Прохоренков Вячеслав Дмитриевич – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Author credentials

Affiliations

Knyazeva Larisa G. – Full Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Dorokhov Andrey V. – Junior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: dorokhov.andryusha@mail.ru.

Kuryato Nikolay A – Master student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State University named after G.R. Derzhavin”, Russia, Tambov, e-mail: cskasparta@yandex.ru.

Prokhorenkov Vyacheslav D. – Full Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Поступила в редакцию (Received): 21.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 18.02.2020

УДК 621.892.2

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-80-87

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ИЗНОСА И НЕОБХОДИМОСТИ ЗАМЕНЫ ТРАНСМИССИОННОГО МАСЛА В СИЛОВЫХ МЕХАНИЗМАХ

¹Родионов Юрий Викторович

¹Филатов Иван Сергеевич

¹Воронин Николай Владимирович

¹Никитин Дмитрий Вячеславович

²Остриков Валерий Васильевич

³Ломовских Александр Егорович

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт

использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

³ФГКВООУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Реферат. В данной работе изучалась возможность определения степени износа и необходимости замены трансмиссионных масел в силовых передачах автотракторных машин и механизмов. Проведенный анализ существующих методов определения качества трансмиссионных масел показал, что большинство из них являются лабораторными и неприменимы в полевых условиях из-за высокой сложности как самого метода, так и применяемого оборудования. Исследования проводились с пробой трансмиссионного масла Shell Spirax 80W, слитой после пробега 2000 километров из картера коробки передач мотоцикла CZ 350 «Sport». Для выявления влияния продуктов износа на параметры планарной индуктивности изготовлены два датчика в виде спиралей, размещённые на фольгированном текстолите. Для моделирования динамики износа деталей трансмиссии и оценки чувствительности датчика использовались насыпки ультрадисперсного порошка железа на бумаге. Предложен метод контроля трансмиссионного масла, основанный на изменении индуктивности датчика при попадании в зону его действия металлических частиц вследствие износа трансмиссии. Показано, что при увеличении количества частиц износа изменяется значение измеряемого с помощью созданных датчиков-прототипов показателя. Это определило базовую работоспособность метода. Была продемонстрирована возможность экспресс-контроля степени износа трансмиссионных масел и выдачи сигнала о необходимости его замены по изменению параметров

планарного индуктивного датчика. Дальнейшее развитие метода с изменением используемой основы позволит расширить спектр контролируемых в полевых условиях технических жидкостей в автотракторных машинах и механизмах.

Ключевые слова: износ машин и механизмов, продукты износа деталей машин, смазочные материалы, трансмиссионное масло, силовые механизмы, планарная катушка, изменение индуктивности.

METHOD FOR DETERMINING THE DEGREE OF WEAR AND THE NEED TO REPLACE TRANSMISSION OIL IN POWER MECHANISMS

¹Rodionov Yury

¹Filatov Ivan

¹Voronin Nikolay

¹Nikitin Dmitry

²Ostrikov Valery

³Lomovsky Alexander

¹FSBEI HE "Tambov state technical university"

²FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

³MERC "Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin"

Abstract. The possibility of determining the degree of wear and the need to replace gear oils in power transmissions of automotive tractors and mechanisms was studied in this work. The analysis of the existing methods for determining the quality of gear oils has shown that most of them are laboratory and not applicable in the field due to the high complexity of both the method and the equipment used. The studies were carried out with a sample of Shell Spirax 80W gear oil, drained after running 2000 kilometers from the gearbox housing of the CZ 350 Sport motorcycle. Two sensors in the form of spirals placed on a foil PCB are made to detect the effect of wear products on the planar inductance parameters. A transmission oil control method is proposed based on a change in the sensor inductance when metal particles get into the zone of its action due to transmission wear. It is shown that with an increase in the number of wear particles, the value of the indicator measured using the created prototype sensors changes. This determined the basic performance of the method. The possibility of express control of the degree of wear of gear oils and the generation of a signal about the need for its replacement by changing the parameters of a planar inductive sensor was demonstrated. Further development of the method with a change in the basis used will allow us to expand the range of field-controlled technical fluids in automotive tractors and mechanisms.

Keywords: wear of machine sand mechanisms, wear products of machine parts, lubricants, transmission oil, lift mechanism, planar coil, inductance change.

Введение. Износ смазочных масел и определение необходимости их замены в автотракторной технике и транспортных машинах можно вести по изменению их физических характеристик и по увеличению в них продуктов износа механизмов [1]. В случае масел, работающих в двигателях, определение необходимости их замены по продуктам износа затруднено вследствие наличия в двигателях масляных фильтров, задерживающих эти продукты (металлическая пыль и частицы сколов). Поэтому определение работоспособности моторных масел целесообразно вести по изменению их физических или химических характеристик. В силовых механизмах автотракторной техники и транспортных машин нагрев масел гораздо меньше, чем в двигателях, и изменение физических характеристик гораздо менее выражено. Вместе с тем отсутствие масляных фильтров вызывает постоянную циркуляцию продуктов износа деталей трансмиссии и ведёт к её ускоренному выходу из строя. Зачастую в случае интенсивной эксплуатации в тяжёлых условиях необходима замена масла гораздо раньше регламентированного срока.

В настоящий момент существует большое количество методов контроля качества трансмиссионных масел, которые охватывают весь спектр предъявляемых к маслам эксплуатационных свойств [2].

Количественные методы, работающие в соответствии с ГОСТ 6370—83 и ГОСТ 12275—66, позволяют с различной точностью определить массу частиц износа в отработанном масле. При

определении гранулометрического состава используют седиментационные и микроскопические методы. Весьма широкое применение нашли оптические методы седиментационного анализа, позволяющие установить дисперсный состав частиц износа. В меньшей степени распространены ультразвуковые методы контроля гранулометрического состава.

Существуют также и методы контроля таких параметров, как кислотное число, щелочное число, кинематическая вязкость и др. Все они регламентируются соответствующими ГОСТами. Чтобы провести более глубокий анализ, применяют такие методы, как электрохимический анализ продуктов гидролиза и масс-спектропия на уровне структуры углеводов.

Немаловажным фактором качества трансмиссионного масла является наличие в нем воды в растворенном, эмульсионном либо свободном состоянии. Для ее определения применяют как более простые методы – например, использование реакции взаимодействия пробы масла с гидридом кальция, так и более сложные, к примеру, инфракрасная Фурье-спектропия.

Еще одним важным параметром качества трансмиссионных масел является их термоокислительная стабильность. Она определяется методами и регламентами, описанными в ГОСТ 18136—72, ГОСТ 11063—77, ГОСТ 13300—67 и др.

подавляющее большинство упомянутых выше методов являются лабораторными и неприменимы в полевых условиях из-за высокой сложности как самого метода, так и оборудования, поэтому необходимо разработать максимально простой и точный метод определения необходимости замены трансмиссионных масел, которую можно использовать как в лаборатории, так и в полевых условиях.

Цель исследования. Предложен экспериментальный метод определения необходимости замены трансмиссионного масла в зависимости от изменения параметров планарной индуктивности и проведена экспериментальная проверка, подтверждающая это предположение.

Материалы и методы. Для разработки теоретических основ определения загрязнения трансмиссионного масла использовались основные положения теоретической физики, связанные с взаимодействием электромагнитного поля планарных индуктивностей с внешними средами, исходя из базовых физических постулатов [3]. Исследовалось влияние пробы трансмиссионного масла Shell Spirax 80W, слитой после пробега 2000 километров из картера коробки передач мотоцикла CZ 350 «Sport». В стеклянной ёмкости с пробой на дне отчётливо видны следы износа деталей коробки в виде стальной пыли (рисунок 1).

Рисунок 1 – Внешний вид осадка на дне ёмкости с трансмиссионным маслом

Для выявления влияния продуктов износа на параметры планарной индуктивности изготовлены два датчика в виде спиралей, размещённые на фольгированном текстолите.

Для расчёта параметров датчика в качестве плоской катушки представляется идеализированная катушка (рисунок 2).

Рисунок 2 – Схема идеализированной плоской катушки

Длину намотки катушки приняли равной нулю $l = 0$, тогда индуктивность такой катушки можно вычислить по следующей формуле[3, 4]:

$$L_p = \frac{\mu_0}{8\pi} \omega^2 D \Psi, \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; ω – число витков; D – средний диаметр катушки, м; Ψ – коэффициент отношения толщины намотки к среднему диаметру катушки, который зависит от отношения, рассчитываемого по формуле:

$$\rho = t/D, \quad (2)$$

где t – толщина намотки катушки, м.

Тогда коэффициент Ψ зависит от соотношения толщины намотки t и среднего диаметра катушки D , определяемого:

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2}. \quad (3)$$

При небольшой толщине намотки, когда $\rho < 0,5$, данный коэффициент рассчитывается по формуле:

$$\Psi = 4\pi \left[\left(1 + \frac{\rho^2}{24} \right) \ln \frac{4}{\rho} - \frac{1}{2} + \frac{43\rho^2}{288} \right]. \quad (4)$$

При большой толщине намотки, когда $\rho > 0,5$, данный коэффициент рассчитывается по формуле:

$$\Psi = \frac{(1+\rho)^3}{\rho^2} (1,7424 + 3,29\gamma^3 \ln \gamma - 2,27\gamma^3), \quad (5)$$

где γ – коэффициент, учитывающий соотношение внешнего и внутреннего диаметров обмотки катушки, рассчитываемый по формуле:

$$\gamma = \frac{D_2}{D_1} = \frac{1-\rho}{1+\rho}. \quad (6)$$

Датчик № 1 (рисунок 3а) имеет 8 витков и начальную индуктивность 7 мкГн, датчик № 2 (рисунок 3б) имеет 19 витков и начальную индуктивность 20,3 мкГн соответственно, измерения велись измерителем высокочастотным Е 7...9.

Для определения расстояния чувствительности датчиков к ним подносилась пластина из стали 10, при этом изменение индуктивности на 1 мкГн датчика №1 происходило на расстоянии в 9 мм, а для датчика № 2 то же изменение индуктивности происходило на расстоянии в 20 мм. Вид экспериментальных датчиков показан на рисунке 3.

а) датчик №1

б) датчик №2

Рисунок 3 – Внешний вид экспериментальных датчиков для определения содержания продуктов износа в трансмиссионном масле

В результате экспериментов лучшие результаты чувствительности и стабильности показаний были у датчика № 2, поэтому дальнейшие эксперименты проводились с ним.

Результаты и их обсуждение. Для моделирования динамики износа деталей трансмиссии и оценки чувствительности датчика использовались насыпки ультрадисперсного порошка железа на бумаге [5 – 7]. В таблице 1 приведены данные об изменении индуктивности датчика при изменении массы насыпки.

Таблица 1 – Изменение индуктивности датчика с изменением массы насыпки железного порошка

Масса насыпки, (г)	Индуктивность датчика L, (мкГн)	Изменение индуктивности ΔL , (мкГн)
0	20,3	0
0,05	20,9	0,6
0,16	21,3	1,0
0,22	22,8	2,5
0,3	23,1	2,8
0,38	24,3	4,0
0,40	24,8	4,5

Исходя из этого видно, что даже небольшие количества железного порошка вызывают заметное изменение индуктивности датчика. Для проверки достоверности метода из ёмкости с пробой масла из коробки передач мотоцикла CZ 350 «Sport» был извлечён осадок с частицами износа трансмиссии (рисунок 4), его масса составила 0,7 г.

Индуктивность датчика составила 27,7 мкГн, что даёт абсолютное изменение индуктивности в 7,4 мкГн. Данное изменение может легко преобразоваться в сигнал, подаваемый на панель управления транспортными машинами и силовым оборудованием. Это даёт возможность прогнозировать износ коробок передач и трансмиссионных приводов машин и механизмов и осуществлять меры по предупреждению выхода из строя деталей машин по сигналам соответствующих индикаторов, установленных в кабинах автотракторных средств, на панелях бортовых компьютеров автомобилей и в других местах [8 – 10].

Рисунок 4 – Осадок с частицами износа на поверхности бумаги

Выводы.

1. Проведен краткий обзор и анализ существующих методов контроля качества трансмиссионного масла. Большинство из них неприменимы в полевых условиях.

2. Предложен метод контроля трансмиссионного масла, основанный на изменении индуктивности датчика при попадании в зону его действия металлических частиц вследствие износа трансмиссии.

3. Результаты первых экспериментов показали, что предложенный метод применим для экспресс-контроля вследствие простоты и возможностей доработки и адаптации под конкретные трансмиссионные механизмы.

4. Предложена конструкция прототипов датчиков для лабораторных измерений. Но эта же конструкция позволяет с учетом доработки встроить его в трансмиссию автотракторных машин и механизмов.

В дальнейшем при доработке первичных измерительных преобразователей и совершенствовании метода станет возможным прогноз неблагоприятных режимов работы трансмиссии и необходимости замены трансмиссионных жидкостей в зависимости от режимов эксплуатации и качества этих жидкостей.

Список литературы

1. Иванов Е.И. Изменения в трансмиссионном масле в процессе эксплуатации // В мире научных открытий. Материалы IV Всероссийской студенческой научной конференции (с международным участием). – 2015. – С. 103 – 105.

2. Методы контроля и результаты исследования состояния трансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях: монография / В.И. Верещагин, В.С. Янович, Б.И. Ковальский [и др.]. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – 208 с.

3. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. 488 с.

4. Yue C.P. and Wong S.S. On-Chip Spiral Inductors with Patterned Ground Shields for Si Based RFIC's. IEEE J. Solid State Circuit, vol. 33, no. 5, p.p. 743-752, may 1999.

5. Корнев А.Ю., Вязинкин В.С., Остриков В.В., Шихалев И.Н. Испытания трибодатчика для контроля уровня деградации масла // Наука в центральной России. – 2013. – №2. – С. 10 – 14.

6. О применении и экономии горюче-смазочных материалов на все виды автотранспорта / Ишмаков Р.М., Тухватуллин Р.А., Губайдуллин Н.М., Газиев В.Х. Уфа: Б.и., 1993. 103 с.

7. Сафонов В.В. Влияние добавок наноразмерных порошков металлов в трансмиссионное масло на ресурс силовых передач сельскохозяйственной техники / В.В. Сафонов [и др.] // Научная жизнь. – 2016. – №2. – С. 6 – 21.

8. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Golovchenko A.O., Ostrikov V.V., Vigdorowitsch M.V. Using data of weight tests and impedance spectroscopy to evaluate the protective effectiveness of

zinc-rich oil coatings in corrosion of carbon steel. // International Journal Of Corrosion And Scale Inhibition. – 2019, ppg. 212 – 224.

9. Ostrikov V.V., Vigdorovich V.I., Safonov V.V., Kartoshkin A.P. Development of a technological process and composition of flushing oil for diesel engines // Chemistry And Technology Of Fuels And Oils. – 2018, – ppg. 24-28.

10. Остриков В.В., Афанасьев Д.И. Теоретический анализ физико-химических процессов, происходящих на поверхностях трения прирабатываемых деталей двигателей // Наука в центральной России. – 2018. – № 2 (32). – С. 82 – 87.

References

1. Ivanov E.I. Izmeneniya v transmissionnom masle v processe e'kspluatacii // V mire nauchnyx otkrytij. Materialy IV Vserossijskoj studencheskoj nauchnoj konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem). – 2015. – S. 103 – 105.

2. Metody kontrolya i rezul'taty issledovaniya sostoyaniya transmissionnyx i motornyx masel pri ix okislenii i tribotexnicheskix ispytaniyax: monografiya / V.I. Vereshhagin, V.S. Yanovich, B.I. Koval'skij [i dr.]. Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2017. – 208 s.

3. Kalantarov P.L., Cejtin L.A. Raschet induktivnostej: Spravochnaya kniga. 3-e izd., pererab. i dop. L.: E'nergoatomizdat. Leningr. otd-nie, 1986. 488 s.

4. Yue C.P. and Wong S.S. On-Chip Spiral Inductors with Patterned Ground Shields for Si Based RFIC's. IEEE J. Solid State Circuit, vol. 33, no. 5, p.p. 743-752, may 1999.

5. Kornev A.Yu., Vyazinkin V.S., Ostrikov V.V., Shixalev I.N. Ispytaniya tribodatchika dlya kontrolya urovnya degradacii masla // Nauka v central'noj Rossii. – 2013. – №2. – S. 10 – 14.

6. O primenenii i e'konomii goryuche-smazochnyx materialov na vse vidy avtotransporta / Ishmakov R.M., Tuxvatullin R.A., Gubajdullin N.M., Gaziev V.X. Ufa: B.i., 1993. 103 s.

7. Safonov V.V. Vliyanie dobavok nanorazmernyx poroshkov metallov v transmissionnoe maslo na resurs silovyx peredach sel'skoxozyajstvennoj texniki/ V.V. Safonov [i dr.] // Nauchnaya zhizn'. – 2016. – №2. – S. 6 – 21.

8. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Golovchenko A.O., Ostrikov V.V., Vigdorowitsch M.V. Using data of weight tests and impedance spectroscopy to evaluate the protective effectiveness of zinc-rich oil coatings in corrosion of carbon steel. // International Journal Of Corrosion And Scale Inhibition. – 2019, ppg. 212 – 224.

9. Ostrikov V.V., Vigdorovich V.I., Safonov V.V., Kartoshkin A.P. Development of a technological process and composition of flushing oil for diesel engines // Chemistry And Technology Of Fuels And Oils. – 2018, – ppg. 24-28.

10. Ostrikov V.V., Afanas'ev D.I. Teoreticheskij analiz fiziko-ximicheskix processov, proisxodyashix na poverxnostyax treniya prirabatyvayemyx detalej dvigatelej // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 2 (32). – S. 82 – 87.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, rodionow.u.w@rambler.ru.

Филатов Иван Сергеевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: ridder@mail.ru.

Воронин Николай Владимирович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru.

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: dmitryndv@gmail.com.

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, 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.

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Rodionov Yury – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Philatov Ivan – Candidate of Technical Sciences, associate professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: ridder@mail.ru.

Voronin Nikolay – post graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru.

Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

Ostrikov Valery Vasilievich – Doctor of Technical Sciences, 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.

Lomovsky Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 10.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 14.02.2020

УДК 621.899

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-87-94

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ СОСТАВА ПРОМЫВочНОГО МАСЛА НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА

¹Жерновников Дмитрий Николаевич

¹Забродская Алла Владимировна

¹Вязинкин Виктор Сергеевич

¹Остриков Валерий Васильевич

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

Реферат. В процессе работы двигателей внутреннего сгорания в системе смазки образуются отложения, снижающие эксплуатационные показатели тракторов и уменьшающие срок службы свежезаправленного масла до замены. На основании имеющей место проблемы проведены исследования по моделированию процесса удаления отложений из системы смазки промывочным маслом. Представлены схема устройства для определения эффективности процесса удаления загрязнений из масляных каналов и методика проведения испытаний. Установлено, что в качестве основы промывочного масла может быть использовано очищенное, по технологии ФГБНУ ВНИИТиН, отработанное моторное масло. Определено, что очищенное отработанное моторное масло имеет характеристики, близкие к индустриальным маслам, использующегося при приготовлении промывочных масел. Установлена зависимость изменения загрязнённости поверхности маслопровода и содержания нерастворимого осадка в масле от времени промывки системы смазки очищенным отработанным маслом. Определено снижение загрязнённости