

Войтов В.А.¹,
Сысенко И.И.,
Кравцов А.Г.¹,
Агапоненко Н.И.²

¹Харьковский национальный техниче-
ский университет сельского хозяйства
имени П.Василенко,
г. Харьков, Украина,

E-mail: ndch_khntusg@mail.ru,

²Автотранспортный техникум ГВУЗ
«Криворожский национальный универ-
ситет»,
г. Кривой Рог, Украина

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МОТОРНОГО МАСЛА ДЛЯ ДВУХТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕН- НЕГО СГОРАНИЯ

УДК 621.891

В работе предложен безразмерный критерий оценки качества моторного масла для двухтактных двигателей внутреннего сгорания. Критерий учитывает противоизносные, противозадирные, антифрикционные, противопиттинговые свойства, а также индекс вязкости, несмываемость масла бензином с поверхностей трения и способность к нагаро- и лакообразованию.

Ключевые слова: моторные масла для двухтактных двигателей, критерий качества моторного масла, растительные моторные масла, противопиттинговые свойства, противоизносные свойства, противозадирные свойства.

Актуальность проблемы

Одним из существенных отличий конструкции двухтактного двигателя от четырехтактного – это отсутствие системы смазки. В мировой практике для смазывания двухтактных двигателей применяют специальные малозольные масла, которые добавляют в бензин в количестве 1...3% [1]. Смесь проходит через двигатель с большой скоростью, при этом часть масла в виде тонкой пленки оседает на деталях двигателя, осуществляя смазку. Оставшаяся часть масла сгорает вместе с топливом. Следовательно экологические проблемы от продуктов сгорания, а также попадания части несгоревшего масла в окружающую среду постоянно будут сопровождать применения таких двигателей [2-4].

Данная статья является продолжением статьи [5] и имеет целью разработать комплексный безразмерный критерий оценки качества моторного масла для двухтактных двигателей внутреннего сгорания. Критерий учитывает противоизносные, противозадирные, антифрикционные, противопиттинговые свойства, а также индекс вязкости, несмываемость масла бензином с поверхностей трения и способность к нагаро- и лакообразованию.

Анализ последних публикаций по данной проблеме

Для двухтактных двигателей начали применять специальные масла, которые отличаются от моторных масел для четырехтактных двигателей [6-10]. Такие присадки, как моющее-диспергирующие, способные удерживать загрязняющие вещества во взвешенном состоянии с последующим задерживанием их фильтром, противопенные, антиокислительные и другие, эффективные в четырехтактных двигателях, не дают эффекта, так как сгорают вместе с бензином, и не будут выполнять своих функций [1]. Более того, такие присадки содержат металлы, например, присадка ДФ-11

(диалкилдитиофосфат цинка), вызывают высокую зольность масел, которая является причиной абразивного изнашивания цилиндропоршневой группы и отложения нагара в камере сгорания, свечах и других деталях двигателя, снижая его надежность.

Все трибосистемы двухтактного двигателя, такие как подшипники качения, на которых установлен коленчатый вал и нижняя, а иногда и верхняя головка шатуна, поршень, поршневые кольца и гильза цилиндра смазывается тонкой масляной пленкой, которая удерживается на поверхности за счет физической адсорбции. В верхней части гильзы цилиндра, где высокая температура, возможна десорбция масляной пленки, а следовательно и работа двигателя в режиме «масляного голодания».

На основании анализа работ [1-10] можно сформулировать основные требования к моторным маслам для двухтактных двигателей.

Анализ требований к моторным маслам для двухтактных двигателей

1. Наличие противоизносных, противозадирных и антифрикционных свойств, которые обеспечивают долговечность трибосистем двигателя и минимальные потери на трение. Наличие таких свойств можно оценивать удельной работой изнашивания E_y , размерность Дж/мм³ или Н·м/мм³ [5].

2. Наличие противопиттинговых свойств, т.е. способность предотвращать усталостное выкрашивание у подшипников качения, которые являются опорами коленчатого вала и головки шатунов. Наличие таких свойств можно оценивать параметром τ/δ , размерность мин/мкм; где τ – время начала образования выкрашивания в подшипнике, определяется в минутах; δ – увеличение радиального зазора в подшипнике за время появления выкрашивания, определяется в мкм [11].

3. Способность сгорать без образования нагара, отложений на свечах зажигания и системы выпуска, а так же не образовывать золу, т.к. зола вызывает абразивное изнашивание цилиндропоршневой группы.

Наличие таких свойств обеспечивается присутствием в масле антиокислительной присадки. При этом многофункциональные присадки не должны содержать металлов, которые в процессе сгорания будут образовывать золу. Наличие таких свойств можно оценить термоокислительной стабильностью согласно ГОСТ 23175-78, т.е. способностью образовывать лак. При этом, содержание лака, учитывается не в процентах, а в удельных единицах, грамм образованного лака на испытуемый объем масла с учетом летучих веществ в масле C , гр/м³.

4. Способность обеспечивать адсорбированную масляную пленку на поверхности цилиндра и других деталях двигателя, не смываться бензином в процессе работы.

Наличие таких свойств можно оценить последовательными пятисекундными окунами покрытой маслом пластинки в бензин. Число окунений до полного смывания (до 95% площади) является мерой, которая оценивает несмываемость масел с поверхности цилиндра – $Ч$, единица измерения – безразмерна [10].

5. Способность смешиваться с топливом при низких температурах и высоких давлениях. Характерна для современных двухтактных двигателей с отдельной подачей бензина и масла. Наличие таких свойств можно оценить индексом вязкости – ИВ, единица измерения – безразмерна. Чем выше индекс вязкости, тем более пологой вязкостно-температурной характеристикой обладает моторное масло.

Методический подход в проведении исследований

Изложенные выше параметры могут выступать для получения безразмерного критерия качества моторного масла. Как и при классическом подоби [12] безразмерный

критерий может быть получен способом анализа размерностей для процесса, рассматриваемого в интервале весьма малых изменений искомых величин, характеризующихся дифференциалами с последующим интегрированием и переходом к интегральным критериям, которые описывают изучаемый процесс в целом.

Интегральное подобие было предложено для исследования нелинейных систем с переменными параметрами [12]. В таком случае для установления подобия явлений существенны не соотношения между текущими (мгновенными) значениями параметров изучаемых процессов, а соотношения между их функциями (областями) или функционалами.

В соответствии с правилами получения критериев подобия [12] методом анализа размерностей в качестве единиц измерения выбраны: длина – L, м; масса – M, кг; время – T, с.

Базисными переменными в выбранной системе единиц измерения можно использовать следующие сочетания параметров изучаемого процесса:

$$E_y = \frac{\kappa \tau}{c^2 \cdot m}; \quad \frac{\tau}{\delta} = \frac{c}{m}; \quad C = \frac{\kappa \tau}{m^3}.$$

По методике, изложенной в работе [12], получаем следующую запись:

$$K_m = \frac{\tau}{\delta} \sqrt{\frac{E_y \cdot \tau \cdot IB}{C}}, \quad (1)$$

При подстановке размерностей параметров в формулу (1) следует, критерий K_m является безразмерной величиной. Физический смысл данного критерия будет состоять в следующем.

Максимальное значение критерия K_m принимает при наличии в моторном масле хороших противопиттинговых свойств при одновременном минимальном износе подшипников качения, а так же хороших противоизносных, противозадирных и антифрикционных свойствах. Одновременно с заявленными свойствами моторное масло не должно смываться со стенок цилиндра и других деталей двигателя, хорошо смешиваться с бензином при низких температурах и минимально откладывать лак и нагар в процессе сгорания. И, наоборот, минимальные значения K_m соответствуют условиям, когда перечисленные выше свойства будут иметь противоположные значения.

Исходя из анализа формулы (1) следует вывод, что безразмерный критерий K_m может выступать мерой интегральных свойств (качества) моторного масла для двухтактных двигателей. Чем больше значение безразмерного критерия K_m , тем лучшими интегральными свойствами (качеством) будет обладать моторное масло для двухтактных двигателей.

Экспериментальные исследования и методика оценки противопиттинговых свойств моторных масел

В работе [11] выполнен анализ методик оценки показателей противопиттинговой способности смазочных материалов по результатам которых выбрана структура исследовательского комплекса и параметры сигналов акустической эмиссии возникновения питтинга.

Исследование проводили на шариковых подшипниках № 202 одной партии изготовления.

Сигнал акустической эмиссии, который генерируется подшипником, воспринимается широкополосным датчиком GT300 (полоса пропускания 100...800 кГц) и поступает в усилитель, затем в USB-осциллограф PV 650I и далее в компьютер.

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
 Technical service of agriculture, forestry and transport systems

Полоса пропускания USB-осцилографа составляет 20МГц, что многократно превышает верхние границы датчика и усилителя.

Образование питтинга на дорожке подшипника приводит к скачкообразному возрастанию интенсивности акустической эмиссии [11].

Эксперимент повторяли пятнадцать раз с заменой подшипника на новый. После завершения эксперимента определили среднеарифметическое время появления очагов усталостного выкрашивания τ , мин, и среднеквадратическое отклонение времени начала выкрашивания.

В отличие от ранее проведенных работ [11] вторым параметром, который измеряли после появления очагов усталостного выкрашивания, было выбрано увеличение радиального зазора за время испытаний. Перед началом испытаний на специальном устройстве измеряли начальный радиальный зазор, который для всей партии подшипников составил 20 мкм, что соответствует ГОСТ 24810-81 – «Подшипники качения. Зазоры». После завершения испытаний, т.е. после появления усталостного выкрашивания, также выполняли измерения радиального зазора. Разница между конечным и начальным радиальным зазором характеризует износ подшипника δ в мкм. Отношение среднеарифметического времени начала появления очагов выкрашивания на дорожках подшипника τ к среднеарифметической величине износа (увеличение радиального зазора) подшипника за время появления очагов выкрашивания, дает комплексный параметр противопиттинговых свойств τ/δ , мин/мкм, с учетом величины износа.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели противопиттинговых свойств смазочных материалов

| Смазочный материал | Средне-арифметическое время τ , мин | Среднеквадратическое отклонение времени начала усталостного выкрашивания | Средне-арифметическое значение увеличения радиального зазора δ , мкм | Комплексный параметр противопиттинговых свойств τ/δ , мин/мкм |
|-------------------------|--|--|---|---|
| Масло Такт-2Т | 45,74 | 5,47 | 40 | 1,14 |
| Масло Рапсовое +П | 86,33 | 9,45 | 20 | 4,31 |
| Масло ELF МОТО 2ХТ Tech | 63,99 | 4,12 | 10 | 6,39 |
| Масло Подсолнечное +П | 74,60 | 4,74 | 20 | 3,73 |
| Масло Пуск-2Т | 70,32 | 4,09 | 30 | 2,34 |

Как следует из представленных результатов лучшими противопиттинговыми свойствами (наибольшее значение комплексного показателя τ/δ) обладают (в порядке убывания): синтетическое масло ELF МОТО 2ХТ Tech, рапсовое масло +П; подсолнечное масло +П; полусинтетическое масло Пуск-2Т. Минеральное масло Такт-2Т показало худший результат.

При этом анализ величины среднеквадратического отклонения позволяет сделать вывод, что рапсовое масло имеет большой разброс показаний от опыта к опыту, что свидетельствует о сложных и неустойчивых процессах вызывающих усталостное выкрашивание. И наоборот, масло подсолнечное, ELF МОТО 2ХТ Tech и Пуск-2Т имеют минимальный разброс и устойчивые показатели по времени появления усталостного выкра-

шивания. Это позволяет сделать вывод, что подобранный комплекс присадок к растительным маслам в большей степени подходит для подсолнечного масла, чем для рапсового [5].

Экспериментальные исследования и методика оценки смываемости и индекса вязкости моторных масел

Методика оценки смываемости масел с поверхности металла основана на работах фирмы Shell (США), суть которой состоит в последовательных пятисекундных окунаниях покрытой маслом пластинки в жидкий гептан. При этом считается число окунаний, при котором не остается следов масла на поверхности металлической пластинки. Однако в публикациях специалистов фирмы не приводятся данные как и чем контролируется наличие на поверхности следов масла, что будет влиять на точность и воспроизводимость данных эксперимента.

Анализируя подобные отечественные стандарты можно отметить ГОСТ Р 51021-97 «Метод определения смываемости с посуды». Стандарт распространяется на товары бытовой химии и устанавливает метод определения смываемости с посуды ПАВ, физическая сущность которого основана на окрашивании в синий цвет соединения ПАВ красителем, экстракции его с поверхности и измерения оптической плотности полученного раствора при контрольном смыве.

Сложность данной методики состоит в применении фотоэлектроколориметра любого типа, обеспечивающего измерение оптической плотности при длине волны (590 ±10) нм, что требует тарировки, поверки и оценки точности получаемых результатов.

На основании изложенных выше двух методик была разработана методика оценки смываемости масел с поверхности металла, сущность которой заключается в определении числа окунаний в бензин А-95-Евро, ДСТУ 4839:2007 покрытой маслом пластинки изготовленной из ст. 3 площадью 10 см² (размер 2 x 5 см) толщиной 1 мм с контролем наличия на поверхности следов масла.

Перед экспериментом в испытуемое масло вводили флуорисцирующий пенетрант (жидкость), в объеме 1,0% масс, которая полностью и равномерно растворялась в исследуемом масле. Температура масла и температура бензина 18±3°C.

Масло на обезжиренную ацетоном и сухую пластинку наносилось на обе поверхности кистью или окунанием, с последующей пятисекундной выдержкой перед окунанием в бензин.

Пластинку с помощью пинцета окунали на пять секунд в бензин, строго вертикально, и после извлечения под ультрафиолетовым фонарем осматривали обе поверхности. Время осмотра пять секунд.

Наличие масла на поверхности регистрировалось фиолетовым свечением. При свечении менее 5% площади пластинки принималось решение, что смыв масла произошел, при этом регистрировалось число окунаний пластинки.

Для лучшего определения остатка площади, которая покрыта следами масла, пластинка имела квадратную сетку на поверхности с площадью квадрата 1 см².

Результаты эксперимента по смыванию испытуемых масел в сравнении с товарными моторными и растительными с присадками представлены в таблице 2. В таблице представлены среднестатистические значения трех повторов с расчетом дисперсии, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации.

В связи с тем, что дисперсия и среднеквадратическое отклонение для всех типов масел в процессе эксперимента оказались одинаковыми, дополнительно был введен статистический параметр – коэффициент вариации, который определяет диапазон изменения числа окунаний в процентах, от среднеарифметического значения. Анализируя значения параметров, представленных в таблице 2, можно сделать вывод, что наибольшее

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
 Technical service of agriculture, forestry and transport systems

значение число окунаний, которое характеризует смываемость масел, характерно для растительных масел с присадками и равно для подсолнечного +П – 13 окунаний, а для рапсового +П – 12 окунаний.

Таблица 2

Среднестатистические значения числа смываемости масел

| Тип масла | Среднее значение числа окутаний, ч | Дисперсия S^2 | Среднеквадратическое отклонение S | Коэффициент вариации K , % |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Минеральное Такт-2Т | 8 | 0,66 | 0,81 | 10,1 |
| Полусинтетическое Пуск-2Т | 9 | 0,66 | 0,81 | 9,0 |
| Синтетическое ELF МOTO 2ХТ Tech | 11 | 0,66 | 0,81 | 7,3 |
| Рапсовое +П | 12 | 0,66 | 0,81 | 6,7 |
| Подсолнечное +П | 13 | 0,66 | 0,81 | 6,2 |

Такой результат можно объяснить наличием в подсолнечном масле более 80% олеиновой кислоты и одновременно рициновой, которая содержится в касторовом масле. Как отмечалось в работе [5], такие кислоты, являясь ПАВ, обеспечивают хорошую физическую адсорбцию масла к поверхности металла, что затрудняет его смываемость.

Синтетическое, полусинтетическое и минеральное масла уступают растительным по числу окунаний до полной смываемости на 12%, 28% и 36% соответственно.

Анализ значения коэффициента вариации числа окунаний показывает, что диапазон изменения параметра находится в пределах 6,2... 10,1%. Такое значение можно оценить как удовлетворительное, однако точность измерений можно повысить путем термостабилизации бензина и металлической пластинки, например, на уровне $18 \pm 0,5$ °С.

Методика определения индекса вязкости растительных масел с присадками изложена в ГОСТ 25371-97 «Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости». Сущность метода заключается в расчете индекса вязкости по значениям кинематической вязкости при 40 °С и 100 °С.

Значение индекса вязкости для минерального, полусинтетического и синтетического масел взяты из сертификата качества на товарные масла. Расчет индекса вязкости рапсового +П и подсолнечного +П выполнен по значениям измерений динамической вязкости и плотности масел при 40°С и 100°С с последующим пересчетом в кинематическую вязкость.

Определение динамической вязкости выполняли на вискозиметре Гепплера В3 с падающим шариком согласно нормам TGL 29202/03 или DIN 53015. Методика применения вискозиметра изложена в руководстве по эксплуатации данного прибора.

Результаты измерения с последующим расчетом индекса вязкости представлены в таблице 3.

Из анализа таблицы 3 следует, что все исследуемые масла обладают почти одинаковой кинематической вязкостью при 100°С. Однако при этом растительные масла имеют больший индекс вязкости. Например, индекс вязкости рапсового +П масла превышает индекс вязкости синтетического масла на 6,4%, полусинтетического на 16,4%, минерального на 38,2%. Такой результат позволяет утверждать, что растительные масла с присадками будут лучше смешиваться с бензином при низких температурах, особенно у двигателей с раздельной подачей масла и бензина.

Значение плотности, вязкости и индекса вязкости товарных и растительных масел с присадками

| Тип масла | Плотность при 15°С, кг/м ³ | Кинематическая вязкость при 40°С, мм ² /с | Кинематическая вязкость при 100°С, мм ² /с | Индекс вязкости |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|---|-----------------|
| Минеральное Такт-2Т | 887 | 76,2 | 9,7 | 105 |
| Полусинтетическое Пуск-2Т | 875 | 54,9 | 9,0 | 142 |
| Синтетическое ELF МОТО 2ХТ Tech | 883 | 58,9 | 12,0 | 159 |
| Рапсовое +П | 919 | 36,1 | 9,1 | 170 |
| Подсолнечное +П | 913 | 52,7 | 9,59 | 163 |

Экспериментальные исследования и методика оценки лако- и нагарообразования

Склонность моторных масел образовывать лак и нагар в процессе работы в двигателе оценивали на приборе Папок.

В процессе экспериментальных исследований применяли методику, которая изложена в ГОСТ 23175-78 «Масла смазочные. Метод оценки моторных свойств и определение термоокислительной стабильности». Сущность методики заключается в нагревании одинакового объема масла на тонкой металлической поверхности (тарелка-испаритель), испарение легколетучих веществ содержащихся в масле и образующихся при его разложении под действием температуры остатка в виде лака и нагара.

Перед испытаниями в предварительно очищенные и взвешенные с точностью 0,0002 гр тарелки, помещали 1,0 см³ испытуемого масла. Затем тарелки с маслом взвешивали и устанавливали в прибор Папок, температура рабочей поверхности которого составляла 250°С. После выдержки в приборе 30 минут, тарелки извлекали, охлаждали, удаляли остаток масла, промывали, сушили и снова взвешивали. Массу масла перед испытаниями через плотность пересчитывали в объем, а массу образованного лака и нагара определяли как разницу в массе тарелки с лаком и чистой тарелки перед испытаниями. По результатам взвешивания с точностью 0,0002 гр на аналитических весах ВЛА-200 определяли удельный параметр С, гр/м³, т.е. грамм образованного лака на испытуемый объем масла с учетом летучих веществ в масле.

Результаты испытаний товарных моторных и растительных с присадками масел представлены в таблице 4.

Значение удельного показателя лакообразования позволяет сделать вывод, что у растительных масел с присадками данный параметр находится на уровне 21,3...22,4% от испытуемого объема. У синтетического масла 20,4%, полусинтетического 29,4%, минерального масла 30,4%. При том диапазон колебания массы образовавшегося лака (коэффициент вариации) находится в пределах 5,9...8,3%, что можно признать удовлетворительным. Чем меньше приведенный выше удельный показатель, тем меньше лака и нагара будет образовываться на горячих деталях двухтактного двигателя.

Таблиця 4

Значения удельного параметра лакообразования для различных типов масел

| Тип масла | Среднее значение массы образованного лака m , гр на 1 см ³ масла | Среднеквадратическое отклонение массы лака S | Коэффициент вариации $k = \frac{S}{m}$, % | Удельный показатель C , гр/м ³ |
|---------------------------------|---|--|---|---|
| Минеральное Такт-2Т | 0,3048 | 0,0256 | 8,3 | 304800 |
| Полусинтетическое Пуск-2Т | 0,2946 | 0,0241 | 8,1 | 294600 |
| Синтетическое ELF МOTO 2ХТ Tech | 0,2042 | 0,0128 | 6,2 | 204200 |
| Рапсовое +П | 0,2134 | 0,0132 | 6,1 | 213400 |
| Подсолнечное +П | 0,2246 | 0,0134 | 5,9 | 224600 |

Расчет безразмерного критерия качества моторного масла и его корреляция с другими параметрами

Выполним расчет критерия K_m , формула (1) по значениям, которые получены выше.

1. Комплексный параметр противопиттинговых свойств τ/δ , мин/мкм, представлен в таблице 1.
2. Удельная работа изнашивания E_y , Дж/мм³, представлена в таблице 3, работы [5].
3. Показатель несмываемости масел, число окунаний, таблица 2.
4. Индекс вязкости масел, таблица 3.
5. Удельный параметр лакообразования C , гр/м³, таблица 4.

Значение параметров для пяти исследуемых масел и результаты расчета критерия K_m сведены в таблицу 5. Дополнительно в таблицу 5 введен показатель – классификация масел по API.

Как следует из таблицы 5, безразмерный критерий качества масла позволяет выполнить рейтинг масел. На первом месте среди рассматриваемых масел синтетическое, которое соответствует по классификации API-ТС, на втором – рапсовое +П, на третьем подсолнечное +П, на четвертом полусинтетическое (по API-ТВ), на пятом минеральное (по API-ТА). Такую зависимость можно представить графически, как показано на рисунке 1, которая построена по трем маслам – минеральное масло (точка 1), полусинтетическое (точка 2), синтетическое (точка 3).

Анализ кривой на рисунке 1 позволяет установить диапазоны критерия K_m для различных групп масел по API.

Масла группы ТА имеют значения K_m в диапазоне от 0 до 36. Масла группы ТВ имеют значения K_m в диапазоне от 36 до 90. Масла группы ТС имеют значения K_m в диапазоне от 90 до 200. Масла, которые имеют значения K_m свыше 200 можно классифицировать как группу ТС или перспективную группу TD.

Масло подсолнечное +П, которое имеет значение $K_m = 191$, можно отнести к группе ТС, а масло рапсовое +П, которое имеет значение $K_m = 228$, отнести к группе ТС. Указанные масла, точки 4 и 5, нанесены на рисунке 1.

С помощью метода наименьших квадратов получена зависимость:

$$T(x) = 0,724 \ln K_m - 1,159, \quad (2)$$

где $T(x)$ – группа эксплуатации масел по API, ТА = 1, ТВ = 2, ТС = 3, TD = 4.

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів Technical service of agriculture, forestry and transport systems

Зависимость (2) позволяет выполнить оценку группы эксплуатации масел по API по расчетным значениям безразмерного критерия K_M . Коэффициент корреляции между группой эксплуатации API и безразмерным критерием K_M составляет $R = 0,998$.

Таблица 5

Значение параметров и расчетное значение критерия K_M для товарных и растительных масел

| Тип масла | Классификация API | Комплексный параметр противопиттинговых свойств τ/σ , мин/мкм | Удельная работа изнашивания E_u , Дж/мм ³ | Показатель несмываемости масел ζ | Индекс вязкости ИВ | Удельный показатель лакообразования S , гр/м ³ | Критерий качества масла K_M |
|---------------------------------|---------------------|---|--|--|--------------------|---|-------------------------------|
| Минеральное Такт-2Т | TA | 1,14 | 117 069 | 8 | 105 | 304 800 | 20,47 |
| Полусинтетическое Пуск-2Т | TB | 2,34 | 225 924 | 9 | 142 | 294 600 | 73,25 |
| Синтетическое ALF MOTO 2XT Tech | TC | 6,39 | 297 349 | 11 | 159 | 204 200 | 322,47 |
| Рапсовое +П | Не классифицировано | 4,31 | 294 328 | 12 | 170 | 213 400 | 228,61 |
| Подсолнечное +П | Не классифицировано | 3,73 | 278 520 | 13 | 163 | 224 600 | 191,2 |

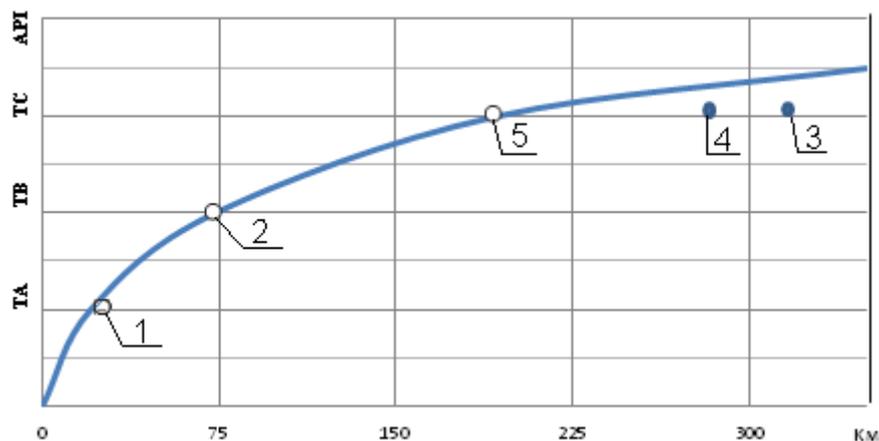


Рис. 1. Зависимость классификации масел по API для двухтактных двигателей от критерия меры качества K_M :
1 – минеральное масло Такт-2Т; 2 – полусинтетическое масло Пуск-2Т; 3 – синтетическое масло ELF MOTO 2XT Tech;
4 – рапсовое +П; 5 – подсолнечное +П.

Выводы

1. Теоретически обоснован и на основании анализа размерностей получен безразмерный критерий моторного масла для двухтактных двигателей, который является интегральной характеристикой противопиттинговых, противоизносных, противозадирных и антифрикционных свойств. В сравнении с известными ранее критериями полученный критерий учитывает несмываемость масляной пленки с деталей двигателя, индекс вязкости и способность к лакообразованию.

2. Экспериментальным путем выполнена оценка всех параметров входящих в критерий качества и расчетным путем получена его величина для товарных моторных и растительных масел с присадками. Установлено, что безразмерный критерий коррелирует с группой эксплуатации масел по API с коэффициентом корреляции $R = 0,998$ и может

выступать как мера качества моторных масел для двухтактных двигателей. Расчетным путем по полученной зависимости установлено, что рапсовое +П и подсолнечное +П масла может соответствовать группе эксплуатации по API-TC.

Литература

1. Мещерин Е.М. Масла для двухтактных двигателей / Е.М. Мещерин, С.Б. Борщевский, М.Е. Осперовская, Е.К. Шабанова // Химия и технология топлив и масел, 1982, № 9, с. 18-19.
2. Евдокимов А.Ю., Фукс И.Г., Облащикова И.Р. Экологические аспекты химмотологии смазочных материалов. - М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001, с. 115-116.
3. Мещерин Е.М., Островская М.Е. Масла для двухтактных бензиновых двигателей. Тематический обзор. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1989.-70 с.
4. Воробьева Е.В. Исследование и разработка экологически улучшенного масла для двухтактных бензиновых двигателей. Дисс. канд. техн. наук. М: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. - 89 с.
5. Войтов В.А. Трибологические свойства моторных масел для двухтактных двигателей внутреннего сгорания на растительной основе / В.А. Войтов, И.И. Сысенко, А.Г. Кравцов // Проблеми трибології. – 2014. – № 1. – С. 27 – 38.
6. Мещерин Е.М. Масла для подвесных моторов / Е.М. Мещерин, М.Е. Островская // Катера и яхты, 1995, 1-4(158), с. 60-62.
7. Владимиров И. Масла для двухтактных подвесных моторов / И. Владимиров // Катера и яхты, 2006, 1(199), с.97-99.
8. Владимиров И. Масла для двухтактных подвесных моторов / И. Владимиров // Катера и яхты, 2006, 2(200), с.106-108.
9. Владимиров И. Масла для двухтактных подвесных моторов / И. Владимиров // Катера и яхты, 2006, 3(201), с.110-112.
10. Трение и смазка. Масла для двухтактных двигателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://aviagam.ru/> - Название с экрана.
11. Войтов В.А. Исследование противопиттинговых свойств моторных масел на растительной основе / В.А. Войтов, И.И. Сысенко // Збірник наук. праць КНТУ «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – 2013. – Вип. 26. – с. 21-26.
12. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике // Л.И. Седов. – М.: Наука, 1981. – 448 с.

Vojtov V.A., Sysenko I.I., Kravtsov A.G., Agaponenko N.I. **Quality assessment of motor oil for two-stroke internal combustion engines**

In this paper we propose a dimensionless criterion for the quality of motor oil for two-stroke internal combustion engines. Criterion takes into account antiwear, extreme pressure, anti-friction, antipitting properties and viscosity index oil gasoline indelibly with friction surfaces and the ability to sludging and laking.

Keywords: motor oil for two-stroke engines, engine oil quality criterion, vegetable motor oil, antipitting properties, antiwear properties, extreme pressure properties

References

1. Meshherin E.M. Masla dlja dvouhtaknyh dvigatelej / E.M. Meshherin, S.B. Borshhevskij, M.E. Osperovskaja, E.K. Shabanova // Himija i tehnologija topliv i masel, 1982, № 9, s. 18-19.
2. Evdokimov A.Ju., Fuks I.G., Oblashhikova I.R. Jekologicheskie aspekty himmotologii smazochnyh materialov. - M.: GUP Izdatel'stvo «Neft' i gaz» RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina, 2001, s. 115-116.
3. Meshherin E.M., Ostrovskaja M.E. Masla dlja dvouhtaknyh benzinovyh dvigatelej. Tematicheskij obzor. M.: CNIITJeneftehim, 1989.-70 s.
4. Vorob'eva E.V. Issledovanie i razrabotka jekologicheski uluchshennogo masla dlja dvouhtaknyh benzinovyh dvigatelej. Diss. kand. tehn. nauk. M: RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina, 2001. - 89 s.
5. Vojtov V.A. Tribologicheskie svojstva motornyh masel dlja dvouhtaknyh dvigatelej vnutrennego sgoranija na rastitel'noj osnove / V.A. Vojtov, I.I. Sysenko, A.G. Kravcov // Problemi tribologii. – 2014. – № 1. – S. 27 – 38.
6. Meshherin E.M. Masla dlja podvesnyh motorov / E.M. Meshherin, M.E. Ostrovskaja // Katera i jahty, 1995, 1-4(158), s. 60-62.
7. Vladimirov I. Masla dlja dvouhtaknyh podvesnyh motorov / I. Vladimirov // Katera i jahty, 2006, 1(199), s.97-99.
8. Vladimirov I. Masla dlja dvouhtaknyh podvesnyh motorov / I. Vladimirov // Katera i jahty, 2006, 2(200), s.106-108.
9. Vladimirov I. Masla dlja dvouhtaknyh podvesnyh motorov / I. Vladimirov // Katera i jahty, 2006, 3(201), s.110-112.
10. Trenie i smazka. Masla dlja dvouhtaknyh dvigatelej [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://aviagam.ru/> - Nazvanie s jekrana.
11. Vojtov V.A. Issledovanie protivopittingovyh svojstv motornyh masel na rastitel'noj osnove / V.A. Vojtov, I.I. Sysenko // Zbirnik nauk. prac' KNTU «Tehnika v sil'skogospodars'komu virobnictvi, galuzeve mashinobuduvannja, avtomatizacija». – 2013. – Vip. 26. – s. 21-26.
12. Sedov L.I. Metody podobija i razmernosti v mehanike // L.I. Sedov. – M.: Nauka, 1981. – 448 s.