

УДК 665.7.035.8:629.3

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ МОТОРНОГО ТОПЛИВА В СМАЗОЧНОМ МАСЛЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

¹Ляпина О.В., ¹Власов Ю.А., ²Ляпин А.Н.

¹ФГБОУ ВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»,
Томск, e-mail: yury2006@yandex.ru;

²ООО «Газпром трансгаз Томск», Томск, e-mail: reduktor@sibmail.com

В работе показано, что моторное топливо в смазочном масле автомобильных агрегатов является диагностическим признаком, по которому можно оценивать техническое состояние топливной аппаратуры. Ранее оценить присутствие моторного топлива в масле можно было методом температуры вспышки масла только в лабораторных условиях. В статье предлагается идентифицировать моторное топливо в масле резонансным методом колебательного контура. В работе приводится теоретическое обоснование метода, которое построено на электрофизических зависимостях взаимодействия смазочного масла и моторного топлива с электрическим полем. Экспериментальная оценка загрязненности смазочного масла выполнялась на моторных маслах по диагностическому критерию, называемому индексом качества масла. Экспериментально установлено, что по снижению индекса качества масла названным методом можно идентифицировать присутствие моторного топлива в смазочном масле.

Ключевые слова: диагностика, автомобиль, моторное топливо, смазочное масло, диэлектрическая проницаемость

METHOD OF IDENTIFICATION OF MOTOR FUEL IN LUBRICANT OIL OF AUTOMOBILE UNITS

¹Lyapina O.V., ¹Vlasov Y.A., ²Lyapin A.N.

¹Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, e-mail: yury2006@yandex.ru;

²Gazprom transgaz Tomsk, Tomsk, e-mail: reduktor@sibmail.com

In work it is shown that if motor fuel gets to lubricant oil, it is a diagnostic sign on which it is possible to estimate technical condition of the fuel equipment. It was possible to estimate presence of motor fuel at oil by an oil flash temperature method only in laboratories earlier. In article it is offered to identify motor fuel in lubricant oil by a resonant method of an oscillatory contour. The theoretical justification of a method constructed on electric and physical dependences of interaction of lubricant oil and motor fuel with electric field is given in work. The experimental assessment of impurity of lubricant oil was carried out on engine oils by diagnostic criterion, which the index of quality of oil is called. It is experimentally established, decrease in an index of quality of oil of the called method identifies presence of motor fuel at lubricant oil.

Keywords: diagnostics, car, motor fuel, lubricant oil, dielectric permeability

Повышение долговечности и надежности работы автомобильных агрегатов является одной из важных проблем транспортной отрасли. Задачи по повышению долговечности автомобильного транспорта, которые ставят перед собой автопроизводители, не будут иметь успеха, если не будет поставлено рационально эксплуатация автотранспортных средств. Из многообразия эксплуатационных факторов, влияющих на долговечность агрегатов, значительное место отводится качеству эксплуатационных материалов, главным образом моторному топливу и маслу.

Нефтеперерабатывающая промышленность проводит большую работу по совершенствованию существующих и созданию новых высококачественных топливо-смазочных материалов. Но применению топлив и масел в условиях эксплуатации, нередко не уделяется должного внимания. Поэтому вопросы рационального использования топлив

и масел в условиях эксплуатации транспортных средств для ряда исследователей являются достаточно важными [7]. Важными являются вопросы оценки изменений свойств работающего масла, происходящих в процессе его применения в автомобильном агрегате (например, в двигателе) [1, 3].

Известно [4], что качество работающего масла значительное влияние оказывает на состояние двигателя, агрегатов трансмиссий и гидравлических систем, т.е. тех агрегатов и механизмов, которые оборудованы замкнутыми системами смазки. Для того чтобы оценить характер изменения качественных показателей масла, которые оказывают влияние на работоспособность агрегата и способны нести информацию об его техническом состоянии, необходимо располагать сведениями, получить которые можно, применяя стандартные [4] и специально разработанные [6] методы контроля параметров работающего масла.

Постановка проблемы

Наличие моторного топлива (бензина или дизельного топлива) в работающем масле автомобильного двигателя недопустимо, а его присутствие является диагностическим признаком. Топливо в свежее масло может попасть при пересортице нефтепродуктов, когда после перевозки топлива в транспортируемую емкость заливают масло. Однако такие случаи в автотранспортных предприятиях достаточно редкие. Главной причиной попадания моторного топлива в работающее масло является неправильная регулировка топливной аппаратуры двигателей транспортных средств, а также износ жиклеров у карбюраторов или износ плунжерной пары форсунок. При этом топливо в камере сгорания двигателя сгорает не полностью, и его часть, за счет насосного действия цилиндропоршневой группы, попадает в картер двигателя, где топливо и смешивается с работающим маслом, разбавляя его и ухудшая смазывающие свойства. Поэтому присутствие топлива в масле может характеризовать как техническое состояние топливной аппаратуры, так и ухудшение вязкостных свойств работающего масла, создает проблемную ситуацию при эксплуатации автомобильного транспорта, решению которой способствует проведение аналитических и экспериментальных исследований.

Исследования [4] показали присутствие в масле моторного топлива 2,5...5% в бензиновых двигателях и до 2,5...4% в дизельных двигателях, без какой-либо закономерности от пробега. Проведение анализа методом определения температуры вспышки масла по ГОСТ 4333-78* показало, что присутствие топлива в масле для бензиновых двигателей определяется при 110...200 °С, а для дизельных – 130...140 °С. В настоящее время наиболее простым методом контроля качества работающего масла, который позволяет выявлять наличие легких фракций, является метод по определению температуры вспышки масла, который можно проводить только в лабораторных условиях. Тогда поставленную задачу по определению наличия легких фракций в смазочном масле альтернативными методами можно решить, используя метод колебательного контура.

Решение поставленной задачи

Определить содержание моторного топлива в масле позволяет резонансный метод, выполненный по схеме колебательного контура от низкого напряжения [8]. Работу колебательного контура при помещении в конденсатор пробы работающего масла

можно записать в виде последовательности зависимостей и формул.

При подаче напряжения резонансная частота колебательного контура определяется формулой Томсона:

$$f_i = 1 / (2\pi\sqrt{LC_i}), \quad (1)$$

где L – индуктивность катушки; C_i – емкость конденсатора измерительной ячейки i -го состояния.

Если в измерительную ячейку, которая находится в электрической цепи колебательного контура, помещать исследуемое масло с i -м состоянием, то емкость конденсатора будет определяться формулой

$$C_i = \frac{\epsilon_0 \epsilon^* S}{d}, \quad (2)$$

где ϵ_0 – диэлектрическая постоянная; ϵ^* – диэлектрическая проницаемость масла i -го состояния; S – площадь электродов; d – расстояние между электродами измерительной ячейки.

Эффективная диэлектрическая проницаемость масляной смеси, загрязненной моторным топливом, определяется эмпирической по зависимости Оделевского [5]:

$$\epsilon^* = A + \sqrt{A^2 + \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{2}}; \quad (3)$$

$$A = \frac{1}{4} [(3\nu_1 - 1)\epsilon_1 + (3\nu_2 - 1)\epsilon_2], \quad (4)$$

где ν_1 и ν_2 – объемные концентрации свежего масла и моторного топлива; ϵ_1 и ϵ_2 – диэлектрическая проницаемость свежего масла и моторного топлива.

Моторное топливо как продукт нефтепереработки делится на бензины и дизельные топлива. Бензины имеют сложный фракционный состав углеводородных соединений, определяемый в объемных или массовых процентах на стандартном аппарате для разгонки нефтепродуктов [2]. Бензин не имеет фиксированной точки кипения и испаряется в диапазоне температур от 35 до 195 °С. Поэтому состав бензина можно оценить только через его функциональные свойства – октановое число. Молекулярное строение бензина сопоставимо по своим физическим свойствам углеводородной смеси из изооктана и гептана. Изооктан имеет диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 1,95$, гептан – $\epsilon = 1,92$, моторные масла – $\epsilon = 2,40...2,50$. Молекулярный состав дизельного топлива оценивается составом смеси из цетана и α -метилнафталина. Диэлектрическая проницаемость цетана $\epsilon = 2,05$ [2].

Моторное топливо, попадая в масло, растворяется в нем, изменяя эффективную диэлектрическую проницаемость масляной среды (3), которая изменяет емкость конденсатора (2) и частоту колебательного контура (1) в электрическом поле пропорционально концентрации загрязняющего компонента.

Основной технический результат достигается следующим образом. Если на поверхность емкостного датчика, находящегося в цепи колебательного контура, нанести свежее масло, то частота колебательного контура примет значение f_1 . Если в колебательный контур на поверхность емкостного датчика, очищенного от пробы свежего масла, нанести исследуемое работающее масло, то частота колебательного контура примет значение f_2 . Тогда оценить состояние работающего масла можно по сравнению частот для свежего и работающего масла. Сравнить частоты позволяет условный показатель импульсов, который определяется по формуле

$$N = \frac{f_1 - f_2}{f_1} \quad (5)$$

Рассмотренный метод позволяет условный показатель импульсов принять в качестве диагностического критерия, где такой критерий обозначается как индекс качества масла $I_{\text{км}}$, при условии, что $N = I_{\text{км}}$.

Индекс качества масла $I_{\text{км}}$ является диагностическим параметром, по которому можно устанавливать присутствие моторного топлива в работающем масле относительно свежего масла. Оценить практическое действие моторного топлива на электрофизические свойства чистого масла позволяет разработанный метод оценки и эксперимент.

Материалы и методы исследования

Поставленная задача по определению наличия легких топливных фракций моторного топлива (МТ) в смазочном масле, решалась с использованием средства измерения ИКМ-2, работающего по схеме колебательного контура. Для этого в лабораторных условиях свежие масла М-6_з/10В, М-10ДМ и М-8В загрязнялись бензином АИ-92, А-80 (ГОСТ Р 51105-97) и дизельным топливом марки Л (ГОСТ 305-82*) (ДТЛ) в концентрациях C_p , которые соответствуют насыщению масла топливом при реальных условиях эксплуатации с неисправной топливной аппаратурой.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате выполненного эксперимента на масле М-6_з/10В, при загрязнении его бензином АИ-92 и ДТЛ, были установлены математические модели, описывающие зависимость влияния топлива на величину диагностического параметра $I_{\text{км}} = f(MT)$, которые аппроксимированы уравнениями регрессии первой степени (табл. 1).

При концентрациях моторного топлива от 0 до 8% была установлена сходимость результатов экспериментальных исследований на масле М-6_з/10В с теоретическими значениями (табл. 1). Угловые коэффициенты в математических моделях зависимостей характеризуют изменения свойств масляной среды в зависимости от роста концентраций моторного топлива в масле. Относительная погрешность экспериментального значения от теоретического указывает на незначительное расхождение значений у проб масла М-6_з/10В с бензином АИ-92 ($\delta = -2,37\%$) и более существенное – у проб масла с дизельным топливом ($\delta = -16,57\%$). Для бензина АИ-92 и ДТЛ сказанное подтверждает высокая взаимная парная корреляция функции $I_{\text{км}i} = f(I_{\text{км теор}})$ между теоретическими и экспериментальными значениями (табл. 1), что идентифицирует наличие моторного топлива в масле по его экспериментальным зависимостям.

Таблица 1

Математические модели системы «моторное топливо – масло»

| Вид зависимости | Математическая модель | Коэффициент корреляции | Коэффициент детерминации | Уровень значимости |
|--|--|------------------------|--------------------------|--------------------|
| Масло М-6 _з /10В + бензин АИ-92 / дизельное топливо марки Л | | | | |
| $I_{\text{км б}} = f(C_{\text{АИ-92}})$ | $I_{\text{км б}} = 0,005 - 0,0173C_{\text{б}}$ | -0,97 | 0,95 | 0,00001 |
| $I_{\text{км дт}} = f(C_{\text{ДТЛ}})$ | $I_{\text{км дт}} = 0,019 - 0,0197C_{\text{дт}}$ | -0,96 | 0,92 | 0,00004 |
| $I_{\text{км теор}} = f(C_{\text{МТ}})$ | $I_{\text{км теор}} = 0,0003 - 0,0169C_{\text{мт}}$ | -1,0 | 1,0 | 0,00000 |
| $I_{\text{км б}} = f(I_{\text{км теор}})$ | $I_{\text{км б}} = 0,005 + 1,022I_{\text{км теор}}$ | 0,97 | 0,95 | 0,00001 |
| $I_{\text{км дт}} = f(I_{\text{км теор}})$ | $I_{\text{км дт}} = 0,018 + 1,161I_{\text{км теор}}$ | 0,96 | 0,92 | 0,00004 |

Научный интерес представляют результаты исследований, полученные до 5% концентраций моторного топлива в масле. Масло М-10ДМ загрязнялось бензином А-80, после чего проба масла помещалась на датчик измерительной ячейки, и выполнялось измерение ($t_j = 0$ с). Через каждые 15 секунд в течение 1 минуты выполнялось повторное измерение значения $I_{\text{км}}$. Это позволило оценить влияние растворенного в масле моторного топлива на изменение диэлектрических свойств масла. Экспериментальные зависимости $I_{\text{км}}(t_j) = f(C_6)$, описанные уравнениями регрессии третьей степени, представлены в табл. 2.

позволяет судить о наличии моторного топлива в масле.

Научный интерес представляют результаты, полученные при исследовании влияния дизельного топлива марки Л на свойства масла М-8В (табл. 2), которые позволяют определить характер распределения исследуемых значений $I_{\text{км}}$, в зависимости от времени нахождения смеси в электрическом поле. Рост индекса $I_{\text{км}}$ наблюдается до 1,5% ДТЛ в масле, и значения $I_{\text{км}}$ находятся в положительном диапазоне шкалы измерений. Но по мере насыщения масла дизельным топливом (более 1,5%) эффективная диэлектрическая проницаемость масляной среды снижается,

Таблица 2

Математические модели системы «моторное топливо – масло»

| Математическая модель | Коэффициент корреляции | Уровень значимости |
|---|------------------------|--------------------|
| Масло М-10ДМ + бензин А-80: $I_{\text{км}}(t_j) = f(C_6)$ | | |
| $I_{\text{км}6}(0) = 0,106 + 0,063C_6 - 0,093C_6^2 + 0,014C_6^3$ | -0,79 | 0,0001 |
| $I_{\text{км}6}(15) = 0,082 + 0,155C_6 - 0,129C_6^2 + 0,018C_6^3$ | -0,77 | 0,0003 |
| Масло М-8В + дизельное топливо марки Л: $I_{\text{км}}(t_j) = f(C_{\text{дт}})$ | | |
| $I_{\text{км}дт}(0) = -0,135 + 0,688C_{\text{дт}} - 0,32C_{\text{дт}}^2 + 0,037C_{\text{дт}}^3$ | -0,70 | 0,0001 |
| $I_{\text{км}дт}(15) = -0,19 + 0,788C_{\text{дт}} - 0,358C_{\text{дт}}^2 + 0,041C_{\text{дт}}^3$ | -0,70 | 0,0002 |
| $I_{\text{км}дт}(30) = -0,128 + 0,698C_{\text{дт}} - 0,327C_{\text{дт}}^2 + 0,038C_{\text{дт}}^3$ | -0,74 | 0,00003 |
| $I_{\text{км}дт}(45) = -0,064 + 0,611C_{\text{дт}} - 0,293C_{\text{дт}}^2 + 0,034C_{\text{дт}}^3$ | -0,75 | 0,00002 |
| $I_{\text{км}дт}(60) = -0,068 + 0,61C_{\text{дт}} - 0,291C_{\text{дт}}^2 + 0,034C_{\text{дт}}^3$ | -0,75 | 0,00002 |
| $I_{\text{км}дт}(75) = -0,038 + 0,554C_{\text{дт}} - 0,271C_{\text{дт}}^2 + 0,032C_{\text{дт}}^3$ | -0,77 | 0,00000 |
| $I_{\text{км}дт}(90) = -0,027 + 0,527C_{\text{дт}} - 0,254C_{\text{дт}}^2 + 0,029C_{\text{дт}}^3$ | -0,74 | 0,00003 |

Эмпирические зависимости $I_{\text{км}}(t_j) = f(C_6)$ (табл. 2), полученные на масле М-10ДМ, отражают сложный характер взаимодействия дисперсной фазы (моторного топлива) и дисперсионной среды (смазочного масла). Бензин до концентрации 2,0% не изменяет диэлектрические свойства масла. Концентрация бензина до 1,0% вызывает незначительный положительный рост индекса $I_{\text{км}}$. Однако дальнейший рост концентрации моторного топлива в масле связан с уменьшением эффективной диэлектрической проницаемости смазочной среды, чему соответствует резкое снижение индекса $I_{\text{км}}$ в отрицательный диапазон. Такое снижение является идентифицирующим диагностическим признаком, которое

уменьшая значение $I_{\text{км}}$ в отрицательную область шкалы измерений. Диапазон отсутствия чувствительности колебательного контура для загрязненного масла дизельным топливом достигает при 3,0%.

Многочисленные измерения значений $I_{\text{км}}$ с разными концентрациями дизельного топлива в масле, проводимые с интервалом в 15 с, не показали ни какого влияния электрического поля на свойства масла. Погрешность измерения, вносимая прибором, оценивалась средней величиной систематической ошибки, которая составила 5%, что доказывает возможность применения резонансного метода колебательного контура для идентификации легких фракций моторного топлива в работающем масле.

Выводы

Моторное топливо в работающем масле является диагностическим параметром, характеризующим техническое состояние топливной аппаратуры автомобильных двигателей. Резонансный метод колебательно-го контура позволяет оценить присутствие моторного топлива в масле по основному идентификационному признаку, которым является резкое снижение индекса качества масла, что подтверждается аналитическими исследованиями и установленными эмпирическими зависимостями.

Результаты выполненных научных исследований могут быть полезны проектировщикам диагностического оборудования и специалистам в области диагностики автомобильных двигателей.

Список литературы

1. Власов Ю.А. Метод идентификации охлаждающей жидкости в смазочном масле агрегатов транспортных средств // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 11 (часть 6). – С. 1113–1117.
2. Майофис И.М. *Химия диэлектриков*. – М.: Высш. школа, 1970. – 332 с.
3. Метод диагностирования карьерных автосамосвалов по изменению диэлектрической проницаемости среды работающего масла / Ю.А. Власов, Э.И. Удлер, Н.Т. Тищенко, С.А. Земляной, Р.Ю. Таньков // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 8 (часть 6). – С. 1307–1311.
4. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла / А.И. Соколов, Н.Т. Тищенко, В.А. Аметов. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1991. – 200 с.
5. Сканави Г.И. *Физика диэлектриков (область сильных полей)*. – М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 1958. – 896 с.
6. Способ диагностики агрегатов машин по параметрам работающего масла: пат. 2473884 Рос. Федерация: МПК G01N15/06 G01R27/26 / Ю.А. Власов, Н.Т. Тищенко, Ю.А. Будько и др. – № 2011129525/28; заявл. 28.09.2011; опубл. 27.01.2013, Бюл. № 3.
7. Теоретическая оценка процессов очистки и подогрева топлива в мобильных машинах / Э.И. Удлер, П.В. Исаенко, Д.В. Халтурин, А.В. Лысунец // *Известия Томского политехнического университета*. – 2012. – Т. 320. – № 2. – С. 125–129.
8. Эме Ф. *Диэлектрические измерения*. – М.: Химия, 1967. – 224 с.

References

1. Vlasov Yu.A. *Metod identifikatsii okhlazhdayuschey zhidkosti v smazochnom masle agregatov transportnykh sredstv* [Method of identification of cooling liquid in lubricant oil of units of vehicles] // *Basic researches*, 2013. no. 11 (part 6). pp. 1113–1117.
2. Mayofis I.M. *Khimiya dielektrikov* [Chemistry of dielectrics]. Moscow: Vyssh. school, 1970. 332 p.
3. *Metod diagnostirovaniya kar'ernykh avtosamosvalov po izmeneniyu dielektricheskoi pronitsaemosti sredey rabotayushchego masla* [Method of diagnosing of career dump trucks on change of dielectric permeability of the environment of the working oil] / Yu.A. Vlasov, E.I. Udler, N.T. Tishchenko, S.A. Zemlyanoy, R.Yu. Tankov // *Basic researches*, 2013. no. 8 (part 6). pp. 1307–1311.
4. *Otsenka rabotosposobnosti mashin po parametram rabotayushchego masla* [Assessment of operability of cars in parameters of the working oil] / A.I. Sokolov, N.T. Tishchenko, V.A. Ametov. – Tomsk: Publishing house Tomsk University, 1991. 200 p.
5. Skanavi G.I. *Fizika dielektrikov* [Physics of dielectrics (area of strong fields)]. Moscow: Publishing house of physical and mathematical literature, 1958. 896 p.
6. *Sposob diagnostiki agregatov mashin po parametram rabotayushchego masla* [Way of diagnostics of units of cars in parameters of the working oil: stalemate]: patent 2473884 Russian Federation: MPK G01N15/06 G01R27/26 / Yu.A. Vlasov, N.T. Tishchenko, Yu.A. Budko, etc. – no. 2011129525/28; it is declared 28.09.2011; it is published 27.01.2013, Bulletin no. 3.
7. *Teoreticheskaya otsenka protsessov ochistki i podogreva topliva v mobil'nykh mashinakh* [Theoretical assessment of processes of cleaning and heating of fuel in mobile cars] / E.I. Udler, P.V. Isayenko, D.V. Halturin, A.V. Lysunets // *News of Tomsk polytechnic university*, 2012. T. 320. no. 2. pp. 125–129.
8. Aimé F. *Dielektricheskie izmereniya* [Dielectric measurements]. Moscow: Chemistry, 1967. 224 p.

Рецензенты:

Клопотов А.А., д.ф.-м.н., профессор кафедры «Прикладная механика и материаловедение», Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск;

Саркисов Ю.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Химия», Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 10.03.2015.