

УДК 656.135

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ ОТРАБОТАННЫХ ЧАСТИЧНО СИНТЕТИЧЕСКИХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ

Зеер В.А., Павин А.Ю., Бианов С.Д.*ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет», Красноярск, e-mail: zeer.vladimir@mail.ru, tiksyra92@mail.ru, seregabiyani1991@mail.ru*

В статье представлены результаты исследований противоизносных свойств отработанных частично синтетических и синтетических масел, работающих в двигателях. Противоизносные свойства оценивались по среднеарифметическому значению диаметров пятен износа на трёх шарах из двух опытов, коэффициенту электропроводности фрикционного контакта и продолжительности суммарной пластической и упруго-пластической деформаций. Коэффициент электропроводности фрикционного контакта характеризует склонность отработанных масел к формированию защитных граничных слоёв на площади фрикционного контакта, результат хемосорбционных процессов. Данные исследования позволили оценить объективность выбора области предельного состояния отработанных масел. Показано, что до принятой области предельного состояния отработанных масел, оцениваемого по коэффициенту поглощения светового потока, средняя скорость формирования площади фрикционного контакта увеличивается в зоне, а после неё она уменьшается.

Ключевые слова: моторные масла, коэффициент электропроводности, противоизносные свойства, синтетические масла, продукты старения, коэффициент поглощения светового потока

RESULTS OF WASTE PARTIALLY SYNTHETIC AND SYNTHETIC MOTOR OILS

Zeer V.A., Pavin A.Yu., Biuanov S.D.*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: zeer.vladimir@mail.ru, tiksyra92@mail.ru, seregabiyani1991@mail.ru*

The article presents the results of research anti-wear properties of used partially synthetic and synthetic oils, working in engines. Anti-wear properties were evaluated by the arithmetic mean value of the diameters of the spots of wear on the three balls of the two experiments, the coefficient of friction contact conductivity and total length of plastic and elastic-plastic deformations. Conductivity coefficient of friction contact characterizes the propensity of used oil to form protective boundary layers on the frictional contact area, the result of chemisorption processes. These studies made it possible to evaluate the objectivity of the selection area limit state used oil. It is shown that, prior to the field limit state used oil, as measured by the coefficient of absorption of the light flux, the average rate of formation of the friction contact area is increased in the area, and after that it decreases.

Keywords: motor oil, electrical conductivity, wear properties, synthetic oils, the products of aging, the absorption coefficient of the light flux

Решение проблемы эффективного использования моторных масел затруднено ввиду отсутствия методической базы и средств контроля предельного их состояния в процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, однако существующая система планово-предупредительных ремонтов предусматривает смену масел производить по пробегу или наработке в моточасах техники. Наряду со своей простотой такая система направлена на повышение эффективности применения смазочных материалов, не учитывая фактических условий и режимов эксплуатации, техническое состояние техники и систему доливов. Поэтому поиск новых подходов к решению этой проблемы является актуальным направлением [1].

В работах [2, 3] рассмотрены имитационные модели исследования процессов окисления и влияния продуктов окисления на противоизносные свойства товарных масел, а также работавших [4]. Авторами [5]

исследованы процессы температурной деструкции и влияние продуктов этих процессов, а также нагрузки на противоизносные свойства масел. Однако остается открытым вопрос оценки влияния процессов окисления на процессы температурной деструкции и процессов температурной деструкции на процессы окисления.

Исследование противоизносных свойств отработанных частично синтетических и синтетических масел проводилось на партии из 10 масел по 5 проб каждой базовой основы с разными значениями коэффициента поглощения светового потока от 0,17 до 0,51 ед., с целью определения динамики изменения противоизносных свойств.

Результаты испытаний отработанных частично синтетических и синтетических моторных масел сведены в табл. 1 и 2.

Противоизносные свойства оценивались по среднеарифметическому значению диаметров пятен износа на трёх шарах из двух опытов, коэффициенту электропровод-

ности фрикционного контакта и продолжительности суммарной пластической и упругопластической деформаций. Коэффициент электропроводности фрикционного контакта характеризует склонность отработанных масел к формированию защитных граничных слоёв на площади фрикционного контакта, результат хемосорбционных процессов. От интенсивности этих процессов зависит параметр износа и продолжительность пластических и упругопластических деформаций, которые определяются по диаграммам записи тока, протекающего через фрикционный контакт от внешнего стабилизированного источника постоянного тока (100 мкА), по наступлению стабилизации тока (установившегося изнашивания).

В паре «шар – цилиндр» в начале трения из-за высоких давлений в контакте протекают пластические деформации. В дальнейшем с увеличением площади пятна износа и падением давления пластические деформации переходят в упругопластические, а затем в упругие при установившемся изнашивании. На скорость формирования пятен износа существенное влияние оказывают продукты старения масел и их кислотность.

На рис. 1 представлены диаграммы записи тока, протекающего через фрикционный контакт, по которым определялись продолжительность суммарной пластической и упругопластической деформаций, отработанных частично синтетических моторных масел, обозначенных $t_{\text{фнк}}$ и коэффициент $K_{\text{э}}$ электропроводности фрикционного контакта за это же время. Аналогичные диаграммы получены при испытании отработанных синтетических масел (рис. 3).

На диаграммах видны участки, где ток равен заданному (100 мкА), при этом происходит металлический контакт поверхностей трения за счет пластической деформации. В этот период происходит формирование площади фактического контакта. Участки, где ток уменьшается до определенного значения, характеризуют продолжительность упругопластической деформации. Уменьшение тока зависит от интенсивности формирования на поверхностях трения химических соединений продуктов старения и присадок с металлической поверхностью.

Участок стабилизации тока характеризует продолжительность упругой деформации, соотношение между скоростями образования и разрушения защитных пленок на поверхностях трения. Диаграммы записи тока, протекающего через фрикционный контакт, построены в порядке увеличения коэффициента поглощения светового потока, характеризующего общую концентрацию продуктов старения масла.

Продолжительность пластической и упругопластической деформаций различна, а это определяет диаметр пятна износа. Величина тока стабилизации и его амплитуда зависят от коэффициента поглощения светового потока (степени старения), коэффициент электропроводности $K_{\text{э}}$ фрикционного контакта определяется отношением тока, протекающего через контакт к заданному току (100 мкА). С увеличением коэффициента поглощения светового потока $K_{\text{п}}$ амплитуда тока на участках его стабилизации уменьшается. В этой связи можно полагать, что величина коэффициента $K_{\text{э}}$ на участке стабилизации влияет на износ пары трения.

Таблица 1

Результаты испытаний отработанных частично синтетических моторных масел

№ п/п	Марка масла	$K_{\text{п}}$	U , мм	$K_{\text{п}}/U = \Pi$
1	Ravenol TSI 10W-40 SM/CF	0,17	0,3	0,57
2	BP Visco 3000 10W-40 SJ/ CF	0,17	0,34	0,50
3	Texaco Havoline Extra 10W-0 SJ/CF	0,33	0,365	0,9
4	Texaco Havoline Extra 10W-40 SJ/CF	0,41	0,38	1,08
5	Zic 5W–30 SL/CF	0,51	0,35	1,45

Таблица 2

Результаты испытаний отработанных синтетических моторных масел

№ п/п	Марка масла	$K_{\text{п исх}}$	U , мм	$K_{\text{п}}/U = \Pi$
1	Shell Helix Ultra 0W-40 SL/CF	0,18	0,3	0,6
2	Visco BP 5000 5W-40 SJ/CF	0,19	0,36	0,53
3	Texaco Havoline Synthetic5W-40 SJ/CF	0,31	0,28	1,11
4	ESSO Ultron 5W-40 SL/CF	0,35	0,28	1,25
5	Mobil 1 Rally Formula 5W-50 SJ/CF	0,4	0,318	1,26

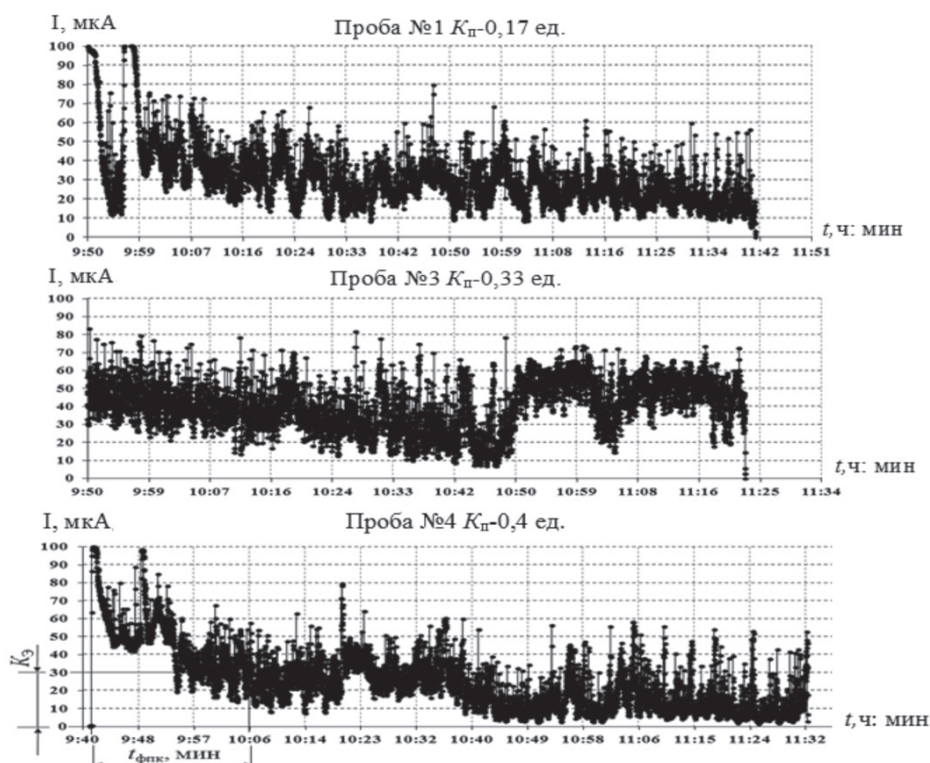


Рис. 1. Диаграммы записи тока, протекающего через фрикционный контакт, при испытании отработанных частично синтетических моторных масел

На рис. 2 представлены зависимости параметра износа от концентрации продуктов старения.

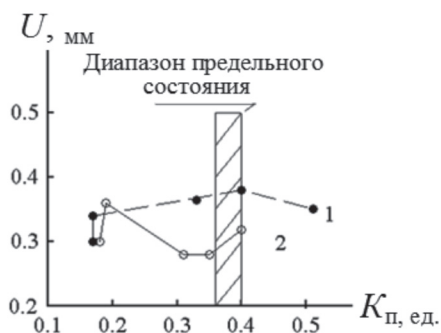


Рис. 2. Зависимости параметра износа U от концентрации продуктов старения отработанных масел: 1 – частично синтетические; 2 – синтетические

Установлено, что в предлагаемом диапазоне предельного состояния (0,36–0,4ед.) отработанных масел, установленного по общей концентрации продуктов старения, противоизносные свойства масел находятся в пределах от 0,3 до 0,38 мм. Эти данные

показывают, что предельное состояние (K_p) имеет резерв на увеличение.

Влияние продуктов старения на электропроводность фрикционного контакта представлено зависимостью $K_3 = f(K_p)$ (рис. 4).

Показано, что с увеличением концентрации продуктов старения до предельного состояния коэффициент электропроводности увеличивается как для частично синтетических, так и синтетических масел. Увеличение коэффициента вызвано уменьшением омического сопротивления граничных слоёв, разделяющих поверхности трения. Различия между базовыми основами масел заключаются в том, что для частично синтетических масел коэффициент K_3 уменьшается в пределах предельного состояния, что может объясняться наличием минеральной основы. Для синтетических масел наблюдается увеличение коэффициента K_3 во всём диапазоне изменения коэффициента поглощения светового потока. Значение коэффициента электропроводности фрикционного контакта зависит от вида деформации и склонности смазочного материала к формированию на площади контакта граничного слоя, разделяющего поверхности трения.

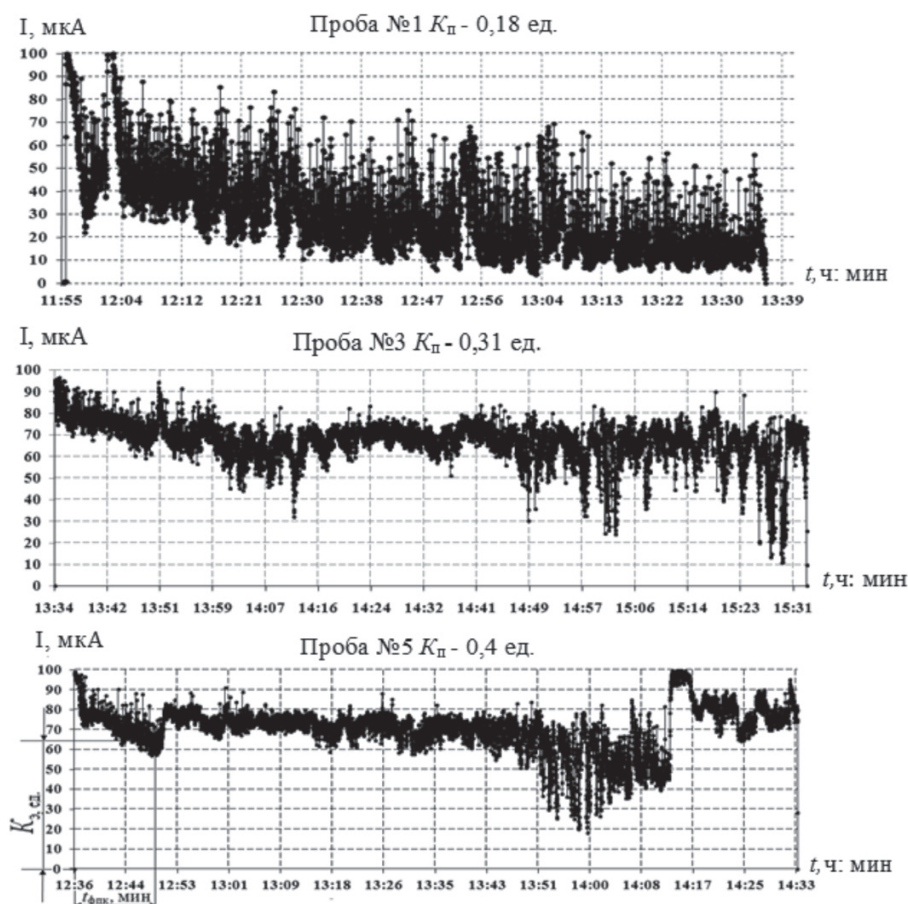


Рис. 3. Диаграммы записи тока, протекающего через фрикционный контакт, при испытании отработанных синтетических моторных масел

Была исследована зависимость между этими показателями (рис. 5).

Установлено, что до значения предельного состояния отработанных масел (штриховая зона) продолжительность суммарной деформации (пластической и упругопластической) не превышает 30 мин. Дальнейшее увеличение концентрации продуктов старения вызывает увеличение продолжительности деформаций как для частично синтетических, так и синтетических масел. Увеличение продолжительности деформаций должно увеличивать параметр износа, так как в этом случае на поверхности контакта не образуются прочные защитные хемосорбционные слои.

Это подтверждается зависимостью диаметра пятна износа от продолжительности суммарных деформаций (рис. 6). Была установлена линейная связь между этими параметрами для частично синтетических и синтетических масел.

На рис. 7 показано влияние концентрации продуктов старения в отработанных моторных маслах на среднюю скорость формирования площади фрикционного контакта.

Данные исследования позволили оценить объективность выбора области предельного состояния отработанных масел. Показано, что до принятой области предельного состояния отработанных масел, оцениваемого по коэффициенту поглощения светового потока, средняя скорость формирования площади фрикционного контакта увеличивается в зоне, а после неё она уменьшается. Увеличение скорости $V_{\text{фпк}}$ обеспечивает быстрое формирование площади контакта за счёт уменьшения времени $t_{\text{фпк.мин.}}$, и наоборот, уменьшение скорости $V_{\text{фпк}}$ вызвано увеличением времени $t_{\text{фпк.мин.}}$, поэтому существует резерв для повышения концентрации продуктов старения, а значит, для расширения области предельного состояния отработанных масел.

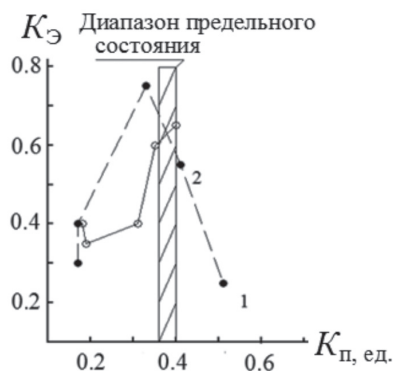


Рис. 4. Зависимости коэффициента электропроводности от коэффициента поглощения светового потока при испытании отработанных масел

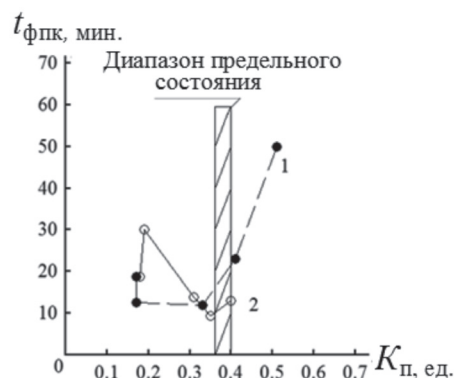


Рис. 5. Зависимости суммарной продолжительности пластической и упругопластической деформаций от концентрации продуктов старения в отработанных маслах

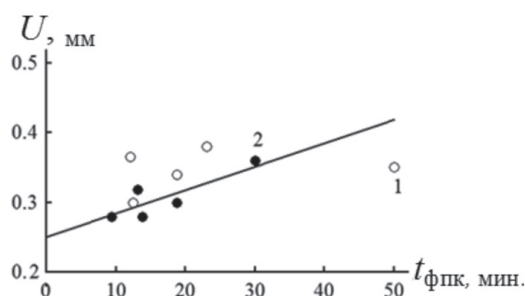


Рис. 6. Зависимость диаметра пятна износа от продолжительности суммарных пластической и упругопластической деформаций при испытании отработанных масел

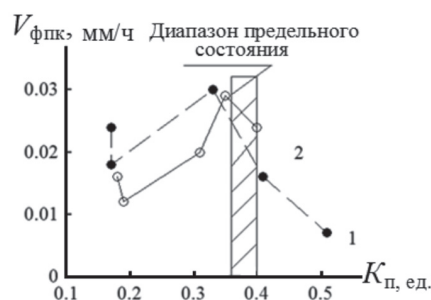


Рис. 7. Зависимость средней скорости формирования площади фрикционного контакта от концентрации продуктов старения в отработанных маслах: 1 – частично синтетические; 2 – синтетические

Таким образом, основным параметром, влияющим на коэффициент электропроводности фрикционного контакта, продолжительность и скорость его формирования, является концентрация продуктов старения в отработанных маслах. В этой связи предлагается критерий оценки Π противоизносных свойств отработанных масел, определяемый отношением

$$\Pi = K_{\text{п}}/U, \quad (3.1)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент поглощения светового потока; U – диаметр пятна износа.

Данный критерий характеризует условную концентрацию продуктов старения на номинальной площади фрикционного контакта. Зависимость критерия противоизносных свойств Π от концентрации продуктов старения, выраженной коэффициентом $K_{\text{п}}$, представлена на рис. 8.

Данная зависимость описывается линейными уравнениями для масел:

для частично синтетических (кривая 1)

$$\Pi = 2,84 \cdot K_{\text{п}}; \quad (3.2)$$

синтетических (кривая 2)

$$\Pi = 3,33 \cdot K_{\text{п}}. \quad (3.3)$$

Анализ зависимостей показывает, что предложенная область предельного работоспособного состояния частично синтетических и синтетических масел находится на линейных участках (штриховая зона), что позволяет прогнозировать противоизносные свойства работающих масел в период эксплуатации двигателя без проведения испытаний на износ. Для этого достаточно определить концентрацию продуктов старения в работающем масле и по зависимости $\Pi = f(K_{\text{п}})$ опре-

делить его противоизносные свойства по выражению

$$U = \Pi / K_{\Pi} \quad (4)$$

Угол наклона зависимости $\Pi = f(K_{\Pi})$ к оси абсцисс определяет скорость изменения критерия противоизносных свойств исследуемого масла, поэтому, чем он больше, тем выше противоизносные свойства масла.

Противоизносные свойства синтетических масел в диапазоне установленного предельного состояния (рис. 8) выше, чем у частично синтетических масел.

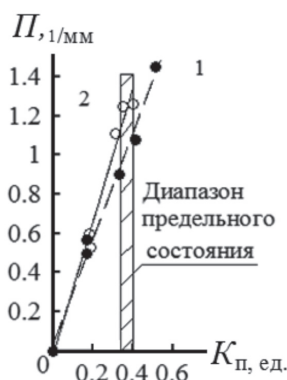


Рис. 8. Зависимость критерия противоизносных свойств от концентрации продуктов старения отработанных масел

Оценка противоизносных свойств позволяет установить влияние климатических условий на этот параметр и обосновать предельное состояние, по достижении которого производится смена масел и совершенствуется система планирования замены масел по фактическому состоянию. Такой

подход позволяет максимально эффективно использовать моторные масла.

На основании приведенных исследований предложена технология определения противоизносных свойств моторных масел, заключается в следующем (рис. 9).

Противоизносные свойства моторных масел оценивались по среднеарифметическому значению диаметра пятна износа на трех шарах, измеряемому на микроскопе «Альтами» Met1M, и времени формирования площади фрикционного контакта, определяемого из диаграмм записи тока по продолжительности пластической и упругопластической деформаций. При пластической деформации ток, протекающий через фрикционный контакт, равнялся заданному 100 мкА, а при упругопластической он уменьшался до минимального значения, которое зависит от кислотности масла. Наступление стабилизации тока свидетельствует о завершении упругопластической деформации и формировании номинальной площади фрикционного контакта.

Предельное значение противоизносных свойств устанавливается по параметрам износа при статистической обработке результатов испытания масел парка машин.

Выводы

1. На основе анализа факторов, влияющих на качество моторных масел, установлено влияние состава загрязнений, содержащихся в нефти, атмосферных загрязнений, попадающих в результате изменения температурных условий и вентиляции газового пространства резервуаров и заправочных емкостей, производства технологических операций слива, налива и транспортирования.

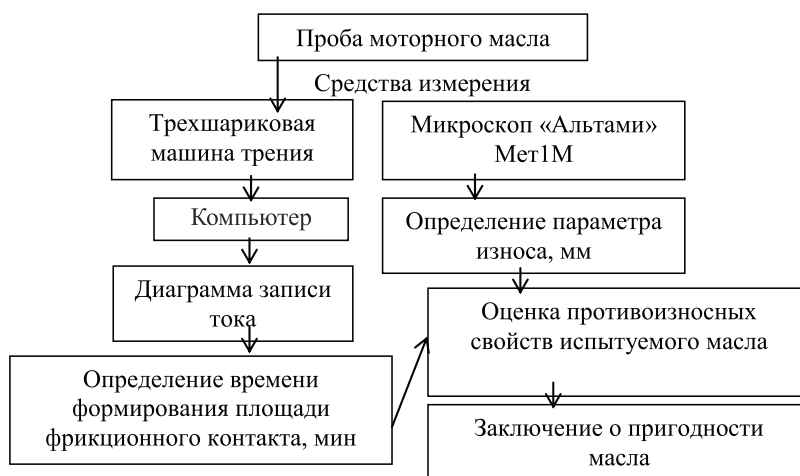


Рис. 9. Блок-схема технологии определения противоизносных свойств моторного масла

2. Установлена общая закономерность изменения противоизносных свойств товарных моторных масел при их окислении. Так, при малых значениях концентрации продуктов окисления они понижаются, а при увеличении концентрации противоизносные свойства повышаются. Предложен критерий противоизносных свойств товарных масел при их окислении, определяемый отношением коэффициента поглощения светового потока к диаметру пятна износа, характеризующий условную концентрацию продуктов окисления на номинальной площади фрикционного контакта, причем, чем больше угол наклона зависимости данного критерия от коэффициента поглощения светового потока к оси абсцисс, тем выше противоизносные свойства испытуемого масла, что позволяет сравнивать различные смазочные масла и осуществлять периодический контроль противоизносных свойств в процессе эксплуатации техники.

3. Разработанные практические рекомендации, включающие технологии, оценки противоизносных свойств, позволяют

установить влияние климатических условий на состояние моторных масел, повысить эффективность их использования и планировать сроки замены по фактическому состоянию.

Список литературы

1. Верещагин В.И. Влияние процесса старения моторного масла Ravenol VSI 5W-40 SM/CF на его противоизносные свойства / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, М.М. Рунда, В.Г. Шрам, А.В. Берко // Вест. Кузбасского гос. техн. ун-та. – 2013. – № 5 (99). – С. 91–97.
2. Ковальский Б.И. Термоокислительная стабильность трансмиссионных масел / Б.И. Ковальский [и др.]. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – С. 150.
3. Ковальский Б.И. Результаты анализа отработанных моторных масел / Б.И. Ковальский, В.И. Верещагин, В.С. Даниленко, Н.Н. Малышева. // Вестн. университетского комплекса: сб. науч. тр. / под общей ред. Н.В. Василенко. – Красноярск: ВСФ РГУИТП, НИИ СУВПТ, 2006. – № 8(22). – С. 257.
4. Верещагин В.И. Результаты исследования состояния моторного масла при эксплуатации двигателя / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, М.М. Рунда // Вестник Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. № 2. – С. 157–159.
5. Шрам В.Г. Исследование процессов температурной деструкции моторных масел различной базовой основы / В.Г. Шрам // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 1 (72). – С. 117–120.