

На правах рукописи

Поляков Сергей Александрович

СРЕДСТВО ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ БЕНЗИНА

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Волков Михаил Анатольевич

Официальные оппоненты: Дрейзин Валерий Элезарович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный
университет», профессор кафедры КиТЭВС

Жосан Артур Александрович
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Орловский государственный
аграрный университет», зав. кафедрой «Эксплуата-
ция машинно-тракторного парка и тракторы»

Ведущая организация: Воронежский институт Государственной
противопожарной службы Министерства
Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий

Защита состоится « 24 » июня 2014 г. в 11-00 на заседании диссертационного совета Д 212.182.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» по адресу: 302020, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29, (ауд. 212).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК».

Материалы по защите диссертации размещены на официальном сайте Госуниверситета – УНПК по адресу: www.gu-unpk.ru

Автореферат разослан _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

_____ В. Н. Волков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы обусловлена необходимостью контроля качества бензина при наличии в нем воды. Появление воды в бензине возникает в процессе жизненного цикла нефтепродуктов, в ходе которого происходит естественное накопление воды за счет гигроскопичности бензина и конденсации паров влаги. Такая же необходимость возникает из-за попыток фальсификации бензина. По данным Всероссийского общества прав потребителей, до 40 % продаваемого в стране топлива в настоящее время фальсифицировано. Статистика показывает, что из всех примесей в бензине практически около 70 % приходится на воду, поэтому остро встает вопрос об оперативном контроле бензина на наличие воды.

Удаление воды из топливной аппаратуры автомобиля в настоящее время возможно только путем физического вмешательства. При этом контролировать заправляемое топливо можно лишь по его косвенным признакам, причем на АЗС из всех контролируемых параметров топлива доступно только его октановое число.

Октановое число топлива определяют его тестированием исследовательским и моторным методами (ГОСТ 511-82, ГОСТ 8226-82). Выпускаемые в настоящее время октанометры (таблица 1) позволяют решать задачу оперативного контроля октанового числа топлива с низкой погрешностью измерения. Однако в данных приборах отсутствует возможность определения октанового числа топлива с примесью воды, наличие которой приводит к резкому повышению погрешности измерения октанового числа и недостоверным результатам контроля.

Таблица 1. Основные характеристики современных октанометров

Наименование	Диапазон измерения, ед. оч	Абсолютная погрешность измерения, ед. оч	Время измерения, с	Коррекция по температуре	Коррекция по удельной проводимости
ПЭ-7300 М (ЭКОХИМ)	66-98	$\pm 1,5$	3	нет	нет
ОКТАН-ИМ	67-98	± 2	10	нет	нет
SHATOX SX-100M	40-120	$\pm 0,5$	5	есть	нет

Принцип действия большинства современных приборов основан на диэлькометрическом методе контроля, согласно которому октановое число определяется по диэлектрической проницаемости бензина, составляющей $\epsilon_{\text{бенз}} \approx 2...2,3$. При этом даже сравнительно небольшое количество воды, имеющей высокую диэлектрическую проницаемость $\epsilon_{\text{воды}} \approx 81$, может привести к ошибочным результатам при определении октанового числа. Экспериментально установлено, что добавление в бензин 1 % воды приводит к повышению его диэлектрической проницаемости до уровня $\epsilon_{\text{изм}} \approx 2,9$ и, соответственно, к значительной погрешности измерения октанового числа бензина диэлькометрическим методом.

Вопросам контроля параметров бензина посвящен ряд работ отечественных и зарубежных ученых, которые внесли существенный вклад в совершенствование методов и средств определения октанового числа: Г.Ф. Большаков, Т.Н. Митусов, Н.Е. Конюхов, В.Н. Астапов, Dobson M.C., Hallikainen F.T., Hilhorst M.A., Remke L. и др.

Однако, несмотря на наличие работ в данном направлении, более широкое применение приборов оперативного диэлькометрического контроля октанового числа

практически ограничивается реальными свойствами бензиновой смеси, потенциальное наличие которой может приводить к недостоверным результатам контроля.

Таким образом, **актуальными** являются вопросы совершенствования средств диэлькометрического контроля, обеспечивающих возможность выявления воды в бензине и компенсацию ее влияния на точность определения октанового числа.

Объектом исследования являются диэлькометрические методы измерения параметров бензина.

Предмет исследования – способы, средства и многопараметрические модели диэлькометрического измерения параметров бензина.

Целью диссертации является повышение точности средств диэлькометрического контроля октанового числа бензина, в том числе с содержанием воды.

К основным задачам исследования относятся:

- сравнительный анализ калибровочных характеристик приборов диэлькометрического контроля октанового числа бензина при наличии мешающих воздействий;
- исследование зависимости влияния удельной проводимости на изменение резонансной частоты колебаний, оценка которых производится по нормированной амплитудно-частотной характеристике колебательной системы.
- разработка способов и алгоритмов измерения резонансной частоты при диэлькометрическом контроле бензина, обеспечивающих снижение инструментальной погрешности контроля октанового числа при его повышенной электропроводности и наличии воды;
- разработка структуры средства диэлькометрического контроля бензина с повышенной точностью и расширенным диапазоном измерения;
- экспериментальная проверка эффективности разработанного способа и прибора диэлектрического контроля октанового числа бензина.

Методы и средства исследований. При решении научной задачи по контролю бензина с содержанием воды использовались методы математического и схемотехнического моделирования, методы аппроксимации характеристик нелинейных элементов, методы определения погрешностей измерений, функций комплексного переменного.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности:

п. 3. Разработка, внедрение и испытания приборов, средств и систем контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, имеющих лучшие характеристики по сравнению с прототипами.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработана математическая модель процесса измерения диэлектрической проницаемости бензина методом частотного резонанса, отличающаяся компенсацией влияния электрической проводимости среды и учетом ее температуры при контроле октанового числа;
- разработан алгоритм определения резонансной частоты для диэлькометрического контроля качества бензина с коррекцией результатов измерений по удельной электрической проводимости и температуре, обеспечивающий повышение точности определения его октанового числа;
- разработана новая структура цифрового прибора для оперативного контроля качества бензина, основанная на предложенной математической модели и алгоритме преобразования, защищенная патентами на изобретение и полезную модель.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработаны цифровой прибор для контроля октанового числа бензина и высокостабильные емкостные преобразователи для допускового контроля углеводородного топлива.

Реализация и внедрение результатов исследований.

Результаты проведенных исследований внедрены на ЗАО «Научприбор» (г. Орел) и используются при проведении ОКР по модернизации аппаратуры, предназначенной для контроля состава жидких сред.

Апробация работы.

Основные результаты проведенных исследований апробированы и обсуждены на 9-ой Международной научно-практической конференции «Энерго- и ресурсосбережение-2013» Всероссийских научно-технических конференциях «Научная сессия ТУСУР-2012», «Научная сессия ТУСУР-2013».

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 8 работ, включая 2 статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК, 4 материалов и тезисов докладов, патент на изобретение и патент на полезную модель.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Модель процесса измерения дизелькометрической проницаемости бензина методом частотного резонанса, обеспечивающая повышение точности контроля его параметров за счет автоматической компенсации влияния внешних факторов.

2. Алгоритм определения резонансной частоты при контроле октанового числа бензина, обеспечивающий снижение погрешности резонансного измерения его дизелькометрической проницаемости за счет компенсации влияния электрической проводимости и температуры контролируемого топлива.

3. Структурная схема прибора для дизелькометрического контроля качества топлива, позволяющая уменьшить инструментальную погрешность при измерении параметров контролируемого бензина разных марок.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, включающего 141 наименование и 4 приложения и изложена на 122 страницах машинописного текста. Работа содержит 29 рисунков и 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика диссертационной работы, обоснована ее актуальность, сформулированы цель и задачи, научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен аналитический обзор способов и средств контроля бензина и методов снижения инструментальной погрешности дизелькометрических измерений. Выявлена перспективность применения двухпараметрового резонансного метода контроля, реализуемого при цифровом измерении и совместной обработке амплитудных и фазочастотных параметров выходных сигналов емкостных датчиков.

Сформулирована задача определения октанового числа D при контроле бензина по его диэлектрической проницаемости $\epsilon'_{\text{бенз}}$, удельной проводимости $\sigma_{\text{бенз}}$ и температуре $T_{\text{бенз}}$ с учетом чувствительности к изменению этих параметров $S(\Delta\epsilon\Delta\sigma\Delta T)$ при обеспечении минимальной погрешности $\delta_{\text{изм}}$ и времени $t_{\text{изм}}$ измерения:

$$D(\varepsilon, \sigma, T) = f(\varepsilon'_{\text{бенз}}, \sigma_{\text{бенз}}, T_{\text{бенз}}) + S(\Delta\varepsilon, \Delta\sigma, \Delta T), \quad \delta_{\text{изм}} = \frac{|D_{\text{изм}} - D_{\text{ист}}|}{D_{\text{ист}}},$$

$$t_{\text{изм}} \rightarrow \min, \quad \delta_{\text{изм}} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Решение научной задачи проводится с учетом следующих ограничений:

$$T_{\text{бенз}} \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad \sigma_{\text{бенз}} \approx 100 \text{ нСм/м}, \quad t_{\text{изм}} = (1 \dots 3) \text{ с}. \quad (2)$$

Во **второй главе** разработана модель процесса измерения диэлектрической проницаемости бензина методом частотного резонанса с учетом его электрической проводимости по максимуму амплитудно-частотной характеристики системы на основе связанных резонансных контуров с емкостным датчиком.

Предложена обобщенная структура прибора и модель процесса контроля октанового числа D бензина, основанная на измерении его диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{\text{бенз}}$ с учетом электропроводности $\sigma_{\text{бенз}}$ и температуры $T_{\text{бенз}}$ (рисунок 1).

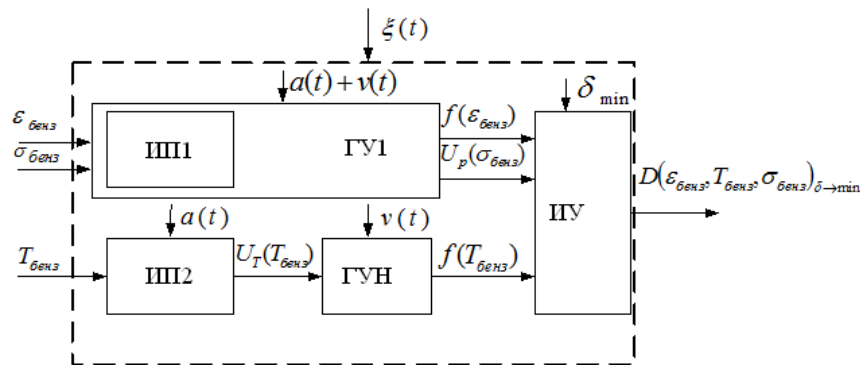


Рисунок 1 – Модель процесса экспрессного контроля бензина

В данной структуре прибора контролируемые параметры $\varepsilon_{\text{бенз}}$, $\sigma_{\text{бенз}}$ и $T_{\text{бенз}}$ поступают на входы измерительных преобразователей ИП1, ИП2 и изменяют их резистивно-емкостные параметры. Генераторные устройства ГУ1 и ГУН реагируют на входные воздействия, вызывающие изменения параметров и выходного напряжения, которые измеряются с помощью измерительного устройства ИУ.

Согласно разработанной модели процесса контроля октанового числа бензина работа генераторного устройства ГУ1 описывается дифференциальным уравнением:

$$d^2i/dt^2 + 2\lambda di/dt + \omega_0^2 i = 0, \quad (3)$$

где $2\lambda = (R_{\text{Э}}C)^{-1} - MS(i)/LC$; M – коэффициент взаимной индукции в обратной связи генератора; $R_{\text{Э}}$ – эквивалентное сопротивление LC -контра на резонансной частоте.

Вследствие высокой добротности резонансного LC -контра генератора ГУ1 в стационарном режиме работы данное выражение принимает гармонический вид:

$$i(t) = i_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (4)$$

Параметры выходного сигнала преобразователя ИП1 зависят от совокупности диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{\text{бенз}}$ контролируемого топлива и влияния диэлектрической проницаемости побочных влияющих факторов $\varepsilon_{x1}, \varepsilon_{x2}, \dots, \varepsilon_{xn}$:

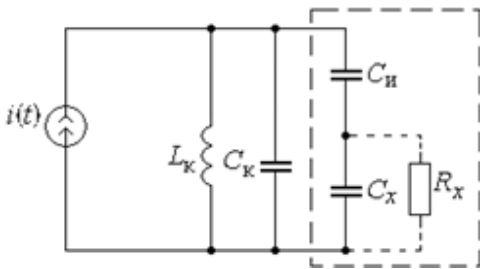
$$\varepsilon'_{\text{бенз}}(f) = f(\varepsilon_{\text{бенз}}, \varepsilon_{x1}, \varepsilon_{x2}, \dots, \varepsilon_{xn}). \quad (5)$$

Погрешность измерительного преобразователя ИП1 зависит от его относительной чувствительности к измеряемой диэлектрической проницаемости $S'_{\epsilon_x/\epsilon_x}$ и относительной чувствительности $S'_{\epsilon_x/\epsilon_{xi}}$ к побочным влияющим факторам:

$$\delta_\epsilon = \frac{\sum_{i=1}^n S'_{\epsilon_x/\epsilon_{xi}} \cdot (\Delta\epsilon_{xi} / \epsilon_{xi})}{S'_{\epsilon_x/\epsilon_x} \cdot (\Delta\epsilon_x / \epsilon_x)}. \quad (6)$$

Согласно (6), для уменьшения погрешности следует снижать чувствительность ИП1 к побочным факторам и уменьшать диапазон изменения влияющих величин.

В качестве эквивалентной схемы измерительного преобразователя ИП1 необходимо использовать параллельный $L_K C_K$ -контур с емкостным датчиком C_X , в котором учтено сопротивление R_X потерь в топливе. При этом датчик подключен к контуру



через емкость изоляции $C_{И}$ (рисунок 2). В этом случае резонансная частота контура $f_p = 1/2\pi\sqrt{L_K C_{П}}$ зависит от его полной емкости $C_{П}$, включающей емкость C_X датчика, которая связана с диэлектрической проницаемостью бензина линейным выражением:

$$C_X = g\epsilon_{бенз}\epsilon_0 \quad (7)$$

где g – геометрический фактор, учитывающий конфигурацию датчика; $\epsilon_{бенз}$ – относительная диэлектрическая проницаемость; ϵ_0 – проницаемость вакуума.

Для учета зависимости емкости от температуры среды введен коэффициент:

$$K_T C = K_{T\epsilon} + 2K_{TV} \quad (8)$$

где $K_{T\epsilon}$ – температурный коэффициент измеряемой среды, а K_{TV} – коэффициент, зависящий от свойств измерительного емкостного преобразователя.

Учет влияния присадок и примесей в топливе определяется выражением:

$$\epsilon'_{бенз} = k_{бенз}\epsilon_{бенз} + k_{прис}\epsilon_{прис} + k_{прим}\epsilon_{прим} \approx \epsilon_{бенз} \cdot K_{T\sigma}. \quad (9)$$

С учетом (7)–(9) выражение для емкости преобразователя ИП1 имеет вид:

$$C_X = K_T C \cdot K_{T\sigma} \cdot g \cdot \epsilon_{бенз} \cdot \epsilon_0. \quad (10)$$

В реальных средах диэлектрическая проницаемость является комплексной:

$$C_X^* = C'_X - j \left(\frac{g_c \sigma}{\omega} + g_c \epsilon''_{rel} \epsilon_0 \right), \quad (11)$$

где действительная часть – функция октанового числа, а мнимая определяется потерями от активной проводимости σ и релаксационной составляющей потерь ϵ''_{rel} .

Для оценки проводимости топлива предложено выполнять два измерения амплитуды выходного напряжения измерительного преобразователя: с пустым емкостным датчиком $U_{ВЫХО} = I_m R_{Э0}$, и после его заполнения контролируемым материалом

$U_{\text{ВЫХ}} = I_m / (\Delta G_x + 1/R_{\text{Э0}})$, а затем реализовать операции вычитания (для выделения приращения выходного напряжения $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$) и деления (для оценки проводимости ΔG_x):

$$\Delta G_x = (U_{\text{ВЫХ0}} - U_{\text{ВЫХ}}) / U_{\text{ВЫХ}} \cdot R_{\text{Э0}} = \Delta U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВЫХ}} \cdot R_{\text{Э0}}, \quad (12)$$

где $R_{\text{Э0}}$ – эквивалентное сопротивление LC -контура на резонансной частоте.

Полученные результаты электропроводимости необходимо вводить в качестве поправки в результаты измерений, определяемой по емкости датчика C_x , которую необходимо вычислять по результату измерения частоты резонансных колебаний.

Выражения (8)–(10), (12) описывают основные параметры математической модели процесса измерения диэлектрической проницаемости бензина, методом частотного резонанса с учетом его электрической проводимости.

Для оценки диапазона работы модели проведен анализ взаимосвязи октанового числа с диэлектрической проницаемостью бензина, в результате которого определены граничные значения его диэлектрической проницаемости: $\epsilon_{\text{бенз}} = 2,080 \dots 2,295$.

При фиксированном значении геометрического фактора g емкостного датчика в выражении (10) получены расчетные зависимости его емкости от диэлектрической проницаемости (рисунок 3), анализ которых позволил сформулировать требования к значению емкости преобразователя ИП1, которая должна составлять $C_x = \{184 \dots 204\}$ пФ.

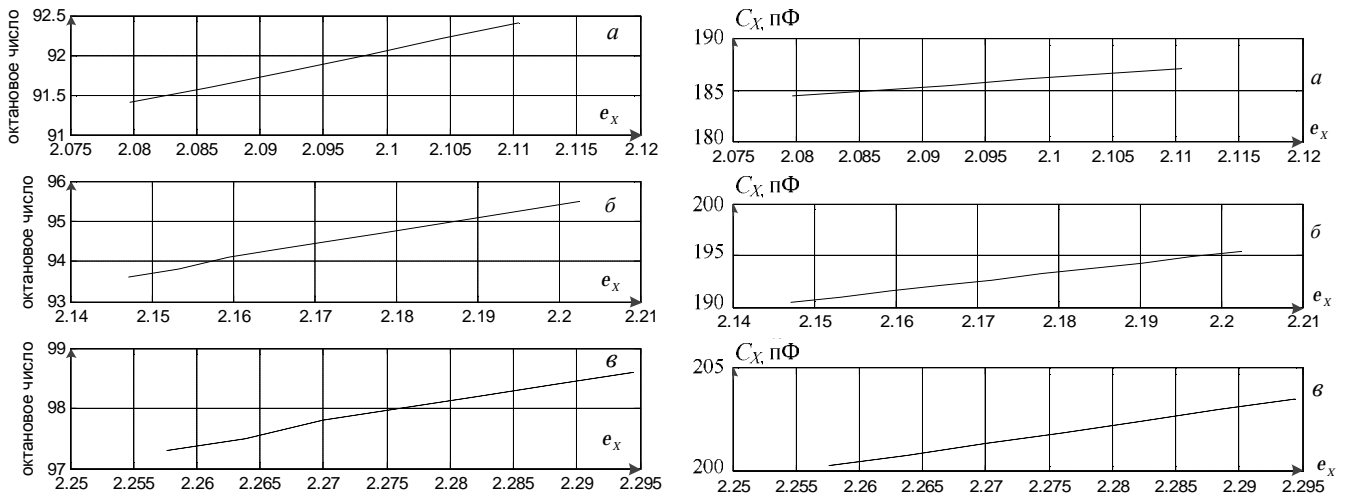


Рисунок 3 – Графики зависимости емкости ИП1 и октанового числа от диэлектрической проницаемости: *a* – для 92 бензина, *б* – для 95 бензина, *в* – для 98 бензина

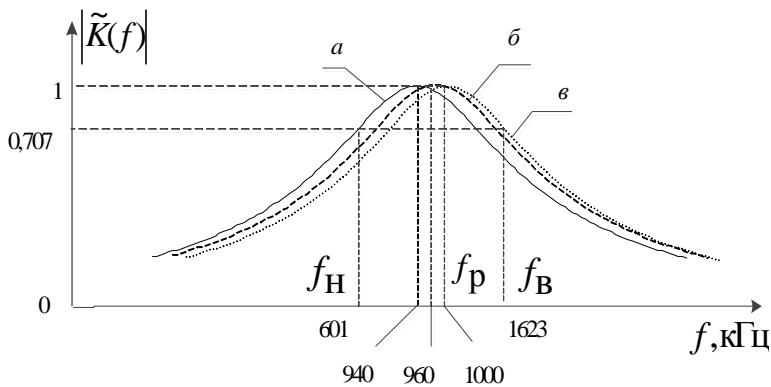


Рисунок 4 – Нормированные резонансные кривые: *a* – для 92 бензина, *б* – для 95 бензина, *в* – для 98 бензина

С целью оценки граничных частот емкостного датчика (рисунок 4) выполнены исследования нормированных амплитудно-частотных характеристик измерительного преобразователя, построенных для различного вида бензина (АИ-92, АИ-95, АИ-98).

$$|\tilde{K}(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}}. \quad (13)$$

В результате теоретических исследований выполненных с использованием модели установлены требования к ширине полосы пропускания емкостного датчика и коэффициенту прямоугольности LC -контура:

$$f_H = 601 \text{ кГц}, f_B = 1623 \text{ кГц}, K_{\Pi} \geq 6. \quad (14)$$

По результатам проведенных исследований выполнена оценка относительной погрешности определения диэлектрической проницаемости на граничных частотах:

$$\delta_H = \frac{C_{\text{ист}} - C_H}{C_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 0,15\%, \delta_B = \frac{C_{\text{ист}} - C_B}{C_{\text{ист}}} \cdot 100\% = 0,3\%. \quad (15)$$

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что максимальная погрешность измерения по обобщенной характеристике резонансного контура в разработанной модели диэлькометрического контроля не превышает значения 0,3 %.

Установлено, что наилучшие свойства резонансной системы с измерительным преобразователем ИП1 достигаются в системе связанных резонансных контуров. Для анализа таких контуров проведено схемотехническое моделирование емкостного датчика в программной среде имитационного моделирования при варьировании контролируемых RLC -параметров, результаты которого приведены на рисунке 5.

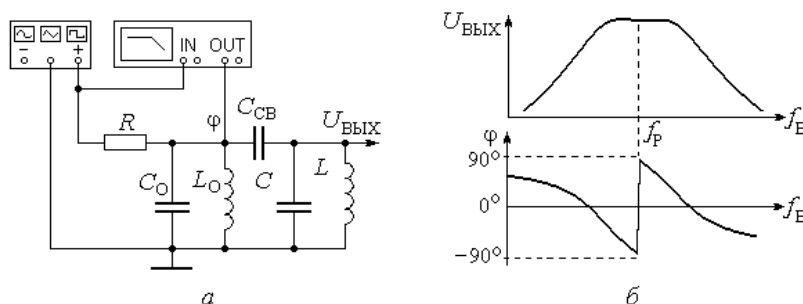


Рисунок 5 – Моделируемая схема (а) и ее частотные характеристики (б)

В результате исследований установлено, что при плоской форме АЧХ выходного напряжения контура $U_{\text{вых}} = F(f_B)$ наблюдается резкое изменение фазы сигнала на выходе образцового L_0C_0 -преобразователя на частоте резонанса f_p в пределах от -85° до $+85^\circ$ (рисунок 5, б). Поэтому в устройстве для контроля октанового числа бензина на основе взаимосвязанных контуров необходимо измерять амплитуду напряжения на выходе рабочего преобразователя, а резонансную частоту выделять по смене знака фазы сигнала на выходе образцового L_0C_0 -преобразователя. Кроме того, установлено, что наиболее плоская форма вершины амплитудно-частотной характеристики обеспечивается при выборе емкости связи рабочего и образцового контуров по условию

$$C_{CB} \approx (0,03 \dots 0,04)C_0. \quad (16)$$

Для расширения диапазона контроля бензина необходимо перестраивать частоту колебаний управляемого генератора в процессе измерения диэлектрической проницаемости топлива, что оказывает существенное влияние на стабильность частоты колебаний и ведет к уменьшению достоверности результатов контроля.

Для повышения достоверности контроля предложено в предлагаемой модели применять дополнительный блок вычитания частот первого и опорного генератора.

Новизна предложенной модели заключается при совместном учете диэлектрической проницаемости и удельной электрической проводимости, а также температуры топлива в момент появления частотного резонанса, достигается снижение погрешности и расширение диапазон измерения по сравнению с известными однопараметрическими моделями диэлькометрического контроля.

Практическая ценность модели обусловлена тем, что позволяет исследовать и реализовывать диэлькометрические приборы для контроля бензина с автоматизацией процесса измерения и обеспечением его высокой производительности.

В третьей главе разработан и исследован алгоритм диэлектрического контроля бензина с повышенной точностью измерения его параметров за счет автоматической коррекции влияния электрической проводимости топлива и его температуры.

Функциональная схема прибора контроля бензина показана на рисунке 6.

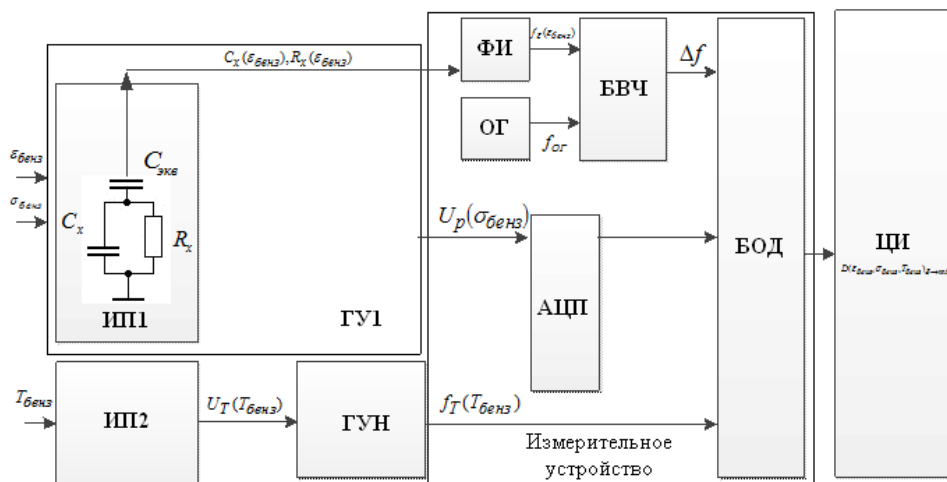
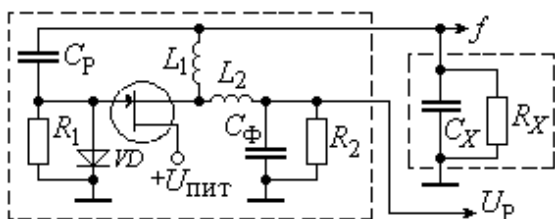


Рисунок 6 – Функциональная схема прибора контроля

В предложенной функциональной схеме процесс контроля октанового числа бензина сводится к измерению его диэлектрической проницаемости, определению резонансной частоты, ее вычитанию из образцовой частоты и цифровому измерению разности этих частот Δf в блоке обработки данных БОД, выполняющем коррекцию результатов с учетом температуры и удельной проводимости топлива.

Полупроводниковый датчик температуры ИП2 изменяет частоту генератора ГУН пропорционально температуре топлива, а корректировка значения октанового числа осуществляется в блоке обработки данных БОД измерительного устройства.

Измерительный преобразователь ИП1 в схеме генератора ГУ1 выполнен в виде цилиндрического конденсатора, заполняемого контролируемым бензином, емкость C_X и сопротивление R_X которого зависят от его свойств и содержания в нем воды (рисунок 7).



На выходе генераторного устройства формируются две величины (17) и (18), пропорциональные значениям активной проводимости и диэлектрической проницаемости топлива:

$$U_p = U_{отс} R_2 / (R_2 + R_X), \quad (17)$$

$$f_{\epsilon}(\epsilon_X) = f_{\epsilon, \text{реал}}(\epsilon_X) / \sqrt{1 - \frac{(L_1 + L_2) \cdot U_p^2}{4R_2^2 C_X (U_{отс} - U_p)^2}}. \quad (18)$$

Рисунок 7 – Принципиальная схема генераторного устройства

Алгоритм процесса контроля бензина в функциональной схеме устройства включает в себя этапы измерения и компенсации влияния внешних факторов (рисунок 8).

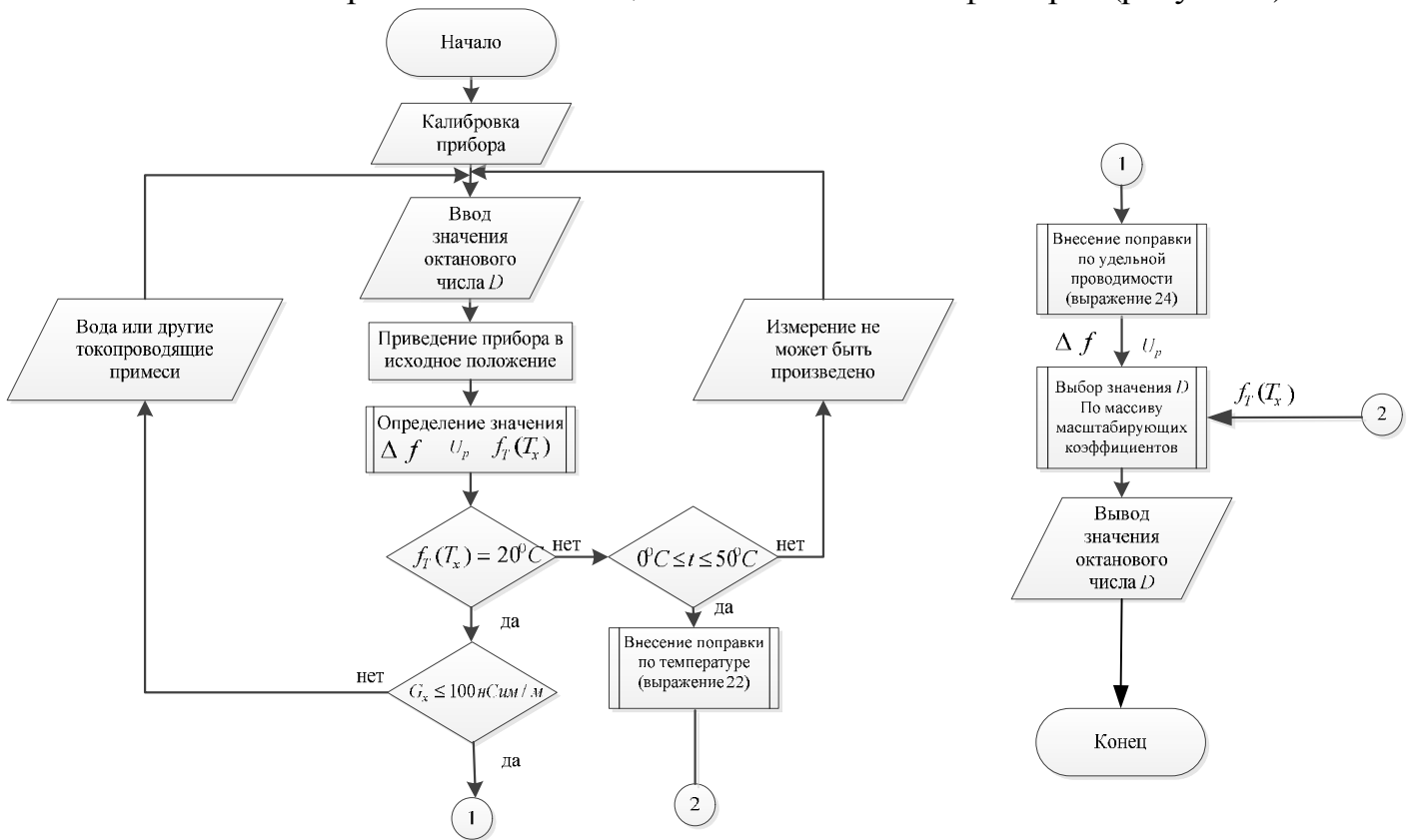


Рисунок 8 – Алгоритм диэлектрического контроля октанового числа бензина

Для вычисления коэффициента поправки на температуру (8) исследована зависимости диэлектрической проницаемости бензина от его температуры (рисунок 9).

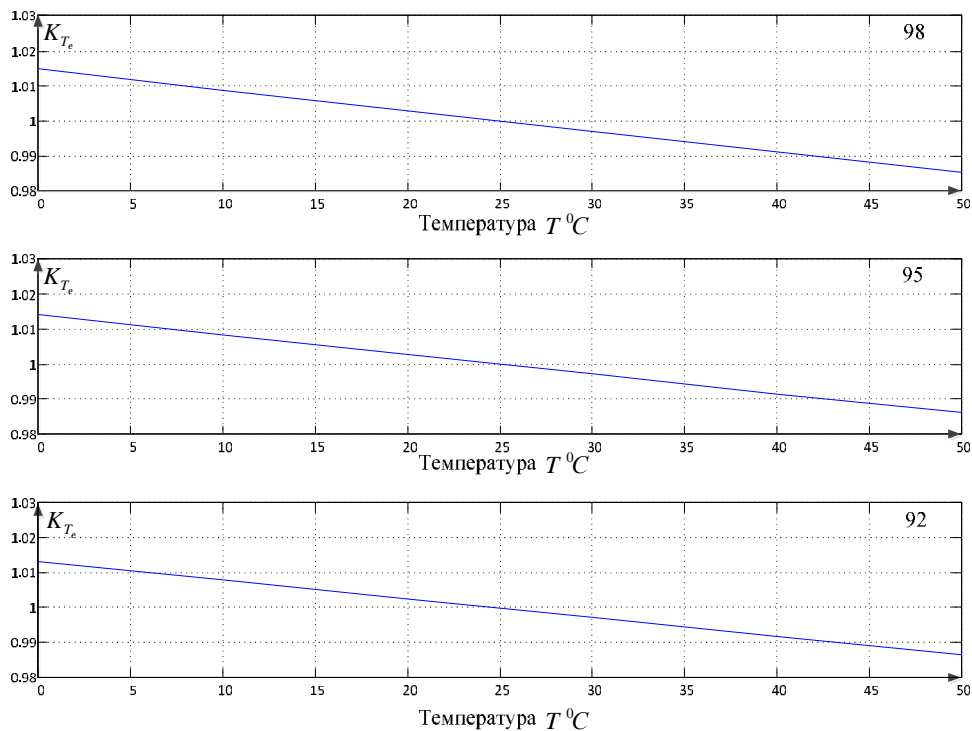


Рисунок 9 – Поправочные коэффициенты по температуре для бензина АИ-98, АИ-95, АИ-92

Для вычисления корректирующих коэффициентов по температуре определены и аппроксимированы уравнения калибровочных характеристик:

$$\begin{aligned} K_{T_e} &= 2,11 \pm 5,21 \cdot 10^{-4} - (0,79 \pm 0,18) \cdot 10^{-4} T \quad (\text{АИ } 92), \\ K_{T_e} &= 2,19 \pm 4,83 \cdot 10^{-4} - (0,72 \pm 0,16) \cdot 10^{-4} T \quad (\text{АИ } 95), \\ K_{T_e} &= 2,28 \pm 4,91 \cdot 10^{-4} - (0,50 \pm 0,15) \cdot 10^{-4} T \quad (\text{АИ } 98). \end{aligned} \quad (19)$$

Оценена погрешность аппроксимации с использованием данных выражений:

$$\delta_{\text{апр}}(92) \approx 0,4 \% ; \delta_{\text{апр}}(95) \approx 0,5 \% ; \delta_{\text{апр}}(98) \approx 0,7 \% , \quad (20)$$

т. е. максимальная погрешность при температурной коррекции не превышает 0,7 %.

С целью формирования массива корректирующих коэффициентов по удельной проводимости топлива проведено имитационное моделирование генераторного устройства (рисунок 7) и получен график экспериментальной зависимости (рисунок 10).

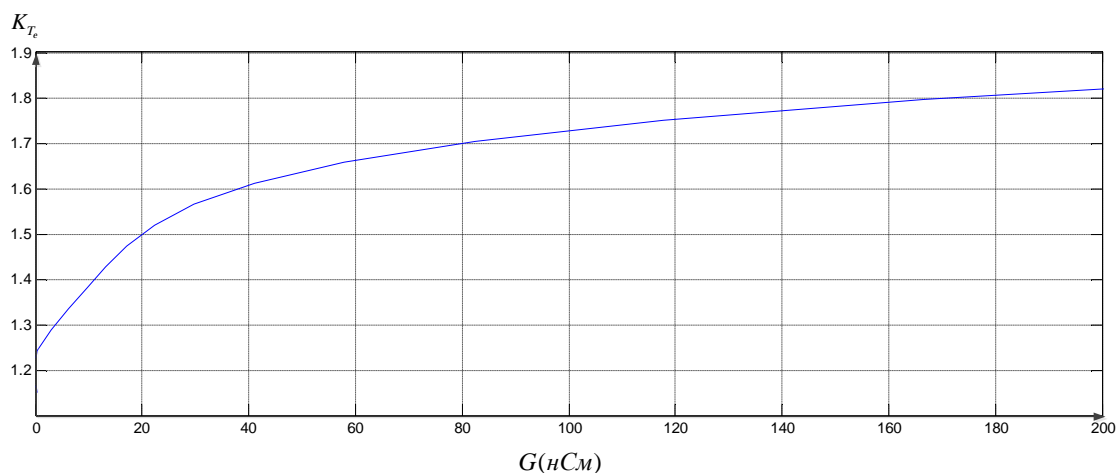


Рисунок 10 – Значение поправки по удельной проводимости

На основании полученных статистических данных исследована зависимость выходного напряжения контура, зависящего от диэлектрической проницаемости и удельной проводимости бензина. С учетом ее нелинейности получено аппроксимирующее выражение для определения корректирующих коэффициентов:

$$K_{T_e} = 0,0078931 \sigma^2 + 0,036856\sigma + 0.32573 \quad (21)$$

Конечное значение октанового числа определяется с помощью полиномиального многочлена Лагранжа (23), полученного интерполяцией массива данных зависимости октанового числа D бензина от диэлектрической проницаемости ϵ .

$$\epsilon'_{\text{бенз}} = \epsilon_{\text{бенз}} K_{TC} K_{T\sigma} g \epsilon_0 , \quad (22)$$

$$\begin{aligned} D(\epsilon) &= 16,501 \cdot 10^4 \epsilon'_{\text{бенз}}{}^5 - 180,302 \cdot 10^4 \cdot \epsilon'_{\text{бенз}}{}^4 + 787,850 \cdot 10^4 \cdot \epsilon'_{\text{бенз}}{}^3 - \\ &- 1720,66 \cdot 10^4 \cdot \epsilon'_{\text{бенз}}{}^2 + 1878,3 \cdot 10^4 \cdot \epsilon'_{\text{бенз}} - 819,918 \cdot 10^4 . \end{aligned} \quad (23)$$

При экспериментальной проверке адекватности разработанного алгоритма получены графические зависимости октанового числа бензина от его температуры и удельной электрической проводимости (рисунок 11).

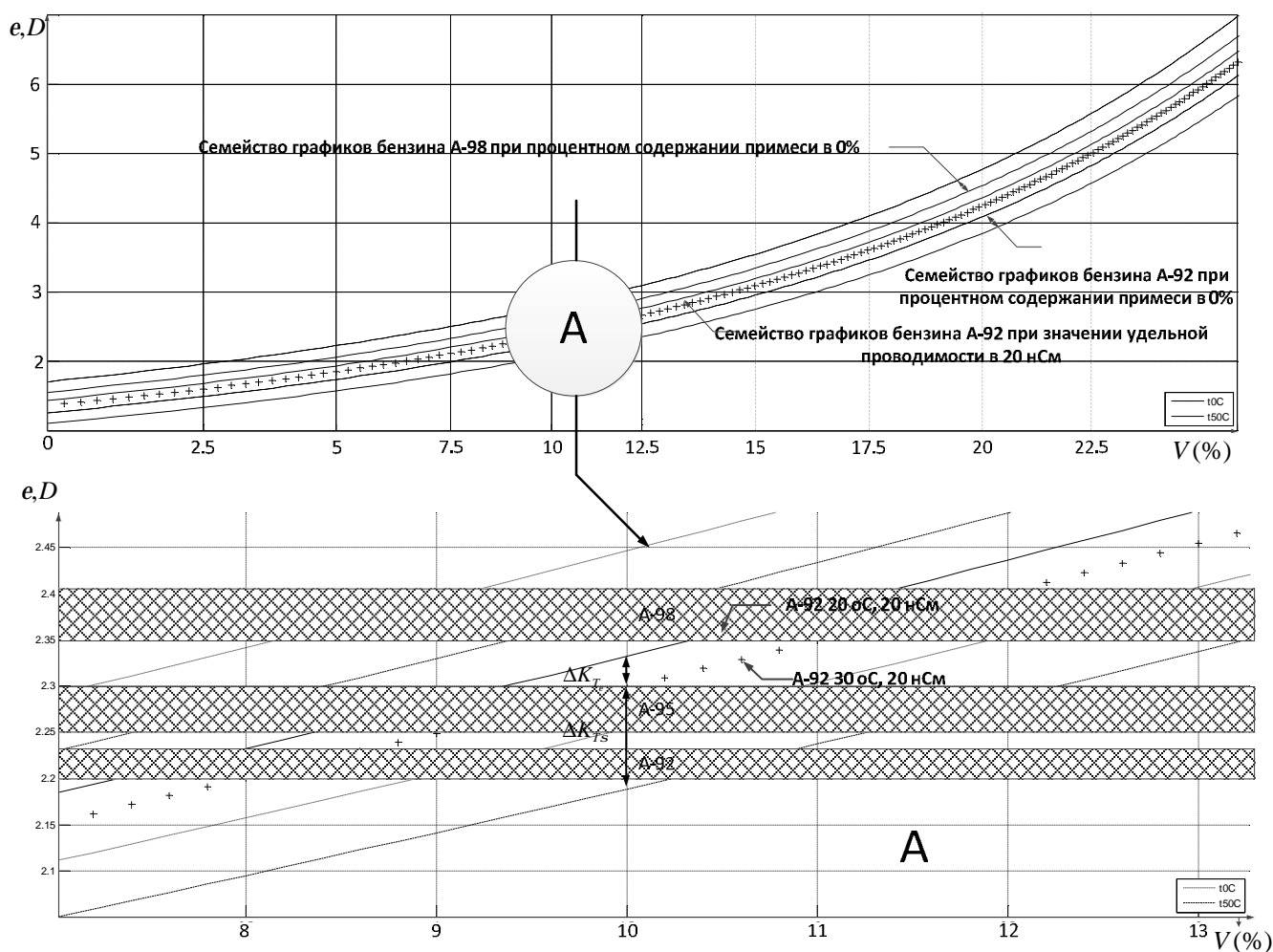


Рисунок 11 – Графические зависимости октанового числа бензина от его температуры и удельной проводимости

Анализ результатов проведенной серии экспериментов показал, что при учете температуры топлива и его электрической проводимости погрешность определения октанового числа бензина снижается до уровня менее 1,0 % даже при наличии воды.

Новизна разработанного алгоритма заключается в том, он обеспечивает снижение инструментальной погрешности диэлькометрического измерения октанового числа бензина в автоматическом режиме работы за счет коррекции результатов по удельной электрической проводимости топлива и его температуре.

Ограничением в применении данного алгоритма является невозможность построения универсальной калибровочной характеристики для всех видов топлива и, как следствие, невозможность определения качества незаявленного вида топлива.

В четвертой главе представлены результаты практических исследований по разработке узлов прибора для экспрессного контроля октанового числа бензина, исследованы особенности построения калибровочной характеристики и проведен анализ эффективности применения разработанного цифрового октанометра.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработана оригинальная конструкция цифрового портативного прибора с емкостным датчиком, в которой реализовано измерение октанового числа бензина диэлькометрическим резонансным способом, представленная на рисунке 12.

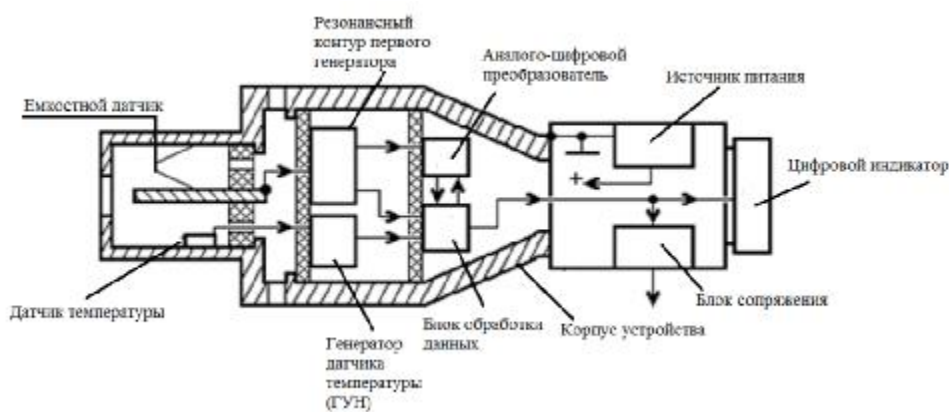


Рисунок 11 – Конструкция цифрового октанометра с автономным питанием

Достоинством разработанного прибора является возможность его применения для допускового контроля качества топлива по относительному количеству содержания воды, что расширяет функциональные возможности такого устройства.

Для оценки полученного эффекта проведен анализ полученных результатов методом идеальной точки в соответствии с общим вектором показателей:

$$\dot{I}(x) = [D, \delta_{\text{общ}}, t_{\text{изм}}], \quad (24)$$

где D – диапазон измерения октанового числа единиц; $\delta_{\text{общ}}$ – инструментальная погрешность прибора; $t_{\text{изм}}$ – время измерения. $\delta_{\text{общ}} \approx \sqrt{\delta_{\text{м}}^2 + \delta_{\text{дс}}^2 + \delta_{\text{апр}}^2} \approx 1,0 \%$, где $\delta_{\text{м}}$ – погрешность модели, $\delta_{\text{дс}}$ – погрешность дискретизации счета, $\delta_{\text{апр}}$ – погрешность аппроксимации, которые соответствуют абсолютной погрешности $\pm 0,3$ ед. оч.

Значение обобщенного показателя эффективности от внедрения устройства для измерения октанового числа бензина, описывается следующим выражением:

$$V_{\text{эф}} = \frac{\Delta Y^{\text{БАЗ}} - \Delta Y^{\text{НОВ}}}{\Delta Y^{\text{БАЗ}}} \times 100\%, \quad (25)$$

где $\Delta Y^{\text{БАЗ}}$ – обобщенный показатель эффективности базового образца;

$\Delta Y^{\text{НОВ}}$ – обобщенный показатель эффективности базового образца.

В качестве базового образца для сравнительной оценки был выбран октанометр *SHATOX SX-100M*, параметры которого приведены в таблице 1.

Сравнение приведенных показателей показывает, что обобщенный выигрыш при суммарном значении погрешности измерения 1,0 % составляет около 13 %, что является доказательством достигнутой цели проведенного исследования.

Основные результаты и выводы

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. В результате проведенного анализа свойств и характеристик бензина установлены наиболее значимые параметры для его контроля. При применении диэлектометрического метода измерения в качестве косвенных параметров бензина для определения его октанового числа необходимо использовать относительную диэлектрическую проницаемость, удельную проводимость и температуру.

2. Анализ примесей к бензину и их влияния на основные характеристики разработанного прибора позволил определить воду, как наиболее существенно влияющую на эксплуатационные параметры.

3. Разработана математическая модель процесса измерения диэлектрической проницаемости бензина, основанная на методе частотного резонанса, которая отличается учетом удельной электрической проводимости контролируемого топлива и его температуры с определением частоты резонанса по смене знака фазы выходного сигнала емкостного датчика.

4. В результате теоретических исследований установлены диапазоны изменения диэлектрической проницаемости для бензинов марки АИ-92, АИ-95, АИ-98, которые составляют значение 2,08–2,295. Получены предельные значения емкости емкостного датчика для допускового контроля бензина изменяется в диапазоне от 184 до 203,5 пФ, определены его граничные частоты 601 кГц и 1623кГц и установлена оптимальная частота измерения (1 МГц).

5. В результате теоретических исследований определены условия снижения методической погрешности при определении резонансной частоты измерительного преобразователя в составе колебательной системы по результатам измерений амплитудно-частотных и амплитудно-фазовых характеристик. Необходимым условием уменьшения методической погрешности определения резонансной частоты контура является применение резонансного режима работы эталонного и рабочего преобразователя в системе связанных контуров.

6. Разработана функциональная схема прибора экспрессного контроля бензина, описаны назначения блоков и узлов функциональной схемы, предложен способ расширения диапазона контроля и повышения чувствительности к контролируемым параметрам.

7. Проведено исследование влияния температуры топлива и удельной проводимости среды на его диэлектрическую проницаемость, в результате которого получены массивы статистических данных. С использованием нелинейного регрессионного анализа проведен расчет коэффициентов полинома, необходимых для формирования массива корректирующих коэффициентов.

8. Проведена экспериментальная проверка работы алгоритма, в результате которого установлено, что при концентрации воды объемом в 10% для бензина марки АИ-92 за счет введения поправки по температуре и удельной проводимости погрешность определения октанового числа снижается до значения 1%.

9. Предложены отдельные конструкторские решения для прибора контроля бензина. Проведен анализ зависимости чувствительности и относительного изменения частоты колебаний от приращения емкости датчика.

10. Исследована инструментальная погрешность прибора, проведен сравнительный анализ с аналогами, методом идеальной точки проведена оценка обобщенного полученного эффекта от использования прибора по сравнению с базовым образцом. Таким образом инструментальная погрешность прибора составляет 1,0 %, а эффект от его применения 13 %.

11. Разработаны конструкции емкостных датчиков и схема цифрового прибора с автономным питанием для контроля качества бензина, которые внедрены в СКБ ЗАО «Научприбор» (г. Орел) и используются при выполнении ОКР по подготовке производства к выпуску портативных устройств для контроля октанового числа.

12. Разработаны оригинальная структурная схема и конструкция трехпараметрического диэлькометрического прибора для допускового контроля качества бензина, в котором обеспечена высокая чувствительность к электрической проводимости, что позволяет автоматизировать контроль процентного содержания воды в бензине.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о достижении цели и решении основных научных задач, поставленных в диссертационной работе.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ
Журналы из перечня изданий, рекомендованных ВАК

1. **Поляков, С.А.** Математическая модель процесса контроля качества бензина [Текст] / С.А. Поляков // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2013. – № 4 (300). – С. 116-121. (Личное участие 100 %)
2. **Поляков, С.А.** Экспрессное измерение октанового числа диэлькометрическим способом [Текст] / С.А. Поляков, М.А. Волков // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2014. – № 1 (303). – С. 136-143. (Личное участие 50 %)

Патенты и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

1. Устройство для измерения октанового числа бензинов: пат. 2460065 РФ: МПК G01N 27/22. С.А Поляков, М.А Волков, Б.Р. Иванов; опубл. 17.03.11, Бюл. № 27 (Личное участие 50 %)
2. Устройство экспрессного контроля октанового числа бензина: пат. 132206 РФ: МПК G01N 27/22. С.А Поляков, М.А Волков, Ю.Б. Иванов; опубл. 10.09.13, Бюл. № 24 (Личное участие 45 %)

Прочие публикации

1. **Поляков, С.А.** Автоматизация способа диэлькометрического измерения углеводородного топлива [Текст] / С.А. Поляков // *Материалы международной научно-практической конференции «Энерго и ресурсосбережение – XXI век»*. - Орел, 1 марта – 30 июня 2013г.- с.267. (Личное участие 100 %)
2. **Поляков, С.А.** Преобразователь для экспрессного измерения качества бензина [Текст] / С.А Поляков, М.А Волков, Б.Р. Иванов // *Сборник тезисов научной сессии «ТУСУР-2012»*, Ч. 2. – Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск, 2012. – С. 193 – 195. (Личное участие 45 %)
3. **Поляков, С.А.** Особенности моделирования процесса контроля бензина [Текст] / С.А Поляков, М.А Волков, Б.Р. Иванов // *Сборник тезисов научной сессии «ТУСУР-2013»*, Ч. 2. – Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск, 2013. – С. 284 – 287. (Личное участие 45 %)
4. **Поляков, С.А.** Разработка измерительного преобразователя для прибора диэлькометрического контроля бензина [Текст] / С.А Поляков, М.А Волков, Б.Р. Иванов // *Сборник статей конференции «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях ИАМП-2013»*. – Бийск, 2013. – С. 95 – 97. (Личное участие 50 %)

ЛР ИД № 00670 от 05.01.2000 г.

Подписано к печати « 22 » апреля 2014 г.

Усл. печ. л.1 Тираж 100 экз.

Заказ № 177.

Полиграфический отдел «Госуниверситет-УНПК»

302035, г. Орел, ул. Московская, 65