

УДК 621.43-4

В. Г. Шрам, Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, А. Н. Сокольников,  
И. В. Надейкин

## ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕСТРУКЦИИ И НАГРУЗКИ НА ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА ТОВАРНОГО И ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА М-8Г<sub>2К</sub>

**Введение.** Ресурс смазочных материалов определяется температурным режимом эксплуатации. Влияние температуры, в основном, проявляется на поверхностях трения и оценивается параметрами термоокислительной стабильности и температурной стойкостью. Если термоокислительная стабильность нормируется для большинства масел, то температурная стойкость в характеристике масел не приводится. В основном температурная стойкость определяется при граничном трении [1-6] и характеризует нагрузку схватывания. В настоящее время достаточно изучены процессы, протекающие при высоких температурах на поверхностях трения [7-9], а в самом смазочном материале изучены недостаточно, особенно работающих масел.

**Цель исследования.** Провести сопоставительные исследования температурной стойкости товарного и отработанного минерального моторного масла М-8Г<sub>2К</sub>.

**Методика исследования.** Для исследования выбрано зимнее минеральное масло М-8Г<sub>2К</sub> товарное и отработанное (пробег 14000 км). Данные

масла термостатировались в специальном приборе в диапазоне температур от 140 до 300 °C с увеличением температуры на 10 °C без перемешивания. Проба масла массой 80 г заливалась в термостойкий стеклянный стакан и термостатировалась в течение 8 часов при атмосферном давлении. В процессе испытания температура поддерживалась автоматически с точностью ±0,5 °C. После каждого 8-ми часов испытания проба термостатированного масла взвешивалась, определялась масса испарившегося масла, часть пробы фотометрировалась при толщине фотометрируемого слоя 8 мм для товарного масла и 0,15 мм для отработанного, определялась вязкость, а часть пробы испытывалась на трехшариковой машине трения со схемой трения "шар-цилиндр" с параметрами: нагрузка 13, 23 и 33 Н, скорость скольжения 0,68 м/с, температура масла в объеме 80 °C, время испытания 2 ч. Оптические свойства определялись по коэффициенту поглощения светового потока  $K_{\Pi}$ , противоизносные свойства по среднеарифметическому значению диаметра пятна износа на трех

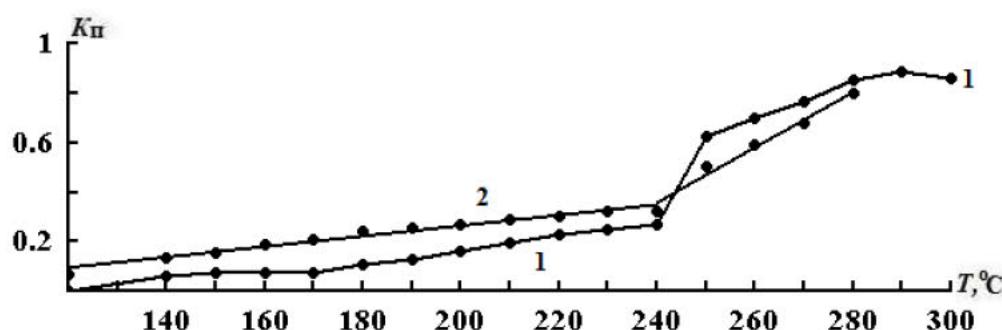


Рис. 1. Зависимости коэффициента поглощения светового потока от температуры термостатирования минерального моторного масла М-8Г<sub>2К</sub>: 1 – товарное масло; 2 – отработанное

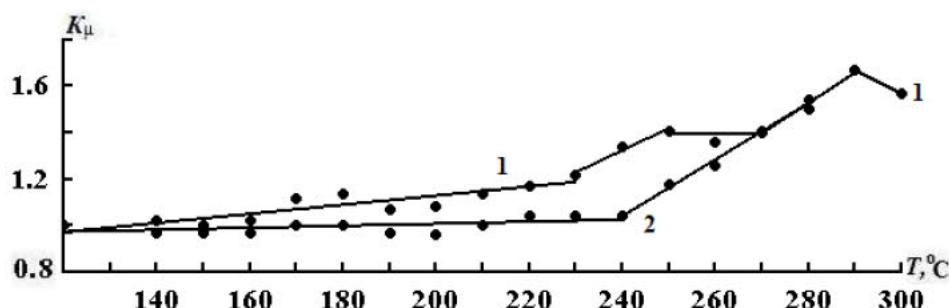


Рис. 2. Зависимость коэффициента вязкости от температуры термостатирования минерального моторного масла М-8Г<sub>2К</sub>: 1 – товарное масло; 2 – отработанное

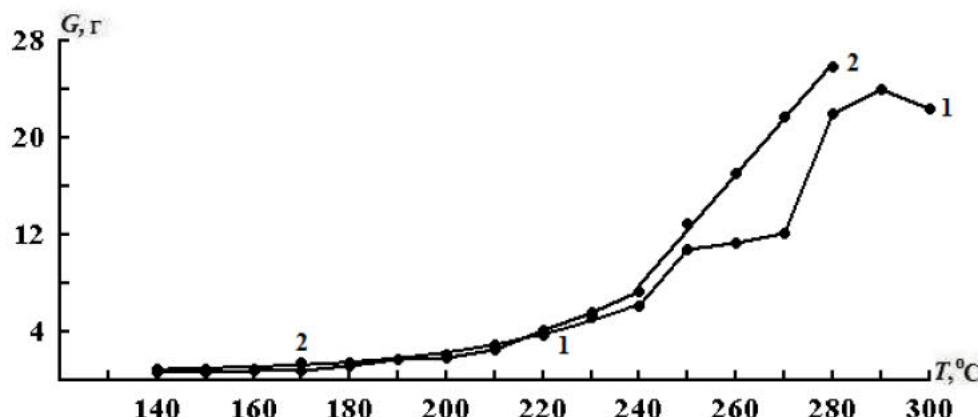


Рис. 3. Зависимость летучести от температуры термостатирования минерального моторного масла М-8Г2К: 1 – товарное масло; 2 – отработанное

шарах.

**Результаты исследований и их обсуждение.** На рис. 1 представлены зависимости коэффициента  $K_{\Pi}$  от температуры испытания. Сравнивая полученные данные товарного и отработанного масел видно, что зависимости коэффициента  $K_{\Pi}$  от температуры термостатирования имеют одинаковую тенденцию изменения до температуры 240 °С, после которой наблюдается резкое увеличение коэффициента поглощения светового потока  $K_{\Pi}$ , как для товарного, так и для отработанного масел. Это происходит в результате образования более оптически плотных продуктов деструкции, причем их концентрация для отработанного масла (кривая 2) увеличивается по линейной зависимости, а для товарного масла она стремится к стабилизации.

Вязкость термостатированных масел оценивалась коэффициентом относительной вязкости, определяемым отношением вязкости термостатированного масла к вязкости товарного, причем вязкость отработанного масла как и коэффициент поглощения светового потока имеет кусочно-линейную зависимость (рис. 2), в отличие от товарного масла, у которого зависимость  $K_{\mu} = f(T)$  после температуры 240 °С носит скачкообразный характер. До температуры 240 °С у отработанного масла вязкость растет незначительно – на 4%, у товарного – на 34%. Однако при температуре 280 °С у отработанного масла вязкость увеличивается на 54%, а у товарного при температуре 300 °С она увеличилась на 67%. Учитывая, что допустимое увеличение вязкости не должно превышать 30-40%, то предельной температурой работоспособности для этих масел является температура 270 °С.

Установлено, что для отработанного масла вязкость увеличивается когда образуются оптически плотные продукты деструкции (см. рис. 1), поэтому можно полагать, что при температуре 250 °С происходит переход первичных продуктов деструкции в оптически более плотные из-за малой

концентрации начальных продуктов деструкции в связи с их переходом в более оптически плотные, т.е. существует перераспределение избыточной тепловой энергии.

Летучесть исследованных масел до температуры 210 °С практически не отличается (рис. 3). В дальнейшем летучесть отработанного масла превышает летучесть товарного, кроме того при 250 °С летучесть обоих масел резко увеличивается: у отработанного с 7,4 до 12,9 г, у товарного с 6,2 до 10,8 г. Летучесть товарного масла после 240 °С колеблется с тенденцией к увеличению, что может объясняться перераспределением тепловой энергии между первичными продуктами деструкции и более оптически плотными, причем первые – являются основой для образования вторых – более энергоемких, поэтому с уменьшением концентрации первичных продуктов процесс образования более энергоемких продуктов замедляется и избыточная тепловая энергия поглощается первичными продуктами деструкции при этом рост летучести и вязкости товарного масла замедляются.

Сравнивая зависимости  $K_{\Pi} = f(T)$ ,  $K_{\mu} = f(T)$  и  $G = f(T)$  видна связь между параметрами  $K_{\Pi}$ ,  $K_{\mu}$  и  $G$ . Допустимо, что с увеличением летучести коэффициенты  $K_{\Pi}$  и  $K_{\mu}$  увеличиваются.

Например, для товарного масла (кривая 1) в диапазоне температур от 250 до 270 °С летучесть уменьшается (рис. 3) при этом коэффициент  $K_{\Pi}$  (рис. 1) также уменьшается, а вязкость стабилизируется (рис. 2). В диапазоне температур от 280-300 °С летучесть колеблется и вызывает адекватное изменение коэффициентов  $K_{\Pi}$  и  $K_{\mu}$ . Поэтому процессы перераспределения тепловой энергии между первичными и более энергоемкими продуктами деструкции влияют на скорость испарения масла, которая влияет на коэффициенты  $K_{\Pi}$  и  $K_{\mu}$ . Для отработанного масла увеличение

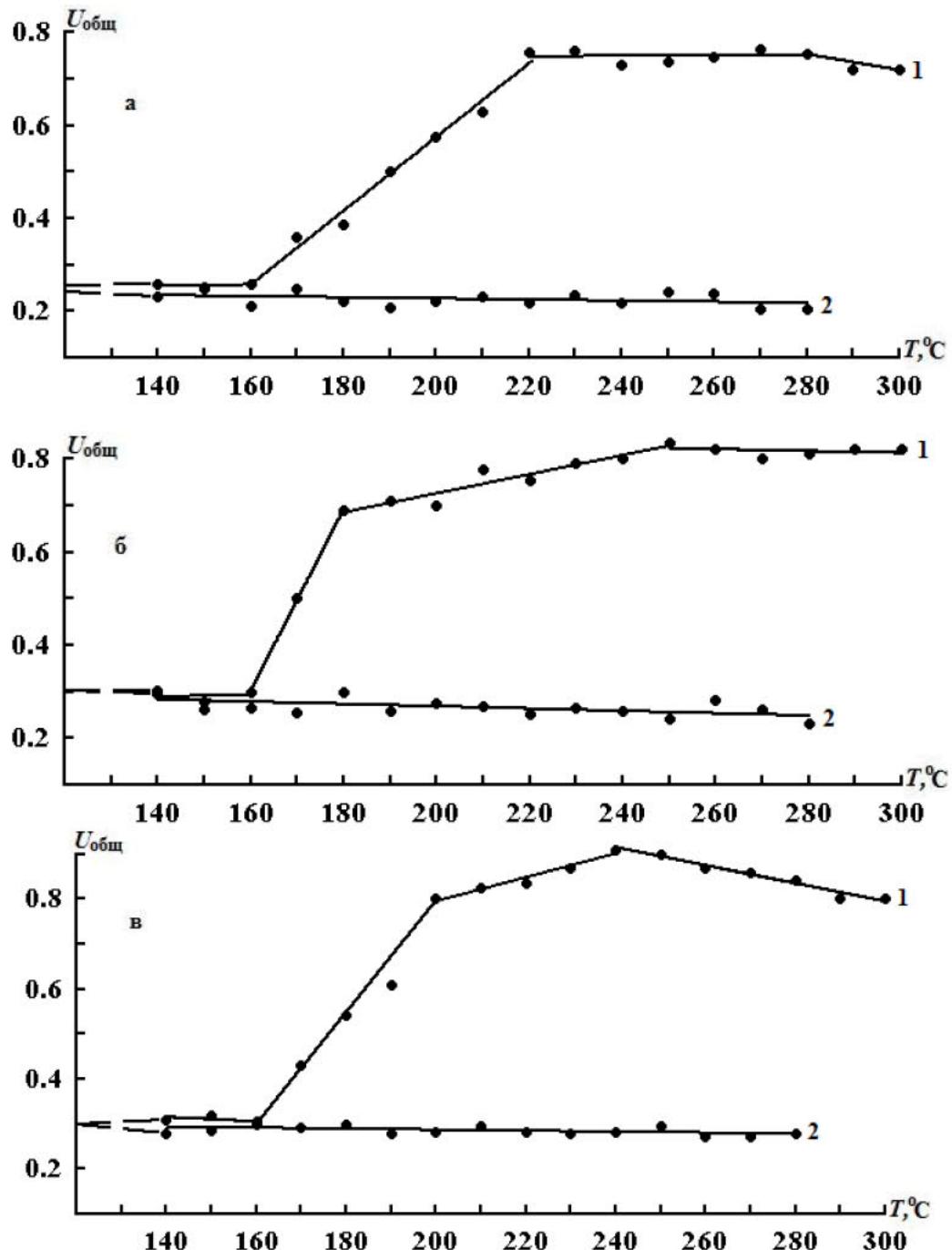


Рис. 4. Зависимости износа от температуры термостатирования минерального моторного масла М-8Г2К при нагрузки: а – 13Н; б – 23Н; в – 33Н: 1 – товарное масло; 2 – отработанное

летучести после 240 °С вызывает аналогичное увеличение оптических свойств и вязкости.

Для оценки триботехнических свойств термостатированных масел, они испытывались на трехшариковой машине трения с нагрузками 13, 23 и 33 Н. Результаты испытания представлены на рис. 4.

Установлено, что независимо от нагрузки износ отработанного масла (кривая 2) имеет линейные зависимости  $U = f(T)$ , различающиеся величиной. Причем износ уменьшается при всех

нагрузках. При нагрузке 13Н он уменьшился на  $\approx 0,035$  мм; 23Н  $\approx 0,055$  мм; 33Н  $\approx 0,02$  мм.

Зависимости диаметра пятна износа от коэффициента  $K_{\Pi}$ , характеризующего концентрацию продуктов деструкции, и нагрузки представлены на рис. 5. Показано, что с ростом концентрации продуктов температурной деструкции противоизносные свойства отработанных термостатированных масел (кривая 2) незначительно повышаются. Для товарного масла при увеличении коэффициента  $K_{\Pi}$  до значения  $\approx 0,02$  ед. противоизносные

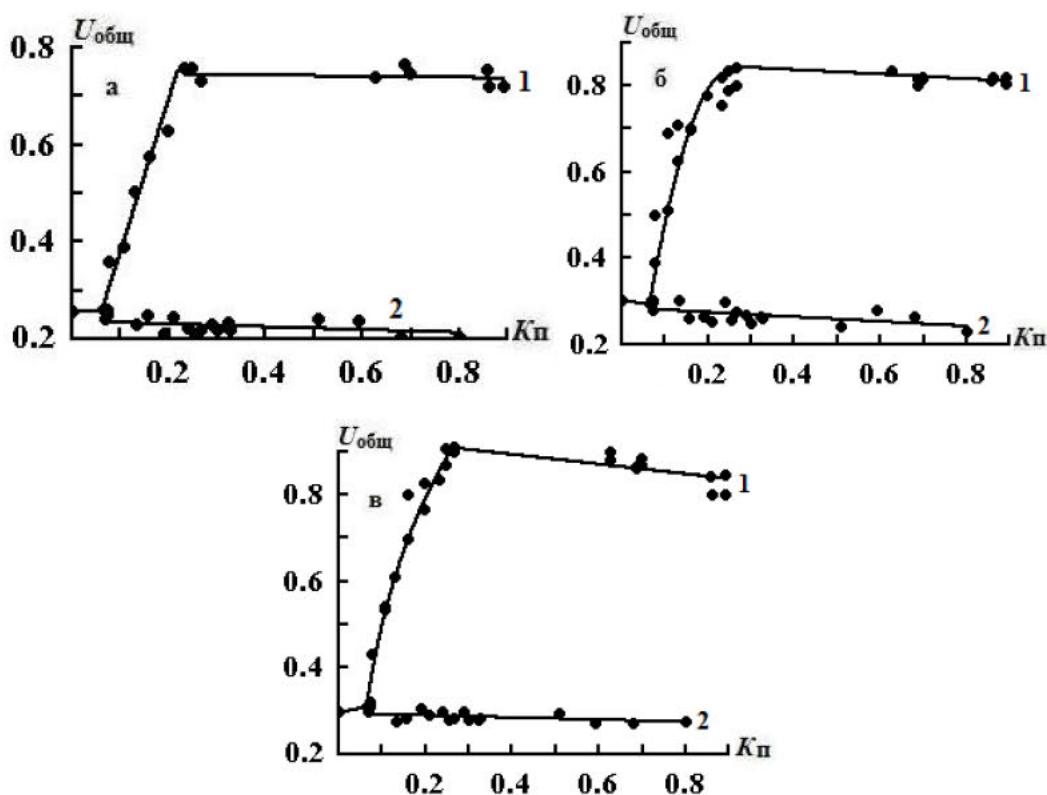


Рис. 5. Зависимости износа от коэффициента поглощения светового потока при термостатировании минерального моторного масла М-8Г<sub>2К</sub> и нагрузки: а – 13Н; б – 23Н; в – 33Н:  
1 – товарное масло; 2 – отработанное

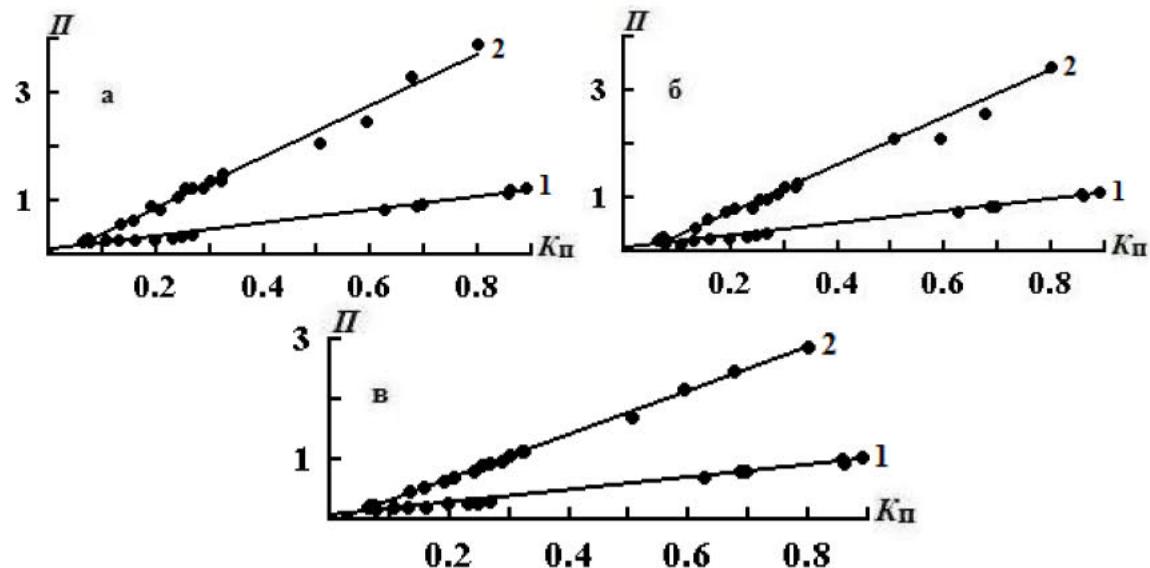


Рис. 6. Зависимости критерия противоизносных свойств от коэффициента поглощения светового потока ( $\Pi$ ) минерального моторного масла М-8Г<sub>2К</sub> и нагрузки:

свойства понижаются более, чем в четыре раза по сравнению с товарным маслом. Дальнейшее увеличение коэффициента  $K_{\Pi}$  вызывает незначительное повышение противоизносных свойств, которые зависят от нагрузки.

В качестве критерия противоизносных свойств термостатированных масел предложен

критерий  $\Pi$ , определяемый выражением

$$\Pi = \frac{K_{\Pi}}{U}, \quad (8)$$

где  $K_{\Pi}$  – коэффициент поглощения светового потока;  $U$  – параметр износа, мм.

Данный критерий (рис. 6) характеризует условную концентрацию продуктов деструкции на номинальной площади фрикционного контакта. Показано, что зависимости критерия противоизносных свойств от температуры испытания претерпевает изгиб при температуре 240 °C, а его зависимость от коэффициента поглощения светового потока имеет линейный характер. Причем, чем выше величина нагрузки, тем ниже противоизносные свойства, при одном и том же  $K_{\Pi}$ .

Регрессионные уравнения зависимостей противоизносных свойств от коэффициента поглощения светового потока при нагрузках имеют вид

а) для отработанного масла (кривые 2)

$$P=13 \text{Н} \quad \Pi = 4,4K_{\Pi}, \quad (9)$$

$$P=23 \text{Н} \quad \Pi = 3,9K_{\Pi}, \quad (10)$$

$$P=33 \text{Н} \quad \Pi = 3,5K_{\Pi}, \quad (11)$$

а) для товарного масла (кривые 1)

$$P=13 \text{Н} \quad \Pi = 1,32K_{\Pi}, \quad (12)$$

$$P=23 \text{Н} \quad \Pi = 1,22K_{\Pi}, \quad (13)$$

$$P=33 \text{Н} \quad \Pi = 1,15K_{\Pi}, \quad (14)$$

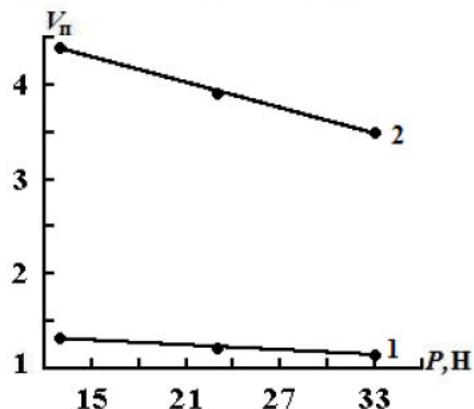


Рис. 7. Зависимость скорости изменения критерия противоизносных свойств от нагрузки: 1 – товарное масло; 2 – отработанное

Коэффициенты 4,4; 3,9; 3,5; 1,32; 1,22; 1,15 характеризуют скорость  $V_{\Pi}$  изменения критерия противоизносных свойств  $\Pi$ , зависимость которой от нагрузки представлена на рис. 7. Установлено, что скорость изменения критерия противоизносных свойств у обоих масел уменьшается с увеличением нагрузки за счет увеличения площади контакта, т.е. понижения противоизносных свойств. Причем скорость у отработанного масла более, чем в 3 раза выше, чем у товарного.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При термостатировании отработанного минерального моторного масла М-8Г<sub>2К</sub> выявлены характерные кусочно-линейные зависимости  $K_{\Pi} = f(T)$ ,  $K_{\mu} = f(T)$  и  $G = f(T)$ , для которых установлены две критические температуры: 1) 240 °C, при которой наблюдается резкое увеличение данных коэффициентов; 2) 270 °C, при которой наступает предел работоспособности масел по вязкости, в отличие от товарного масла у которого данные зависимости при носят скачкообразный характер температурах выше 240 °C.

2. Параметр износа термостатированных отработанных масел ниже, чем у товарного, независимо от нагрузки. Предложен критерий оценки противоизносных свойств термостатированных масел, зависимость которого от коэффициента поглощения светового потока имеет линейный характер, и характеризует условную концентрацию продуктов температурной деструкции на номинальной площади фрикционного контакта, причем противоизносные свойства понижаются с увеличением нагрузки испытания.

3. Установлено, что скорость изменения критерия противоизносных свойств у обоих масел уменьшается с увеличением нагрузки, причем эта скорость у отработанного масла примерно в 3 раза выше, чем у товарного.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 23.221-84 Метод экспериментальной оценки температурной стойкости смазочных материалов при трении.
- Матвеевский Р. Н. Оценка энергии активации процесса химического модифицирования поверхности трения в условиях граничной смазки / Р. М. Матвеевский, И. А. Буяновский и др. // Химия и технология топлив и масел. – 1976. №3. С. 50-52.
- Патент 2240558 РФ. Способ определения термической стабильности смазочного масла / Б. И. Ковальский, С. И. Васильев, С. Б. Ковальский. – 2004, Бюл. № 32.
- Мышкин Н. К Определению температурной стойкости граничных слоев / Н. К. Мышкин, В. В. Кончик / Трение и износ. – 1981. Т. II. №4, С. 725-728.
- Матвеевский Р. Н. Температурная стойкость граничных слоев твердых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов / Р. Н. Матвеевский. – М.: Наука, 1971. – 227 с.
- Климов К. И. Противозадирные свойства масел-функция скорости их разложения в зоне трения / К. И. Климов // доклады АН СССР. – 1960. №1. С. 45-48.
- Буяновский И. А. К оценке нижних температурных пределов действия химически активных присадок / И. А. Буяновский // Трение и износ. -1981. Т.2. №4. С. 702-706.

8. Гершман И. С. Самоорганизация вторичных структур при трении / И. С. Гершман, Н. А. Буше, А. Е. Мироновна, В. А. Никифоров // Трение и износ. – 2003. Т.24. №3. С. 329-334.

9. Гершман И. С. Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения в трибосистемах / И. С. Гершман, Н. А. Буше // Трение и износ. – 1995. Т.16. №1. С. 61-70.

□Авторы статьи

Шрам Вячеслав Геннадьевич, аспирант каф. «Топ- ливное обеспечение и горюче-смазочные материалы» Инсти- тута нефти и газа (Сибирский феде- ральный университет, г. Красноярск). E-mail: shram18rus@mail.ru	Ковальский Болеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор каф. «Топливное обеспе- чение и горюче- смазочные материа- лы» Института нефти и газа (Си- бирский федераль- ный университет, г. Красноярск). E-mail: Labsm@mail.ru	Безбородов Юрий Николаевич : докт. техн. наук профессор каф. «То- пливообеспечение и горючесмазочные материалы» Инсти- тута нефти и газа (Сибирский феде- ральный универси- тет, г. Красноярск). E-mail: Labsm@mail.ru	Сокольников Александр Николаевич : канд. техн. наук : зав. каф. «Проек- тирование и экс- плуатация газо- нефтепроводов» Института нефти и газа (Сибирский федеральный уни- верситет, г. Красно- ярск). E-mail: Labsm@mail.ru	Надейкин Иван Викторович, канд.. техн. наук, доцент каф. «Топлив- ное обеспечение и горюче-смазочные материалы» (Сибир- ский федеральный университет, г. Крас- ноярск) E-mail: ivan_777_kray@mail.ru
--	---	---	--	--