

УДК 621.892.004.6

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ И МЕХАНОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГРАНИЧНОМ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ

Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, С.Б. Ковальский, Н.Н. Малышева, Е.Г. Мальцева

ФГОУ ВПО Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа, г. Красноярск  
E-mail: Labsm@mail.ru

Приведена методика испытания смазочных материалов на противоизносные свойства с учетом механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте при граничном трении скольжения, оцениваемых электрохимическим методом.

### Ключевые слова:

Граничное трение, механохимические процессы, деформационная и упругая составляющие, силы трения, ток фрикционного контакта, электропроводность фрикционного контакта.

### Key words:

Boundary friction, mechano-chemical processes, deformation and elastic components, forces of friction, current of frictional contact, electric conductivity of frictional contact.

Безотказность и долговечность современных машин, механизмов и различного технологического оборудования определяются процессами, протекающими в трибологических системах, которые различаются такими параметрами как: совместимостью, приспособляемостью и износостойкостью. Практическое значение в изучении процессов, происходящих в трибосистемах, приобретают методы и средства диагностики трибосопрежений непосредственно при их работе, что позволяет повысить эксплуатационную надежность механических систем. В этой связи разработка средств и методов контроля состояния элементов трибосистем и процессов, происходящих в ней, является актуальной задачей.

Моторное масло непосредственно влияет на ресурс работоспособности двигателя. ГОСТ 17479.1–85 подразделяет моторные масла на классы вязкости и группы по назначению и уровням эксплуатационных свойств [1]. Обозначение моторных масел является основной информацией для потребителей о свойствах и области применения моторных масел. Уровень эксплуатационных свойств моторных масел определяется моюще-диспергирующими, антиокислительными и вязкостно-температурными свойствами.

Противоизносные свойства моторных масел зависят от химического состава и полярности базового масла, состава композиции присадок и вязкостно-температурной характеристики масла, которая в основном определяет температурные пределы его работоспособности. При эксплуатации масла особенно важны его эффективная вязкость при температурах 130...180 °С и градиенте скорости сдвига  $10^5...10^7 \text{ c}^{-1}$ , зависимость вязкости от давления, свойства граничных слоев и способность химически модифицировать поверхностные слои трибосопрежений [1].

Трибологические характеристики, определяемые на четырехшариковой машине трения (ЧШМ) по ГОСТ 9490–75, нормированы стандартами и техническими условиями на многие моторные масла, включающими: показатель износа при

нагрузке 196 Н, критическую нагрузку и индекс задира. Данные показатели применяют для контроля процесса производства, а также при выборе их на стадии проектирования двигателей для моторных испытаний.

Ресурс моторных масел устанавливается по результатам моторных испытаний, а их противоизносные свойства оценивают по потере массы поршневых колец, задиру или питтингу кулачков и толкателей, линейному износу этих деталей и цилиндров, состоянию поверхностей трения. По этой причине сроки замены масел устанавливаются заводами-изготовителями двигателей внутреннего сгорания по пробегу или мотто-часам. Однако такая система замены масел не направлена на эффективное использование моторных масел, т. к. не учитывает режимы и условия эксплуатации, техническое состояние цилиндропоршневой группы и системы фильтрации, а также объем доливов.

Целью работы является разработка альтернативной методики исследования противоизносных свойств моторных масел на основе изучения механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте при граничном трении скольжения.

Методика исследования заключается в следующем. Противоизносные свойства товарных моторных масел исследовались на трехшариковой машине трения [2] со схемой трения «шар-цилиндр», причем каждый из трех шаров взаимодействовал по индивидуальной дорожке трения с цилиндром. В качестве образцов для определения противоизносных свойств выбраны шар (подшипник № 1210) диаметром 9,5 мм и верхняя обойма роликового подшипника № 30208 диаметром 80 мм из стали ШХ15. Режимы трения выбраны постоянными и составили: нагрузка 13 Н, скорость скольжения 0,68 м/с, температура испытания 80 °С, время испытания 2 ч. Достоверность результатов экспериментальных исследований оценивалось по сопоставимости результатов четырехкратного испытания одного сорта моторного масла М10-Г<sub>ж</sub> и опре-

делении средней относительной погрешности каждого измерения, не превышающей 15 %.

Противоизносные свойства масел оценивались по величине диаметра пятна износа и коэффициенту электропроводности фрикционного контакта [3]. Ток, пропускаемый через фрикционный контакт образцов, задавался постоянным (100 мкА) с помощью потенциометра от стабилизированного источника питания напряжением 3 В. При статическом положении образцов сигнал тока, пропускаемого через фрикционный контакт, после преобразования на преобразователе RS подавался на компьютер для записи информации. Температура испытания задавалась дискретно и автоматически поддерживалась с помощью терморегулятора TP101, измерялась с использованием термопар хромель-копель. Величина тока при трении зависит от интенсивности механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте, характеризующих продолжительность формирования площади контакта и защитных граничных слоев (сорбционных или модифицированных) [4].

Для выявления влияния базовой основы и группы по уровню эксплуатационных свойств моторных масел на их противоизносные свойства выбраны масла: минеральные М10-Г<sub>2</sub>к; Utech navigator 15W-40 SG/CD; частично синтетические ТНК 10W-40 SL/CF; Лукойл Супер 10W-40 SG/CD и синтетические Лукойл Синтетик 5W-40 SL/CF и Chevron Sypreme 5W-40 SJ/CF.

На рис. 1 представлена зависимость тока, протекающего через фрикционный контакт, от времени испытания масел, которая имеет четко выраженные три области. Первая область (1), где электропроводность фрикционного контакта максимальна ( $I=100$  мкА), характеризует металлический контакт. В этот период происходит формирование площади контакта за счет пластической деформации. Продолжительность пластической деформации зависит от механических свойств материалов пары трения и качества моторного масла. Поскольку материалами пары трения принята сталь ШХ15, то на продолжительность пластической деформации (область 1) основное влияние оказывает качество масла и его противоизносные свойства.

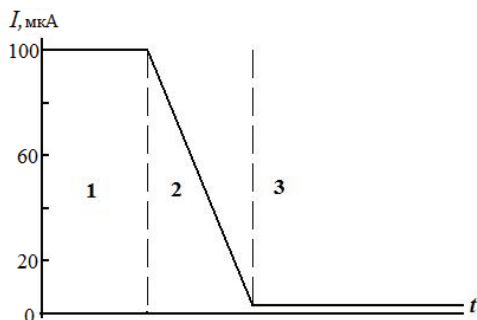


Рис. 1. Изменение тока, протекающего через фрикционный контакт от времени испытания

Вторая область (2) характеризуется уменьшением тока, т. е. увеличением электрического сопротивления фрикционного контакта. В этот период, после формирования оптимальной площади контакта на шаре, за счет физической и химической адсорбции образуются защитные граничные слои, обладающие повышенным электрическим сопротивлением. Эти слои разделяют поверхности трения и препятствуют их металлическому контакту, при этом пластическая деформация переходит в упругопластическую.

Третья область (3), где ток принимает минимальные значения, характеризует установившееся изнашивание, при котором происходит формирование и разрушение защитных граничных слоев. В этот период в контакте реализуются упругие деформации. С помощью электрохимического метода можно установить продолжительность стадий пластической, упругопластической и упругой деформации. Наличие трех областей подтверждается записями значений тока, протекающего через фрикционный контакт (рис. 2, 3).

Диаметр пятна износа зависит от продолжительности пластической, упругопластической и упругой деформаций, а также интенсивности формирования защитного слоя на поверхностях трения. Экспериментальные данные исследований сведены в таблицу.

Согласно данным таблицы и диаграммы записи тока лучшими противоизносными свойствами характеризуются масла Chevron (диаграмма е) и Лукойл Супер (диаграмма з). Из диаграмм видно, что защитный граничный слой на поверхностях трения является неустойчивым и вызывает колебания тока. Наиболее устойчивый слой образует синтетическое масло Лукойл Синтетик (д).

Таблица. Результаты исследования противоизносных свойств товарных моторных масел

| Марка масла                                  | Диаметр пятна износа, мм | Продолжительность деформации, мин | Ток через фрикционный контакт, мкА |         |           |
|----------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------|-----------|
|                                              |                          |                                   | пластической                       | упругой | суммарной |
| 1. Минеральные М10-Г <sub>2</sub> к          | 0,287                    | 5,0                               | 11,3                               | 16,3    | 10        |
| 2. Utech navigator 15W-40 SG/CD              | 0,287                    | 4,1                               | 21,8                               | 25,9    | 17,5      |
| 3. Частично синтетические ТНК 10W-40 SL/CF   | 0,353                    | 10,6                              | 47,9                               | 58,5    | 35        |
| 4. Лукойл Супер 10W-40 SG/CD                 | 0,260                    | 14,3                              | 4,5                                | 18,8    | 5         |
| 5. Синтетические Лукойл Синтетик 5W-40 SL/CF | 0,280                    | 5,6                               | 3,1                                | 8,7     | 2,5       |
| 6. Chevron Sypreme 5W-40 SJ/CF               | 0,253                    | –                                 | 3,1                                | 3,1     | 20        |

Характеристики противоизносных свойств исследуемых масел (зависимость диаметра пятна из-

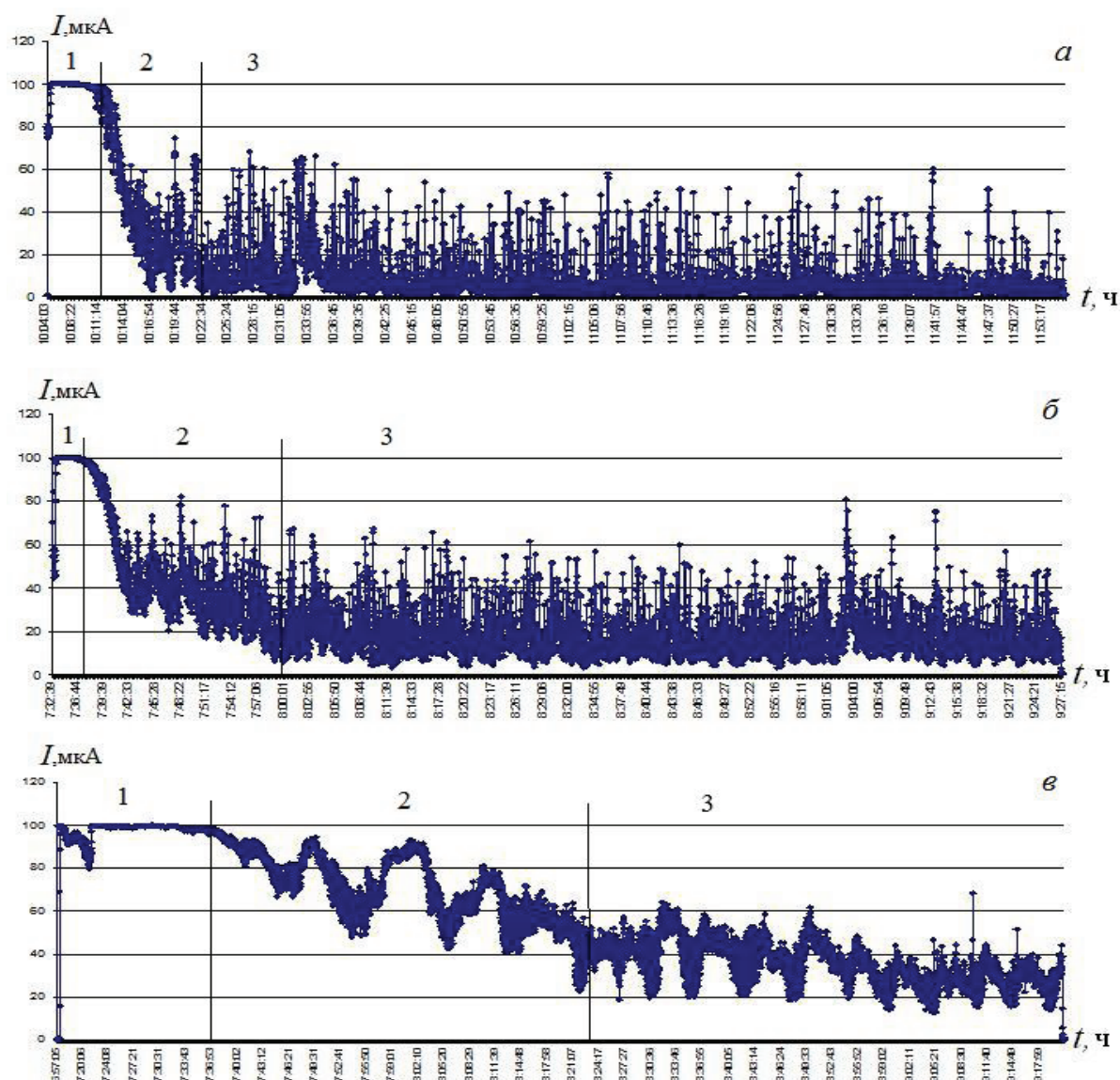


Рис. 2. Диаграммы записи тока, протекающего через фрикционный контакт, от стабилизированного источника постоянного напряжения при испытании товарных моторных масел: а) минеральных М10-Г<sub>2</sub>к; б) Utech navigator 15W-40 SG/CD; в) ТНК 10W-40 SL/CF. Области деформации: 1) пластической; 2) упругопластической; 3) упругой

носа от продолжительности суммарной деформации) представлены на рис. 4. Наблюдается практически линейную зависимость диаметра пятна износа  $U$  от продолжительности суммарной деформации  $t$ :

$$U=at+c=0,00167t+0,025,$$

где  $a$  и  $c$  – коэффициенты, характеризующие скорость изменения противоизносных свойств.

Поскольку третья область на рис. 1 – область установившегося изнашивания, при котором происходит формирование и разрушение защитных слоев, то величина тока, протекающего через фрикционный контакт и амплитуда его колебаний будут также характеризовать противоизносные свойства. Например, при испытании частично синтетического масла ТНК 10W-40 SL/CF (рис. 2), относящегося

к группе эксплуатационных свойств SL/CF (рис. 3), ток колеблется от 70 до 12 мкА, и противоизносные свойства его наихудшие – 0,353 мм.

Взаимосвязь противоизносных свойств и величины тока, протекающего через фрикционный контакт, представлена на рис. 4. Показано, что до величины тока 20 мкА противоизносные свойства практически стабильны, а при его значении свыше 20 мкА износ заметно возрастает, т. е. ток характеризует интенсивность механохимических процессов, способствующих формированию защитных граничных слоев, при граничном трении.

Приведенная на рис. 1 зависимость изменения тока, протекающего через фрикционный контакт, от времени испытания позволяет определить влияние смазочного масла на продолжительность фор-

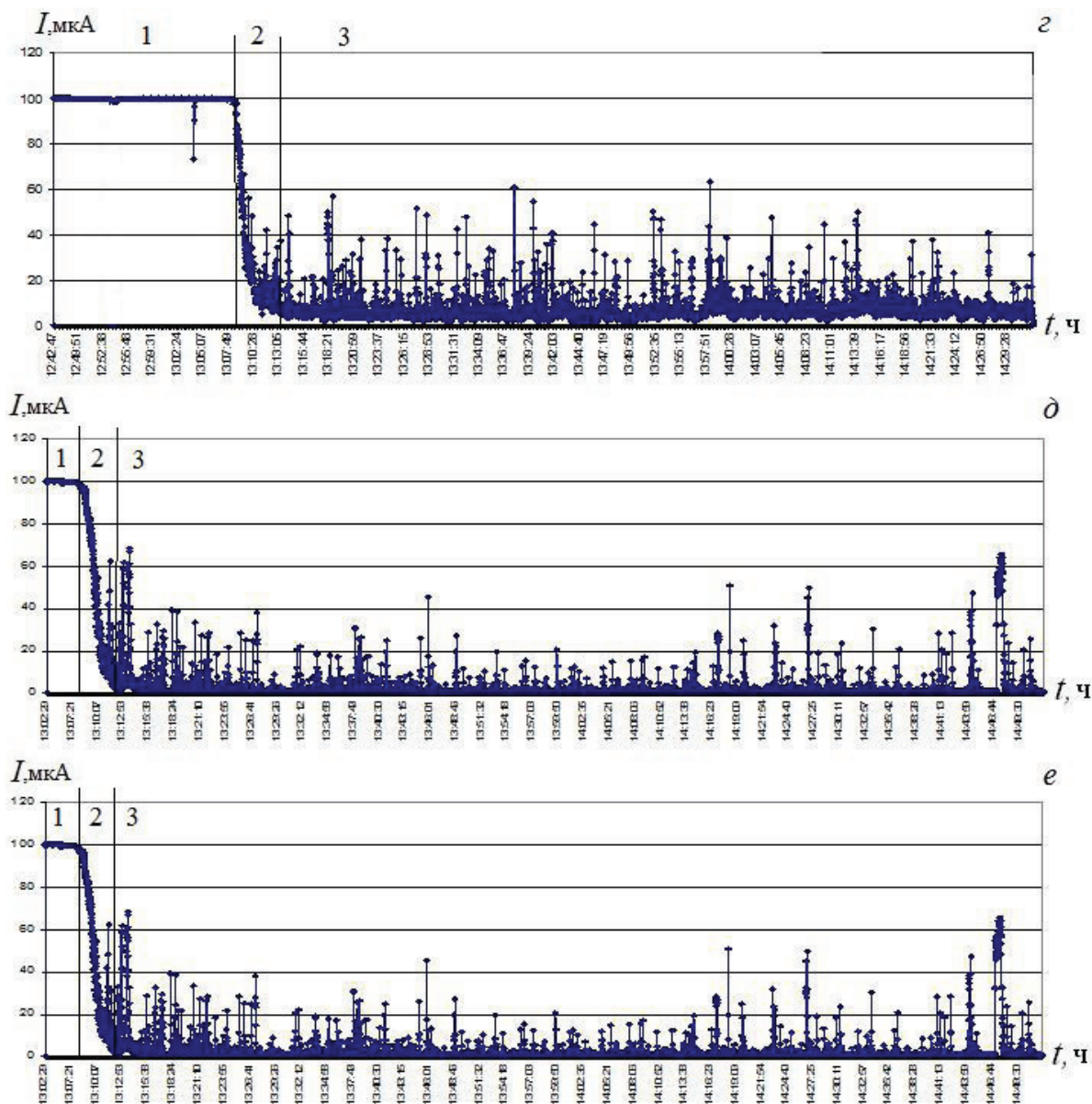


Рис. 3. Диаграммы записи тока, протекающего через фрикционный контакт от стабилизированного источника постоянного напряжения при испытании товарных моторных масел: г) Лукойл Супер 10W-40 SG/CD; д) Лукойл Синтетик 5W – 40 SL/CF и е) Chevron Syntre 5W-40 SJ/CF

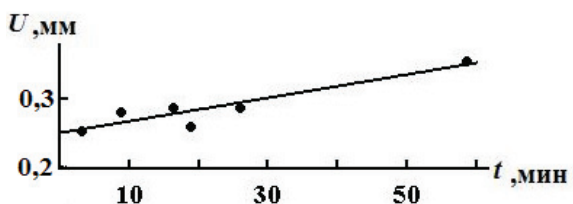


Рис. 4. Зависимость диаметра пятна износа от продолжительности суммарной деформации

мирования площади контакта при пластической деформации и продолжительность образования защитных граничных слоев при упругопластической деформации, а также прочность этих слоев при

установившемся изнашивании. Данная модель характеризует приспособляемость элементов трибосистемы к внешним воздействиям и применима при выборе как материалов пары трения, так и смазочного материала к этим материалам.

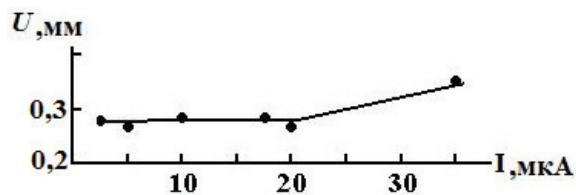


Рис. 5. Взаимосвязь величины износа  $U$  и тока  $I$ , протекающего через фрикционный контакт, при испытании моторных масел на противоположные свойства

### Выводы

1. Приведена методика испытания смазочных материалов на противоизносные свойства с учетом механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте при граничном трении скольжения, оцениваемых электрохимическим методом.
2. Показано несовершенство существующей системы классификации смазочных материалов на противоизносные свойства. Так, масла группы SG имеют соответственно противоизносные

свойства 0,287 и 0,26 мм, а группы SL – 0,353 и 0,28 мм, причем масло группы SJ характеризуется наилучшими противоизносными свойствами. В этой связи при стандартизации предлагаемого метода оценки противоизносных свойств можно не только контролировать товарные масла на соответствие их группам эксплуатационных свойств, и, тем самым, повысить качество выпускаемой продукции, но и устанавливать группы с учетом физико-химических показателей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А. Бнатов и др. Под ред. В.М. Школьников. Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Изд. Центр «Техинформ», 1999. – 596 с.
2. Устройство для испытания трущихся материалов и масел: а.с. 983522 СССР; опубл. 1982, Бюл. № 47.
3. Способ определения смазывающей способности масел: а.с. 1054732 СССР; опубл. 1983, Бюл. № 42.
4. Способ определения смазывающей способности масел: а.с. 2186386 СССР; опубл. 2002, Бюл. № 21.
5. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов: а.с. 2057326 Рос. Федерация; опубл. 1996, Бюл. № 9.

Поступила 18.12.2009 г.

УДК 621.892.1

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО МОТОРНОГО МАСЛА НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ СТОЙКОСТЬ

Б.И. Ковальский, С.Б. Ковальский, А.В. Берко, Н.Н. Малышева

ФГОУ ВПО Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа, г. Красноярск  
E-mail: Labsm@mail.ru

*Приведены результаты испытания минерального моторного масла М10-Г<sub>2</sub>к на температурную стойкость и определено влияние продуктов деструкции на противоизносные свойства и износостойкость стали ШХ15.*

### Ключевые слова:

*Моторное масло, температурная стойкость, продукты деструкции, коэффициент относительной вязкости, коэффициент летучести, коэффициент поглощения светового потока, коэффициент износа.*

### Key words:

*Motor oil, temperature stability, products of destruction, factor of relative viscosity, factor of volatility, light flux absorption factor, factor of deterioration.*

Проблема трения, смазочного действия и износа напрямую определяет надежность объектов машиностроения. При решении трибологических задач используются качественные представления об оптимизации шероховатостей поверхностей, о закономерностях приработки, противозадирной стойкости и антиокислительной стабильности смазочных материалов, гетерогенности структуры антифрикционных материалов и совместимости материалов пар трения [1].

Одной из актуальных задач в этой области является расширение температурного диапазона работоспособности смазочных материалов. Решение этой задачи достигается введением поверхностно-

активных или химически-активных соединений, образующих тонкие слои продуктов взаимодействия активных компонентов смазочной среды с материалами поверхностей трения [2]. Эти слои обладают пониженным сопротивлением сдвигу и имеют более высокую температурную стойкость, чем исходный смазочный материал.

Для снижения потерь на трение большое внимание уделяется разработке специальных антифрикционных присадок, именуемых модификаторами трения [3], проявляющих эффективное действие при высоких температурах, характерных, в частности, для зоны цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания. Нагрузочно-скоростные