

Шаверин Никита Владимирович

**РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА И СРЕДСТВ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ
НЕФТЕПРОДУКТОВ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск - 2003

Работа выполнена в научно-исследовательском институте интроскопии при
Томском политехническом университете

Научный руководитель	Чахлов Владимир Лукьянович д.т.н., профессор ТПУ, г. Томск
Официальные оппоненты	Капранов Борис Иванович д.т.н., профессор ТПУ, г. Томск Сельский Андрей Анатольевич к.т.н., главный специалист по НК ООО НИЦТДЭиС "Регионтехсервис", г. Красноярск
Ведущая организация	Институт химии нефти СО РАН, г. Томск

Защита диссертации состоится 5 ноября 2003 г. в 15 часов на заседании дис-
сертационного совета Д 212.269.09 при Томском политехническом университете по
адресу: Россия, 634028, г. Томск, ул. Савиных 7, библиотека НИИ интроскопии.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического
университета.

Автореферат разослан 1 октября 2003 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета

Б.Б. Винокуров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Развитие современной техники характеризуется массовым внедрением систем автоматизированного управления и регулирования в различные отрасли промышленности. Однако на предприятиях нефтяной промышленности внедрение подобных систем производится не достаточно интенсивно, вызывая тем самым необходимость содержания многочисленного персонала для обслуживания производства и его значительное функциональное усложнение. Измерительные приборы, применяемые в настоящее время на предприятиях нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения, ориентированы, в основном, на измерение количественных параметров. Приборы контроля качественных параметров нефтепродуктов предназначены, в большинстве своем, для проведения лабораторных измерений и их использование в автоматизированных системах невозможно. Зарубежные средства измерения более полно удовлетворяют требованиям, предъявляемым к подобным системам, однако они не всегда доступны по цене для отечественного потребителя и их техническое обслуживание в отсутствие фирмы-изготовителя затруднительно.

Плотность следует считать универсальным и наиболее доступным для измерения качественным показателем нефти и нефтепродуктов. Ее автоматизированное измерение позволяет контролировать процесс переработки нефти, отслеживать выпуск некондиционной продукции, сортировать нефтепродукты и вести их массовый учет. Поэтому возникает необходимость в разработке новых автоматизированных средств измерения плотности, обеспечивающих необходимую точность, способных работать в сильно изменяющихся климатических условиях, удовлетворяющих требованиям взрывобезопасности и доступных по цене для отечественного потребителя.

Наиболее перспективным методом измерения плотности нефтепродуктов, удовлетворяющим вышеизложенным требованиям, следует считать ультразвуковой метод. Метод измерения плотности, использующий измерение скорости распространения ультразвуковых волн в нефтепродукте до настоящего момента не нашел широкого применения из-за посредственных метрологических характеристик. Тем не менее, с учетом предварительного установления вида контролируемого нефтепродукта и пересчетных зависимостей, применение данного метода позволяет упростить конструкцию первичных преобразователей и электронной схемы, обеспечить необходимую точность измерения плотности, повысить чувствительность и выполнить требования взрывобезопасности.

Анализ известных из литературы температурных зависимостей скорости распространения ультразвука и плотности нефтепродуктов обнаруживает существенные расхождения, их применение в существующем методе измерения практически невозможно. Поиск новых зависимостей и алгоритмов пересчета скорости распространения ультразвука в нефтепродуктах к их плотности обусловлено проведение исследований в данной области.

Цель

Разработка ультразвукового метода автоматизированного контроля плотности нефтепродуктов и аппаратуры для его реализации.

Задачи

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать особенности распространения ультразвука в углеводородах и углеводородных смесях;
2. Исследовать взаимосвязь между скоростью распространения ультразвука в нефти и нефтепродуктах и их плотностью с целью выявления новых закономерностей;
3. Разработать способ группировки нефтепродуктов на классы и критерий принадлежности отдельного нефтепродукта к какому-либо классу с целью их разделения по схожим физико-химическим свойствам;
4. Разработать метод определения плотности принадлежащего отдельному классу нефтепродукта на основании измерения скорости распространения в нем ультразвука и его температуры;
5. Провести анализ погрешностей метода и способов их уменьшения;
6. Разработать реализующую метод аппаратуру, удовлетворяющую требованиям взрывобезопасности, временной и температурной стабильности;
7. Разработать алгоритмы получения первичной информации о скорости распространения ультразвука в нефтепродукте и его температуре;
8. Разработать алгоритмы обработки первичной информации и коррекции погрешностей измерений;
9. Провести лабораторные и промышленные испытания аппаратуры с целью подтверждения работоспособности метода.

Научная новизна

1. Найден и сформулирован новый критерий разделения нефтепродуктов по подгруппам на основании изотермической зависимости скорости распространения ультразвука от плотности;
2. Разработан новый способ определения плотности нефтепродуктов путем нахождения оптимальной функциональной зависимости скорости распространения ультразвука от плотности;
3. Разработан новый способ определения плотности нефтепродуктов путем построения пересчетной зависимости скорости распространения ультразвука в плотность в процессе проведения измерения;
4. Разработан оригинальный способ регистрации принимаемого ультразвукового сигнала.

Практическая ценность

1. Получены экспериментальные зависимости скорости распространения ультразвука от температуры и плотности для нефти, продуктов ее первичной переработки, товарных бензинов и некоторых органических жидкостей, которые могут быть положены в основу отраслевых стандартов и методик;
2. Разработана технологическая схема автоматизированного контроля плотности нефтепродуктов в обводной линии магистрального трубопровода;
3. Разработана принципиальная схема датчика плотности, позволяющая прибору сохранять свои параметры в широком диапазоне температур и удовлетворять требованиям взрывобезопасности;

4. Разработана стойкая к температурным перепадам конструкция ультразвукового измерительного преобразователя, способная работать в условиях повышенного давления агрессивной среды;

5. Разработаны алгоритмы получения и обработки первичной информации о скорости распространения ультразвука в нефтепродукте и его температуре в условиях повышенного уровня акустических помех в трубопроводе и температурного расширения материалов конструкции датчика плотности;

6. Разработаны алгоритмы пересчета скорости распространения ультразвука в нефтепродуктах в плотность.

Тезисы, выносимые на защиту

Автор защищает следующие результаты проведенных исследований:

1. Способ и критерий выделения нефтепродуктов в подгруппы по схожим физико-химическим свойствам;

2. Способ определения плотности нефтепродуктов по оптимальной пересчетной зависимости скорости распространения ультразвука в плотность;

3. Способ определения плотности нефтепродуктов построением пересчетной зависимости скорости распространения ультразвука в плотность;

4. Способ регистрации принимаемого ультразвукового сигнала;

5. Стойкую к температурным ударам и некритичную к сборке конструкцию ультразвукового измерительного преобразователя;

6. Функциональную схему датчика плотности, алгоритм ее работы и схемотехнические решения отдельных ее узлов, в частности генератор и приемник ультразвуковых колебаний, измеритель температуры и арифметико-логическое устройство;

7. Систему автоматизированного контроля плотности нефтепродуктов и алгоритм ее работы.

Апробация работы

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. VIII международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых “Современные техника и технологии”, г. Томск, 2002.

2. IX международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых “Современные техника и технологии”, г. Томск, 2003.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ в центральных изданиях, список которых приведен в конце автореферата. Получено три положительных решения о выдаче патента на изобретение.

Использование полученных результатов

Результаты работы использованы при разработке системы автоматизированного контроля плотности нефти и нефтепродуктов в ООО “Системы контроля”, г. Томск. Разработанная система “Ультразонд-50” применяется для оперативного контроля качества выпускаемой продукции в ОАО “Сибнефть – Омский нефтеперерабатывающий завод”.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, изложенных на 182 страницах машинописного текста, содержит 83 рисунка, 12 таблиц. Список литературы включает 159 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, дана общая характеристика проблемы, рассматриваемой в работе, определены цели, выделены основные положения, отражающие новизну проводимых исследований.

В первой главе приведена характеристика нефти и нефтепродуктов, их углеводородного и химического составов как объектов контроля, сформулированы требования к автоматическим приборам контроля плотности нефти и нефтепродуктов для систем автоматизированного управления технологическим процессом нефтепереработки и контролем качества при хранении и отпуске нефтепродуктов. Проведен краткий аналитический обзор состояния современных методов и средств контроля плотности жидких сред.

В главе показано, что поплавковые, динамические, силовые, гидростатические, вибрационные и т.п. методы не подходят для автоматизированного контроля плотности из-за наличия подвижных и быстроизнашивающихся частей конструкции первичных датчиков. Доказана нецелесообразность использования радиоизотопного метода в случаях, когда имеется возможность применения других методов.

Обзор ультразвуковых методов показал, что для контроля плотности жидкости производится измерение амплитуды ультразвукового сигнала или скорости распространения ультразвука. Амплитудное измерение сигнала при определении звукового давления или величины приемного ультразвукового импульса вызывает необходимость поддержания постоянного излучающего импульса и применения дорогостоящих ультразвуковых датчиков с жестко нормированными параметрами. Все это усложняет конструкцию измерителя плотности. Достаточно простыми в реализации и надежными в эксплуатации представляются скоростные ультразвуковые методы, заключающиеся в измерении скорости распространения ультразвуковых колебаний в исследуемой жидкости. Выявлено, что подобные методы обладают некоторыми особенностями, к которым, в частности, относится необходимость проведения калибровки на определенный вид жидкости.

Таким образом, показана необходимость проведения исследований, приведены основные выводы, сформулированы задачи работы.

Во второй главе изложены результаты разработки метода определения плотности жидкости из класса со схожими физико-химическими свойствами.

Скорость распространения ультразвука в жидкостях может быть рассчитана на основании их физико-химического строения, однако анализ литературных данных обнаруживает непостоянство углеводородного состава нефти и нефтепродуктов. Поэтому, не смотря на все преимущества, теоретический расчет скорости распространения ультразвука в нефти и нефтепродуктах затруднен и практически невозможен.

Для расчета значений скорости звука представляется возможным установление эмпирической зависимости для нефти и нефтепродуктов. Изменение скорости звука при изменении температуры в основном определяется температурной зависимостью сжимаемости жидкости. Во всех органических жидкостях, к которым относятся

углеводороды, сжимаемость значительно увеличивается при повышении температуры, что вызывает уменьшение скорости звука по линейному закону:

$$c = c_0 + \alpha_t \cdot \Delta t \quad (1)$$

где c_0 – начальная скорость звука; α_t – температурный коэффициент; Δt – изменение температуры.

У нефти и большинства нефтепродуктов наблюдается также линейная зависимость плотности от температуры и для них справедливо соотношение:

$$\frac{\rho_1 - \rho_2}{t_2 - t_1} = \alpha \quad (2)$$

где ρ_1, ρ_2 – плотности нефти при температурах t_1 и t_2 соответственно, α – постоянная для каждого нефтепродукта величина, выражающая зависимость плотности от температуры.

Для изучения природы ультразвука в нефти и нефтепродуктах очень важным является исследование распространения ультразвуковых волн не только в чистых углеводородах, таких как пентан, гексан, гептан, толуол и т.д., где наблюдается увеличение скорости распространения ультразвука с увеличением молекулярного веса и, соответственно, плотности, но и в их смесях. Смеси разделяются на нормальные и смеси ассоциированных компонентов. Для случая, когда молекулы хотя бы одного из компонентов ассоциированы, например, при посредстве водородных мостиков, которые разрушаются при введении второго компонента, характер зависимости скорости распространения ультразвука и адиабатической сжимаемости от концентраций составляющих ассоциированную смесь имеет довольно сложный характер и прогнозирование их поведения при большом количестве компонентов в смеси задача весьма сложная. Компоненты нормальной смеси подчиняется известному закону аддитивности:

Для скорости ультразвука:

$$c_{см} = c_1 \cdot C_{w1} + c_2 \cdot (1 - C_{w1}) \quad (3)$$

где c_1 и c_2 – скорости ультразвука первой и второй компонент, $c_{см}$ – скорость ультразвука в смеси, C_{w1} – весовая концентрация первой смеси.

Для плотности:

$$\rho_{см} = C_1 \cdot \rho_1 + C_2 \cdot \rho_2 \quad (4)$$

где C_1, C_2 – средние концентрации компонентов в смеси.

Поскольку нефть и нефтепродукты представляют собой многокомпонентную нормальную смесь углеводородов, для расчетов возможно применение закона аддитивности с учетом того, что:

1. В тяжелых нефтепродуктах температурные зависимости скорости распространения ультразвука и плотности выражены слабее, чем в легких;
2. Существует однозначная корреляция между положением температурной зависимости скорости ультразвука и плотности на соответствующих графиках нефтепродуктов.

Для подтверждения теоретических предпосылок были проведены экспериментальные исследования температурных зависимостей плотности и скорости распространения ультразвука в нефти, продуктах ее первичной переработки, товарных бензинах и некоторых органических жидкостях. Полученные температурные зависимости скорости и плотности аппроксимируются линейными функциями, при-

веденными в таблице 1, а анализ значений скорости ультразвука и плотности при одинаковой температуре подтверждают вышеуказанные предположения.

Таблица 1

Аппроксимация экспериментальных данных

№	Нефтепродукт	ρ_{20}	c_{20}	$c(t) =$	$\rho(t) =$	$\rho(c) =$
1.	Нефть	845	1366	$-3,95t+2523,9$	$-0,70t+1050,5$	$0,1770c+603,8$
2.	Фр. НК-62	651	1064	$-4,95t+2514,2$	$-0,92t+920,3$	$0,1852c+454,7$
3.	Бензин Е-6	702	1142	$-4,77t+2536,6$	$-0,87t+959,0$	$0,1836c+493,1$
4.	Фр. 62-85	707	1156	$-4,75t+2545,2$	$-0,87t+961,0$	$0,1824c+496,6$
5.	Бензин К-3	741	1209	$-4,58t+2549,4$	$-0,81t+978,9$	$0,1772c+527,2$
6.	Бензин К-6	766	1250	$-4,33t+2518,2$	$-0,74t+982,9$	$0,1723c+549,1$
7.	ДТл	841	1392	$-3,92t+2540,6$	$-0,67t+1037,7$	$0,1718c+601,2$
8.	Продукт К-9	843	1397	$-3,67t+2471,8$	$-0,64t+1030,6$	$0,1734c+602,0$
9.	ДТ ВСС	844	1394	$-3,71t+2481,2$	$-0,64t+1031,2$	$0,1720c+604,4$
10.	2-й погон	881	1450	$-3,68t+2526,1$	$-0,66t+1074,2$	$0,1794c+621,0$
11.	3-й погон	893	1474	$-3,51t+2502,9$	$-0,64t+1080,3$	$0,1807c+627,9$
12.	4-й погон	907	1490	$-3,29t+2453,7$	$-0,62t+1089,3$	$0,1878c+628,4$
13.	5-й погон	923	1509	$-3,25t+2461,8$	$-0,60t+1098,5$	$0,1846c+643,9$
14.	Мазут	938	1513	$-3,29t+2476,8$	$-0,60t+1113,6$	$0,1828c+660,8$
15.	Гудрон	988	1581	$-3,43t+2586,1$	$-0,61t+1166,3$	$0,1766c+709,5$
16.	Бензин А-80	714	1145	$-4,69t+2519,8$	$-0,87t+969,3$	$0,1859c+501,0$
17.	Бензин А-92	744	1176	$-4,70t+2557,7$	$-0,88t+1003,4$	$0,1872c+524,7$
18.	Бензин А-95	752	1192	$-4,64t+2549,1$	$-0,88t+1012,3$	$0,1908c+525,6$
19.	Масло	877	1525	$-4,07t+2715,2$	$-0,63t+1061,2$	$0,1546c+641,3$
20.	ТЖ	1043	1504	$-3,95t+2662,0$	$-0,77t+1268,4$	$0,1951c+748,8$
21.	Тосол	1076	1808	$-1,11t+2133,4$	$-0,48t+1216,8$	$0,4341c+290,7$

На рисунке 1 изображены зависимости скорости распространения ультразвука от плотности при температуре 20°C для всех исследуемых жидкостей. Анализ графика обнаруживает три явно выраженных линейных зависимости: 1 – продукты первичной переработки нефти; 2 – нефть, мазут и гудрон; 3 – бензины А-80, А-92 и А-95. Подобное разделение объясняется тем, что продукты первичной переработки нефти (от легкой фракции НК-62 до тяжелого 5-го нефтяного погона) получают исключительно путем температурной разгонки нефти и не содержат в своем составе компонентов, кроме углеводородов; исследуемая нефть, мазут и гудрон имеют черный цвет (так называемые “черные” нефтепродукты), обусловленный наличием в них тяжелых нефтяных фракций (асфальтенов и т.д.), примесей и взвешенных частиц; все товарные бензины получают в результате вторичной переработки нефти и могут содержать в своем составе различные присадки, улучшающие их эксплуатационные свойства. Группировка жидкостей по изотермическим зависимостям скорости ультразвука от плотности позволяет выделять семейства (классы) со схожими физико-химическими свойствами. Тосол, тормозная жидкость и моторное масло, видимо, образуют другие семейства, не исследуемые в данной работе.

Обнаруженный способ разделения нефтепродуктов может являться критерием принадлежности нефтепродукта к какому-либо семейству и использоваться при разработке алгоритмов вычисления его плотности. В главе приведены зависимости $c(t)$,

$\rho(t)$ и $c(\rho)$ для каждой подгруппы, подтверждающие описанный выше способ группировки.

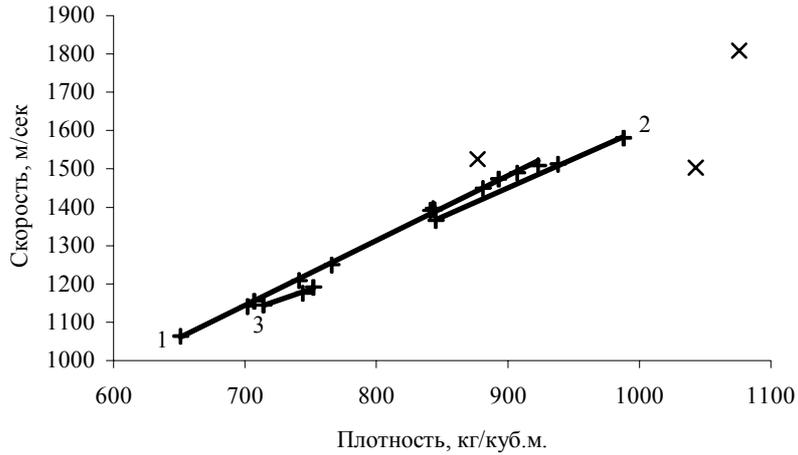


Рис. 1. Зависимости скорости распространения ультразвука от плотности при температуре 20°C. 1 – продукты первичной переработки нефти; 2 – “черные” нефтепродукты; 3 – товарные бензины

Определение плотности нефтепродуктов ультразвуковыми скоростными методами может быть произведено в случае знания вида контролируемого нефтепродукта и наличие для него априори установленной зависимости $c = f(\rho)$. Если предварительное получение зависимости $c = f(\rho)$ не представляет особой трудности, то выбор необходимой зависимости из имеющегося набора, наиболее полно подходящей для контролируемого нефтепродукта, затруднен. С этой целью весь набор калибровочных зависимостей разделяется на подгруппы по описанному выше критерию. В этом случае с учетом определенной при фиксированной температуре скорости распространения ультразвука производится идентификация нефтепродукта путем определения оптимальной зависимости $c(t)$ подстановкой измеренной температуры $t_{изм}$ в каждую из экспериментально полученных калибровочных зависимостей скорости распространения ультразвука от температуры $c(t)$ для всего семейства, вычисления расчетного значения скорости распространения ультразвука c_i для каждой зависимости по выражению $c_i = a_i t_{изм} + b_i$ и определения абсолютных отклонений Δc_i значений скорости распространения ультразвука $c_{изм}$, полученного в результате измерения, от расчетных значений c_i :

$$\Delta c_i = |c_{изм} - c_i| \quad (5)$$

Наименьшее отклонение Δc_i определяет вид контролируемого нефтепродукта, в соответствии с которым выполняют пересчет измеренной скорости распространения ультразвука $c_{изм}$ в плотность ρ по соотношению $\rho = f(c)$ для данного нефтепродукта. В случае, показанном на рисунке 2, в качестве пересчетной выбирается зависимость

$\rho_3(c)$, так как точка А с координатами $c_{изм}$ и $t_{изм}$ лежит на $c_3(t)$ в семействе предварительно установленных зависимостей $c(t)$ и отклонение $\Delta c_3 \rightarrow 0$.

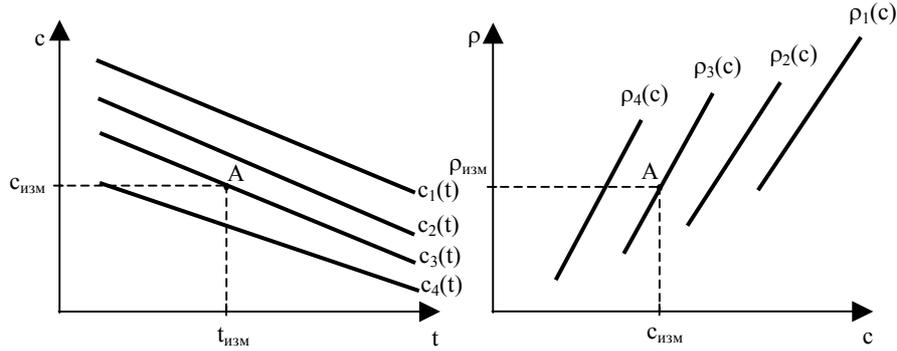


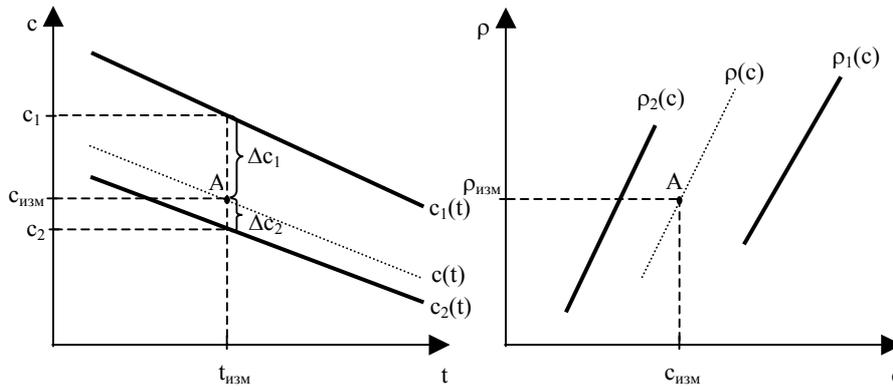
Рис. 2. Пример определения оптимальной пересчетной зависимости $\rho(c)$

Однако нефть и нефтепродукты представляют собой смесь углеводородов, состав которой отнюдь не постоянен, и описанный выше способ определения оптимальной пересчетной зависимости из имеющегося набора для какого-либо семейства с регламентированной точностью может использоваться для контроля нефтепродуктов с относительно стабильными параметрами. В то же время, если в процессе измерения плотности нефтепродукта определить местоположение его зависимостей, то можно построить теоретическую $\rho = f(c)$ уже непосредственно для данного нефтепродукта, предварительно установленные зависимости $c(t)$ и $\rho(c)$ которого могут отсутствовать или существенно отличаться от необходимых.

Для этого на основании измеренной скорости распространения ультразвука $c_{изм}$ и температуры контролируемого нефтепродукта $t_{изм}$ выбираются две близлежащие зависимости скорости распространения ультразвука от температуры из семейства предварительно установленных калибровочных зависимостей. Выбор близлежащих зависимостей производится подстановкой измеренной температуры $t_{изм}$ в каждую из предварительно установленных калибровочных зависимостей скорости распространения ультразвука от температуры $c(t)$ для всего семейства нефтепродуктов, вычислением расчетного значения скорости распространения ультразвука c_i для каждой зависимости по выражению $c_i = a_i \cdot t_{изм} + b_i$ и определением абсолютных отклонений Δc_i по выражению:

$$\Delta c_i = c_{изм} - c_i \quad (6)$$

Абсолютные значения двух наименьших отклонений Δc_i и Δc_{i+1} определяют близлежащие зависимости $c_1(t)$ и $c_2(t)$ из семейства предварительно установленных зависимостей. В случае равенства нулю одного из отклонений задача сводится к рассмотренной ранее; в случае неравенства нулю ни одного из двух отклонений, пересчетная зависимость $\rho = f(c)$ устанавливается расчетным путем, как показано на рисунке 3.

Рис. 3. Пример расчета зависимости $\rho(c)$

По отклонениям определяется, где находится полученная в результате измерения точка А: между соседними зависимостями (одно из отклонений больше нуля, второе меньше), выше всех зависимостей (более тяжелый нефтепродукт - оба отклонения больше нуля), ниже всех зависимостей (более легкий нефтепродукт - оба отклонения меньше нуля). Далее, пользуясь законом аддитивности, в первом случае плотность нефтепродукта вычисляется по выражению:

$$\rho = \frac{\rho_1(c_{изм}) \cdot |\Delta c_2| + \rho_2(c_{изм}) \cdot |\Delta c_1|}{|\Delta c_1| + |\Delta c_2|} \quad (7)$$

где $\rho_1(c_{изм})$ и $\rho_2(c_{изм})$ – значения плотности, вычисленные по соседним пересчетным зависимостям.

во втором:

$$\rho = \frac{\rho_1(c_{изм}) \cdot (|\Delta c_1| + |\Delta c_2|) - \rho_2(c_{изм}) \cdot |\Delta c_1|}{|\Delta c_2|} \quad (8)$$

и в третьем:

$$\rho = \frac{\rho_2(c_{изм}) \cdot (|\Delta c_1| + |\Delta c_2|) - \rho_1(c_{изм}) \cdot |\Delta c_2|}{|\Delta c_1|} \quad (9)$$

На рисунке 4 приведен пример расчета плотности продуктов первичной переработки нефти “бензин К-6” и “3-й погон” по приведенному выше способу в сравнении с измеренными ареометром значениями. Расхождение измеренных и расчетных значений плотности не превышает $1,5 \text{ кг/м}^3$, что позволяет не только идентифицировать контролируемый нефтепродукт в семействе предварительно установленных зависимостей, но и формировать пересчетную зависимость непосредственно для него по описанному выше способу.

На рисунке 5 изображены температурные зависимости скорости ультразвука и плотности товарных бензинов А-80 и А-92 вместе с аналогичными зависимостями их объемных смесей при соотношении бензинов 2:1, 1:1 и 1:2.

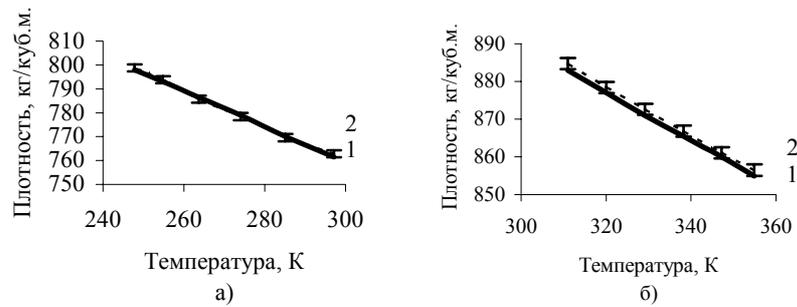


Рис. 4. Температурные зависимости измеренной (1) и рассчитанной (2) плотности нефтепродукта “бензин К-6” (а) и “3-й погон” (б)

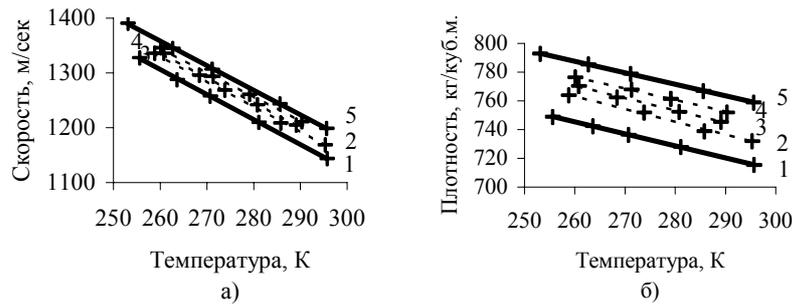


Рис. 5. Температурные зависимости скорости ультразвука (а) и плотности (б) товарных бензинов и их объемных смесей. 1 – 100% А-80; 2 – 66% А-80 + 33 % А-92; 3 – 50% А-80 + 50% А-92; 4 – 33% А-80 + 66% А-92; 5 – 100% А-92

Приведенные на рисунке 6 зависимости скорости ультразвука от плотности подтверждают правомерность применения закона аддитивности, т.к. наблюдается однозначная корреляция между положением зависимости смеси относительно зависимостей бензинов и концентрацией каждого из бензина в смеси. Это позволяет определять наличие в нефтепродукте посторонней примеси (другого нефтепродукта).

Проведенные экспериментальные исследования позволяют утверждать о разработке нового ультразвукового метода измерения плотности нефтепродуктов, способного обеспечить измерение плотности с погрешностью, не превышающей 1,5-2 кг/м³.

В главе также приведен анализ факторов, негативно влияющих на точность измерения плотности, выявлены источники их возникновения, предложены варианты их уменьшения, определены эксплуатационные ограничения метода и сформированы направления разработки средств измерения.

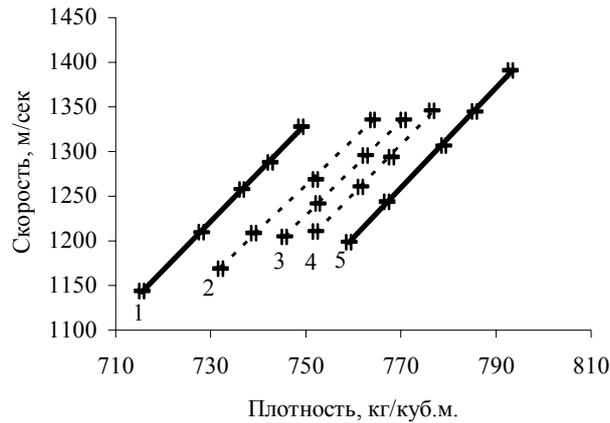


Рис. 6. Зависимости скорости ультразвука от плотности товарных бензинов и их объемных смесей. 1 – 100% А-80; 2 – 66% А-80 + 33 % А-92; 3 – 50% А-80 + 50% А-92; 4 – 33% А-80 + 66% А-92; 5 – 100% А-92

Третья глава работы посвящена разработке системы автоматизированного контроля плотности нефтепродуктов.

В главе подробно проанализированы всевозможные рамки и ограничения, накладываемые на конструкцию датчика плотности, способ его монтажа, преобразовательные элементы, материалы и электронные компоненты в условиях контроля агрессивной взрывоопасной среды при повышенном давлении. Обоснован выбор метода двух измерительных преобразователей для измерения скорости распространения ультразвука в нефтепродуктах.

Областью применения автоматических измерителей плотности нефтепродуктов обуславливаются некоторые конструкционные особенности блока преобразователей, встраиваемого в магистральный трубопровод. Трубопровод с внутренним диаметром 50 мм наиболее часто применяется при транспортировке нефтепродуктов на автозаправочных станциях и монтаж наиболее целесообразно проводить в одном из фланцевых соединений трубопровода, как показано на рисунке 7а. Однако при переработке нефти на нефтеперерабатывающих заводах и транспортировке нефтепродуктов на нефтебазах применяются трубопроводы большого диаметра (до 200 мм и более). Изготовление блока преобразователей таких размеров значительно ухудшает его массогабаритные и стоимостные показатели, а также усложняет монтаж и возможный ремонт измерителя плотности необходимостью опорожнения трубопровода. В этом случае целесообразность монтажа блока преобразователей в байпасном отводе магистрального трубопровода, как показано на рисунке 7б, очевидна.

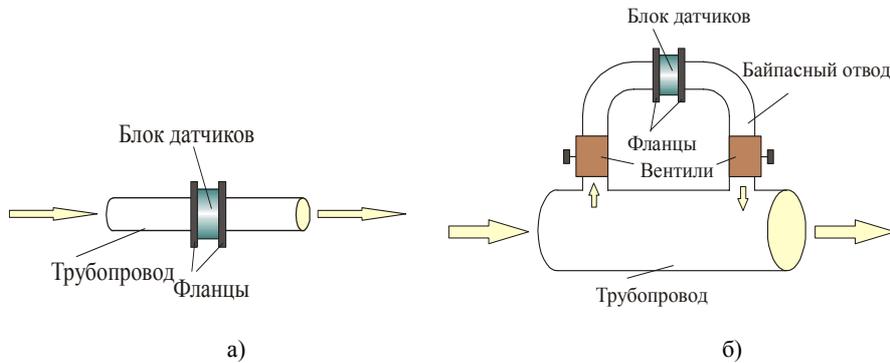


Рис. 7. Монтаж измерителя плотности во фланцевом соединении трубопровода (а), и в байпасном отводе трубопровода (б)

Наиболее важным с точки зрения надежности работы измерителя плотности является безотказность в условиях значительных температурных перепадов. В сильно изменяющихся условиях эксплуатации ультразвуковых датчиков применяемое в конструкции клеевое и паяное соединение может дать значительную усадку, что увеличивает вероятность выхода его из строя, поэтому разработанная конструкция преобразователя выполнена разборной. Существенное влияние на ослабление сигнала оказывает непараллельность измерительных преобразователей между собой, а также плоскостей протектора самого преобразователя. Особенно это становится заметным при узкой диаграмме направленности излучателя, при которой допуск на взаимную непараллельность датчиков должен задаваться в пределах $\pm 0,1$ мм, а допуск на параллельность плоскостей протектора составлять величину $\pm 0,02$ мм. Изготовление датчиков с подобными допусками в массовом производстве нецелесообразно по причине большой стоимости. Уменьшение частоты до 150 кГц несколько расширяет диаграмму направленности, что позволяет смягчить требования к точности изготовления датчиков наряду с повышением прочности пьезопластины, вызванным увеличением ее толщины до 10-12 мм. На рисунке 8 приведена конструкция разработанного ультразвукового измерительного преобразователя, отличающаяся своей простотой и надежностью. Она обеспечивает достаточный для обработки электрический сигнал на приемнике (при величине акустической базы до 50 мм) в случае управления излучателем электрическим импульсом, амплитуда которого не превышает 12 В, по требованиям взрывобезопасности.

Удаленность объектов контроля плотности друг от друга и от места сбора информации обуславливает разделение системы на два функциональных блока (рисунок 9): устанавливаемые непосредственно на объектах контроля датчики, выполняющие необходимые для определения плотности нефтепродукта измерения скорости распространения в нем ультразвуковых колебаний и температуры нефтепродукта; располагающееся в операторской устройстве управления, осуществляющее включение и выключение датчиков, прием и обработку первичной информации, расчет текущей и приведенной плотностей, а также отображение данных о плотности и их передачу в управляющую АСУ ТП.

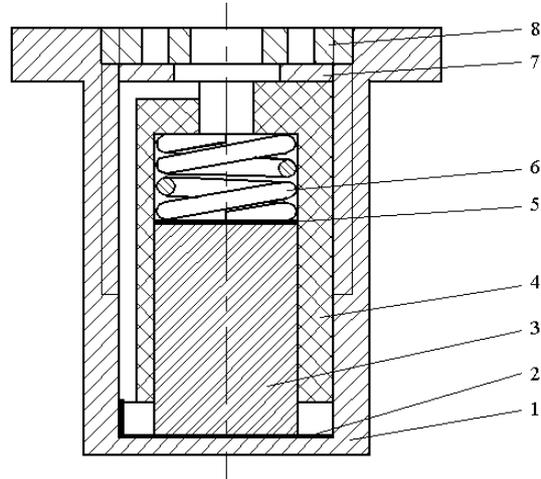


Рис. 8. Конструкция ультразвукового измерительного преобразователя.
1 – корпус, 2 – нижний электрический контакт, пьезопластина, 4 – фторопластовый стакан, 5 – верхний электрический контакт, 6 – пружина, 7 – шайба, 8 – стопорная гайка

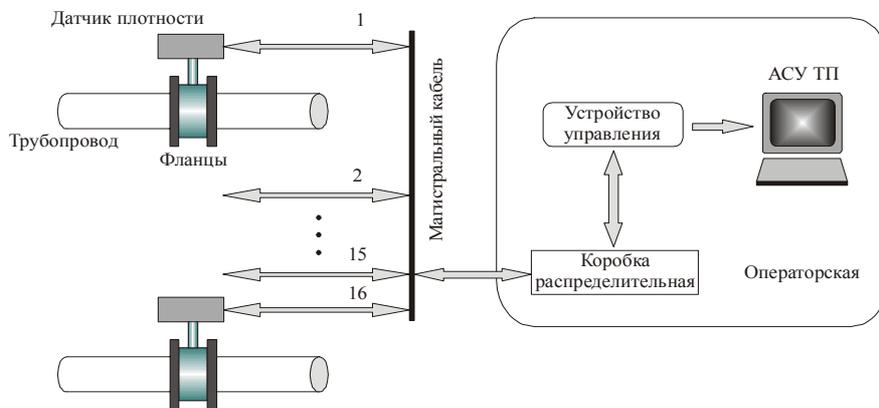


Рис. 9. Функциональная схема системы.

Функционирование устройства управления осуществляется по разработанной и записанной во встроенный микроконтроллер программе. В его памяти хранятся функциональные зависимости скорости ультразвука от температуры и пересчетные зависимости плотности от скорости ультразвука для нефти и нефтепродуктов, сгруппированные по описанному выше способу. Расчет приведенной плотности произво-

дится по ГОСТ 3900-85, таблицы перевода которого также записаны в память микроконтроллера.

В основу измерения скорости распространения ультразвука в нефтепродукте положено формирование и последующее измерение временного интервала, равного времени распространения ультразвука. Измерение длительности временного интервала производится подсчетом заполняющих его импульсов, формируемых генератором тактовых импульсов частотой 48 МГц. Схема измерения времени распространения ультразвука, представленная на рисунке 10, состоит из генератора и приемника колебаний, включающих измерительные преобразователи, формирователя временных интервалов, генератора тактовых импульсов, счетчика и арифметического устройства, функции которого выполняет микроконтроллер.

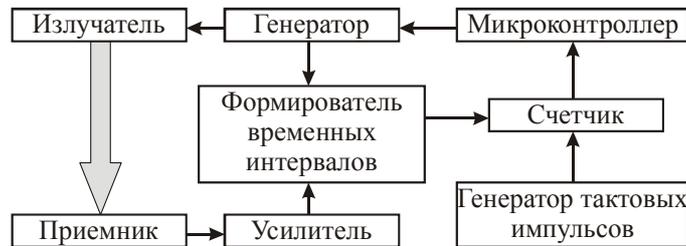


Рис. 10. Функциональная схема измерения времени распространения ультразвука

Для обеспечения высокой точности измерения времени распространения акустических колебаний все функциональные узлы должны удовлетворять требованиям температурной и временной стабильности. Цифровая часть схемы – формирователь временных интервалов – счетчик – генератор тактовых импульсов – микроконтроллер, обеспечивают довольно высокий уровень стабильности. В аналоговой части – генераторе и приемнике колебаний, могут возникнуть различные температурные и временные флуктуации, связанные со временем прохождения сигнала по электронным компонентам, скоростью нарастания его фронта и т.д. В главе приводятся оригинальные принципиальные схемы генератора и приемника ультразвуковых колебаний, обладающих стабильными параметрами.

С целью повышения точности регистрации принимаемого ультразвукового сигнала в усилителе выделяется и усиливается второй полупериод из принимаемого сигнала. Второй полупериод колебаний изменяется по амплитуде от нулевого уровня до напряжения питания с большей скоростью, погрешность регистрации в этом случае вдвое меньше, чем в случае регистрации первого импульса по причине большей амплитуды и, следовательно, большей скорости нарастания фронта второго полупериода. Точность единичного измерения времени определяется частотой заполняющих импульсов f , однако применение известного способа накопления N результатов измерения позволило уменьшить погрешность одиночного зондирования в \sqrt{N} раз.

Обобщенная структурная схема датчика плотности и его внешний вид приведены на рисунке 11.

– 700 Гц при значении ускорений свыше 10g. При частоте вибрации 400 Гц работоспособность датчиков плотности сохраняется при ускорениях до 4g.

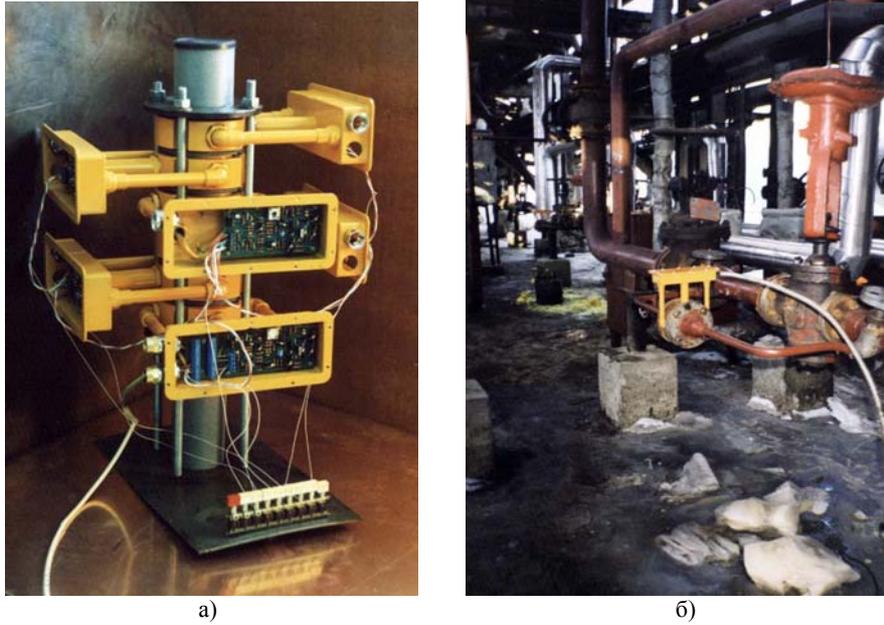


Рис. 12. Установка для лабораторных испытаний системы (а), датчик плотности на установке АВТ-10 Омского НПЗ (б)

В заключении сформулированы основные результаты работы и выводы, отвечающие целям проведенных исследований.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ особенностей нефти и нефтепродуктов как контролируемой среды и определены требования к аппаратуре для контроля ее плотности.
2. Проведены теоретические исследования особенностей распространения ультразвука в углеводородах и нефтепродуктах, обнаружившие невозможность расчета скорости ультразвука в нефти и нефтепродуктах по причине нестабильности их углеводородного и химического составов, а также правомерность применения для расчета плотности и скорости ультразвука закона аддитивности.
3. Проведены экспериментальные исследования и получены температурные зависимости скорости ультразвука и плотности нефти, продуктов ее первичной переработки, товарных бензинов и некоторых органических жидкостей.
4. На основании анализа изотермических зависимостей скорости распространения ультразвука от плотности выявлен способ сортировки нефтепродуктов по классам со схожими физико-химическими свойствами и критерий принадлежности отдельного нефтепродукта к какому-либо классу.

5. Разработан способ выбора из калибровочных зависимостей оптимальной для пересчета скорости ультразвука в плотность на основании скорости распространения ультразвука в нефтепродукте при фиксированной температуре.
6. На основе закона аддитивности для простых смесей разработан способ теоретического расчета пересчетной зависимости для контролируемого нефтепродукта в процессе проведения измерения плотности.
7. Исследованы метрологические характеристики, выявлены источники погрешностей и определены требования к созданию и эксплуатации плотномера.
8. Разработана технологическая схема контроля плотности с разнесенными ультразвуковыми преобразователями, закрепленными во встраиваемой во фланцевое соединение основного или обводного трубопровода кольцевой вставке.
9. Разработан стойкий к температурным перепадам вариант ультразвукового измерительного преобразователя, способного работать в агрессивной среде.
10. Разработаны оригинальные электрические схемы ультразвукового измерителя плотности, отвечающие требованиям температурной стабильности и взрывозащиты по классу "искробезопасная электрическая цепь".
11. Разработана система автоматизированного контроля плотности нефтепродуктов и алгоритм ее работы.
12. Проведенные испытания экспериментальных образцов и опытной партии измерителей плотности в лабораторных и производственных условиях подтвердили правильность полученных в настоящей работе результатов.

Основные материалы диссертации отражены в следующих работах:

1. Заявка 2001129647/28(031578) Россия, МПК G 01 N 29/00. Способ регистрации принимаемого ультразвукового сигнала/ Шаверин Н.В., Чепрасов А.И. (Россия). – Заявлено 01.11.01.
2. Заявка 2001132128/28(034056) Россия, МПК G 01 N 9/24, 29/18. Ультразвуковой способ определения плотности жидкости/ Шаверин Н.В., Чепрасов А.И. (Россия). – Заявлено 26.11.01.
3. Заявка 2002104765/28(004961) Россия, МПК G 01 N 9/24, 29/18. Ультразвуковой способ определения плотности жидкости/ Чепрасов А.И., Шаверин Н.В. (Россия). – Заявлено 22.02.02.
4. Чахлов В.Л., Чепрасов А.И., Шаверин Н.В. Измерение плотности нефтепродуктов и их смесей ультразвуковым методом // Дефектоскопия. - 2002. - №6. - С. 90-95.
5. Чахлов В.Л., Чепрасов А.И., Шаверин Н.В. Ультразвуковой контроль плотности нефтепродуктов // Измерительная техника. - 2002. - №10. – С. 34-37.
6. Чепрасов А.И., Шаверин Н.В. Система измерения плотности нефтепродуктов в трубопроводах "Ультразонд-50" // Известия ТПУ. - 2002. – Т. 305. - Вып. 5. - С. 135-138.
7. Чепрасов А.И., Шаверин Н.В. Ультразвуковой датчик плотности // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. - 2001. - №3-4. - С. 2-4.
8. Чепрасов А.И., Шаверин Н.В. Ультразвуковой магистральный плотномер нефтепродуктов // Контроль. Диагностика. - 2002. - №1. - С. 39-41.
9. Шаверин Н.В. Автоматическое измерение времени распространения ультразвука в устройствах контроля физических параметров // В печати

10. Шаверин Н.В. Анализ погрешностей измерения плотности нефтепродуктов системой “Ультразонд-50” и способы их уменьшения // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. - 2003. - №1. - С. 4-9.
11. Шаверин Н.В. Исследование ультразвукового метода и разработка прибора для автоматизированного контроля плотности нефтепродуктов // Тез. докл. VIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Современные техника и технологии” (Томск, 8-12 апреля 2002 г.). – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – Т.1. - С. 112-114.
12. Шаверин Н.В. Система автоматизированного контроля плотности нефтепродуктов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. - 2002. - №3-4. - С. 10-12.
13. Шаверин Н.В. Ультразвуковой измерительный преобразователь для магистрального плотномера нефтепродуктов // Контроль. Диагностика. - 2003. - №2. – С. 56-64.
14. Шаверин Н.В., Чепрасов А.И. Об одном подходе к использованию ультразвукового метода для измерения плотности продуктов первичной переработки нефти // Известия ТПУ. - 2002. – Т. 305. - Вып. 5. - С. 139-143.

Заказ . Тираж 100. Печать трафаретная.
Формат 60x84/16. Объем 1 п. л.
Размножено ООО «Дельтаплан».
Лицензия ИД №01282 от 22.03.2000.

564551  204780