4. Li R.I., Psarev D.N., Rizaeva Ju.N., Pchel'nikov A.V., Bykonja A.N., Mel'nikov A.Ju. Stend dlja ispytaniya podshipnikov kachenija na dolgovechnost' [Tekst]: Patent na izobretenie RF № 2719624. Zajavl. 08.07.2019. // Opubl. 21.04.2020. – Bjul. №12.

5. Perel' L.Ja. Podshipniki kachenija. Raschet, proektirovanie i obsluzhivanie opor: Spravochnik [Tekst] / L.Ja.Perel'. – M.: Mashinostroenie, 1983. – 543 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ли Роман Иннакентьевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: romanlee@list.ru.

Киба Мария Романовна – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: damsel_91@mail.ru.

Быконя Андрей Николаевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: loseroff@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Lee Roman – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, e-mail: romanlee@list.ru.

Kiba Maria – post-graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, e-mail: damsel_91@mail.ru.

Bykonya Andrew – post-graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, e-mail: loseroff@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 23.06.2020 Принята к публикации (Accepted): 17.08.2020

УДК 621.892

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-4-84-89

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫВКИ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВС ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

¹Остриков Валерий Васильевич

²Vigdorowitsch Michael

¹Жерновников Дмитрий Николаевич

¹Кошелев Александр Викторович

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

²Angara GmbH

Реферат. Работа двигателей тракторов сопряжена с высокими нагрузками и значительными температурными режимами. В смазочном моторном масле и на деталях двигателя, в зависимости от наработки двигателя, накапливается значительное количество загрязнений, смол, продуктов окисления, которые осаждаются в масляных каналах системы смазки, на поршнях, под маслосъёмными кольцами. Для удаления загрязнений из системы смазки, при проведении операции технического обслуживания используются специальные промывочные масла. Одним из принятых, достаточно простых способов определения качества промывки системы смазки в двигателях тракторов является визуальный анализ изменения цвета промывочного масла от светлого жёлтого до чёрного. Детальный анализ работ, посвящённых оценке изменения цвета промывочного масла в динамике отсутствует, не установлены критериальные характеристики, определяющие взаимосвязь изменения цвета масла и эксплуатационные показатели двигателя. На основании результатов экспериментальных исследований по промывке системы смазки двигателей тракторов получены зависимости

изменения цвета масла от времени промывки и средней компрессии в цилиндрах двигателя Д-240 за время работы двигателя с промывочным маслом 40 минут. По параметрическим данным получена зависимость показателя компрессии цилиндропоршневой группы от изменения цвета промывочного масла, имеющая характер гиперболы с вертикальной асимптотой в районе 7 единиц цвета масла. В результате математического анализа получено выражение, определяющее взаимосвязь компрессии и цвета масла в процессе промывки системы смазки. Представлена дифференциальная функция эффективности восстановления эксплуатационных свойств двигателя.

Ключевые слова: анализ, цвет масла, компрессия, двигатель, дифференциальное уравнение, зависимость, эффективность.

THEORETICAL ASPECTS OF EVALUATING THE RINSING EFFICIENCY OF THE ICE LUBRICATION SYSTEM FROM POLLUTION

¹Ostrikov Valery

²Vigdorowitsch Michael

¹Zhernovnikov Dmitry

¹Koshelev Alexander

¹FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

²Angara GmbH

Abstract. The operation of tractor engines is associated with high loads and significant temperature conditions. A significant amount of contaminants, resins, oxidation products that are deposited in the oil channels of the lubrication system, on the pistons, under the rings of oil scraper oils, accumulate in the lubricating engine oil and on the engine parts, depending on the engine operating time. Special flushing oils are used to remove contaminants from the lubrication system during maintenance operations. One of the accepted, quite simple methods for determining the quality of washing the lubrication system in tractor engines is a visual analysis of the color change of the washing oil from light yellow to black. There is no detailed analysis of the works devoted to the assessment of the color change of flushing oil in dynamics; criteria criteria are not established that determine the relationship between the color change of the oil and engine performance. The dependences of the color change of the oil on the flushing time and average compression in the cylinders of the D-240 engine during the operation of the engine with flushing oil for 40 minutes are obtained on the basis of experimental studies on flushing the lubrication system of tractor engines. The dependence of the compression index of the cylinder-piston group on the color change of the flushing oil, which has the character of a hyperbola with a vertical asymptote in the region of 7 units of the color of the oil, was obtained by parametric data. The expression determining the relationship between compression and oil color during the washing of the lubrication system is obtained as a result of mathematical analysis. The differential function of the efficiency of restoration of the engine operational properties is presented.

Keywords: analysis, oil color, compression, engine, differential equation, dependence, efficiency.

Введение. В процессе работы двигателей тракторов в системе смазки и на деталях цилиндропоршневой группы накапливаются загрязнения, смолисто-коксовые отложения [1, 2].

В результате образования загрязнений снижается эффективность работы двигателя и его эксплуатационные характеристики. Для удаления загрязнений из системы смазки существует достаточно много технологий [3, 4]. Одной из наиболее распространенных является промывка системы смазки специальными промывочными маслами [5, 6]. При этом очень сложно без разборки двигателя оценить эффективность процесса промывки. Достаточно простым способом оценки качества промывки двигателя является определение компрессии в цилиндрах. Изменение цвета промывочного масла от светлого до темного состояния также в определенной степени характеризует эффективность промывки.

Обсуждение результатов. Ранее проводимыми ФГБНУ ВНИИТиН исследованиями по промывке и очистке системы смазки двигателей тракторов установлена взаимосвязь и получены зависимости изменения компрессии в цилиндрах и цвета промывочного масла от времени промывки (рисунки 1, 2).

Рисунок 1 – Параметрическая зависимость изменения цвета масла от времени промывки системы смазки двигателя Д-240

Рисунок 2 – Параметрическая зависимость изменения средней компрессии в цилиндрах от времени промывки системы смазки двигателя Д-240

Анализируя параметрические данные компрессии и цвета промывочного масла можно построить зависимость, характеризующую их взаимосвязь (рисунок 3).

Рисунок 3 – Взаимосвязь показателей компрессии и изменения цвета промывочного масла

Зависимость имеет характер гиперболы с вертикальной асимптотой в районе 7 ед. цвета масла.

Аппроксимируем данные измерений трёхпараметрической гиперболической зависимостью вида:

$$E = \frac{a}{C_0 - C} + b \quad (1)$$

с подлежащими определению параметрами a , b и C_0 . Как видно из графика, параметр b ожидается порядка 17 ед., C_0 – порядка 7 ед., следовательно, параметр a порядка 1 ед.

Используя метод наименьших квадратов, при этом «канонический» функционал примет вид:

$$F = \sum_{i=1}^N [E(C_i) - E_i]^2 = \sum_{i=1}^N \left[\frac{a}{C_0 - C_i} + b - E_i \right]^2, \quad (2)$$

где C_i , E_i – данные измерений, в нашем случае $N = 4$. Приравнявая к нулю 3 частные производные:

$$\frac{\partial F}{\partial a} = 0, \frac{\partial F}{\partial C_0} = 0, \frac{\partial F}{\partial b} = 0 \quad (3)$$

получаем систему из 3 уравнений относительно a , b и C_0 . Аналитически она полностью не решается.

Тогда для b можно получить выражение

$$b = \frac{1}{N} \left[\sum E_i - a \sum \frac{1}{C_0 - C_i} \right]. \quad (4)$$

Подставляя его в 2 других, преобразуем каждое из них к виду:

$$a = \frac{\sum \frac{E_i}{C_0 - C_i} - \frac{1}{N} \sum E_i \sum \frac{1}{C_0 - C_i}}{\sum \frac{1}{(C_0 - C_i)^2} - \frac{1}{N} \left(\sum \frac{1}{C_0 - C_i} \right)^2} \quad (5)$$

и

$$a = \frac{\sum \frac{E_i}{(C_0 - C_i)^2} - \frac{1}{N} \sum E_i \sum \frac{1}{(C_0 - C_i)^2}}{\sum \frac{1}{(C_0 - C_i)^3} - \frac{1}{N} \sum \frac{1}{(C_0 - C_i)^2} \sum \frac{1}{C_0 - C_i}} \quad (6)$$

Приравнивая друг другу правые части двух последних уравнений, получаем уравнение относительно C_0 , которое легко решить численно методом подбора параметра: $C_0 = 7.2$. Подставляя это значение в любое из двух последних уравнений получаем $a = 1,05$. Подставляя a и C_0 в приведённое выше уравнение для b , получим $b = 16,56$.

Таким образом, наша аппроксимирующая трёхпараметрическая гиперболическая зависимость имеет вид:

$$E = \frac{1.05}{7.2 - C} + 16.56 \quad (7)$$

Сравнительные графики имеют вид (рисунок 4)

Рисунок 4 – Аппроксимирующая зависимость изменения компрессии в цилиндро-поршневой группе ДВС и цвета промывочного масла

В завершение, получим дифференциальную функцию восстановления эффективности двигателя (= очистки системы смазки):

$$R(C) = \frac{dE}{dC} = \frac{1.05}{(7.2 - C)^2}$$

Определять функцию восстановления двигателя можно на другом классе функций, не только на гиперболическом. Однако подход в целом останется прежним.

Выводы. Проведённый теоретический анализ в первом приближении подтверждает гипотезу изменения цвета промывочного масла от эффективности удаления загрязнений из системы смазки двигателей машин. Установлено, что процесс промывки взаимосвязан с изменением компрессии в цилиндропоршневой группе.

Список литературы

1. Кузьмин Н.А., Пачурин Г.В., Кузьмин А.Н. Анализ отложений в автомобильных двигателях // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1. – С. 226.
2. Behrendt C., Smith A. A Study of Diesel Fuel Injector Deposit Effects on Power and Fuel Economy Performance // 2017SAE Technical Papers. – 2017. – March (March).
3. Guan Y.C., Ng G.K.L., Zheng H.Y., Hong X., Zhang Z Laser surface cleaning of carbonaceous deposits on diesel engine piston // 2013 Applied Surface Science 270. – P. 526-530

4. Семенов В.И. Удаление загрязнений, прочно связанных с поверхностями деталей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки – 2013. – № 11. – С. 69-72.
5. Кругов В.Ф., Остриков В.В. Промывочное масло для ДВС // Наука в центральной России – 2016. – № 4 (22). – С. 35-40.
6. Кириллов В.В., Шумовский А.В., Данилов А.М. Промывочные масла для двигателей внутреннего сгорания // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний – 2005. – № 1. – С. 12-13.

References

1. Kuz'min N.A., Pachurin G.V., Kuz'min A.N. Analiz otlozhenij v avtomobil'nyh dvigatelyah // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2014. – № 1. – S. 226.
2. Behrendt C., Smith A. A Study of Diesel Fuel Injector Deposit Effects on Power and Fuel Economy Performance // 2017SAE Technical Papers. –2017. – March (March).
3. Guan Y.C., Ng G.K.L., Zheng H.Y., Hong X., Zhang Z Laser surface cleaning of carbonaceous deposits on diesel engine piston // 2013 Applied Surface Science 270. – R. 526-530
4. Semenov V.I. Udalenie zagryaznenij, prochno svyazannyh s poverhnostyami detalej // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V: Promyshlennost'. Prikladnye nauki – 2013. – № 11. – S. 69-72.
5. Krugov V.F., Ostrikov V.V. Promyvochnoe maslo dlya DVS // Nauka v central'noj Rossii – 2016. – № 4 (22). – S. 35-40.
6. Kirillov V.V., SHumovskij A.V., Danilov A.M. Promyvochnye masla dlya dvigatelej vnutrennego sgoraniya // Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanyh kompanij – 2005. – № 1. – S. 12-13.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, доцент, врио директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru

Вигдорovich Михаил Владимирович – доктор физико-математических наук, директор Angara GmbH, Дюссельдорф, Германия, e-mail: dr.vigdorowitsch@angara-gmbh.de.

Жерновников Дмитрий Николаевич – старший лаборант-исследователь Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Кошелев Александр Викторович – инженер-исследователь Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Author credentials

Affiliations

Ostrikov Valery – Full Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Director of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Vigdorowitsch Michael – Full Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Director of Angara GmbH, Dusseldorf, Germany, e-mail: dr.vigdorowitsch@angara-gmbh.de.

Zhernovnikov Dmitry – senior laboratory assistant of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Koshelev Alexander - Research Engineer of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 25.06.2020

Принята к публикации (Accepted): 31.07.2020