil on one hand, and the water on the other. Another special application of a stem type float switch is the installation of temperature or pressure sensors to create a multi-parameter sensor. Magnetic float switches are popular for simplicity, dependability and low cost.

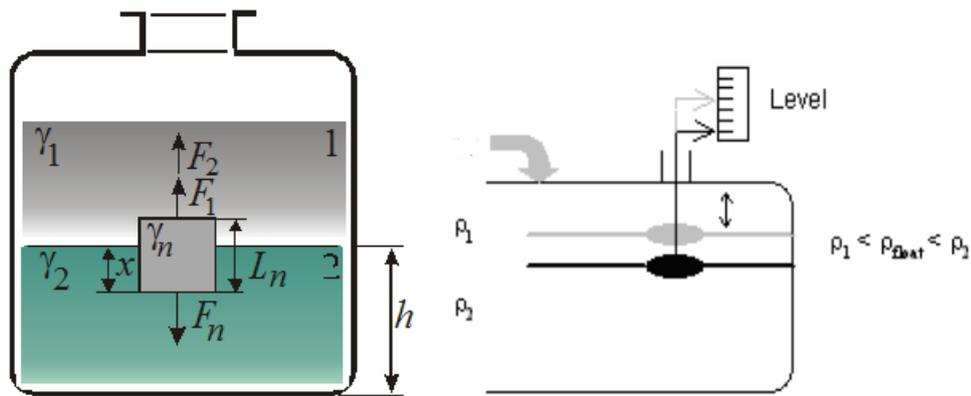


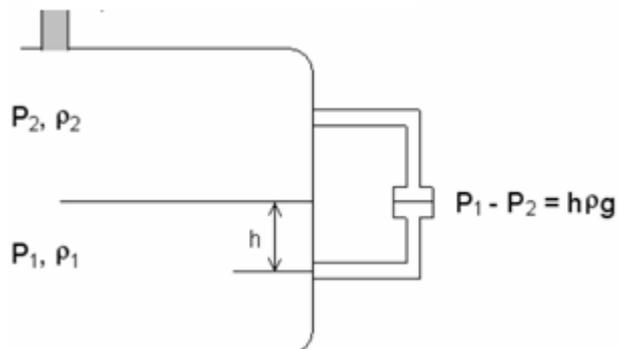
Figure 53 — Float level sensors in tank

This technique makes use of the difference in densities between two types of liquid being measured, e.g. oil and water. A displacer used for oil/water interface measurement must have a density between the densities of oil and water.

As the interface moves up and down in a separator, the position of displacer is mechanically transferred to a read-out system (see Figure 53). Using two different displacers with different densities, both the oil/gas and water/oil interfaces can be measured. However, the presence of an emulsion layer will disturb the measurement and also the foam thickness cannot be measured by this technique.

Differential pressure level sensors

Various interfaces may be detected using differential pressure transmitters (see Figure 54).



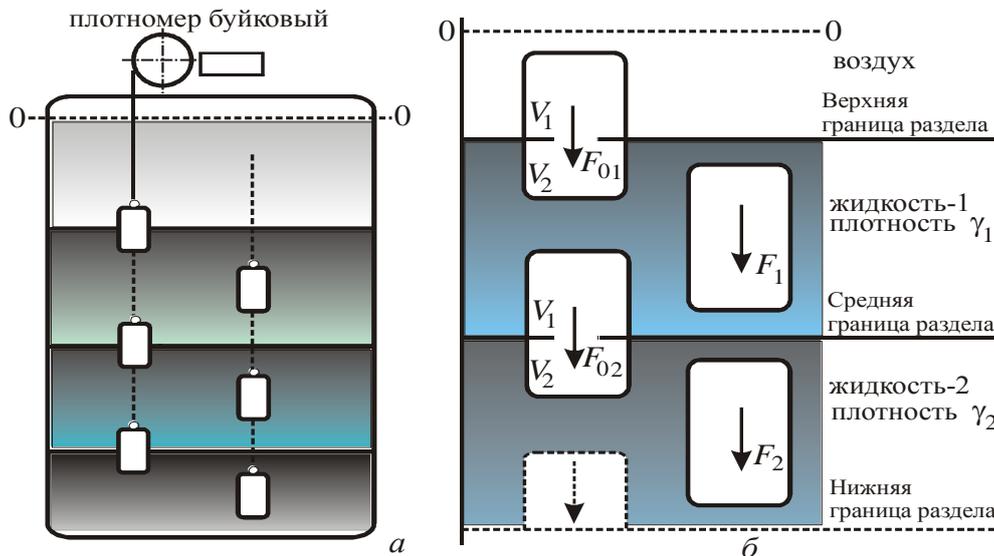


Figure 54 — Differential pressure based level detection.

In this technique differential pressure is measured between the oil and water phases and between the oil and air phases. The densities of different phases are used to calculate the heights of oil and water. The disadvantage of this technique is that emulsion and foam cannot be measured. The other problems with this method is that the pipe work connecting differential pressure transmitters to different phases inside separators may get blocked due to sand and wax formation. Also, heating and thermal insulation are required.

Valuation

Float-type sensors can be designed so that a shield protects the float itself from turbulence and wave motion. Float sensors operate well in a wide variety of liquids, including corrosives. When used for organic solvents, however, one will need to verify that these liquids are chemically compatible with the materials used to construct the sensor. Float-style sensors should not be used with high viscosity (thick) liquids, sludge or liquids that adhere to the stem or floats, or materials that contain contaminants such as metal chips; other sensing technologies are better suited for these applications.

Capacitance level sensors

Capacitance level sensors excel in sensing the presence of a wide variety of solids, aqueous and organic liquids, and slurries. The technique is frequently referred

to as RF for the radio frequency signals applied to the capacitance circuit. The sensors can be designed to sense material with dielectric constants as low as 1.1 (coke and fly ash) and as high as 88 (water) or more. Sludges and slurries such as dehydrated cake and sewage slurry (dielectric constant approx. 50) and liquid chemicals such as quicklime (dielectric constant approx. 90) can also be sensed. Dual-probe capacitance level sensors can also be used to sense the interface between two immiscible liquids with substantially different dielectric constants, providing a solid state alternative to the aforementioned magnetic float switch for the “oil-water interface” application.

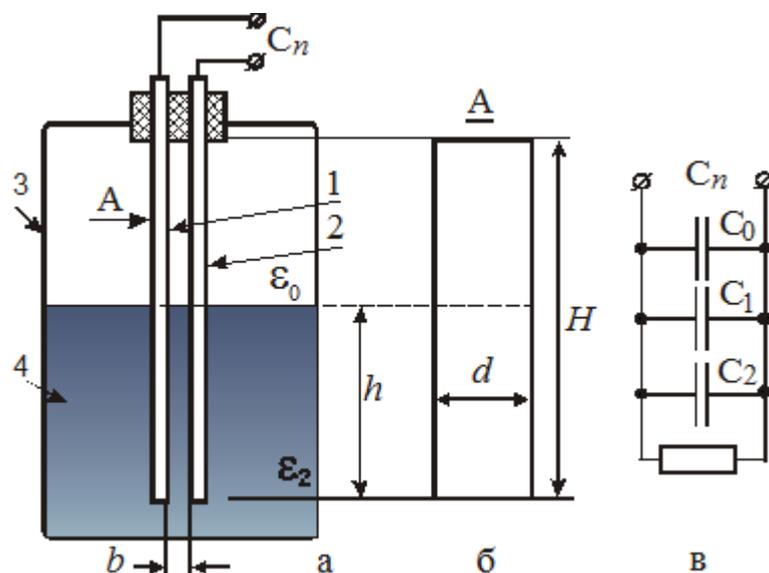


Figure 55 — Capacitance level sensors

Appropriate choice of probe materials reduces or eliminates problems caused by abrasion and corrosion. Point level sensing of adhesives and high-viscosity materials such as oil and grease can result in the build-up of material on the probe; however, this can be minimized by using a self-tuning sensor. For liquids prone to foaming and applications prone to splashing or turbulence, capacitance level sensors can be designed with splashguards or stilling wells, among other devices.

A significant limitation for capacitance probes is in tall bins used for storing bulk solids. The requirement for a conductive probe that extends to the bottom of the measured range is problematic. Long conductive cable probes (20 to 50 meters long), suspended into the bin or silo, are subject to tremendous mechanical tension due to

the weight of the bulk powder in the silo and the friction applied to the cable. Such installations will frequently result in a cable breakage.

A multi-interface level measurement system using a 64-segment capacitance sensor has been developed for use in oil separators. It can not only locate the multi-interfaces between different phases, such as gas/oil, oil/water and water/sludge, but also detect the foam layer between gas and oil. Experimental results show that the interfaces of gas/oil and oil/water can be easily identified by using a simple normalized difference algorithm and the foam signal has a unique spectrum that can be acquired by fast Fourier transform analysis.

Valuation

Since capacitance level sensors are electronic devices, phase modulation and the use of higher frequencies makes the sensor suitable for applications in which dielectric constants are similar. The sensor contains no moving parts, is rugged, simple to use, and easy to clean, and can be designed for high temperature and pressure applications. A danger exists from build-up and discharge of a high-voltage static charge that results from the rubbing and movement of low dielectric materials, but this danger can be eliminated with proper design and grounding.

Ultrasonic level sensors

The measurement is based on pulse echo and the levels are estimated by combining the measured time-of-flight of echoes from the fluid interfaces with the speed of sound in the propagation media. An ultrasonic level measurement system consists of an ultrasonic transmitter and an ultrasonic receiver (see Figure 55). The reflected signals from different interface levels, in the measurement volume, are received by the ultrasonic receiver, as the signals are the function of the density of the medium and the speed of sound in the medium. Different interfaces in a separator can be obtained by signal processing. This method has been used for continuous and discrete level monitoring.

Ultrasonic level sensors are used for non-contact level sensing of highly viscous liquids, as well as bulk solids. They are also widely used in water treatment applications for pump control and open channel flow measurement. The sensors emit

high frequency (20 kHz to 200 kHz) acoustic waves that are reflected back to and detected by the emitting transducer.

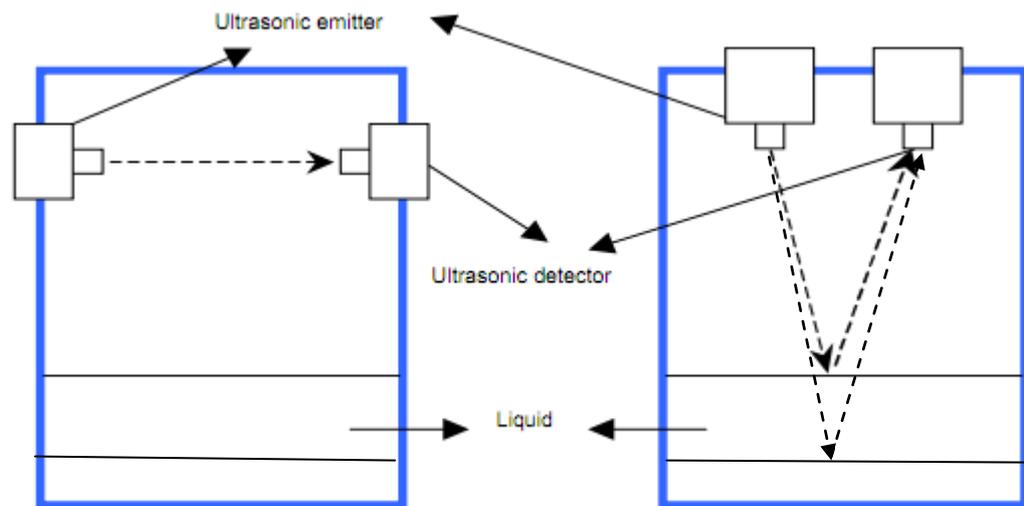


Figure 56 — Ultrasonic level sensors

Ultrasonic level sensors are also affected by the changing speed of sound due to moisture, temperature, and pressures. Correction factors can be applied to the level measurement to improve the accuracy of measurement.

Turbulence, foam, steam, chemical mists (vapors), and changes in the concentration of the process material also affect the ultrasonic sensor's response. Turbulence and foam prevent the sound wave from being properly reflected to the sensor; steam and chemical mists and vapors distort or absorb the sound wave; and variations in concentration cause changes in the amount of energy in the sound wave that is reflected back to the sensor. Stilling wells and wave guides are used to prevent errors caused by these factors.

Proper mounting of the transducer is required to ensure best response to reflected sound. In addition, the hopper, bin, or tank should be relatively free of obstacles such as weldments, brackets, or ladders to minimise false returns and the resulting erroneous response, although most modern systems have sufficiently "intelligent" echo processing to make engineering changes largely unnecessary except where an intrusion blocks the "line of sight" of the transducer to the target. Since the ultrasonic transducer is used both for transmitting and receiving the

acoustic energy, it is subject to a period of mechanical vibration known as “ringing”. This vibration must attenuate (stop) before the echoed signal can be processed. The net result is a distance from the face of the transducer that is blind and cannot detect an object. It is known as the “blanking zone”, typically 150mm – 1m, depending on the range of the transducer.

The requirement for electronic signal processing circuitry can be used to make the ultrasonic sensor an intelligent device. Ultrasonic sensors can be designed to provide point level control, continuous monitoring or both. Due to the presence of a microprocessor and relatively low power consumption, there is also capability for serial communication from to other computing devices making this a good technique for adjusting calibration and filtering of the sensor signal, remote wireless monitoring or plant network communications. The ultrasonic sensor enjoys wide popularity due to the powerful mix of low price and high functionality.

Valuation

The advantages of this system are that it is non-intrusive and easy to install on existing and new separators, and no calibration is needed. This system is in commercial use by Esso and Statoil. The disadvantage of this system is that it has difficulty in monitoring emulsion and foam . Also, the presence of air bubbles in the liquid attenuates/scatters the ultrasound waves. It becomes a big problem when a significant amount of air is present in the liquid. The presence of sand also causes problems in the operation of Ultrasonic Interface Level Detector.

Microwave sensors

Microwave sensors are ideal for use in moist, vaporous, and dusty environments as well as in applications in which temperatures and pressures vary. Microwaves (also frequently described as RADAR), will penetrate temperature and vapor layers that may cause problems for other techniques, such as ultrasonic. Microwaves are electromagnetic energy and therefore do not require air molecules to transmit the energy making them useful in vacuums. Microwaves, as electromagnetic energy, are reflected by objects with high conductive properties, like metal and conductive water. Alternately, they are absorbed in various degrees by 'low dielectric'

or insulating mediums such as plastics, glass, paper, many powders and food stuffs and other solids.

Microwave sensors are executed in a wide variety of techniques. Two basic signal processing techniques are applied, each offering its own advantages: Pulsed or Time-Domain Reflectometry (TDR) which is a measurement of time of flight divided by the speed of light, similar to ultrasonic level sensors, and Doppler systems employing FMCW techniques. Just as with ultrasonic level sensors, microwave sensors are executed at various frequencies, from 1 GHz to 30 GHz. Generally, the higher the frequency, the more accurate, and the more costly. Microwave is executed non-contact technique or guided. The first is done by monitoring a microwave signal that is transmitted through free space (including vacuum) and reflected back, or can be executed as a “radar on a wire” technique, generally known as Guided Wave Radar or Guided Microwave Radar. In the latter technique, performance generally improves in powders and low dielectric media that are not good reflectors of electromagnetic energy transmitted through a void (as in non-contact microwave sensors). But with the guided technique the same mechanical constraints exist that cause problems for the capacitance (RF) techniques mentioned previously by having a probe in the vessel.

Non contact microwave-based radar sensors are able to see through low conductivity 'microwave-transparent' (non-conductive) glass/plastic windows or vessel walls through which the microwave beam can be passed and measure a 'microwave reflective' (conductive) liquid inside (in the same way as to use a plastic bowl in a microwave oven). They are also largely unaffected by high temperature, pressure, vacuum or vibration. As these sensors do not require physical contact with the process material, so the transmitter /receiver can be mounted a safe distance above/from the process, even with an antenna extension of several metres to reduce temperature, yet still respond to the changes in level or distance changes e.g. they are ideal for measurement of molten metal products at over 1200 °C. Microwave transmitters also offer the same key advantage of ultrasonics: the presence of a microprocessor to process the signal, provide numerous monitoring, controls,

communications, setup and diagnostic capabilities and are independent of changing density, viscosity and electrical properties. Additionally, they solve some of the application limitations of ultrasonics: operation in high pressure and vacuum, high temperatures, dust, temperature and vapor layers. Guided Wave Radars can measure in narrow confined spaces very successfully, as the guide element ensures correct transmission to and from the measured liquid. Applications such as inside stilling tubes or external bridles or cages, offer an excellent alternative to float or displacement devices, as they remove any moving parts or linkages and are unaffected by density changes or build up. They are also excellent with very low microwave reflectivity products like liquid gasses (LNG, LPG, Ammonia) which are stored at low temperatures/high pressures, although care needs to be taken on sealing arrangements and hazardous area approvals. On bulk solids and powders, GWR offers a great alternative to radar or ultrasonic sensors, but some care needs to be taken over cable wear and roof loading by the product movement.

One perceived major disadvantage of microwave or radar techniques for level monitoring is the relatively high price of such sensors and complex set up. However, price has reduced significantly over the last few years, to match those of longer range ultrasonics, with simplified set up of both techniques also improving ease of use.

Guided Wave Radar level sensors

Output quality of the final product depends in many cases on how well raw materials separate, therefore, reliable data about actual interface level is crucial. Interface applications are very common in many industries, particularly in Oil & Gas, where, for example, oil/water interface needs to be controlled.

Different solutions can be used, but it is Guided Wave (GWR) Radar that has become a popular solution in a wide range of interface applications across different industries. This technical note provides comprehensive yet simple guidelines on how to achieve reliable interface measurements using Guided Wave Radar.

GWR technology is based on the Time Domain Reflectometry (TDR) principle. Low power nano-second-pulses are guided along a probe submerged in the process media. When a pulse reaches the surface of the material it is measuring, part

of the energy is reflected back to the transmitter, and the time difference between the generated and reflected pulse is converted into a distance from which the total level or interface level is calculated.

The speed of travel of the pulse is impacted by the dielectric of the medium. As the pulse travels through a different medium, such as oil, the speed of travel changes. This change in travel time is predictable and allows compensation for the measurement to be accomplished. The reflectivity of the product is a key parameter for measurement performance. A high dielectric constant (DC) of the media gives better reflection and a longer measuring range.

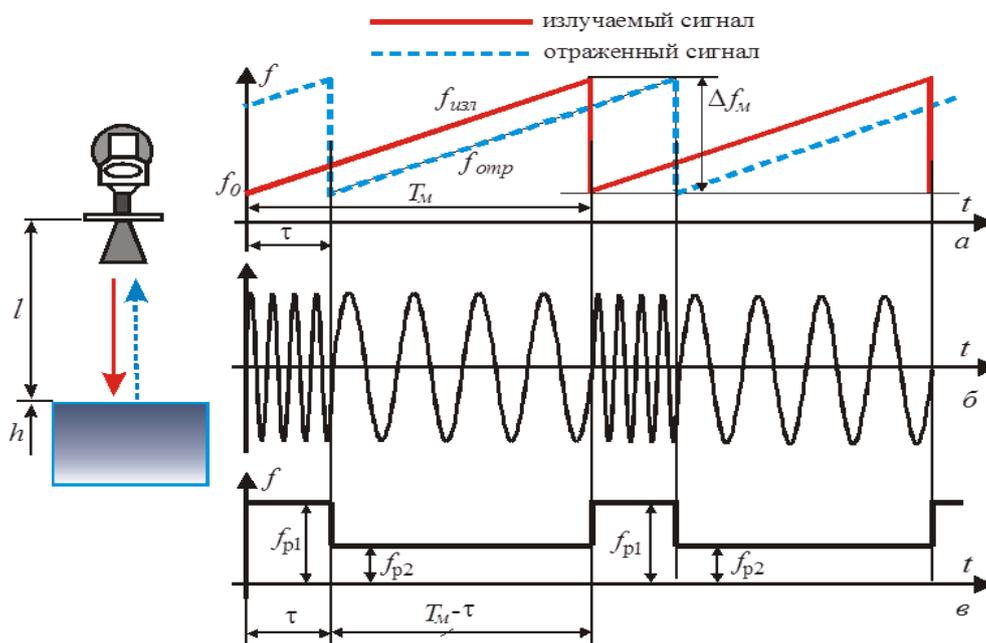


Figure 57 — GWR Level sensors

When there are two immiscible layers of fluid, and the lower dielectric fluid is the first seen by the GWR, most of the radar signal travels through the low dielectric material. Only a small part of the signal is reflected back to the device. When measuring level of products such as oil, with a dielectric of 2, less than 5% of the signal is reflected back to the transmitter. The rest of the signal travels through to the next fluid, which allows the interface of the two fluids to be detected.

Examples of typical GWR interface applications are oil over water, oil over acid, low dielectric organic solvents over water, low dielectric organic solvents over

acid. Low dielectric organic solvents include: toluene, benzene, cyclohexane, hexane, turpentine, xylene.

Valuation

GWR provides accurate and reliable interface measurements and can be used in a wide variety of applications. It is a top-down, direct measurement as it measures the distance to the product surface. GWR can be used with liquids, sludges, slurries, and some solids.

A key advantage of radar is that changes in pressure, temperature, and most vapor space conditions have no impact on the accuracy of its level measurements. Moreover, no compensation is necessary for changes in dielectric, conductivity, or density of the fluid. Changing density is one of the major issues when measuring level or interface using older technologies, such as displacers; they are more likely to happen due to changes in process or ambient conditions, and thus have more influence on the reliability and accuracy of density based technologies. GWR, in turn, provides reliable and maintenance-free measurements.

In addition, radar devices have no moving parts, so maintenance is minimal. GWR is easy to install and enables simple replacement of older technologies, even while there is liquid in the tank.

Radiometric level sensors

The radiometric measurement systems are used to localize the interface layer between two phases. These systems are even used in more complex processes to measure the density profile and thereby picturing the heights of the different product layers inside the vessel. In this way the characteristic of the emulsion layer can be monitored as well.

Gamma radiation is attenuated when transmitting a vessel. The attenuation by the heavy phase is much stronger due to its higher density. The light phase hardly attenuates and the gamma radiation arrives virtually without weakening at the detector side. Based on the measured intensity of the gamma radiation the height of the heavy phase and finally the location of the interface can be determined very precisely. The measurement is not affected by pressure, temperature, viscosity, colour

and chemical properties of the measured material. Consequently this results in the high reliability and low maintenance of the radiometric measurement systems, even under harsh operating and environmental conditions.

Valuation

The measurements are primarily applied in chemical plants and in the oil & gas industry e.g. on separator vessels. Whenever other measurement technologies fail to do their job due to temperature, pressure or geometrical issues, radiometric measurements can be counted on. Even caustic or acid fluids can be measured reliably with the Berthold systems. The measurement in extreme environments is the major benefit of the radiometric systems.

- § easy mounting outside of the vessel, easily accessible
- § not contacting the measured material
- § reliable technology for extreme conditions
- § no wear and tear, no maintenance
- § insensitive to scaling
- § easy commissioning and calibration
- § no re-calibration required