

КУЗЬМЕНКО Олег Юрьевич

**РОТАЦИОННЫЕ ВИСКОЗИМЕТРЫ
С СВЧ СИСТЕМОЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
КОНТРОЛИРУЕМОГО ПАРАМЕТРА**

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

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тамбов 2003

Работа выполнена на кафедре АСП ТГТУ и кафедре "Передающие и приемные радиоустройства"
Тамбовского ВАИИ

Научные руководитель доктор технических наук, профессор,
Дмитриев Дмитрий Александрович

Научный консультант кандидат технических наук, доцент
Суслин Михаил Алексеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Чернышов Владимир Николаевич

кандидат технических наук, доцент
Трейгер Владимир Виленович

Ведущая организация Всероссийский научно-исследовательский и
проектно-технологический институт
по использованию техники и
нефтепродуктов в сельском хозяйстве

Защита диссертации состоится " ____ " _____ 2003 г. в ____ ч на заседании диссертационно-
го совета Д.212.260.01 Тамбовского государственного технического университета по адресу: 392620 г.
Тамбов, ул. Советская 106, ТГТУ, большой зал.

Отзывы в двух экземплярах, скрепленных гербовой печатью, просим посылать по адресу: 392620 г.
Тамбов, ул. Советская 106, ТГТУ, ученому секретарю диссертационного совета Д212.260.01.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тамбовского государственного технического
университета.

Автореферат диссертации разослан " ____ " _____ 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.А. Чуриков

Подписано к печати 23.05.2003

Формат 60 × 84 / 16. Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Объем: 0,93 усл. печ. л.; 1,0 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 357

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Вязкость является одной из основных физических величин, определяющих тип автомобильных, авиационных и других горюче-смазочных материалов, их эксплуатационные свойства в различных климатических условиях, так кинематическая вязкость (при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$): летнего дизельного топлива не менее $3,5 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$, а зимнего менее $2,5 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$, авиационных керосинов марок Т1, ТС-1 и Т2 равны, соответственно, 1,5, 1,25 и $1,05 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$. Высокоточное определение величины вязкости горюче-смазочных материалов различного назначения перед непосредственной эксплуатацией – является актуальной задачей, так как интенсивное развитие современной авиационной техники, самолетостроения диктует особые требования к качеству используемых жидкостей, от которых зависит безаварийная эксплуатация и долговечность работы оборудования.

На этапе изготовления горюче-смазочные материалы подвергаются тщательному контролю в стационарных заводских лабораториях, им присваивается сертификат соответствия, в котором указываются основные физические параметры жидкой среды: вязкость, плотность и т.д. На этапе заправки летательных аппаратов топливом чрезвычайно важно проводить экспресс-контроль используемого горючего. Ошибки оператора топливозаправщика, несоответствие горюче-смазочных материалов температурным условиям, чрезмерное загрязнение, все эти факторы могут привести к отказам двигателей, авариям летательных аппаратов в воздухе и человеческим жертвам.

Особенности объекта измерений позволили, из всех возможных методов вискозиметрии, остановиться на ротационном методе. Наиболее удобными приборами являются погружные ротационные вискозиметры. К недостаткам этих приборов следует отнести сложный учет накопленного диссипативного тепла (термореологический эффект) и низкая точность измерения вязкости дисперсных сред за счет эффекта центрофугирования.

Как известно, интегральные характеристики СВЧ систем с распределенными параметрами (объемный резонатор) – резонансная частота, добротность весьма чувствительны к изменению электрофизических характеристик сред частично заполняющих объемный резонатор. Отсюда логичным вытекает возможность разработки ротационного погружного метода измерения кинематической вязкости жидких сред с использованием СВЧ системы преобразования контролируемого параметра вязкости с устранением погрешности связанной с изменением плотности, уровня и т.д.

Цель работы. Разработать экспресс метод определения вязкости жидких сред, обеспечивающий высокую точность измерения и устройств, реализующих метод, с коррекцией систематической составляющей погрешности по плотности и уровню заполнения первичного измерительного преобразователя.

Методы исследования основаны на применении аппарата математической физики, теории электродинамики, математическом моделировании, компьютерных технологий и метрологии.

Научная новизна. Разработан ротационный метод измерения вязкости жидких сред, где использована информативная зависимость времени затухания переходного процесса между двумя квазистационарными динамическими состояниями свободно вращающейся в цилиндре жидкости как меры ее вязкости. Разработаны устройства с использованием СВЧ системы преобразования контролируемого параметра, реализующие предложенный метод измерения вязкости. Для улучшения метрологических свойств устройств, характеризующих метод, за счет коррекции систематической составляющей погрешности по плотности и уровню заполнения первичного измерительного преобразователя предложено сопряжение автогенератора на основе коаксиального объемного резонатора и измерителя контролируемого параметра на основе цилиндрического объемного резонатора.

Практическая ценность. Используя предложенный метод, разработан комплекс устройств измерения вязкости жидких сред с использованием коррекции погрешности по плотности и уровню заполнения первичного измерительного преобразователя. С помощью разработанных устройств имеется возможность измерять комплексные величины диэлектрической и магнитной проницаемости, связанные с качественными показателями анализируемых жидкостей. Данные устройства могут быть применены в качестве приборов экспресс-контроля свойств горючесмазочных материалов.

Реализация результатов. Результаты теоретических и экспериментальных исследований прошли испытания в ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского и рекомендованы к внедрению. Они также используются в научно-исследовательской и учебной работе в Тамбовском ВАИИ.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты исследований по теме диссертации докладывались на: V Всероссийской научно-технической конференции "Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического и машинного моделирования", ТВВАИУ (Тамбов, 1997), 3-ей Международной теплофизической школы "Новое в теплофизических свойствах", ТГТУ (Тамбов, 1998), V и VII Всероссийских научно-технических конференциях "Состояние и проблемы техни-

ческих измерений", МГТУ им. Баумана (Москва, 1998, 2000), VI Всероссийской научно-технической конференции "Повышение эффективности методов и средств обработки информации", ТВАИИ (Тамбов, 2000), II Международной научно-технической конференции "Измерения, контроль, информатизация", Алтайский ГТУ (Барнаул, 2001), 4-й Международной теплофизической школы "Теплофизические измерения в начале XXI века", ТГТУ (Тамбов, 2001), XV Международной научно-технической конференции "Математические методы в технике и технологиях", ТГТУ (Тамбов, 2002).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе, получено 3 патента РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка литературы и приложения. Основная часть изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 48 рисунков и 1 таблицу. Список литературы включает 82 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** приведено обоснование актуальности темы диссертации. Раскрыта научная новизна и практическая ценность, приведены результаты апробации и реализации научно-технических результатов работы.

В первой главе "**Обзор состояния вопроса исследования и постановка задачи исследования**" проведен обзор известных методов измерения вязкости, приведена их классификация, указаны существующие достоинства и недостатки. Наиболее перспективными приборами для изучения реологических (структурно-механических) свойств дисперсионных систем являются приборы с вращением осесимметричного тела внутри испытуемой среды (ротационные методы).

К недостаткам реологических приборов следует отнести наличие термореологического эффекта. В случае измерений дисперсных сред (ферромагнитные жидкости) возникает эффект центрифугирования частиц. Оба эффекта приводят к погрешностям измерений.

За основу взят погружной ротационный метод с использованием одного тела вращения, как наиболее удобный, так как в этом случае легко преобразовать параметры формы жидкости, зависящие от вязкости, в резонансную частоту цилиндрического объемного резонатора, что позволит измерять вязкость с высокой точностью.

Во второй главе **измерения кинематической** дается обоснование метода измерения вязкости параметра движения будет искомой вязкости. Идея вязкости состоит в цилиндрический объем, в жидкость и приводится во этом происходит изменение жидкой среды.

Уравнение вращающейся жидкости

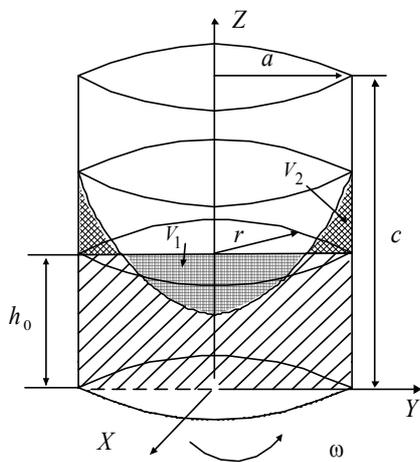


Рис. 1 Расчетная схема ротационного метода измерения вязкости

Определены цели и задачи исследо-

"Обоснование ротационного способа вязкости и его теоретические основы" дискретного ротационно-погружного жидких сред. Необходимо производить состояния жидкости, который при ее функционально связан с величиной предлагаемого метода измерения следующем. На рис. 1 показан который помещается исследуемая вращение с угловой скоростью ω , при формы огибающей поверхности относительного равновесия

$$\rho gh - \frac{1}{2} \rho \omega^2 (x^2 + y^2) = \text{const}, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; ω – круговая частота вращения жидкости. Откуда

$$Z = \frac{\omega^2 r^2}{2g}, \quad V = \frac{\pi r^4}{16g} \omega_0^2 e^{-2\gamma^2 \frac{11}{\rho}}. \quad (2)$$

Выражения (2) описывают математическую зависимость объема и формы поверхности вращающейся жидкости (параболоида вращения) от текущего радиуса r и частоты вращения ω . После остановки вращения цилиндра замеряется время переходного процесса $t_{\text{пп}}$ от одного состояния с угловой скоростью вращения жидкости $\omega = \omega_{\text{н}}$ до другой с $\omega = \omega_{\text{пор}}$. Величина $t_{\text{пп}}$ функционально связана с измеряемой величиной вязкости жидкости $\eta_{\text{ж}}$.

Уравнение свободно вращающейся жидкости в цилиндре

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = \vec{F} + \frac{1}{\rho} \operatorname{div} \vec{\Pi}, \quad (3)$$

где \vec{F} – массовая сила; \vec{V} – линейная скорость; $\vec{\Pi}$ – тензор касательных напряжений.

Решение (3) в цилиндрической системе координат относительно угловой скорости имеет вид

$$\omega(r, t, h_0) = \omega_0 e^{-\left(\frac{\beta}{r} + f(r, h_0)\right)^2 \frac{\eta}{\rho} t} = \omega_0 e^{-\gamma^2 \frac{\eta}{\rho} t}, \quad (4)$$

где β – значение аргумента при первом максимуме функции Бесселя первого порядка; $f(r, h_0)$ – функция, учитывающая действие сил трения со стороны стенок и дна цилиндра на затухание вращения жидкости; η – величина вязкости.

Статическая характеристика ротационного вискозиметра (рис. 2)

$$t_{\text{пп}} = \frac{\rho}{\gamma^2 \eta} \ln \frac{V_{\text{н}}(t=0)}{V_{\text{пор}}(t=t_{\text{пп}})} = \frac{\rho}{\gamma^2 \eta} \ln \left(\frac{\omega_{\text{н}}}{\omega_{\text{пор}}} \right), \quad (5)$$

где $\omega_{\text{н}}$, $\omega_{\text{пор}}$ – начальная и пороговая скорости вращения жидкости.

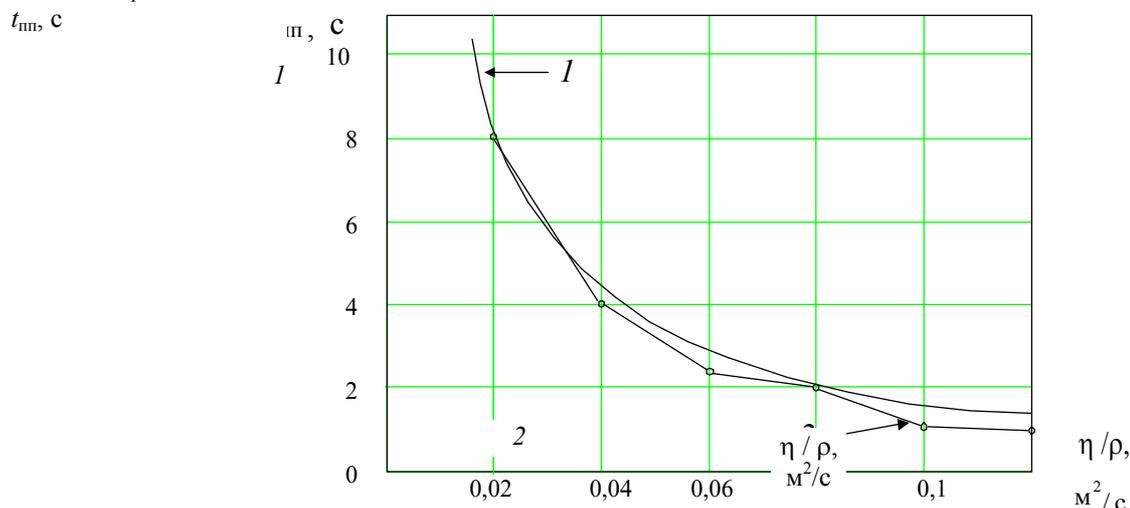


Рис. 2 Зависимость времени переходного процесса от величины кинематической вязкости жидкой среды:
1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

В результате проведенного эксперимента найдена величина γ , которая не зависит от параметров жидкой среды, а обратно пропорциональна геометрическим размерам заполняемого цилиндра. В эксперименте использовались жидкости с известными значениями плотности ρ в пределах $7,9 \cdot 10^2 \dots 10^3$ кг/м³ и вязкости η в пределах $3,4 \cdot 10^{-4} \dots 1,22 \cdot 10^{-3}$ Па·с, а также варьировался радиус сосудов r в пределах $3 \cdot 10^{-2} \dots 4,5 \cdot 10^{-2}$ м.

Параметры параболоида вращения не зависят от величины вязкости η , а определяются плотностью жидкой среды ρ и угловой скоростью вращения ω . Высокоточная фиксация момента окончания переход-

ного процесса, достигается с помощью датчика на основе цилиндрического объемного резонатора, так как он имеет высокую добротность (узкую полосу пропускания).

В третьей главе "**Выбор первичных измерительных преобразователей ротационного вискозиметра и их сравнительный метрологический анализ**" рассмотрен ротационно-емкостной метод измерения вязкости жидких сред. Найдено аналитическое выражение для приращения емкости при дискретном изменении частоты вращения ω . Разработано устройство емкостного датчика и принципиальная схема дискретного измерителя вязкости. Его недостатком является наличие центрального стержня, который увеличивает погрешность измерения величины емкости, за счет искажения формы параболоида вращения исследуемой жидкости. Данное устройство критично к поддержанию уровня жидкости и вариации величины диэлектрической проницаемости, при этом чувствительность изменения емкости к изменению параметров параболоида вращения невелика, что требует повышения скорости вращения и усложнения конструкции для стабилизации, при этом увеличивается накопление диссипативного тепла.

Дан обзор СВЧ вискозиметров различного принципа действия, в том числе сконструированных нами и запатентованных, проанализированы их достоинства и недостатки. Проанализировав имеющиеся варианты вискозиметров, сделан выбор для использования в качестве первичного измерительного преобразователя ротационный вискозиметр на основе цилиндрического объемного резонатора (ЦОР), так как он обладает высокой добротностью и узкой полосой пропускания. Представление резонансной частоты ЦОР $f_{рез}$ как функции формы объема исследуемой жидкости (а следовательно и частоты вращения жидкости) в объемном резонаторе (ОР), позволяет предложить метод определения динамической вязкости.

Произведен расчет собственной резонансной частоты ЦОР при наличии в нем жидкости в виде параболоида вращения. Отношение резонансных частот ОР при вращении жидкости с угловой скоростью $\omega \neq 0$ при колебании E_{010} к резонансной частоте при угловой скорости $\omega = 0$

$$\frac{f_{рез\omega}}{f_{рез0}} = \sqrt{\frac{C_{03}}{C_3}} = \sqrt{\frac{c - h_0 \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \right) + \frac{0,266 \omega^2 a^2}{2g} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \right)}{c - h_0 \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \right)}}. \quad (6)$$

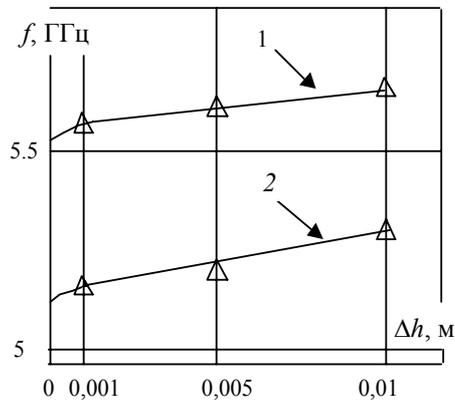
Отношение резонансной частоты f_{B2} колебания H_{011} с параболоидом вращения к частоте f_{B1} системы с горизонтальным уровнем жидкости

$$f_{B1} / f_{B2} = \{ C_{32} / C_{31} \}^{1/2}, \quad (7)$$

где C_{31} , C_{32} – эквивалентные емкости колебания H_{011} с параболоидом вращения и горизонтальным уровнем жидкости, соответственно.

На рис. 3 показаны экспериментальные графики ухода резонансной частоты при частичном заполнении ЦОР (для колебания H_{011} , параметры ячейки $a = 3,5 \cdot 10^{-2}$ м, $c = 0,06$ м) жидкой средой при изменении формы огибающей поверхности жидкости (график 1 при заполнении ЦОР $h / \square = 0,2$, $2 - h / \square = 0,4$).

Рис. 3 Экспериментальная зависимость резонансной частоты ЦОР при изменении формы огибающей частично заполненной жидкой среды



На рис. 4 представлена структурная схема устройства измерения вязкости с использованием ЦОР в качестве системы преобразования информативного параметра, реализующая разработанный ротационный метод.

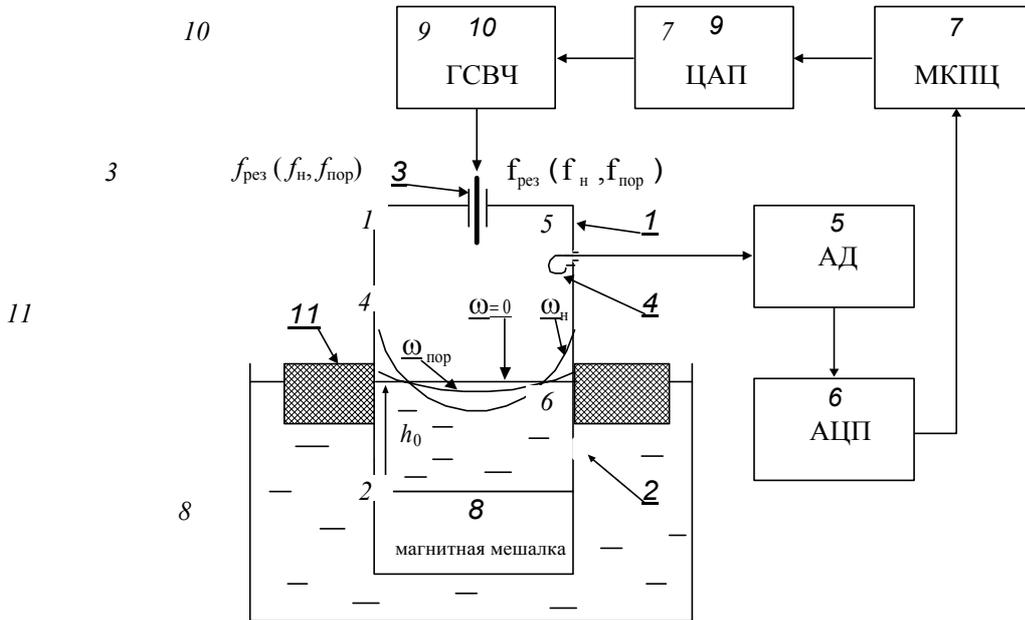


Рис. 4 Структурная схема разработанного устройства измерения вязкости с использованием цилиндрического объемного резонатора в качестве системы преобразования информативного параметра

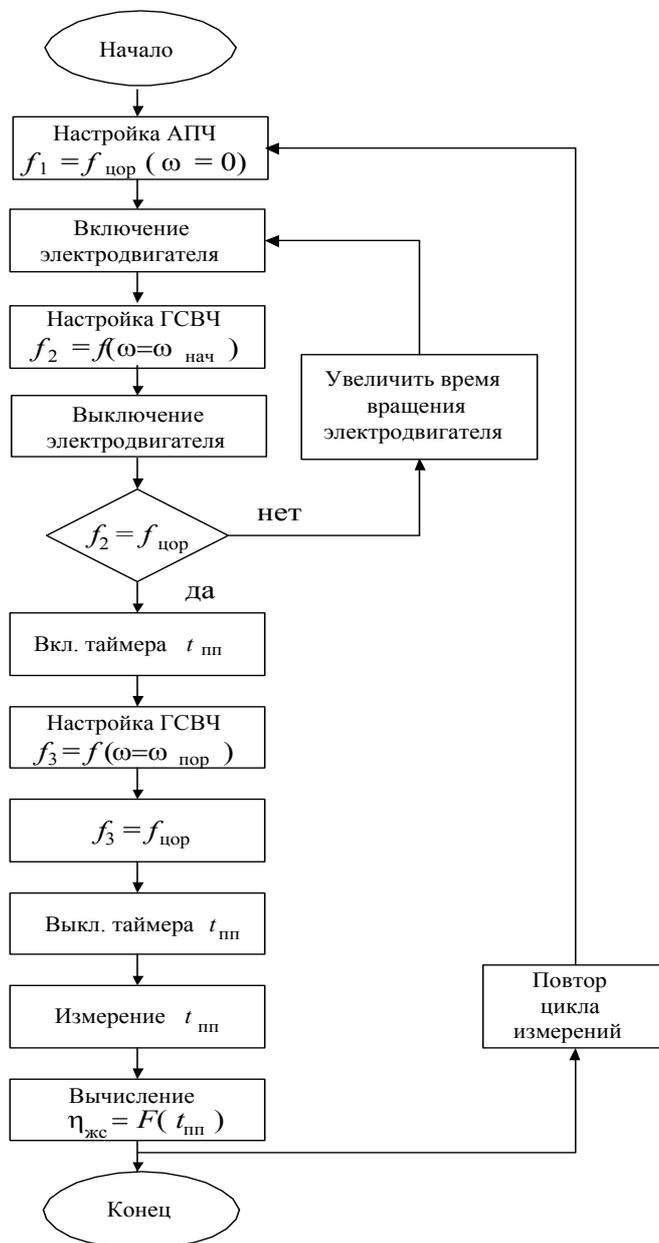


Рис. 5 Блок-схема алгоритма функционирования вискозиметра

Преобразователь (рис. 4) работает следующим образом. В ЦОР 1 горизонтально помещается исследуемая жидкая среда заданного уровня h_0 . При этом отношение $h_0 / c < 1$, где c – длина ЦОР. С помощью перестраиваемого по частоте генератора СВЧ (10) ЦОР вводится в резонанс на одном из типов колебаний (E_{010} или H_{011}). Начинается вращение цилиндрической боковой стенки с угловой скоростью ω , что приводит к вращению исследуемой жидкой среды. ЦОР выходит из резонанса, как только форма поверхности жидкости начинает деформироваться и принимать форму параболоида вращения. После остановки вращения начинается измерение времени переходного процесса изменения угловой скорости вращения ω от ω_n до $\omega_{пор}$. Точность фиксации определяется высокой добротностью ЦОР (узкой полосой пропускания).

На рис. 5 представлена блок-схема алгоритма функционирования устройства, реализующего предложенный метод.

Основными источниками погрешности определения вязкости $\eta_{ж}$ предложенным методом являются:

- погрешности от вариации плотности;
- нестабильности уровня жидкости h_0 : для колебания E_{010} h_0 следует уменьшать до величины близкой к $\omega^2 a^2 / 4g$; для H_{011} $h_0 \approx c / 2$ – при возможном, по чувствительности, уменьшении ω .

На рис. 6 показаны графики зависимости относительного порога чувствительности измерения вязкости ротационными датчиками за счет по-

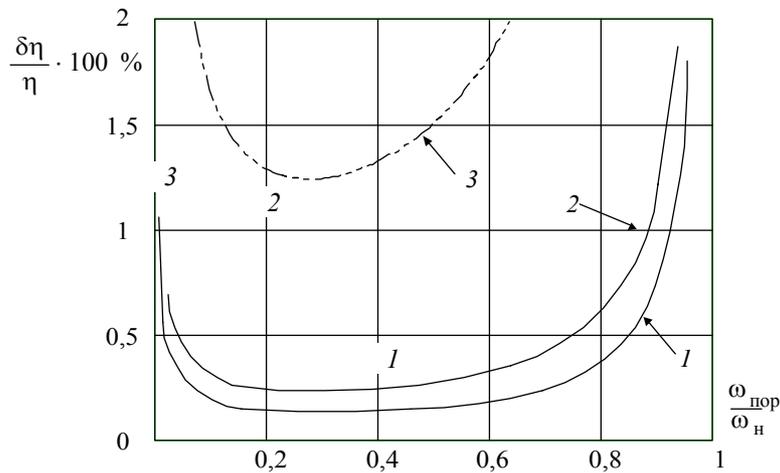


Рис. 6 Зависимости относительного порога чувствительности измерения вязкости ротационными датчиками

от нормированной величины вращения $\omega_{пор} / \omega_n$:

1 – для датчика на основе ЦОР, с колебанием H_{011} , добротностью $Q_{H_{011}} = 950$;

2 – для датчика на основе ЦОР, с колебанием E_{010} , добротностью $Q_{E_{010}} = 530$;

3 – для емкостного датчика, добротностью $Q = 23,2$

грешности автоматической подстройки частоты от нормированной величины скорости вращения $\omega_{пор} / \omega_n$ при условии, что полоса захвата АПЧ выбрана равной 1 % от полосы пропускания нагруженной резонансной системы. Из графика следует, что оптимальное отношение угловых скоростей вращения жидкой среды $\omega_{пор} / \omega_n$ лежит в пределах 0,2 ... 0,7.

Разработана методика тарировки первичного измерительного преобразователя на основе ЦОР.

В четвертой главе "**Методы улучшения метрологических характеристик ротационных СВЧ вискозиметров**" Рассмотрены причины возникновения погрешности определения вязкости и их решения.

Вариация плотности жидких сред сказывается на ее диэлектрическую проницаемость ϵ , что приведет в итоге к несоответствию значения резонансной частоты $f_{рез}$ снимаемой с ЦОР и истинным ее значением. Необходимо учитывать также погрешность от изменения уровня жидкости в ЦОР в период измерений. Предлагается два варианта компенсации этих погрешностей:

1) использование плотномера-корректора, величина выходного сигнала которого будет пропорциональна текущей плотности жидкой среды;

2) конструктивное усложнение резонаторного датчика для устранения погрешности на изменение плотности и уровня жидкости. В данном случае также возможны два пути решения:

а) без вращения ЦОР – первичный измерительный преобразователь, с "частотной поправкой на выталкивающую силу Архимеда"

б) с вращением части ЦОР при использовании погрешности автоматической подстройки частоты током подмагничивания.

На рис. 7 представлена конструкция ротационного вискозиметра с коррекцией погрешности при изменении плотности жидкости. На рис. 8 представлены графики зависимости изменения резонансной частоты коаксиального ОР (КОР) от величины зазора δ при фиксированных значениях длины КОР. Начиная со значения $\delta = 0,004$ м, наблюдается прямолинейная зависимость. На рис. 9 представлены графики зависимости изменения резонансной частоты коаксиального ОР от его длины l' при фиксированных значениях величины зазора коаксиального ОР δ . Зависимость имеет линейный характер, а диапазон изменения резонансной частоты коаксиального ОР с большим запасом перекрывает диапазон вариации резонансной частоты цилиндрического ОР.

При получении значения ухода резонансной частоты $\Delta f_{кор}$

$$\Delta f_{кор} = \frac{15\pi C_0^2 (a^2 - b^2)}{P(b^2 \ln \frac{a}{b} + 20 l' \delta)} \Delta \rho, \quad (8)$$

где C_0 – глубина погружения поплавка в жидкой среде; P – вес поплавка.

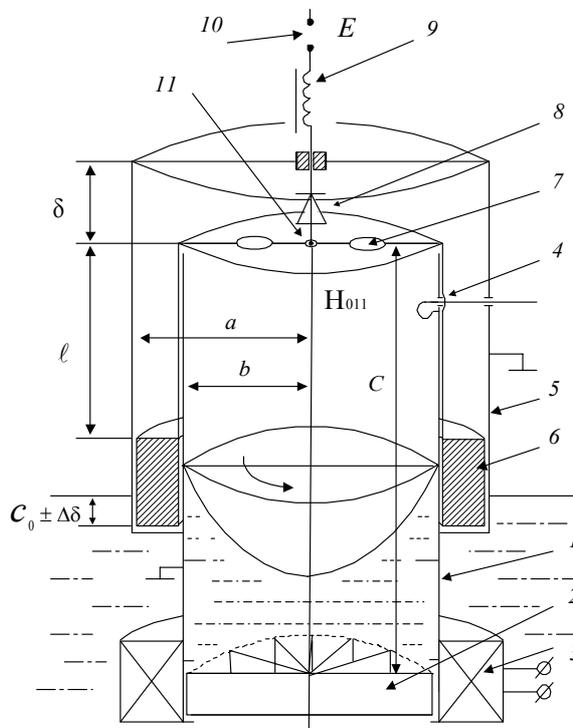


Рис. 7 Устройство ротационного вискозиметра с "частотной поправкой на выталкивающую силу Архимеда" при изменении плотности жидкой среды:

1 – цилиндрический ОР; 2 – асинхронная мешалка; 3 – трехфазная обмотка вращающегося магнитного поля; 4 – приемная петля связи; 5 – коаксиальный ОР с закорачивающей емкостью, которая является колебательной системой измерительного автогенератора; 6 – торроидальный пустотелый металлический поплавок с металлическим стаканом, который является нижней подвижной стенкой КОР и верхней подвижной стенкой ЦОР; 7 – эллиптические отверстия возбуждения колебаний H_{011} в ЦОР; 8 – автогенераторный диод; 9 – дроссель питания; 10 – блок питания; 11 – скользящий контакт

Величина вариации резонансной частоты КОР вводится в микропроцессор для коррекции значения динамической вязкости η , что определяет величину времени переходного процесса, связанную с изменением плотности жидкости. Генератор вырабатывает колебания с частотой $f_{рез}$, которое будет запитывать ЦОР, а также являться мерой величины плотности ρ в микропроцессоре, для расчета вязкости η по измеренному значению кинематической вязкости $\nu = \eta / \rho$.

$f_{кор}$, ГГц

$\Gamma_{кор}$, ГГц.

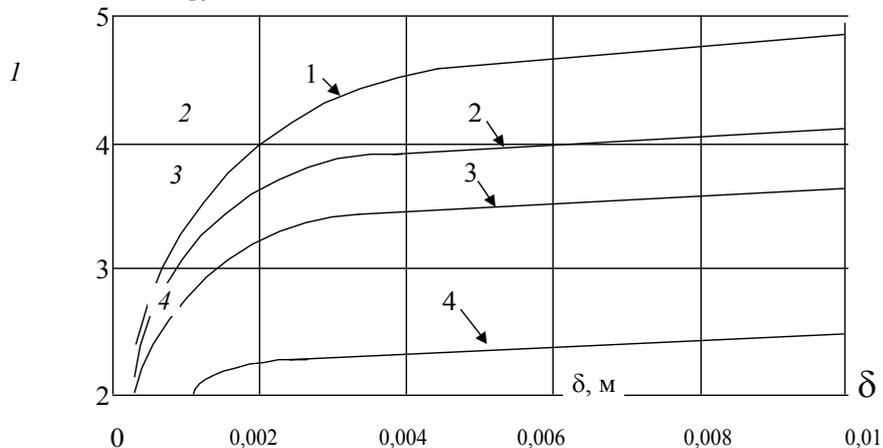


Рис. 8 Зависимость изменения резонансной частоты КОР от величины емкостного зазора

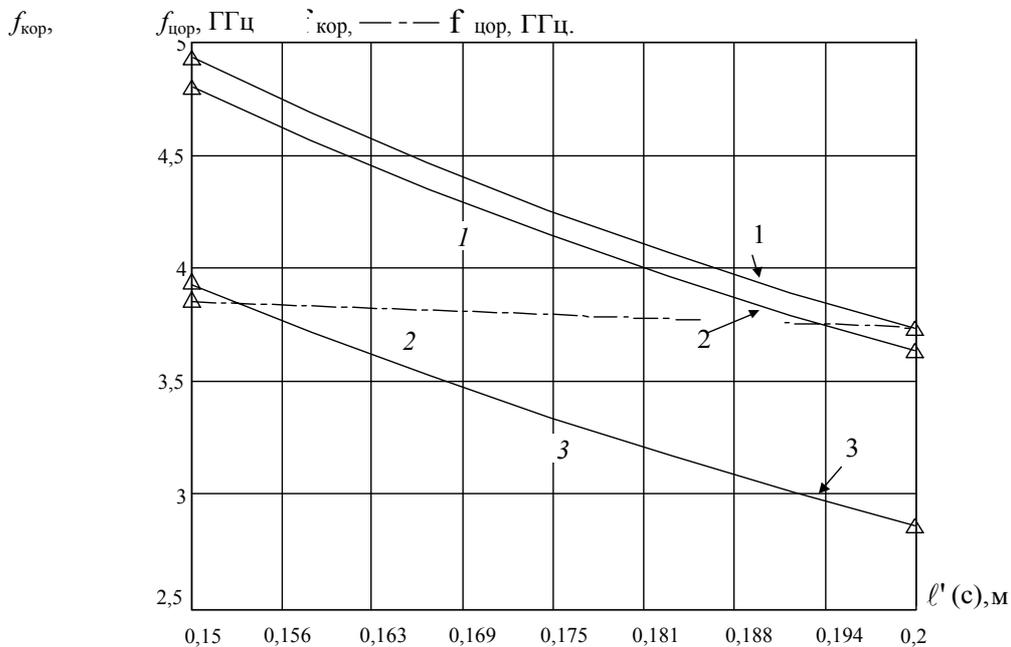


Рис. 9 Зависимость изменения резонансной частоты КОР от его длины:

1 – при величине зазора $\delta = 10^{-2}$ м; 2 – при $\delta = 5 \cdot 10^{-3}$ м; 3 – $\delta = 10^{-3}$ м

Произведен выбор оптимальных варьируемых геометрических параметров конструкции КОР, сопряженного с ЦОР.

На рис. 10 показана структурная схема ротационного СВЧ вискозиметра с "полевой" авто-настройкой колебательной системы. При изменении величины ρ ($\Delta\epsilon$) или Δh , ЦОР выходит из резонанса (при $\omega = 0$). Выходной сигнал из ЦОР поступает на шаговое устройство поиска экстремума, входящего в 4, на второй вход которого поступает частотный сигнал с КОР. В этом блоке формируется сигнал управления источником тока подмагничивания УИТ 5. Источник тока подмагничивания изменяет ток в соленоиде подмагничивания 3 компенсационного СВЧ феррита, тем самым изменяется резонансная частота КОР до тех пор, пока не станет равной резонансной частоте ЦОР.

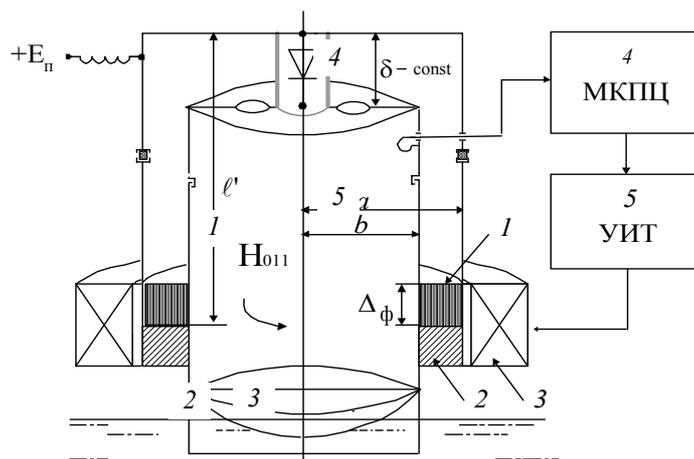


Рис. 10 Структурная схема ротационного СВЧ вискозиметра с "полевой" авто-настройкой колебательной системы

Произведен расчет зависимости резонансной частоты КОР от величины управляющего тока подмагничивания.

1 Разработан метод измерения кинематической вязкости жидких сред в котором используется зависимость времени переходного процесса свободно вращающейся в цилиндре жидкости от величины вязкости, момент начала и окончания отсчета времени фиксируется специальным датчиком с высокой добротностью.

2 Разработанный метод является простым в реализации, позволяет предотвратить влияние диссипативного накопления тепла, центрофугирования, колебаний атмосферного давления.

3 Разработаны аппаратные методы улучшения метрологических характеристик предлагаемого ротационного вискозиметра. Использование конструктивной компенсации погрешности от вариации плотности и уровня позволяет оценить погрешность измерения кинематической вязкости, максимальное значение которой составляет 4,6 %. Погрешность измерения динамической вязкости не превышает 5,7 %, при погрешности измерения плотности не выше 3 %.

4 Ротационный датчик измерения вязкости на основе цилиндрического объемного резонатора с использованием колебания H_{011} имеет высокую чувствительность и малую погрешность измерений за счет применения высокоточного АПЧ.

5 Разработан прибор-экспресс контроля кинематической вязкости жидких сред с возможностью измерения плотности.

6 Результаты теоретических и экспериментальных исследований прошли испытание и рекомендованы к внедрению для служб эксплуатации горюче-смазочных материалов.

Основные материалы, отражающие результаты диссертационной работы, приведены в следующих публикациях:

1 Суслин М.А. Сильфонные волноводы, резонаторы и замедляющие структуры, как первичные измерительные преобразователи состава и свойств жидких сред / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев, П.А. Федюнин // Материалы V Всероссийской научно-технической конференции "Повышение эффективности методов и средств обработки информации" (12–15 мая 1997 г.). Тамбов: Изд-во ТВАИИ, 1997. С. 315–318.

2 Суслин М.А. Полевые методы авто настройки частоты / М.А. Суслин, Д.А. Дмитриев, П.А. Федюнин, О.Ю. Кузьменко, А.В. Никулин // Материалы V Всероссийской научно-технической конференции "Повышение эффективности методов и средств обработки информации" (12–15 мая 1997 г.). Тамбов: Изд-во ТВАИИ, 1997. С. 318–320.

3 Кузьменко О.Ю. Комплекс волноводных методов и устройств измерения электрофизических параметров (концентрации) композитных гиромангнитных сред / О.Ю. Кузьменко, М.А. Суслин, Д.А. Дмитриев // Тезисы докладов 3-ей Международной теплофизической школы "Новое в теплофизических свойствах" (19–22 октября 1998 г.). Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1998. С. 73.

4 Суслин М.А. Новые СВЧ измерители физико-механических параметров жидкости / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев // Тезисы докладов V Всероссийской научно-технической конференции "Состояние и проблемы технических измерений" (17–19 ноября 1998 г.). М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. С. 107–108.

5 Кузьменко О.Ю. Методы расчета СВЧ ПИП состава и свойств жидких сред / О.Ю. Кузьменко, М.А. Суслин, Д.А. Дмитриев // Тезисы докладов V Всероссийской научно-технической конференции "Состояние и проблемы технических измерений" (17–19 ноября 1998 г.). М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. С. 109–110.

6 Суслин М.А. Ротационно-емкостной метод непрерывного измерения вязкости / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев // Сборник рефератов депонированных рукописей. М.: ЦВНИ МО РФ, 1999. Вып. 47. Серия В. Деп. в ЦВНИ МО РФ 28.04.99 г. № 3985.

7 Суслин М.А. Многомодовые режимы в СВЧ измерениях состава и свойств / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев // Тезисы докладов VI Всероссийской научно-технической конференции "Состояние и проблемы технических измерений" (28–30 ноября 1999 г.). М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. С. 104.

8 Суслин М.А. Ротационный метод измерения вязкости жидких сред с помощью цилиндрического объемного резонатора / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев // Сборник рефератов депонированных рукописей. М.: ЦВНИ МО РФ, 1999. Вып. № 49. Серия В. Деп. в ЦВНИ МО РФ 4.12.99 г. № 3988.

9 Суслин М.А. СВЧ устройства контроля физико-механических свойств жидких сред / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев // Тезисы докладов VI Всероссийской научно-технической конференции "Повышение эффективности методов и средств обработки информации" (16–19 мая 2000 г.). Тамбов: ТВАИИ, 2000. С. 302–304.

10 Кузьменко О.Ю. Поверхностные волны в измерении параметров магнитоэлектрических покрытий / О.Ю. Кузьменко, М.А. Суслин, А.А. Никулин // Тезисы докладов VI Всероссийской научно-технической конференции "Повышение эффективности методов и средств обработки информации" (16–19 мая 2000 г.). Тамбов: ТВАИИ, 2000. С. 304–306.

11 Кузьменко О.Ю. Поплавково-весовой метод измерения плотности жидких сред с помощью коаксиального ОР / О.Ю. Кузьменко, М.А. Суслин, Д.А. Дмитриев // Сборник рефератов депонированных рукописей. М.: ЦВНИ МО РФ, 2000. Вып. № 52. Серия В. Деп. в ЦВНИ МО РФ 10.04.2000 г. № 4319.

12 Суслин М.А. Комплекс СВЧ устройств контроля физико-механических свойств жидких сред / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев // V научно-техническая конференция ТГТУ: Тез. докл. Тамбов, 2000. С. 109–110.

13 Суслин М.А. СВЧ преобразователи в ротационной вискозиметрии / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев // Тезисы докладов VII Всероссийской научно-технической конференции "Состояние и проблемы технических измерений", 28–30 ноября 2000 г. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. С. 93–94.

14 Суслин М.А. Новый ротационный способ измерения кинематической вязкости по времени переходного процесса / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев // Сборник рефератов депонированных рукописей. М.: ЦВНИ МО РФ, 2001. Вып. № 54. Серия В. Деп. в ЦВНИ МО РФ 29.01.2001 г. № 4529.

15 Пат. 2171978 на изобретение от 10.8.2001. Устройство для определения вязкости и поверхностного натяжения / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев.

16 Кузьменко О.Ю. Частотные методы в СВЧ устройствах аналитического контроля / О.Ю. Кузьменко, М.А. Суслин, Д.А. Дмитриев // Тезисы докладов II Международной научно-технической конференции "Измерение, контроль, информатизация" (15–17 мая 2001 г.). Барнаул: Изд-во Алт. ГТУ, 2001. С. 91–93.

17 Кузьменко О.Ю. Дискретно-ротационные вискозиметры на резонансных преобразователях СВЧ / О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев // Тезисы докладов 4-й Международной теплофизической школы "Теплофизические измерения в начале XXI века" (24–28 сентября 2001 г.). Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. Ч. 2. С. 23.

18 Пат. 2179713 на изобретение от 20.02.2002. Устройство для измерения вязкости / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев.

19 Пат. 2180438 на изобретение от 10.03.2002. Способ определения вязкости жидких сред и устройство для его реализации / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев.

20 Суслин М.А. Полевая автонастройка колебательной системы ротационного СВЧ вискозиметра / М.А. Суслин, О.Ю. Кузьменко, Д.А. Дмитриев // Сборник трудов XV Международной научно-технической конференции "Математические методы в технике и технологиях" (3–6 июня 2002 г.). Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. Т. 7. С. 35.