

10. Тушинский, Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов. – М.: Наука, 1986. – 200 с.

REFERENCES

1. Okovity, V. A., & Shevtsov, F. I. (2008) Obtaining of Composite Ceramic Material for Wear-Resistant Coating Applications. *Poroshkovaya Metallurgiya* [Powder Metallurgy], 31, 156–162 (in Russian).
2. Okovity, V. (2003) Plasma Wear-Resistant Coatings with Inclusions of a Solid Lubricant. *Welding International*, 16 (11), 918–920.
3. Okovityi, V. A., Panteleenko, F. I., Shevtsov, A. I., Devoino, O. G., Panteleenko, A. F., & Okovity, V. V. (2009) Modification of Plasma Wear-Resistant Coatings by Impulse Laser. *Vestnik Brestskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Mashinostroenie* [Bulletin of Brest State Technical University. Mechanical Engineering], 4 (58), 49–53 (in Russian).
4. Velikovich, L., & Liberman, M. (1987) *Physics of Shock Waves In gas and Plasma*. Moscow, Nauka (in Russian).
5. Yetrehus, T. (1983). Asymmetries in Evaporation and Condensation Knudsen Layer Problem. *Phys. Fluids*, 26 (4), 939–949.
6. Vakulenko, V. M., & Ivanov, A. P. (1980) *Laser Power Supply*. Moscow, Soviet Radio (in Russian).
7. Kalita, V. I., & Komlev, D. I. (2003) To Problem on Mechanism of Amorphous Structure Formation in Metal Alloys While Making Plasma Spraying. *Metally* [Metals], 6, 30–37 (in Russian).
8. Bergstrom, T., & Yetrehus, T. (1984) Gas Motion in Front of a Completely Absorbing Wall. *Phys. of Fluids*, 27 (3), 583–588.
9. Sulima, A. M., Shuvalov, V. A., & Yagodkin, Yu. D. (1988) *Surface Layer and Operational Properties of Machine Parts*. Moscow, Nauka (in Russian).
10. Tushinsky, L. I., & Plokhov, A. V. (1986) *Investigation of Structure and Physical and Mechanical Properties of Coatings*. Moscow, Nauka (in Russian).

Поступила 21.04.2014

УДК 629.113-592.004.58

БОРТОВОЙ МОНИТОРИНГ СТЕПЕНИ ВЫРАБОТКИ РЕСУРСА МОТОРНОГО МАСЛА КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

Докт. техн. наук КАРПИЕВИЧ Ю. Д.¹⁾, инженеры МАЛЬЦЕВ Н. Г.²⁾, БОНДАРЕНКО И. И.³⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾СП «Технотон»,

³⁾Белорусский государственный аграрный технический университет

E-mail: irinabondarenko1980@mail.ru

Моторное масло способно надежно и длительно выполнять заданные функции только при соответствии его свойств тем термическим, механическим и химическим воздействиям, которым масло подвергается в двигателе. Взаимное соответствие конструкции двигателя, его форсированности и свойств масла – одно из главных условий достижения высокой эксплуатационной надежности. На интенсивность процесса загрязнения масла, происходящего в работающем двигателе, влияют, прежде всего, вид и свойства топлива, качество моторного масла, тип, конструкция, техническое состояние, режим работы и условия эксплуатации двигателя и многие другие факторы. Качество масел ухудшается в результате накопления в них продуктов неполного сгорания топлива, что обусловлено техническим состоянием двигателя. Это приводит к снижению вязкости, ухудшению смазывающей способности, нарушениям режима жидкого трения. В продуктах сгорания имеется большое количество коррозионно-активных окислов.

Срок службы моторных масел до замены определяется не только пробегом автомобиля или наработкой трактора, но и временем, в течение которого совершена эта работа. При коротких суточных и малом годовом пробеге автомобиля ускоряются коррозионные процессы, ухудшаются защитные свойства, ускоряется старение масла. Поэтому в любом случае необходима замена масла не реже одного раза в год.

Разработан новый метод бортового мониторинга степени выработки ресурса моторного масла колесных и гусеничных машин. Использование объема израсходованного топлива двигателем при определении степени выработки ресурса моторного масла позволит оперативно, в любой период эксплуа-

тации колесных и гусеничных машин определять остаточный ресурс моторного масла, а также прогнозировать время его замены.

Ключевые слова: степень выработки ресурса, моторное масло, колесные и гусеничные машины.

Ил. 1. Библиогр.: 10 назв.

ONBOARD MONITORING OF ENGINE OIL RESOURCE WORKING-OUT RATE IN WHEELED AND CATERPILLAR MACHINES

KARPIEVICH Yu. D.¹⁾, MALTSEV N. G.²⁾, BONDARENKO I. I.³⁾

¹⁾Belarusian National Technical University,

²⁾JSC "Technoton",

³⁾Belarusian State Agrarian Technical University

An engine oil is capable reliably and longtime to perform specified functions only in the case when its properties correspond to those thermal, mechanical and chemical impacts to which the oil is subjected in the engine. Compatibility of the engine design, its uprate and oil properties is one of the main conditions for provision of high operational reliability. Type and properties of fuel, quality of an engine oil, engine type, its design, its health, its operational regime and conditions and a number of other factors influence on intensity of oil contamination in the operated engine. Oil quality is deteriorated due to accumulation of incomplete combustion products in it and this process is associated with the engine's health. This leads to reduction of viscosity, deterioration of lubrication ability, troubles in fluid friction mode. Combustion products have rather high amount of aggressive corrosive oxides.

Service-life of engine oil prior to its change is determined not only by automobile mileage or tractor operating time but also by the period of time within which this work has been carried out. Corrosion processes are speeding up, protective processes are worsening, oil ageing is accelerating when vehicles have short daily and small mileages. So it is necessary to change oil at least annually.

A new method for onboard monitoring of engine oil resource working-out rate in wheeled and caterpillar machines has been developed in the paper. Usage of fuel expended volume by engine while determining engine oil resource working-out rate makes it possible timely to assess a residual resource of the engine oil and also predict the date of its change at any operational period of wheeled and caterpillar machines.

Keywords: rate of remaining life, engine oil, wheeled and tracked vehicles.

Fig. 1. Ref.: 10 titles.

В условиях рыночных отношений одной из основных задач, стоящих перед промышленностью Республики Беларусь, является повышение технического уровня, надежности и конкурентоспособности выпускаемой техники. Развитие техники, новые конструкторские решения в машиностроении, повышение мощности, ужесточение экологических норм и стандартов влекут за собой расширение требований к моторным маслам. Необходимость увеличения интервалов между проведением технического обслуживания предъявляет дополнительные требования к эксплуатационным свойствам моторных масел. Ужесточение экологических стандартов приводит к необходимости выпуска энергосберегающих и биоразлагающихся масел.

Основное назначение моторных масел — снижение износа трущихся деталей и уменьшение затрат энергии на преодоление трения. Кроме того, моторные масла выполняют и другие функции: отводят теплоту от нагреваемых

поверхностей, предохраняют их от коррозии, очищают поверхности деталей от продуктов износа и механических примесей, герметизируют некоторые узлы трения, уменьшают шум при работе двигателя. Моторное масло способно надежно и длительно выполнять заданные функции только при соответствии его свойств тем термическим, механическим и химическим воздействиям, которым масло подвергается в двигателе. Взаимное соответствие конструкции двигателя, его форсированности и свойств масла — одно из главных условий достижения высокой эксплуатационной надежности.

При эксплуатации масло подвергается количественным и качественным изменениям. Количественные изменения происходят при испарении легких масляных фракций, сгорании масла (так называемый угар), частичном вытекании через уплотнительные устройства. Качественные изменения обусловлены старением масла и химическими превращениями его компонентов, попаданием в масло пыли, продуктов

изнашивания деталей, воды и несгоревшего топлива. Уменьшение количества и ухудшение качества работающего масла в условиях высокой интенсивности подобных процессов в современных высокофорсированных двигателях может в итоге привести к их отказу.

В картере работающего двигателя образуется сложная смесь исходного масла и продуктов его сгорания, от которых полностью очистить масло фильтрацией не удастся, вследствие чего количество углеродистых частиц в нем повышается. Выделяют две основные группы примесей, загрязняющих масло: органические (попадающие в масло из камеры сгорания продукты неполного сгорания топлива, соединения серы и свинца, продукты термического разложения, окисления и полимеризации масла) и неорганические (частицы пыли и продуктов износа деталей, продукты срабатывания зольных присадок в маслах, оставшиеся в двигателе после его изготовления технологические загрязнения). Свежее масло также содержит загрязняющие примеси, поступающие извне при его изготовлении, транспортировании, хранении и заправке.

На интенсивность процесса загрязнения масла, происходящего в работающем двигателе, влияют, прежде всего, вид и свойства топлива, качество моторного масла, тип, конструкция, техническое состояние, режим работы и условия эксплуатации двигателя и многие другие факторы. Так, при снижении полноты сгорания топлива и величины прорыва газов в картер масло загрязняется, прежде всего, органическими примесями. Образование в масле загрязняющих примесей может приостановиться в результате долива свежего масла, выпадения загрязняющих частиц в осадок, удержания их фильтрами.

Качество масел ухудшается в результате накопления в них продуктов неполного сгорания топлива, что обусловлено техническим состоянием двигателя. Это приводит к снижению вязкости, ухудшению смазывающей способности, нарушениям режима жидкого трения. В продуктах сгорания имеется большое количество коррозионно-активных окислов. Вследствие этого ускоряется образование продуктов окисления, находящихся в масле как в растворенном, так и во взвешенном состоянии. На из-

менение свойств масел существенное влияние оказывают температурный режим и техническое состояние двигателя.

Скорость окисления и загрязнения значительно выше при работе масел в изношенных двигателях, когда увеличен прорыв газов в картер и повышена температура двигателей, а также при работе двигателя с перегрузкой или в неустойчивом режиме. Скорость срабатывания введенных в масло присадок зависит от теплового режима деталей двигателя, его технического состояния, условий эксплуатации, качества используемого топлива. Срабатывание присадок приводит к изменению многих показателей качества масла: снижению щелочного числа, ухудшению моющих свойств, повышению коррозионности и т. д.

Таким образом, при работе двигателя в масле происходят значительные изменения: накапливаются продукты превращения углеводородов масла, загрязнения, попавшие с воздухом и топливом, увеличивается количество агрессивных соединений. Срок службы моторных масел до замены определяется не только пробегом автомобиля или наработкой трактора, но и временем, в течение которого совершена эта работа. При коротких суточных и малом годовом пробеге автомобиля ускоряются коррозионные процессы, ухудшаются защитные свойства, ускоряется старение масла. Поэтому в любом случае необходима замена масла не реже одного раза в год. Для установления сроков службы масла в двигателях применяют так называемые браковочные показатели, при достижении которых масло следует заменить. Браковочными показателями служат изменение вязкости, температуры вспышки, щелочности, содержание загрязняющих примесей, воды и топлива, значение диспергирующих свойств и др. Но определение браковочных показателей требует специального дорогостоящего лабораторного оборудования.

Рассмотрим новый метод бортового мониторинга выработки ресурса моторного масла. Структурная схема системы бортового мониторинга выработки ресурса моторного масла представлена на рис. 1.

Предлагаемый метод бортового мониторинга выработки ресурса моторного масла отличается от традиционного, основанного на мото-

часах работы двигателя [1–10]. Степень выработки ресурса моторного масла определяется по следующей формуле:

$$\Delta = \frac{\sum_{p=1}^n V_p}{V_0} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где V – объем израсходованного топлива за цикл «запуск – работа – остановка двигателя»; $p = 1, 2, \dots, n$, n – количество циклов; V_0 – объем израсходованного топлива, соответствующий предельной выработке ресурса моторного масла.

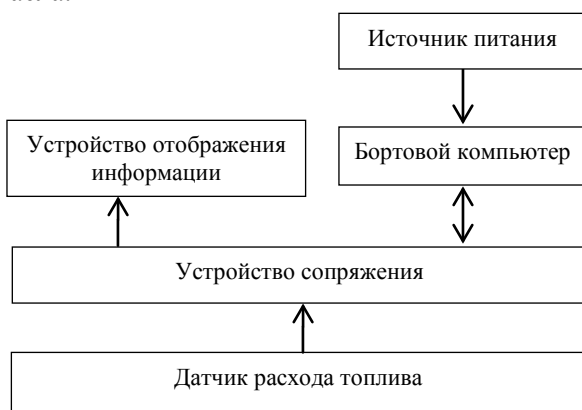


Рис. 1. Структурная схема системы бортового мониторинга выработки ресурса моторного масла

Объем израсходованного топлива, соответствующий предельной выработке ресурса моторного масла, можно рассчитать

$$V_0 = \frac{G_t t}{\rho}, \quad (2)$$

где G_t – часовой расход топлива; t – периодичность замены масла в моточасах работы двигателя, установленная заводом-изготовителем; ρ – плотность топлива.

Часовой расход топлива определяется по формуле

$$G_t = \frac{g_e N_e}{10^3}, \quad (3)$$

где g_e – эффективный удельный расход топлива; N_e – эффективная мощность.

Величины эффективного удельного расхода топлива и эффективной мощности оговариваются в техническом паспорте двигателя. Из (1)

видно, что степень выработки ресурса моторного масла можно определить после каждой остановки двигателя.

ВЫВОД

Использование объема израсходованного топлива двигателем при определении степени выработки ресурса моторного масла позволит оперативно, в любой период эксплуатации колесных и гусеничных машин определять остаточный ресурс моторного масла, а также прогнозировать время его замены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ определения времени работы двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления: пат. ЕА 012556 В1, опубл. 2009.10.30.
2. Карпиевич, Ю. Д. Развитие систем бортового диагностирования автомобилей / Ю. Д. Карпиевич, А. И. Гришкевич. – Минск, 1994. – 17 с.
3. Карпиевич, Ю. Д. Методика проведения эксперимента и результаты экспериментальных исследований / Ю. Д. Карпиевич, А. И. Гришкевич. – Минск, 1994. – 22 с.
4. Опанович, В. А. Диагностирование технического состояния автомобилей / В. А. Опанович, Ю. Д. Карпиевич, Г. П. Гришко // Вестник БНТУ. – 2010. – № 5. – С. 49–53.
5. Опанович, В. А. Роль и место диагностирования машин при их технической эксплуатации / В. А. Опанович, Ю. Д. Карпиевич // Вестник БНТУ. – 2011. – № 2. – С. 51–54.
6. Опанович, В. А. Технология диагностирования машин / В. А. Опанович, Ю. Д. Карпиевич // Наука и техника. – 2012. – № 2. – С. 42–52.
7. Работа трения как интегральный показатель степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич [и др.] // Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 2 / БГАТУ. – Минск, 2013. – С. 125–128.
8. Метод диагностирования степени износа фрикционных дисков гидropоджимных муфт коробок передач колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной ведущим ученым БГАТУ, создателям научной школы по автотракторостроению Д. А. Чудакову и В. А. Скотникову / БГАТУ. – Минск, 2013. – С. 66–70.
9. Комбинированная система охлаждения двигателя внутреннего сгорания: пат. Респ. Беларусь 9871, МПК F01P9/04, F01P5/00, F01P7/14, F01P3/00 / В. Е. Тарасенко, Ю. Д. Карпиевич, Н. С. Лесов; заявитель Бел. гос. агр. техн. ун-т. № u20130605; заявл. 2013.07.17; опубл. 2014.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014.
10. Мальцев, Н. Г. Современные методы контроля расхода топлива и их применение для мониторинга режимов работы автотракторной техники / Н. Г. Мальцев, Ю. Д. Карпиевич // Научно-технический прогресс в сель-

скохозияйственном производстве: материалы Между-
нар. науч.-практ. конф., посвященной ведущим ученым
БГАТУ, создателям научной школы по автотракторостро-
ению Д. А. Чудакову и В. А. Скотникову / БГАТУ. –
Минск, 2013. – С. 35–39.

REFERENCES

1. **Kaplunsky, A. R.** (2009) *Method for Determination of Internal Combustion Engine Service Life and Device for Its Realization*. Patent EA 012556 B1. *Biulleten' Evraziiskogo Patentnogo Vedomstva* [Bulletin of the Eurasian Patent Office], 5 (in Russian).
2. **Karpievich, Yu. D., & Grishkevich, A. I.** (1994) *Development of Automobile Onboard Diagnostic System*. Minsk (in Russian).
3. **Karpievich, Yu. D., & Grishkevich, A. I.** (1994) *Methodology for Experiment Execution and Results of Experimental Investigations*. Minsk (in Russian).
4. **Opanovich, V. A., Karpievich, Yu. D., & Gribko, G. P.** (2010) *Diagnosis of Automobile Technical Conditions*. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the Belarusian National Technical University], 5, 49–53 (in Russian).
5. **Opanovich, V. A., & Karpievich, Yu. D.** (2011) *Role and Position of Automobile Diagnosis During Their Technical Operation*. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the Belarusian National Technical University], 2, 51–54 (in Russian).
6. **Opanovich, V. A., & Karpievich, Yu. D.** (2012) *Technology of Machine Diagnosis*. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], 2, 42–52 (in Russian).
7. **Karpievich, Yu. D., Zhukovsky, Yu. M., Zakharov, A. V., & Maltsev, N. G.** (2013) *Frictional Work as an Integrated Index of Wear Rate of Friction Pads in Clutch Driven Disk of Wheel and Track Vehicles*. *Perspektivnye Tekhnologii i Tekhnicheskie Sredstva v Sel'skokhoziaistvennom Proizvodstve: Materialy Mezhdunarodnoi Nauchno-Prakticheskoi Konferentsii* [Cuttingedge Technologies and Technical Means in Agricultural Production. Proceedings of International Scientific and Practical Conference]. Minsk: BSATU, Part 2, 125–128 (in Russian).
8. **Karpievich, Yu. D., Zhukovsky, Yu. M., Bondarenko, I. I., & Mal'tsev, N. G.** (2013) *Method for Diagnosis of Wear Rate of Friction disks in Gear-Box Hydro-Press Couplings of Wheel And Track Vehicles*. *Nauchno-Tekhnicheskii Progress v Sel'skokhoziaistvennom Proizvodstve: Materialy Mezhdunarodnoi Nauchno-Prakticheskoi Konferentsii, Posviashchennoi Vedushchim Uchenym BSATU, Sozdateliyam Nauchnoi Shkoly po Avtotraktorostroeniiu D. A. Chudakovu, V. A. Skotnikovu* [Scientific and Technological Progress in Agricultural Industry: Proceedings of International Scientific and Practical Conference Devoted to D. A. Tchudakov and V. A. Skotnikov, Leading BSATU Scientists, Founders of Scholar school in Automobile and Tractor construction]. Minsk: BSATU, 66–70 (in Russian).
9. **Tarasenko, V. E., Karpievich, Yu. D., & Lesov, N. S.** (2014) *Combined Cooling System for Internal Combustion Engine*. Patent of the Republic of Belarus No. u20130605. *Ofitsial'nyi Biulleten'. Izobretenia. Poleznye Modeli. Promyshlennye Obraztsy* [Official Bulletin. Invention. Utility Models. Industrial Designs.], 1, 184 (in Russian).
10. **Maltsev, N. G., & Karpievich, Yu. D.** (2013) *Modern Methods for Control of Fuel Consumption and Their Application for Monitoring of Operational Modes of Automobile and Tractor Machines*. *Nauchno-Tekhnicheskii Progress V Sel'skokhoziaistvennom Proizvodstve: Materialy Mezhdunarodnoi Nauchno-Prakticheskoi Konferentsii, Posviashchennoi Vedushchim Uchenym BSATU, Sozdateliyam Nauchnoi Shkoly Po Avtotraktorostroeniiu D. A. Chudakovu, V. A. Skotnikovu* [Scientific and Technological Progress in Agricultural Industry: Proceedings of International Scientific and Practical Conference Devoted to D. A. Tchudakov and V. A. Skotnikov, Leading BSATU Scientists, Founders Of Scholar School In Automobile And Tractor Construction]. Minsk: BSATU, 35–39 (in Russian).

Поступила 07.05.2014

УДК 621.9.011:517.962.1

МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ ТЯЖЕЛОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Докт. физ.-мат. наук, проф. **ВАСИЛЕВИЧ Ю. В.**¹⁾, канд. техн. наук, доц. **ДОВНАР С. С.**¹⁾,
инж. **ШУМСКИЙ И. И.**²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾ОАО «МЗОР», Минск

E-mail: dovnar@bntu.by

Целью работы является обнаружение и анализ резонансных мод крупногабаритного фрезерно-сверлильно-расточного станка. Станок имеет подвижную стойку с вертикальной прорезью, в которой перемещается симметричная каретка с горизонтальным ползуном. Статическая жесткость машины невелика из-за больших размеров, поэтому нужно оценить виброактивность. Совместно выполнены виртуальные и натурные испытания станка. Моделирование произведено с помощью метода конечных элементов (МКЭ). В МКЭ-модели учтена не только жесткость корпусных деталей, но и податливость подшипников, приводов подач и направляющих. Модальный МКЭ-анализ выявил восемь резонансных