

УДК 665.7.035.8:629.11

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В СМАЗОЧНОМ МАСЛЕ АГРЕГАТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Власов Ю.А.

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

В работе показано, что охлаждающая жидкость и вода в смазочном масле транспортных машин являются диагностическим признаком, по которому можно оценивать герметичность агрегатов. Оценить наличие воды в масле можно качественными и количественными методами, которые требуют лабораторных условий. Идентифицировать воду в масле предлагается резонансным методом колебательного контура. В работе приводится блок-схема прибора и его теоретическое обоснование работоспособности, которое построено на электрофизических зависимостях взаимодействия смазочного масла и воды с электрическим полем. Экспериментальная оценка обводненности смазочного масла выполнялась на моторном масле М-10ДМ по диагностическому критерию, называемому индексом качества масла. В работе экспериментально установлено, что индекс качества масла способен по названному методу идентифицировать концентрацию воды в масле. Была также установлена связь между концентрацией воды, временем взаимодействия воды с электрическим полем и вязкостью масла.

Ключевые слова: охлаждающая жидкость, вода, смазочное масло, диэлектрическая проницаемость, колебательный контур

METHOD OF IDENTIFICATION OF COOLING LIQUID IN LUBRICANT OIL OF UNITS OF VEHICLES

Vlasov Y.A.

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

Liquid for cooling and water in lubricant oil of transport cars is diagnostic criterion which estimates tightness of knots of cars, it is shown in article. Laboratory qualitative and quantitative methods of definition of water in lubricant oil are known. To identify water in oil, it is offered to use a resonant method of an oscillatory contour. The flowchart of the device and the theoretical description of operability of the device are shown in work. Operation of the device is constructed on electric and physical dependences, which show interaction of lubricant oil, and waters with electric field. The experimental assessment of lubricant oil with water was executed on M-10DM lubricating oil. Oil is estimated by diagnostic criterion which is called as an index of quality of oil. It is experimentally established that the index of quality of oil is capable to define concentration of water in oil, was shown in article. Connection between concentration of water, viscosity of oil and time of interaction of water was established with electric field.

Keywords: cooling liquid, water, lubricant oil, dielectric permeability, oscillatory contour

Смазочное масло, работающее в агрегатах транспортных средств, является сложной бинарной смесью, свойства которой зависят от исходных свойств масла и свойств загрязняющих компонентов, которые появляются в смазочной среде при нарушении технического состояния агрегатов (двигателей, элементов трансмиссии и гидравлических систем). Загрязняющие компоненты (механические примеси, топливо и охлаждающая жидкость) во многом характеризуют отдельные виды неисправностей, что делает возможным диагностику агрегатов транспортных средств по параметрам работающего масла.

В процессе нарушения герметичности уплотнений двигателей в работающее масло из систем охладителей поступает охлаждающая жидкость, которая ухудшает его смазывающие свойства, что вызывает повышенные механические износы трущихся сопряжений и приводит к коррозии отдельные детали.

Практика эксплуатации транспортных, строительных, дорожных и сельскохозяйственных машин подтверждает попада-

ние воды в силовые агрегаты трансмиссий и в гидравлические системы, которые приводят к негативным последствиям, подобным для двигателей [1]. Следовательно, проблема определения воды и охлаждающей жидкости в работающем масле весьма актуальна.

Постановка проблемы. Обводненность смазочного масла может произойти на разных этапах – при хранении, транспортировании, заправке и эксплуатации машины [1, 3, 4]. Вода в смазочных маслах может находиться в растворенной, диспергированной и свободной форме [1, 3, 4, 6].

По данным [1], растворенная вода практически всегда присутствует в горюче-смазочных материалах (от 0,003 до 0,12%). Растворимость воды зависит от химического состава и температуры нефтепродукта. Повышение температуры масла влечет повышение растворимости воды во всех углеводородных соединениях. Растворенная вода в масле не диссоциирует на ионы. Она в виде отдельных молекул располагается между молекулами углеводородов и вплотную до концентрации насыщения не ассоциирует с другими углеводородными молекулами

[1]. Часть воды в масле находится в химически связанном состоянии, в результате таких реакций образуются гидраты [5].

Определить наличие воды в масле можно методами, которые разделены на две группы: качественные и количественные.

Качественные испытания, к которым относят методы оценки пробы на прозрачность, Клиффорда, на потрескивание и реактивную бумагу, определяют не только эмульсионную, но и растворенную воду [6]. Наиболее широко в лабораториях физико-химического анализа масла транспортных предприятий используется метод пробы на потрескивание, который выполняется одновременно при выполнении температуры вспышки масла в открытом тигле [3].

Прямые количественные методы Дина и Старка, титрования реактивом Фишера, гидридкальциевый и другие методы основаны на использовании физико-химических свойствах самой воды. Диэлькометрический, кондуктометрический и колориметрический методы, в основе которого лежат диэлектрические свойства нефтепродуктов и воды, относятся к косвенным методам определения воды [6].

Количественными критериями содержания воды в смазочном масле могут являться плотность, вязкость, поверхностное натяжение, электропроводность, диэлектрическая проницаемость и др. Методы на основе данных критериев обусловлены неаддитивным химическим взаимодействием молекул воды и смазочной среды. По этой причине рассчитать заранее вид функции невозможно, и математические зависимости обычно находятся по экспериментальным данным.

Решение поставленных задач. Определить содержание воды в масле можно, используя резонансный метод колебательного контура от низкого напряжения [7]. Используя физические основы данного метода, оценим резонансные свойства колебательного контура согласно блок-схеме измерительного прибора (рис. 1).

Блок-схема содержит два отдельных генератора: опорный 1 и перестраиваемый 2. Опорный генератор имеет строго стабильную частоту f_1 . Частота колебаний f_2 на выходе перестраиваемого генератора зависит от величины емкости измерительного датчика 4, включенного в колебательный контур. Колебания опорной f_1 и перестраиваемой f_2 частот смешиваются в делителе 5. На выходе делителя появляются колебания разностной частоты:

$$\Delta f = f_1 - f_2. \quad (1)$$

Настройка на равенство частот ($\Delta f = 0$) производится переменным резистором 3,

включенным параллельно измерительному датчику 4.

Измерения частот выполняются по величине сигнала, возникающего при расстройке контура за счет изменения емкости измерительной ячейки. Степень расстройки контура определяется величиной диэлектрической проницаемости загрязняющего компонента, оказывающей влияние на первоначальную частоту контура:

$$N = \frac{\Delta f}{f_1}. \quad (2)$$

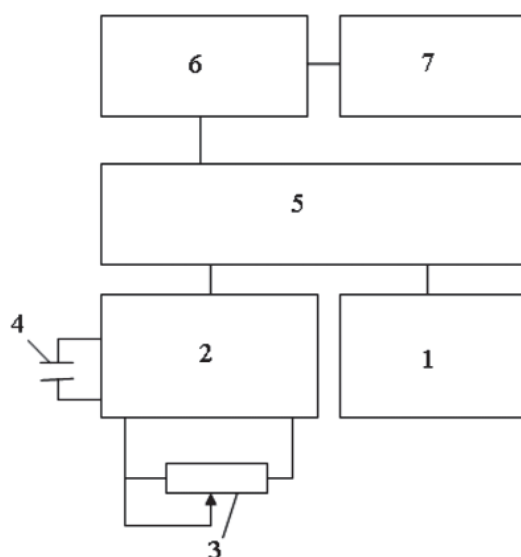


Рис. 1. Блок-схема измерительного прибора: 1 – опорный генератор; 2 – перестраиваемый генератор; 3 – переменный резистор; 4 – емкостный датчик; 5 – делитель; 6 – детектор; 7 – индикатор

Основной технический результат по оцениванию свойств жидких диэлектриков достигается следующим образом. Первоначально на поверхность емкостного датчика 4 (рис. 1), находящегося в колебательном контуре, наносится свежее масло. Затем с помощью переменного резистора 3 выравниваются частоты между перестраиваемым 2 и опорным 1 частотными генераторами, устанавливая соотношение периодов колебаний опорного и перестраиваемого генераторов согласно формуле

$$K_1 f_1 = K_2 f_2, \quad (3)$$

где K_1 – частотный коэффициент деления опорного частотного генератора; K_2 – частотный коэффициент деления перестраиваемого частотного генератора.

Затем в колебательном контуре перестраиваемого генератора на чистую поверхность емкостного датчика наносится исследуемое работающее масло

и регистрируется изменение частоты перестраиваемого частотного генератора вследствие изменения электрической емкости датчика. Оценка состояния масла осуществляется по отклонению частоты импульсов перестраиваемого частотного генератора от эталонного значения, полученного для свежего масла.

Для сравнения частот используется условный показатель импульсов, определяемый по формуле

$$N = \frac{K_1 f_1 - K_2 f_2}{K_1 f_1} \quad (4)$$

По условному показателю импульсов оценивается качественный состав исследуемого масла, т.е. значение (4) является диагностической величиной, которая называется индексом качества масла, и N обозначается через $I_{\text{КМ}}$. Величина $I_{\text{КМ}}$ рассчитывается с использованием формул:

– собственная частота колебательного контура определяется формулой Томсона

$$f_i = 1 / (2\pi \sqrt{LC_i}); \quad (5)$$

– емкость измерительной ячейки определяется по формуле

$$C_i = \frac{\epsilon_0 \epsilon^* S}{d}; \quad (6)$$

– эффективная диэлектрическая проницаемость смеси определяется эмпирической по зависимости Оделевского–Винера [2]:

$$\epsilon^* = A + \sqrt{A^2 + \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{2}}; \quad (7)$$

$$A = \frac{1}{4} [(3\nu_1 - 1)\epsilon_1 + (3\nu_2 - 1)\epsilon_2], \quad (8)$$

где L – индуктивность замкнутого контура; C_i – емкость измерительной ячейки i -го состояния; ϵ_0 – диэлектрическая постоянная; ϵ^* – диэлектрическая проницаемость масляной среды i -го состояния; S – площадь электродов; d – расстояние между электродами; ν_1 и ν_2 – объемные концентрации свежего масла и воды; ϵ_1 и ϵ_2 – диэлектрическая проницаемость свежего масла ($\epsilon_1 = 2,5$) и воды ($\epsilon_2 = 81$) соответственно.

Значение индекса качества масла $I_{\text{КМ}}$ является диагностическим критерием, по которому можно оценивать степень загрязненности работающего масла водой или охлаждающей жидкостью относительно аналогичного значения для свежего масла. Учитывая, что охлаждающие жидкости в двигателях внутреннего сгорания являются антифризами, т.е. смесью воды с одноатомными спиртами (например, этилен-

гликолем), то оценки степени загрязнения масла охлаждающими жидкостями будут идентичны загрязнению водой.

Материалы и методы исследования

Практическая реализация метода идентификации воды в масле с использованием резонансной схемы колебательного контура была выполнена на приборе ИКМ-2. Лабораторные испытания проводились с использованием моторного масла М-10ДМ. Пробы загрязненных водой масел с известными концентрациями помещались на измерительный датчик плоского конденсатора, создавалась разность потенциалов, и выполнялся замер значения $I_{\text{КМ}}$ с интервалом в 15 с. По результатам измерений строились графики и определялись математические модели, описывающие физические процессы взаимодействия воды в масле с электрическим полем.

Чувствительность индекса $I_{\text{КМ}}$ оценивалась при концентрациях воды в масле до 2,5% по объему. Однако наличие воды в масле, согласно теории взаимодействия воды с жидкими диэлектриками, определить по одному измерению невозможно. Повторные измерения через кратковременные промежутки времени dt показывали измененные текущие значения $d(I_{\text{КМ}})$, пропорциональные снижению напряженности электрического поля dE между обкладками конденсатора S и увеличению эффективной диэлектрической проницаемости среды загрязненного водой смазочного масла $d\epsilon^*$.

Результаты исследования и их обсуждение

Загрязненность масла М-10ДМ водой оценивалась экспериментально в лабораторных условиях. Результаты эксперимента приведены на рис. 2 и 3.

На рис. 2 показан график поверхности, построенный по точкам трехмерного рассеяния, которая позволяет выявить взаимосвязь между концентрацией воды, временем ее измерения и оценочным параметром $I_{\text{КМ}}$. График, являясь элементом разведочного анализа, наглядно показывает несложную конфигурацию поверхности, которая указывает на целесообразность выполнения подгонки пользовательских функций линейными уравнениями регрессии между их переменными (рис. 3).

Математические модели вида $I_{\text{КМ}}(t) = f(H_2O)$, выполненные с использованием регрессионного и корреляционного анализа, представлены в таблице. Высокие коэффициенты корреляции свидетельствуют о практически функциональной зависимости значений $I_{\text{КМ}}$ от концентрации воды и времени измерения. Коэффициенты детерминации достаточно высоки и означают, что построенные регрессии объясняют 93...99% разброса значений $I_{\text{КМ}}$ относительно их среднего значения. Математические модели адекватны, т.к. их расчетные уровни значимости близки нулю.

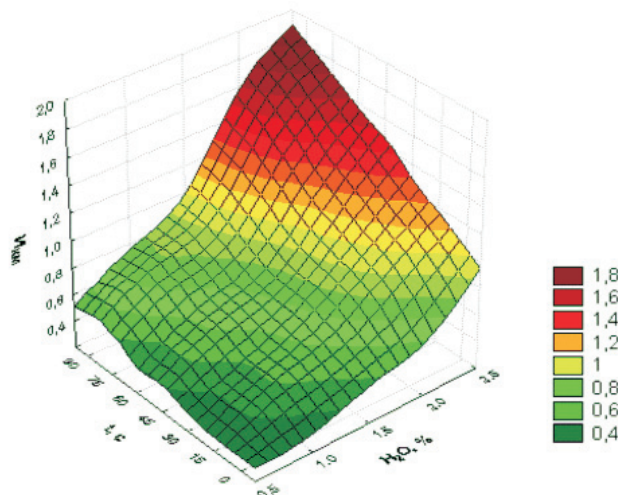


Рис. 2. Зависимости $I_{KM} = f(H_2O; t)$ для масла М-10ДМ

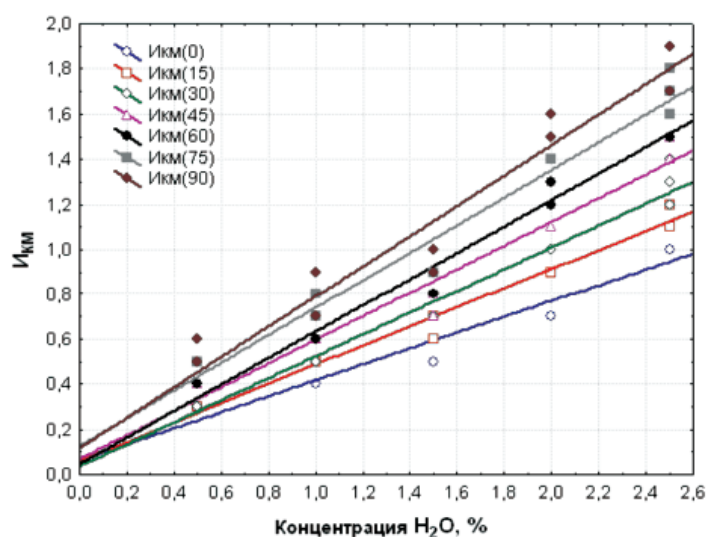


Рис. 3. Зависимости $I_{KM} = f(H_2O)$ для масла М-10ДМ

Математические модели системы «вода в масле»

Вид зависимости	Математическая модель	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации
$I_{KM}(t) = f(H_2O)$	$I_{KM}(0) = 0,06 + 0,35H_2O$	0,96	0,93
	$I_{KM}(15) = 0,06 + 0,43H_2O$	0,99	0,98
	$I_{KM}(30) = 0,04 + 0,49H_2O$	0,98	0,97
	$I_{KM}(45) = 0,07 + 0,53H_2O$	0,98	0,96
	$I_{KM}(60) = 0,05 + 0,59H_2O$	0,98	0,97
	$I_{KM}(75) = 0,13 + 0,61H_2O$	0,98	0,96
	$I_{KM}(90) = 0,12 + 0,67H_2O$	0,97	0,95

Увеличение значений I_{KM} при последующих измерениях одноименной пробы масла через равные промежутки времени можно объяснить следующим образом. Проба ис-

следуемого масла помещается между обкладками конденсатора и создается разность потенциалов. Микроскопические капли воды в масле при наведении электрического

поля выстраиваются в кластерные цепочки по направлению силовых линий поля.

На дипольную ориентацию микрокапель и кластерное соединение воды затрачивается сила трения F в соответствии с законом Стокса [5]:

$$F = 6\pi r\eta v, \quad (9)$$

где r – радиус микрокапли воды; η – динамическая вязкость масла; v – скорость микрокапли. Скорость перемещения v микрокапли воды в масле зависит от напряженности E электрического поля [2]:

$$v = \frac{\xi \varepsilon * E}{6\pi\eta}, \quad (10)$$

где ξ – потенциал ($\sim 0,05...0,07$ В). Подвижность коллоидных эмульгированных частиц в масле выражается зависимостью:

$$\chi = \frac{v}{E}. \quad (11)$$

Подвижность коллоидных частиц эмульгированной воды обратно пропорциональна вязкости масла [2]. С понижением вязкости масла повышается скорость взаимодействия частиц воды с электрическим полем. Силы трения Стокса у масла снижаются, подвижность частиц увеличивается, это позволяет быстрее создавать эмульгированные конгломераты. Такие конгломераты имеют высокую диэлектрическую проницаемость среды ($\varepsilon = 81$), что в итоге будет снижать общую напряженность электрического поля E . Таким образом, высокая подвижность воды в масле будет приводить к тому, что интенсивное снижение E приведет к более интенсивному росту индекса качества масла $I_{\text{КМ}}$.

Более вязкая среда ограничивает подвижность частиц воды. С увеличением вязкости масла уменьшается число эмульгированных коллоидных частиц в единице объема, а это в свою очередь уменьшает ионную электропроводность масла. Ионная электропроводность смазочной среды дополняется незначительной катафоретической электропроводностью [2].

Выводы

Присутствие воды в масле агрегата транспортного средства недопустимо. Вода в работающем масле является диагностическим параметром и характеризует нарушение в техническом состоянии агрегата, главным образом его герметичность. Оценить наличие воды в масле позволяет резонансный метод колебательного контура, который отличается простотой конструкции и экспрессностью проведения анализа. Метод колебательного контура по разности частот в зависимости от емкости измерительной ячейки со свежим и обводненным маслом,

способен оценить диэлектрические изменения в смазочной среде. Вода изменяет эффективную диэлектрическую проницаемость масляной среды, что подтверждают теоретические и экспериментальные исследования. В настоящей работе было установлено, что на значение диагностического параметра $I_{\text{КМ}}$ влияет продолжительность измерения, которая фиксирует процессы взаимодействия воды с электрическим полем, а также вязкость масляной среды.

Перспективой развития метода оценки воды в масле является возможность разработки приборов, основанных на измерении разностной частоты колебательного контура, которая позволит диагностировать агрегаты транспортных машин любой отраслевой принадлежности.

Список литературы

1. Рыбаков К.В., Жулдыбин Н.Н., Коваленко В.П. Обезвоживание авиационных горюче-смазочных материалов. – М.: Транспорт, 1979. – 181 с.
2. Сканави Г.И. Физика диэлектриков (область сильных полей). – М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 1958. – 896 с.
3. Соколов А.И. 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.
4. Удлер Э.И. Фильтрация нефтепродуктов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. – 216 с.
5. Физическая и коллоидная химия / Д.П. Добычин, Л.И. Каданер, В.В. Серпинский [и др.]. – М.: Просвещение, 1986. – 463 с.
6. Химия нефти. Руководство к лабораторным занятиям / И.Н. Дияров, И.Ю. Батуева, А.Н. Садыков, Н.Л. Солодова. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.
7. Эме Ф. Диэлектрические измерения. – М.: Химия, 1967. – 224 с.

References

1. Rybakov K.V., Zhuldybin N.N., Kovalenko V.P. *Obезvozhivanie aviatsionnykh goryuche-smazochnykh materialov* [Dehydration of aviation fuels and lubricants]. Moscow: Transport, 1979. 181 p.
2. Skanavi G.I. *Fizika dielektrikov* [Physics of dielectrics (area of strong fields)]. Moscow: Publishing house of physical and mathematical literature, 1958. 896 p.
3. Sokolov A.I., Tischenko N.T., Ametov V.A. *Otsenka rabotosposobnosti mashin po parametram rabotayushchego masla* [Assessment of operability of cars on parameters of working oil]. Tomsk: Publishing house of Tomsk University, 1991. 200 p.
4. Udler E.I. *Filtratsiya nefteproduktov* [Filtration of oil products]. Tomsk: Publishing house of Tomsk University, 1988. 216 p.
5. *Fizicheskaya i kolloidnaya khimiya* [Physical and colloidal chemistry] / D.P. Dobychin, L.I. Kadaner, V.V. Serpinski [etc.]. Moscow: Education, 1986. 463 p.
6. *Khimiya nefty. Rukovodstvo k laboratornym zanyatiyam* [Oil chemistry. The management to laboratory researches] / I.N. Diyarov, I.Yu. Batuyeva, A.N. Sadykov, N.L. Solodova. – Leningrad: Chemistry, 1990. 240 p.
7. Aimé F. *Dielektricheskie izmereniya* [Dielectric measurements]. Moscow: Chemistry, 1967. 224 p.

Рецензенты:

Ананин В.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины», декан механико-технологического факультета Томского государственного архитектурно-строительного университета, г. Томск;

Саркисов Ю.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Химия» Томского государственного архитектурно-строительного университета, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 25.12.2013.