

УДК 532.135

Д.Н. Кашуба, асп., А.Д. Коваль, канд.техн.наук, доц., Б.О. Яхно, канд.техн.наук
НТУ України «Київський політехнічний інститут», г.Київ, Україна

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ МАСЕЛ

Проведені реологічні дослідження автомобільних масел за різних температур. Визначення характеристик проводилося за допомогою приладу Реотест 2. В результаті проведених досліджень зроблені висновки про те, що масла, які розглядалися, при визначених умовах можна розглядати як аномально-в'язкі рідини.

Are carried out rheologicals researches of automobile oils at various temperatures. Studying of characteristics was carried out on device Reotest 2. As a result of the carried out researches conclusions are made, that the considered oils under certain conditions can be considered as abnormal - viscous liquids.

Введение

Как известно [1] используемые в промышленности (в системах гидропривода, автомобилестроения, авиапромышленности и т.п.) технические масла должны соответствовать определенным свойствам, среди которых основными являются эксплуатационные, физические (тепловые), экологические и реологические.

Реологические свойства связаны с вязкостью, вязкостно-температурными, релаксационными, адгезионными и другими характеристиками масел. Этим может быть объяснен большой интерес при выборе для эксплуатации именно этих свойств.

В зависимости от условий эксплуатации, применяемые в автомобилях масла, можно разделить на моторные, трансмиссионные и гидравлические, каждое из которых имеет свою область применения.

Так, например, моторные масла могут быть предназначены для бензиновых двигателей, для дизелей и для малой техники, а трансмиссионные для автоматических трансмиссий и для автоматических коробок передач. Гидравлические же предназначены для систем гидропривода строительных, дорожных, лесозаготовительных, подъемно-транспортных и других машин или используются в качестве рабочей жидкости в телескопических стойках и амортизаторах грузовых и легковых автомобилей.

Масла могут быть минеральными, полусинтетическими и синтетическими, т.е. иметь отличие в молекулярном строении своей основы. Синтетические масла "создаются" с заданными эксплуатационными свойствами. Например, синтетические масла отличаются от минеральных более высокой химической и термической стабильностью, а также текучестью и проникающей способностью. При работе с синтетическими маслами не происходит каких-либо химических превращений (окисления, парафинизации и т.п.), а следовательно сохраняется оптимальное значения вязкости в широком диапазоне температур.

К типичным характеристикам масел относятся

- кинематическая вязкость, мм²/с;
- плотность, кг/м³;
- индекс вязкости;
- щелочное число, мг КОН/г;
- температура вспышки в открытом тигле, °С;
- температура застывания, °С.

Анализ состояния исследований рабочих жидкостей

При эксплуатации масел в определенных режимах важно знание вязкости и факторов на неё влияющих (температура, давление, скорость сдвига, касательное напряжение).

В большинстве случаев вязкость масел зависит в основном от трех величин: температуры, давления, градиента скорости. Если масло представляет собой ньютоновскую жидкость, то $\mu = f(T, p)$, т.е. температуры и давления. В соответствии с данными Роллинга, Флетчера, Ваттермана [4] такая зависимость может быть представлена в виде то есть в виде уравнения гиперболического параболоида.

$$\log \mu = \frac{A_0}{T^x} + C \frac{p^\alpha}{T^x} + Dp^\alpha + B_0,$$

Реологические свойства смазывающей жидкости во многом влияют на износостойкость узлов трения. Так, например, для системы смазки «цилиндр-плоскость» коэффициент трения [2] $C_{тр}$ определяется как

$$C_{тр} = 0,76 (\mu u L / N)^{0,5},$$

где u - скорость; L - длина поверхности; N - усилие, действующее на поверхности, т.е. является функцией величины μ .

Сила трения, действующая в подшипнике скольжения, в первом приближении может быть определена как функция вязкости по формуле Петрова [3]

$$F = \frac{M_{mp}}{R_1} = \mu \frac{SU}{h + \frac{\mu}{C_{f1}} + \frac{\mu}{C_{f2}}},$$

где M_{mp} - момент трения; μ - коэффициент динамической вязкости; $S = 2\pi R_1 H$ - полная поверхность контакта с маслом; $U_1 = \omega_1 R_1$ - окружная скорость; $h = R_2 - R_1$ - расстояние между цилиндрическими поверхностями.

Для случая $C_{f1} = C_{f2} = \infty$, то есть когда смазывающая жидкость полностью прилегает к поверхности, формулу для определения силы трения можно записывают в виде

$$F = \mu \frac{S_1 \omega_1 R_1}{h}.$$

Следует отметить, что данная формула была получена для ньютоновской жидкости при условии, что $\mu = const$.

В том случае, когда величина μ не является величиной постоянной, возникает необходимость корректировки, как данной формулы, так и ей подобных. С целью выяснения целесообразности такой корректировки были проведены исследования реологических характеристик некоторых моторных и трансмиссионных масел. Эти масла имеют минеральную, синтетическую или полусинтетическую основу, см. табл.1. Это необходимо учитывать при решении задач смазки трущихся поверхностей (проблемы триботехники).

Анализ результатов исследуемой вязкости

Реологические исследования, выполнены на ротационном вискозиметре Реотест 2.1 с измерительным устройством типа «цилиндр – цилиндр» в диапазоне градиентов скоростей 16 - 1320 с⁻¹.

Таблица 1

Характеристики исследуемых масел

| Тип | Основа | Область применения |
|--|--|---|
| МОТОРНЫЕ | | |
| PENNASOL SAE 5W-40 | Синтетическое | Бензиновые и дизельные автомобили с турбо зарядкой и без турбо зарядки. Для катализаторных автомобилей и для моторов с много клапанной технологией. |
| YUKOIL SAE 10W-40 | Полусинтетическое | Для высокофорсированных бензиновых и дизельных двигателей легковых автомобилей и микроавтобусов. |
| ВМП ULTRA SEMISYNTHETIC SAE 10W-40 | Полусинтетическое | Бензиновые двигатели и дизели, которые работают в легких условиях и требуют применения масел классификации API SJ/CF |
| «ЛАДА-ЛЮКС» ДИЗЕЛЬ | Нет данных | Дизельные двигатели |
| «ЛАДА-ЛЮКС» SAE 15W-40 | Нет данных | Для бензиновых двигателей легковых автомобилей, микроавтобусов |
| GROM-EX DRIVE SAE 15W-40 | Минеральное | Для двигателей легковых автомобилей, микроавтобусов |
| FORSAGE SAE 15W-40 | Минеральное | В среднефорсированных карбюраторных и дизельных двигателях без наддува |
| ОКЕАН LUX POWER SAE 20W50 | Минеральное | Для бензиновых и дизельных двигателей легковых автомобилей, микроавтобусов и другой техники |
| ТРАНСМИССИОННЫЕ | | |
| ТАД-17 ГОСТ 23652-79 | Минеральное | Смазка цилиндрических, конических, червячных, спирально-конических и гипoidных передач |
| НИПРОЛ (ТУ 38. 101529-2001) | Изготавливается с использованием вязких продуктов прямой перегонки нефти | Смазка агрегатов трансмиссий грузовых автомобилей и тракторов |

Для кольцевого слоя исследуемого масла, расположенного на расстоянии r от оси вращения (рис.1), градиент скорости равен $\dot{\gamma} = r \frac{d\omega}{dr}$, а тангенциальная сила в соответствии с законом Ньютона

$$F_r = \mu r \frac{d\omega}{dr} 2\pi rL.$$

Эта сила создает на радиусе r крутящий момент, который уравновешивается равным и направленным в

противоположную сторону моментом

$$M_{кр} = 4\pi L \mu \omega \frac{R_n^2 R_{вн}^2}{R_n^2 - R_{вн}^2}$$

Для прибора расчетными являются следующие соотношения

$$\tau = \frac{M_{кр}}{2\pi L R_{вн}^2} \text{ - касательное напряжение; } \dot{\gamma} = \frac{2\omega R_n^2}{R_n^2 - R_{вн}^2} \text{ - скорость сдвига.}$$

Зная величину $M_{кр}$, значение динамической вязкости можно определить как функцию угловой скорости наружного цилиндра, т. е.

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{M_{кр}}{\omega} \frac{R_n^2 - R_{вн}^2}{R_n^2 R_{вн}^2} \cdot \frac{1}{4\pi L}$$

где $M_{кр}$ - крутящий момент; $\omega = \frac{\pi n}{30}$ - угловая скорость; n - частота вращения; R_n и $R_{вн}$ - радиусы наружного и внутреннего измерительного цилиндров соответственно,

L - длина измерительного цилиндра.
Следует отметить, что для определения момента трения в подшипниках получена формула

$$M_{мп} = 2\pi r^2 \mu \frac{\omega}{\delta},$$

где $\delta = R_n - R_{вн}$ - толщина слоя жидкости, ω - угловая скорость.

Результаты реологических исследований проведенных для автомобильных масел, представленных в табл.1. при температурах 20, 30, 50 и 80°C при скоростях сдвига 16 - 1320 с⁻¹. представлены в табл.2. Построение реологических кривых в логарифмической системе координат (рис. 2), позволило определить реологические константы в степенном законе Освальда-де-Вилля

$$\tau = k \dot{\gamma}^n,$$

где k - мера консистенции жидкости, n - показатель степени, характеризующий неньютоновские свойства материалов.

На рис.2, в качестве примера, приведены реологические кривые минерального масла GROM-EX DRIVE, SAE 15W-40.

Как видно из табл.2 почти все масла имеют показатель степени близкий к единице. Это позволяет говорить, учитывая погрешность прибора и возможную погрешность измерений, что реологические свойства масел близки к ньютоновским. Однако у масел YUKOIL SAE 10W-40, ВМП ULTRA SEMISYNTHETIC, «ЛАДА-ЛЮКС» ДИЗЕЛЬ SAE 10W-40, «ЛАДА-ЛЮКС» SAE 15W-40 заметно уменьшение показателя степени n , при повышении температуры, следовательно, данным маслам присущи псевдопластичные свойства, то есть, эти масла все же стоит отнести к неньютоновским жидкостям. Это значит, что у реальных масел вязкость является функцией не только температуры, но и градиента скорости, а следовательно вязкость данных масел будет изменяться при изменении частоты вращения вала.

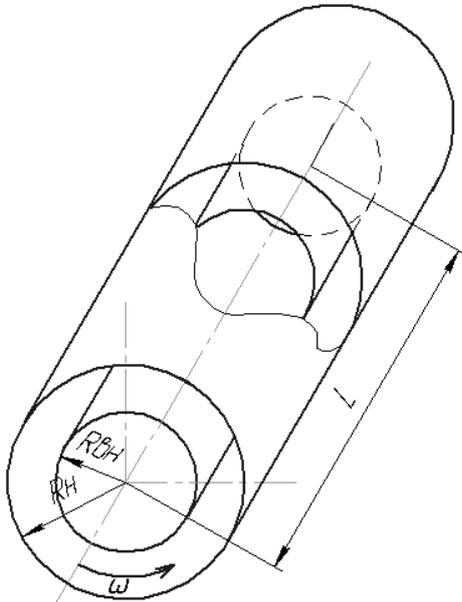


Рис. 1. Схема течения жидкости в зазоре между коаксиальными цилиндрами

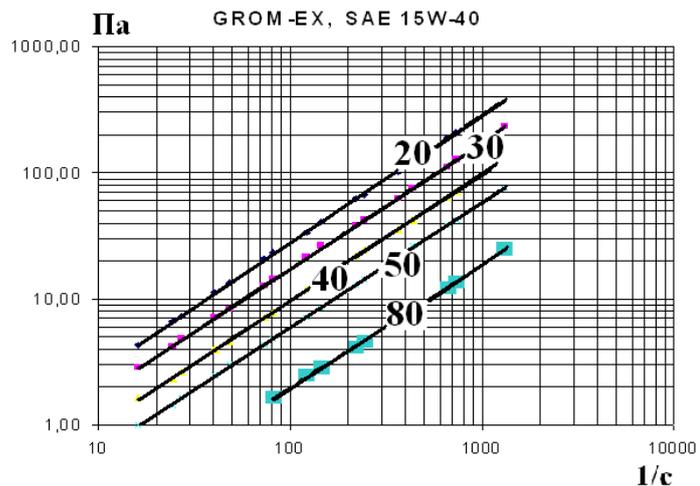


Рис. 2. Реологические кривые минерального масла GROM-EX DRIVE, SAE 15W-40

Таблица 2

Результаты реологических исследований

| Масло | Температура, °С | Реологические параметры | |
|--|-----------------|-------------------------|---------|
| | | k | n |
| PENNASOL SAE 5W-40 | 20 | 0,13680 | 0,99820 |
| | 30 | 0,06960 | 0,98000 |
| | 50 | 0,05250 | 0,97300 |
| | 75 | 0,02260 | 0,99860 |
| YUKOIL SAE 10W-40 | 20 | 0,25810 | 0,99490 |
| | 30 | 0,17860 | 0,96780 |
| | 40 | 0,12110 | 0,94330 |
| | 50 | 0,09090 | 0,92660 |
| | 80 | 0,02660 | 0,96230 |
| BAMII ULTRA SEMISYNTHETIC SAE 10W-40 | 20 | 0,20000 | 0,99710 |
| | 30 | 0,15600 | 0,96920 |
| | 50 | 0,07280 | 0,94870 |
| | 80 | 0,04280 | 0,88010 |
| «ЛАДА-ЛЮКС» ДИЗЕЛЬ | 20 | 0,3958 | 1,0121 |
| | 30 | 0,2515 | 0,9813 |
| | 50 | 0,0935 | 0,9618 |
| | 80 | 0,0297 | 0,9593 |
| «ЛАДА-ЛЮКС» SAE 15W-40 | 20 | 0,1822 | 1,0038 |
| | 30 | 0,1333 | 1,0056 |
| | 50 | 0,0549 | 0,9820 |
| | 80 | 0,0685 | 0,7636 |
| GROM-EX SAE 15W-40 | 20 | 0,2611 | 1,0144 |
| | 30 | 0,1776 | 0,9969 |
| | 40 | 0,1006 | 0,9946 |
| | 50 | 0,0630 | 0,9886 |
| | 80 | 0,0230 | 0,9691 |
| FORSAGE SAE 15W-40 | 20 | 0,18450 | 1,00120 |
| | 40 | 0,07350 | 0,99890 |
| ОКЕАН LUX POWER SAE 20W50 | 20 | 0,2889 | 1,0098 |
| | 30 | 0,2252 | 0,9989 |
| | 50 | 0,0816 | 0,9907 |
| | 80 | 0,0267 | 0,9852 |
| ТАД-17 ГОСТ 23652-79 | 20 | 0,6001 | 1,0069 |
| | 30 | 0,3956 | 1,0117 |
| | 50 | 0,1422 | 0,9673 |
| | 80 | 0,0373 | 0,9704 |
| НИГРОЛ (ТУ 38. 101529-2001) | 20 | 2,3509 | 0,9898 |
| | 30 | 1,0737 | 1,0479 |
| | 50 | 0,3340 | 0,9748 |
| | 80 | 0,0702 | 0,9923 |

Выводы

Таким образом, уточнение реологических свойств автомобильных масел, используемых в процессах гидродинамической смазки трущихся поверхностей, дает возможность корректнее провести расчет сил трения, а следовательно точнее оценить влияние этих свойств на КПД двигателя или силовых агрегатов. Такие выводы основаны на том, что на практике подобного рода жидкости рассматриваются как ньютоновские, в то время как опыты показали, что они могут проявлять аномалию, особенно это сказывается для каждой из жидкостей при определенных рабочих температурах.

Список литературы

1. В.А.Трофимов, О.М.Яхно, А.П.Губарев, Р.И.Солонин. Рабочие жидкости систем гидропривода. – К.: НТУУ «КПИ», 2009. -184с.
2. Чихос Х. Системный анализ в триботехнике, - М., Мир, 1982, 352с.
3. Войтов В.А., Яхно О.М., Аби Сааб Ф.Х. Принципы конструктивной износостойкости узлов трения гидромашин. – К., 1999, Віпол, 192с.
4. Яхно О.М., Дубовицкий В.Ф. Основы реологии полимеров.- Издательское объединение «Вища школа», 1976, 188 с.