

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ НА СОДЕРЖАНИЕ ПРОДУКТОВ ИЗНОСА

Замальдинов Марат Миндехатович¹, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и технологии машиностроения»

Яковлев Сергей Александрович¹, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и технологии машиностроения»

Замальдинова Юлия Маратовна², студентка 1 курса факультета физико-математического и технологического образования

¹ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 8(8422) 55-95-94;

e-mail: zamaldinov.marat@mail.ru

²ФГБОУ ВО Ульяновский ГПУ

432071, г. Ульяновск, площадь Ленина, 4/5; тел.: 8(8422) 44-30-66,

e-mail: zamaldinova17@gmail.com

Ключевые слова: масло, эксплуатационные свойства, присадка, импульс, содержание активных металлов.

Изменение состояния масла обусловлено тремя основными факторами: поступлением в масло продуктов износа; постепенным накоплением в масле продуктов окислительной полимеризации; проникновением вредных примесей из внешней среды. Всё это ведёт к старению масла, потере эксплуатационных свойств и отправке его на утилизацию. Содержание продуктов износа и металлов активных присадок в минеральных моторных и трансмиссионных маслах определяют с помощью бездифракционного анализатора рентгеновского спектрального БАРС-3. Тарировку прибора БАРС-3 осуществляют путем введения в базовое масло ДС-11 компонентов соли циклогексанмасляной кислоты бариевой $C_{20}H_{34}BaO_4$ в строго дозированных количествах в процентном соотношении. В процессе эксплуатации моторного и трансмиссионного масел происходит процесс накопления в них нерастворимых примесей и повышается расход этих масел по различным причинам. В статье представлено универсальное дифференциальное уравнение накопления нерастворимых примесей в минеральных маслах. Подставляя в него различные величины, можно получать соответствующие уравнения, описывающие закономерности накопления различных продуктов в минеральном масле. В процессе исследований пробы моторного и трансмиссионного масел у исследуемого автомобиля КамАЗ-55102 отбирают через равные промежутки пробега и определяют содержание нерастворимых примесей по номерам проб путем центрифугирования. Затем образцы проб высаживают на фильтры, с которых снимают показания импульсов по каналу «железо». Определенному содержанию нерастворимых примесей соответствует конкретное количество импульсов, которое тем выше, чем больше содержится продуктов износа и металлов активных присадок в масле. На основании данных исследования проб масел строятся полиномиальные зависимости импульсов по каналу «железо» от массового содержания нерастворимых примесей в моторном и трансмиссионном масле. Полученная зависимость количества импульсов по каналу «железо» от массового содержания нерастворимых примесей в масле позволяет определять содержание продуктов износа и металлов активных присадок в отработанных минеральных маслах, что дает возможность оценить пригодность масла для его дальнейшего использования.

Введение

В процессе эксплуатации транспортных средств используемые в них минеральные масла теряют свои антиокислительные, антикоррозионные, а также другие важнейшие эксплуатационные свойства. Изменение состояния масла обусловлено тремя основными факторами: поступлением в масло продуктов износа;

постепенным накоплением в масле продуктов окислительной полимеризации; проникновением вредных примесей из внешней среды. Всё это ведёт к старению масла, потере эксплуатационных свойств и отправке его на утилизацию [1- 13].

Объекты и методы исследований

Содержание продуктов износа и металлов

активных присадок в минеральных моторных и трансмиссионных маслах определяют с помощью бездифракционного анализатора рентгеновского спектрального БАРС-3, который представлен на рисунке 1 [14].

Для подготовки пробы исследуемого масла к анализу на определение металлических примесей по каналу *Fe* прибором БАРС-3 необходимо провести высадку проверяемой пробы на фильтрующий элемент. С фильтрующего элемента необходимо предварительно снять количество выдаваемых импульсов (количество импульсов фона). Высадку производят на фильтр «Красная лента» диаметром 30 мм. После этого фильтр с высаженной пробой помещают в сушильный шкаф, где при температуре 115 °С оставляют на 30 минут для высушивания нерастворимых примесей. После этого фильтр с высаженной пробой устанавливают в прибор и снимают импульсы пробы масла по каналу *Fe*.

Количество импульсов нерастворимых примесей по каналу *Fe* рассчитывают по формуле:

$$C_{пр} = C_{пм} - C_{ф} \quad (1)$$

где $C_{пм}$ – количество импульсов пробы масла; $C_{ф}$ – количество импульсов фильтра.

Для определения содержания активных металлов присадки прибор тарируют, используя приготовленные образцы масел с известным содержанием металлов *Va*.

Тарировку прибора БАРС-3 осуществляют путем введения в базовое масло ДС-11 компонентов соли циклогексанмасляной кислоты бариевой $C_{20}H_{34}BaO_4$ в строго дозированных количествах в процентном соотношении. После этого по разработанной методике снимают импульсы по каналам *Va*, причем выполняют не менее двенадцати замеров по каждой пробе.

Снятие импульсов по каналу *Va* для определения содержания активных присадок в масле проводят аналогично снятию импульсов нерастворимых примесей:

$$C_{пр} = C_{м} - C_{ф} \quad (2)$$

где $C_{м}$ – количество импульсов определяемого металла (*Va*); $C_{ф}$ – количество импульсов фильтра.

В процессе эксплуатации моторного и трансмиссионного масел происходит процесс накопления в них нерастворимых примесей и повышается расход этих масел по различным причинам. Представляет интерес установление закономерностей процесса накопления примесей и определение интервала доливок масла. Для этого воспользуемся рисунком 2.



Рис. 1 – Прибор БАРС-3

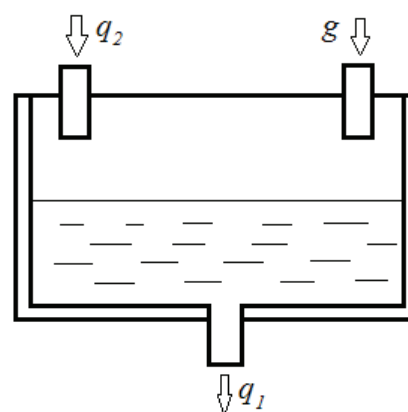


Рис. 2 – К выводу универсального дифференциального уравнения накопления нерастворимых примесей

Пусть в начальный момент в системе смазки находится Q кубических единиц масла, которое расходуется непрерывно и равномерно в количестве q_1 единиц в час. В систему также непрерывно поступает q_2 единиц в час масла и одновременно вносится g единиц в час нерастворимых примесей различного происхождения. Допустим, что примеси равномерно распределяются в жидкости, и с вытекающей ее частью они удаляются в количестве, пропорциональном ее расходу. В результате через t часов в масле будет x единиц примеси.

Пусть начальное количество примесей в масле - x_0 единиц, а начальная их концентрация - ε_0 . Найдем концентрацию примесей ε , мг/мл, в масле после того, как система проработала t часов:

$$\varepsilon = \frac{x}{Q - q \cdot t}, \quad (3)$$

где x – количество нерастворимых примесей в масле после определенного времени работы, мг; Q – емкость масляной системы, мл;

Таблица 1
Содержание нерастворимых примесей в пробах масел в зависимости от пробега автомобиля КамАЗ-55102

№ пробы	Содержание нерастворимых примесей, мг		Пробег, км
	моторного масла	трансмиссионного масла	
1	0,001	0,003	0
2	0,002	0,005	3300
3	0,006	0,015	6600
4	0,014	0,035	9900
5	0,028	0,070	13200
6	0,039	0,098	16500
7	0,054	0,136	19800
8	0,072	0,181	23100
9	0,081	0,204	26400
10	0,089	0,209	29700

q – расход масла в системе, мл/с; t – время работы масла в системе, с.

Расход масла в системе, мл/с,

$$q = q_1 - q_2, \quad (2)$$

где q_1 – непрерывный и равномерный расход масла из системы, мл/с; q_2 – непрерывное и равномерное поступление масла в систему, мл/с.

Скорость накопления примесей

$$\frac{dx}{dt} = g - \varepsilon \cdot q_1, \quad (3)$$

где g – количество примесей накапливаемых в масляной системе, мг/с.

Подставив значение ε в формулу (3), получим:

$$\frac{dx}{dt} = g - \frac{x \cdot q_1}{Q - q \cdot t} \quad (4)$$

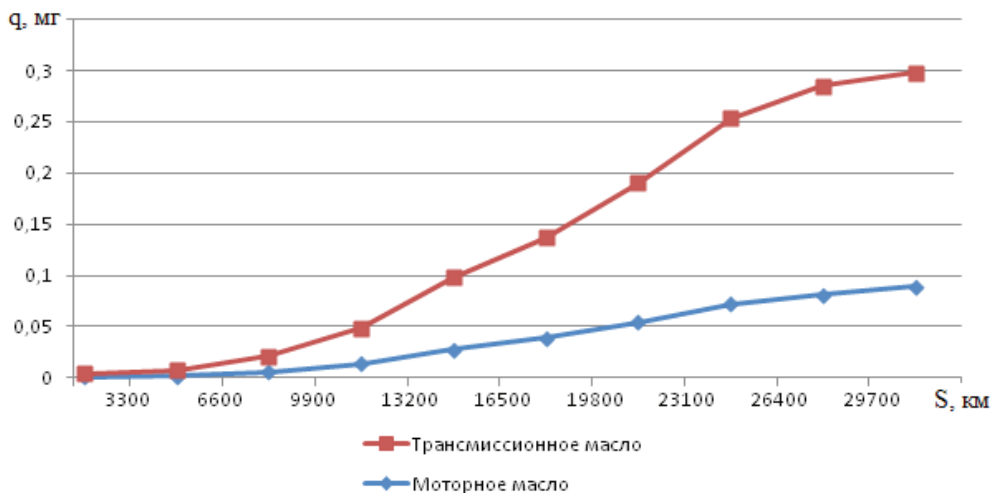


Рис. 3 – Изменение содержания нерастворимых примесей q от пробега S автомобиля КамАЗ-55102

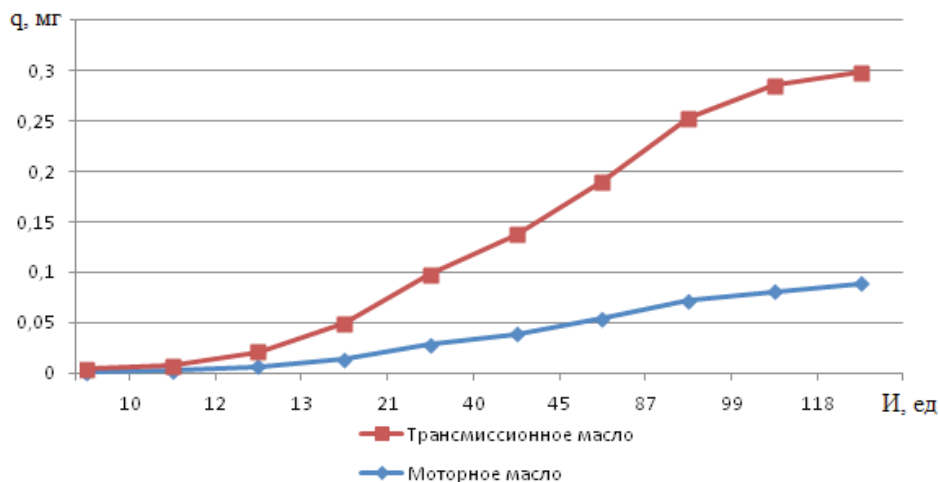


Рис. 4 – Зависимости массового содержания нерастворимых примесей q от количества импульсов по каналу Fe И

Таблица 2

Количество импульсов по каналу Fe

№ фильтра	Количество импульсов		
	фильтра	осадка на фильтре	осадка по каналу Fe
1	350	360	10
2	357	369	12
3	332	345	13
4	338	359	21
5	332	372	40
6	326	371	45
7	328	415	87
8	341	440	99
9	334	452	118
10	354	479	125

Из уравнения (1) имеем:

$$x = \varepsilon \cdot (Q - q \cdot t) \quad (5)$$

Продифференцировав уравнение (5) по t , получим:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{d\varepsilon}{dt} \cdot (Q - q \cdot t) - \varepsilon q \quad (6)$$

Подставив этот результат в уравнение (4) и перегруппировав члены, придем к следующему выражению:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + \varepsilon \cdot \frac{q_2}{Q - q \cdot t} = \frac{g}{Q - q \cdot t} \quad (7)$$

Данное уравнение представляет собой линейное дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами. Решив его, в итоге получим:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \left(\frac{Q - q \cdot t}{Q} \right)^{\frac{q_2}{q}} + \frac{g}{q_2} \left[1 - \left(\frac{Q - q \cdot t}{Q} \right) \right]^{\frac{q_2}{q}} \quad (8)$$

Это выражение можно назвать универсальным уравнением накопления примесей в масле. Подставляя в него различные величины, можно получать соответствующие уравнения, описывающие закономерности накопления различных продуктов в минеральном масле.

Результаты исследований

В процессе исследований пробы массой 100 мл моторного и трансмиссионного масел у автомобиля КамАЗ-55102 отбирали через равные промежутки пробега (3300 км) и определяли содержание в них нерастворимых примесей по номерам проб путем центрифугирования. Затем образцы проб высаживали на фильтры, с которых снимали показания импульсов (табл. 1).

По результатам исследования проб минеральных масел по количеству нерастворимых примесей получили зависимость содержания примесей от пробега автомобиля КамАЗ-55102 (рис. 3).

Из графика следует, что в зависимости от пробега автомобиля содержание нерастворимых примесей увеличивается в моторном масле от 0,001 мг до 0,089 мг, а в трансмиссионном масле - от 0,003 мг до 0,209 мг соответственно.

После этого проводили исследования проб масел по определению количества импульсов по каналу Fe на приборе БАРС-3, а результаты сводили в таблицу 2.

На основании данных исследования проб масел строили полиномиальные зависимости

импульсов по каналу «железо» от массового содержания нерастворимых примесей в моторном и трансмиссионном маслах (рис. 4).

Представленный график позволяет точно определить содержание продуктов износа в отработанных минеральных маслах в зависимости от количества импульсов по каналу Fe.

Выводы

1. Установлено, что определенному содержанию нерастворимых примесей соответствует конкретное количество импульсов, которое тем выше, чем больше содержится продуктов износа и металлов активных присадок в масле.

2. Полученная зависимость количества импульсов по каналу Fe от массового содержания нерастворимых примесей в масле позволяет определять содержание продуктов износа и металлов активных присадок в отработанных минеральных маслах, что дает возможность оценить пригодность масла для его дальнейшего использования.

Библиографический список

1. Замальдинов, М.М. Результаты исследований противоизносных свойств частично восстановленных минеральных масел / М.М. Замальдинов, С.А. Яковлев, А.К. Шленкин // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы IX Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Ульяновского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина. - Ульяновск: Ульяновский ГАУ, 2018. - С. 154-158.

2. Анализ информативности показателей состояния работавших дизельных масел / М.В. Боренко [и др.]. // Химия и технология топлив и

масел. – 1994. - № 4. – С. 34-41.

3. Бутов, Н.П. Научные основы проектирования малоотходной технологии переработки и использования отработанных минеральных масел / Н.П. Бутов. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2000. – 410 с.

4. Заславский, Ю.С. Трибология смазочных материалов / Ю.С. Заславский. – М.: Химия, 1991. – 215 с.

5. Keey, R.B. *Drying of loose and Pastis-late Material* / R.B. Keey. – New York: Hemisphere, 1992. – 540 p.

6. Комбалов, В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник / под ред. К.В. Фролова, Е.А. Марченко. - М.: Машиностроение, 2008. - 384 с.

7. Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. - М.: Машиностроение, 1989. - 327 с.

8. Улучшение эксплуатационных характеристик дизеля / П.Н. Аюгин, Н.П. Аюгин, Д.Е. Молочников, Р.К. Сафаров // *Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы VI Международной научно-практической конференции.* – Пенза: ПГСХА. 2015. - С. 157-159.

9. Молочников, Д.Е. Результаты влияния центробежного, гравитационного и трибоэлектрического эффектов на степень очистки топлива от механических примесей и воды / Д.Е. Молочников, Ю.С. Тарасов // *Молодежь и наука*

XXI века. Материалы III-й Международной научно-практической конференции. – Пенза: ПГСХА. 2010. - С. 78-80.

10. Молочников, Денис Евгеньевич. *Дочистка моторного топлива в условиях сельскохозяйственных предприятий: автореф. дис. ... канд. технических наук: 05.20.03/ Д.Е. Молочников.* – Пенза: ПГСХА, 2007. – 17 с.

11. Молочников, Д.Е. *Динамическая очистка топлива и устройство для ее реализации / Д.Е. Молочников // Механизация и электрификация сельского хозяйства.* - 2006. - № 10. - С. 39-40.

12. Татаров, Л.Г. *Результаты исследований устройства для очистки дизельного топлива / Л.Г. Татаров, Д.Е. Молочников // Механизация и электрификация сельского хозяйства.* - 2007. - № 2. - С. 28.

13. Кочетков, Е.Г. Влияние магнитного поля на скорость осаждения частиц в фильтре / Е.Г. Кочетков, Ю.М. Исаев, С.Н. Илькин, Ю.А. Лапшин, Д.Е. Молочников // *Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии. Материалы VII Международной научно-практической конференции.* – Пенза: ПГСХА, 2005. - С. 113-116.

14. Замальдинов, М.М. *Многоступенчатый способ очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел: монография / М.М. Замальдинов.* - Ульяновск: УГСХА им. П.А.Столыпина, 2012. – 207 с.

RESULTS OF STUDY OF MINERAL OILS ON THE CONTENT OF WEAR PRODUCTS

Zamaldinov M.M.1, Yakovlev S.A.1, Zamaldinova Yu.M.2

1 FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University

432017, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1; tel.: 8 (8422) 55-95-94;

e-mail: zamaldinov.marat@mail.ru

2 FSBEI HE Ulyanovsk SPU

432071, Ulyanovsk, Lenin Square, 4/5; tel.: 8 (8422) 44-30-66,

e-mail: zamaldinova17@gmail.com

Keywords: oil, service characteristics, additive, impulse, content of active metals.

The change of oil state preconditioned by three main factors: the flow of wear products into the oil; gradual accumulation of oxidative polymerization products in oil; penetration of harmful impurities from the external environment. It all leads to oil aging, loss of performance properties and sending it for recycling. The content of wear products and metals of active additives in mineral motor and transmission oils is determined with a diffraction-free analyzer of X-ray spectral BARS-3. Calibration of the device BARS-3 is carried out by introducing into the base oil of DS-11 the components of salt of cyclohexane-butyric acid of barium C₂₀H₃₄BaO₄ in strictly determined percentage quantities. During the operation of engine and transmission oils, there is a process of accumulation of insoluble impurities in them and the consumption of these oils increases for various reasons. The article presents a universal differential equation for the accumulation of insoluble impurities in mineral oils. Substituting various quantities, one can obtain the corresponding equations describing the patterns of accumulation of various products in mineral oil. In the process of research, samples of engine and transmission oils from the KamAZ-55102 vehicle under study are taken at regular intervals of mileage and the content of insoluble impurities is determined by sample numbers by centrifugation. Then the samples are put on the filters, from which they take the readings of the pulses through the "iron" channel. A specific amount of impulses corresponds to a certain content of insoluble impurities, the more products of wear and metals of active additives there are in the oil, the higher the impulse amount. Based on the data from the study of oil samples, a polynomial dependence of the impulses through the "iron" channel on the mass content of insoluble impurities in the engine and transmission oils is constructed. The resulting dependence of the number of impulses through the "iron" channel on the mass content of insoluble impurities in the oil allows to determine the content of wear products and active additive metals in waste mineral oils, which makes it possible to evaluate the suitability of the oil for its further use.

Bibliography

1. Zamaldinov, M.M. *The results of studies of the anti-wear properties of partially restored mineral oils / M.M. Zamaldinov, S.A. Yakovlev, A.K. Shlenkin // Agrarian science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions. Materials of the IX International Scientific and*

Practical Conference dedicated to the 75th anniversary of Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. - Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University, 2018. - P. 154-158.

2. Analysis of information value of state parameters of operating diesel oils / M.V. Borenko [et al.]. // Chemistry and technology of fuels and oils. - 1994. - № 4. - P. 34-41.

3. Butov, N.P. Scientific basis for the design of low-waste processing technology and the use of waste mineral oils / N.P. Butov. - Zernograd: All-Russian Research Design Technological Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, 2000. - 410 p.

4. Zaslavsky, Yu.S. Tribology of lubricants / Yu.S. Zaslavsky. - M.: Chemistry, 1991. - 215 p.

5. Keey, R.B. Drying of loose and Pastislake Material / R.B. Keey. - New York: Hemisphere, 1992. - 540 p.

6. Kombatov, V.S. Methods and testing means of friction and wear of structural and lubricant materials: a reference book / ed. by K.V. Frolov, E.A. Marchenko. - M.: Mashinostroenie, 2008. - 384 p.

7. Garkunov, D.N. Tribotechnics / D.N. Garkunov. - M.: Mashinostroenie, 1989. - 327 p.

8. Improvement of diesel engine performance / P.N. Ayugin, N.P. Ayugin, D.E. Molochnikov, R.K. Safarov // Agrarian science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. - Penza: PSAA. 2015. - P. 157-159.

9. Molochnikov, D.E. Results of the influence of centrifugal, gravitational and triboelectric effects on the degree of purification of fuels from mechanical impurities and water / D.E. Molochnikov, Yu.S. Tarasov // Youth and Science of the XXI century. Proceedings of the III International Scientific Practical Conference. - Penza: PSAA. 2010. - P. 78-80.

10. Molochnikov, Denis Evgenievich. Additional purification of motor fuel in the conditions of agricultural enterprises: author's abstract of dissertation of Candidate of Technical Sciences: 05.20.03 / D.E. Milkmen - Penza: PSAA, 2007. - 17 p.

11. Molokhnikov, D.E. Dynamic fuel cleaning and device for its implementation / D.E. Molokhnikov // Mechanization and electrification of agriculture. - 2006. - № 10. - P. 39-40.

12. Tatarov, L.G. The results of research of a device for cleaning diesel fuel / L.G. Tatarov, D.E. Molokhnikov // Mechanization and electrification of agriculture. - 2007. - № 2. - P. 28.

13. Kochetkov, E.G. The influence of the magnetic field on the settling rate of particles in the filter / E.G. Kochetkov, Yu.M. Isaev, S.N. Ilkin, Yu.A. Lapshin, D.E. Molochnikov // Cities of Russia: problems of construction, engineering, landscaping and ecology. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference. - Penza: PSAA, 2005. - P. 113-116.

14. Zamaldinov, M.M. Multistage method of purification and partial restoration of operational properties of used motor mineral oils: monograph / M.M. Zamaldinov. - Ulyanovsk: USAA named after P.A. Stolypin, 2012. - 207 p.