

УДК 631.01

Канд. техн. наук **А.А. ГЛУЩЕНКО**

(УГСХА, oilidel@yandex.ru)

Канд. техн. наук **Р.А. ЗЕЙНЕТДИНОВ**

(СПбГАУ, zra61@mail.ru)

Адъюнкт **И.С. ВАЙЧИК**

(ВМПИ ВУНЦ ВМФ "ВМА" dvizenie59@yandex.ru)

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ПРОДУКТОВ ИЗНОСА В КАРТЕРНОМ МАСЛЕ

Масло, продукты износа, техническое состояние, спектральный анализ

Основным назначением диагностирования является определение остаточного ресурса деталей, узлов, агрегатов и машины в целом. В процессе эксплуатации двигателей происходит изменение значений его параметров от нормативных (соответствующих нормативно-технической документации) до предельных, эксплуатация при которых приведет к возникновению отказа. Изменение параметров происходит под влиянием значительного количества факторов: режимов эксплуатации; природно-климатических условий; режимов смазки; качества используемого топлива и т.д. В любом случае достижение предельных значений показателей может быть представлена как вероятность события перехода нормативного значения показателя в предельный за определенный период наработки или пробега [1]:

$$F(Y) = P\{Y_i < Y_n\} \cong \frac{m(Y)}{n}, \quad (1)$$

где $P\{Y_i < Y_n\}$ – фактическое значение параметра двигателя Y_i в момент проверки меньше предельного значения Y_n ; $m(Y)$ – изменение значения контролируемого параметра Y при установленной наработке или пробеге; n – количество контролируемых (проверяемых) параметров.

Если вероятность изменения значения показателя за определенную наработку или пробег выразить как

$$F(Y) = \frac{m(Y)}{n}, \quad (2)$$

то дифференцируя её при условии, что $n = \text{const}$, получим плотность вероятности достижения предельного значения

$$f(Y) = \frac{1}{n} \frac{dY}{d\theta}, \quad (3)$$

где $dY/d\theta$ – скорость приращения изменения параметра в момент времени наработки или пробега.

Представив скорость изменения параметра как

$$\frac{dY}{d\theta} = \phi, \quad (4)$$

то среднюю величину наработки (t_i) или пробега (S_i) до наступления предельного состояния можно выразить как

$$S_i = \frac{Y_n - Y_n}{\varphi} \text{ или } t_i = \frac{Y_n - Y_n}{\varphi}. \quad (5)$$

Однако определение параметров определенной детали или узла на практике может быть проведено прямым методом диагностирования. Данный метод требует частичной или полной разборки узла, увеличивающей интенсивность изнашивания при последующей эксплуатации. Поэтому в практической деятельности желательно использовать методы определения количественных значений диагностических показателей сопутствующих процессов, например, содержание продуктов износа в моторном масле. При длительной работе масла в двигателе, постоянных интенсивности очистки и расходе – скорость изнашивания деталей двигателя характеризуется только концентрацией продуктов износа в масле. На этом выводе основано применение спектрального метода определения технического состояния двигателя. По изменению концентрации примесей в масле можно точно указать, какие именно детали или узлы подвергаются износу.

Все детали двигателя можно разбить на шесть групп [2]. К *первой группе* относятся поршни, характерным элементом для которых является алюминий (84,3%). *Вторую группу* составляют втулки верхней головки шатуна и коромысел с характерным элементом цинком. Однако цинк входит в состав присадки к маслу, поэтому для оценки износа деталей цинк использовать нельзя. Другим характерным элементом для второй группы деталей служит медь (89,5%). Олово входит в состав втулок (4,0%) и вкладышей (6,0%) и, кроме того, оловом покрывают поршни (толщина слоя 0,005 мм). В связи с этим по содержанию олова в масле, определяемому в процессе обкатки двигателя, можно судить только о суммарном износе трех групп деталей. После обкатки, когда оловянное покрытие с поршней в основном будет снято, олово можно будет использовать в качестве дополнительного характерного элемента для оценки износа втулок и вкладышей.

Среди исследуемых деталей только две имеют в своем составе характерные элементы, которые не входят в состав других деталей, – поршень (характерный элемент – алюминий) и вкладыш (характерный элемент – свинец). Во всех остальных случаях судить об износе деталей приходится по элементам, входящим в несколько групп деталей.

К *третьей группе* относятся вкладыши коренных и шатунных шеек коленчатого вала и втулки распределительного вала, характерными элементами для которых являются сурьма (6,0%) и свинец (87,9%). Свинец может быть использован в качестве характерного элемента только в том случае, если двигатель работает на неэтилированном бензине. В противном случае в масло попадает очень много свинца из камеры сгорания вместе с несгоревшим топливом.

В *четвертую группу* входят поршневые кольца, впускные и выпускные клапаны. Характерным элементом для этой группы деталей служит хром. Во впускном клапане содержится 9,7, а в выпускном – 20,0% хрома. Кольца содержат 0,3% хрома. Поэтому повышение содержания в масле хрома происходит в основном вследствие износа колец,

Молибден, содержащийся в кольцах и во впускных клапанах, не может быть использован для регистрации износа деталей, так как, во – первых, его концентрация мала (соответственно 0,3 и 0,8 %), во – вторых, он содержится также в наплавленном слое толкателей (0,5%).

К *пятой группе* относятся гильзы цилиндров с характерным элементом никелем (16,7%). Никель содержится и в других деталях (0,2-1,5).

К *шестой группе* относятся большие гильзы цилиндров, коленчатый и распределительный валы, нехромированные поршневые кольца, оси коромысел, толкатели, направляющие толкателей и шестерни коленчатого и распределительного валов. Перечисленные детали изготовлены из малолегированных сталей и чугунов, близких по химическому составу, если не считать содержания в них углерода и кремния. Углерод не может служить характерным элементом, так как является составной частью масла. Кремний

попадает в масло в большом количестве вместе с пылью. Остальные элементы содержатся в небольших и примерно одинаковых концентрациях.

Таким образом, зная нормативное и предельное содержание тех или иных элементов в моторном масле, можно не только определить деталь с наибольшим износом, но и определить остаточный ресурс ее работы. Для реализации метода достаточно провести отбор масел из картера двигателя с определенной периодичностью, например 50 – 60 моточасов работы.

С целью определения остаточного ресурса двигателя проводились исследования по изменению концентрации основных металлов на работающих двигателях тракторов «Джон Дир», взятых из рядовой эксплуатации. Спектральный анализ проб проводился с использованием прибора БАРС-3 (бездифракционный анализатор рентгеновский спектральный). Для подтверждения достоверности выкладок исследования проводились в два этапа. На первом этапе отбирались пробы через 50 – 60 м-ч до наработки 100 – 120 м-ч. По полученным данным проводился расчет остаточного ресурса, при последующих отборах проб проводилось сравнение расчетных и эксплуатационных данных (таблица).

Таблица. Результаты расчетных и экспериментальных данных

Наименование детали	Скорость прироста элемента в пробах масла, $\text{мг} \cdot 10^{-4}/\text{м-ч}$.	Средний расчетный ресурс работы по совокупности элементов, м-ч	Фактический ресурс работы, м-ч
Компрессионные кольца	Хром 0,18	555500	549292
Поршни	Алюминий 2,01 Никель 2,82	325800	312618
Гильза и кольца	Железо 2,82 Хром 6,23	345832	340029
Втулки верхней головки шатуна	Цинк 14,08	142038	148908
Вкладыши коленчатого вала	Алюминий 0,18 Медь 0,26	935746	816412
Коленчатый вал, поршневые пальцы	Железо 3,02	496457	466203
Втулки распределительного вала	Железо 4,08 Медь 0,28	897934	888308
Распределительный вал, механизм привода клапанов, шестерен распределения	Железо 3,22	465621	412916
Втулки маслонасоса	Медь 0,33 Железо 1,62	1068732	996866
Шестерен и валиков маслонасоса	Железо 4,55	329516	358012

Полученные данные изменения концентрации металлов в масле позволяют сделать следующие выводы:

Содержание Си увеличилось незначительно, от 0,005 мг до 0,009 мг. Содержание Pb увеличилось с 0,003 мг до 0,013 мг, что говорит о незначительном износе коренных и шатунных шеек коленчатого вала. Допустимым остался износ втулок верхней головки шатуна и коромысел, поскольку изменение содержания характерного для них Zn составило всего 0,7 мг.

Содержание Mn, входящего во все стальные и чугунные детали двигателя, не превысило предельного значения 0,4 мг и составило 0,005 мг в чистом масле и 0,013 мг при наработке 497 м-ч, что говорит о допустимом износе стальных и чугунных деталей. Содержание Cr в масле увеличилось с 0,001 мг до 0,31 мг и достигло предельно допустимого значения 0,3 мг. Повышение концентрации Cr говорит о прогрессирующем износе поршневых колец двигателя. В период работы произошло увеличение содержания Ni с 0,004 до 0,14 мг. Поскольку Ni является характерным металлом алюминиевых сплавов, из которых изготавливают поршни, можно сделать заключение об их повышенном износе. Содержание Fe в испытуемых образцах увеличилось с 0,07 мг до 0,96 мг и в два раза превысило предельно допустимую концентрацию – 0,42 мг на объем масла в двигателе. Также увеличилось и содержание Al, составившее 0,02 мг в чистом масле и 0,1 мг в пробе масла с наработкой 497 моточас.

Таким образом, на основании проведенного исследования по изменению концентрации металлов в работающем масле можно сделать следующее заключение. Износ основных деталей двигателя трактора «Джон Дир» при наработке в 497 моточас остается в допустимых пределах эксплуатационных значений. Выявлен повышенный износ цилиндро-поршневой группы (повышенное содержание Fe, Cr, Al и Ni, являющихся характерными металлами данной группы). Причиной повышенного износа может являться неисправность системы очистки воздуха или системы питания двигателя (фильтрующих элементов), в результате чего в камеру сгорания с воздухом или топливом поступают загрязняющие вещества, приводящие к повышенному износу ЦПГ.

На основании проведенных расчетов и фактических результатов исследований установлено, что отклонение значений ресурса составляет не более 3,1 %, что говорит о высокой сходимости.

На основании этого можно сделать заключение о возможности использования данного метода для проведения безразборной диагностики двигателей внутреннего сгорания в эксплуатационных условиях. Данный метод позволяет не только определить остаточных ресурс работы двигателя, но и с высокой степенью точности выявить неисправности основных узлов и систем двигателя, а также установить причину выхода их из строя.

Л и т е р а т у р а

1. Григорьев М.А., Долепский В.А. Обеспечение надежности двигателей. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 324 с.
2. Балтенс Р., Сафронов А.С. и др. Моторные масла. – М.–СПб.: Альфа-Лаб, 2000. – 272 с.