

На правах рукописи

ВАНЦОВ АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО
КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ НА
ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК.**

Специальность: 05.20.03 «Технология и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Рязань – 2011

Работа выполнена на кафедре «Физика» ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева» (ФГБОУ ВПО РГАТУ)

Научный руководитель

доктор биологических наук, профессор
Пащенко Василий Михайлович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Кравченко Андрей Михайлович

Кандидат технических наук
Холин Игорь Николаевич

Ведущая организация

Центральное опытное проектно-
конструкторское технологическое бюро-
филиал ГОСНИТИ г. Рязань

Защита состоится «23» декабря 2011 г. в 9⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 220.057.02 при ФГБОУ ВПО РГАТУ по адресу: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, конференц-зал.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью, просим направлять по адресу: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1, ученому секретарю диссертационного совета Д 220.057.02.

Объявление о защите и автореферат размещены на сайте ФГБОУ ВПО РГАТУ - www.rgatu.ru - «23» ноября 2011 года.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО РГАТУ.

Автореферат разослан «21» ноября 2011г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

/А.В. Шемякин/

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Нефтеперерабатывающие заводы выпускают в основном качественную продукцию, на которую выдают сертификат соответствия. Однако по мере продвижения от завода-изготовителя до потребителя (при хранении, доставке и отпуске) происходит изменение значений некоторых показателей, отмечаются потери нефтепродуктов - все это приводит к снижению качества топлива.

Моторные топлива, производимые из нефти, являются основным источником энергии для транспорта, промышленной и сельскохозяйственной техники. По объемам производства в ряде стран первое место занимают дизельные топлива, к которым предъявляются жесткие требования по цетановому числу и содержанию серы. В частности, по требованиям, установленным Европейским экономическим Советом EN 590, содержание серы не должно превышать 0,001-0,005% масс. Оказывая решающее влияние на процесс сгорания топлива, цетановое число определяет жесткость и экономичность работы дизельных двигателей. При уменьшении цетанового числа в значительной степени ухудшаются динамические показатели цикла. По этой причине цетановое число топлива оказывает заметное влияние на износ деталей двигателя. Цетановое число определяет не только характер протекания процесса сгорания при установившейся работе, но и пусковые качества топлива.

Работа выполнена по плану НИР ФГОУ ВПО РГАТУ на 2006...2010гг. по теме №17 в рамках раздела 17.3. «Исследование топливо смазочных материалов физическими методами».

Цель работы:

повышение эффективности определения качественных показателей и снижение экономических потерь от применения некачественного топлива за счет создания способа и устройства определения качества дизельного топлива, обеспечивающих:

- оперативность измерения;
- мобильность использования;
- высокую точность определения качества дизельного топлива;
- экономическую доступность для широкого круга потребителей.

Задачи исследования

- провести физические исследования дизельного топлива и определить параметры, коррелирующие с цетановым числом;
- проанализировать физические исследования и на их основе создать способ определения цетанового числа и содержания серы дизельного топлива;
- обосновать параметры и конструкцию компактного устройства для оперативного определения качественных показателей моторного топлива на основе созданного способа;
- провести калибровку и лабораторные испытания опытного образца устройства;

- провести испытания опытного образца устройства в производственных условиях и оценить его экономическую эффективность.

Научная новизна

- Впервые описан способ и опробовано устройство для экспресс-анализа цетанового числа дизельного топлива, как качественной составляющей, содержания серы и ее соединений, как экологической составляющей дизельного топлива:

1. Разработаны лабораторные установки и определены физические параметры дизельного топлива с различными цетановыми числами:

- $\varepsilon \cdot \mu$ - произведение диэлектрической и магнитной проницаемости дизельного топлива;

- V - скорость ультразвука в дизельном топливе;

2. Установлены зависимости выявленных физических параметров с цетановым числом дизельного топлива;

3. На основе выявленных зависимости цетанового числа от скорости прохождения ультразвуковой волны предложен способ определения цетанового числа дизельного топлива.

4. Разработан способ определения содержания серы и ее соединений в дизельном топливе.

5. Спроектирован, изготовлен и испытан в лабораторных и производственных условиях опытный образец компактного и мобильного устройства для определения качественных показателей дизельного топлива.

Практическая ценность работы

- разработаны методики и проведены измерения физических параметров дизельного топлива, таких как произведение диэлектрической и магнитной проницаемости дизельного топлива, скорость ультразвука в дизельном топливе;

- разработан ультразвуковой способ определения качественных показателей дизельного топлива.

Апробация работы.

Результаты исследований представлены в виде докладов на расширенном заседании технического совета инженерно-технического центра АООТ «Теплоприбор», 2007-2009, Рязань; расширенном заседании технического совета конструкторского бюро ООО «Рамед», 2007, Рязань; расширенных семинарах лаборатории качества продукции отдела технического контроля ЗАО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания», 2005-2008, Рязань; научных конференциях профессорско-преподавательского состава: Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А.Костычева, 2004-2010, Рязань, Брянской сельскохозяйственной академии, 2006, Всероссийской международной конференции Мордовского ГУ имени Н.П.Огарева (2007г.), научно-практических конференциях ГНУ ВИЭСХ 2008, Москва, ГНУ ГОСНИТИ 2009, Москва.

Публикации.

По результатам исследований получены 2 свидетельства на полезную модель, патент на способ, который находится на заключительном этапе экспертизы по существу, до 2012г года будет получено положительное решение.

Опубликовано 9 статей.

Объём и структура работы.

Диссертация изложена на 131 странице машинописного текста, включает 15 таблиц, 32 рисунка, состоит из введения, 5 глав, заключения, общих выводов, рекомендаций и приложений. Список используемой литературы включает 112 источников, из них 36 на иностранных языках.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование направления исследований, показана актуальность темы, кратко изложены основные положения работы

Первая глава: *«Состояние вопроса и задачи исследования»*

Содержит исследования, демонстрирующие процессы потери качества топлива на этапах хранения и транспортировки. Рассмотрены рабочий процесс дизельного двигателя и эксплуатационные характеристики дизельного топлива, обеспечивающие оптимальное протекание этого процесса. Рассмотрено понятие «цетановое число» и его влияние на работу дизельного двигателя. Приведен перечень способов и устройств для экспресс-анализа дизельного топлива. Рассмотрены их характеристики, достоинства и недостатки. Описан моторный метод определения цетанового числа, как наиболее точный, но менее пригодный для создания компактного устройства для экспресс-анализа дизельного топлива. Определены цели и задачи работы.

Вторая глава: *«Теоретические предпосылки экспериментальных исследований»*

Из всего многообразия способов и устройств для определения цетанового числа и содержания серы выбраны электромагнитный и ультразвуковой, как наиболее перспективные для создания компактного общедоступного устройства для определения качественных показателей дизельного топлива.

Электромагнитный способ определения качественных показателей дизельных топлив.

Теоретической основой предлагаемого способа определения цетанового числа дизельного топлива послужила известная взаимосвязь физических параметров веществ (в частности диэлектрической и магнитной проницаемости) с особенностями их структур и фаз. Таким образом, известно, что диэлектрическая и магнитная проницаемости зависят от молекулярного строения вещества.

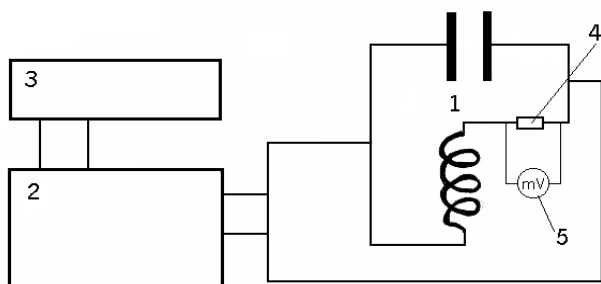
Для проведения исследований была создана оригинальная установка, принципиальная схема которой представлена на рисунке 1. Установка состоит из колебательного контура 1, измерителя импеданса марки ВМ-508 2 и частотомера электронносчетного ЧЗ-34 3. На рисунке 2. представлен общий вид лабораторной установки.

Колебательный контур представляет собой электрическую колебательную систему с включенными параллельно емкостью и индуктивностью. Емкостный датчик представляет собой плоский конденсатор, индуктивный датчик – катушку индуктивности квадратного сечения.

Внешние параметры емкости и индуктивности (число витков и длина катушки индуктивности, размеры пластин конденсатора и расстояние между ними)

подобраны сериями экспериментов с различными значениями названных параметров. Окончательные параметры колебательного контура следующие:

- размер пластин конденсатора, т.е. площадь пластины $0,01 \text{ м}^2$;
- расстояние между пластинами конденсатора $0,008 \text{ м}$;
- материал пластин конденсатора – полированная нержавеющая сталь;
- число витков катушки индуктивности 410 проводом ПЭЛ диаметром $0,5 \text{ мм}$;
- длина катушки индуктивности $0,165 \text{ м}$;
- материал измерительных ячеек – полиметилметакрилат (органическое стекло).

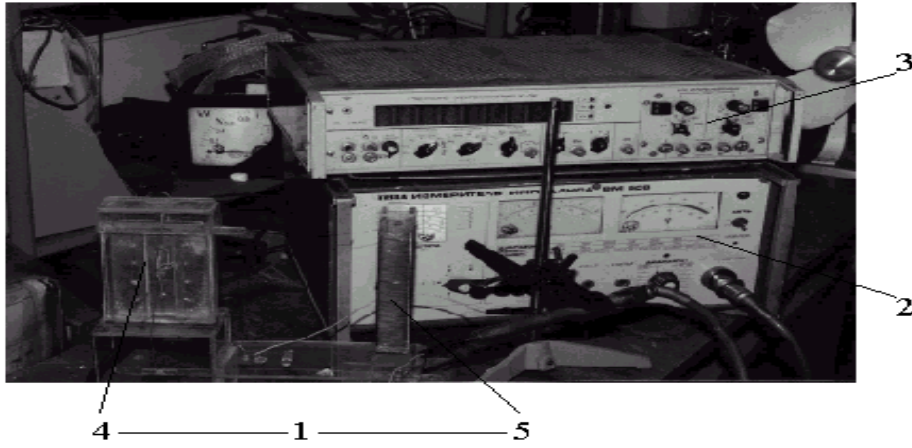


1 – колебательный контур; 2 – измеритель импеданса ВМ-508; 3 – частотомер электронносчетный ЧЗ-34, 4 – эталонное сопротивление $0,1 \text{ Ом}$; 5 - милливольтметр.

Рисунок 1. Принципиальная схема лабораторной установки для определения цетанового числа дизельного топлива электромагнитным способом.

Сущность анализа дизельного топлива предлагаемым способом заключается в определении резонансной частоты колебательного контура.

Резонанс – явление возрастания амплитуды вынужденных колебаний в какой-либо колебательной системе, наступающее при приближении частоты периодического внешнего воздействия к частоте собственных колебаний системы. Характер резонанса существенно зависит от свойств колебательной системы. В данном случае внешнего воздействия на цепь из параллельно включенных емкости и индуктивности имеет место резонанс напряжений. При приближении частоты внешней эдс ω к собственной частоте ω_0 контура индуктивность L – емкость C происходит резкое уменьшение амплитуды силы тока во внешней цепи, питающей контур. Это объясняется тем, что при частоте ω , близкой к ω_0 , реактивные сопротивления емкости и индуктивности оказываются одинаковыми по величине, и поэтому в обеих ветвях контура текут токи примерно одинаковой амплитуды, но почти противоположные по фазе. Вследствие этого амплитуда тока во внешней цепи оказывается гораздо меньшей, чем амплитуда тока в отдельных ветвях, достигающие при ω_0 наибольшей величины.



1 - (4+5)колебательный контур, 2 - измеритель импеданса ВМ-508, 3 – частотомер электронносчетный ЧЗ-34, 4 – плоский конденсатор, 5 – катушка индуктивности квадратного сечения.

Рисунок 2. Общий вид лабораторной установки для определения электромагнитных параметров дизельного топлива.

Измерения эталонного дизельного топлива (с известным ЦЧ, определенным по ГОСТ 305-82 на моторной установке) проводились следующим образом. Емкостный и индуктивный датчики заполнялись пробой дизельного топлива в объеме 200 мл. Изменением частоты импедансметра колебательная система настраивалась на резонанс (при этом угол сдвига фаз $\varphi=0$, сопротивление колебательного контура r минимально). Значение резонансной частоты фиксировалось по показанию частотомера. Для проведения серии экспериментов и определения погрешности, настройка импедансметра искусственно расстраивалась и восстанавливалась заново (не менее 10 раз для одной пробы). Затем датчики освобождались от исследуемого материала, просушивались и заполнялись следующей пробой бензина.

При всех измерениях температура пробы дизельного топлива поддерживалась постоянной, равной 20°C .

Прогрев аппаратуры до рабочего состояния (импедансметра ВМ-508) занимает около 40 минут. Измерение одной пробы дизельного топлива при прогретой аппаратуре занимает 1 минуту.

Частота колебаний в контуре определяется индуктивностью катушки контура и емкостью конденсатора согласно формуле Томсона :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (1)$$

где: ω_0 - резонансная частота, Гц;

L – индуктивность катушки, Гн;

C – емкость конденсатора, Ф.

Формула для расчета емкости плоского конденсатора имеет вид :

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot s}{d_1}, \quad (2)$$

где: ϵ_0 – электрическая постоянная; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м

ϵ - диэлектрическая проницаемость ДТ;

s – площадь пластины конденсатора, м^2 ;

d_1 – расстояние между пластинами конденсатора, м

Формула для расчета индуктивности имеет вид :

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot Y \cdot N}{d_2}, \quad (3)$$

где: μ_0 – магнитная постоянная; $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м

μ - магнитная проницаемость ДТ;

Y – сила тока, протекающего по катушке, А;

N – число витков;

d_2 – длина катушки, м.

Подставив формулы (2) и (3) в формулу (1) можно выразить произведение диэлектрической и магнитной проницаемости бензина:

$$\varepsilon \cdot \mu = \frac{d_1 \cdot d_2}{\omega_0^2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot s \cdot Y \cdot N}, \quad (4)$$

Определение силы тока Y проводилось косвенным методом (расчет по закону Ома с измерением напряжения на очень малом эталонном сопротивлении $R = 0,1$ Ом). (Рисунок 2)

Обозначив произведение $\varepsilon \cdot \mu$ индексом M , можно назвать его электромагнитным индексом.

Резонансная частота ω_0 – показатель, характерный для конкретного прибора, а величина произведения магнитной и диэлектрической проницаемости непосредственно является характеристикой электрических и магнитных свойств дизельного топлива.

В таблице 1. представлены результаты определения резонансной частоты ω_0 на оригинальной установке.

Определив резонансную частоту ω_0 и параметры колебательной системы (число витков катушки N , размеры пластин конденсатора – площадь пластины S , длина катушки d_2 , сила тока в катушке Y , расстояние между пластинами конденсатора d_1) можно рассчитать произведение диэлектрической и магнитной проницаемости (электромагнитный индекс M), связанное с ЦЧ.

$d_1 = 0,008$ м; $d_2 = 0,165$ м; $s = 0,01$ м²; $N = 410$; $Y = 0,5$ А; $\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ Гн/м; $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

По формуле (4) определим индекс M для дизельного топлива с цетановым числом 45,0:

$$M = \varepsilon \cdot \mu = \frac{0,008 \cdot 0,165}{(5,13 \cdot 10^6)^2 \cdot 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,01 \cdot 0,5 \cdot 410} = 2,2$$

Аналогично рассчитывается M для других видов дизельного топлива.

Таблица 1. Резонансные частоты дизельных топлив с различным цетановым числом при 20°C.

Эталонное дизельное топливо ЦЧ, определенное моторной установкой	45	47	49	51
Резонансная частота $\omega_0 \pm \sigma$, МГц	5,13	4,88	4,63	4,38
Электромагнитный индекс	2,2	2,43	2,7	3,02

На данном уровне исследований разделение диэлектрической и магнитной проницаемости с большой точностью невозможно, поэтому целесообразно работать с их произведением $\epsilon \cdot \mu$, тем более, что предлагаемый способ оценивает эти параметры в совокупности, не разделяя один от другого.

С повышением цетанового числа резонансная частота ω_0 уменьшается, соответственно увеличивается величина электромагнитного индекса M . При увеличении цетанового числа дизельного топлива с 45 до 51 резонансная частота уменьшается с 1,66 до 0,99 МГц (на 25%), а величина электромагнитного индекса увеличивается с 20,99 до 59,04 (на 35%).

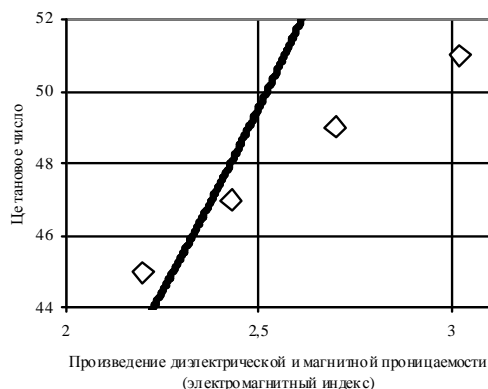


Рис.3

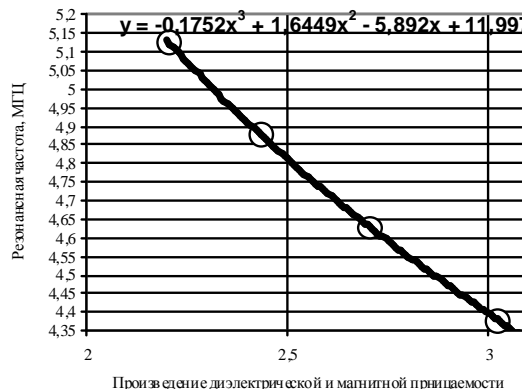


Рис.4

Рисунок 3. График зависимости произведения диэлектрической и магнитной проницаемости от цетанового числа дизельного топлива.

Рисунок 4. График зависимости произведения диэлектрической и магнитной проницаемости от резонансной частоты колебательного контура

В математическом выражении полученные зависимости имеют вид:

$$M = -2E - 0,5\omega^3 + 0,0029\omega^2 - 0,1394\omega + 3,5204 \quad (5)$$

$$ЦЧ = 11,004 M^3 - 43,542 M^2 + 47,385 M + 36,048 \quad (6)$$

где: M - электромагнитный индекс дизельного топлива;

ω - резонансная частота колебательного контура, МГц;

ЦЧ- цетановое число дизельного топлива.

Известно, что с увеличением цетанового числа дизельного топлива увеличивается количество разветвленных углеводородов. По всей видимости, интегральное увеличение количества разветвленных углеводородов может приводить к пространственному экранированию электрических взаимодействий. Поэтому происходит уменьшение резонансной частоты с повышением цетанового числа дизельного топлива, прежде всего за счет роста диэлектрической проницаемости ϵ .

В процессе измерений дизельное топливо служит диэлектрической средой в измерительном конденсаторе C и магнитной средой в измерительной катушке индуктивности L . Измерительный конденсатор C и катушка индуктивности L

образуют колебательный контур, резонансная частота которого определяется диэлектрической проницаемостью ϵ и магнитной проницаемостью μ исследуемого дизельного топлива. Как известно, при внесении диэлектриков в электрическое поле, происходит явление поляризации, которое характеризуется электрическими дипольными моментами молекул P . Если напряженность поля E быстро изменяется, то между колебаниями векторов P и E появляется разность фаз, которая обуславливает электрические потери и зависимость диэлектрической проницаемости ϵ от частоты поля ω_0 . Магнитная проницаемость дизельного топлива μ в переменном поле также будет зависеть от частоты поля, так как в переменном поле магнитная проницаемость диэлектриков определяется обратимыми процессами намагничивания и необратимыми процессами рассеяния энергии магнитного поля (потери на вихревые токи, магнитную вязкость и др.). Дизельные топлива – смеси, содержащие в различных пропорциях ароматические, нафтеновые, нормальные, парафиновые и непредельные углеводороды. Поэтому зависимость резонансной частоты физико-химических свойств имеет сложный, но вместе с тем и индивидуальный для вида дизельного топлива характер.

В связи с этим предлагаемый электромагнитный способ связан с более эффективной технологией проведения измерений, так как наряду с диэлектрической проницаемостью учитывается и магнитная проницаемость дизельного топлива. Следствием применения эффективной технологии измерений является повышение точности определения цетанового числа дизельного топлива.

Использование созданной лабораторной установки, для исследований автомобильных дизельных топлив электромагнитным методом, отличалось высокой сходимостью результатов экспериментов и малой среднеквадратичной погрешностью измерений.

Используя формулу (4), рассчитывается погрешность определения резонансной частоты колебательного контура на созданной лабораторной установке.

Так, погрешность определения резонансной частоты (погрешность лабораторных электромагнитных исследований дизельных топлив) будет определяться по формуле:

$$P_{эм} = \frac{\sigma_{max}}{|\omega_{51} - \omega_{45}|} \cdot 100 \% \quad (7)$$

где: $P_{эм}$ – погрешность лабораторных электромагнитных исследований цетанового числа дизельного топлива;

σ_{max} - максимальная среднеквадратичная погрешность определения резонансной частоты дизельного топлива; $\sigma_{max} = 0,014$ МГц

ω_{51} – резонансная частота для дизельного топлива с цетановым числом 51;

ω_{47} - резонансная частота для дизельного топлива с цетановым числом 47.

Тогда:

$$P_{эм} = \frac{0,014}{|1,66 - 0,99|} \cdot 100 \% = 2,1 \% \quad (8)$$

Следовательно, погрешность лабораторного метода составляет 2,1 %.

Полученные результаты указывают на возможность создания компактного прибора для определения качества дизельного топлива на основе электромагнитного метода. Но для создания такого прибора необходимо:

- предусмотреть возможность защиты от электромагнитных помех, так как само вещество дизельного топлива имеет такие физические характеристики (ϵ , μ), что резонанс достигается в диапазоне 0,9...1,8 МГц;
- разработать компактную и достаточно сложную электронную схему импедансметра с возможностью термостабилизации.

Ультразвуковой способ определения качественных показателей дизельных топлив.

Из всех имеющихся теорий наиболее приемлема для дизельного топлива молекулярная теория времени колебательной релаксации в жидкостях. Она не лишена недостатков, однако, имеет хорошее приближение к эмпирическим результатам.

Использование данной теории предполагает возможность исследования акустических параметров дизельного топлива при использовании частоты звука в зависимости от времени его релаксации.

Из-за сложного состава дизельные топлива следует рассматривать как акустические системы с распределенными константами. Скорость звука в различных органических жидкостях с учетом ряда факторов, характеризующих взаимодействие молекул, может быть определена по следующей известной формуле:

$$V = \sqrt{\frac{\lambda RT}{M - b\beta} \left(\frac{1/3M}{M - \rho\beta} - 2 \right)} \quad (9)$$

где: λ - длина волны;

M - молярная масса;

ρ - плотность жидкости;

b - постоянная Ван-дер-Ваальса;

β - адиабатическая сжимаемость;

T - температура.

Из формулы следует, что скорость звука в органической жидкости должна зависеть от природы жидкости и от температуры. Именно поэтому ультразвуковые исследования дизельного топлива изначально было решено проводить в зависимости от температуры.

Результаты определения скорости звука в дизельном топливе представлены на рисунках **5 и 6**.

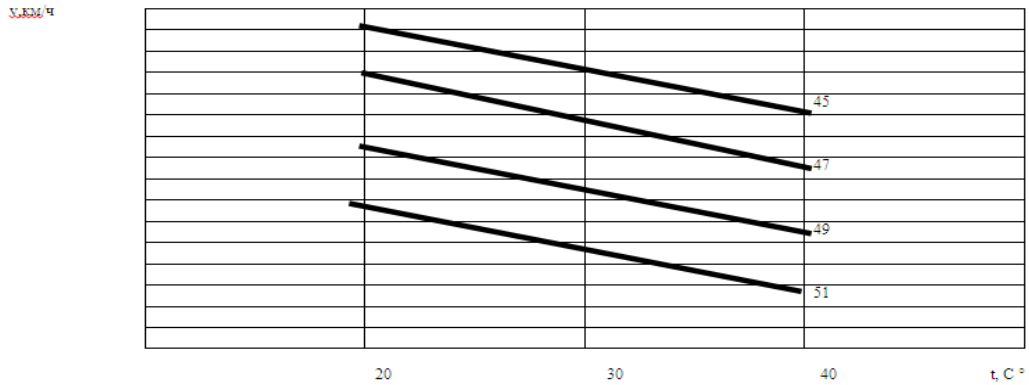


Рисунок 5 Зависимости скорости ультразвука от температуры в дизельных топливах с различными цетановыми числами

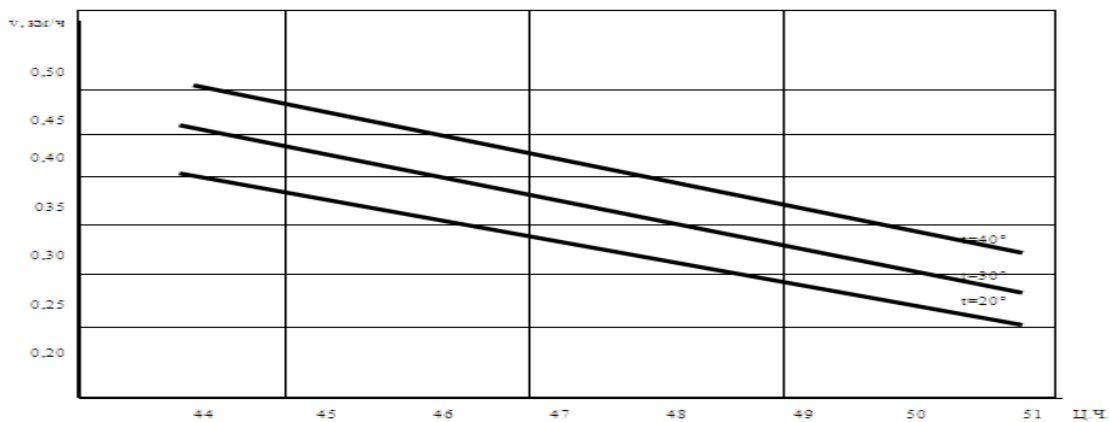


Рисунок 6 Зависимость скорости ультразвука от цетанового числа при различных температурах

По результатам можно сделать следующие выводы:

1. Имеется зависимость цетанового числа дизельного топлива от скорости ультразвука. При изменении цетанового числа от 46 до 51 по моторному методу скорость ультразвука уменьшается на 0,17 км/с.

2. Скорость ультразвука зависит от температуры. При повышении температуры на 1° С скорость уменьшается в среднем на 0,004 км/с.

Полученная экспериментальная зависимость в математической записи имеет вид:

$$ЦЧ = 0,0083 V + 0,4492 \quad \text{при } T=20^{\circ}C \quad (10)$$

где: V - скорость ультразвука в дизельном топливе, км/с.

Математическая запись выражения температурной поправки:

$$V_t = -0,0042 T + 0,084 \quad (11)$$

где: T - температура пробы дизельного топлива, в °С;

V_t - поправка скорости ультразвука к выражению (11) при отличии температуры пробы дизельного топлива от 20° С

В различных видах дизельных топлив в различной степени проявляется акустическая релаксация, которая сопровождается не только отличающимися

значениями интегральных поглощений энергии, но и температурными дисперсиями скоростей звука. Причиной указанных эффектов являются обмены энергией между поступательными и внутренними степенями свободы молекул, при которых звуковая энергия расходуется на возбуждение соответственно колебательных и вращательных степеней свободы. Интенсивность таких энергетических обменов зависит от состава и пространственной конформации молекул. Неодинаковое соотношение в содержании разных углеводородных фракций у разных бензинов приводит к индивидуальному проявлению акустической релаксации у различных марок бензинов аналогично смеси жидкостей.

По всей видимости, наличие более разветвленной молекулярной структуры у дизельных топлив с большим цетановым числом увеличивает количество межмолекулярных взаимодействий, что является причиной более быстрой передачи ультразвуковой энергии через слой дизельного топлива.

С повышением температуры возникает тепловое расширение дизельного топлива (увеличиваются межмолекулярные расстояния), вследствие чего уменьшается интенсивность межмолекулярных взаимодействий и, соответственно, уменьшается скорость прохождения ультразвука.

В диапазоне температуры выше 40°C заметен более сильный разброс измеренных значений, что связано, по всей видимости, с началом испарения легких углеводородных фракций и, соответственно, с изменением химического состава дизельного топлива.

Функциональная зависимость цетанового числа дизельного топлива от скорости ультразвука при аппроксимации носит линейный характер.

Для создания на основе ультразвукового способа компактного прибора для определения цетанового числа дизельного топлива необходимо предусмотреть возможность создания компактной схемы измерения скорости ультразвука на небольшом расстоянии.

Сравнительный анализ разработанных способов определения цетанового числа дизельного топлива.

Конечной целью исследований дизельных топлив является разработка способа и устройства определения цетанового числа. Для сравнения методов определения ЦЧ можно ввести коэффициент чувствительности, который определяется по выражению:

$$\gamma = \left| \frac{X(A_1) - X(A_2)}{X(A_2)} \right| \cdot 100\% \quad (12)$$

где: γ - коэффициент чувствительности метода;

$X(A_1)$ – значение информационного параметра при измерении дизельного топлива с большим цетановым числом.

$X(A_2)$ – значение информационного параметра при измерении дизельного топлива с меньшим цетановым числом.

В таблице 4 представлены результаты расчета коэффициента чувствительности γ и погрешности P для проведенных исследований.

Таблица 4. Коэффициент чувствительности γ методов определения ЦЧ и погрешность P экспериментальных исследований.

Способ	Моторный	Электромагнитный	Ультразвуковой
$\gamma, \%$	2,02	2,11	1,04
$P, \%$	-	2,1	6,8

Различные способы имеют различные технические и физические возможности реализации в виде компактных мобильных устройств:

1. Электромагнитный способ, имеющий высокий коэффициент чувствительности и самую низкую погрешность исследований, может быть реализован в компактном виде, но разработка компактной электронной схемы импедансметра, работающей на частотах 4...5 МГц, с возможностью термостабилизации и необходимостью заземления, и экранирования является сложной задачей. Игнорирование этих требований, скорее всего, приведет к увеличению погрешности измерений.

2. Ультразвуковой способ показал низкую чувствительность и достаточно высокую погрешность исследований. Однако погрешность можно снизить, так как она связана с систематическими ошибками, обусловленными конструкцией экспериментальной установки. Тогда, создание мобильного прибора будет связано, прежде всего, с разработкой компактной схемы измерения скорости ультразвука.

Третья глава: «Исследование устройства для определения качественных показателей дизельного топлива»

Для управления процессом работы пьезоэлементов и измерения необходимых параметров была спроектирована электронная схема.

Для хранения данных, получаемых в процессе определения цетанового числа, используются ОЗУ статического типа SRAM. Учитывая, что при выключении напряжения питания микрокомпьютер данные в SRAM теряются. Информация из SRAM может быть записана для ведения статически в ПЗУ FlashROM, в который данные вводятся последовательно.

Для определения времени прохождения импульсов, выдаваемых на излучатель, и принимаемых с микрокомпьютера используются таймеры-счетчики общего назначения, с функцией счета реального времени. Для ликвидации последствий сбоя в ходе программы путем перезапуска микрокомпьютера используется сторожевой таймер.

Вывод полученных результатов осуществляется на 120-сегментный жидкокристаллический индикатор TI8148.

Конструктивное устройство ультразвукового преобразователя, конвертирующего электроэнергию в механическую энергию в форме звука, и наоборот, проектировалось с учетом следующих критериев. Главные

составляющие ультразвукового датчика – активный элемент, поддержка и защитная плита. (Рисунок 8)

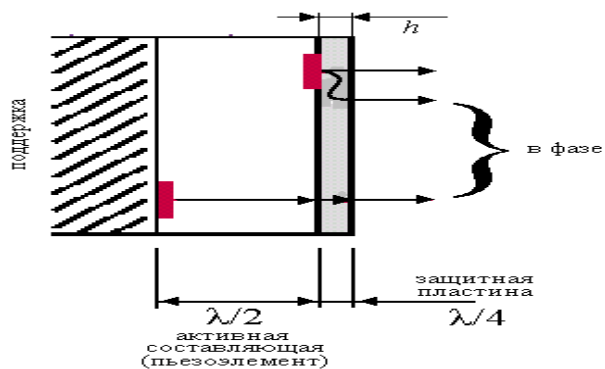
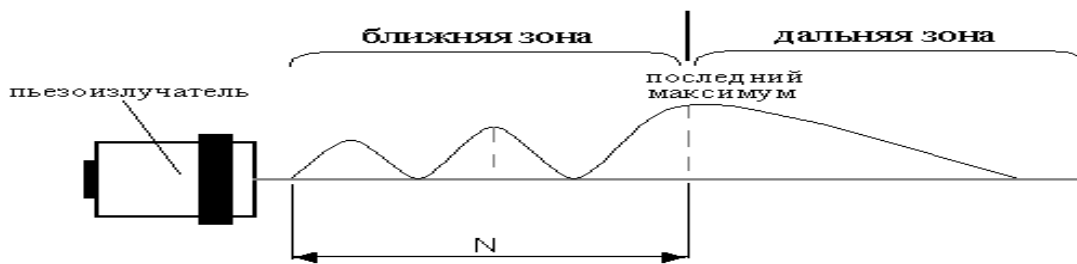
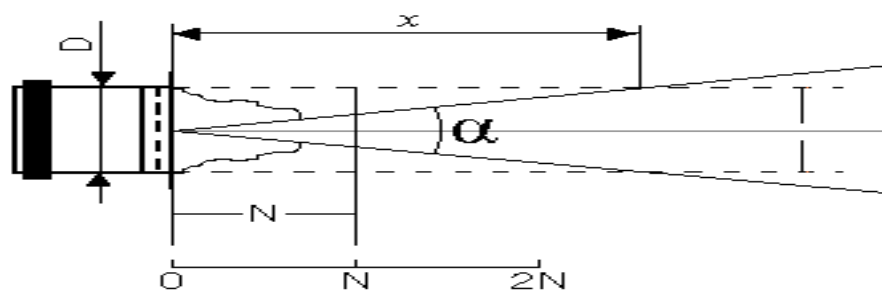


Рисунок 7. Схема к обоснованию конструкции пьезодатчика.

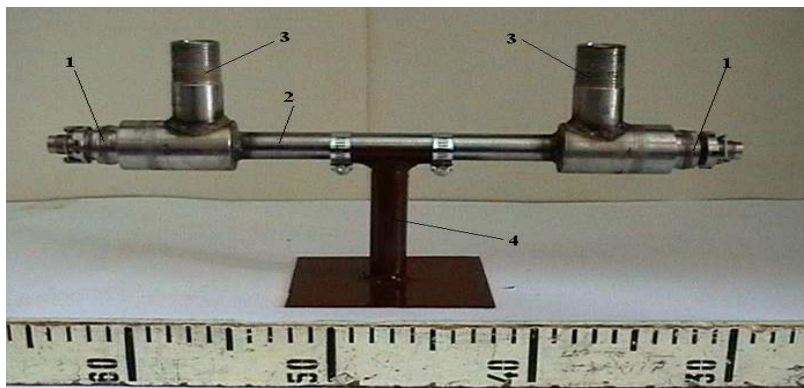
Рабочая камера имеет цилиндрическую форму внутренним диаметром 20 мм, размер которого обусловлен размером пьезодатчика. В рабочую камеру с двух торцов вкручиваются пьезодатчики, один из которых является излучателем, а другой приемником ультразвука.



В ближней зоне звукового поля луч имеет сложную форму, которая сужается. В дальней зоне поля луч расходится. Для плоских преобразователей угол распространения луча определяется по следующей зависимости .



Рабочая камера, также как и корпуса пьезодатчиков, выполнена из нержавеющей стали марки 08X18H10.



1 – пьезодатчик; 2 – рабочая камера; 3 – патрубки; 4 – подставка.

Рисунок 8. Рабочая камера в сборе с пьезодатчиками.

Способ определения содержания серы в дизельных топливах.

Органические соединения серы являются природным компонентом сырой нефти. При термическом воздействии в процессе переработки нефти сера и её соединения попадают в нефтепродукты в различных концентрациях. Соединения серы отравляют дорогостоящие нейтрализаторы выхлопных газов автомобилей, вызывают коррозию оборудования, выделяясь в атмосферу оксиды серы при сгорании создают экологические проблемы. Выброс в атмосферу соединений серы, образующихся при сгорании нефтепродуктов, является предметом экологического контроля во всех развитых странах.

Для достижения указанного технического результата в способе, включающем заключение пробы в замкнутый объем в виде ячейки, проведение с ним исследований, определение количества серы производят сравнением полученных результатов с заранее подготовленной калибровочной зависимостью, исследования осуществляют с использованием ультразвуковых сигналов с резонансной частотой между двумя датчиками, размещенными внутри ячейки с пробой и по математически обработанной разнице мощностей входного и выходного сигналов путем сравнения с калибровочной зависимостью коэффициента поглощения от концентрации серы, определяют количество серосодержащих примесей в дизельном топливе. При проведении исследований принимают наиболее оптимальные значения резонансной частоты $\nu_p = (5 \pm 0,5)$ МГц и температуры $t = (20 \pm 1)$ °С. При математической обработке определяют коэффициент поглощения α из формулы:

$$\alpha = \frac{1}{L} \ln \left[\frac{P_{вх}}{P_{вых}} \right]$$

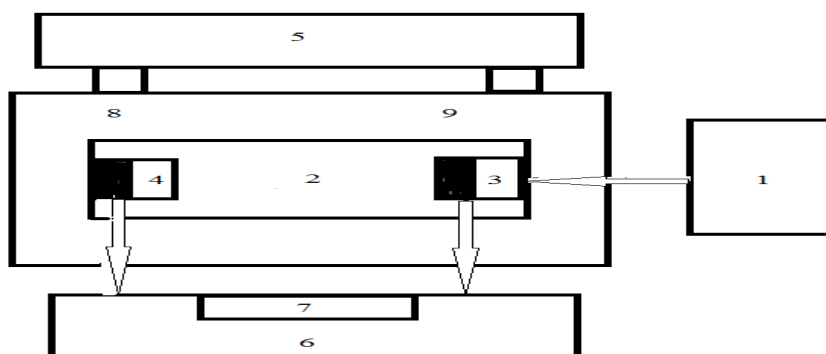
где L – фиксированное расстояние между двумя датчиками, $P_{вх}$ и $P_{вых}$ – мощности входного и выходного сигналов.

Отличительной особенностью заявляемого способа является использование выявленного свойства дизельного топлива – изменять коэффициент поглощения α в зависимости от концентрации в нем серосодержащих примесей при прохождении через него ультразвуковых сигналов с резонансной частотой ν_p .

Техническая реализация предлагаемого способа представлена на рисунке 2.5 в виде установки, которая включает генератор ультразвука 1, термостатируемую ячейку 2 с пробой дизельного топлива, излучатель ультразвука 3, приемник ультразвука 4, термостат 5, устройство сравнения 6, дисплей 7 устройства

сравнения, датчик 8 определения мощности выходного сигнала $P_{\text{вых}}$, датчик 9 определения мощности входного сигнала $P_{\text{вх}}$.

Способ осуществляется следующим образом. Термостат 5 поддерживает заданную температуру в ячейке 2 в процессе исследования дизельного топлива. Ультразвуковой генератор 1 вырабатывает переменное напряжение с резонансной частотой ν_p . Это напряжение подается на излучатель ультразвука 3, который направляет ультразвуковую волну через ячейку с дизельным топливом на приемник ультразвука 4. Датчик 9 мощности определяет мощность входного сигнала $P_{\text{вх}}$, датчик 8 мощности фиксирует мощность выходного сигнала $P_{\text{вых}}$. Оба сигнала поступают на устройство сравнения 6, где производится их математическая обработка и определяется коэффициент поглощения α . Зная коэффициент поглощения α и имея заранее составленные калибровочные зависимости (в электронном виде или на бумажном носителе в виде таблицы), легко определить количество серосодержащих примесей в дизельном топливе.



1. Генератор ультразвука. 2. Термостатируемая ячейка с топливом. 3. Излучатель ультразвука. 4. Приемник ультразвука. 5. Термостат. 6. Устройство сравнения. 7. Дисплей. 8. Датчик определения мощности выходного сигнала. 9. датчик определения мощности входного сигнала.

Рисунок 9. Схема установки определения содержания серы в дизельном топливе.

Поглощение, в отличие от затухания, включающего в себя рассеяние звука на неоднородностях и другие виды недиссипативных потерь, включает лишь диссипативные потери. Для жидкостей коэффициент поглощения α , м^{-1} равен

$$\alpha = \frac{2\pi^2 f^2}{\rho_0 v^2} \left(\frac{4}{3} \eta + \eta' + \frac{\gamma - 1}{c_p} \kappa \right) = \frac{2\pi^2 f^2}{\rho_0 v^2} b, \quad (13)$$

где ρ_0 - плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$; f - частота, Гц; η - динамическая вязкость, Па·с; η' - коэффициент объемной вязкости, Па·с; v - скорость звука, м/с; κ - коэффициент теплопроводности, Вт/(К·м); c_p - удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(К·кг). Не существует прямых методов измерения коэффициента объемной вязкости η' . Единственный способ его определения заключается в сравнении экспериментального поглощения с рассчитанным по классической теории. Эта часть поглощения обусловлена релаксационными процессами термодинамического перехода жидкости от одного состояния к другому при объемных сжатиях и

растяжениях в звуковой волне. Согласно термодинамическому принципу равномерного распределения энергии по степеням свободы, энергия поступательного движения переходит на внутренние степени свободы, возбуждая их. В связи с этим, кинетика релаксационного перехода характеризуется некоторым отставанием во времени изменения параметров системы при изменении одного из них – временем релаксации – τ . Отставание определяется молекулярными механизмами восстановления статистического равновесия молекул вещества. Необратимые процессы восстановления равновесия сопровождаются диссипацией энергии, вызывая аномальное (неклассическое) поглощение энергии звуковой волны.

Проведенные исследования показывают, что на величину объемной вязкости η' очень значительно влияют химические примеси. В частности, для дизельного топлива, такими примесями являются серосодержащие вещества с наличием в них химических связей C-S (углерод – сера). Наличие резонансной частоты ν_p для серосодержащих веществ, при которой наблюдается усиление поглощения интенсивности ультразвукового сигнала, позволяет разработать способ оперативного определения наличия серосодержащих веществ в дизельном топливе. На резонансной частоте ν_p происходит сравнение мощности входного сигнала $P_{вх}$ и мощности выходного $P_{вых}$, после прохождения ультразвука через дизельное топливо, содержащее серу. Далее, по формуле,

$$\alpha = \frac{1}{L} \ln \left[\frac{P_{вх}}{P_{вых}} \right]$$

где L – расстояние, которое ультразвук проходит в дизельном топливе, определяется коэффициентом поглощения α для последующего сравнения его с заранее построенными калибровочными зависимостями.

Предварительно проведенные исследования показывают, что наиболее оптимальными значениями при использовании заявляемого способа являются температура измерения $t = 20^{\circ} \text{C}$ и резонансная частота $\nu_p = 5 \text{ МГц}$.

В Таблице(5) приведены данные по определению α на различных частотах при температуре $t = 20^{\circ} \text{C}$. К дизельному топливу с высокой очисткой от серосодержащих веществ с их начальной концентрацией $C = 0,010 \%$, добавлялись эти вещества в их комплексном содержании с постепенно нарастающей концентрацией вплоть до $C = 0, 1\%$. Как видно из результатов, их дальнейшее наращивание не имеет смысла по отношению к заявляемому способу. Измерения проводились в 3-х кратной повторности. В столбце 6 приведена относительная погрешность ϵ , определенная по 3-м измерениям.

Таблица 5. Определение α на различных частотах.

C, %	L, м	$P_{вх}$, Вт	$P_{вых}$, Вт	α	ϵ , %
0,010	0,1	1	0,999	0,015	6
0,015	0,1	1,000	0,983	0,017	7
0,020	0,1	1,000	0,975	0,025	6
0,025	0,1	1,000	0,960	0,041	8
0,030	0,1	1,000	0,946	0,056	7
0,035	0,1	1,000	0,934	0,068	8
0,040	0,1	1,000	0,920	0,083	8

0,045	0,1	1,000	0,908	0,096	7
0,050	0,1	1,000	0,894	0,112	8
0,055	0,1	1,000	0,883	0,124	8
0,060	0,1	1,000	0,874	0,135	7
0,065	0,1	1,000	0,869	0,140	6
0,070	0,1	1,000	0,868	0,142	7
0,075	0,1	1,000	0,865	0,145	7
0,080	0,1	1,000	0,863	0,147	5
0,085	0,1	1,000	0,862	0,148	6
0,090	0,1	1,000	0,861	0,150	6
0,095	0,1	1,000	0,860	0,151	5
0,100	0,1	1,000	0,860	0,151	5
0,105	0,1	1,000	0,861	0,150	6

Как видно из результатов, приведенных в Таблице 5, коэффициент поглощения α однозначно определяет количественное наличие серосодержащих веществ в концентрациях от 0,010 % до 0,080 %, после чего заметный рост α с дальнейшим ростом содержания серы не наблюдается. Возможно, это связано с явлением насыщения, когда используемой мощности входного сигнала $P_{вх}$ уже недостаточно для резонансного возбуждения все возрастающего количества связей C – S. Между тем, определение серы в заявляемом интервале концентраций от 0,010 % до 0,080 % вполне достаточно для современного дизельного топлива, с приемлемой погрешностью $\varepsilon < 9$ %.

Лабораторные испытания опытного образца устройства.

Методика математической обработки результатов предварительного эксперимента

Обработка результатов лабораторных испытаний произведена с помощью математической статистики.

Планирование и проведение полнофакторного эксперимента

При проведении исследований по зависимости коэффициента поглощения α от содержания серы в дизельном топливе, принималось во внимание, что эта зависимость может определиться 3 факторами:

1. Частота ультразвука ν , Гц (x_1)
2. Концентрация серы в дизельном топливе C , % (x_2)
3. Мощность излучателя генератора P , Вт. (x_3)

Уравнением регрессии действительно будет уравнение:

$$y = 0.08244 + 0.06756 \cdot x_2$$

Анализ уравнения регрессии

1) Из трех линейных эффектов выделился один: X_2 - концентрация содержания серы в дизельном топливе. Именно увеличение концентрации ведет к росту отклика.

2) Изменение ν частоты ультразвука и мощности генератора в используемых диапазонах параметров влияние на отклик не оказывают.

3) Коэффициенты взаимодействия b_{12}, b_{13}, b_{23} не значимы, что указывает на отсутствие взаимодействий между факторами частоты ультразвука, содержание серы и мощности генератора в используемых диапазонах параметров.

Методика лабораторных испытаний.

Методика исследований включала определение абсолютных величин скоростей звука в дизельном топливе, а также температурный градиент скорости ультразвука (т.е. производную скорости по температуре).

Аналитический блок прибора измеряет и выдает на дисплей значение цетанового числа, пересчитав его из скорости прохождения ультразвуковой волны между пьезодатчиками. Скорость рассчитывается по известной формуле:

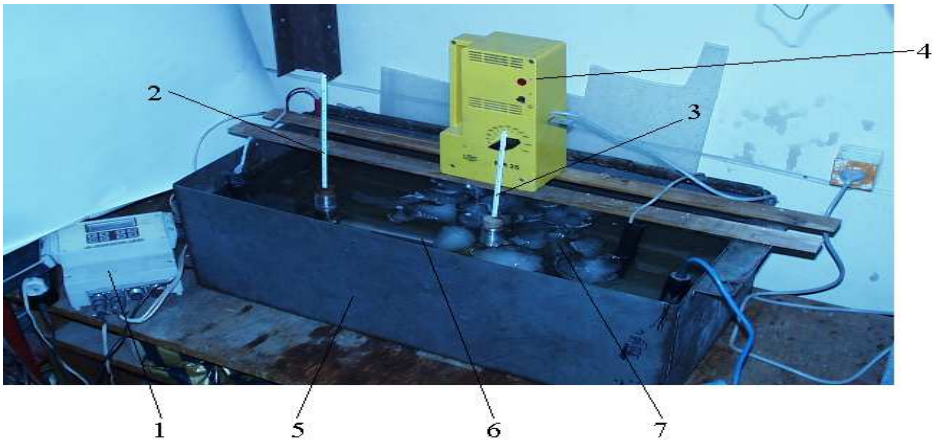
$$c = \frac{L}{t} \quad (14)$$

где: L - длина пути ультразвукового сигнала (расстояние между пьезообразователями);

t - время прохождения ультразвукового сигнала.

Для исследований при различных температурах рабочая камера в сборе помещалась в емкость с водой. Имелась возможность регулировки температуры воды. В патрубки рабочей камеры устанавливались ртутные термометры с ценой деления $0,5$ $^{\circ}\text{C}$ для измерения температуры пробы дизельного топлива. Таким образом, измерение температуры проводилось в разных точках пробы дизельного топлива, чем контролировался процесс равномерного распределения температуры в пробе дизельного топлива.

На рисунке 10 представлен общий вид установки при измерении скорости звука при различных температурах. Понижение температуры производилось путем добавления льда, а повышение - с помощью электрических ТЭНов. С помощью мешалки типа MR-25 осуществлялось равномерное распределение температуры по всему объему теплоносителя.



1 – аналитический блок; 2,3 – термометры; 4 – мешалка; 5 – емкость; 6 – рабочая камера; 7 – теплоноситель

Рисунок 10. Общий вид установки для определения температурной зависимости скорости ультразвука.

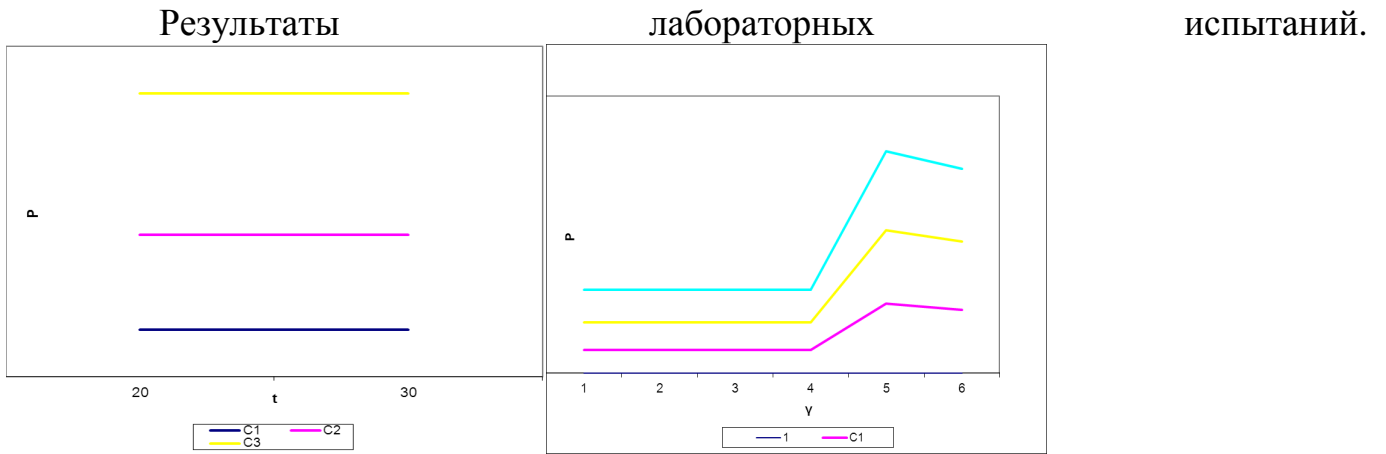


Рисунок 11. График зависимости содержания серы (P,%) от температуры в интервале от 20 до 30°C при частоте излучателя 5 МГц

Рисунок 12. График зависимости содержания серы (P,%) при частоте излучателя 5 МГц

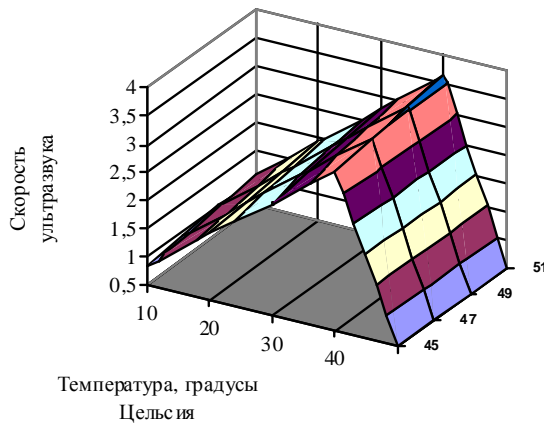


Рисунок 13. График зависимости скорости ультразвуковой волны от температуры в интервале от 20 до 30°C при частоте излучателя 5 МГц.

Результаты лабораторных испытаний полностью подтвердили полученные на первоначальной лабораторной установке.

Функциональная зависимость цетанового числа от скорости ультразвука и скорости ультразвука от температуры носит линейный характер.

Данные выражения программируются в процессор устройства и при измерениях на дисплей выводятся непосредственно значения цетанового числа. Порядок определения цетанового числа дизельного топлива на опытном образце устройства: рабочая камера заполняется пробой дизельного топлива, и устройство измеряет и выводит на дисплей значение цетанового числа; одновременно с измерением времени измеряется температура пробы дизельного топлива (на опытном образце прибора с помощью термометра);

Четвертая глава: *Производственные испытания и экономическая оценка устройства для определения качественных показателей дизельного топлива*

Производственные испытания заключаются в определении возможностей разработанного на основе ультразвукового способа устройства для определения цетанового числа дизельного топлива при его применении. Для этого необходимо сравнить результаты измерения разработанным способом и устройством с результатами измерения стандартным методом и устройством. Поэтому, производственные испытания представляют собой тестирование опытного образца разработанного устройства. Цель испытаний – определить точность измерения цетанового числа дизельного топлива разработанным устройством

Испытания устройства проводились в лаборатории отдела технического контроля Рязанского нефтеперерабатывающего завода, ООО «Нефтебизнес», ООО «Рязань Ойл» и ряде АЗС Рязанской области.

Испытания заключались в сравнении результатов определения цетанового числа на разработанном устройстве с результатами определения цетанового числа в соответствии с ГОСТ 305-82 на моторной установке, расположенной в цехе контроля качества готовой продукции Рязанского НПЗ.

Для испытаний использовались товарные образцы дизельного топлива, произведенные на Рязанском нефтезаводе.

Качественные показатели дизельного топлива разработанным устройством определялось непосредственно на АЗС. Пробы дизельного топлива забирались из топливораздаточных колонок.

В ходе проведения испытаний были получены следующие показатели:

- время определения цетанового числа дизельного топлива одной пробы дизельного топлива на разработанном устройстве составляло не более 30 секунд;
- отмечено удобство и простота пользования устройством;

По результатам испытаний можно сделать вывод о высоких эксплуатационных и мобильных свойствах разработанного устройства для определения качества дизельного топлива и рекомендовать широкое применение разработанного устройства в практике на всех этапах транспортировки, хранения и реализации дизтоплива.

Экономическая оценка предлагаемого способа и устройства.

Стоимость опытного образца разработанного устройства составляет 7520 руб. Оценочная экспертиза стоимости проведена ООО «Рамед».

В качестве достаточной экономической оценки разработанного устройства необходимо определить срок окупаемости для конкретного пользователя. В данном случае приводится расчет для Рязанского МУП «Автоколонна 1310».

Основные экономические показатели деятельности за 2007 год.

Срок окупаемости устройства:

$$O = \frac{10,0339}{5457,7} = 0,002 \text{ года.}$$

Устройство окупится в течение первого года работы.

Даны рекомендации потребителям по применению выявленного некондиционного топлива, о влиянии качественных и экологических показателей дизельного топлива на работу двигателя, обоснована заинтересованность предприятий АПК в контроле над этими показателями.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Рассчитаны способы и спроектированы установки для оперативного контроля дизельного топлива – электромагнитное и ультразвуковое;

2. Определены коррелирующие с цетановым числом параметры: в электромагнитном способе - электромагнитный индекс (произведение диэлектрической и магнитной проницаемостей), в ультразвуковом способе – скорость прохождения ультразвуковой волны;

3. На основе полученных результатов лабораторных испытаний и их сравнения наиболее приемлемым, для создания компактного и общедоступного устройства оперативного качества дизельного топлива, выбрано ультразвуковое устройство;

4. Обоснованы параметры и рассчитана конструкция ультразвукового устройства;

5. Проведены многочисленные лабораторные испытания и производственные испытания (акты испытаний прилагаются), в ходе которых ультразвуковое устройство показало высокую точность измерений;

6. Проведены экономическая оценка данного устройства – стоимость не превышает 8000 рублей, окупаемость 3-6 месяцев;

7. Сделаны рекомендации по внедрению данного способа и устройства в процесс контроля качества дизельного топлива на всех этапах – от изготовления до потребления.

Положения диссертации опубликованы в следующих основных работах:

1. Ванцов А.В. Устройства экспресс-анализа дизельного топлива. // Ванцов А. В., Пашенко В.М., Ванцов В.И. Сборник научных работ ВНКСФ-11. Екатеринбург, 2005г., стр. 147.

2. Ванцов А.В. Устройство для определения цетанового числа дизельного топлива с помощью ультразвука. // Сборник научных трудов: «Конструирование,

использование, надежность машин сельскохозяйственного назначения». Брянск, 2006г., стр. 44-47.

3. Ванцов А.В. Устройство электромагнитного исследования дизельного топлива. // Сборник научных трудов РГСХА, 2006г., стр. 383-385.

4. Ванцов А.В. Исследование качественных показателей дизельного топлива с помощью ультразвукового устройства. // Сборник научных трудов «Актуальные вопросы эксплуатации автомобильной техники». РВАИ, 2008г., стр. 65.

5. Ванцов А.В. Прибор для электромагнитного исследования дизельного топлива. // Сборник научных трудов, Брянск. 2006г.

6. Ванцов А.В. Применение ультразвука в устройстве для определения цетанового числа дизельного топлива. // Сборник научных трудов, Мордовский МГУ, 2007г.

7. Ванцов А.В. Применение электромагнитного устройства для исследования качественных показателей дизельного топлива. // Сборник научных трудов, ГНУ ВИЭСХ, 2008г.

8. Ванцов А.В. Ультразвуковой метод испытания нефтепродуктов. // Журнал ГОС НИТИ №6, 2010г.

9. Патент РФ на полезную модель №57013 G 01 N 29/00, 19 декабря 2005г. Устройство для ультразвукового исследования дизельного топлива. // Пашенко В.М., Ванцов В.И., Ванцов А.В.

10. Патент РФ на полезную модель №65651 G 01 N 27/22, G 01 N 27/27, 17 июля 2006г. Устройство для электромагнитного исследования дизельного топлива. // Пашенко В.М., Ванцов В.И., Ванцов А.В.

11. Ванцов А.В. Применение электромагнитного резонанса и ультразвука для определения качественных показателей жидкостей. // Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина, 2010г.