УДК 621.892.8-721

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ИСПЫТАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

THE RESULTS OF STUDIES OF THE EFFECT OF TIME ON THE TEST TEMPERATURE INDICATORS WERE PERFORMANCE MOTOR OILS

Ковальский Болеслав Иванович,
доктор техн. наук, профессор, e-mail: Labsm@mail.ru
Kowalski Bolesław I., Dr. Sc., Professor
Балясников Валерий Александрович,
соискатель, e-mail: kanzas29@mail.ru
Balyasnikov Valery A., candidate for a degree
Ермилов Евгений Александрович,
соискатель, e-mail: evermilov@mail.ru
Yermilov Eugeny A., candidate for a degree.
Батов Николай Сергеевич,
соискатель, e-mail: ns.batov@gmail.com
Batov Nikolay S., candidate for a degree
Агровиченко Дарья Валентиновна,
ассистент, e-mail: dashuta2806@mail.ru
Agrovichenko Daria V., assistant

Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа. Россия, 660130, г. Красноярск, ул. Свободный пр., 82/1
Siberian Federal University, Institute of oil and gas. Russia, 660130, Krasnoyarsk, Free Ave., 82/1

Аннотация. *Представлены результаты исследования термоокислительной стабильности минерального, частично синтетического и синтетического моторных масел, включающие определение оптических свойств, испаряемости и показателя термоокислительной стойкости. Установлены температуры начала процессов окисления, испаряемости и изменения показателя термоокислительной стабильности, а также критические температуры этих процессов.*

Abstract. *The results of the study of thermal oxidative stability of a hundred-mineral, partially synthetic and synthetic engine oils, including determination of the optical properties, volatility index and thermal-oxidative resistance. Installed start temperature oxidation, volatility and changes in the rate of thermal oxidative stability, as well as the critical temperature of these processes.*

Ключевые слова: *оптическая плотность, испаряемость, показатель термоокислительной стабильности, температуры начала процессов окисления и испарения, критические и предельно допустимые температуры работоспособности.*

Keywords: *optical density, volatility, an indicator of thermal oxidative stability, the temperature of the onset of oxidation and evaporation, critical and maximum allowable working temperatures abilities.*

Введение.

Ресурс смазочных масел зависит, в основном, от температуры на поверхности трения, которая ускоряет процессы окисления, температурной деструкции и химических реакций металлов с продуктами окисления и присадками.

В этой связи для конструкторов и технологов важно знать температуры начала протекания этих процессов и критические температуры, при которых происходят аномальные явления.

Поэтому целью настоящих исследований является исследование влияния времени термостатирования на температурные пределы работоспособности моторных масел различной базовой основы.

Для исследования выбраны: минеральное моторное масло Лукойл Стандарт 10W – 40 SF / CC, частично синтетическое моторное масло Castrol magnatec 10W – 40 R SL / CF, а так же синтетическое моторное масло GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF .

Таблица 1 – Данные исследования минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF / CC в циклах повышения и понижения температуры испытания при 8 и 6 часах испытания.

Марка масла	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G, г	Коэфициент термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Лукойл Стандарт 10W – 40 SF / CC (8 часов)	150	0,0000	1,1	0,0110
	160	0,0067	1,9	0,0261
	170	0,0408	3,9	0,0812
	180	0,1128	5,5	0,1712
	180	0,0548	3,8	0,0928
	170	0,0834	4,7	0,1326
	160	0,0907	5,8	0,1525
	150	0,1054	6,2	0,1725
Лукойл Стандарт 10W – 40 SF / CC (6 часов)	160	0,0000	1,0	0,0100
	170	0,0202	2,5	0,0456
	180	0,0548	5,2	0,1085
	180	0,0270	3,2	0,0590
	170	0,0478	5,0	0,0997
	160	0,0619	5,8	0,1235
	150	0,0690	6,1	0,1345

Методика исследования включала следующие средства контроля и испытания: прибор для термостатирования масел, фотометрическое устройство [1] и электронные весы.

Техническая характеристика приборов описана в работе [2].

Методика исследования заключалась в следующем.

Проба масла постоянной массы (100 ± 0,1 г.) термостатировалась с перемешиванием при атмосферном давлении с постоянной частотой вращения мешалки последовательно при температурах 150, 160, 170, 180, 190 °C в течение 8 и 6 часов, названным циклом повышения температуры окислении. Затем новая проба масла массой 100 ± 0,1 г. термостатировалась в цикле понижения температуры 190, 180, 170, 160, 150 °C также в течение 8 и 6 часов часов, при каждой температуре испытания, проба взвешивалась, определялась масса испарившегося масла и отбиралась часть пробы окисленного масла 2 г для прямого фотометрирования и определения оптической плотности при толщине фотометрического слоя 2 мм.

Термоокислительная стабильность исследуемых моторных масел оценивалась по оптической плотности, испаряемости и показателю термоокислительной стабильности.

Результаты исследования и их обсуждения

В табл. 1 сведены экспериментальные данные исследования минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W – 40 SF / CC, а на рис 1 графические зависимости оптической плотности, испаряемости и показателя термоокислительной стабильности от температуры и времени испытания 8 и 6 часов.

По полученным данным определялась оптическая плотность *D*:

$$D = lg\frac{\varphi}{\varphi_0}, \quad (1)$$

где φ - монохроматический световой поток падающий на слой окисленного масла; φ_0 - световой поток прошедший через слой окисленного масла;

Показатель термоокслительной стабильности рассчитывается по формуле:

$$П_{тос} = D + K_g \quad (2)$$

где K_g - коэффициент испаряемости.

$$K_g = \frac{m}{M}, \quad (3)$$

где m – масса испарившегося масла, г; M – масса пробы до испытания, г.

Представленные зависимости на рис. 1 а, б, в, описываются полиномом второго порядка, а регрессионные уравнения имеют вид представленный в табл. 2 для 8 и в табл. 3 для 6 часов испытания.

В табл. 4 сведены экспериментальные данные исследования частично синтетического моторного масла Castrol magnatec 10W - 40 R SL / CF.

Представленные зависимости выстраиваются аналогично как на рис. 1.

Аналогично происходит обработка графиков.

Полученные регрессионные уравнения представлены в табл. 5 для 8- и в табл. 6 для 6 – часовых опытов.

В табл. 7 сведены экспериментальные данные исследования синтетического моторного масла GAZPROMNEFT PREMIUM N SAE 5W - 40 SN / CF.

Представленные зависимости выстраиваются аналогично как на рис. 1. Аналогично происходит обработка графиков. Полученные регрессион-

ные уравнения представлены в табл. 8 для 8– и в табл. 9 для 6 –часовых опытов.

Таблица 2. Регрессионные уравнения при времени проведения испытания 8 часов минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W – 40 SF / CC.

Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	
D	$1,65\cdot10^{-4}\cdot T^2-0,05075\cdot T+3,9005$
G	$0.002\cdot T^2-0,508\cdot T+32,22$
$П_{тос}$	$1,8675\cdot10^{-4}\cdot T^2-0,0562765\cdot T+4,250335$
Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	
D	$-4,75\cdot10^{-5}\cdot T^2+0,014225\cdot T-0,96625$
G	$-0,00125\cdot T^2+0,3295\cdot T-15,055$
$П_{тос}$	$-5\cdot10^{-5}\cdot T^2+0,0139\cdot T-0,791$

Таблица 3. Регрессионные уравнения при времени проведения испытания 6 часов минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W – 40 SF / CC.

Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	
D	$7\cdot10^{-5}\cdot T^2-0,0211\cdot T+1,584$
G	$0,006\cdot T^2-1,83\cdot T+140,2$
$П_{тос}$	$1,4\cdot10^{-4}\cdot T^2-0,0427\cdot T+3,258$
Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	
D	$-3\cdot10^{-5}\cdot T^2+0,0085\cdot T-0,531$
G	$-0,00375\cdot T^2+1,1425\cdot T-80,925$
$П_{тос}$	$-7,25\cdot10^{-5}\cdot T^2+0,021435\cdot T-1,45015$

Таблица 4 – Данные исследования частично синтетического масла Castrol magnatec 10W - 40 R SL / CF в циклах повышения и понижения температуры испытания.

Марка масла	Температура испытания T, °С	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G, г	Коэфициент термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Castrol magnatec 10W - 40 R SL / CF (8 часов)	150	0,0033	0,8	0,0113
	160	0,0070	1,4	0,0210
	170	0,0260	2,5	0,0520
	180	0,0600	4,0	0,1040
	180	0,0478	2,2	0,0698
	170	0,0834	3,2	0,1163
	160	0,1128	3,7	0,1515
	150	0,1354	4,2	0,1799
Castrol magnatec 10W - 40 R SL / CF (6 часов)	150	0	0,6	0,0060
	160	0,0067	1,3	0,0198
	170	0,0270	1,9	0,0464
	180	0,0548	2,9	0,0848
	180	0,0202	1,8	0,0382
	170	0,0408	2,4	0,0654
	160	0,0548	2,8	0,0838
	150	0,0619	3	0,0933

Таблица 5 – Регрессионные уравнения при времени проведения испытания 8 часов частично синтетического моторного масла Castrol magnatec 10W - 40 R SL / CF.

Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	
D	$7,5\cdot10^{-5}\cdot T^2-0,02285\cdot T+1,743$
G	$0,00225\cdot T^2-0,6355\cdot T+45,495$
$П_{тос}$	$1,05\cdot10^{-4}\cdot T^2-0,03155\cdot T+2,381$
Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	
D	$-3,25\cdot10^{-5}\cdot T^2+0,007795\cdot T-0,30305$
G	$-0,00125\cdot T^2+0,3475\cdot T-19,825$
$П_{тос}$	$-4,75\cdot10^{-5}\cdot T^2+0,012025\cdot T-0,55625$

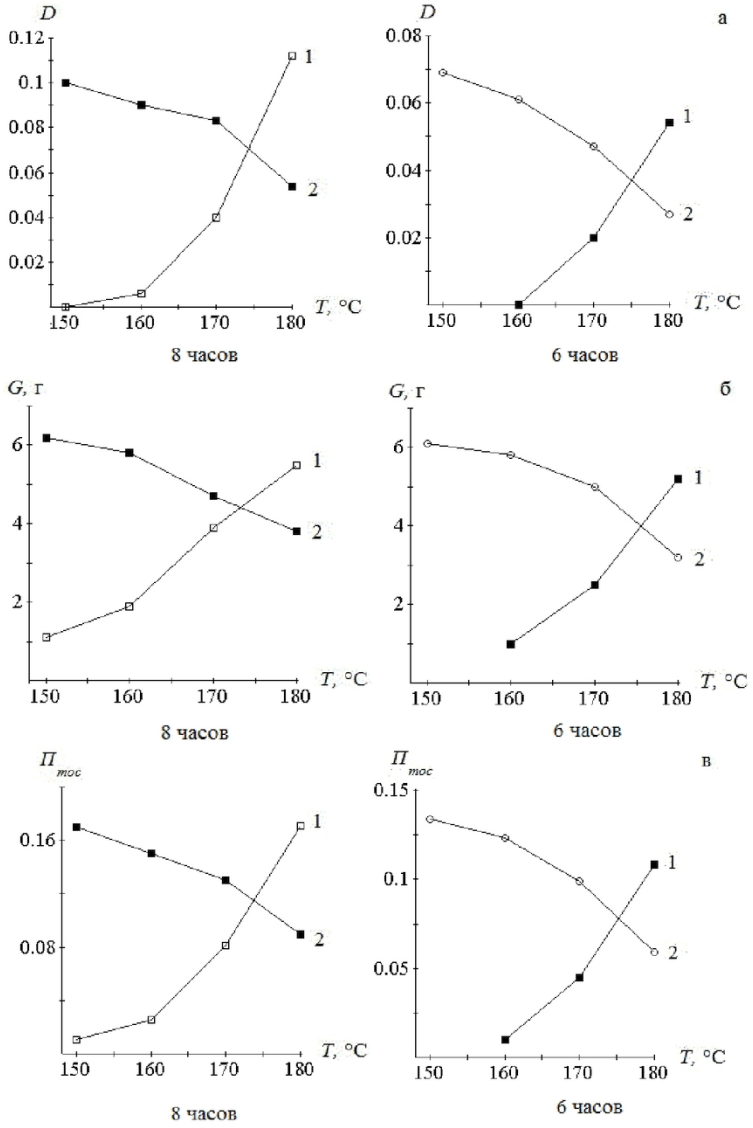

Рис 1. Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W – 40 SF / CC: 1 – цикл увеличения температуры; 2 – цикл понижения температуры при циклах в 6 и 8 часов.

Таблица 6 – Регрессионные уравнения при времени проведения испытания 6 часов частично синтетического моторного масла Castrol magnatec 10W - 40 R SL / CF.

Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	
D	$5{,}275\cdot10^{-5}\cdot T^2-0{,}0155605\cdot T+1{,}146895$
G	$7{,}5\cdot10^{-4}\cdot T^2-0{,}1725\cdot T+9{,}625$
$П_{тос}$	$6{,}15\cdot10^{-5}\cdot T^2-0{,}017665\cdot T+1{,}27195$
Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	
D	$-3{,}375\cdot10^{-5}\cdot T^2+0{,}0097465\cdot T-0{,}640685$
G	$-0{,}001\cdot T^2+0{,}29\cdot T-18$
$П_{тос}$	$-4{,}425\cdot10^{-5}\cdot T^2+0{,}0127655\cdot T-0{,}825895$

Таблица 7 – Данные исследования синтетического масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W - 40 SN / CF в циклах повышения и понижения температуры испытания при циклах в 6 и 8 часов.

Марка масла	Температура испытания T, ℃	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G, г	Коэфициент термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF (8 часов)	160	0,0000	1,5	0,0150
	170	0,0120	2,9	0,0417
	180	0,0580	4,8	0,1083
	190	0,1823	8,1	0,2694
	190	0,0690	4,0	0,1090
	180	0,1431	5,8	0,2036
	170	0,1586	6,6	0,2293
	160	0,1664	7,2	0,2447
GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF (6 часов)	160	0,0000	0,9	0,0090
	170	0,0067	1,8	0,0249
	180	0,0339	3,3	0,0677
	190	0,0980	5,3	0,1534
	190	0,0339	2,6	0,0599
	180	0,0548	3,6	0,0920
	170	0,0690	4,2	0,1130
	160	0,0762	4,6	0,1248

Таблица 8 – Регрессионные уравнения при времени проведения испытания 8 часов синтетического моторного масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W - 40 SN / CF.

Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	
D	$2{,}8\cdot10^{-4}\cdot T^2-0{,}09208\cdot T+7{,}567$
G	$0{,}00475\cdot10^{-5}\cdot T^2-1{,}4455\cdot T+111{,}225$
$П_{тос}$	$3{,}36\cdot10^{-4}\cdot T^2-0{,}109302\cdot T+8{,}90445$
Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	
D	$-1{,}6525\cdot10^{-4}\cdot T^2+0{,}0547785\cdot T-4{,}370775$
G	$-0{,}003\cdot T^2+0{,}946\cdot T-67{,}4$
$П_{тос}$	$-1{,}975\cdot10^{-4}\cdot T^2+0{,}064815\cdot T-5{,}07325$

Таблица 9 – Регрессионные уравнения при времени проведения испытания 6 часов синтетического моторного масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W - 40 SN / CF.

Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	
D	$1{,}475\cdot10^{-4}\cdot T^2-0{,}048415\cdot T+3{,}97125$
G	$0{,}00275\cdot T^2-0{,}8155\cdot T+60{,}975$
$П_{тос}$	$1{,}775\cdot10^{-4}\cdot T^2-0{,}057375\cdot T+4{,}64575$
Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	
D	$-3{,}5\cdot10^{-5}\cdot T^2+0{,}01081\cdot T-0{,}7575$
G	$-0{,}0015\cdot T^2+0{,}459\cdot T-30{,}45$
$П_{тос}$	$-5{,}5\cdot10^{-5}\cdot T^2+0{,}01709\cdot T-1{,}2025$

Таблица 10 – Расчетные данные по температурам начала процессов окисления, испарения и предельно допустимой температуре работоспособности.

Марка масла	Температуры начала процессов			Погрешность, %
Лукойл Стандарт 10W-40 SF / CC	Время испытаний, часов	8	6	
	Окисления	153,7	160	3,9
	Испарения	127,1	152,5	16,6
	Температурных преобразований	150	152,5	1,6
	Критические температуры процессов			
	Окисления	195,3	190,3	2,5
	Испарения	204,7	192,6	5,9
	Температурных преобразований	198,1	190,8	3,6
	Предельная температура работоспособности			
	Окисления	174,5	175,4	0,5
	Испарения	174,1	176	1
	Температурных преобразований	174,06	175,7	0,6
Castrol magnatec 10W - 40 R SL / CF	Температуры начала процессов			
	Окисления	152,2	147,5	3
	Испарения	141,1	115,2	18,3
	Температурных преобразований	150,2	143,8	4,2
	Критические температуры процессов			
	Окисления	191	184,5	3,4
	Испарения	197,8	200	1,1
	Температурных преобразований	192,2	190,5	0,8
	Предельная температура работоспособности			
	Окисления	178,3	173,3	2,8
	Испарения	172,9	173	0,05
	Температурных преобразований	176,7	173,2	1,9
GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF	Температуры начала процессов			
	Окисления	164,3	164,1	0,00001
	Испарения	152	148,2	2,5
	Температурных преобразований	162,6	161,6	0,6
GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF	Критические температуры процессов			
	Окисления	197,7	201,3	1,7
	Испарения	206,5	208,7	1
	Температурных преобразований	199,2	203	1,8
	Предельная температура работоспособности			
	Окисления	184,5	182,6	1
	Испарения	181,8	181	0,4
	Температурных преобразований	183,8	182,2	0,8

Решая регрессионные уравнения в циклах повышения температуры окисления, для оптической плотности, испаряемости и показателя термоокислительной стабильности определяем температуры начала изменения этих показателей, а в циклах понижения температуры испытания определяются критические температуры процессов окисления, испарения и изменения показателя термоокислительной стабильности. Приравнивая уравнения в циклах повышения и понижения температуры окисления определяется предельно допустимые температуры по оптической плотности, испаряемости и показателю термоокислительной стабильности.

Данные по исследуемым синтетическим маслам сведены в табл. 10.

Для полученных данных при испытаниях в 8 часов и данных для доказательной базы в 6 часов, необходимо вычислить погрешность. Так, для минерального масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF / CC максимальная погрешность в критических температурах составила 5,9%, а предельно допустимых температурах 1%. Для частично синтетического масла Castrol magnatec 10W - 40 R SL / CF максимальная погрешность в критических температурах составила 3,4%, а предельно допустимых температурах 2,8%. Для синтетического масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF максимальная погрешность в критических температурах составила 1,8%, а предельно допустимых температурах 1%. Отдельно стоит выделить погрешность в температурах начала процессов испарения, которая составляет для масел в той же последовательности соответственно 16,6%, 18,3%, 2,5% что обусловлено наличием легких фракций, которые выкипают на первых этапах проведения опыта.

Вывод. На основе проведенных исследований показано, что применение предложенного метода контроля температурных пределов работоспособности моторных масел, позволяет получить дополнительную информацию о температурных режимах их применения и совершенствовать систему классификации, а также проведена проверка температурных параметров при разном времени испытания, которая показала, что получаемые данные не имеют сильного отличия от времени проведения опытов, кроме температуры начала процесса испарения, которая в свою очередь обусловлена выкипанием легких фракций. Для сравнения масел одного назначения целесообразно проводить исследования при одном времени испытания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 А. С. N851111 СССР МКИ[3] G01J 1/04 Фотометрический анализатор / Б. И. Ковальский, Г. М. Сорокин; опубл. 30.07.81 №28.

2 Ковальский Б. И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б. И. Ковальский. – Новосибирск: Наука, 2005. – 3410.

REFERENCES

1 A. S. N851111 CCCR MKI3 G01J 1/04 Fotometricheskij analizator / B. I. Koval'skij, G. M. Sorokin; opubl. 30.07.81 №28.

2 Koval'skij B. I. Metody i sredstva povyshenija jeffektivnosti ispol'zovanija smazochnyh materialov / B. I. Koval'skij. – Novosibirsk: Nauka, 2005. – 3410.

Поступило в редакцию 26.01.2017
Received 26.01.2017