

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-4-130-134  
УДК 621.892.8-721

## МЕТОД КОНТРОЛЯ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

## METHOD FOR CONTROLLING THE THERMAL OXIDATION STABILITY OF MOTOR OILS

**Ермилов Евгений Александрович,**

аспирант, e-mail: evermilov@mail.ru

**Ermilov Evgeniy A.,** postgraduate

**Ковальский Болеслав Иванович,**

доктор техн. наук, профессор, e-mail: labism@mail.ru

**Kovalsky Boleslav I.,** D. Sc., Professor

**Олейник Виктор Зиновьевич,**

аспирант, e-mail: OleynikVictor@gmail.com

**Oleinik Viktor Z.,** postgraduate

**Батов Николай Сергеевич,**

аспирант, e-mail: ns.batov@gmail.com

**Batov Nikolay S.,** postgraduate

Сибирский Федеральный Университет Институт Нефти и Газа, г. Красноярск, Свободный проспект д. 82 стр. 6, 660041, Россия.

Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas 82 / 6, pr. Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia.

**Аннотация.** При эксплуатации двигателя внутреннего сгорания на поверхностях трения одновременно протекают процессы окисления, температурной деструкции и химические реакции металлов с их продуктами и присадками. Однако доминирующее влияние одного из процессов на физико-химические и противоизносные свойства масел изучены недостаточно. Поэтому целью настоящих исследований является поиск нового критерия, учитывающего оптические свойства термостатированного масла, индекс вязкости и противоизносные свойства. Представлены экспериментальные результаты исследования эмпирического критерия термоокислительной стабильности моторных масел различной базовой основы, определяемого отношением произведения оптической плотности на десятичный логарифм индекса вязкости к среднеарифметическому значению диаметра пятна износа. Установлено, что базовая основа моторных масел и температура испытания оказывают различное влияние на эмпирический критерий термоокислительной стабильности.

**Abstract.** During operation of an internal combustion engine, the processes of oxidation, temperature destruction and chemical reactions of metals with their products and additives proceed simultaneously on friction surfaces. However, the dominant influence of one of the processes on the physical, chemical and anti-wear properties of oils has not been adequately studied. Therefore, the purpose of the present study is to find a new criterion that takes into account the optical properties of thermostatically controlled oil, viscosity index and anti-wear properties. The experimental results of the study of the empirical criterion of the thermal oxidation stability of motor oils with various bases, determined by the ratio of the product of optical density and the decimal logarithm of the viscosity index to the arithmetic mean value of the wear spot diameter, are presented. It has been established that the base of motor oils and the test temperature have a different effect on the empirical criterion of thermal oxidation stability.

**Ключевые слова:** термоокислительная стабильность, оптическая плотность, индекс вязкости, параметр износа, температура испытания.

**Keywords:** thermal oxidation stability, optical density, viscosity index, wear parameter, test temperature.

**Введение.** В ходе эксплуатации трибосистемы, под воздействия высокой температуры масло претерпевает значительное старение, уменьшается содержание присадок, что ведет к снижению работоспособности масла. Масло теряет способность противостоять процессам деструкции, что сопровождается увеличением его вязкости за счет образования нерастворимых продуктов деструк-

ции. Использование такого масла приводит к интенсивному износу деталей механизмов [1-7].

Термоокислительная стабильность моторных масел относится к основным эксплуатационным свойствам [8]. Основными показателями термоокислительной стабильности является оптическая плотность и испаряемость, характеризующая количество поглощенной тепловой энергии маслом в

процессе эксплуатации двигателя внутреннего сгорания [9, 10]. В работе [11] предложен критерий термоокислительной стабильности  $E_{\text{тос}}$  определенный суммой показателей

$$E_{\text{тос}} = D + K_g, \quad (1)$$

где  $D$  – оптическая плотность;  $K_g$  – коэффициент испаряемости.

$$K_g = \frac{m}{M}, \quad (2)$$

где  $m$  – масса испарившегося масла, г;  $M$  – масса масла после термостатирования, г.

В работе показатель термоокислительной стабильности определяется произведением коэффициента поглощения светового потока на относительную вязкость, определяемую отношением кинематической вязкости окисленного масла к вязкости исходного масла.

Для исследования выбраны моторные масла различной базовой основы: минеральное ZIC HIFLO 10W – 40 SL; частично синтетическое Castrol Magnatec 10W – 40R SL/CF; синтетическое ALPHA'S 10W – 40SN.

**Методика исследования** заключается в следующем. Пробу исследуемого смазочного материала постоянной массы, например  $100 \pm 0,1$  г, нагревают до температуры ниже критической, и испытывают при температурах 180 и 170 °C с перемешиванием механической мешалкой для смешивания с кислородом воздуха для исследования процессов окисления. Температура и частота вращения мешалки в процессе испытания поддерживались автоматически [12].

Через равные промежутки времени испытания отбирают часть пробы термостатированного смазочного материала для прямого фотометрирования и определения оптической плотности  $D$ , часть пробы используют для определения кинематической вязкости при температурах 40 и 100 °C и вычисления индекса вязкости (ГОСТ 25371–97 ИСО 2909–81), а часть пробы используют для определения противоизносных свойств термостатированных масел на трехшариковой машине трения со схемой «шар – цилиндр» с параметрами: нагрузка 13 Н, скорость скольжения 0,68 м/с; температура смазочного материала в объеме 80 °C, время испытания 2 часа. Противоизносные свойства термостатированных смазочных материалов оценивались по среднеарифметическому значению диаметра пятна износа на тех шарах с двух параллельных опытов [13–15]. Термостатирование смазочных масел прекращалось после достижения оптической плотности значений равных 0,4 – 0,5.

По полученным данным оптической плотности, индекса вязкости и противоизносным свойствам вычислялся показатель термоокислительной стабильности  $K_{\text{тос}}$ .

$$K_{\text{тос}} = \frac{D \cdot \log IV}{I}, \quad (3)$$

где  $D$  – оптическая плотность термостатированного смазочного материала;  $\log IV$  – десятичный логарифм индекса вязкости;  $I$  – среднеарифмети-

ческое значение пятна износа, мм

#### Результаты исследования и их обсуждения.

Результаты испытания моторных масел различной базовой основы сведены в таблицу. По полученным экспериментальным данным строились графические зависимости показателя термоокислительной стабильности  $K_{\text{тос}}$  от оптической плотности для минерального ZIC HIFLO 10W – 40 SL (рис 1), частично синтетического Castrol Magnatec 10W – 40R SL/CF (рис 2) и синтетического ALPHA'S 10W – 40SN (рис 3) при температурах испытания 180 °C (кривые 1) и 170 °C (кривые 2). Согласно данным (рис 1 – 3, табл) зависимости показателя термоокислительной стабильности от оптической плотности для всех исследованных моторных масел описываются линейными уравнениями.

$$K_{\text{тос}} = a \cdot D, \quad (4)$$

где  $a$  – коэффициент, характеризующий скорость изменения термоокислительной стабильности

Установлено (табл 1), что скорость изменения показателя термоокислительной стабильности неоднозначно зависит от базовой основы моторного масла. Так для минерального и частично синтетического моторных масел скорость изменения показателя термоокислительной стабильности не зависит от температуры термостатирования, однако величина показателя выше у частично синтетического масла. Для синтетического масла значения показателя  $K_{\text{тос}}$  ниже при температуре испытания 170 °C, а при 180 °C испытания величина показателя самая высокая из числа исследованных масел.

Если сравнивать исследованные моторные масла при одном значении оптической плотности, то величина показателя  $K_{\text{тос}}$  зависит от соотношения между индексом вязкости и противоизносными свойствами, поэтому чем больше величина показателя  $K_{\text{тос}}$ , тем выше противоизносные свойства исследуемого масла или высокий индекс вязкости. В этой связи можно утверждать, что показатель термоокислительной стабильности является эмпирической, эксплуатационной характеристикой моторных масел, так как учитывает сопротивляемость их окислению  $D$ , вязкостно – температурную характеристику индекса вязкости и противоизносные свойства и может использоваться для классификации по группам эксплуатационных свойств (API). Так, минеральное и частично синтетическое масло относятся к группе SL, а синтетическое к более высокой группе SN, а скорость изменения показателя  $K_{\text{тос}}$  для первых двух масел при температуре испытания 180 °C составили соответственно 6,67 и 7,0, а синтетического 8,0, что соответствует классификации. При температуре 170 °C более высокие свойства показало частично синтетическое масло, причем оно с минеральным маслом показало стабильные свойства не зависящие от температуры испытания. Синтетическое масло при температуре 170 °C понизило свои свойства в 1,2 раза по сравнению с показателями, полученными при температуре 180 °C (см. табл).

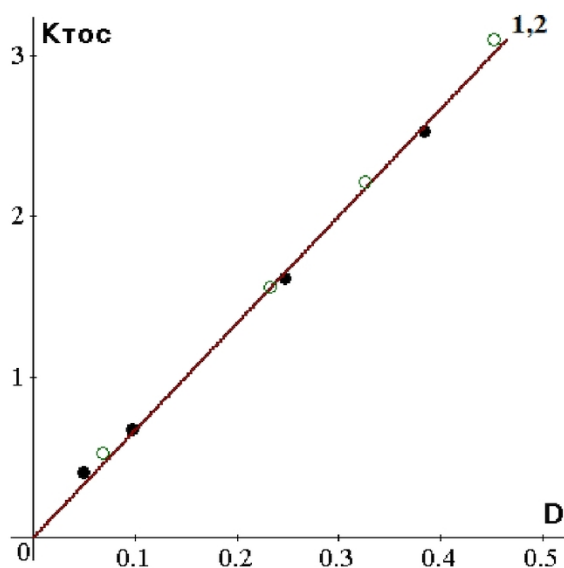


Рис 1. Зависимости эмпирического критерия термоокислительной стабильности от оптической плотности и температуры испытания минерального моторного масла ZIC HIFLO 10W – 40 SL: 1 – 180 °C; 2 – 170 °C

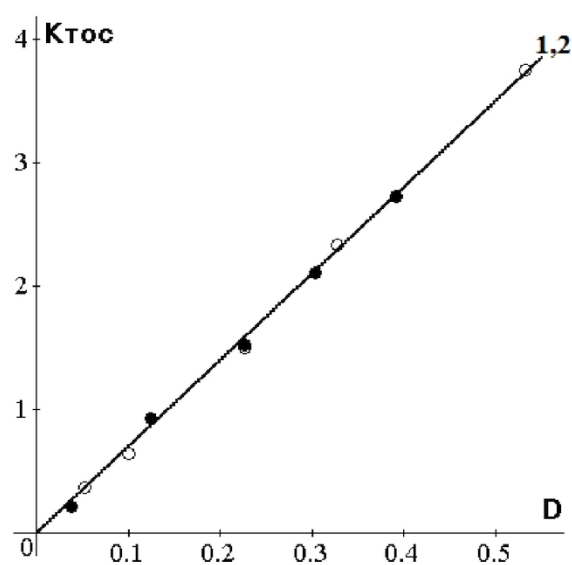


Рис 2. Зависимости эмпирического критерия термоокислительной стабильности от оптической плотности и температуры испытания частично синтетического моторного масла Castrol Magnatec 10W – 40R SL/CF: 1 – 180 °C; 2 – 170 °C

Таблица 1 – Результаты испытания моторных масел различной базовой основы

Марка масла	Температура испытания, °C	Время Испытания	Оптическая плотность, D	Индекс вязкости, ИВ	Диаметр пятна износа, мм	Показатель, $K_{тоc}$	Регрессионное уравнение $K_{тоc} = \alpha D$
ZIC HIFLO 10W – 40 SL Минеральное	180	16	0,049	105,25	0,245	0,404	$K_{тоc} = D \cdot 6,67$
		32	0,097	104,31	0,290	0,675	
		40	0,247	104,31	0,308	1,619	
		48	0,384	104,74	0,307	2,53	
	170	32	0,069	99,71	0,262	0,525	$K_{тоc} = D \cdot 6,67$
		48	0,232	97,41	0,296	1,558	
		72	0,325	105,73	0,297	2,216	
		88	0,452	105,87	0,295	3,1	
Castrol Magnatec 10W – 40R SL/CF Частично синтетическое	180	24	0,039	107,74	0,374	0,214	$K_{тоc} = D \cdot 7,0$
		40	0,125	107,43	0,274	0,927	
		48	0,227	99,90	0,297	1,526	
		56	0,304	97,17	0,287	2,105	
		122	0,391	92,79	0,282	2,728	
	170	40	0,052	115,33	0,294	0,366	$K_{тоc} = D \cdot 7,0$
		56	0,101	105,79	0,315	0,647	
		72	0,227	100,70	0,302	1,504	
		96	0,328	100,60	0,291	2,33	
ALPHA` S 10W – 40SN синтетическое	180	24	0,114	117,95	0,265	0,887	$K_{тоc} = D \cdot 8,0$
		32	0,273	117,82	0,248	2,278	
		40	0,377	134,16	0,259	3,1	
		48	0,504	106,23	0,253	4,042	
	170	32	0,056	117,95	0,305	0,38	$K_{тоc} = D \cdot 6,67$
		56	0,262	105,80	0,297	1,786	
		72	0,350	106,35	0,303	2,339	
		96	0,486	131,21	0,312	3,30	

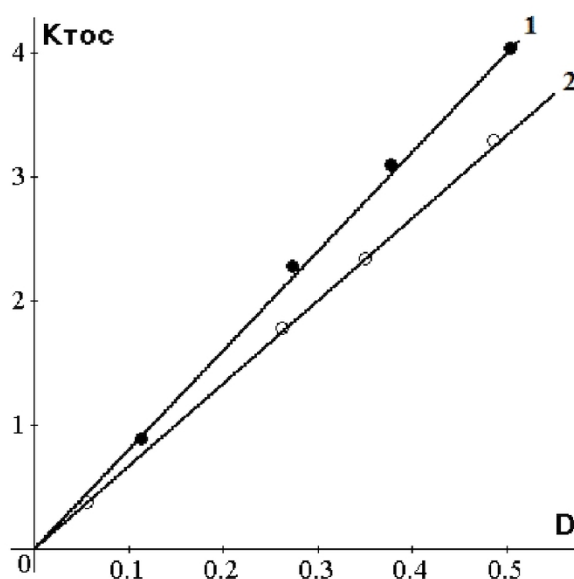


Рис 3. Зависимости эмпирического критерия термоокислительной стабильности от оптической плотности и температуры испытания синтетического моторного масла ALPHA S 10W – 40SN: 1 – 180 °C; 2 – 170 °C.

**Вывод.** На основании проведенных исследований показано, что предложенный эмпирический критерий противоизносных свойств, определяемый отношением произведения оптической плотности окисленного масла на десятичный логарифм

индекса вязкости к показателю противоизносных свойств позволяет комплексно оценить эксплуатационные свойства исследуемых масел и их отношение к группам эксплуатационных свойств по классификации API.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтшулер, М.А. Применение смазочных материалов в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Химия, 1979. – 224 с.
2. Бакунин, В.Н. О роли мицеллообразования в реакциях высокотемпературного окисления углеводородов / В.Н. Бакунин, Г.Н. Кузьмина, О.П. Паренаго // Нефтехимия. 1997. – Т. 37. – № 2. – С. 99–104.
3. Влияние условий жидкофазного высокотемпературного окисления гексадекана на механизм процесса / Э.Ю. Оганесова, Е.Г. Бордубанова, З.В. Попова и др. // Нефтехимия. – 2004. – Т. 44. – № 2. – С. 119–126.
4. Условия формирования и свойства мицеллярной структуры продуктов окисления гексадекана, изученные методом солубилизации красителя / Э.Ю. Оганесова, В.Н. Бакулин, Е.Г. Бордубанова, Г.Н. Кузьмина, О.П. Паренаго // Нефтехимия. – 2005. – Т. 45. – № 4. – С. 294–300.
5. Полуин, В.Н. Исследование эксплуатационных свойств автомобильных масел и присадок к ним / В.Н. Полуин, С.Е. Павлихин, В.П. Дорфман // Использование смазочных материалов и присадок. Испытание. Применение. Перспективы. (Спец. Выпуск журнала «Трение. Износ. Смазка»). – 2003. – Март. – 144 с.
6. Impact of engine oil degradation on wear and corrosion caused by acetic acid evaluated by chassis dynamometer bench tests / C. Besser, K. Steinschütz, N. Dorr, F. Novotny-Farkas, G. Allmaier // Elsevier: Wear. – Amsterdam, 2014. № 317. С. 64-76.
7. Особенности методологии химмотологии моторных масел / В. Л. Лашхи, А. Л. Чудиновский, А. В. Золотов, В. А. Салутенкова // Вестник нефтяных компаний. Мир нефтепродуктов, 2016. № 12. – С. 27-31.
8. Mang, T. Industrial tribology / T. Mang, K. Bobzin, T. Bartels. – Weinheim: Wear, 2010. С. 491-494.
9. Anietie, E. Ekot. Evaluation of the Thermooxidation Stabilities of Additive-free Automotive Crankcase Lube Oils / E. Ekot. Anietie, C. Goodwill // The IJES. 2014. – № 7. – P. 54-60.
10. Исследование влияния продуктов температурной деструкции и нагрузки на противоизносные свойства минерального моторного масла М8 – Г2к. Часть 1 / В. Г. Шрам, Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, Н. Н. Малышева, И. В. Надежкин // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2012. №5 (93). С. 57 – 64.

11. Влияние температуры на процессы окисления и температурной деструкции частично-синтетического моторного масла Castrol Magnatec 10W-40 R SL/CF / Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, Е. А. Ермилов, М. М. Рунда // Вестник нефтяных компаний. Мир нефтепродуктов, 2016. № 12. – С. 14-18.
12. Колесников В.И. Исследование триботехнических характеристик пластичных железнодорожных смазок с неорганическими полимерными присадками / В.И. Колесников, М.А. Савенкова, С.Б. Булгаревич и др. // Трение и износ. – 2008 (29), № 3. – С. 261–267.
13. Lubricant Testing. Focussing on Mechanico-Dynamical tests, Edition 09/03, Klüber Lubrication München, Munich, 2003.
14. Useful information in scuffing load tests, Edition 09/06, Klüber Lubrication München, Munich, 2006.
15. Новый метод оценки моющих свойств моторных масел / В. Д. Малыхин, И. К. Юнисов, П. В. Клишин, А. П. Латышев // Технологии нефти и газа, 2015. № 3 (98). – С. 60-63.

## REFERENCES

1. Altshuler, M.A. Application of lubricants in internal combustion engines. - Moscow: Chemistry, 1979. – p.224.
2. Bakunin, V.N. On the role of micelle formation in the reactions of high-temperature oxidation of hydrocarbons / V.N. Bakunin, G.N. Kuzmina, OP Parenago // Petrochemistry. 1997. - P. 37. - № 2. - pp. 99-104.
3. Influence of conditions of liquid-phase high-temperature oxidation of hexadecane on the process mechanism / E.Yu. Oganeseva, E.G. Bordubanova, Z.V. Popova et al. / Neftekhimiya. - 2004. - T. 44. - № 2. - pp. 119-126.
4. Formation conditions and properties of the micellar structure of hexadecane oxidation products, studied by solubilization of a dye / E.Yu. Oganeseva, V.N. Bakulin, E.G. Bordubanova, G.N. Kuzmina, OP Parenago // Petrochemistry. - 2005. - T. 45. - № 4. - pp. 294-300.
5. Polunin, V.N. Research of operational properties of automobile oils and additives to them / V.N. Polunin, S.E., Pavlihin, V.P. Dorfman // Use of lubricants and additives. Test. Application. Prospects. (Special issue of the journal "Friction, Wear Lubrication"). - 2003. - March. – p.144.
6. Besser, K. Steinschütz, N. Dorr, F. Novotny-Farkas, G. Allmaier // Elsevier: Wear. 6. Impact of engine oil degradation on wear and corrosion caused by acetic acid. - Amsterdam, 2014. No. 317. pp. 64-76.
7. Features of the methodology of motor oil chemotherapy: V.L. Lashkhi, A.L. Chudinovsky, A.V. Zolotov, V.A. Salutenkova // Bulletin of Oil Companies. The World of Oil Products, 2016. No. 12. - pp. 27-31.
8. Mang, T. Industrial tribology / T. Mang, K. Bobzin, T. Bartels. - Weinheim: Wear, 2010. pp. 491-494.
9. Anietie, E. Ekot. Evaluation of the Thermo-oxidation Stabilities of Additive-free Automotive Crankcase Lube Oils / E. Ekot. Anietie, C. Goodwill // The IJES. 2014. - No. 7. - pp. 54-60.
10. Investigation of the influence of thermal degradation products and load on the anti-wear properties of mineral motor oil M8-G2k. Part 1 / V.G. Shram, B.I. Kovalsky, Yu. N. Bezborodov, N.N. Malysheva, I.V. Nadeikin // Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2012. №5 (93). pp. 57-64.
11. Effect of temperature on the oxidation and thermal destruction of partially synthetic motor oil Castrol Magnatec 10W-40 R SL / CF / B.I. Kovalsky, Yu. N. Bezborodov, E.A. Ermilov, M.M. Runda // Bulletin of oil companies. The World of Oil Products, 2016. No. 12. - pp. 14-18.
12. Kolesnikov V.I. Investigation of tribotechnical characteristics of plastic rail greases with inorganic polymeric additives / V.I. Kolesnikov, M.A. Savenkova, S.B. Bulgarevich et al. // Friction and wear. - 2008 (29), No. 3. - pp. 261-267.
13. Lubricant Testing. Focusing on Mechanical Dynamical tests, Edition 09/03, Klüber Lubrication München, Munich, 2003.
14. Useful information in scuffing load tests, Edition 09/06, Klüber Lubrication München, Munich, 2006.
15. A new method for evaluating the detergent properties of motor oils / V.D. Malykhin, I.K. Yunisov, P.V. Klishin, A.P. Latsyshev // Oil and Gas Technologies, 2015. No. 3 (98). - pp. 60-63.

Поступило в редакцию 29 мая 2017  
Received 29 May 2017