

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ЧАСТИЧНО СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА BIZOL DIZEL ULTRA 10W-40 CJ-4/SL

Б.И. Ковальский, Н.Н. Малышева, Е.В. Тарасов*, С.А. Дьяков*

Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа, г. Красноярск

*ООО «Магнат-РД», г. Красноярск

E-mail: labsm@mail.ru

Представлены результаты испытания всесезонного универсального моторного масла на термоокислительную стабильность и противоизносные свойства, предложены критерии противоизносных свойств и суммарной энергии, поглощенной маслом при термических и триботехнических испытаниях.

Ключевые слова:

Термоокислительная стабильность, летучесть, коэффициенты поглощения светового потока и относительной вязкости, диаметр пятна износа, электропроводность фрикционного контакта, критерий противоизносных свойств.

Key words:

Thermal-oxidative stability, volatility, absorption factors of light flux and relative viscosity, diameter of deterioration stain, conductance of frictional contact, criterion of antiwear properties.

Появление на российском рынке моторных масел иностранных фирм ставит задачу их идентификации на соответствие группам эксплуатационных свойств и классам вязкости. Для решения этой задачи разработана комплексная методика [1–4], позволяющая определить склонность масел к окислению при статической и циклически изменяющейся температурах, изменение вязкости и летучести, оценить влияние продуктов окисления на противоизносные свойства и установить интенсивность процессов, протекающих на фрикционном контакте.

Целью исследований является определение качества частично синтетического моторного масла Bizol Dizel Ultra 10W-40 CJ-4/SL.

Методика исследования предусматривала термостатирование масла массой $100 \pm 0,1$ г в термостойком стеклянном стакане при температуре 180°C с перемешиванием стеклянной мешалкой с частотой вращения 300 об/мин в течение 8 ч. После каждых восьми часов испытания стакан с термостатированным маслом взвешивался на электронных весах (MW 1200) для определения массы испарившегося масла с точностью $\pm 0,1$ г, отбирались пробы масла для прямого фотометрирования при толщине фотометрируемого слоя 2 мм и определения коэффициента поглощения светового потока и вязкости. После измерения параметров отобранные пробы сливались в стеклянный стакан, который повторно взвешивался, после чего испытания продолжались до достижения значений коэффициента поглощения светового потока, равно $0,7-0,8$ ед.

С целью определения температур начала окислительных процессов и испарения моторное масло испытывалось по аналогичной методике, но температура изменялась циклически в диапазоне от 150 до 180°C (цикл повышения) и от 180 до 150°C (цикл понижения). Измерение вязкости, летучести и оптических свойств термостатированных

масел производилось через 8 ч испытания. Температура испытания поддерживалась автоматически и повышалась или понижалась в каждом цикле на 10°C .

Противоизносные свойства термостатированных проб масел определялись на трехшариковой машине трения со схемой трения «шар–цилиндр» при достижении коэффициента поглощения светового потока значений, равных 0,1; 0,2; 0,3–0,8 ед. При отборе пробы масла массой 80 г для проведения испытаний на машине трения и измерения вязкости проба масла в стеклянном стакане доливалась до 100 ± 1 г.

Параметры трения составляли: нагрузка 13 Н; скорость скольжения 0,68 м/с; температура масла в объеме 80°C ; время испытания 2 ч. Оценка противоизносных свойств производилась по среднеарифметическому значению диаметров пятен износа на трех шарах. В качестве образцов применялись шары диаметром 9,5 мм и обойма конусного подшипника диаметром 80 мм из стали ШХ15. Диаметры пятен износа измерялись на оптическом микроскопе «Альтами» Met1M.

Для исследования процессов, протекающих на фрикционном контакте, через один из шаров пропускался постоянный ток (100 мкА) от внешнего стабилизированного источника питания (3 В), устанавливаемый при статическом положении пар трения сопротивления, что позволяло определять изменения фрикционного контакта в зависимости от концентрации продуктов окисления.

На рис. 1 представлены графические зависимости показателей термоокислительной стабильности от времени окисления частично синтетического моторного масла Bizol Dizel Ultra 10W-40 CJ-4/SL. Установлено, что зависимость коэффициента поглощения светового потока от времени окисления (рис. 1, а) имеет изгиб при коэффициенте $K_n=0,27$ ед. (37 ч) и описывается кусочно-линейной функцией, что указывает на образование двух

видов продуктов окисления с различной оптической плотностью, которые называются низко- и высокоэнергоемкие. За 64 ч испытания коэффициент поглощения светового потока достиг значения 0,78 ед.

Коэффициент относительной вязкости (рис. 1, б), определяемый отношением вязкости окисленного масла к вязкости товарного, увеличивается прямо пропорционально времени окисления и за 64 ч составил 1,09, т. е. вязкость увеличилась на 9 %. Однако в первые 16 ч испытания вязкость уменьшилась на 2 %, что может объясняться температурной

деструкцией вязкостной присадки. В целом продукты окисления увеличивают вязкость.

Летучесть масла G при термостатировании в течение 48 ч увеличивается по линейной зависимости и за 64 ч испытания составила 11 г. Точка пересечения зависимости $G=f(t)$ (рис. 1, в) с осью ординат определяет концентрацию легких фракций и воды в исследуемом масле.

Интенсивность процессов окисления и испарения масла при термостатировании оценивалась изменениями их скоростей за 8 ч (рис. 2). Установлено, что в течение 56 ч изменения скоростей окис-

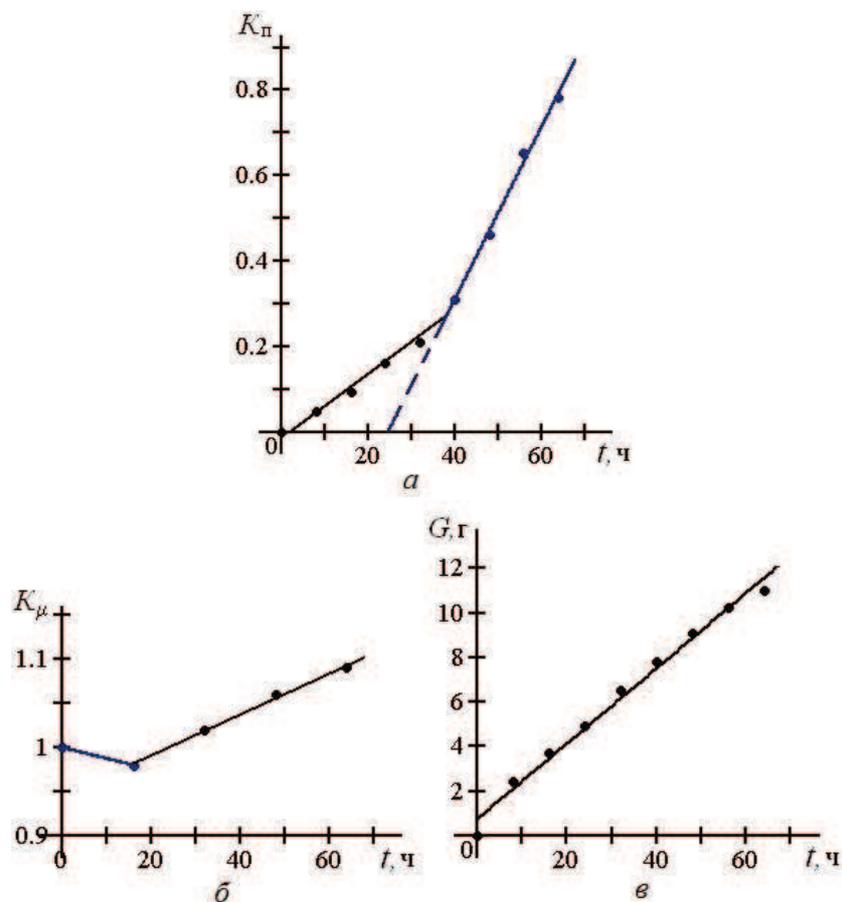


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения светового потока K_n (а), относительной вязкости K_μ (б) и летучести G (в) от времени испытания частично синтетического моторного масла Bizerol Dizel Ultra 10W-40 CJ-4/SL

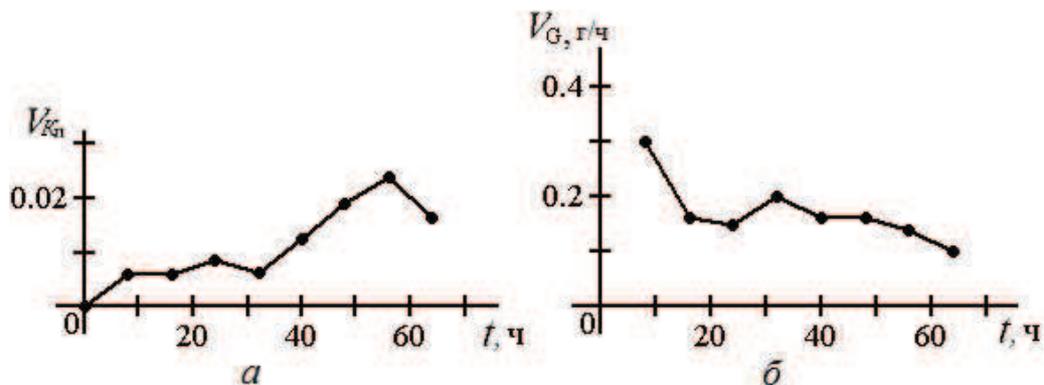


Рис. 2. Зависимости скорости окисления (а) и летучести (б) от времени испытания (усл. обозн. см. на рис. 1)

сления и испарения находятся в противофазах, т. е. происходит перераспределение избыточной тепловой энергии между продуктами окисления и испарения, что характеризует процесс самоорганизации, протекающий в смазочном масле при его термостатировании. Однако после 32 ч испытания скорость окисления масла преобладает над скоростью испарения, что вызвано образованием более энергоемких продуктов окисления, вызывающих изгиб зависимости $K_{II}=f(t)$ (рис. 1).

Интенсивность процессов самоорганизации предложено оценивать коэффициентом интенсивности K_c :

$$K_c = V_{Kn} / V_G, \text{ г}^{-1}.$$

Зависимость коэффициента K_c от времени окисления представлена на рис. 3. Показано, что интенсивность процессов самоорганизации значительно возрастает после 32 ч испытания, когда в масле образуются более энергоемкие продукты окисления.

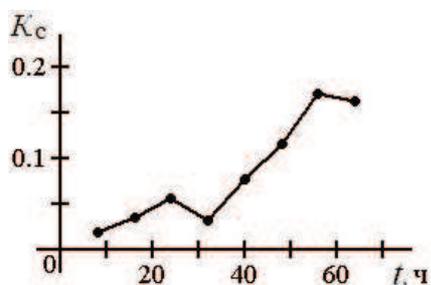


Рис. 3. Зависимость коэффициента интенсивности процессов самоорганизации, протекающих в частично синтетическом моторном масле, от времени его окисления при температуре 180 °С

Результаты испытания моторного масла Vizol Dizel Ultra 10W-40 CJ-4/SL при циклическом изменении температуры представлены на рис. 4. Масло выдержало неполных четыре цикла повышения температуры от 150 до 180 °С и три цикла понижения температуры от 180 до 150 °С, а время испыта-

ния составило 168 ч. Установлено, что в циклах понижения температуры испытания окислительные процессы стабилизируются при температурах 150 и 160 °С, а процесс испарения масла замедляется (рис. 4, б). За 168 ч испытания коэффициент поглощения светового потока составил 0,8 ед., а летучесть – 14,7 г (14,7 %).

Для определения температур начала окисления и испарения масла при циклическом изменении температуры построены зависимости скоростей изменения коэффициента V_{Kn} и летучести V_G (рис. 5). Показано, что скорость окислительных процессов при температурах 150...160 °С равна нулю или приобретает отрицательные значения, поэтому при температуре 160 °С начинаются процессы окисления.

Скорость испарения масла (рис. 5, б) при 150 °С имеет минимальное значение (0,025 г/ч), поэтому температурой начала испарения масла является температура ниже 150 °С.

Температуры начала окислительных процессов и испарения являются показателями, характеризующими температурную область работоспособности масла, и рекомендуются для обоснования группы эксплуатационных свойств при их классификации.

Интенсивность процессов самоорганизации при циклическом изменении температуры испытания, выраженная коэффициентом K_c , как отношение скорости окисления к скорости испарения (рис. 6), характеризуется уменьшением в циклах понижения температуры, причем в циклах 4 и 6 понижения температуры интенсивность процессов приобретает отрицательные значения за счет коагуляции продуктов окисления, вызывающих дисперсию светового потока и создающих эффект осветления окисленного масла. Согласно данным рис. 6 интенсивность процессов самоорганизации увеличивается при температуре 180 °С с увеличением времени испытания за счет повышения концентрации более энергоемких продуктов окисления.

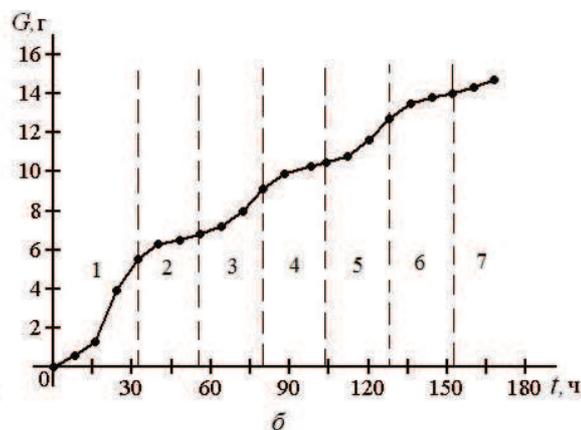
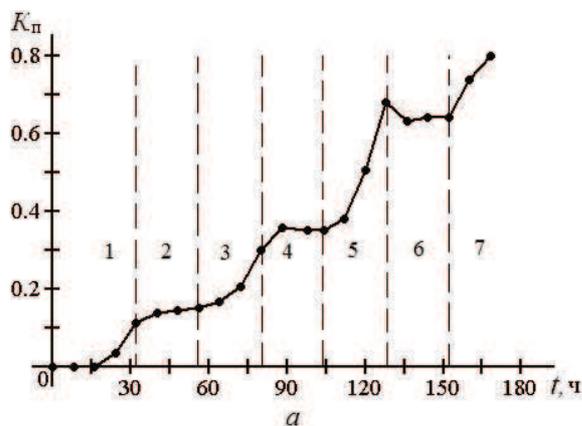


Рис. 4. Зависимость коэффициента поглощения светового потока (а) и летучести (б) от времени испытания частично синтетического моторного масла при циклическом изменении температуры: 1, 3, 5, 7 – циклы повышения температуры от 150 до 180 °С; 2, 4, 6 – циклы понижения температуры от 180 до 150 °С

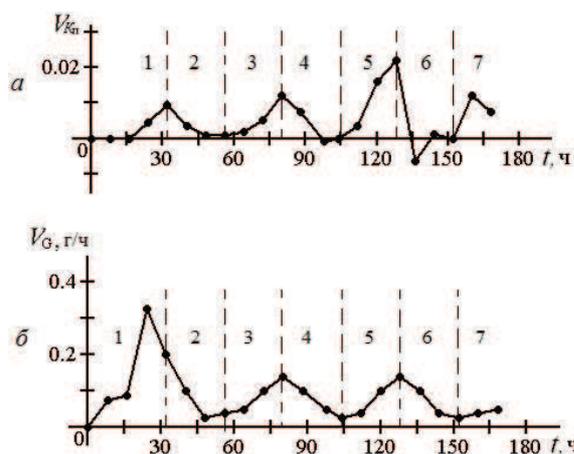


Рис. 5. Зависимости скоростей окисления $V_{\text{ок}}$ (а) и летучести V_G (б) от времени окисления частично синтетического моторного масла при циклическом изменении температуры окисления в диапазоне от 140 до 180 °С (усл. обозн. см. на рис. 4)

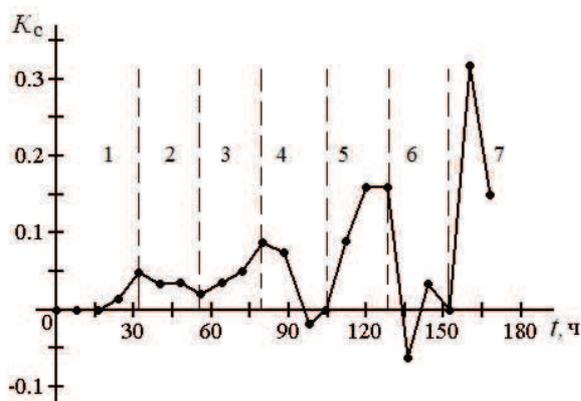


Рис. 6. Зависимость коэффициента интенсивности процессов самоорганизации, протекающих в частично синтетическом моторном масле, от времени окисления при циклически изменяющейся температуре в диапазоне от 150 до 180 °С (усл. обозн. см. на рис. 4)

Влияние продуктов окисления на противоизносные свойства масла представлено зависимостью диаметра пятна износа U от коэффициента поглощения светового потока $K_{\text{п}}$ (рис. 7, а). Показано, что противоизносные свойства моторного масла изменяются в пределах от 0,32 до 0,26 мм, причем значительные изменения наступают при коэффициенте $K_{\text{п}}=0,25$, т. е. когда образуются более энергоемкие продукты окисления. В этой связи предложен критерий противоизносных свойств Π (рис. 7, б), определяемый эмпирическим выражением:

$$\Pi = K_{\text{п}} / U. \quad (1)$$

Данный критерий характеризует концентрацию продуктов окисления на номинальной площади фрикционного контакта и описывается линейным уравнением вида

$$\Pi = 3,5 K_{\text{п}},$$

где 3,5 – коэффициент, характеризующий скорость изменения критерия Π .

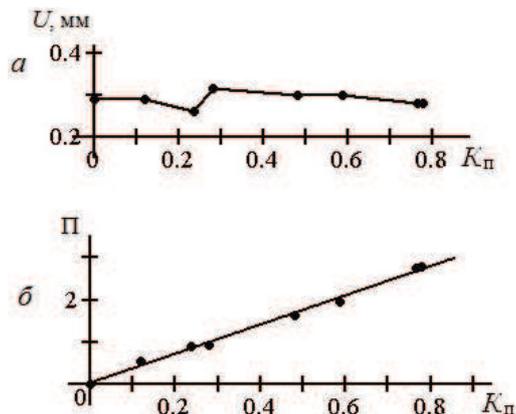


Рис. 7. Зависимость диаметра пятна износа (а) и критерия противоизносных свойств Π (б) от коэффициента поглощения светового потока частично синтетического моторного масла

Предложенный критерий рекомендуется использовать при классификации моторных масел по группам эксплуатационных свойств и контроле их противоизносных свойств без испытания на машине трения при их производстве. В этом случае используют формулу (1) и принимают график (рис. 7, б) за эталонную зависимость

$$U = K_{\text{п}} / \Pi.$$

Для контроля противоизносных свойств достаточно термостатировать масло при температуре 180 °С в течение 20...30 ч, определить коэффициент $K_{\text{п}}$ и диаметр пятна износа.

Механические процессы, протекающие на фрикционном контакте, оценивались коэффициентом электропроводности фрикционного контакта K_f и временем его формирования $t_{\text{фнк}}$, определяемыми из диаграмм записи тока (рис. 8), протекающего через фрикционный контакт от внешнего стабилизированного источника питания (3 В). Из представленных диаграмм видно, что ток уменьшается до определенного значения, а затем стабилизируется на определенной величине, зависящей от концентрации продуктов окисления. Коэффициент электропроводности K_f определяется отношением тока, протекающего через фрикционный контакт к заданному току (100 мкА), устанавливаемого при статическом положении шара и цилиндра и при наступлении стабилизации, т. е. установившегося изнашивания, а время формирования фрикционного контакта определялось по времени наступления стабилизации тока.

При термостатировании и триботехнических испытаниях смазочный материал избыточную тепловую энергию сбрасывает в виде продуктов окисления, испарения и формирования защитных граничных слоев на поверхностях трения. Поэтому в работе предложен критерий условной энергии Q , поглощенной смазочным материалом при термостатировании и триботехнических испытаниях, определяемый суммой коэффициента термоокислительной стабильности и параметра износа. Зависимость данного критерия от коэффициента по-

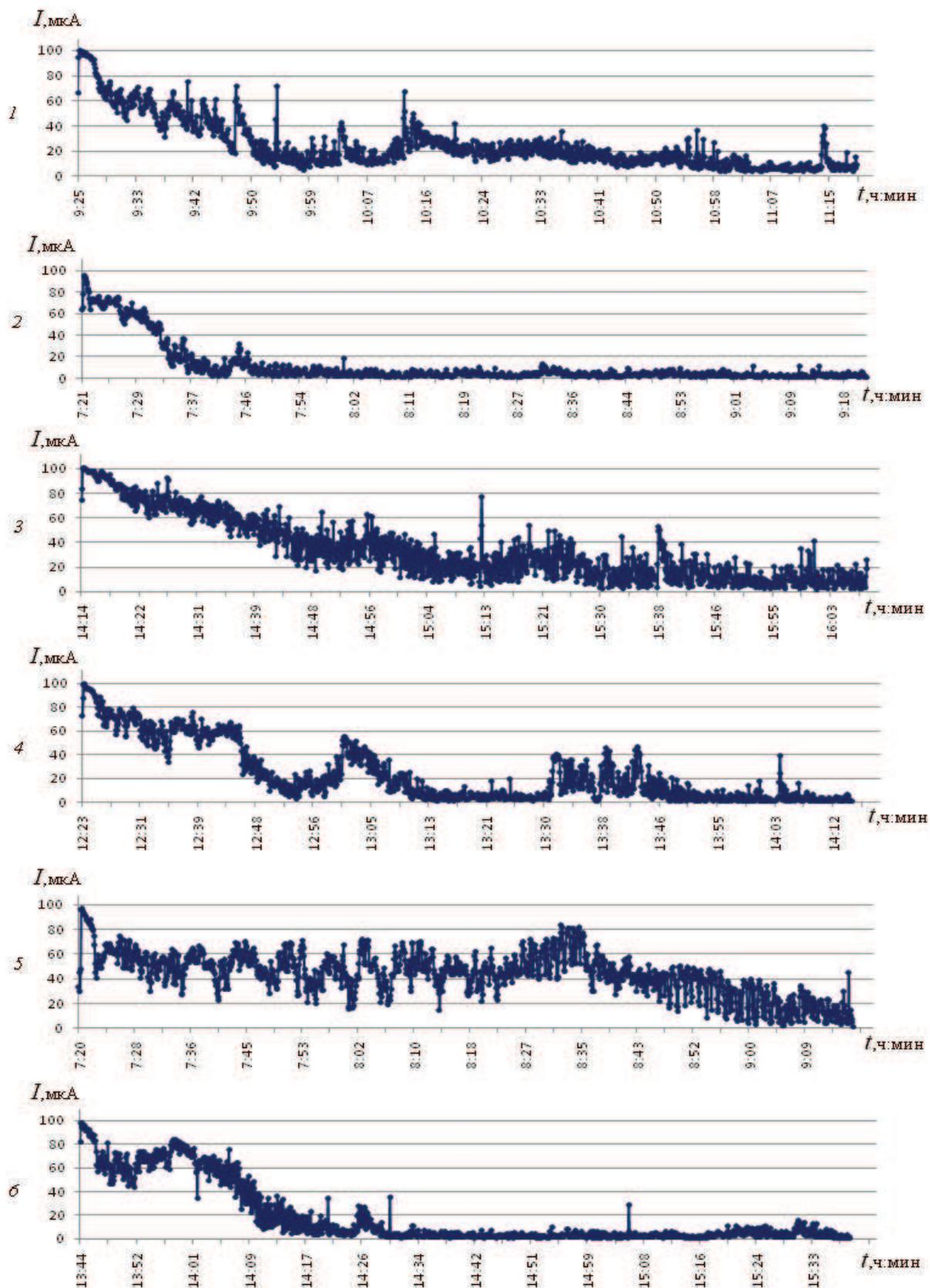


Рис. 8. Диаграммы записи тока, протекающего через фрикционный контакт, при разных концентрациях продуктов окисления частично синтетического моторного масла. Значения K_n : 1) товарное масло; 2) 0,237; 3) 0,280; 4) 0,480; 5) 0,587; 6) 0,780

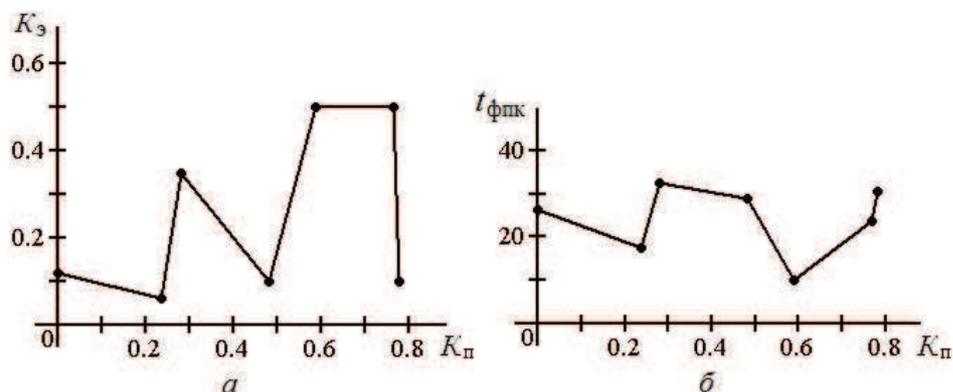


Рис. 9. Зависимость коэффициента электропроводности фрикционного контакта K_3 (а) и времени его формирования $t_{фпк}$ (б) от концентрации продуктов окисления частично синтетического моторного масла

глощения светового потока представлена на рис. 10 и описывается линейным уравнением вида

$$Q_y = 0,284 + 1,053 K_{п},$$

где 0,284 – коэффициент, характеризующий поглощенную энергию маслом при триботехнических испытаниях; 1,053 – коэффициент, характеризующий скорость изменения критерия Q_y ; $K_{п}$ – коэффициент поглощения светового потока.

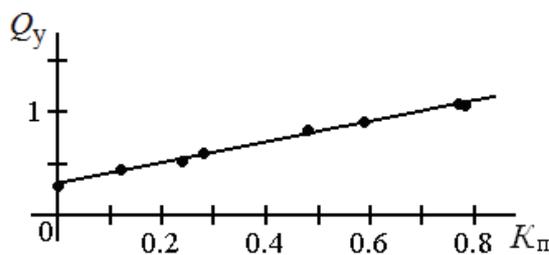


Рис. 10. Зависимость критерия условной энергии, поглощенной смазочным материалом при термостатировании и триботехнических испытаниях частично синтетического моторного масла

Данный критерий принят за условно безразмерную величину и учитывает склонность масла к окислению, испарению, влияние продуктов окисления на его противоизносные свойства и рекомендуется для применения при классификации

моторных масел по группам эксплуатационных свойств.

Выводы

1. Применение фотометрического метода позволяет установить два вида продуктов окисления при термостатировании частично синтетического масла при статической температуре 180 °С, определить изменение вязкости, летучести и интенсивность процессов самоорганизации.
2. Термостатирование масел по циклам повышения и понижения температуры позволяет установить температуры начала процессов окисления и испарения, определить температурную область работоспособности и совершенствовать систему классификации по группам эксплуатационных свойств.
3. Предложены критерии оценки противоизносных свойств, которые позволяют охарактеризовать концентрацию продуктов окисления на номинальной площади фрикционного контакта и условную тепловую энергию, поглощенную смазочным маслом при термостатировании и триботехнических испытаниях, а также более точно классифицировать масла по группам эксплуатационных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковальский Б.И., Безбородов Ю.Н., Фельдман Л.А., Малышева Н.Н. Термоокислительная стабильность трансмиссионных масел. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – 150 с.
2. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов: пат. 2408886 РФ; заявл. 09.11.2009; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1.

3. Способ определения смазывающей способности масел: пат. 2419791 РФ; заявл. 09.03.2010; опубл. 27.05.2011, Бюл. № 15.
4. Устройство для испытания трущихся материалов и масел: пат. 2428677 РФ; заявл. 17.05.2010; опубл. 10.09.2011, Бюл. № 25.

Поступила: 11.05.2012 г.