

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДОЛИВОВ НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ МОТОРНЫХ МАСЕЛ РАЗЛИЧНОЙ БАЗОВОЙ ОСНОВЫ

Д.В. Агровиченко, Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», Институт нефти и газа, г. Красноярск

К основным требованиям, предъявляемым к моторным маслам, в числе прочих относят высокие противоизносные свойства и пологость вязкостно-температурной характеристики, которые, в свою очередь, зависят от вязкости смазочного материала. На вязкость моторных масел в значительной степени оказывает влияние температура. Также вязкость зависит от углеводородного состава и глубины очистки масляных фракций, наличия в масле вязкостных присадок и объема доливаемого товарного масла к общему объему смазочного материала в системе смазки двигателя. Однако степень влияния доливов, необходимость которых вызвана снижением уровня моторного масла в картере вследствие его угара и негерметичности масляной системы, изучена недостаточно. Таким образом, целью настоящих экспериментальных исследований является определение влияния доливов на кинематическую вязкость минеральных (М-10Г₂К, Лукойл Стандарт 10w-40 SF/CC), частично синтетических (Лукойл Супер 10w-40 SG/CD) и синтетических (Castrol Magnatec 5w-40 SL/CF, Лукойл Синтетик 5w-40 SL/CF, Mannol Elite 5w-40 SL/CF) моторных масел в процессе их окисления посредством метода контроля вязкостных свойств смазочного материала, включающего испытание пробы моторного масла на приборе для термоокисления в два этапа: без доливов и с доливками товарного масла. Каждые 8 ч. испытания фиксировалась масса испарившегося масла и снимались показания фотометрического устройства и малообъемного вискозиметра. В случае испытания с доливками проба доливалась товарным маслом до первоначальной массы перед каждым последующим восьмичасовым испытанием. В работе представлены результаты исследования влияния доливов на кинематическую вязкость моторных масел различной базовой основы в интервале температур от 160 до 180 °С. Предложен метод контроля вязкостных свойств смазочного материала, позволяющий количественно оценить изменение кинематической вязкости масла в результате его окисления и под влиянием доливов. Установлено, что степень влияния доливов на кинематическую вязкость масла зависит от температуры испытания и природы базовой основы смазочного материала.

Ключевые слова: кинематическая вязкость, коэффициент относительной вязкости, термоокислительная стабильность моторного масла, коэффициент поглощения светового потока, доливы.

ВВЕДЕНИЕ

Наряду с высокими моющими и диспергирующе-стабилизирующими свойствами, высокими термической и термоокислительной стабильностью, стойкостью к старению и отсутствием коррозионного воздействия на материалы деталей двигателя к основным требованиям, предъявляемым к моторным маслам, относят высокие противоизносные свойства и пологость вязкостно-температурной характеристики, которые, в свою очередь, зависят от вязкости смазочного материала [1].

Вязкостно-температурные свойства как одни из важнейших характеристик моторного масла определяют температурный диапазон окружающей среды, в котором данное масло обеспечивает пуск двигателя без предварительного подогрева, прокачивание масла насосами по масляной системе, надежное смазывание и охлаждение деталей двигателя при допустимых нагрузках и температурах.

Вязкостно-температурные свойства моторного масла характеризуются кинематической вязкостью, определяемой в капиллярных вискозиметрах, динамической вязкостью, измеряемой в ротационных

вискозиметрах, а также индексом вязкости, безразмерным показателем пологости вязкостно-температурной зависимости, рассчитываемым по значениям кинематической вязкости масла [2].

На вязкость моторных масел в значительной степени оказывает влияние интенсивность окислительных процессов, которая, в свою очередь, в большей степени, зависит от температуры [3, 4]. Так, вязкость минеральных масел в интервале температур от минус 30 до плюс 150 °С изменяется в тысячи раз. Кроме этого, вязкость зависит от углеводородного состава и глубины очистки масляных фракций, наличия в масле вязкостных присадок и объема доливаемого товарного масла к общему объему смазочного материала в системе смазки двигателя [1]. Однако степень влияния доливов на эксплуатационные свойства масел, необходимость которых вызвана снижением уровня моторного масла в картере двигателя вследствие его угара и негерметичности масляной системы, изучена недостаточно [5-8].

Известные на сегодняшний день методы и рекомендуемые критерии оценки качества моторных масел по параметрам термоокислительной

стабильности и вязкостным характеристикам, применяются в основном при лабораторных и стендовых испытаниях и поэтому широкого применения на предприятиях не нашли ввиду сложности проведения измерений, отсутствия специальных служб контроля качества моторных масел в процессе их эксплуатации и экономического обоснования внедрения тех или иных методов оценки и контроля.

Так, метод оценки антиокислительных свойств на установке ИКМ согласно ГОСТ 20457-75 [9] предусматривает оценку антиокислительных свойств по изменению вязкости масла и отложениям на поршне.

Способ определения свойств моторного масла [10] заключается в испытании работавших масел и выдерживании их в присутствии воды или водном растворе электролита при 70-150 °С. Количество выпавшего осадка является показателем стойкости масла к шламообразованию, а по приросту вязкости работавшего масла оценивают его термоокислительную стабильность.

ГОСТ 18136-72 [11] предусматривает определение термоокислительной стабильности по таким показателям, как кислотное число, число омыления, вязкость, коксуемость, содержание смол, нерастворимого осадка, тангенс угла диэлектрических потерь, удельное электрическое объёмное сопротивление, цвет и масса катализатора, внешний вид, цвет и масса конденсата.

ГОСТ 23797-79 [12] предусматривает оценку термоокислительной стабильности по количеству образовавшегося осадка, нерастворимого в изооктане, изменению вязкости, кислотного числа и наличию отложений в реакционном сосуде, а также коррозионности масла по изменению массы пластинок – катализаторов. Испытания проводят при температуре 300-400 °С.

Целью настоящих экспериментальных исследований является определение влияния доливов на кинематическую вязкость минеральных, частично синтетических и синтетических моторных масел в процессе их окисления посредством метода контроля вязкостных свойств смазочного материала.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для исследований выбраны следующие моторные масла: минеральные – М-10Г₂К и Лукойл Стандарт 10w-40 SF/CC; частично синтетическое – Лукойл Супер 10w-40 SG/CD; синтетические – Castrol Magnatec 5w-40 SL/CF, Лукойл Синтетик 5w-40 SL/CF и Mannol Elite 5w-40 SL/CF.

Для испытания моторных масел и контроля их эксплуатационных свойств применялись прибор для исследования масел на термоокислительную стабильность, фотометрическое устройство, малообъемный вискозиметр и электронные весы,

техническая характеристика которых приведена в работе [13].

Методика исследования заключалась в испытании моторных масел при температурах 180, 170 и 160 °С в два этапа: без доливов и с доливками. Масса доливаемого масла соответствовала массе испарившегося.

Проба масла массой $100 \pm 0,1$ г заливалась в стеклянный стакан прибора для исследования масел на термоокислительную стабильность и окислялась при заданной температуре в течение определенного времени. После каждого промежутка времени проба окисленного масла взвешивалась и определялась масса испарившегося масла, далее отбирались части пробы для прямого фотометрирования и определения коэффициента поглощения светового потока и определения кинематической вязкости при 100 °С.

После измерения масло с кюветы и вискозиметра сливалось в стеклянный стакан прибора для термостатирования, который повторно взвешивался. В случае испытания с доливками проба масла в стакане доливалась товарным маслом до массы $100 \pm 0,1$ г. Испытания исследуемого масла прекращались по достижению коэффициентом поглощения светового потока значения, равного 0,6-0,7.

Коэффициент поглощения светового потока является интегральным показателем оценки степени окисления и загрязненности масла эксплуатационными примесями и определялся выражением:

$$K_{II} = \frac{300 - \Pi_{\Phi}}{300}, \quad (1)$$

где 300 – показания фотометра при настройке и отсутствии масла в кювете, мкА; Π_{Φ} – показания фотометра при заполненной маслом кювете, мкА.

С целью возможности количественной оценки влияния продуктов окисления моторного масла и величины его потерь в результате испарения на кинематическую вязкость в качестве показателя, характеризующего изменение вязкости введен коэффициент относительной вязкости, определяемый отношением:

$$K_{\mu} = \frac{\mu_{\text{окисл.}}}{\mu_{\text{исх.}}}, \quad (2)$$

где $\mu_{\text{окисл.}}$ и $\mu_{\text{исх.}}$ – соответственно кинематические вязкости окисленного и исходного (товарного) моторного масла, мм²/с (сСт).

Кинематическая вязкость масла (как окисленного, так и исходного (товарного), мм²/с (сСт), определялась по формуле:

$$\mu = \frac{\Pi_B - K}{C}, \quad (3)$$

где Π_B – показания малообъемного вискозиметра, имп.; K и C – постоянные коэффициенты, зависящие от конструктивных особенностей прибора (диаметр шара, глубина его погружения, диаметр стакана), которые устанавливаются экспериментально.

Малообъемный вискозиметр (рис. 1), на котором проводились измерения, предназначен для определения кинематической вязкости малых объемов смазочных материалов при 100 и 50 °С и состоит из механического и электронного блоков, расположенных в соответствующих модулях [14].



1 – механический блок; 2 – электронный блок

Рис. 1. Общий вид малообъемного вискозиметра

Работа прибора заключается в измерении времени погружения шара в смазочный материал при заданной температуре на заданную глубину под собственным весом. Измерительная схема прибора предусматривает отключение нагревателя при достижении температурой значения на 1 °С меньше заданной величины и включение с помощью электромагнитной системы коромысла с диском для перемешивания жидкости в стакане. Перемешивание осуществляется до тех пор, пока температура жидкости максимально не приблизится к заданной, после чего коромысло фиксируется в верхнем положении. При достижении заданного температурного значения (100 или 50 °С) электромагнитная система обесточивается, шар под собственным весом опускается.

Влияние доливов на кинематическую вязкость моторных масел исследовалось по графикам зависимости коэффициента относительной вязкости от коэффициента поглощения светового потока.

На (рис. 2) представлены зависимости коэффициента относительной вязкости от коэффициента поглощения светового потока минерального моторного масла М-10Г₂К, испытанного без доливов и с доливками.

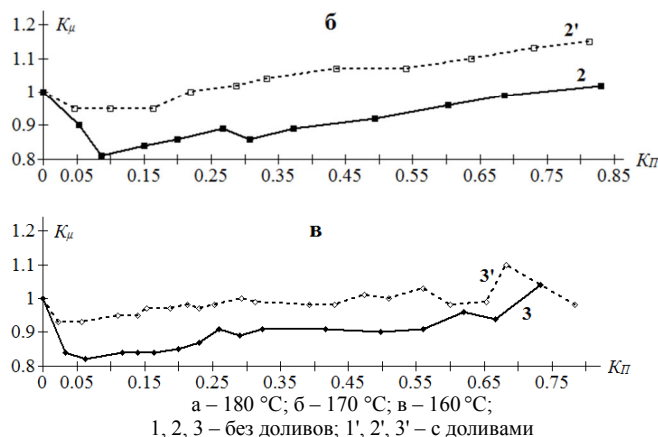
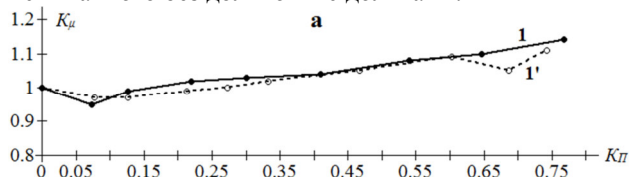


Рис. 2. Зависимости коэффициента относительной вязкости от коэффициента поглощения светового потока минерального моторного масла М-10Г₂К

Установлено, что с увеличением концентрации продуктов окисления кинематическая вязкость окисленного масла увеличивается, однако в начальный период испытания независимо от температуры вязкость снижается.

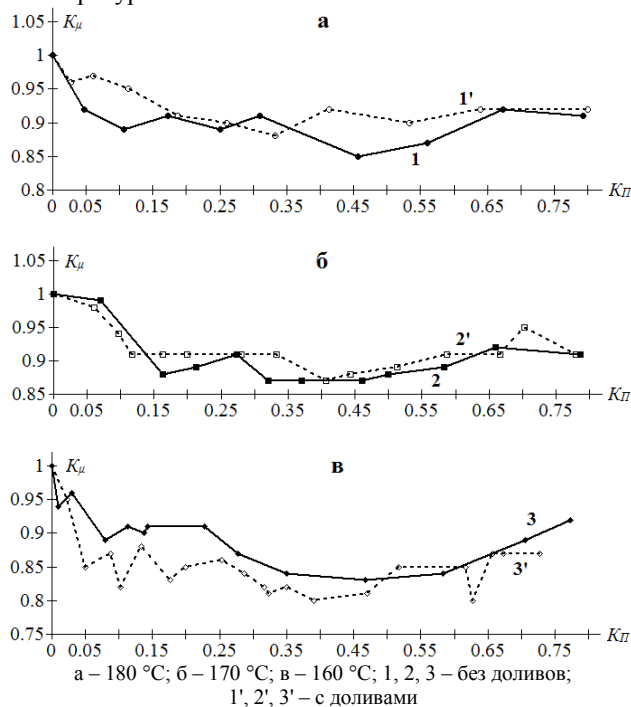


Рис. 3. Зависимости коэффициента относительной вязкости от коэффициента поглощения светового потока минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10w-40 SF/CC

Доливы масла в процессе испытания при температуре 180 °С оказывают незначительное влияние на кинематическую вязкость (рис. 2, кривая 1'), а при температурах 170 и 160 °С существенно повышают ее (рис. 2, кривые 2' и 3') по сравнению с кинематической вязкостью масла, испытанного без доливов (рис. 2, кривые 2 и 3).

Для минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC (рис. 3) показано, что независимо от доливов в процессе окисления сохраняется тенденция уменьшения кинематической вязкости при температурах 180, 170 и 160 °С как при испытании с доливами, так и без доливов, при этом при температурах 180 и 170 °С существуют участки в интервале значений коэффициента поглощения светового потока, на которых наблюдается стабилизирующее действие доливов. При температуре 160 °С в начальный период испытания, а именно в интервале значений коэффициента поглощения светового потока от 0 до 0,5, доливы снижают вязкость масла (кривая 3'); при коэффициенте поглощения светового потока более 0,5 влияние доливов незначительно.

Степень влияния доливов на коэффициент относительной вязкости частично синтетического масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD зависит от температуры испытания (рис. 4).

Так, при температурах 180 и 160 °С доливы не оказывают существенного влияния на кинематическую вязкость масла, однако при температуре 170 °С доливы приводят к стабилизации коэффициента относительной вязкости окисленного масла на уровне товарного.

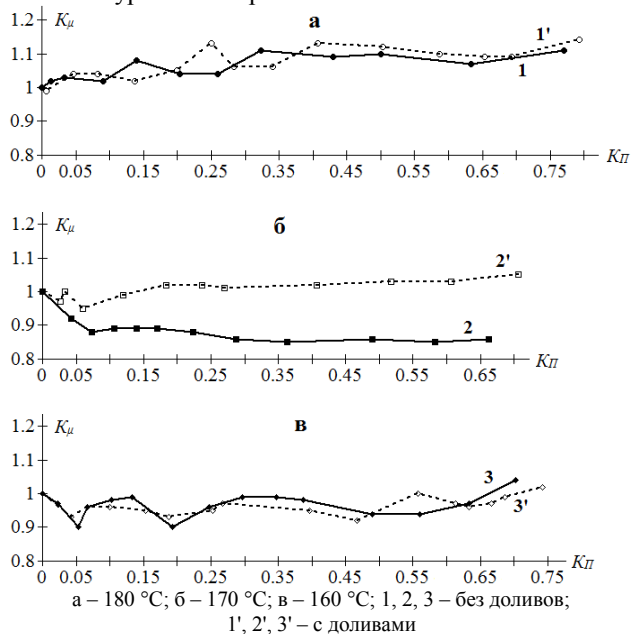


Рис. 4. Зависимости коэффициента относительной вязкости от коэффициента поглощения светового потока частично синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD

Исследование синтетического моторного масла Castrol Magnatec 5W-40 SL/CF (рис. 5) показали, что независимо от температуры испытания и доливов коэффициент относительной вязкости уменьшается на всем интервале значений коэффициента поглощения светового потока. Снижение кинематической вязкости в результате доливов масла наблюдается при

температурах 190 и 160 °С, причем максимальное падение вязкости наблюдается при температуре 160 °С.

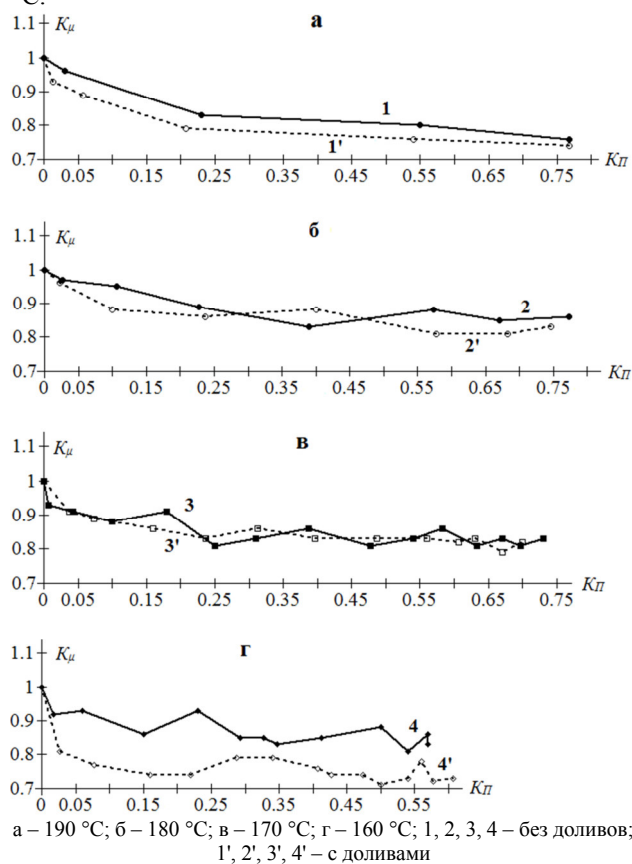


Рис. 5. Зависимости коэффициента относительной вязкости от коэффициента поглощения светового потока синтетического моторного масла Castrol Magnatec 5W-40 SL/CF

Кинематическая вязкость синтетического моторного масла Лукойл Синтетик 5W-40 SL/CF (рис. 6) практически не зависит от доливов, в особенности в начальный период испытания. Сохраняется общая тенденция ее уменьшения при окислении. Однако после достижения коэффициентом поглощения светового потока значений, равных 0,3 и 0,25 при температурах 180 и 170 °С соответственно, кинематическая вязкость окисленного масла резко увеличивается до уровня кинематической вязкости товарного масла.

Судя по зависимостям коэффициента относительной вязкости от коэффициента поглощения светового потока синтетическое масло Mannol Elite 5W-40 SL/CF (рис. 7) характеризуется стабильной кинематической вязкостью практически на всем интервале значений коэффициента поглощения светового потока.

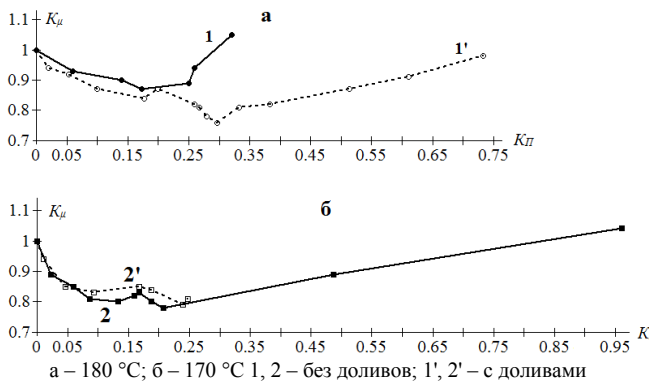


Рис. 6. Зависимости коэффициента относительной вязкости от коэффициента поглощения светового потока синтетического моторного масла Лукойл Синтетик 5W-40 SL/CF

При температуре 180 °С доливы увеличивают кинематическую вязкость масла, стабилизируя значение коэффициента относительной вязкости на уровне единицы. При 170 °С доливы не оказывают влияния на кинематическую вязкость масла до достижения коэффициентом поглощения светового потока значения, равного 0,45, после – снижают кинематическую вязкость окисленного масла до значения кинематической вязкости товарного, улучшая тем самым пусковые свойства масла в холодное время эксплуатации двигателя.

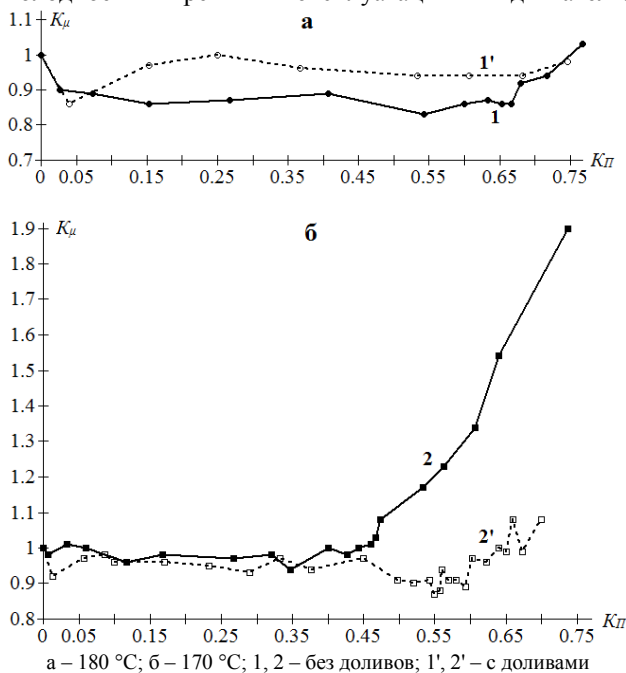


Рис. 7. Зависимости коэффициента относительной вязкости от коэффициента поглощения светового потока синтетического моторного масла Mannol Elite 5W-40 SL/CF

ВЫВОДЫ

Предложен метод контроля вязкостных свойств моторного масла, позволяющий количественно оценить изменение кинематической вязкости

смазочного материала в результате его термоокисления и под влиянием доливов.

В качестве критерия оценки изменения кинематической вязкости в процессе термоокисления предложен коэффициент относительной вязкости, определяемый отношением кинематической вязкости окисленного масла к кинематической вязкости исходного (товарного) масла.

В результате проведенных исследований установлено, что характер и степень влияния доливов на кинематическую вязкость моторных масел зависят от температуры испытания и базовой основы смазочного материала, а именно:

1. для минерального масла М-10Г₂К доливы увеличивают кинематическую вязкость окисленного масла при температурах 170 и 160 °С и практически не влияют на нее при температуре 180 °С;

2. для минерального масла Лукойл Стандарт 10w-40 SF/CC независимо от доливов на всем интервале значений коэффициента поглощения светового потока сохраняется тенденция уменьшения кинематической вязкости при температурах 180, 170 и 160 °С как при испытании с доливками, так и без доливов; максимальное падение кинематической вязкости в результате доливов наблюдается при температуре 160 °С;

3. для частично синтетического масла Лукойл Супер 10w-40 SG/CD доливы практически не оказывают влияния на кинематическую вязкость при температурах испытания 180 и 160 °С, но увеличивают ее при температуре 170 °С;

4. для синтетического масла Castrol Magnatec 5W-40 SL/CF влияние доливов на кинематическую вязкость при температурах 180 и 170 °С не обнаружено; снижение кинематической вязкости в результате доливов установлено при температурах 190 и 160 °С, причем при температуре 160 °С их влияние максимально;

5. для синтетического масла Лукойл Синтетик 5W-40 SL/CF кинематическая вязкость снижается независимо от доливов и температуры испытания от начала окисления до достижения коэффициентом поглощения светового потока значения, равного 0,25-0,3; после наблюдается резкое повышение вязкости;

6. для синтетического масла Mannol Elite 5W-40 SL/CF доливы при температуре 180 °С стабилизируют значение кинематической вязкости окисленного масла на уровне товарного; при температуре 170 °С доливы не оказывают влияния на кинематическую вязкость в интервале значений коэффициента поглощения светового потока от 0 до 0,45 и увеличивают ее при последующем окислении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / Н.Г. Анисимов [и др.]; под ред. В.М. Школьников. – 2-е изд.-М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596 с.

2. ГОСТ 25371-97 (ИСО 2909-81) Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости. - М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 25 с.

3. Ermilov E. A. [Kovalski B. I., Balyasnikov V. A., Agrovichenko D. V., Oleynik V. Z., Afanasov V. I.], «Substantiation of optical criterions of thermal-oxidative stability of lubricating oil» IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 87. Is. 8. 2017.

4. Kovalsky B.I. [Kovalsky B.I., Bezborodov, Yu.N., Lysyannikova, N.N., Kravtsova, E.G., Lysyannikov, A.V., Shram, V.G.] «Research of engine and transmission oils for thermo-oxidative stability with cyclic temperature changes» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chemical, Ecological and Power Engineering, Vol. 537 (062074). 2019.

5. Попов А.С. Процесс окисления минеральных масел с учетом доливов / А.С. Попов, Б.И. Ковальский, С.И. Васильев // Химия и технология топлив и масел. – 2009. - № 4. - С. 94-95.

6. Агровиченко Д.В. Метод определения влияния доливов на потенциальный ресурс и температурные пределы процессов окисления минерального моторного масла М-10Г₂К / Д.В. Агровиченко, Б.И. Ковальский, В.А. Балясников, В.Г. Шрам // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 9. Часть 1. 2017. – с. 375-388.

7. Агровиченко Д.В. Результаты исследования влияния доливов на термоокислительную стабильность синтетических моторных масел / Д.В. Агровиченко, Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 4. 2018, – с. 315-322.

8. Agrovichenko, D.V. [Kovalsky B.I., Bezborodov Y.N.] «Research results of makeup influence on semi-synthetic motor oils thermal oxidation stability.» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chemical, Ecological and Power Engineering. Vol. 537 (062078). 2019.

9. ГОСТ 20457-75 Масла моторные. Метод оценки антиокислительных свойств на установке ИКМ. - М.: Межгосударственный стандарт, 1975. – 8 с.

10. А.с. 527660 СССР, МКИЗ G01 N33/30. Способ определения свойств моторного масла / А.В. Непогодьев, В.Г. Колупаев. 1976, Бюл. № 33.

11. ГОСТ 18136-17. Масла. Метод определения стабильности против окисления в универсальном приборе. - М.: Межгосударственный стандарт, 2017. – 15 с.

12. ГОСТ 23797-79. Масла для авиационных газотурбинных двигателей. Метод определения термоокислительной стабильности в объеме масла. - М.: Межгосударственный стандарт, 1979. – 7 с.

13. Ковальский Б.И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б.И. Ковальский. // Наука. - 2005. – 341 с.

14. Пат. №2569173 РФ МПК G01N 11/10. Вискозиметр. Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, В.И. Тихонов, О.Н. Петров, М.Н. Артемов. Опубл. 20.11.2015. Бюл. № 32.

Агровиченко Дарья Валентиновна – старший преподаватель кафедры проектирования и эксплуатации газонефтепроводов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(902)9475080, e-mail: dagrovichenko@sfu-kras.ru.

Ковальский Болеслав Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(913)5111745, e-mail: labsm@mail.ru.

Безбородов Юрий Николаевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой топливообеспечения и горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(902)9820488, e-mail: ybezborodov@sfu-kras.ru.

RESULTS OF OIL FILLING-UP INFLUENCE ON THE KINEMATIC VISCOSITY OF VARIOUS BASES ENGINE OILS

D.V. Agrovichenko, B.I. Kovalsky, U.N. Bezborodov
Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas, Krasnoyarsk

Abstract – High antiwear properties and flatness of the viscosity-temperature characteristic are one of the main requirements for engine oils, which depend on the viscosity of the lubricant. The viscosity of engine oils is greatly influenced by temperature. Also, the viscosity depends on the hydrocarbon composition and the depth of purification of oil fractions, the presence of viscous additives and the volume of new oil filling-up to the total volume of lubricant in the engine lubrication system. The need for oil filling-up is explained by decrease in engine oil level due to its waste and leaks in the engine lubrication system. However, the influence degree of oil filling-up on engine oils viscosity of has not been studied enough. Thus, the purpose of this research was to determine the filling-up influence on the kinematic viscosity of mineral (M-10G2K, Lukoil Standard 10w-40 SF/CC), semi-synthetic (Lukoil Super 10w-40 SG / CD) and synthetic (Castrol Magnatec 5w-40 SL/CF, Lukoil Synthetic 5w-40 SL/CF, Mannol Elite 5w-40 SL/CF) engine oils during their oxidation. The research methodology included testing a sample of engine oil on a device for thermal oxidation in two stages: without filling-up and with filling-up of new oil. Every 8 hours of testing, the mass of the evaporated oil was recorded and instruments readings were taken from photometric device and low-volume viscometer. In the case of the filling-up test, the sample was filled with new oil to its original weight before each subsequent eight-hour test. Research results of oil filling-up influence on the kinematic viscosity of various bases engine oils, that were tested in the temperature range from 160 to 180 ° C. A method for monitoring the viscosity properties of a lubricant has been proposed, which makes it possible to quantify the change in the kinematic viscosity of the oil as a result of its oxidation and under the influence of oil filling-up. It was found that the degree of oil filling-up influence on the kinematic viscosity depends on the test temperature and the nature of the lubricant base.

Index terms: kinematic viscosity, density viscosity coefficient, thermal oxidation stability of engine oil, light stream absorption coefficient, oil filling-up.

REFERENCES

1. Anisimov, N.G. [Badyshtova, K.M., Bnatov, S.A.], *Fuels, lubricants, technical fluids. Assortment and application: reference*, V.M. Shkolnikova, Moscow, Russia: Techninform, 1999.
2. GOST 25371-97 (ISO 2909-81) Petroleum products. Calculation of the viscosity index by kinematic viscosity. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 1997.
3. Ermilov E. A. [Kovalski B. I., Balyasnikov V. A., Agrovichenko D. V., Oleynik V. Z., Afanasov V. I.], «Substantiation of optical criterions of thermal-oxidative stability of lubricating oil.» IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 87. Is. 8. 2017.
4. Kovalsky B.I. [Kovalsky B.I., Bezborodov, Yu.N., Lysyannikova, N.N., Kravtsova, E.G., Lysyannikov, A.V., Shram, V.G.] «Research of engine and transmission oils for thermo-oxidative stability with cyclic temperature changes.» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chemical, Ecological and Power Engineering, Vol. 537 (062074). 2019.
5. Popov, A.S. [Kovalsky, B.I., Vasilyev, S.I.], « The oxidation process of mineral oils, considering topping.» *Chemistry and technology of fuels and oils*, no. 4, pp. 94-95, 2009
6. Agrovichenko, D.V. [Kovalsky, B.I., Balyasnikov, V.A., Shram, V.G.], « Method for determining the influence of topping-ups on the potential resource and temperature limits of the oxidation processes of mineral motor oil M-10G2K.» *Bulletin of TulaSU. Technical sciences*, vol. 1, no. 9, pp.375-388,2017.
7. Agrovichenko, D.V., [Kovalsky B.I., Bezborodov, Yu.N.], «Results of the study of the influence of topping-ups on the thermal-oxidative stability of synthetic motor oils», *Bulletin of the Tula State University. Technical science*, no. 4, pp. 315-322, 2017.
8. Agrovichenko, D.V. [Kovalsky B.I., Bezborodov Y.N.] «Research results of makeup influence on semi-synthetic motor oils thermal oxidation stability.» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chemical, Ecological and Power Engineering*. Vol. 537 (062078). 2019.
9. GOST 20457-75 Engine oils. Method for antioxidant properties at the IKM installation. – M.: Interstate standard, 1975.
10. A.c. 527660 СССР, MKIZ G01 N33/30. Method for determining the properties of engine oils / A.V. Nepogodiev, A.G. Kolupaev. 1976, Bul. № 33.
11. GOST 18136-17. Oils. Method for determining oxidation stability in a universal instrument. - M.: Interstate standard, 2017.
12. GOST 23797-79. Oils for aircraft gas turbine engines. Method for determination of thermal oxidation stability in the oil volume. - M.: Interstate standard, 1979.
13. Kovalsky, B.I., «Methods and means of increasing the efficiency of the use of lubricants.» *Novosibirsk: Science*, p.341, 2005.
14. Kovalsky, B.I., «Viscometer.» RUS Patent №2569173, November 20, 2015.

Agrovichenko Darya Valentinovna – senior lecturer of the Department of petroleum and natural gas pipeline design and operation, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas, 8(902)9475080, e-mail: dagrovichenko@sfu-kras.ru.

Kowalski Boleslav Ivanovich – doctor of technical sciences, professor of the Department of fuel supplies, combustible materials and lubricants, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas, 8(983)6120648, e-mail: Labsm@mail.ru.

Bezborodov Yury Nikolaevich – doctor of technical sciences, head of the Department of fuel supplies, combustible materials and lubricants, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas, мел. 8(902)9820488, e-mail: ybezborodov@sfu-kras.ru.