

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-11-41-44>

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ИХ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

© Болеслав Иванович Ковальский, Валерий Иванович Верещагин,
Вячеслав Геннадьевич Шрам*, Юрий Николаевич Безбородов,
Александр Николаевич Сокольников

Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа; Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный 82, стр. 6;
*e-mail: shram18rus@mail.ru

*Статья поступила 15 февраля 2019 г. Поступила после доработки 18 июля 2019 г.
Принята к публикации 24 июля 2019 г.*

Один из основных критериев замены моторного масла при эксплуатации автомобиля — его пробег. Вместе с тем проблема контроля состояния работающего масла ввиду отсутствия средств контроля на предприятиях и станциях технического обслуживания актуальна. Представлены результаты исследования синтетических моторных масел Ravenol 5W-40 SN/CF и Mobil 1 New Life 0W-40 SN/SM/SL/SJ с применением фотометрического устройства, позволяющего осуществлять прямое фотометрирование образцов. Предложен метод контроля интенсивности процессов старения, включающий определение приращения скорости изменения коэффициента поглощения светового потока в зависимости от пробега автомобиля. Показано, что процесс старения масла носит нестабильный характер. Это вызвано образованием продуктов старения различной оптической плотности и энергоемкости. Установлено также, что интенсивность процессов старения зависит от условий и режимов эксплуатации двигателя, его технического состояния и производительности системы очистки. На основе полученных данных сделан вывод об эффективности применения предложенного метода контроля состояния моторных масел в период эксплуатации двигателей и подтверждена индивидуальность процессов старения, интенсивность которых можно оценивать приращением скорости изменения коэффициента поглощения светового потока в зависимости от пробега автомобиля.

Ключевые слова: коэффициент поглощения светового потока; оптическая плотность; пробег автомобиля; приращение скорости старения масла.

MONITORING OF AGING PROCESSES IN MOTOR OILS BY CHANGING THEIR OPTICAL PROPERTIES

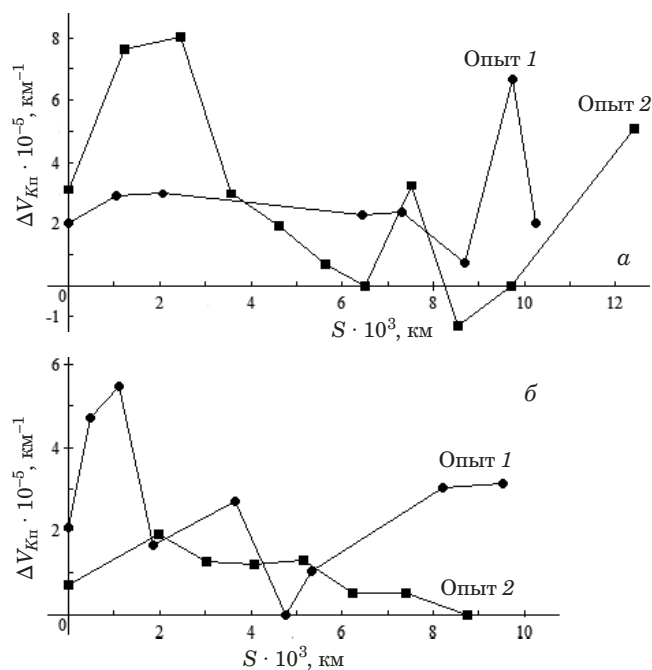
© Boleslav I. Kovalsky, Valery I. Vereshchagin, Vyacheslav G. Shram*,
Yury N. Bezborodov, Alexander N. Sokolnikov

Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas; pr. Svobodny 82, str. 6, Krasnoyarsk, 660041, Russia;
*e-mail: shram18rus@mail.ru

Received February 15, 2019. Revised July 18, 2019. Accepted July 24, 2019.

Mileage is one of the main criteria for replacing engine oil during car operation. At the same time, the problem of timely monitoring the state of working oil due to the lack of control at enterprises and service stations remains an urgent challenge. The results of studying Ravenol 5W-40 SN/CF and Mobil 1 New Life 0W-40 SN/SM/SL/SJ synthetic motor oils using a photometric device which allows direct photometric measurements of samples are presented. A method intended for control of the intensity of aging processes is proposed, including determination of the increment in the rate of change in the absorption coefficient of the light flux as a function of the vehicle mileage. Aging of the oil is shown to be an unstable process which is attributed to the formation of aging products of different optical density and energy intensity. It is also shown that the intensity of aging depends on conditions and operating modes of the engine, technical condition and performance of the cleaning system. The proposed method for monitoring the condition of motor oils during engine operation is proved to be effective. The individual character of aging processes is proved, the intensity of aging can be estimated by the incrementing rate of change of the light flux absorption coefficient depending on the vehicle mileage.

Keywords: absorption coefficient of the light flux; optical density; car mileage; increment of the oil aging rate.



Зависимости приращения скорости старения синтетических моторных масел Ravenol 5W-40 SN/CF (а) и Mobil 1 New Life 0W-40 SN/SM/SL/SJ (б) от пробега автомобиля

Dependence of the increment of the aging rate of Ravenol 5W-40 SN/CF (a) and Mobil 1 New Life 0W-40 SN/SM/SL/SJ (b) synthetic motor oils on the vehicle mileage

Введение

Один из основных критериев замены моторного масла при эксплуатации автомобиля — его пробег, выраженный в километрах. В других случаях масло меняют по общему времени его использования. Однако ресурс масла зависит от условий и режимов эксплуатации двигателя, его технического состояния, системы долива масла, производительности системы фильтрации и охлаждения, качества самого масла и топлива. Поэтому часто проводится замена пригодного для дальнейшего использования масла, что увеличивает эксплуатационные издержки [1 – 6].

В процессе исследований разработаны средства контроля и технологии определения состояния работающих масел при эксплуатации двигателей [7 – 12], предложены показатели состояния моторных масел, включающие такие параметры, как их кинематическая вязкость и оптические свойства [13 – 15].

Цель работы — разработка метода контроля процессов старения моторных масел с применением фотометрии.

Методика, материалы, оборудование

Исследовали синтетические моторные масла Ravenol 5W-40 SN/CF и Mobil 1 New Life 0W-40 SN/SM/SL/SJ с использованием фотометрическо-

го устройства, позволяющего осуществлять прямое фотометрирование образцов.

Сущность метода заключалась в следующем. Оптические свойства работающих масел контролировали с момента их заливки в картер двигателя до замены. Пробы для анализа отбирали через разные пробеги автомобиля из картера с помощью замерного шупа. При отборе пробы пробег фиксировали. Отобранную пробу наносили на фотометрическую кювету (толщина фотометрируемого слоя — 0,15 мм). Оптические свойства оценивали по коэффициенту поглощения светового потока

$$K_n = (\Phi - \Phi_p)/\Phi, \quad (1)$$

где Φ — монохроматический световой поток, падающий на слой смазочного масла (длина волны — 700 нм); Φ_p — световой поток, прошедший через слой работающего масла.

По полученным K_n определяли приращение скорости ΔV_{Kn} изменения коэффициента поглощения светового потока:

$$\Delta V_{Kn} = (K_{n2} - K_{n1})/(S_2 - S_1), \quad (2)$$

где K_{n2} и K_{n1} — коэффициенты поглощения светового потока последующего и предыдущего анализов; S_2 и S_1 — пробеги автомобиля последующий и предыдущий.

Показатель ΔV_{Kn} характеризует приращение скорости процесса старения работающего моторного масла между двумя анализами.

Обсуждение результатов

На рисунке представлены результаты исследования интенсивности процессов старения моторных масел в двигателе (каждый опыт начинали после заливки в картер товарного образца). Видно, что процесс старения носит нестабильный характер. Это вызвано образованием в маслах продуктов старения различной оптической плотности и энергоемкости (разной структуры и длины углеводородных звеньев). Формирование более энергоемких продуктов (с большим числом углеводородных звеньев) требует больше тепловой энергии и времени, поэтому приращение скорости изменения коэффициента K_n будет уменьшаться.

Пересечение кривыми оси ординат характеризует степень загрязнения масляной системы двигателя при сливе отработанного и замене его новым товарным маслом (чем ниже значение, тем чище система). Для исследуемых образцов показатели составили, $\times 10^{-5} \text{ км}^{-1}$: 3 и 2 — Ravenol, 2,1 и 0,7 — Mobil.

В начальный период эксплуатации двигателя приращение $\Delta V_{\text{Кп}}$ увеличивается за счет образования первичных продуктов старения, требующих минимум тепловой энергии. Для масла Ravenol продолжительность этого периода составила 1046 (опыт 1) и 2460 км (опыт 2). Отметим, что приращение в первом случае значительно меньше, т.е. процесс старения индивидуален и зависит от условий и режимов эксплуатации двигателя.

С увеличением пробега рост приращения $\Delta V_{\text{Кп}}$ замедляется из-за образования вторичных продуктов старения, требующих большего количества тепловой энергии. Продолжительность этого участка — 8700 и 6500 км соответственно.

Дальнейший рост пробега автомобиля вызывает значительные колебания приращения скорости. После 8500 км (опыт 2) $\Delta V_{\text{Кп}}$ имеет даже отрицательные значения, что вызвано доливом масла. Такие колебания связаны с перераспределением тепловой энергии между первичными и вторичными продуктами старения, а также влиянием системы очистки, которая отфильтровывает вторичные продукты, осветляя масло и уменьшая коэффициент $K_{\text{п}}$ (тем самым уменьшая приращение скорости процессов старения $\Delta V_{\text{Кп}}$). На начальном этапе (до 1046 и 2460 км) рост концентрации первичных продуктов вызывал увеличение $\Delta V_{\text{Кп}}$, поскольку система фильтрации их не задерживала.

Для масла Mobil также характерны колебания $\Delta V_{\text{Кп}}$, вызванные перераспределением тепловой энергии между продуктами старения и влиянием системы фильтрации на коэффициент поглощения светового потока.

С момента залива в картер товарного масла (пробег до 1100 км, опыт 1) приращение скорости возрастало (до $5,5 \cdot 10^{-5} \text{ км}^{-1}$) за счет увеличения концентрации первичных продуктов старения. С ростом пробега (до 3650 км) колебания $\Delta V_{\text{Кп}}$ связаны с перераспределением тепловой энергии между первичными и вторичными продуктами старения, а также влиянием системы очистки, которая уменьшает $\Delta V_{\text{Кп}}$ вследствие отфильтровывания последних. Отметим, что понижение $\Delta V_{\text{Кп}}$ до нуля (пробег 4750 км) — результат долива масла, а не перераспределения тепловой энергии. Дальнейшее увеличение пробега (до 9500 км) сопровождалось постоянным ростом $\Delta V_{\text{Кп}}$, что вызвано повышением концентрации первичных продуктов старения (аналогично начальному этапу).

В опыте 2 с момента залива товарного образца (пробег до 2000 км) $\Delta V_{\text{Кп}}$ возрастало до $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ км}^{-1}$. С увеличением пробега (до 4000 км) $\Delta V_{\text{Кп}}$ уменьшалось за счет образования вторичных продуктов старения, требующих большей тепловой энергии и времени эксплуатации

для преобразования первичных продуктов во вторичные. Повторный рост $\Delta V_{\text{Кп}}$ (4000 – 5000 км) связан с увеличением концентрации первичных продуктов старения и отфильтровыванием вторичных. При дальнейшей эксплуатации двигателя (пробег 8750 км) $\Delta V_{\text{Кп}}$ постоянно снижалось (до нуля).

Заключение

На основе проведенных исследований доказана эффективность применения предложенного метода контроля состояния моторных масел в период эксплуатации двигателей и подтверждена индивидуальность процессов старения, интенсивность которых можно оценить приращением скорости изменения коэффициента поглощения светового потока в зависимости от пробега автомобиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальский Б. И., Верещагин В. И., Рунда М. М., Янович Я. С., Шрам В. Г. Влияние климатических условий эксплуатации двигателей на процесс старения моторного масла / Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2013. № 12. С. 8 – 10.
2. Верещагин В. И., Ковальский Б. И., Рунда М. М. Результаты исследования состояния моторного масла при эксплуатации двигателя / Известия Томского политехн. ун-та (ТПУ). 2013. Т. 322. № 2. С. 157 – 159.
3. CEC L-48-A00: Oxidation stability of lubricating oils used in automotive transmissions by artificial ageing. Coordinating European Council for the Development of Performance Tests for Fuels, Lubricants and Other Fluids. — West Conshohocken (PA, USA), 2007. P. 12.
4. ASTM D.4742-08e1. Standard test method for oxidation stability of gasoline automotive engine oils by thin-film oxygen uptake (TFOU). — West Conshohocken (PA, USA): ASTM International, 2008. P. 11.
5. ASTM D.6335-09. Standard test method for determination of high temperature deposits by thermo-oxidation engine oil simulation test. — West Conshohocken (PA, USA): ASTM International, 2009. P. 7.
6. Gracia N., Thomas S., Bazin P., Duponchel L., Thibault-Starzyk F., Lerasle O. Combination of mid-infrared spectroscopy and chemometric factorization tools to study the oxidation of lubricating base oils / Catalysis Today. 2010. Vol. 155. P. 255 – 260.
7. Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Абазин Д. Д., Петров О. Н., Шрам В. Г. Оптическая плотность как показатель термоокислительной стабильности моторных масел / Известия ТулГУ. 2017. Вып. 12. С. 156 – 168.
8. Kovalski B. I., Shram V. G., Sokolnikov A. N., Petrov O. N., Kravtsova E. G. Photometric monitoring of thermal stability of motor oils and effect of thermal degradation products on antiwear properties / Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2016. Vol. 52. N 3. P. 318 – 324.
9. Shram V. G., Kowalski B. I., Sokolnikov A. N., Bezborodov Yu. N., Petrov O. N. Control thermal oxidative stability and anti-wear properties of engine oils / Journal of Mechanical Engineering. 2015. Vol. 6. P. 17.
10. Petrov O. N., Shram V. G., Kowalski B. I., Sokolnikov A. N. A method for improving the lubricity of motor oils / Journal of Mechanical Engineering. 2015. Vol. 4. P. 37.
11. Shram V. G., Lysyannikov A. V., Kovaleva M. A. The Mechanism of Lubricants Protective Layers Formation in Friction Sliding / Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. P. 458 – 463.

12. Ковальский Б. И., Сокольников А. Н., Петров О. Н., Агровиченко Д. В., Шрам В. Г. Влияние процессов окисления на температурную стойкость и противоизносные свойства минерального масла / Известия ТулГУ. 2014. № 11-2. С. 185 – 192.
13. Lysyannikova N. N., Kovalski B. I., Bezborodov Yu. N., Lysyannikov A. V., Shram V. G., Kravtsova E. G. Control Methods of Operational Properties of Lubricants / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 132. N 1.
14. Ковальский Б. И., Пустовит П. Ю., Шрам В. Г., Петров О. Н. Метод контроля температурных параметров работоспособности моторных масел / Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2018. № 3. С. 34 – 36.
15. Ковальский Б. И., Абазин Д. Д., Петров О. Н., Сокольников А. Н., Шрам В. Г. Применение фотометрии при контроле термоокислительной стабильности смазочных масел / Известия ТулГУ. 2017. Вып. 12. С. 232 – 245.
6. Gracia N., Thomas S., Bazin P., Duponchel L., Thibault-Starzyk F., Lerasle O. Combination of mid-infrared spectroscopy and chemometric factorization tools to study the oxidation of lubricating base oils / Catalysis Today. 2010. Vol. 155. P 255 – 260.
7. Koval'skii B. I., Bezborodov Yu. N., Abazin D. D., Petrov O. N., Shram V. G. Optical density as an indicator of thermal oxidative stability of motor oils / Izv. TulGU. 2017. Issue 12. P. 156 – 168 [in Russian].
8. Kovalski B. I., Shram V. G., Sokolnikov A. N., Petrov O. N., Kravtsova E. G. Photometric monitoring of thermal stability of motor oils and effect of thermal degradation products on antiwear properties / Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2016. Vol. 52. N 3. P 318 – 324.
9. Shram V. G., Kowalski B. I., Sokolnikov A. N., Bezborodov Yu. N., Petrov O. N. Control thermal oxidative stability and anti-wear properties of engine oils / Journal of Mechanical Engineering. 2015. Vol. 6. P. 17.
10. Petrov O. N., Shram V. G., Kowalski B. I., Sokolnikov A. N. A method for improving the lubricity of motor oils / Journal of Mechanical Engineering. 2015. Vol. 4. P. 37.
11. Shram V. G., Lysyannikov A. V., Kovaleva M. A. The Mechanism of Lubricants Protective Layers Formation in Friction Sliding / Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. P. 458 – 463.
12. Koval'skii B. I., Sokolnikov A. N., Petrov O. N., Agrovichenko D. V., Shram V. G. Influence of oxidation processes on temperature resistance and antiwear properties of mineral oil / Izv. TulGU. 2014. N 11 – 2. P. 185 – 192 [in Russian].
13. Lysyannikova N. N., Kovalski B. I., Bezborodov Yu. N., Lysyannikov A. V., Shram V. G., Kravtsova E. G. Control Methods of Operational Properties of Lubricants / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 132. N 1.
14. Koval'skii B. I., Pustovit P. Yu., Shram V. G., Petrov O. N. Method of monitoring temperature parameters of engine oil performance / Mir Nefteprod. Vestn. Neft. Komp. 2018. N 3. P. 34 – 36 [in Russian].
15. Koval'skii B. I., Abazin D. D., Petrov O. N., Sokolnikov A. N., Shram V. G. The use of photometry in the control of thermal-oxidative stability of lubricating oils / Izv. TulGU. 2017. Issue 12. P. 232 – 245 [in Russian].
1. Koval'skii B. I., Vereshchagin V. I., Runda M. M., Yanovich Ya. S., Shram V. G. Influence of climatic conditions of engine operation on the process of engine oil aging / Mir Nefteprod. Vestn. Neft. Komp. 2013. N 12. P. 8 – 10 [in Russian].
2. Vereshchagin V. I., Koval'skii B. I., Runda M. M. The results of the study of the state of engine oil during engine operation / Izv. Tom. Politekh. Univ. (TPU). 2013. Vol. 322. N 2. P. 157 – 159 [in Russian].
3. CEC L-48-A00: Oxidation stability of lubricating oils used in automotive transmissions by artificial ageing. Coordinating European Council for the Development of Performance Tests for Fuels, Lubricants and Other Fluids. — West Conshohocken (PA, USA), 2007. P. 12.
4. ASTM D.4742-08e1. Standard test method for oxidation stability of gasoline automotive engine oils by thin-film oxygen uptake (TFOUT). — West Conshohocken (PA, USA): ASTM International, 2008. P. 11.
5. ASTM D.6335-09. Standard test method for determination of high temperature deposits by thermo-oxidation engine oil simulation test. — West Conshohocken (PA, USA): ASTM International, 2009. P. 7.

REFERENCES