

## Разработка комбинированного устройства для оценки качества моторных масел

*В.В. Семенов, Ю.Г. Асцатуров, Ю.Б. Ханжонков, Н.В. Кочковая*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Предложено комбинированное устройство для оценки качества моторных масел. Для повышения информативности выходных данных в устройстве используются оптический метод анализа загрязнённости моторных масел и метод оценки загрязнённости по изменению диэлектрической проницаемости.

**Ключевые слова:** смазочный материал, оптико-электронное устройство, двигатель внутреннего сгорания, моторное масло, метод анализа загрязнённости, оптический метод контроля, диэлектрическая проницаемость

Современные моторные масла должны удовлетворять требованиям соответствующих нормативных документов: стандартов, технических условий, сертификатов качества. При подборе присадок к базовым маслам в лабораторных условиях и апробации эффективности их действия на моторных стендах затруднительно или практически невозможно учесть все эксплуатационные факторы, прежде всего негативные, которые существенно ускоряют старение моторного масла, ухудшают условия его работы при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания и т.д.

К основным негативным факторам можно отнести обводнение масла (например, попадание антифриза), попадание в масло топлива, окисления масла, загрязнение металлическими и неметаллическими частицами (шламами) и т.д. Зачастую данные негативные изменения происходят из-за несвоевременной замены отработанного масла и масляных фильтров вследствие отсутствия у автомобилистов технических средств анализа качества моторных масел, основанных на экспресс-методах диагностики основных свойств, по которым можно сделать вывод о необходимости замены масла или продолжения его эксплуатации.

В настоящее время замена масла производится согласно графику ТО (обычно через 10000 км пробега), что зачастую не вполне соответствует

состоянию параметров работоспособности эксплуатируемого моторного масла.

С целью повышения долговечности и улучшения функционирования двигателя внутреннего сгорания (ДВС) автомобиля целесообразно проводить замену масла по фактическому состоянию при достижении установленных соответствующей технической документацией предельных значений контролируемых показателей качества масла. В настоящее время существует ряд способов и устройств, позволяющих производить оценку загрязненности моторных масел [1-9].

На наш взгляд, целесообразно выделить и контролировать (оценивать) в условиях экспресс-метода диагностирования качества моторного масла следующие два параметра:

- загрязненность моторного масла продуктами износа неметаллической природы;
- загрязненность моторного масла продуктами износа металлической природы.

Определение загрязненности моторных масел неметаллическими и металлическими частицами возможно осуществить на основе комплексного емкостного метода измерения относительной диэлектрической проницаемости моторных масел и метода, использующего фотометрический принцип, при котором измеряется коэффициент ослабления светового потока, прошедшего сквозь масло. При загрязнении масла продуктами износа данный коэффициент увеличивается, т.е. прозрачность масла уменьшается.

Комплексно оба этих метода контроля параметров моторного масла могут быть реализованы в портативном техническом средстве экспресс-диагностирования, которое будет кратковременно после остановки транспортного средства устанавливаться на место масляного щупа.

Конструкция предложенного устройства представлена на рис. 1.

---

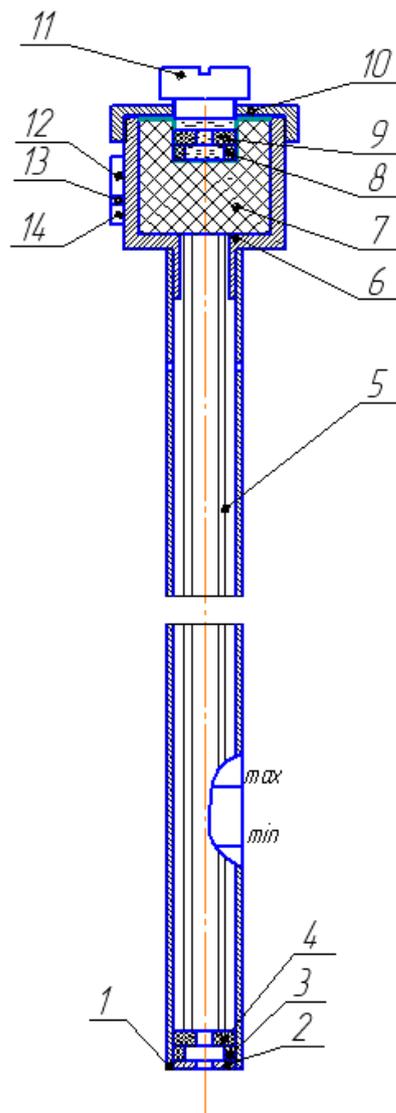


Рис. 1.– Конструктивная схема устройства для оценки качества моторных масел:

- 1- корпус зонда устройства; 2 –крышка; 3 – оптический датчик исследуемого масла (ОДИ); 4 –емкостной датчик исследуемого масла (ЕДИ);  
5 – соединительные провода; 6 –корпус измерительной головки;  
7 – измерительный блок измерительной головки; 8 – оптический датчик не работавшего масла (ОДЭ); 9 –емкостной датчик не работавшего масла (ЕДЭ);  
10 – крышка; 11 – винт для заливки эталонного масла; 12 – цифровой индикатор; 13 – адаптер OBD2; 14 – батарея питания

В нижней части корпуса зонда устройства 1 над крышкой 2 будут располагаться ёмкостной датчик 3, а также фотоэлектрический датчик, представляющий собой оптронную пару 4 (обычно светодиод и фотодиод). При погружении полость зонда будет заполнена моторным маслом, которое будет подвергаться анализу.

Верхняя часть прибора (измерительная головка) выполнена в виде утолщенной насадки, корпус 6 которой жёстко вставлен в корпус зонда устройства 1. Измерительная головка соединяется с датчиками 3 и 4 с помощью проводов 5.

Измерительная головка состоит из корпуса 6, в котором находится измерительный блок 7, оптический датчик не работавшего масла 8; ёмкостной датчик не работавшего масла 9; крышка 10, винт 11 для заливки эталонного масла, а также цифровой индикатор 12, адаптер OBD2 13, батарея питания 14.

Во внутренней полости корпуса измерительной головки будет находиться неработавшее (эталонное) моторное масло той же марки, которое и будет выступать в качестве эталонного образца для сравнения с исследуемым с помощью ёмкостного и фотоэлектрического датчиков. Устройством для оценки качества моторных масел будет производиться измерение и сравнение значений ёмкостей конденсаторов, содержащих работающее и неработавшее (эталонное) моторное масло. При изменении отношения величин ёмкости конденсатора датчика более предельного (порогового) значения, определяемого экспериментально, масло необходимо заменить.

Электроника прибора будет преобразовывать полученные данные в процент загрязнения масла и выводит их на цифровой индикатор. Измерения следует проводить как в процессе работы ДВС автомобиля, либо сразу же после остановки двигателя, чтобы находящиеся в моторном масле частицы

---

загрязнений не успели осесть на дне картера ДВС. На результат измерений будет оказывать неравномерность загрязнений и точность предварительной калибровки прибора. Структурная схема измерительного блока устройства представлена на рис. 2.

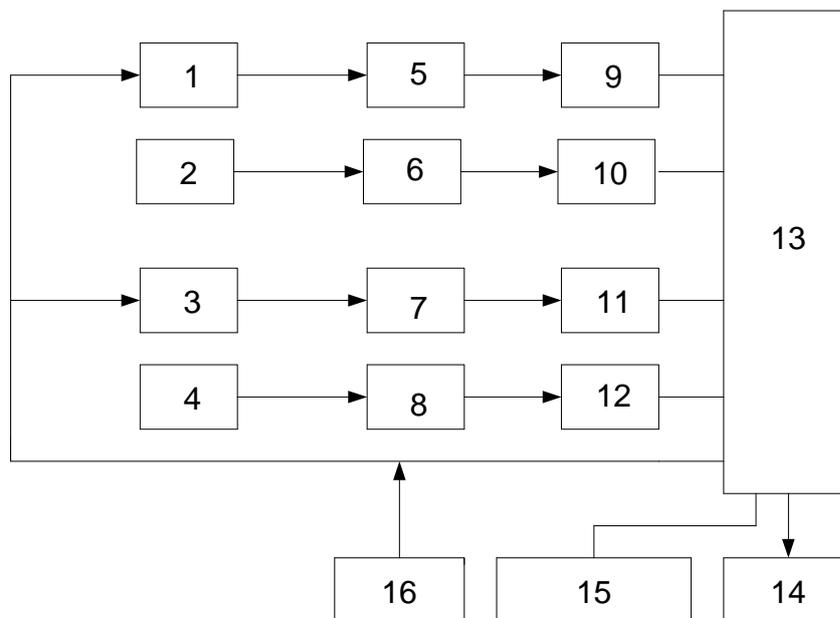


Рис. 2. – Структурная схема измерительного блока устройства:

1 - оптический датчик исследуемого масла (измерительного зонда) (ОДИ); 2 – индуктивный датчик исследуемого масла (измерительного зонда) (ЕДИ); 3 - оптический датчик неработавшего масла (измерительной головки) (ОДЭ); 4 – индуктивный датчик не работавшего масла (измерительной головки) (ЕДЭ); 5, 6, 7, 8 – соответственно У1, У2, У3, У4 – усилители сигналов датчиков; 9, 10, 11, 12 – соответственно АЦП 1, АЦП 2, АЦП 3, АЦП 4 - аналого-цифровые преобразователи соответствующих каналов; 13 – микроконтроллер; 14 – цифровой дисплей, 15 – адаптер OBD2; 16 – батарея питания.

Функциональная схема оптического датчика содержит управляемый микроконтроллером генератор, подключенный к светодиоду и фотоприемник, подключенный к усилителю и далее к АЦП.

Оптическим методом (по изменению величины оптической проницаемости) будет определяться старение масла и наличие загрязнений различной природы.

Определение величины оптической проницаемости будет производиться микроконтроллером (ЭВМ) разработанного устройства по алгоритму в соответствии с законом Бугера — Ламберта — Бера:

$$I(l) = I_0 e^{-k_\lambda l},$$

где  $I$  – интенсивность после прохода через моторное масло;  $I_0$  – интенсивность входящего пучка света;  $k_\lambda$  – коэффициент поглощения;  $l$  – толщина слоя моторного масла, через которое проходит световой поток.

Показатель поглощения  $k_\lambda$  характеризует свойства вещества. С учетом того, что работавшее масло можно представить как раствор, коэффициент поглощения определяется по формуле:

$$k_\lambda = \chi_\lambda \cdot C,$$

где  $\chi_\lambda$  - показатель поглощения раствора единичной концентрации;

$C$  - концентрация растворённого вещества.

Длина волны источника и фотоприемника определяется экспериментально исходя из параметров контролируемого масла.

Значение индекса качества масла, получаемое оптическим способом определяется по формуле:

$$I_{КМІ} = \frac{I_0 - I}{I_0}.$$

Наличие металлических частиц, вызываемых износом пар трения в двигателе определяется по изменению диэлектрической проницаемости.

Диэлектрическая проницаемость нового моторного масла  $\varepsilon_1$ , заливаемого в ДВС, варьируются в строго определенном интервале, при этом значения не входящие в него, будут отражать структурные изменения

---

работающего масла. Значения отклонений позволяют оценивать степень загрязнения моторного масла.

Истинное значение эффективной диэлектрической проницаемости работающего моторного масла должно находиться между двумя пороговыми значениями для чистого и загрязненного масла.

Для работающего масла эффективная диэлектрическая проницаемость определяется по формуле:

$$\varepsilon_{эф} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2,$$

где  $\varepsilon_2$  - диэлектрическая проницаемость загрязняющего компонента.

В разработанном устройстве функциональная схема емкостного датчика реализована по резонансному методу по схеме колебательного контура, подключенного к генератору, управляемому микроконтроллером и в котором емкость измерительной ячейки  $C_m$  включена параллельно катушке индуктивности  $L$  и переменной емкости  $C_0$ .

Колебания постоянной частоты  $f_{ном}$  осуществляют питание колебательного контура, который настраивается подбором емкости  $C_0$  в резонанс на частоту  $f_{ном}$  при отключении емкости измерительной ячейки  $C_m$  [10].

Частота колебательного контура  $f_1$  определяется по формуле Томсона:

$$f_1 = \frac{1}{(2\eta\sqrt{LC_0})}.$$

При включении в схему емкости измерительной ячейки  $C_m$ , результирующая емкость возрастет, а частота колебательного контура будет уменьшаться согласно выражению:

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_0 + C_m)}}.$$

Частота резонанса измерительной ячейки определяется экспериментально.

---

При заполнении измерительной ячейки, которая представляет собой цилиндр с двумя электродами, измеряемым маслом ее емкость примет величину:

$$C_s = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{d},$$

где  $S$  – площадь электродов;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $d$  – расстояние между электродами.

Если измерительную ячейку заполнить работающим моторным маслом, то величина емкости ячейки составит:

$$C_m = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{\phi} S}{d},$$

где  $\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_1}{(1 - \nu_2)^3}$  – диэлектрическая проницаемость металлических частиц в моторном масле по формуле Брюггемана.

При этом должно выполняться условие  $\varepsilon_2 \rightarrow \infty$  и  $\nu_2 \ll 1$ .

Для сравнения частот в двух измерительных ячейках используется условный показатель импульсов  $N$ , определяемый по формуле:

$$N = \frac{K_1 f_1 - K_2 f_2}{K_1 f_1}, \quad (1)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – константы соответственно для эталонного и работающего моторных масел.

По условному показателю импульсов оценивается качественный состав исследуемого масла в зависимости от вырабатываемого сигнала:  $K_1 f_1 > K_2 f_2$  и  $K_1 f_1 < K_2 f_2$ .

Формула (1) является выражением для оценки свойств работающих масел, определяемых в колебательном контуре путём измерения количества импульсов, зависящих от изменения частоты перестраиваемого генератора [10].

Обозначив показатель импульсов  $N$  через значение индекса качества масла ИКМ2, запишем формулу (1) в виде:

$$И_{КМ2} = \frac{F_1 - F_2}{F_1},$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – тактовая частота опорного и перестраиваемого генераторов.

Находящееся в системе смазки ДВС автомобиля моторное масло допускается к дальнейшей эксплуатации в случае, если значение ИКМ представляет собой положительное число, величина которого меньше порогового значения загрязненного работающего масла.

Получение диагноза о техническом состоянии моторного масла с указанием одного или обоих диагностических критериев  $И_{КМ1}$  и  $И_{КМ2}$  позволяет оценить качество моторного масла, оптимизировать процессы технического обслуживания автомобиля и тем самым повысить надежность автомобиля.

Таким образом, реализация методов, позволяющих более информативно и качественно оценить различные составляющие работающего моторного масла, позволят получить более точную информацию о качестве моторного масла, в частности, о загрязненности моторного масла продуктами износа неметаллической и металлической природы.

### Литература

1. Семенов В.В., Асцатуров Ю.Г., Ханжонков Ю.Б. Совершенствование устройств для трибомониторинга узлов машин и механизмов с применением оптоэлектроники // Инженерный вестник Дона, 2013, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1541.

2. Voynov K.N., Shwartzs M.A., Belyh V.V. Prognostication and estimation of the residual period of operation for pair of friction. In Zakopane, International conf. KONMOT, vol.2, Poland. 21-30.09.2004, pp. 651-656.

3. Dickey F.M., Holswade S.C., Hornak L.A., Brown K.S. Optical methods for micromachine monitoring and feedback. Sensors and Actuators A: Physical. 1999. V. 78. № 2-3. pp. 220-235.

4. Ермаков О.Н. Прикладная оптоэлектроника. М.: Техносфера, 2004. 416 с.

5. Асцатуров Ю.Г., Семенов В.В., Ханжонков Ю.Б. Разработка оптико-электронного устройства для анализа загрязнённости моторного масла двигателя внутреннего сгорания дисперсными частицами // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2376.

6. Патент РФ № 2498269, МПК G01N15/02. Способ анализа загрязненности моторного масла двигателя внутреннего сгорания дисперсными частицами / Семенов В.В., Ханжонков Ю.Б., Асцатуров Ю.Г. - заявитель и патентообладатель Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса - № 2012115075/28; заявл. 16.04.2012; опубл, 10.11.2013 Бюл. № 31.

7. Патент РФ № 2583344, G01N 15/02. Устройство анализа загрязненности моторного масла двигателя внутреннего сгорания дисперсными частицами / Семенов В.В., Ханжонков Ю.Б., Асцатуров Ю.Г., Сучков П.В. - заявитель и патентообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Донской государственный технический университет" (ДГТУ)- № 2015106466/28. Заявл. 25.02.2015. Опубл. 10.05.2016. Бюл. № 13.

8. Патент РФ № 2583351, G01N 15/02. Способ анализа загрязненности моторного масла двигателя внутреннего сгорания дисперсными частицами / Семенов В.В., Ханжонков Ю.Б., Асцатуров Ю.Г. - заявитель и патентообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

---



"Донской государственной технической университет" (ДГТУ)- № 2015104480/28. Заявл. 25.02.2015. Оpubл. 10.05.2016. Бюл. № 13.

9. Семенов В.В., Асцатуров Ю.Г., Ханжонков Ю.Б. Разработка оптико-электронного устройства для контроля качества моторного масла // Инженерный вестник Дона, 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3732.

10. Власов Ю.А., Удлер Э.И., Тищенко Н.Т., Земляной С.А., Таньков Р.Ю. Метод диагностирования карьерных автосамосвалов по изменению диэлектрической проницаемости среды работающего масла // Фундаментальные исследования. 2013. №8-6. С. 1307-1311.

### References

1. Semenov V.V., Ascaturov Ju.G., Hanzhonkov Ju.B. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1541.

2. Voynov K.N., Shwarts M.A., Belyh V.V. In Zakopane, International conf. KONMOT, vol.2, Poland. 21-30.09.2004, pp. 651-656.

3. Dickey F.M., Holswade S.C., Hornak L.A., Brown K.S. Sensors and Actuators A: Physical. 1999. V. 78. № 2-3. pp. 220-235.

4. Ermakov O.N. Prikladnaja optoelektronika [Applied optoelectronics]. M.: Tehnosfera, 2004. 416 p.

5. Ascaturov Ju.G., Semenov V.V., Hanzhonkov Ju.B. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2376.

6. Patent RF № 2498269, МПК G01N15/02. Sposob analiza zagryzannosti motornogo masla dvigatelja vnutrennego sgoranija dispersnymi chasticami [Analysis method of dirtiness of motor oil of internal combustion engine with disperse particles]. Semenov V.V., Hanzhonkov Ju.B., Ascaturov Ju.G. zajavitel' i patentoobladatel' Juzhno-Rossijskij gosudarstvennyj universitet jekonomiki i servisa. № 2012115075/28; zajavl. 16.04.2012; opubl, 10.11.2013 Bjul. № 31.



7. Patent RF № 2583344, G01N 15/02. Ustrojstvo analiza zagrijaznennosti motornogo masla dvigatelja vnutrennego sgoranija dispersnymi chasticami [Apparatus for analysing dirtiness of motor oil of internal combustion engine with disperse particles]. Semenov V.V., Hanzhonkov Ju.B., Ascaturov Ju.G., Suchkov P.V. zajavitel' i patentoobladatel': federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Donskoj gosudarstvennyj tehničeskij universitet" (DGTU). № 2015106466/28. Zajavl. 25.02.2015. Opubl. 10.05.2016. Bjul. № 13.

8. Patent RF № 2583351, G01N 15/02. Sposob analiza zagrijaznennosti motornogo masla dvigatelja vnutrennego sgoranija dispersnymi chasticami [Method for analysis of contamination of motor oil of internal combustion engine by disperse particles]. Semenov V.V., Hanzhonkov Ju.B., Ascaturov Ju.G. zajavitel' i patentoobladatel': federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Donskoj gosudarstvennyj tehničeskij universitet" (DGTU). № 2015104480/28. Zajavl. 25.02.2015. Opubl. 10.05.2016. Bjul. № 13.

9. Semenov V.V., Ascaturov Ju.G., Hanzhonkov Ju.B. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3732](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3732)

10. Vlasov Yu.A., Udler E.I., Tishchenko N.T., Zemlyanoj S.A., Tan'kov R.Yu. Fundamental'nye issledovaniya. 2013. №8-6. pp. 1307-1311.