

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКИСЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕСТРУКЦИИ НА ВЯЗКОСТНО-ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Е.А. Ермилов, Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, В.З. Олейник

Представлены результаты исследования влияния процессов окисления и температурной деструкции на оптические и противоизносные свойства моторных масел различной базовой основы. Установлено, что процессы температурной деструкции протекают менее интенсивно в начале процесса термостатирования, чем процессы окисления. Причем доминирующее влияние продуктов окисления или температурной деструкции на вязкостно-температурные характеристики зависит от температуры и базовой основы моторных масел. Предложен коэффициент доминирующего влияния, определяемый отношением средней скорости процессов температурной деструкции к средней скорости процессов окисления.

Ключевые слова: моторное масло, оптическая плотность, критерии температурной стойкости и термоокислительной стабильности, коэффициент доминирующего влияния.

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 противоизносные свойства масел изучены недостаточно. Поэтому целью настоящих исследований является определение доминирующего влияния продуктов окисления или температурной деструкции на противоизносные свойства моторных масел различной базовой основы при температурах испытания 170 и 180 °С.

Методика исследования предусматривала применение следующих средств контроля и испытания: прибора для оценки термоокислительной стабильности, прибора для оценки температурной стойкости, фотометра, трехшариковой машины трения, оптического микроскопа «Альтами MET 1M» и электронных весов. Технические характеристики приборов приведены в работах [1-3]. В качестве объектов исследования выбраны моторные масла различной базовой основы, а именно минеральное моторное масло ZicHIFLO 10W-40 SL, частично-синтетическое моторное масло CastrolMagnatec 10W-40 RSL/CF и синтетическое моторное масло ALPHA'S 5W-40 SN.

Методика определения термоокислительной стабильности предусматривала следующие действия. Проба масла массой $(100 \pm 0,1)$ г заливалась в стеклянный стакан прибора для оценки термоокислительной ста-

бильности и термостатировалось последовательно при температурах 180 и 170 °С с перемешиванием стеклянной мешалкой с частотой вращения 300 об/мин. После каждых 8 часов испытания отбиралась часть пробы (2 г) для прямого фотометрирования и определения оптической плотности D при толщине фотометрируемого слоя 2 мм:

$$D = \lg \frac{300}{P}, \quad (1)$$

где 300 – задаваемый ток фотометра при пустой кювете, мкА; P – показатель фотометра при фотометрировании термостатированных масел, мкА.

Часть пробы окисленного масла (9 г) использовалась для измерения кинематической вязкости при 40 и 100 °С, с последующим перерасчетом на индекс вязкости (ГОСТ 25371-97) [4]. Испытания продолжались до достижения оптической плотности D значений 0,5-0,6.

Методика определения температурной стойкости предусматривала следующие действия. Проба масла массой $(100 \pm 0,1)$ г заливалась в стеклянный стакан прибора для оценки температурной стойкости и термостатировалось при температурах 180 и 170 °С без перемешивания при атмосферном давлении с конденсацией паров и отводом конденсата. После каждых 8 часов испытания отбиралась часть пробы для прямого фотометрирования и определения оптической плотности D по формуле (1). Часть пробы масла, подверженного температурной деструкции (9 г), использовалась для измерения кинематической вязкости при 40 и 100 °С, с последующим перерасчетом на индекс вязкости. Испытания продолжались до достижения оптической плотности D значений равных 0,5-0,6.

Результаты исследования и их обсуждения

На рис. 1 представлены зависимости оптической плотности от времени и температуры испытания исследуемых моторных масел различной базовой основы. Согласно данным (рис. 1,а,б,в) процессы старения моторных масел можно разделить на три этапа независимо от базовой основы и температуры испытания. Установлено, что на первом этапе интенсивность процессов окисления и температурной деструкции практически одинакова. На втором этапе идет понижение интенсивности процессов температурной деструкции (кривые 1, 3) над процессами окисления (кривые 2, 4), что объясняется отсутствием перемешивания масла при термостатировании. На третьем этапе испытаний интенсивность процессов температурной деструкции превышает процессы окисления.

Зависимости оптической плотности от времени испытания (рис. 1) имеют изгиб, что свидетельствует об образовании двух видов продуктов старения различной энергоемкости. Регрессионные уравнения зависимостей первых участков $D = f(t)$ для моторных масел представлены в табл.1.

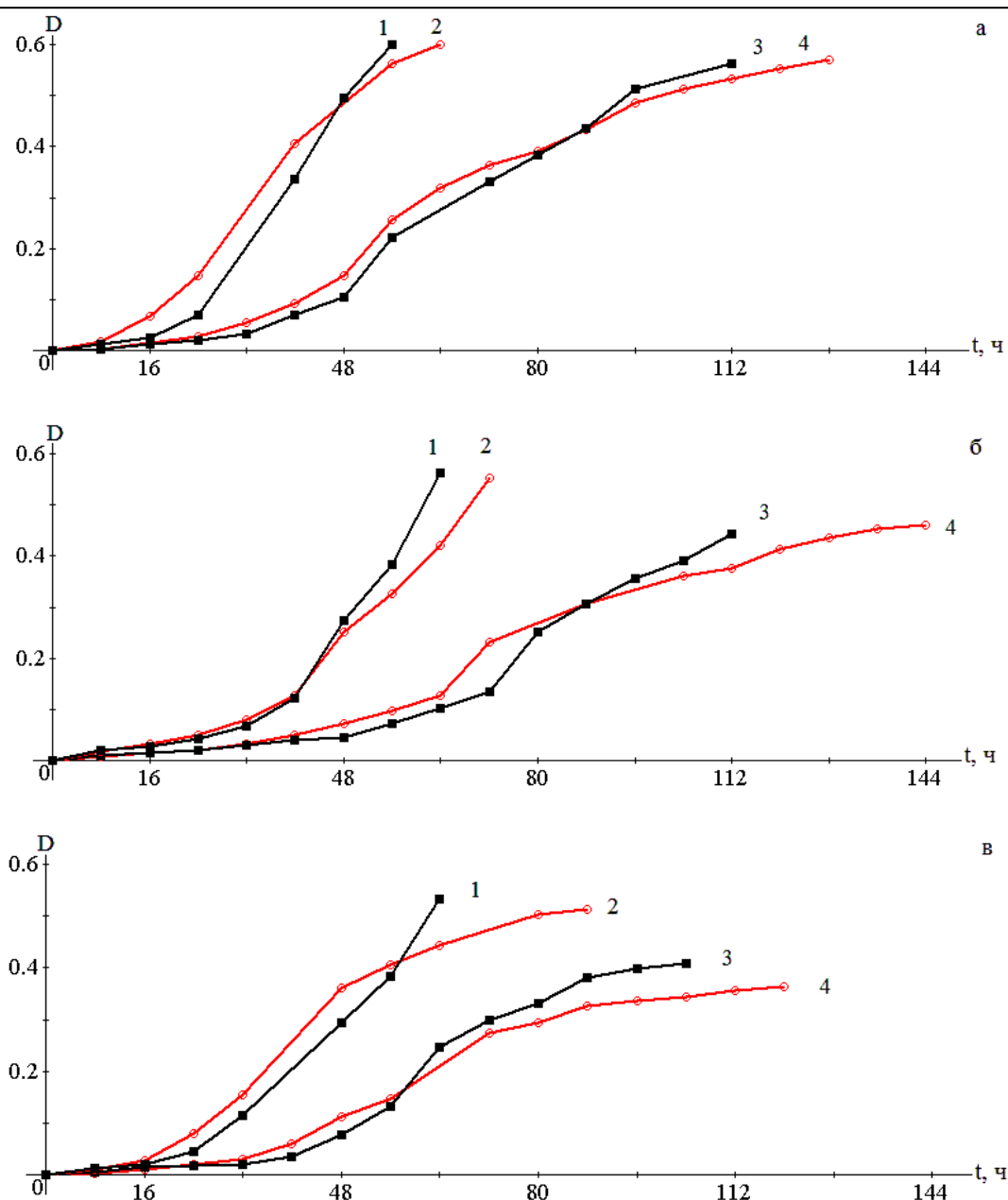


Рис. 1. Зависимости оптической плотности от времени и температуры испытания моторных масел: а – ZicHIFLO 10W-40 SL; б – CastrolMagnatec 10W-40 RSL/CF; в – ALPHA'S 5W-40 SN: 1 – при температурной деструкции 180 °C; 2 – при окислении 180 °C; 3 – при температурной деструкции 170 °C; 4 – при окислении 170 °C;

Для сравнения интенсивности процессов окисления и деструкции определим производные функций $D = f(t)$ (табл.1), характеризующие средние скорости процессов и описываемые линейными уравнениями

$$D = \alpha t \pm \beta, \quad (2)$$

где α – ускорение изменения оптической плотности D .

Данные зависимости сведены в табл 2.

Таблица 1

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности от времени моторных масел (условные обозначения см. на рис. 1)

Моторное масло	Температура испытания, °C	Регрессионное уравнение	Коэффициент корреляции
Минеральное масло ZICHIFLO 10w-40 SL	180	$D_1 = 3,103 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,004 \cdot t + 0,01$	0,992
	180	$D_2 = 2,497 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 1,27 \cdot 10^{-4} \cdot t + 3,137 \cdot 10^{-4}$	0,999
	170	$D_3 = 1,068 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,003 \cdot t + 0,012$	0,976
	170	$D_4 = 1,125 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,002 \cdot t + 0,009$	0,991
Частично-синтетическое моторное масло CastrolMagnatec 10w-40 SL/CF	180	$D_1 = 1,7 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,003 \cdot t + 0,02$	0,971
	180	$D_2 = 1,354 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,002 \cdot t + 0,014$	0,981
	170	$D_3 = 5,294 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 0,002 \cdot t + 0,019$	0,964
	170	$D_4 = 5,569 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 0,001 \cdot t + 0,012$	0,977
Синтетическое моторное масло ALPHA'S5w-40 SN	180	$D_1 = 1,648 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,002 \cdot t + 0,006$	0,998
	180	$D_2 = 1,745 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 8,75 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8,333 \cdot 10^{-4}$	0,999
	170	$D_3 = 9,823 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 0,003 \cdot t + 0,02$	0,987
	170	$D_4 = 6,678 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 0,001 \cdot t + 0,005$	0,973

Установлено, что в первый период испытания (16 ч) средняя скорость процессов окисления выше, чем у процессов температурной деструкции независимо от температуры испытания и базовой основы моторных масел. Во второй период испытания (48 ч) средняя скорость процессов окисления становится ниже, чем у процессов температурной деструкции при температурах испытания 180 °C у минеральных и частично-синтетических масел и при 170 °C у синтетических. Согласно данным табл. 2 с учетом времени испытания независимо от температуры испытания или базовой основы моторных масел средняя скорость процессов температурной деструкции растет интенсивней, чем у процессов окисления.

Важным эксплуатационным свойством масла является кинематическая вязкость, которая не является постоянной величиной, она изменяется с изменением температуры и концентрации продуктов старения и др. механических примесей. Индекс вязкости – безразмерный показатель вязкостно-температурной характеристики, рассчитываемый по значениям кинематической вязкости масла, измеренной при температурах 40 и 100 °C. В данной работе предложены критерии температурной стойкости и термоокислительной стабильности $K_{TC(ТОС)}$

$$K_{(TC)TOS} = IB_{D(OK)} \cdot D_{D(OK)}, \quad (3)$$

где $IB_{D(OK)}$ – индекс вязкости термостатированного или окисленного масла.

Таблица 2

Регрессионные уравнения скоростей изменения оптической плотности при окислении и температурной деструкции

Моторное масло	Температура испытания, °C	Скорость изменения оптиче- ской плотности	Значение скорости при времени испы- тания, ч ⁻¹		Увеличение скорости, разы
			16 ч	48 ч	
Минеральное масло ZICHIFLO 10w-40 SL	180	$V_{D_1} = 6,206 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,004$	0,0059	0,0258	4,35
		$V_{D_2} = 4,994 \cdot 10^{-4} \cdot t + 1,27 \cdot 10^{-4}$	0,0081	0,0241	2,97
	170	$V_{D_3} = 2,136 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,003$	0,0004	0,0073	17,37
		$V_{D_4} = 2,25 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,002$	0,0016	0,0088	5,50
Частично- синтетическое моторное масло CastrolMagnetec 10w-40 SL/CF	180	$V_{D_1} = 3,4 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,003$	0,0024	0,0133	5,46
		$V_{D_2} = 2,708 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,002$	0,0023	0,0110	4,71
	170	$V_{D_3} = 10,588 \cdot 10^{-5} \cdot t - 0,002$	0,0003	0,0031	10,27
		$V_{D_4} = 11,138 \cdot 10^{-5} \cdot t - 0,001$	0,0008	0,0043	5,56
Синтетическое моторное масло ALPHA'S5w-40 SN	180	$V_{D_1} = 3,296 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,002$	0,0033	0,0138	4,22
		$V_{D_2} = 3,49 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8,75 \cdot 10^{-4}$	0,0065	0,0176	2,73
	170	$V_{D_3} = 19,646 \cdot 10^{-5} \cdot t - 0,003$	0,0001	0,0064	44,85
		$V_{D_4} = 13,356 \cdot 10^{-5} \cdot t - 0,001$	0,0011	0,0054	4,76
Примечание. V_{D_1} - скорость при деструкции 180 °C; V_{D_2} - скорость при окислении 180 °C; V_{D_3} - скорость при деструкции 170 °C; V_{D_4} - скорость при окислении 170 °C.					

На рис. 2 представлены зависимости критерии температурной стойкости и термоокислительной стабильности от оптической плотности. Установлено, что данные зависимости описываются линейными уравнениями

$$K_{TC(TOS)} = \alpha D, \quad (4)$$

где α – скорость изменения критерия $K_{TC(TOS)}$.

Регрессионные уравнения зависимостей представлены в табл. 3.

Для определения доминирующего влияния процессов окисления или температурной деструкции на вязкостно-температурные характеристики предложен коэффициент доминирующего влияния $K_{ДВ}$, определяемый отношением скоростей изменения данных критериев:

$$K_{дв} = \frac{\alpha_{ТС}}{\alpha_{ТОС}}, \quad (5)$$

где $\alpha_{ТС}$ и $\alpha_{ТОС}$ - параметры, характеризующие средние скорости изменения критериев температурной стойкости и термоокислительной стабильности масел.

Таблица 3

Результаты регрессионного анализа вязкостно-температурных характеристик моторных масел

Моторное масло	Температура испытания, °C	Процесс термоста-тирования	Регрессионное уравнение	Коэффициент корреляции
Минеральное масло ZICHIFLO 10w-40 SL	170	Окисление	$K_{ТОС}=104,868 \cdot D$	0,998
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=98,018 \cdot D$	0,989
	180	Окисление	$K_{ТОС}=104,567 \cdot D$	0,993
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=100,286 \cdot D$	0,999
Частично-синтетическое моторное масло CastrolMagnatec 10w-40 SL/CF	170	Окисление	$K_{ТОС}=102,567 \cdot D$	0,967
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=105,422 \cdot D$	0,999
	180	Окисление	$K_{ТОС}=94,839 \cdot D$	0,984
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=113,012 \cdot D$	0,931
Синтетическое моторное масло ALPHA'S5w-40 SN	170	Окисление	$K_{ТОС}=112,399 \cdot D$	0,976
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=125,559 \cdot D$	0,976
	180	Окисление	$K_{ТОС}=109,058 \cdot D$	0,989
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=123,763 \cdot D$	0,993

Данные коэффициента доминирующего влияния представлены в табл 4.

Таблица 4

Результаты вычисления коэффициента доминирующего влияния

Моторное масло	Температура испытания, °C	Значение $K_{дв}$
Минеральное масло ZICHIFLO 10w-40 SL	170	0,935
	180	0,959
Частично-синтетическое моторное масло CastrolMagnatec 10w-40 SL/CF	170	1,029
	180	1,192
Синтетическое моторное масло ALPHA'S5w-40 SN	170	1,117
	180	1,135

Согласно данным табл. 4 с повышением температуры испытания коэффициент доминирующего влияния увеличивается для моторных масел различной базовой основы. Кроме того установлено, что продукты температурной деструкции повышают вязкостно-температурные характеристики

синтетических и частично-синтетических моторных масел, кроме минерального масла, поэтому эти особенности моторных масел следует учитывать при их выборе для двигателей.

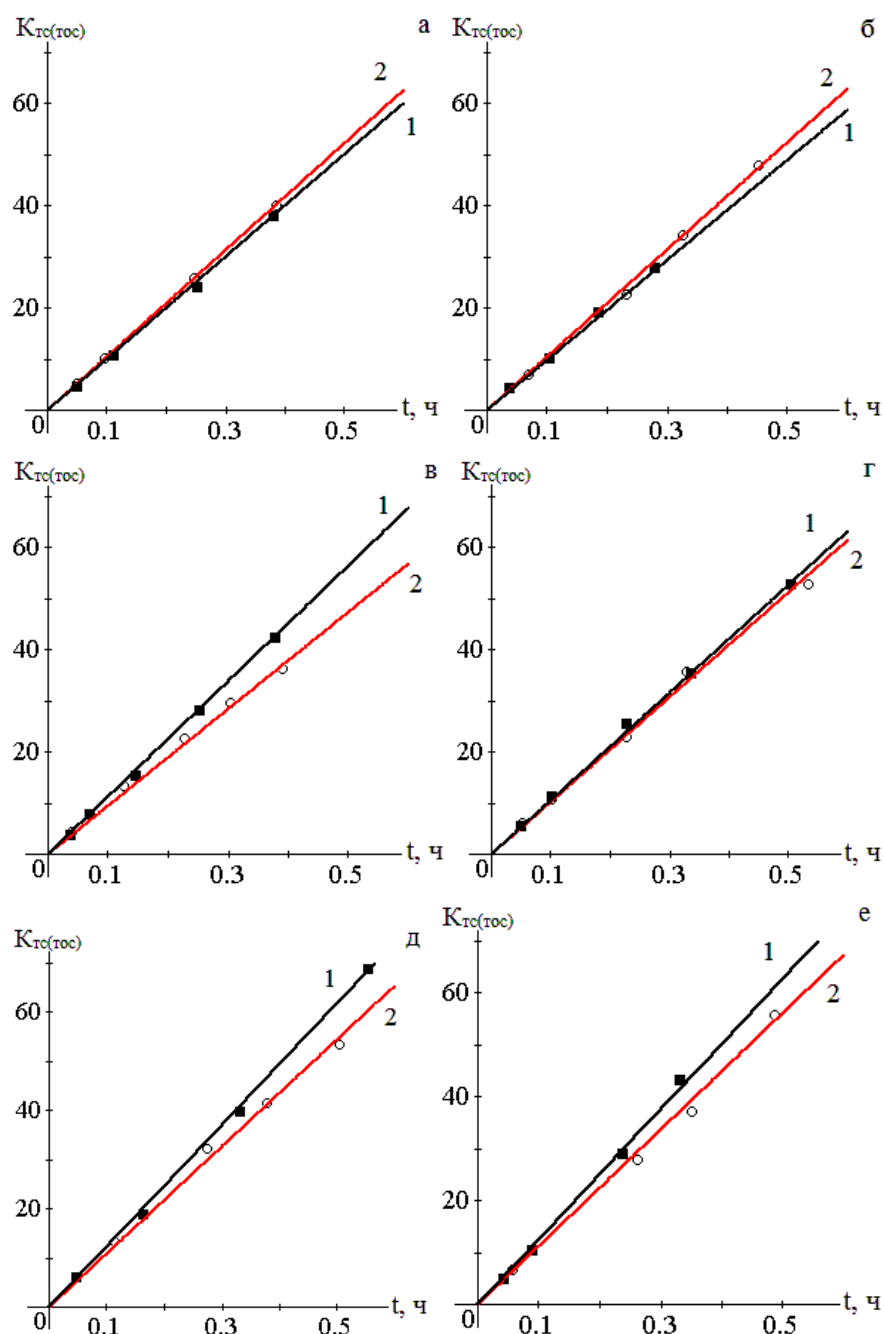


Рис. 2. Зависимости критерия температурной стойкости и термоокислительной стабильности от оптической плотности и температуры испытания моторных масел: а – ZicHIFLO 10W-40 SL при 180 °C; б – ZicHIFLO 10W-40 SL при 170 °C; в – CastrolMagnatec 10W-40 RSL/CF при 180 °C; г – CastrolMagnatec 10W-40 RSL/CF при 170 °C; д – ALPHA'S 5W-40 SN при 180 °C; е – ALPHA'S 5W-40 SN при 170 °C: 1 – при температурной деструкции; 2 – при окислении

Выводы

На основании проведенных исследований установлено:

1. Процессы температурной деструкции оказывают меньшее влияние на оптические свойства в начале термостатирования моторных масел независимо от базовой основы.

2. Предложен коэффициент доминирующего влияния, определяемый отношением средней скорости процессов деструкции к средней скорости процессов окисления, характеризующий доминирующие влияния продуктов старения процессов температурной деструкции или окисления на вязкостно-температурные характеристики моторных масел.

Список литературы

1. Ковальский Б.И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов. Новосибирск: Наука, 2005. 341 с.

2. Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных материалов по параметрам термоокислительной стабильности и температурной стойкости: монография / Ю.Н. Безбородов, Б.И. Ковальский, Н.Н. Малышева, А.Н. Сокольников, Е.Г. Мальцева. Красноярск: СФУ, 2011. 366 с.

3. Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных масел: монография / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, О.Н. Петров, В.Г. Шрам. Красноярск: СФУ, 2015. 154 с.

4. ГОСТ 25371-97 Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости. Введ. 01.08.1999. Минск: Межгосударственный стандарт, 1999. 9 с.

Ермилов Евгений Александрович, асп., evermilov@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа,

Ковальский Болеслав Иванович, д-р техн. наук, проф., Labsm@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа,

Безбородов Юрий Николаевич, д-р техн. наук, зав. каф., Labsm@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа,

Олейник Виктор Зиновьевич, аспирант, OleynikVictor@gmail.com, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа

THE INFLUENCE OF PROCESSES OF OXIDATION AND THERMAL DESTRUCTION ON VISCOSITY-TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF MOTOR OIL

E.A. Ermilov, B.I. Kovalsky, Y.N. Bezborodov, V.Z. Oleynik

The results of the study of influence of the processes of oxidation and thermal destruction on the optical properties and anti-wear properties of motor oil of different base are presented. It was found, that the processes of thermal destruction have flowed less than intensive in first time of process of thermostating, than process of oxidation. The dominate influence of processes of oxidation and thermal destruction on viscosity-temperature characteris-

tics depend on temperature and motor oil of base. Coefficient of dominate influence is proposed determining how ratio of average rate of processes of oxidation to average rate of processes of thermal destruction.

Key words: motor oil, optical density, criterions of thermooxidation stability and thermalwithstandability, increment velocity of processes of oxidation and thermaldestruction, coefficient of dominate influence.

Ermilov Evgeny Aleksandrovich, postgraduate, evermilov@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of oil and gas,

Kovalsky Boleslav Ivanovich, doctor of technical sciences, Professor Labsm@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of oil and gas,

Bezborodov Uriy Nikolaevich, doctor of technical sciences, head of department Labsm@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of oil and gas,

Oleynik Victor Zinovyevich, postgraduate, OleynikVictor@gmail.com, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of oil and gas

УДК 656.3

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЗА СЧЕТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ

Н.А. Махутов, М.Ю. Куприков, В.Л. Балановский, Н.М. Куприков

Рассмотрены проблемы, от решения которых зависит экономическое развитие в полярных регионах, процесс совершенствования формирования систем комплексной безопасности объектов промышленности и транспорта в полярных регионах.

Ключевые слова: устойчивое развитие, критически важный объект, комплексная безопасность, деструктивное воздействие, техногенная авария, акт незаконного вмешательства, транспортно-логистические системы, терминально-логистические центры.

В настоящее время наша страна переживает потрясения, связанные с коренными изменениями в политике, экономике, социальной и духовной сферах. Подвергается переоценке роль отдельных регионов, промышленных кластеров и предприятий в экономике страны. В XXI веке Российская Федерация активно развивает свое присутствие в полярных регионах. Поддержание приоритета Российской Федерации в Арктической зоне базируется на развитие научных исследований и образовательных инициативах академических институтов и университетов, государственных научных центров, высокотехнологичных компаний и корпораций.