

ПРОЦЕСС ОКИСЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ С УЧЕТОМ ДОЛИВОВ

Представлены результаты исследования и предложен критерий оценки влияния доливов масла на окислительные процессы и ресурс моторных масел различных классов вязкости, базовых основ и групп по уровню эксплуатационных свойств. Представлено обоснование критерия оценки влияния доливов на процессы окисления.

Ключевые слова: смазочное масло, доливы, термоокислительный процесс, коэффициент термоокислительной стабильности, ресурс, коэффициенты поглощения светового потока и летучести.

Смазочный материал является элементом трибосистемы, и его состояние в процессе эксплуатации машин и агрегатов влияет на их надежность. Применяемая система замены масел по наработке или пробегу не обеспечивает эффективное использование смазочных материалов и требует создания технических средств контроля за их состоянием в процессе эксплуатации.

В процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания осуществляются доливы масла вследствие его угара и негерметичности масляных систем, однако влияние объектов доливов на процессы старения недостаточно изучены. Существуют противоречивые точки зрения о влиянии доливов на ресурс моторных масел [1 – 2], поэтому исследования в этом направлении имеют важное значение, так как позволяют обосновать критерии влияния доливов на ресурс моторных масел различных классов вязкости, базовых основ и групп по уровню эксплуатационных свойств [3 – 4].

Целью исследований явилось обоснование критерия оценки влияния доливов масел на процессы окисления моторных масел. Для исследования выбраны минеральные масла: дизельное летнее М-10-Г_{2К} (СС) и всесезонное универсальное «Лукойл стандарт» 10W-40 SF/CC. Исследования проводились на специально разработанном приборе для термоокислительной стабильности [5], фотометре и электронных весах.

Технология испытания заключается в следующем. Проба испытуемого масла массой $100 \pm 0,1$ г заливалась в стеклянный стакан для исключения влияния металлов на окислительные процессы и перемешивалась стеклянной мешалкой при термостатировании. Масла испытывались при температурах 160, 170 и 180 °С. При наборе заданной температуры регистрировалось время начала испытаний. Через каждые 8 часов испытания проба масла взвешивалась для определения массы испарившегося масла и отбиралась часть пробы для фотометрирования и определения коэффициента поглощения светового потока

$$K_{\Pi} = \frac{300 - \Pi}{300}, \quad (1)$$

где Π – показания фотометра, мкА; 300 – показания фотометра при настройке и отсутствии масла в кювете, мкЛ.

После измерения оптических свойств проба возвращалась в стакан, который взвешивался, масса испытуемого материала доливалась до 100 г, определялась масса долива. В процессе испытания температура и частота вращения мешалки (300 об/мин) задавалась дискретно и поддерживались автоматически. Для оценки влияния доливов на процессы окисления испытания проводились дважды – без доливов и с доливами.

Количество тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления и испарения при термостатировании масел, определено коэффициентом термоокислительной стабильности

$$E_{\text{ТОС}} = K_{\Pi} + K_G, \quad (2)$$

где K_{Π} – коэффициент поглощения светового потока; K_G – коэффициент летучести.

$$K_G = \frac{m}{M}, \quad (3)$$

где m – масса испарившегося масла при испытании, г; M – масса оставшейся пробы масла, г.

Доливы масел при температурах 180 и 160 °С уменьшают значения коэффициента $E_{\text{ТОС}}$ за один и тот же период времени, а при температуре 170 °С они незначительно увеличивают коэффициент $E_{\text{ТОС}}$, причем, доливы проявляются через определенное время испытания. Однородность состава продуктов окисления, образующихся при различных температурах испытания, исследована зависимостью коэффициента термоокислительной стабильности от коэффициента поглощения светового потока.

Показано, что состав продуктов окисления не зависит от температуры испытания и объема доливаемого масла. Для получения определенной концентрации продуктов окисления, независимо от температуры испытания и объемов доливов, затрачивается определенное количество тепловой энергии.

Регрессионное уравнение зависимости

$E_{\text{ТОС}} = f(K_{\Pi})$ имеет вид

$$E_{\text{ТОС}} = aK_{\Pi} + C = 1,062K_{\Pi} + 0,0026, \quad (4)$$

где a – скорость поглощения тепловой энергии продуктами преобразования; C – коэффициент термоокислительной стабильности, при котором начинаются процессы превращения.

С помощью коэффициента $E_{\text{ТОС}}$ можно установить температурные пределы процессов преобразования: температуру начала процесса и предель-

ную температуру, при которой они протекают с большими скоростями.

Температура начала процесса преобразования определена регрессионным уравнением зависимости $E_{\text{ТОС}} = f(T)$ при времени испытания 10 часов

$$\begin{aligned} E_{\text{ТОС}} &= aT^2 + bT + C = \\ &= 3,14 \cdot 10^{-5} T^2 - 0,007T + 0,37 \end{aligned} \quad (5)$$

Скорость процесса преобразования определена производной

$$VE_{\text{ТОС}} = 6,28 \cdot 10^{-5} T - 0,007. \quad (6)$$

Из уравнения (6) при $VE_{\text{ТОС}} = 0$ определена температура начала процесса преобразования, которая равна 130°C.

Предельная температура определена зависимостью времени достижения значения коэффициента $E_{\text{ТОС}}=0,1$ от температуры испытания.

$$t = aT^2 - bT + C = 0,01T^2 - 4,21T + 423,85 \quad (7)$$

При $t=0$ определена предельная температура, которая составила для моторного масла М-10-Г_{2к} 200°C.

Доливы повышают термоокислительную стабильность масла при температурах испытания 180°C и 170°C и понижают ее при температуре 160°C.

Сравнивая результаты испытания минеральных масел М-10-Г_{2к} и «Лукойл стандарт», принадлежащих к одной группе эксплуатационных свойств СС (по API) для дизельных двигателей, можно констатировать, что для минерального масла М-10-Г_{2к} при температуре 170°C доливы ускоряют процессы окисления, а для масла «Лукойл стандарт» они практически не оказывают влияния при температуре 160°C.

Связь между коэффициентом термоокислительной стабильности и концентрацией продуктов окисления исследована зависимостью $E_{\text{П}} = f(K_{\text{П}})$. Показано, что для масел без доливов состав продуктов одинаково изменяется и не зависит от температуры испытания, но зависит от времени испытания. Доливы при температурах испытания 180°C и 170°C увеличивают значение коэффициента термоокислительной стабильности, т. е. тепловой энергии поглощается больше.

Регрессионное уравнение связи между коэффициентами $E_{\text{ТОС}}$ и $K_{\text{П}}$ имеет вид

$$E_{\text{ТОС}} = aK_{\text{П}} + b \quad (8)$$

$$E_{\text{ТОС}} = 1,2K_{\text{П}} + 0,02 \quad (9)$$

$$E_{\text{ТОС}} = 1,18K_{\text{П}} + 0,02 \quad (10)$$

Температура начала процесса преобразования определяется зависимостью $E_{\text{ТОС}} = f(T)$ после 10 часов испытания (рис. 6а), а предельная температура – по времени достижения $E_{\text{ТОС}}=0,1$ – в зависимости от температуры испытания. Температуру начала преобразования тепловой энергии в продукты превращения для масла «Лукойл стандарт» установлена равной 154°C, а предельная температура – 198°C. Доливы не оказывают влияния на

температурную область работоспособности масла.

В качестве показателя влияния доливов на ресурс минеральных моторных масел предложен коэффициент увеличения ресурса $K_{\text{ур}}$, определяемый отношением

$$K_{\text{ур}} = \frac{\text{tg}}{t}, \quad (11)$$

где tg и t – время достижения принятых значений коэффициента термоокислительной стабильности, соответственно, без доливов и с доливами.

Согласно данным для температуры испытания 180°C, доливы увеличивают ресурс минеральных масел, однако этот показатель подвержен большим колебаниям, что указывает на сложность процесса окисления при доливах. Доливы неоднозначно влияют на ресурс минеральных масел. Так, для масла М-10-Г_{2к} до значения коэффициента $E_{\text{ТОС}}=0,2$ доливы не оказывают влияния на ресурс, а при значении коэффициента $E_{\text{ТОС}}=0,3$ ресурс увеличивается на 20 %. Дальнейшее увеличение коэффициента $E_{\text{ТОС}}$ вызывает стабилизацию ресурса на уровне 15 %.

Для масла «Лукойл стандарт» ресурс в начале испытания масла с доливами увеличивается на 40 %, а в дальнейшем с увеличением коэффициента $E_{\text{ТОС}}$ снижается до 15 %. Поэтому коэффициент увеличения ресурса может служить важной дополнительной информацией для уточнения ресурса моторных масел при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания.

Таким образом, предложенная методика исследования влияния доливов на процессы окисления минеральных масел позволяет определить кинетику изменения коэффициента термоокислительной стабильности, температуру начала тепловых преобразований и критическую температуру работоспособности, а также установить параметры влияния доливов на ресурс моторных масел.

Литература

1. Венцель, С. В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / С. В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 233 с.
2. Костецкий, Б. И. О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, смазочного действия и изнашивания / Б.И. Костецкий // Трение и износ. – 1980. – Т. 1, №4. – С. 622-637.
3. Непогодьева, А. В. Механизм окисления масла в поршневых двигателях / А. В. Непогодьева // Химия и технология топлив и масел. – 1997. – №4. – С. 34-39.
4. Зуидема, Г. Г. Эксплуатационные свойства смазочных масел / Г.Г. Зуидема. – М.: Гостолтехиздат, 1957. – 171 с.
5. Ковальский, Б. И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б.И. Ковальский. – Новосибирск : Наука, 2005. – 341 с.