

**Войтов В.А.,  
Сысенко И.И.,  
Кравцов А.Г.**

Харьковский национальный технический  
университет с/х им. П. Василенко,  
г. Харьков, Украина  
**E-mail:** [ndch\\_khntusg@mail.ru](mailto:ndch_khntusg@mail.ru)

## КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МОТОРНОГО МАСЛА ДЛЯ ДВУХТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО 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 поверхностями 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 проходить 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 проложением 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 поверхностями 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/мм<sup>3</sup> или Н·м/мм<sup>3</sup> [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  $\tau/\delta$ , размерность мин/мкм; где  $\tau$  – время начала образования

выкрашивания в подшипнике, определяется в минутах;  $\delta$  – 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/м<sup>3</sup>.

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 смыывания (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 раздельной 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 подобии [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:

$$E_y = \frac{\text{кг}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}}; \quad \frac{\tau}{\delta} = \frac{\text{с}}{\text{м}}; \quad C = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

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

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

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

Максимальное значение критерий  $K_m$  принимает при наличие в моторном масле хороших противопиттинговых свойств при одновременном минимальном износе подшипников качения, а так же хороших противозадирных, 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.

Полоса пропускания USB-осциллографа 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  $\tau$ , мин, и среднеквадратическое отклонение времени начала усталостного 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  $\delta$  в мкм. Отношение среднеарифметического времени начала появления очагов выкрашивания на дорожках подшипника  $\tau$  к среднеарифметической величине износа (увеличение радиального зазора) подшипника за время появления очагов выкрашивания, дает комплексный параметр противопиттинговых свойств  $\tau/\delta$ , мин/мкм, с учетом величины износа.

Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Показатели противопиттинговых свойств смазочных материалов

Смазочный материал	Среднеарифметическое время $\tau$ , мин	Среднеквадратическое отклонение времени начала усталостного выкрашивания	Среднеарифметическое значение увеличения радиального зазора $\delta$ , мкм	Комплексный параметр противопиттинговых свойств $\tau/\delta$ , мин/мкм
Масло Такт-2Т	45,74	5,47	40	1,14
Масло Рапсовое +П	86,33	9,45	20	4,31
Масло ELF MOTO 2XT 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  $\tau/\delta$ ) обладают (в порядке убывания): синтетическое масло ELF MOTO 2XT 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 MOTO 2XT Tech и Пуск-2Т имеют минимальный разброс и устойчивые показатели по времени появления усталостного выкрашивания. 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  $(590 \pm 10)$  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  $10 \text{ см}^2$  (размер  $2 \times 5 \text{ см}$ ) 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  $18 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

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  $1 \text{ см}^2$ .

Результаты эксперимента по смыванию испытуемых масел в сравнении с товарными моторными и растительными с присадками представлены в табл. 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 табл. 2, можно сделать вывод, что наибольшее 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 MOTO 2XT 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 ВЗ 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 табл. 3.

Из анализа табл. 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.

Таблица 3

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

Тип масла	Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	Кинематическая вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /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 см<sup>3</sup> 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  $C$ , гр/м<sup>3</sup>, 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 табл. 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.

Таблица 4

**Значения удельного параметра лакообразования  
для различных типов масел**

Тип масла	Среднее значение массы образованного лака $m$ , гр на 1 см <sup>3</sup> масла	Среднеквадратическое отклонение массы лака $S$	Коэффициент вариации $k = \frac{S}{m}$ , %	Удельный показатель $C$ , гр/м <sup>3</sup>
Минеральное Такт-2Т	0,3048	0,0256	8,3	304800
Полусинтетическое Пуск-2Т	0,2946	0,0241	8,1	294600
Синтетическое ELF MOTO 2XT 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  $\tau/\delta$ , мин/мкм, представлен в табл. 1.
2. Удельная работа изнашивания  $E_p$ , Дж/мм<sup>3</sup>, представлена в табл. 3, работы [5].
3. Показатель несмываемости масел, число окупаний, табл. 2.
4. Индекс вязкости масел, табл. 3.
5. Удельный параметр лакообразования  $C$ , гр/м<sup>3</sup>, табл. 4.

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

Таблица 5

**Значение параметров и расчетное значение критерия  $K_m$   
для товарных и растительных масел**

Тип масла	Классификация API	Комплексный параметр противопиттинговых свойств $\tau/\delta$ , мин/мкм	Удельная работа изнашивания $E_p$ , Дж/мм <sup>3</sup>	Показатель несмываемости масел $U$	Индекс вязкости $IV$	Удельный показатель лакообразования $C$ , гр/м <sup>3</sup>	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

Как следует из табл. 5, безразмерный критерий качества масла позволяет выполнить рейтинг масел. На первом месте среди рассматриваемых масел синтетическое, которое соответствует по классифи-

кации API-ТС, на втором – рапсовое +П, на третьем подсолнечное +П, на четвертом полусинтетическое (по API-TB), на пятом минеральное (по API-TA). Такую зависимость можно представить графически, как показано на рис. 1, которая построена по трем маслам – минеральное масло (точка 1), полусинтетическое (точка 2), синтетическое (точка 3).

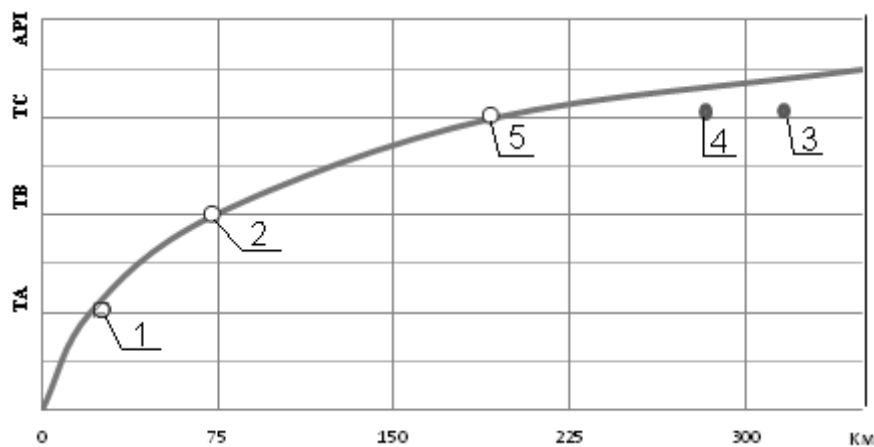


Рис. 1 – Зависимость классификации масел по API для двухтактных двигателей от критерия меры качества  $K_m$ :  
 1 – минеральное масло Такт-2Т; 2 – полусинтетическое масло Пуск-2Т;  
 3 – синтетическое масло ELF MOTO 2XT Tech; 4 – рапсовое +П; 5 – подсолнечное +П

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

Масла группы TA имеют значения  $K_m$  в диапазоне от 0 до 36. Масла группы TB имеют значения  $K_m$  в диапазоне от 36 до 90. Масла группы TC имеют значения  $K_m$  в диапазоне от 90 до 200. Масла, которые имеют значения  $K_m$  свыше 200 можно классифицировать как группу TC или перспективную группу TD.

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

С помощью метода наименьших квадратов получена зависимость:

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

где  $T(x)$  – группа эксплуатации масел по API, TA = 1, TB = 2, TC = 3, TD = 4.

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  $R = 0,998$ .

## 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.

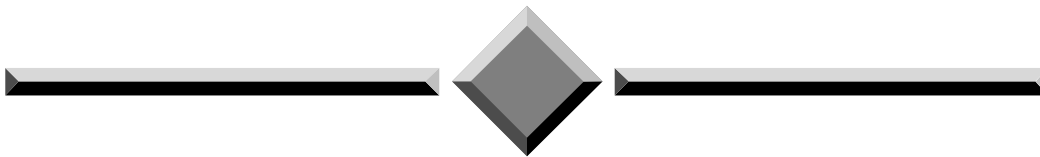
2. Экспериментальным путем выполнена оценка всех параметров входящих в критерий качества и расчетным путем получена его величина для товарных моторных и растительных масел с присадками. Установлено, что безразмерный критерий коррелирует с группой эксплуатации масел по API с коэффициентом корреляции 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

---

**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 // Проблемы трибологии. – 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.

Поступила в редакцію 27.03.2014



**Проблеми трибології**  
**“Problems of Tribology”**  
**E-mail: [tribosenator@gmail.com](mailto:tribosenator@gmail.com)**



Vojtov V.A., Sysenko I.I., Kravtsov A.G. **Quality assessment criteria 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.

**Key words:** 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 himnologii smazochnyh materialov. M.: GUP Izdatel'stvo «Nef't' 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.: CNIITJenftehim, 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. Katera i jahty, 2006, 1(199), s.97-99.
8. Vladimirov I. Masla dlja dvouhtaknyh podvesnyh motorov. Katera i jahty, 2006, 2(200), s.106-108.
9. Vladimirov I. Masla dlja dvouhtaknyh podvesnyh motorov. Katera i jahty, 2006, 3(201), s.110-112.
10. Trenie i smazka. Masla dlja dvouhtaknyh dvigatelej [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa : <http://aviagamma.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 virobniectvi, galuzeve mashinobuduvannja, avtomatizacija». 2013. Vip. 26.– s. 21-26.
12. Sedov L.I. Metody podobija i razmernosti v mehanike. M.: Nauka, 1981. 448 s.