

# ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПО КРАЕВОМУ УГЛУ СМАЧИВАНИЯ

## PERFORMANCE ASSESSMENT OF MOTOR OILS BY THE WETTING ANGLE

**В.В. ВАХРУШЕВ  
С.О. ЧЕРЕПАХИН**

Сибирский научно-исследовательский институт  
механизации и электрификации сельского хозяйства  
СФНЦА РАН, пос. Краснообск, Новосибирский р-н,  
Новосибирская обл., Россия, my-disk21@yandex.ru

**V.V. VAHRUSHEV  
S.O. CHEREPAHIN**

Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification  
of Agriculture of the Siberian Federal Scientific Center  
for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences,  
Krasnoobsk, Russia, my-disk21@yandex.ru

Проблемы, связанные с повышением надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания в значительной степени зависят от качества используемых топливно-смазочных материалов. Одним из показателей качества работающего моторного масла является краевой угол смачивания. Он позволяет оценить загрязненность масла нерастворимыми продуктами и способность масел их диспергировать. Метод заключается в определении диспергирующе-стабилизирующих свойств работающего моторного масла, степени загрязнения масла по краевому углу смачивания масла на поверхности субстрата. Моторное масло является коллоидной жидкостью, которая делится на слои. В верхней части капли находится присадка, которая коагулирует твердые загрязнители, в нижней части – базовое масло с жидким загрязнителем. Такой способ обеспечивает однозначную оценку диспергирующих и стабилизирующих свойств работающих масел, поскольку учитывается угол смачивания в разных слоях капли моторного масла. Загрязненности моторного масла механическими примесями, характеризующие диспергирующие свойства работающего моторного масла, определяются углом в верхнем слое моторного масла. Оценка краевого угла смачивания заключается в определении границ растекания моторного масла по поверхности субстрата. Экспериментальные исследования показали, что: угол смачивания работоспособного моторного масла на поверхностях изменяется в пределах: на стальном субстрате – от 5,36 до 20,62°; на медном субстрате – от 7,45° до 20,39°; на субстрате подшипника скольжения – от 6,62° до 11,73°. Однако по результатам исследования было выявлено, что субстрат, изготовленный из подшипника скольжения, смачивается при любом содержании загрязнителей. Из этого следует, что за критерий краевого угла смачивания необходимо принимать субстраты на основе стали (чугуна) и меди, поскольку они в большей мере отражают диагностический признак.

**Ключевые слова:** краевой угол смачивания, охлаждающая жидкость, тосол, моторное топливо, субстрат, масляная пленка.

The problems associated with improving the reliability and durability of internal combustion engines largely depend on the quality of the fuel and lubricants used. One of the indicators of the quality of working engine oil is the wetting angle. It allows to assess the contamination of the oil with insoluble products and the ability of oils to disperse them. The method consists in determining the dispersing-stabilizing properties of a working engine oil, the degree of oil pollution by the contact angle of oil wetting on the surface of the substrate. Motor oil is a colloidal fluid that is layered. At the top of the drop is an additive that coagulates solid pollutants, at the bottom there is the base oil with a liquid pollutant. This method provides an unambiguous assessment of the dispersing and stabilizing properties of working oils, since the wetting angle in different layers of a drop of motor oil is taken into account. Contamination of engine oil with mechanical impurities, characterizing the dispersing properties of working engine oil, is determined by the angle in the upper layer of engine oil. Assessment of the wetting angle is to determine the boundaries of the spreading of motor oil on the surface of the substrate. Experimental studies have shown that: the wetting angle of a working motor oil on surfaces varies within: on a steel substrate from 5,36 to 20,62°; on a copper substrate from 7,45 to 20,39°; on a plain bearing substrate from 6,62 to 11,73 °. However, according to the results of the study, it was revealed that the substrate made of a plain bearing is wetted at any content of contaminants. From which it follows that substrates based on steel (cast iron) and copper should be taken as a criterion for the wetting angle, since they more closely reflect the diagnostic feature.

**Keywords:** wetting angle, coolant, antifreeze, engine fuel, substrate, oil film.

## Введение

Проблемы, связанные с повышением надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания, в значительной степени зависят от качества используемых топливо-смазочных материалов.

Одним из показателей качества работающего моторного масла является краевой угол смачивания. Он позволяет оценить загрязненность масла нерастворимыми продуктами и способность масел их диспергировать.

## Цель исследования

Повышение однозначности оценки показателей качества работающего моторного масла путем измерения краевого угла смачивания, который позволяет оценить загрязненность масла нерастворимыми продуктами, а также способность масла их диспергировать.

## Материалы и методы

Метод заключается в определении диспергирующе-стабилизирующих свойств работающего моторного масла, степени загрязнения масла по краевому углу смачивания масла на поверхности субстрата.

Краевой угол смачивания  $\Theta$  или  $\cos\Theta$  является характеристикой гидрофильности (гидрофобности) поверхности. Он определяется, как угол между касательной  $AB$ , проведенной к поверхности смачивающей жидкости, и смачиваемой поверхностью твердого тела  $AA$ , при этом всегда отсчитывается от касательной в сторону жидкой фазы. Касательную проводят через точку соприкосновения трех фаз: твердой фазы (мембраны), жидкости (дистиллированная вода) и газа (воздух) [1, 2].

В соответствии с теорией, краевой угол определяется конкуренцией двух действующих сил. Одна сила – это притяжение молекул жидкости к ближайшим молекулам жидкости на поверхности капли. Другая сила – сила адгезии, которая создается притяжением молекул к ближайшим молекулам на поверхности твердого тела и молекулам газа. Эта сила направлена вдоль поверхности твердого тела во внешнюю сторону [1, 3].

Краевой угол смачивания находят из условия механического равновесия по основным параметрам капли моторного масла, нанесенного на поверхность субстрата:

$$\cos\theta = \frac{(d/2)^2 - h^2}{(d/2)^2 + h^2}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр основания капли, мм (рис. 1);  
 $h$  – высота капли, мм.

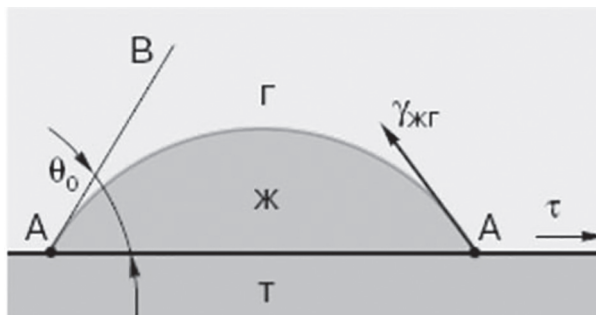


Рис. 1. Измерение краевого угла смачивания

Работоспособным состоянием для моторного масла является состояние, характеризующееся высокой энергией поверхностного натяжения, которая обеспечивает неразрывность масляной пленки и ее стабильное температурное состояние.

Моторное масло – коллоидная жидкость, которая разделяется на слои. В верхней части капли находится присадка, которая коагулирует твердые загрязнители, в нижней части – базовое масло с жидким загрязнителем. Такой способ обеспечивает однозначную оценку диспергирующих и стабилизирующих свойств работающих масел, поскольку учитывается угол смачивания в разных слоях капли моторного масла [4, 5].

Острый угол в нижнем слое является показателем адсорбционной активности базового масла либо свидетельствует о наличии высокой концентрации моторного топлива в работающем моторном масле [6].

Относительно большой угол в нижнем слое свидетельствует о наличии высокой концентрации охлаждающей жидкости в работающем моторном масле.

Загрязненности моторного масла механическими примесями, характеризующие диспергирующие свойства работающего моторного масла, определяются углом в верхнем слое моторного масла. С целью точного определения угла смачивания предлагается использование персонального компьютера с программным обеспечением.

Для поддержания ДВС в работоспособном состоянии необходимо периодически контро-

лизовать показатели качества работающего моторного масла и при необходимости проводить мероприятия по устранению причин, приводящих к истощению служебных свойств [7].

Из проведенного анализа следует:

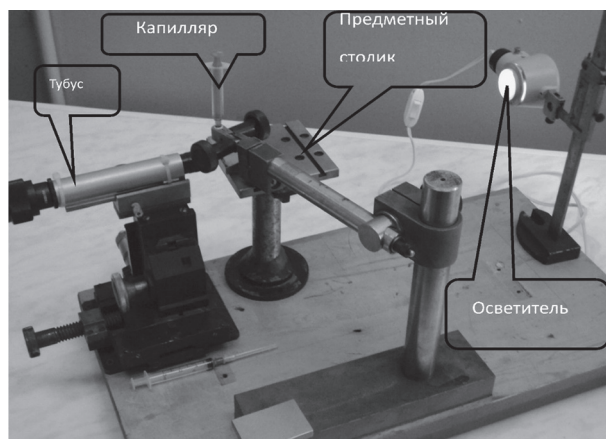
– принятая в настоящее время методика оценки ДСС работающего моторного масла не учитывает иннервационные и адсорбционные процессы, что снижает точность постановки диагноза [8];

– на основании анализа недостатков методов оценки работоспособности работающих моторных масел в рамках настоящей работы предлагается в качестве диагностического параметра рассмотреть применение оценки работоспособности работающего моторного масла по краевому углу смачивания [9].

#### *Частные методики экспериментальных исследований*

Исследования состояния моторных масел проводили на масле под брендом Mobil 10W40 API SM. Эти масла всепогодные и предназначены для эксплуатации в бензиновых двигателях, разработанных и введенных в эксплуатацию после 2004 г.

Схема устройства для измерения краевого угла смачивания представлено на рис. 2.



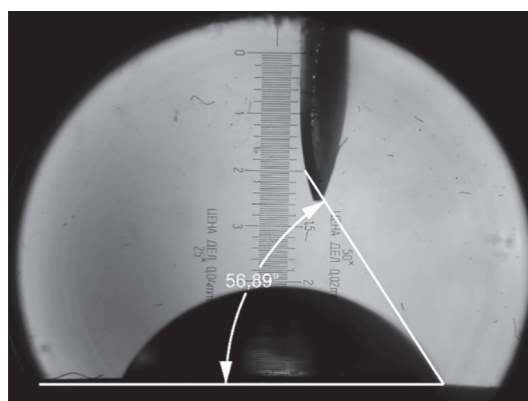
**Рис. 2. Схема устройства для измерения краевого угла смачивания**

Устройство состоит из плиты, на которой установлены: тубус на стойке; осветитель с подобранным светофильтром; предметный столик на котором располагаются субстрат и капилляр установленный на стойке.

Образцы субстратов изготовлены из стали и меди с 11 качеством шероховатости.

Проба масла отбиралась из картера сразу же после остановки двигателя транспортного средства. В противном случае проба не будет отражать фактическое состояние работающего масла, исправность систем агрегатов и режим функционирования узлов трения.

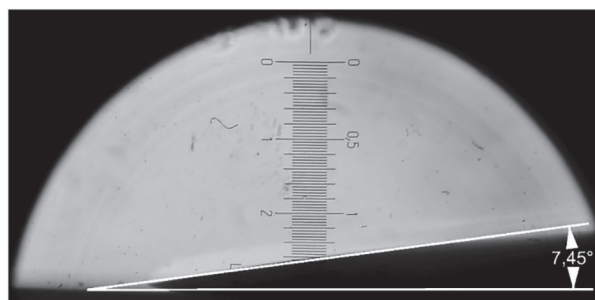
В капилляр набирают отобранное из картера двигателя моторное масло объемом 0,2 см<sup>3</sup>. После этого из капилляра, установленного над субстратом и прогретого до температуры 92,7 °С, наносят каплю масла заданного объема и выдерживают в течении 1 минуты. При этом в окуляре тубуса наблюдают каплю моторного масла, вид которой показан на рис. 3.



**Рис. 3. Капля моторного масла в окуляре тубуса**

Для оценки краевого угла смачивания производили цифровую фотосъемку (цифровая камера Sony Alpha 58 с разрешением 24 мегапикселя) субстрата с находящейся на нем каплей работающего моторного масла. После проведения экспериментов массив фотографий обрабатывался в специально написанной программе для определения краевого угла смачивания.

Программа позволяет, анализируя графический файл микрофотографии, определять краевой угол смачивания и производить обработку результатов. Пример обработанной в программе микрофотографии моторного масла приведен на рис. 4.



**Рис. 4. Обработанная фотография**

## Результаты и обсуждение

Процессы, протекающие в моторном масле, сказываются на способности смачивать поверхности пар трения. Поэтому краевой угол смачивания даст возможность судить о работоспособности моторного масла.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что в зависимости от служебных свойств и марки моторного масла, со-

держания охлаждающей жидкости и топлива изменяется краевой угол смачивания.

Приведенные ниже фотографии отличаются значением угла смачивания на поверхности. Характерные значения углов смачивания на различных поверхностях субстрата с постановкой диагноза о работоспособности моторного масла приведены в таблицах 1–4.

Таблица 1

Сравнительная характеристика краевых углов смачивания загрязнителей

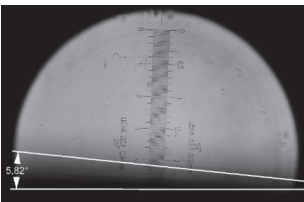
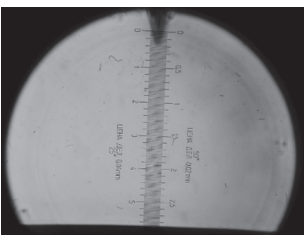
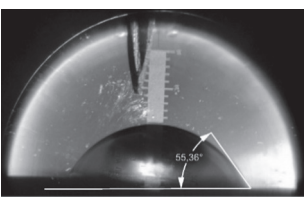
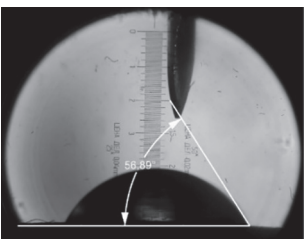
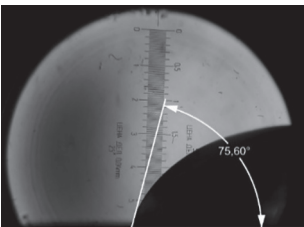
Общий вид	Значение краевого угла смачивания, град.	Загрязнитель
	5,82	Моторное топливо АИ-92. Медная пластина
	0	Моторное топливо АИ-92. Стальная пластина
	55,36	Вода дистиллированная. Медная пластина
	56,89	Вода дистиллированная. Стальная пластина
	75,60	Охлаждающая жидкость – тосол А-40 ГОСТ 28084-89. Стальная пластина

Таблица 2

**Характерные краевые углы смачивания синтетического сезонного моторного масла  
фирмы Mobil API SM на стальной поверхности**

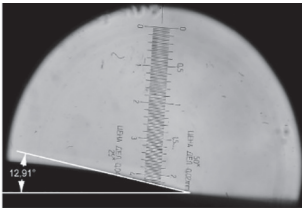
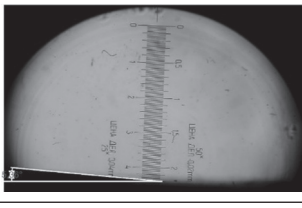
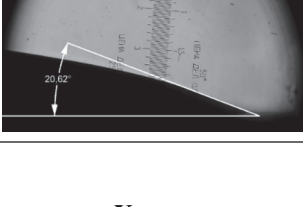
Общий вид	Значение краевого угла смачивания, град.	Содержание загрязнителей в моторном масле	Диагноз
	12,91	Товарное моторное масло. Чистое работоспособное моторное масло	Работоспособно
	5,36	Предельное состояние моторного масла по моторному топливу (концентрация – 1 %)	Не работоспособно
	20,62	Предельное состояние моторного масла по наличию воды (концентрация – 0,1 %)	Не работоспособно

Таблица 3

**Характерные краевые углы смачивания синтетического сезонного моторного масла  
фирмы Mobil API SM на медной поверхности**

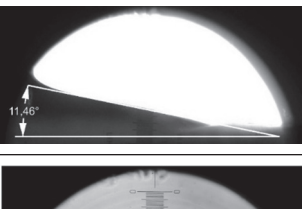
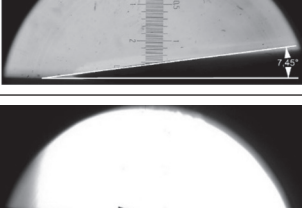

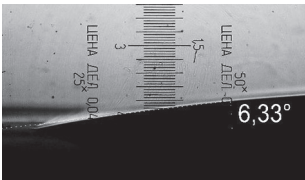
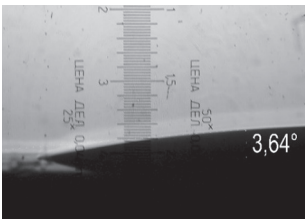
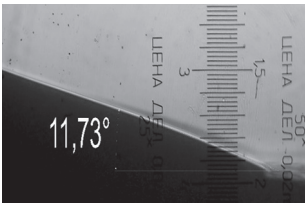
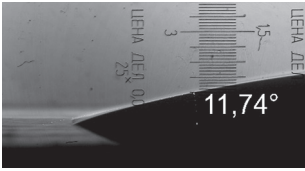
Общий вид	Значение краевого угла смачивания, град.	Содержание загрязнителей в моторном масле, в процентах	Диагноз
	11,46	Чистое работоспособное моторное масло	Работоспособно
	7,45	Предельное состояние моторного масла по моторному топливу (концентрация – 1 %)	Не работоспособно
	20,39	Предельное состояние моторного масла по наличию воды (концентрация – 0,1 %)	Не работоспособно

Таблица 4

**Характерные краевые углы смачивания синтетического сезонного моторного масла  
фирмы Mobil API SM на поверхности субстрата из АСМ9**

Общий вид	Значение краевого угла смачивания, град.	Содержание загрязнителей в моторном масле	Диагноз
	6,33	Чистое работоспособное моторное масло	Работоспособно
	3,64	Предельное состояние мо- торного масла по моторному топливу (концентрация – более 5 %)	Не работоспособно
	11,73	Предельное состояние мотор- ного масла по наличию воды (концентрация – 0,1 %)	Не работоспособно
	11,74	Масло без загрязнителей	Не работоспособно

Экспериментально установлено, что для достоверного анализа однозначного определения краевого угла смачивания необходима выдержка капли моторного масла на поверхности субстрата в течение 1 минуты.

Таким образом, оптимальное время для анализа хроматограммы и постановки диагноза должно составлять не менее 1 минуты.

Выбор субстратов обусловлен материалами, из которых изготовлены детали двигателя внутреннего сгорания [3].

Наличие охлаждающей жидкости и моторного топлива существенно влияют на краевой угол смачивания. Диапазон изменения краевого угла смачивания зависит от шероховатости температуры и поверхности субстрата и материала из которого он изготовлен.

Анализ показал, что краевой угол смачивания работоспособного моторного масла на поверхностях изменяется в пределах:

– на стальном субстрате – от 5,36° до 20,62°;

– на медном субстрате – от 7,45° до 20,39°;  
– на субстрате подшипника скольжения – от 6,62° до 11,73°.

Однако по результатам исследования было выявлено, что субстрат, изготовленный из подшипника скольжения, смачивается при любом содержании загрязнителей. Из этого следует, что за критерий краевого угла смачивания необходимо принимать субстраты на основе стали (чугуна) и меди, поскольку они в большей мере отражают диагностический признак.

Таким образом, при существенном превышении концентрации охлаждающей жидкости и моторного топлива краевой угол смачивания изменится в незначительных пределах, вследствие чего поставленный диагноз может быть ложным.

Для предотвращения постановки ложного диагноза исследование краевого угла смачивания на поверхности субстрата, изготовленного из подшипника скольжения, проводить нецелесообразно.

## Выводы

Диагностическим признаком наличия предельной концентрации охлаждающей жидкости является увеличение краевого угла смачивания до 20°.

Предельное значение краевого угла смачивания:

- на стальном субстрате – от 5,36 до 20,62°;
- на медном субстрате – от 7,45 до 20,39°;
- на субстрате – подшипника скольжения от 6,62 до 11,73°.

При превышении концентрации моторного топлива угол смачивания уменьшается в среднем до 5,36° (что является граничным диагностическим признаком по концентрации моторного топлива).

Моторное масло считается работоспособным при краевом угле смачивания от 6 до 20° на стальных и медных субстратах.

## Литература

1. Химическая энциклопедия. Т. 1–4. М.: Советская энциклопедия, Большая Российская энциклопедия, 1988–1995.
2. Балтенас Р. Моторные масла. М.: СПб.: Альфа-Лаб, 2000. 272 с.
3. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1982. 420 с.
4. Мышкин Н.К. Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. М.: Физматлит. 2007. 368 с.
5. Анисимов А.Г., Бадыштова К.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / под ред. В.М. Школьников. М.: Издательский центр «Техинформ». 1999. 596 с.
6. Авдучевский В.С., Дроздов Ю.Н. Трибология и надежность машин. М.: Наука, 1990. 144 с.
7. Гаркунов Д.Н. Триботехника: пособие для конструкторов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1999. 329 с.
8. Сафонов А.С. Автомобильные эксплуатационные материалы. СПб.: Гидрометеиздат, 1998. 223 с.
9. Кламанн Д. (Esso AG) Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты.: пер с англ. / под ред. Ю.С. Заславского. М.: «Химия», 1988. 488 с.

## References

1. Himicheskaya enciklopediya [Chemical encyclopedia]. Vol. 1–4. Moscow: Sovetskaya enciklopediya, Bol'shaya Rossijskaya enciklopediya, 1988–1995.
2. Baltenas R. Motornye masla [Motor oils]. Moscow: SPb.: Alfa-Lab Publ., 2000. 272 p.
3. Kragel'skij I.V. Trenie i iznos [Friction and wear]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1982. 420 p.
4. Myshkin N.K. Petrokovec M.I. Trenie, smazka, iznos. Fizicheskie osnovy i tekhnicheskie prilozheniya tribologii [Friction, lubrication, wear. Physical foundations and technical applications of tribology]. Moscow: Fizmatlit Publ.. 2007. 368 p.
5. Anisimov A.G., Badyshtova K.M. Topлива, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i prime-nenie: Spravochnik [Fuels, lubricants, technical fluids. Assortment and application: Reference]. Pod red. V.M. SHkol'nikova. Moscow: Izdatel'skij centr «Tekhinform» Publ.. 1999. 596 p.
6. Avduevskij V.S., Drozdov YU.N. Tribologiya i nadezhnost' mashin [Tribology and machine reliability]. Moscow: Nauka Publ., 1990. 144 p.
7. Garkunov D.N. Tribotekhnika: Posobie dlya konstrukturov [Tribotechnology: Handbook for designers]. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1999. 329 p.
8. Safonov A.S. Avtomobil'nye ekspluatacionnye materialy [Automotive maintenance materials]. SPb.: Gidromete-oizdat Publ., 1998. 223 p.
9. Klamann D. (Esso AG) Smazki i rodstvennye produkty. Sintez. Svoystva. Primenenie. Mezhdunarodnye standarty. [Lubricants and related products. Synthesis. Properties. Application. International standards]: per s angl. Pod red. YU.S. Zaslavskogo. Moscow: «Himiya» Publ., 1988. 488 p.