

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВЯЗКОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ НА СУММАРНУЮ МОЩНОСТЬ ТРЕНИЯ В ВЫСОКООБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

*А.Ю. Шабанов, к.т.н., доц.; А.Б. Зайцев, к.т.н., доц.; И.С. Кудинов, асп.  
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

Проведен анализ влияния вязкости моторного масла на суммарную мощность трения трибоузлов быстроходного бензинового двигателя при использовании в нем современных синтетических масел. Показано, что в зависимости от вязкости применяемого масла величина крутящего момента в зоне основного эксплуатационного диапазона изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя различается на 3–4 %. Такое изменение эффективного крутящего момента может быть вызвано соответствующим изменением мощности механических потерь, которая зависит от вязкости моторного масла.

Дальнейшее снижение высокотемпературной вязкости дает обратный эффект — наблюдается снижение мощности двигателя, причем наиболее заметное — в зоне высоких частот вращения коленчатого вала.

Таким образом, для подбора оптимального сорта моторного масла для конкретного двигателя следует учитывать не только его классификацию по SAE и API, но и реальную вязкостно-температурную характеристику, определенную при реальных рабочих температурах масла в узлах трения, в первую очередь — сопряжениях поршневое кольцо–гильза цилиндра двигателя.

В современных двигателях на основных расчетных режимах работы все сопряжения трения должны работать в условиях гидродинамического режима смазки. В условиях граничного, полусухого, а иногда и сухого трения узел работает в основном на режимах пуска двигателя, прогрева на малых оборотах коленчатого вала, при критических нагрузках; на этапах приработки трибологических узлов или этапах критического износа. Толщина несущего масляного слоя зависит от скорости вращения коленчатого вала, геометрических параметров сопряжения и динамических характеристик двигателя, а также от параметров и от типа масла.

С повышением вязкости масла несущая способность масляного слоя увеличивается, как это следует из основных положений гидродинамической теории смазки. При повышенных значе-

ниях вязкости надежней обеспечивается жидкостной режим трения и уменьшается износ рабочих поверхностей деталей двигателя. Однако при этом увеличивается мощность трения в узле пропорционально росту вязкости масла. Кроме того, растет пропуск масла на рабочую поверхность гильзы цилиндра, что неизбежно ведет к росту его расхода на угар.

Очевидно, что для каждого типа узлов трения различных двигателей должна существовать оптимальная вязкость смазочного масла, обеспечивающая, с одной стороны, безизносный характер его работы, а с другой стороны, минимизацию потерь трения и расхода масла на угар. Поиск оптимального решения задачи усложняет то обстоятельство, что значения оптимальных вязкостей будут зависеть как от режима работы двигателя, так и от реального состояния узла трения, то есть от первоначальных установочных зазоров или от степени износа.

Авторами был проведен анализ влияния вязкости моторного масла на суммарную мощность трения трибоузлов быстроходного бензинового двигателя при использовании в нем современных синтетических масел, наиболее широко представленных в настоящее время на рынке.

Исследования проводились на моторном стенде, состоящем из электротормозного устройства и автомобильного двигателя в штатной комплектации. На пульт управления выведены контрольно измерительные приборы, позволяющие контролировать режимы работы двигателя и его основные рабочие параметры — крутящий момент, частоту вращения коленчатого вала, расход топлива, температуру и давление масла в системе смазывания, параметры токсичности отработавших газов.

Программа испытаний двигателя при его работе на различных сортах масел базовых характеристик состояла из нескольких этапов. Первый — подготовительный этап. На нем предусматривалось выполнение специальной процедуры смены масла с многократными промывками испытуемым маслом, необходимыми для максимально полного удаления остатков старого масла. На втором этапе проводились измерения основных параметров работы двигателя

Значения кинематической вязкости, полученные в результате эксперимента

Температура масла, °С	Значение кинематической вязкости, сСт							
	Shell Helix Ultra Extra 5W-30	Shell Helix Ultra 5W-40	Motul 8100 Eco-clean C2 5W-30	Xenium GPX 5W-40	Marly Black Gold 5W-30	Xenium VX 5W-30	Liqui Moly 5W-40	Лукойл Синтетик 5W-40
40	64,60	83,80	54,80	78,90	93,00	68,50	84,90	93,20
75	28,39	25,66	20,19	24,60	25,66	24,92	29,02	26,39
100	11,60	14,50	9,99	13,60	13,90	12,10	14,10	15,20
120	8,29	9,19	6,94	8,80	8,63	8,29	9,42	9,64
150	5,13	6,03	4,46	5,86	5,36	5,08	5,70	5,75
195	4,00	2,88	2,76	3,27	3,27	3,10	3,44	3,55

на свежем масле через один моточас его работы в двигателе. На третьем этапе проводился анализ временного изменения свойств масла в процессе длительной работы. Для этого двигатель наработывал на фиксированном режиме работы заданное время, после чего проводилось повторное измерение параметров двигателя по программе второго этапа испытаний. После каждого этапа испытаний отбиралась пробы масла для исследования его физико-химических свойств.

Кроме того, на каждом этапе испытаний определялись механические потери двигателя методом прокрутки двигателя электротормозным устройством стенда. Двигатель прогревался до рабочих температур масла и охлаждающей жидкости, после чего при выключенном зажигании и отключенной подаче топлива осуществлялась его прокрутка со ступенчатым повышением и понижением частоты вращения коленчатого вала. При повышении частоты вращения дроссель был полностью закрыт, при понижении — полностью открыт. Измерение момента механических потерь выполнялось по показаниям весового устройства стенда.

Также производились измерения вязкости и плотности образцов масел, отобранных на различных стадиях испытаний. Необходимо отметить, что измерение вязкости было проведено по модифицированной методике. Действующий ГОСТ 33–2000 предписывает контролировать значение вязкости масла только при двух значениях температуры — 40 и 100 °С, что не в полной мере соответствует действительным значениям температуры моторного масла, работающего в трибосопряжениях при более высоких температурах. Модифицированная методика заключается в использовании жидкости с высокой температурой кипения (порядка 200 °С) в качестве нагревающей среды для измерения вязкости в диапазоне температур от 40 до 195 °С с помощью вискозиметра Пинкевича.

Результаты измерений (табл. 1) показывают что вязкость масла, определенная при стандартных температурах 40 и 100 °С, значительно отличается от реальной вязкости моторного масла при рабочей температуре в трибосопряжении. Это ставит под сомнение возможность подбора оптимального сорта масла для конкретной марки двигателя только по критериям вязкости, предписанными классификацией SAE.

Анализ результатов измерения мощности механических потерь реального двигателя, работающего на маслах с различными значениями высокотемпературной вязкости полностью подтверждает это предположение. На рис. 1 приведены результаты измерения крутящего момента двигателя ВАЗ-2108 при его работе на

трех видах моторных масел — Shell Helix Ultra 5W-40, Shell Helix Ultra Extra 5W-30, Marly Black Gold 5W-30.

Масло Shell Helix 5W40 имеет вязкость в зоне температур 190–200 °С, характерных для условий работы поршневых колец, равную 2,8 сСт, Shell Helix 5W30 — 4,0 сСт, Marly 5W30 — 3,3 сСт. Эти различия в значениях высокотемпературной вязкости масла проявляются в изменении крутящего момента двигателя. При работе на масле Shell Helix 5W40, имеющем меньшую высокотемпературную вязкость, величина крутящего момента в диапазоне основных эксплуатационных частот вращения коленчатого вала двигателя, оказалась выше на 3–4 %, чем при использовании других масел, имеющих большую

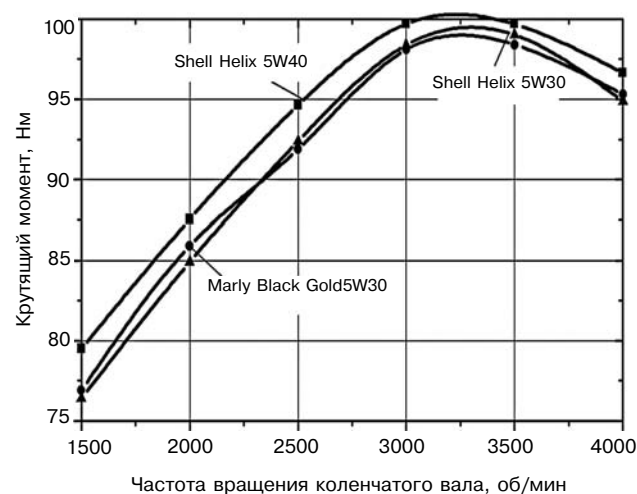


Рис. 1. Изменение крутящего момента двигателя ВАЗ-2108 при его работе на различных моторных маслах (внешняя скоростная характеристика)

вязкость. Поскольку все регулировки двигателя, топливо и условия испытаний были идентичными, изменение эффективного крутящего момента может быть вызвано только соответствующим изменением мощности механических потерь, которая зависит от вязкости моторного масла. В то же время наиболее эффективное масло Shell Helix 5W40, если судить по его классификации SAE, наоборот, должно обеспечивать существенно большую вязкость и дать большие потери гидродинамического трения.

Дальнейшее снижение высокотемпературной вязкости дает обратный эффект — наблюдается снижение мощности двигателя, причем наиболее заметное в зоне высоких частот вращения коленчатого вала. Это подтверждают результаты экспериментов, проведенные с использованием моторного масла Motul 8100 Eco-clean C2 5W-30, имеющего высокотемпературную вязкость, но более низкую, чем у масла Shell Helix 5W40.

Таким образом, для подбора оптимального сорта моторного масла для конкретного двигателя следует учитывать не только его классификацию по SAE и API, но и реальную вязкостно-температурную характеристику, измеренную при реальных рабочих температурах масла в узлах трения, в первую очередь — сопряжениях поршневое кольцо—гильза цилиндра двигателя.

Кроме того, в качестве отдельной задачи возникает необходимость синтеза оптимальной вязкостно-температурной характеристики моторного масла, удовлетворяющей требованиям обеспечения минимизации механических потерь и расхода масла на угар при сохранении безыносного режима работы в сопряжениях трения. Эта задача может быть решена только с использованием методов математического моделирования работы сопряжений трения ДВС с учетом реальной вязкостно-температурной характеристики моторного масла.

## ИТОГИ КОНФЕРЕНЦИИ «РАЗВИТИЕ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ В РОССИИ»

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ДУМА  
ФЕДЕРАЛЬНОГО СОБРАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПЯТОГО СОЗЫВА

КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И НАУКОЕМКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Георгиевский пер., д. 2, Москва, 103265 Тел. 692 60 98 Факс 692 66 30 E-mail: chereshev@duma.gov.ru

21 августа 2009 г.

№ Шх 3.30-30/293

Заместителю Председателя Правительства  
Российской Федерации

**С.Б. Иванову**

Копия: главному редактору журнала  
«Двигателестроение»

**Новикову Л.А.**

а/я 65, Набережная Робеспьера, д.10, корп.  
А-А, офис 14,  
г. Санкт-Петербург, 191123

**Уважаемый Сергей Борисович!**

В Комитет Государственной Думы по науке и наукоемким технологиям обратился главный редактор журнала «Двигателестроение» Л.А. Новиков по вопросу неблагоприятного состояния отрасли двигателестроения.

Прошу Вас рассмотреть указанное обращение и о результатах проинформировать Л.А. Новикова и Комитет.

Приложение: на 1 л. + журнал в первый адрес.

С уважением,

Председатель Комитета



В.А. Черешнев

В.Л. Ионченко  
692 92 94