

УДК 621.895(075)

С. А. Кораблев, И. С. Катрюк, Б. И. Ковальский

**ТЕРМООКСИЛИТЕЛЬНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ЧАСТИЧНО СИНТЕТИЧЕСКОГО ТРАНСМИССИОННОГО МАСЛА CONSOL ТРАНС ЛЮКС 75W–90 GL–5**

Проведены результаты испытаний трансмиссионного масла CONSOL ТРАНС ЛЮКС 75W–90 GL–5 на термоокислительную стабильность. В процессе исследований определены качественные и количественные показатели процессов окисления названного трансмиссионного масла в зависимости от температуры.

Достаточно полная оценка характера изменения основных показателей окислительных процессов, включая коэффициент поглощения светового потока, вязкость, летучесть, коэффициент термоокислительной стабильности, скорость окисления, предопределяет возможность последующей разработки соответствующих методов улучшения эксплуатационных качеств трансмиссионного масла CONSOL ТРАНС ЛЮКС 75W–90 GL–5, применяемого в гипоидных передачах, работающих с ударными нагрузками при контактных напряжениях выше 3000 МПа и изменяющихся температурах до 150 °С.

Трансмиссионное масло CONSOL ТРАНС ЛЮКС 75W–90 GL–5 является всесезонным и представляет смесь минеральной и синтетической основ. По ГОСТ 17479.2–85 данное масло, применяемое в гипоидных передачах, работающих с ударными нагрузками при контактных напряжениях выше 3000 МПа до 150 °С, относится к группе эксплуатационных свойств ТМ–5.

Температурная стабильность трансмиссионных масел является важным эксплуатационным показателем, т. к. при повышенных температурах в сочетании с активным действием кислорода воздуха и каталитическим действием металлических поверхностей происходит окисление масла, образуются нерастворимые вещества, выпадающие в осадок. В результате окисления масла увеличивается вязкость и коррозионная активность, ухудшаются противозадирные свойства.

При работе агрегатов трансмиссии окисляются все компоненты, в том числе и присадки, поэтому особенно опасно уменьшение в масле концентрации противозадирных присадок, что может привести к выходу из строя механизма. Для замедления процесса окисления трансмиссионные масла легируют антиокислительными присадками, которые вступают в реакцию со свободными радикалами и гидроперекисями, образуя неактивные вещества,

растворимые в масле, или разлагают их в менее активные продукты.

Целью настоящих исследований является определение качественных и количественных показателей процесса окисления и зависимости его от температуры.

Испытания проводились на приборе для определения термоокислительной стабильности, обеспечивающим термостатирование и перемешивание масла. Термоокислительная стабильность оценивалась по коэффициенту поглощения светового потока, вязкости, летучести и коэффициенту термоокислительной стабильности, определяемого из выражения

$$K_{\text{ТОС}} = K_{\text{п}} \mu_0 / \mu_{\text{исх}},$$

где  $K_{\text{п}}$  – коэффициент поглощения светового потока;  $\mu_0$  и  $\mu_{\text{исх}}$  – вязкость окисленного и исходного смазочных масел соответственно, сСт.

Кинетика изменения процессов окисления трансмиссионного масла CONSOL ТРАНС ЛЮКС 75W–90 GL–5 представлена зависимостью коэффициента поглощения светового потока от времени испытания (рис. 1). С понижением температуры испытания от 150 до 130 °С наблюдается увеличение количества линейных участков зависимости  $K_{\text{п}} = f(t)$ . Так, при температуре 150 °С

(кривая 1) выделяется два участка, причем переход от первого на второй характеризуется изгибом зависимости, что объясняется различиями в оптических свойствах образующихся при окислении продуктов. Если продлить второй участок зависимости до пересечения с осью абсцисс, то точка пересечения определяет время образования продуктов, оказывающих большее влияние на оптические свойства масла. Угол накло-

на участков зависимости к оси абсцисс определяет скорость образования продуктов окисления, влияющих на оптические свойства масла. Можно полагать, что второй участок характеризует процесс образования конечных продуктов окисления, т. к. после центрифугирования проб масел в кюветах образуется гелеобразный осадок от светло-коричневого до темно-коричневого цвета.

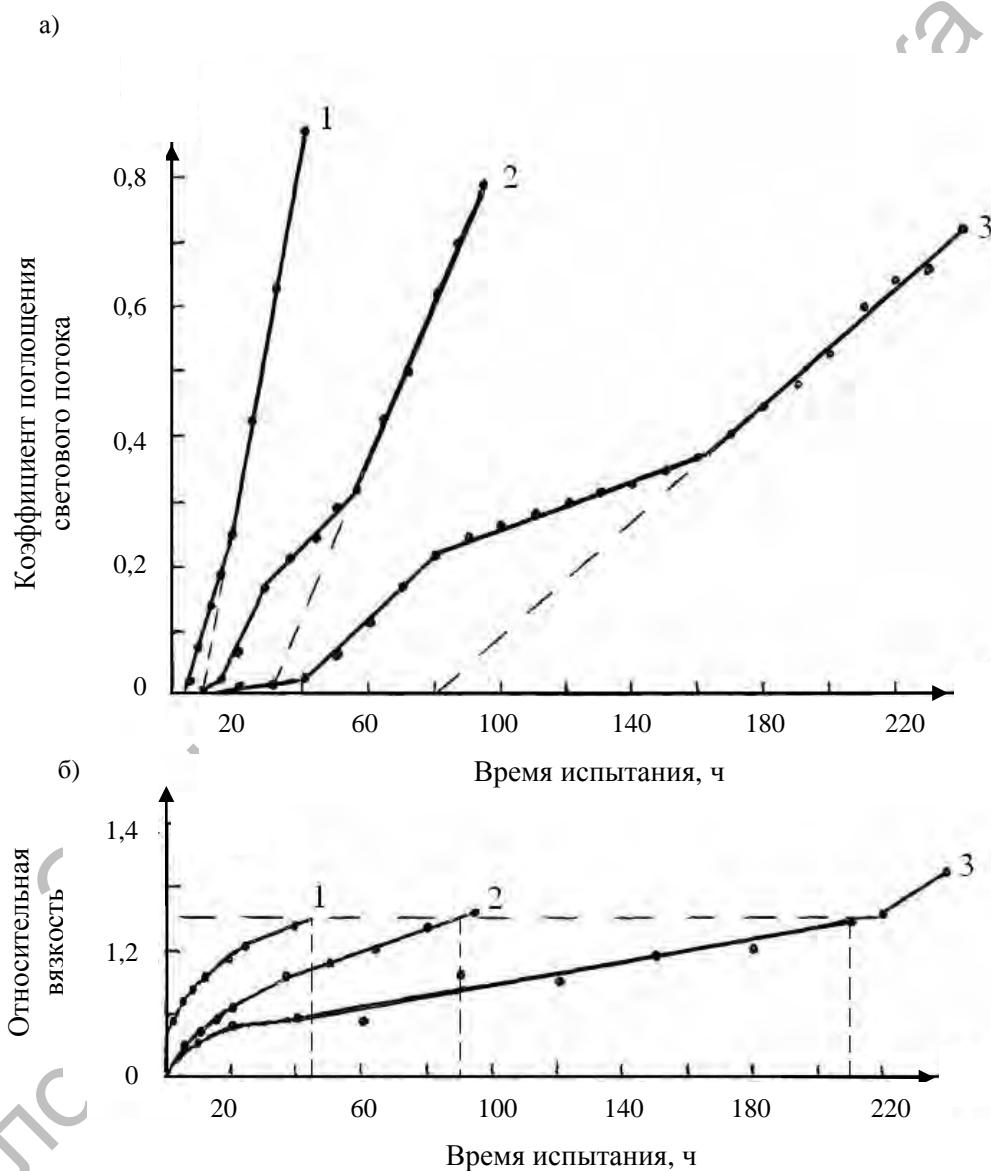


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения светового потока  $K_p$  (а) и относительной вязкости  $\Delta\mu$  (б) от времени и температуры испытания частично синтетического трансмиссионного масла CONSOL ТРАНС ЛЮКС 75W-90 GL-5: 1 - 150 °C; 2 - 140 °C; 3 - 130 °C

С понижением температуры до 140 и до 130 °С зависимости характеризуются четырьмя прямолинейными участками, а переход от одного участка к другому характеризуется изгибом, причем при температуре 130 °С продолжительность этих участков увеличивается, а угол наклона уменьшается. Кроме того, следует отметить, что если продлить конечные (четвертые) участки зависимостей  $K_{\text{п}} = f(t)$  для температур испытания 130 и 140 °С до пересечения с осью абсцисс (штриховые линии), то они параллельны вторым участкам, а время начала конечного участка (точки на оси абсцисс) соответствует времени окончания второго участка. На основании изложенного можно предположить, что первый участок характеризует процесс образования начальных продуктов и при достижении определенной их концентрации они переходят в промежуточные, а интенсивность их образования характеризуется скоростью (угол наклона участка к оси абсцисс) и продолжительностью второго участка. При достижении определенной концентрации промежуточных продуктов они переходят в конечные продукты. Этим объясняется совпадение времени окончания второго участка и начала четвертого участка. Наличие третьего участка, замедляющего окисление масла, вызвано наличием синтетической базовой основы, которая образует свои промежуточные продукты, израсходовав при этом часть кислорода и замедлив общий процесс окисления минеральной основы. Однако при температуре 150 °С интенсивность образования начальных и промежуточных продуктов возрастает, уменьшается время их образования и на графике (кривая 1) их не видно.

Влияние процесса окисления и образующихся при этом продуктов на вязкость (рис. 1, б) оценивалось относительной вязкостью  $\Delta\mu$ , определяемой отношением вязкости окисленного масла к вязкости исходного. Интенсивность изменения отно-

сительной вязкости сильно зависит от температуры испытания. Например, значение  $\Delta\mu = 1,25$  достигается при испытании масла в течение 45 ч для температуры 150 °С, 90 ч – при температуре 140 °С и 220 ч – при температуре испытания 130 °С. Таким образом, температура является основным фактором, снижающим ресурс трансмиссионного масла, поэтому при разработке агрегатов трансмиссии необходимо этот фактор учитывать и предусматривать технические решения по снижению температурных условий эксплуатации.

Связь между относительной вязкостью и образующимися продуктами при окислении трансмиссионного масла можно представить зависимостью от коэффициента поглощения светового потока  $K_{\text{п}}$  (рис. 2, а). В начале испытания, образующиеся в процессе окисления продукты оказывают влияние на вязкость до значения  $K_{\text{п}} = 0,3$ , причем с понижением температуры испытания наблюдается снижение вязкости. При значениях коэффициента  $K_{\text{п}}$  от 0,3 до 0,65 продукты окисления оказывают одинаковое влияние на вязкость независимо от температуры испытания. Имеющиеся различия зависимости  $\Delta\mu = f(K_{\text{п}})$  характерны для температуры испытания 130 °С при  $K_{\text{п}} > 0,65$ , что объясняется значительным увеличением времени испытания.

Механизм окисления можно оценить зависимостью коэффициента термоокислительной стабильности  $K_{\text{тос}}$  от коэффициента поглощения светового потока  $K_{\text{п}}$  (рис. 2, б), который рассматривает влияние продуктов окисления на оптические свойства и вязкость масла при его испытании. Если продукты окисления оказывают одинаковое влияние на вязкость и оптические свойства масла, то зависимость  $K_{\text{тос}} = f(K_{\text{п}})$  будет наклонена к оси абсцисс под углом 45 °С (штриховая линия), а если они ока-

зывают большее влияние на вязкость, то зависимость наклонена под углом больше  $45^\circ$ . По данным рис. 2, б можно сделать вывод, что образующиеся продукты окисления в исследуемом диапазоне температур имеют одинаковый состав, но разную

концентрацию. Однако при температуре  $130^\circ\text{C}$  и при значениях  $K_{\text{т}} > 0,5$  наблюдается более интенсивное влияние продуктов на вязкость масла, что объясняется значительным увеличением времени испытания.

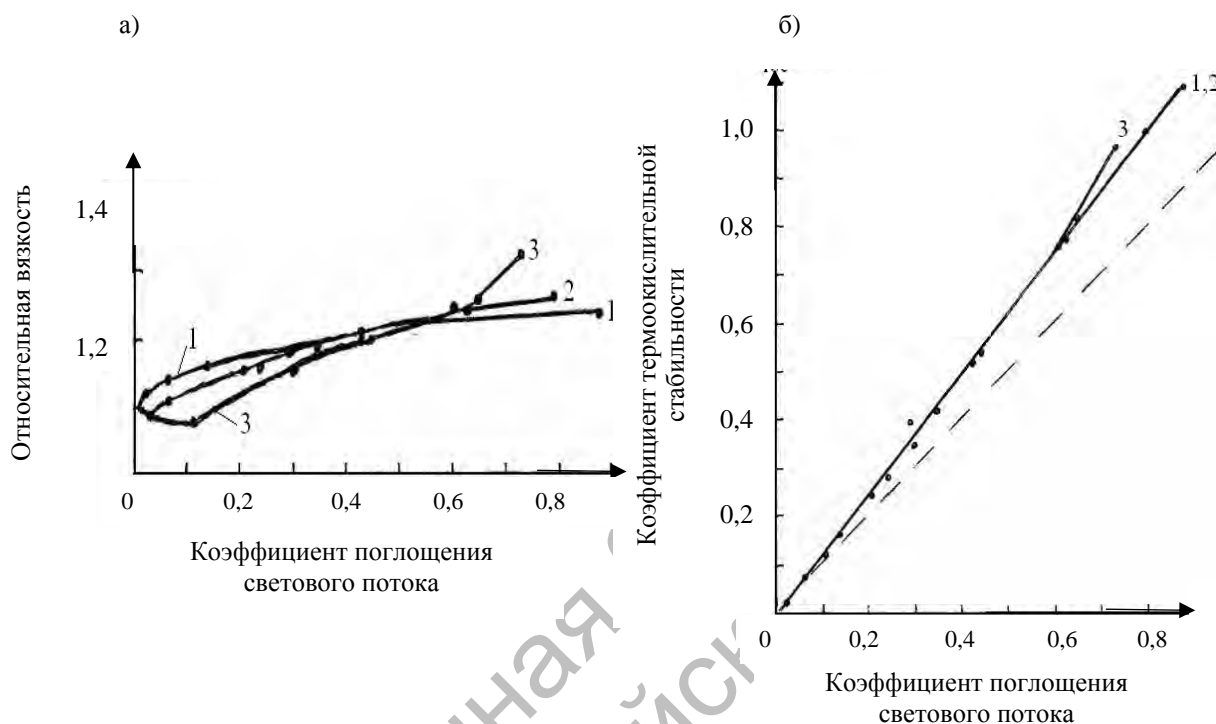


Рис. 2. Зависимость относительной вязкости  $\Delta\mu$  (а) и коэффициента термоокислительной стабильности  $K_{\text{тос}}$  (б) от коэффициента поглощения светового потока и температуры испытания частично синтетического трансмиссионного масла CONSOL ТРАНС ЛЮКС 75W-90 GL-5: 1 –  $150^\circ\text{C}$ ; 2 –  $140^\circ\text{C}$ ; 3 –  $130^\circ\text{C}$

Важным эксплуатационным показателем трансмиссионных масел является летучесть, которая определяет температурную область работоспособности (рис. 3) и зависит от температуры испытания. Так, 10 г масла испаряется при температурах:  $150^\circ\text{C}$  за 33 ч,  $140^\circ\text{C}$  за 70 ч и  $130^\circ\text{C}$  за 182 ч, поэтому снижение температуры от  $150$  до  $140^\circ\text{C}$  снижает летучесть в 2,1 раза, а снижение температуры испытания от  $150$  до  $130^\circ\text{C}$  снижает летучесть в 5,5 раза. Высокие температурные условия эксплуатации вызывают дополнительное увеличение вязкости, а значит, сокращают ресурс и увеличивают механические потери агрегатов трансмиссий.

Зависимости скорости окисления от температуры и времени испытания представлены на рис. 4. Согласно приведенным данным скорость окислительных процессов сильно зависит от температуры испытания, так, после 40 ч испытания скорость окисления составила для температуры испытания  $150^\circ\text{C}$  – 0,0215 ч, для температуры  $140^\circ\text{C}$  – 0,0055 ч, а температуры  $130^\circ\text{C}$  окислительные процессы протекают со скоростью, которую аппаратура не регистрирует, т. е. для масла CONSOL ТРАНС ЛЮКС существует область сопротивляемости окислению, продолжительность которой также зависит от температуры. Так, для

температуры испытания 150 °С она составляет 4 ч, температуры 140 °С – 11 ч и температуры 130 °С – 44 ч. Кроме того, для температуры испытания 130 °С скорость окисления в диапазоне времени от 70 до 240 ч остается постоянной.

Сложность окислительных процессов, протекающих при окислении смазочного материала можно рассмотреть по характеру изменения приращения скорости окисления  $\Delta V_{\text{Кп}}$  от времени испытания (рис. 5).

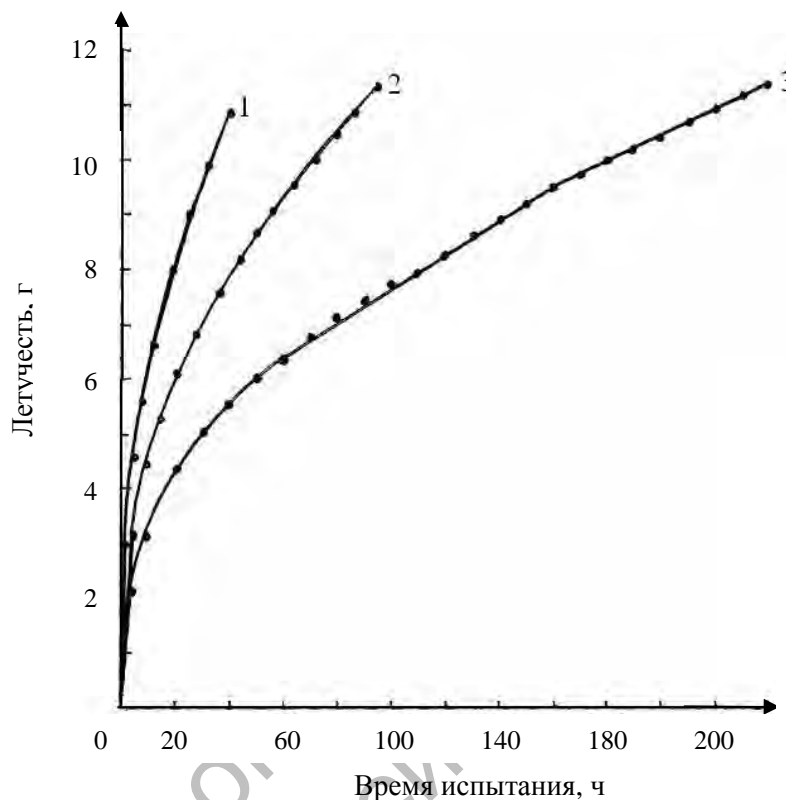


Рис. 3. Зависимость летучести от времени и температуры испытания частично синтетического трансмиссионного масла CONSOL TRANС LЮКС 75W-90 GL-5: 1 – 150 °С; 2 – 140 °С; 3 – 130 °С

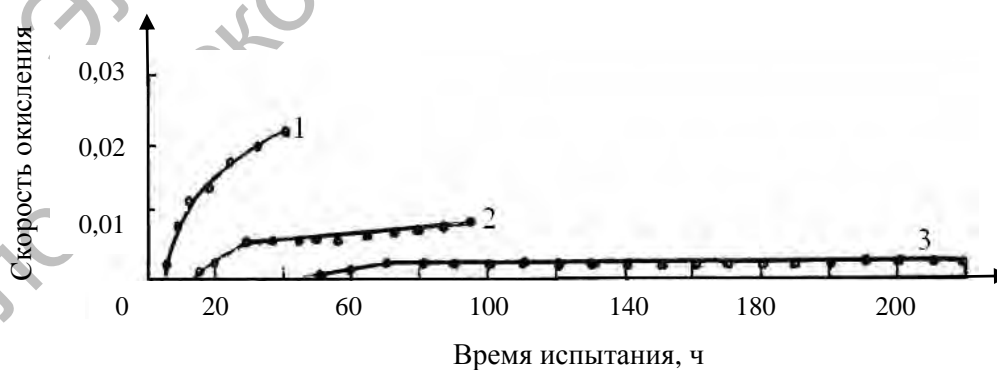


Рис. 4. Зависимость скорости окисления  $V_{\text{Кп}}$  от времени и температуры испытания частично синтетического трансмиссионного масла CONSOL TRANС LЮКС 75W-90 GL-5: 1 – 150 °С; 2 – 140 °С; 3 – 130 °С



Рис. 5. Зависимость приращения скорости окисления  $\Delta V_{\text{Кп}}$  от времени и температуры испытания частично синтетического трансмиссионного масла CONSOL TRANS ЛЮКС 75W-90 GL-5: 1 – 150 °C; 2 – 140 °C; 3 – 130 °C

Общей закономерностью изменения приращения скорости окисления является его начальное увеличение, что характерно для периода образования начальных и промежуточных продуктов окисления и перехода этой зависимости в колебательный режим, амплитуда колебаний сильно зависит от температуры испытания.

Процесс окисления при температуре испытания 150 °C можно описать следующим образом. В течение 10 ч испытания скорость окисления возрастает, что обусловлено образованием начальных и промежуточных продуктов окисления. В период от 10 до 20 ч происходит уменьшение скорости окисления, вследствие образования конечных продуктов окисления, что подтверждается зависимостью  $K_{\text{п}} = f(t)$  (см. рис. 1, а), где штриховая линия начинается от времени, равного 10 ч.

Падение скорости окисления вызвано поглощением основной части кислорода промежуточными продуктами, т. к. энергия активации при образовании начальных и промежуточных продуктов выше, чем энергия активации при образовании конечных продуктов. После 20 ч испытания колеба-

ния приращения скорости окисления обусловлены поочередными изменениями концентрации промежуточных и конечных продуктов окисления. Так, для примера, при окислении масла при температуре 150 °C после 20 ч испытания происходит накопление промежуточных продуктов до 25 ч, а затем их концентрация падает за счет превращения в конечные продукты. Этот процесс превращения длится от 25 до 32 ч, после чего он повторяется. Такой механизм окисления характерен при окислении масла при температурах испытания 130 и 140 °C, однако амплитуда приращения скорости окисления и продолжительность периодов образования и превращения промежуточных продуктов в конечные изменяется.

Таким образом, применение таких показателей окислительного процесса, как коэффициент поглощения светового потока, вязкость, летучесть, коэффициент термоокислительной стабильности и скорость окисления, позволяет создать физическую модель этого процесса и ее зависимость от температурных условий испытания.

Морская Государственная академия им. Ф. Ф. Ушакова  
Сибирский Федеральный университет  
Материал поступил 30.06.2007

**S. A. Korablev, I. S. Katrjuk, B. I. Kovalsky**  
**Thermal and oxidizing stability of partly synthetic**  
**transmission oil CONSOL TRANS LUX 75W-90 GL-5**

F. F. Ushakov Naval State Academy  
Siberian Federal University

Testing results of transmission oil CONSOL TRANS LUX 75W-90 GL-5 on thermal and oxidizing stability have been obtained. Qualitative and quantitative indicators of oxidizing processes of the mentioned transmission oil depending on temperature have been defined.

Full enough estimation of changing character of the main parameters of oxidizing processes including a light stream absorption factor, viscosity, volatility, thermal and oxidizing stability factor and oxidation speed gives opportunity for further development of corresponding methods of operation qualities of transmission oil CONSOL TRANS LUX 75W-90 GL-5 improvement, applied in transfers working with shock loadings at contact pressure above 3000 MPa and changing temperatures up to 150 °C.