

В. И. Верещагин, Б. И. Ковальский
Сибирский федеральный университет

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЯ ТЕРМООКСИЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Предложена методика определения критерия термоокислительной стабильности отработанных моторных масел, приведены результаты испытания частично синтетических моторных масел класса вязкости 10W-40

Ресурс работающего моторного масла зависит от конструкции двигателя, степени его форсирования, технического состояния цилиндропоршневой группы, режимов работы двигателя, состояния системы смазки и охлаждения, а так же от качества самого масла. В процессе эксплуатации двигателя моторные масла загрязняются продуктами окисления, износа, а также неполного сгорания топлива. Эти факторы оказывают существенное влияние на ресурс самого масла.

В настоящее время ресурс моторного масла устанавливается заводами изготовителями на основе моторных и полигонных испытаний, и регламентируется в километрах пробега или моточасах. Такая система не совершенна, так как не учитывает выше указанные факторы. Например, на ресурс работы моторного масла оказывает влияние система доливов (вследствии угаров) и герметичности масляной системы. При частых доливах масло частично восстанавливает свои свойства, а значит, ресурс его работы увеличивается, однако существующая система планово-предупредительных ремонтов (ППР) этого обстоятельства не учитывает, а моторные масла не вырабатывают назначенный ресурс. В рамках больших механизированных систем, например, бронетанкового соединения или объединения, это может обернуться существенными материально-техническими и финансовыми потерями.

Отработанные моторные масла испытывались при температуре 180°C и частоте вращения в механической мешалке 300 об/мин. Масса испытуемой пробы составляла 100 г, время испытания 20 ч, причём промежуточные пробы для анализа отбирались через 3,8,14 и 20 часов. Оценка термоокислительной стабильности проводилась по вязкости, изменению оптических свойств и летучести.

Точки на ординате соответствуют исходному значению коэффициента поглощения светового потока отработанного масла, слитому при техобслуживании двигателя на

пункте технического обслуживания. Как видно из рисунка 1, начальные оптические свойства отработанных масел колеблются в диапазоне от 0,17 ед. до 0,32 ед. Данный диапазон можно уменьшить при применении фотометрического метода на пункте технического обслуживания. Однако при термическом воздействии на отработанные масла в течение 3 часов диапазон оптических свойств изменяется от 0,3 ед. до 0,57 ед., причём для всех исследованных масел это изменение происходит скачкообразно. Авторы объясняют это внутренней энергией смазочного материала, которая зависит от отработанного ресурса, условий и режимов эксплуатации двигателя. Действительно, амплитуда скачка в изменении коэффициента $K_{\text{п}}$ зависит от сопротивляемости исследуемого масла окислению, которая определяется концентрацией антиокислительных присадок.

Результаты испытания показывают, что процесс старения моторных масел в двигателях внутреннего сгорания носит индивидуальный характер и определяется конструктивными особенностями двигателя, производительностью системы смазки и охлаждения, условиями и режимами эксплуатации, а также техническими состояниями топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы. Поэтому моторное масло является не только элементом сложной механической системы, но и индикатором её технического состояния и режима эксплуатации.

При статистической обработке результатов измерения коэффициента поглощения светового потока можно определить допустимый диапазон его изменения с целью обоснования сроков смены масел по степени их загрязнения.

По состоянию моторного масла можно судить о производительности системы смазки (масляного фильтра). Для этого моторные масла центрифугировались (частота вращения ротора 8000 об/мин.) после чего фотометрировались. Разность между коэффициентами поглощения светового потока до и после центрифугирования характеризует состояние фильтрующих элементов системы смазки. Так, если до центрифугирования значения коэффициента поглощения светового потока находились в диапазоне от 0,17 ед. до 0,59 ед., то после центрифугирования от 0,08 ед. до 0,27 ед. Кроме того, если разность между коэффициентами поглощения светового потока до и после центрифугирования незначительна, это свидетельствует о наличии в масле моющих присадок и хороших его диспергирующих свойствах. Такое состояние моторных масел не способствует загрязнению двигателя.

Изменения вязкости отработанных масел при их окислении оценивалось относительной вязкостью A_p

$$A_p = \frac{\zeta_o}{\zeta_{исх}} \quad (3.1)$$

где ζ_o и $\zeta_{исх}$ - соответственно вязкость окисленного отработанного масла и вязкость

исходного отработанного масла.

После трех часов испытания относительная вязкость изменяется от 1,0 до 1,3 ед. Скачкообразное изменение вязкости объясняется внутренней энергией отработанного масла и его сопротивлением окислению. Чем меньший ресурс отработало масло в двигателе, тем меньше увеличивается его вязкость.

Влияние продуктов окисления на относительную вязкость исследовалось в зависимости от её коэффициента поглощения светового потока. Четкой зависимости между этими показателями не установлено, в виду влияния на вязкость и оптические свойства продуктов неполного сгорания топлива и износа модифицированных слоёв на поверхностях трения. Однако после 3-х часов испытания вязкость одинакова у масел 1-8, что указывает на однотипный характер изменения вязкости в результате эксплуатации двигателей. Очевидные различия наблюдаются для масла 2.

Летучесть отработанных масел при испытании на термоокислительную стабильность косвенно характеризует износ цилиндропоршневой группы. Зависимости этого показателя от времени испытания, где наблюдается общая тенденция увеличения этого показателя от времени испытания. После трёх часов испытания летучесть для исследуемых отработанных масел находится в диапазоне от 2,5 до 5 г.

Поскольку вязкость исследуемых масел относится к одному классу (10W- 40), то на летучесть оказывают влияние износ цилиндропоршневой группы, и чем он больше, тем больше значение летучести.

В работе в качестве критерия летучести предложен коэффициент летучести K_0 , определяемый по формуле

$$K_0 = t/M \quad (3.2)$$

где t и M - соответственно массы и испарившегося масла и оставшейся пробы, г.

Данный критерий используется как составляющий элемент энергии превращения при испытании отработанных масел на термоокислительную стабильность.

Согласно принципу самоорганизации дисперсных систем, каковым является смазочный материал, подводимая тепловая энергия не может бесконечно им поглощаться, поэтому часть её преобразуется в другие виды энергии, в частности в продукты окисления и в испарившуюся часть. Данная преобразованная энергия называется энергией превращения и определяется из выражения.

$$E_{,,} = K_{II} + K_0 \quad (3.3)$$

где $E_{,,}$ - коэффициент энергии превращения; K_{II} - коэффициент поглощения светового потока; K_0 - коэффициент летучести.

Коэффициент $E_{,,}$ - является безразмерным и характеризуется тепловой энергией, ушедшей на образование продуктов окисления и испарения.

Зависимости коэффициента энергии, превращения от времени испытания имеют аналитическое выражение второго порядка вида

$$E_n = at^2 + Vt + c$$

где a и v - коэффициенты, характеризующие интенсивность окислительного процесса;

c - коэффициент, характеризующий начальное энергетическое состояние отработанного масла

Связь между коэффициентами энергии превращения и коэффициентом поглощения светового потока характеризует количество тепловой энергии, необходимой для образования определённой концентрации продуктов окисления. Данная зависимость имеет линейный характер вида

$$E_{,,} = aK_{,,} + b$$

где a - коэффициент, характеризующий угол наклона зависимости $E_n = f(K_n)$ или скорость изменения энергии превращения в зависимости от значений коэффициента поглощения светового потока; b - коэффициент, характеризующий начальные оптические свойства отработанных масел.

Разработанный критерий термоокислительной стабильности отработанных моторных масел позволяет применять в условиях эксплуатации автотранспорта новый эксплуатационный показатель, характеризующий количество тепловой энергии необходимой для образования определенной концентрации продуктов окисления. Для применения разработанной методики испытания работающих моторных масел на эксплуатационных предприятиях необходимо их оснастить прибором для определения термоокислительной стабильности, вискозиметром, фотометром и центрифугой. Данные приборы просты, в эксплуатации не требуют высококвалифицированных специалистов, однако внедрение их в эксплуатацию позволит повысить эффективность использования смазочных материалов и снизить эксплуатационные затраты.