

УДК 665.7.035.8:629.3

## МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В СМАЗОЧНОМ МАСЛЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

<sup>1</sup>Власов Ю.А., <sup>1</sup>Ляпина О.В., <sup>2</sup>Ляпин А.Н.

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

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

В работе показано, что механические примеси в смазочном масле автомобильных агрегатов являются диагностическим признаком, по которому можно оценивать износы деталей машин, техническое состояние систем очистки масла и воздуха, герметичность соединений. Оценить наличие механических примесей в масле можно качественными и количественными методами, которые требуют лабораторных условий. Идентифицировать механические примеси в масле предлагается резонансным методом колебательного контура. В работе приводится теоретическое обоснование метода, которое построено на электрофизических зависимостях взаимодействия смазочного масла, продуктов износа и атмосферной пыли с электрическим полем. Экспериментальная оценка загрязненности смазочного масла выполнялась на моторном масле по диагностическому критерию, называемому индексом качества масла. В работе экспериментально установлено, что индекс качества масла способен по названному методу идентифицировать концентрацию механических примесей в масле.

**Ключевые слова:** диагностика, автомобиль, механические примеси, смазочное масло, диэлектрическая проницаемость

## METHOD OF IDENTIFICATION OF MECHANICAL IMPURITY IN LUBRICANT OIL OF AUTOMOBILE UNITS

<sup>1</sup>Vlasov Y.A., <sup>1</sup>Lyapina O.V., <sup>2</sup>Lyapin A.N.

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

<sup>2</sup>Gazprom transgaz Tomsk, Tomsk, e-mail: reduktor@sibmail.com

In work it is shown that mechanical impurity in lubricant oil of automobile units, are a diagnostic sign on which it is possible to estimate a condition of details of mechanisms, technical condition of systems of purification of oil and air, tightness of details. It is possible to estimate presence of mechanical impurities in oil by qualitative and quantitative methods, which demand laboratory conditions. It is offered to identify mechanical impurity in oil by a resonant method of an oscillatory contour. In work it is given the theoretical principles of a method which are constructed on electric and physical dependences of interaction of lubricant oil, products of wear and atmospheric dust with electric field. The experimental assessment on the polluted lubricant was executed by diagnostic criterion, which received the name of an index of quality of oil. In work, it is experimentally established that the index of quality of oil is capable by the studied method to identify concentration of mechanical impurity in oil.

**Keywords:** diagnostics, car, mechanical impurity, lubricant oil, dielectric permeability

Повышение надежности агрегатов и механизмов обеспечивается рациональной организацией технической эксплуатации автомобилей. Наиболее эффективно задача комплексного управления надежностью решается на базе безразборных методов оценки технического состояния. Для диагностики агрегатов автомобилей с замкнутыми системами смазки инструментального контроля бывает недостаточно, так как этот метод не дает полного представления о состоянии агрегата.

Между механизмами агрегата и смазочным маслом существует тесная взаимосвязь, вытекающая из взаимодействия контактирующих деталей со смазкой [2, 4]. Поэтому в основу безразборной оценки работоспособности автомобильных агрегатов следует положить информацию, носителем которой является работающее масло. При этом рациональная организация вопросы технической эксплуатации

автомобилей решает комплексно, путем развития методов технической диагностики по параметрам работающего масла, восстановлением горючесмазочных материалов и контролем их чистоты [6].

Работающее масло автомобильных агрегатов является сложной многокомпонентной системой, свойства которой зависят от исходных свойств масла и свойств загрязняющих компонентов [1, 3], которые появляются в масле при нарушении технического состояния агрегатов (двигателей, агрегатов трансмиссии, гидравлических систем и др.).

При нарушении работоспособности систем очистки воздуха и масла, а также при нарушении герметичности соединений в работающее масло поступают механические примеси в виде продуктов атмосферного загрязнения (частиц пыли), концентрация и гранулометрический состав которых

определяют работоспособность механизмов. Практика эксплуатации автомобильного транспорта и спецтехники различного назначения подтверждает, что попадание механических примесей в двигатели приводит к тому, что 70...80% автотракторных двигателей выходят из строя по причине износа трущихся деталей [4]. Следовательно, проблема определения механических примесей в работающем масле является достаточно актуальной.

### Постановка проблемы

Механические примеси в масле характеризуются компонентами органического и неорганического состава. Органический состав включает коллоидные продукты окисления масла, перекиси и твердые шламы, которые участвуют в образовании лака и отложений на деталях двигателей. Неорганический состав включает зольную составляющую масляной присадки, металлические частицы износа и атмосферную пыль, которые оказывают основное влияние на износ деталей в зависимости от их концентрации в масле, дисперсного и химического состава [4].

Металлические и абразивные частицы в масляной среде обволакиваются продуктами окисления, углеродистая оболочка которых до некоторого предела нейтрализует действие этих частиц. Но если размеры частиц превышают толщину масляной пленки, тогда обволакивание этих частиц не может устранить опасного абразивного действия на износ.

Проблема вопроса заключается в следующем. Для большинства автомобильных двигателей, механические примеси оказывают заметное влияние на износ от концентрации 0,1% и выше. При этом рост концентрации механических примесей в масле сопровождается ухудшением работоспособности систем очистки масла и воздуха. Неисправности системы очистки воздуха приводят к росту концентрации абразивных частиц атмосферной пыли, которые оказывают влияние на интенсивность изнашивания сопрягаемых поверхностей. Это приводит к образованию частиц износа разного дисперсного состава, а в итоге к значительному совокупному повышению концентрации механических примесей. Резкое повышение механических примесей приводит к забивке пор фильтроэлементов и к отказу системы очистки масла, после чего непосредственно наступает отказ двигателя.

Для решения данной проблемы нужны такие методы контроля, чувствительность которых была бы способна оценить присутствие механических примесей в масляной среде.

### Решение поставленных задач

Определить содержание механических примесей в масле позволяет применение резонансного метода колебательного контура от низкого напряжения [7], где объектом исследования являются процессы, которые можно описать рядом физических зависимостей.

Собственная частота колебательного контура определяется зависимостью Томсона:

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

Емкость измерительной ячейки определяется зависимостью

$$C_i = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon^* S}{d}. \quad (2)$$

При попадании в масло продуктов атмосферного загрязнения (т.е. частиц абразивной пыли) эффективная диэлектрическая проницаемость смеси аппроксимируется эмпирической зависимостью Оделевского – Винера [5] для матричного расположения частиц в смеси:

$$\varepsilon^* = \varepsilon_1 \left( 1 + \frac{v_2}{\frac{1-v_2}{3} + \frac{v_2}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}} \right). \quad (3)$$

В зависимостях (1)–(4):  $L$  – индуктивность замкнутого контура;  $C_i$  – емкость измерительной ячейки  $i$ -го состояния;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $\varepsilon^*$  – диэлектрическая проницаемость масляной среды  $i$ -го состояния;  $S$  – площадь электродов;  $d$  – расстояние между электродами измерительной ячейки;  $v_1$  и  $v_2$  – объемные концентрации свежего масла и абразивных частиц;  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – диэлектрическая проницаемость свежего масла ( $\varepsilon_1 = 2,5$ ) и абразивных частиц ( $\varepsilon_2 = 3,5-4,5$ ) соответственно.

Эффективная диэлектрическая проницаемость масляной смеси, загрязненной металлическими частицами износа, определяется эмпирической по зависимости Брюггема [5]:

$$\varepsilon^* = \frac{\varepsilon_1}{(1-v_2)^3}. \quad (4)$$

Зависимость справедлива при условии, что диэлектрическая проницаемость металлических частиц  $\varepsilon_2 \rightarrow \infty$ , а их объемная концентрация  $v_2 \ll 1$ .

Частицы износа и абразивной пыли влияют на эффективную диэлектрическую проницаемость масляной среды (4) и (3), которая изменяет емкость измерительной ячейки (2) и частоту колебательного контура (1) пропорционально концентрациям загрязняющих компонентов.

Основной технический результат достигается следующим образом. Если на поверхность емкостного датчика, находящегося в колебательном контуре, нанести свежее масло и зарегистрировать его частоту  $f_1$ , а затем в колебательный контур на чистую поверхность емкостного датчика нанести исследуемое работающее масло и зарегистрировать изменение частоты  $f_2$  вследствие изменения электрической емкости датчика (2), то оценка состояния масла осуществляется по отклонению частоты от эталонного значения, полученного для свежего масла. Для сравнения частот используется условный показатель импульсов, определяемый по формуле

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

Условный показатель импульсов оценивает степень загрязненности исследуемого масла и обозначается как индекс качества масла  $I_{\text{KM}}$ , где  $N = I_{\text{KM}}$ .

Значение индекса качества масла  $I_{\text{KM}}$  является диагностическим параметром, по которому можно оценивать степень загрязненности работающего масла механическими примесями относительно свежего масла.

Оценить практическое действие механических примесей на электрофизические свойства чистого масла позволяет эксперимент.

### Материалы и методы исследования

Практическая реализация метода идентификации механических примесей в масле была выполнена на приборе ИКМ-2, рабочие процессы которого основаны на резонансной схеме колебательного контура.

Для того чтобы оценить влияние механических примесей на величину индекса качества масла, лабораторным путем свежее моторное масло марки М-6<sub>3</sub>/10 В искусственно загрязнялось высокодисперсными частицами кремния и алюминия (~ 100...200 мкм), которые имитировали атмосферную пыль, продукты износа. Частицы были получены путем фракционного отсева на лабораторных ситах по ГОСТ Р 51568-99. После тщательного перемешивания пробы загрязненного масла (~ 1 г) помещались на датчик измерительного прибора, после чего производились измерения индекса  $I_{\text{KM}}$  относительно свежего масла идентичной марки.

### Результаты исследования и их обсуждение

Математические модели и их числовые характеристики, полученные в результате эксперимента, а также графики их зависимостей  $I_{\text{KM}} = f(\text{Si})$  и  $I_{\text{KM}} = f(\text{Al})$  представлены в таблице и на рис. 1.

Математические модели системы «механические примеси – масло»

Вид зависимости	Математическая модель	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Уровень значимости
Масло М-6 <sub>3</sub> /10В + механические примеси (~ 100...200 мкм)				
$I_{\text{KM}}(\text{Si}) = f(\text{Si})$	$I_{\text{KM}}(\text{Si}) = 0,07 + 1,5\text{Si}$	0,94	0,89	0,0001
$I_{\text{KM}}(\text{Al}) = f(\text{Al})$	$I_{\text{KM}}(\text{Al}) = 0,08 + 11,3\text{Al}$	0,99	0,98	0,0000
$I_{\text{KM}}(\text{Al}) = f(I_{\text{KM}}(\text{Si}))$	$I_{\text{KM}}(\text{Al}) = -0,3 + 6,8I_{\text{KM}}(\text{Si})$	0,95	0,89	0,0001

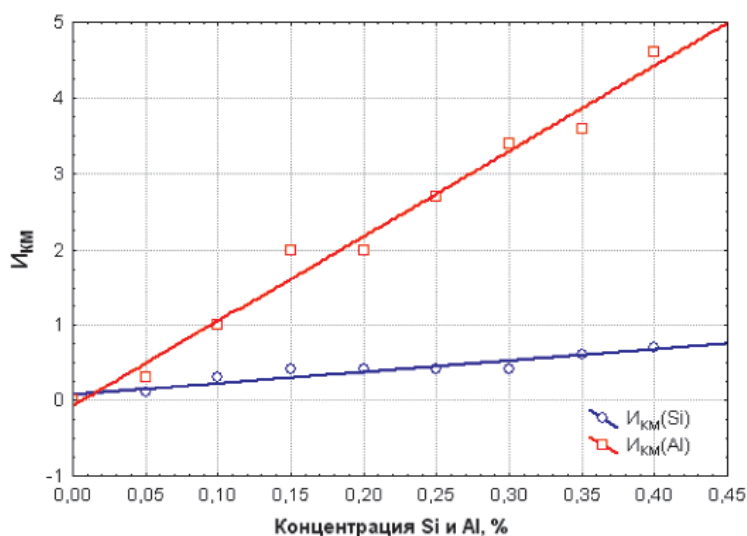


Рис. 1. Характер изменения  $I_{\text{KM}}$  от концентраций Si и Al в масле М-6<sub>3</sub>/10В

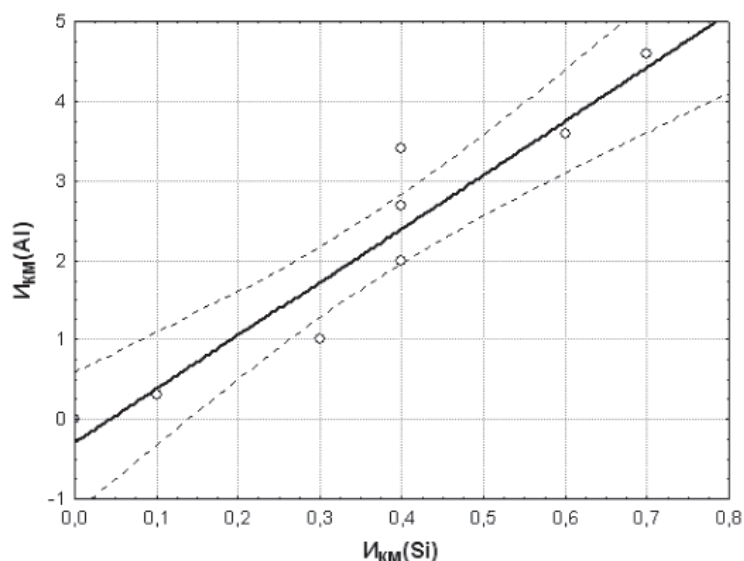


Рис. 2. Характер взаимного влияния  $I_{KM}$  от концентраций Si и Al в масле M-6/10B

В реальных условиях эксплуатации автомобиля частицы пыли (песка), индикатором которых является Si, участвуют в абразивном износе деталей агрегатов. На рис. 2 проиллюстрирована модель влияния Si на Al при доверительном интервале 0,95. С ростом концентрации крупно дисперсных абразивных частиц интенсивность прироста Al возрастает в 6,8 раза, чему соответствует угловой коэффициент модели зависимости  $I_{KM}(Al) = f(I_{KM}(Si))$  (таблица). Коэффициент детерминации показывает высокую долю дисперсии зависимой переменной, которая на 89% объясняется рассматриваемой моделью зависимости, т.е. высокое влияние абразивной пыли на износ металлических деталей. Сказанное также подтверждает высокий коэффициент корреляции 0,95, который показывает, что модель зависимости  $I_{KM}(Al) = f(I_{KM}(Si))$  близка к функциональной. Следовательно, оценивая степень загрязненности масла механическими примесями, метод косвенно оценивает абразивное влияние частиц пыли на износ поверхностей деталей.

Рассмотрим влияние частиц пыли и износа на изменение электрического поля. Величина  $I_{KM}(Si)$  в модели зависимости  $I_{KM}(Si) = f(Si)$  имеет угловой коэффициент 1,5, а  $I_{KM}(Al)$  в модели зависимости  $I_{KM}(Al) = f(Al)$  – 11,3. При равных условиях проведения эксперимента (температура, давление, время, концентрации, дисперсность одинаковы) объемные концентрации пыли и частиц износа по-разному влияют на напряженность электрического поля, в которое помещаются пробы исследуемого

загрязненного масла. Концентрации металлических частиц изменяют диэлектрические свойства масла в 7,5 раз быстрее, чем частицы кремния. Это объясняется физическими свойствами металлических частиц, которые, не обладая диэлектрическими свойствами, способны изменить значение  $I_{KM}$  за счет увеличения электропроводности масляной среды.

Изменения электрофизических свойств масляной среды, регистрируемых значениями  $I_{KM}$ , при изменении концентраций металла Al, происходят интенсивнее по отношению к концентрациям Si, примерно в 7 раз (округляя 6,8 до 7). Тогда установленный коэффициент  $k_M = 7$  позволяет по изменению концентрации Si косвенно характеризовать изменение концентрации Al посредством зависимости:  $I_{KM}(Al) = 7f(Si)$ .

Крупные частицы износа и пыли (от 100 мкм и более), оседая на датчик измерительной ячейки, перекрывают межэлектродные пространства, создавая электропроводные мостики, и дополнительно к объемной электропроводности добавляется поверхностная электропроводность [5]. При этом значения емкости конденсатора измерительной ячейки (2) и разностной частоты колебательного контура (5) стабилизируются в течение 20...30 с, стабилизируя значение диагностического параметра  $I_{KM}$ .

### Выводы

Механические примеси в работающем масле являются диагностическим параметром, интегрально характеризующим износ деталей, нарушения в техническом



состоянии систем очистки масла и воздуха, отсутствием герметичности соединений, через которые происходят утечки масла, с одной стороны, и попадают внутрь агрегата частицы атмосферной пыли, с другой стороны. Резонансный метод колебательного контура позволяет идентифицировать механические примеси в масле по разности частот от проб свежего и загрязненного масел, показывая степень загрязненности смазочной среды в зависимости от изменения ее диэлектрической проницаемости.

Механические примеси в масле влияют на величину диагностического параметра  $I_{\text{км}}$  в течение 20...30 с, что подтверждают установленные эмпирические зависимости.

Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований могут быть полезны проектировщикам диагностического оборудования, где на основе метода взаимодействия механических примесей с электрическим полем появляется возможность совершенствовать существующие и разрабатывать новые высокоэффективные средства измерения параметров работающего масла.

#### 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. Влияние комбинированных воздействий на процессы в трибосопряжениях / В.А. Аметов, Ю.С. Саркисов, Е.Н. Спирин // *Химия и технология топлив и масел*. – 2004. – № 5. – С. 46–50.
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. Теоретическая оценка процессов очистки и подогрева топлива в мобильных машинах / Э.И. Удлер, П.В. Иса-

енко, Д.В. Халтурин, А.В. Лысунец // *Известия Томского политехнического университета*. – 2012. – Т. 320. – № 2. – С. 125–129.

7. Эме Ф. Диэлектрические измерения. – М.: Химия, 1967. – 224 с.

#### References

1. Vlasov Yu.A. *Metod identifikatsii okhlazhdayushey 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. *Vliyaniye kombinirovannykh vozdeystviy na protsessy v tribosopryazheniyakh* [Influence of the combined impacts on processes in the tribosopryazheniyakh] / V.A. Ametov, Yu.S. Sarkisov, E.N. Spirin // *Chemistry and technology of fuels and oils*, 2004. no. 5. pp. 46–50.
3. *Metod diagnostirovaniya kar'ernykh avtosamosvalov po izmeneniyu dielektricheskoi pronitsaemosti sredy 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. *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.
7. 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, ведущий кафедрой «Химия», Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 10.03.2015.