

УДК 621.892.28

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЯ

В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, М.М. Рунда

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

E-mail: labism@mail.ru

Приведены данные по изменению оптических свойств, вязкости, концентрации растворимых и нерастворимых продуктов старения и противоизносных свойств синтетического моторного масла Mobil 1 0W-40 SN/CF при эксплуатации двигателя.

### Ключевые слова:

Коэффициент поглощения светового потока, относительная вязкость, критерий противоизносных свойств, растворимые и нерастворимые продукты старения масла.

### Key words:

Absorption factor of light stream, relative viscosity, criterion of antiwear properties, soluble and insoluble oil aging products.

Появление на российском рынке высококачественных смазочных материалов иностранных и отечественных производителей ставит задачу повышения эффективности их использования. Одним из направлений решения этой задачи является увеличение ресурса. Поэтому целью настоящей работы является обоснование возможности увеличения ресурса моторных масел путём осуществления контроля за их состоянием в процессе эксплуатации двигателя.

Исследованию подвергалось всесезонное универсальное синтетическое моторное масло Mobil 1 0W-40 SN/CF, предназначенное для бензиновых и дизельных двигателей. Методика изложена в работах [1, 2] и предусматривает использование следующих средств контроля: фотометра — для прямого фотометрирования и определения коэффициента поглощения светового потока; малообъёмного вискозиметра; центрифуги с частотой вращения ротора 8000 об/мин — для определения состава продуктов старения масла; трёхшариковой машины трения [3] со схемой трения «шар–цилиндр» — для определения противоизносных свойств работающих масел.

Методика предусматривала отбор проб масел из прогретого двигателя массой 30 г с помощью шприца. Часть пробы масла после тщательного перемешивания подвергалась прямому фотометрированию при толщине фотометрируемого слоя 0,15 мм. Вторая часть пробы массой 9 г подвергалась центрифугированию в течение 1 ч, после чего отцентрифугированная проба подвергалась повторному фотометрированию, причём проба отбиралась с верхнего слоя. Это позволило определить концентрацию растворимых продуктов старения, а по разности между коэффициентами поглощения светового потока до и после центрифугирования определялась концентрация нерастворимых продуктов старения. Третья часть пробы масла массой 9 г использовалась для определения кинематической вязкости. Остальная проба использовалась для определения противоизносных свойств на машине трения. Параметры трения составляли: нагрузка 13 Н, скорость скольжения 0,68 м/с, темпе-

ратура масла в объёме 80 °С, время испытания 2 часа. Температура масла в процессе испытания поддерживалась автоматически с помощью терморегулятора ТР 101. Противоизносные свойства оценивались по среднеарифметическому значению диаметров пятен износа на трёх шарах.

Согласно инструкции по эксплуатации регламентируемые сроки замены масел составляют 10000 км пробега. Для исследования влияния ресурса масла на его основные свойства пробег автомобиля увеличен до 15000 км.

Зависимость коэффициента поглощения светового потока от пробега автомобиля представлена на рис. 1.

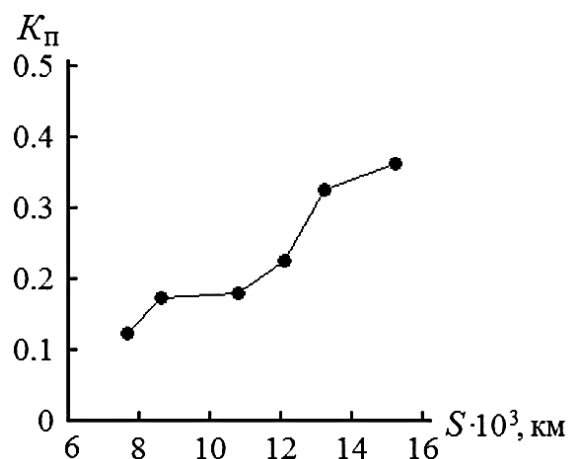


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения светового потока от пробега автомобиля

Установлено, что после отработки нормативного срока (10 тыс. км) коэффициент поглощения светового потока составил 0,18 ед., а после пробега 15,2 тыс. км он составил 0,36 ед., причём в диапазоне пробега от 8,6 до 10,8 тыс. км значение коэффициента поглощения светового потока  $K_p$  практически стабилизируется. Увеличение коэффициента  $K_p$  наблюдается после 12 тыс. км пробега, что объясняется уменьшением производительности системы фильтрации и увеличением концентрации

растворимых продуктов старения, поэтому необходимо исследовать состав продуктов старения с помощью центрифугирования проб работающих масел с последующим фотометрированием.

На рис. 2 представлены зависимости концентрации растворимых  $K_{пр}$  и нерастворимых продуктов  $K_{пн}$  старения от пробега автомобиля. Показано, что концентрация растворимых продуктов старения после 8,6 тыс. км растёт, а концентрация нерастворимых продуктов колеблется от 0,02 до 0,17 ед., причём в диапазоне пробега от 8,6 до 12,2 тыс. км концентрация нерастворимых продуктов изменяется от 0,11 до 0,09 ед. При сравнении зависимостей на рис. 1 и 2 видно, что основное влияние на коэффициент  $K_{п}$  (рис. 1) оказывают нерастворимые продукты старения. Колебания значений концентрации нерастворимых продуктов старения вызваны периодическим преобразованием растворимых продуктов старения в нерастворимые. Этот период характеризуется увеличением концентрации нерастворимых продуктов и наблюдается за время пробега автомобиля от 7,6 до 8,6 и от 12,2 до 13,2 тыс. км, однако после уменьшения скорости преобразования за счёт уменьшения концентрации растворимых продуктов система фильтрации уменьшает концентрацию нерастворимых продуктов (период от 8,6 до 12,2 и от 13,2 до 15,2 тыс. км).

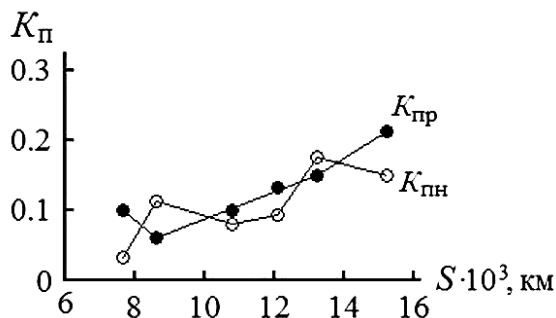


Рис. 2. Зависимости концентрации растворимых  $K_{пр}$  и нерастворимых продуктов  $K_{пн}$  старения от пробега автомобиля

Изменение вязкости работавшего масла (рис. 3) оценивалось коэффициентом относительной вязкости  $K_v$ , определяемым отношением вязкости работавшего масла к вязкости товарного (рис. 3). Установлено, что вязкость работавшего масла за время пробега 15,2 тыс. км увеличилась на 16 % (допускается 35 %), поэтому по данному показателю данное масло имеет значительный резерв.

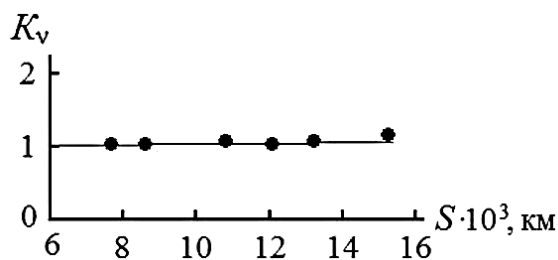


Рис. 3. Зависимость коэффициента относительной вязкости  $K_v$  от пробега автомобиля

Противоизносные свойства работающего масла (рис. 4) за весь период эксплуатации двигателя характеризуются двумя участками. На первом участке (пробег 7,6 тыс. км) противоизносные свойства понижаются по сравнению с товарным маслом (точка на ординате), а затем повышаются, и после пробега от 13,0 тыс. км они превышают противоизносные свойства товарного масла. Повышение противоизносных свойств наступает в период повышения концентрации растворимых продуктов старения (см. рис. 2), поэтому концентрация и состав продуктов старения в масле определяют противоизносные свойства работающих масел.

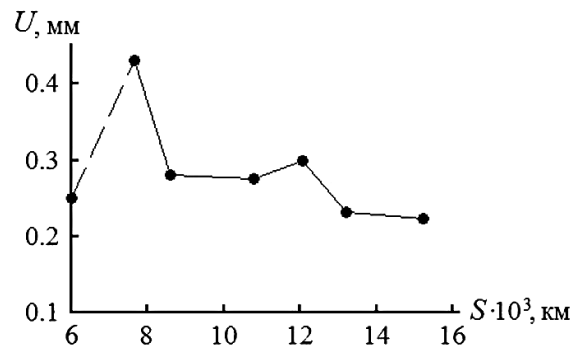


Рис. 4. Зависимость параметра износа от пробега автомобиля

На рис. 5 представлена зависимость параметра износа  $U$  от концентрации общих продуктов старения, выраженных коэффициентом  $K_{п}$ . Показано, что при значениях коэффициента  $K_{п} > 0,12$  ед. противоизносные свойства работающего масла повышаются, т. е. по данному параметру масло Mobil 1 0W-40 SN/CF имеет запас ресурса. Кроме того, замена масла произошла, когда противоизносные свойства его превышали товарное масло.

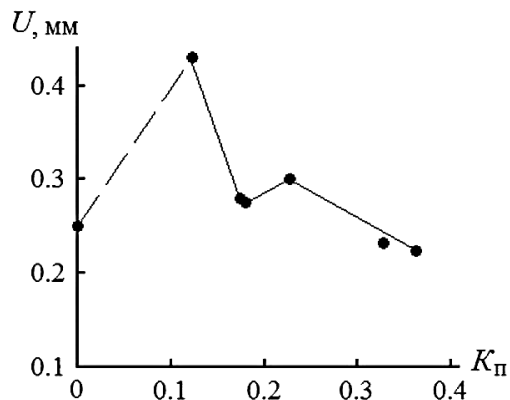
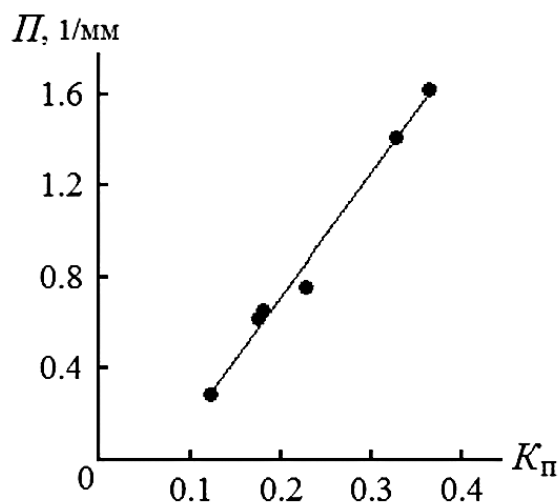


Рис. 5. Зависимость параметра износа  $U$  от коэффициента поглощения светового потока при старении синтетического моторного масла Mobil 1 0W-40 SN/CF

В этой связи предложен критерий оценки противоизносных свойств  $\Pi$ , определяемый отношением коэффициента  $K_{п}$  к диаметру пятна износа и характеризующий условную концентрацию продуктов старения на номинальной площади фрикционного контакта, зависимость которого от коэффициента  $K_{п}$  представлена на рис. 6.



**Рис. 6.** Зависимость критерия противоизносных свойств от коэффициента поглощения светового потока при старении синтетического моторного масла Mobil 1 0W-40 SN/CF

Установлена линейная зависимость между этими показателями, описываемая уравнением вида

$$P = \alpha K_p - b,$$

где  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий скорость изменения критерия  $P$ ;  $b$  – начальное значение критерия  $P$  при замене масла в картере двигателя.

Регрессионное уравнение зависимости  $P = f(K_p)$  имеет вид

$$P = 5,25 K_p - 0,29.$$

Данное уравнение можно использовать для прогнозирования противоизносных свойств рабо-

тающего масла Mobil 1 0W-40 SN/CF без испытания на противоизносные свойства на машине трения. Для этого достаточно найти коэффициент поглощения светового потока, с помощью графика (рис. 6) определить критерий и по нему определить параметр износа  $U = K_p / P$ .

#### Выводы

1. Проведённые испытания показали, что применение таких средств контроля состояния работающих моторных масел, как фотометр, вискозиметр, центрифуга и трёхшариковая машина трения позволяет осуществлять текущий контроль состояния моторных масел в период эксплуатации двигателей и замену масел по фактическому состоянию, обеспечивать эффективное их использование и повысить надёжность двигателей.
2. Применение критерия противоизносных свойств позволяет прогнозировать противоизносные свойства моторных масел без испытания на изнашивание при условии определения эталонных зависимостей  $P = f(K_p)$  для каждого смазочного материала.
3. Проведённые испытания синтетического масла Mobil 1 0W-40 SN/CF показали, что оно не отработало свой потенциальный ресурс даже при увеличении нормативного пробега в 1,5 раза. При наборе статистических данных с применением предложенных средств контроля возникает возможность установления и обоснования предельного состояния для каждого смазочного материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика оценки ресурса моторных масел / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, А.С. Попов // Вестник КрасГАУ. – 2007. – Вып. 6. – С. 169–174.
2. Методика исследования противоизносных свойств товарных моторных масел и механохимических процессов при граничном трении скольжения / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов

и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 2. – С. 42–46.

3. Устройство для испытания трущихся материалов и масел: пат. 2428677 РФ; опубл. 10.09.2011, Бюл. № 25.

Поступила 04.05.2012 г.