

УДК 62-144:621.892.1

ИЗМЕНЕНИЕ ПУСКОВЫХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПО МЕРЕ ИХ НАРАБОТКИ В ДВИГАТЕЛЕ

А.А. Чудиновских, к.т.н. / В.А. Лашхи, д.т.н.
ЗАО «НАМИ-ХИМ»

Холодный пуск двигателя внутреннего сгорания (ДВС) является серьёзной проблемой прежде всего с практической точки зрения. Его надёжное обеспечение представляет несомненный интерес и достигается различными техническими приёмами. Трудность холодного пуска двигателя определяется увеличением сопротивления проворачиванию коленчатого вала вследствие повышения вязкости масла, снижением давления насыщенных паров топлива, уменьшением мощности аккумуляторных батарей и повышением трибологических потерь в цилиндро-поршневой группе. С учётом этого оценка пусковых качеств двигателей внутреннего сгорания представляет собой сложную задачу как в теоретическом, так и в экспериментальном отношении.

Решение данной задачи в первом приближении состоит в определении пусковой мощности, зависящей от пусковой частоты вращения коленчатого вала и соответствующего ей момента сопротивления. Применительно к моторным маслам различают два самостоятельных показателя: пусковые свойства и прокачиваемость. Пусковые свойства определяются сопротивлением перемещению трущихся поверхностей, разделённых слоем смазки. Они влияют на частоту вращения коленчатого вала. Под прокачиваемостью понимают бесперебойную подачу масла к узлам трения. Её характеризуют либо временем, прошедшим с момента пуска двигателя до поступления масла к данной детали (подшипнику, коромыслу в механизме газораспределения, гильзе цилиндра и др.), либо временем, необходимым для достижения требуемого давления в центральной масляной магистрали двигателя.

Иными словами, под пусковыми свойствами понимают способность моторного масла при прочих равных условиях обеспечивать при вращении коленчатого вала достижение так называемого минимального пускового числа оборотов. Лучшие пусковые свойства позволяют быстрее прокручивать вал до требуемой пусковой частоты. Пусковые свойства реализуются при повышенных градиентах скорости сдвига, действующих на масло.

В свою очередь, прокачиваемость рассматривается как способность моторного масла с момента начала пуска двигателя активно перемещаться к трущимся деталям и достигать регламентируемого давления в масляной магистрали. Прокачиваемость реализуется в условиях низких скоростей сдвига, действующих на масло. Лучшая прокачиваемость обеспечивает быстрое перемещение масла по масляной магистрали.

Учитывая важность характеристик моторного масла для обеспе-

чения холодного пуска двигателя, более подробно рассмотрим его пусковые свойства.

В исследовательской практике пусковые свойства оцениваются преимущественно для свежих масел, то есть находящихся в исходном состоянии. В то же время в условиях применения эксплуатантам в большинстве своём приходится сталкиваться с моторными маслами, имеющими различные степени наработки в двигателе. Текущее состояние в отличие от исходного на практике является доминирующим, представляющим наибольший интерес и требующим более детального самостоятельного рассмотрения.

Следует отметить, что пусковые свойства моторных масел, как правило, определяются в ДВС, установленном в холодной камере. Это, однако, является достаточно длительным и дорогостоящим мероприятием, что исключает возможность использования такого

Таблица 1. Прогнозируемая температура холодного пуска усреднённого двигателя на окисленных маслах

№№	Масло	Температура холодного пуска, °С, при окислении масла в течение, ч.			
		0	1	3	5
1	М-8В	20	19,0	17,3	15,6
2	М-8Г1	20	19,5	18,1	16,7
3	М-63/10В	20	19,6	19,1	18,0

способа для ускоренной оценки и выработки соответствующих прогнозов, то есть в качестве пригодного оперативного метода контроля, удобного для частого использования.

В частности, в отсутствие оперативного метода крайне затруднительно определить динамику изменения пусковых свойств масел в зависимости от варьирования их химического состава, в том числе при попадании в масло в процессе эксплуатации нетипичных веществ. В этом случае оперативный метод контроля, в том числе на этапе разработки новых зимних, северных или всесезонных моторных масел, ограничивался определением низкотемпературной вязкости и температуры застывания. Указанные характеристики либо сравнивались с выбранным эталоном (если таковой имелся на практике как товарный продукт), либо сверялись с ориентировочно предполагаемыми значениями. Это, естественно, не позволяло проводить каких-либо прямых сопоставлений, ограничивая контроль лишь опосредованным сравнением.

Для исключения указанного недостатка в методологии химмотологии моторных масел в отечественной исследовательской практике для оперативной оценки пусковых свойств разработана соответствующая методика, базирующаяся на использовании в лабораторных условиях прибора Reotest 2.1. В отличие от существующих зарубежных методик отечественная спроецирована на определение возможной температуры пуска двигателя – наиболее важной характеристики для любого эксплуатанта.

В соответствии с действующей методикой оценка пусковых свойств моторных масел проводится в приборе Reotest 2.1 с парой «конус – плита» при градиенте скорости сдвига, равном 900 °С.

Сравнение пусковых свойств различных моторных масел для двигателей одного типа позволило связать температуру холодного пуска двигателя с величиной динамической вязкости этих масел, определённой в вискозиметре в указанных условиях, соотношением

$$t_1 / t_2 = (\eta_2 / \eta_1)^n,$$

где t_1 и t_2 – температура холодного пуска двигателя на двух разных маслах; η_1 , η_2 – динамическая вязкость этих масел; n – показатель, зависящий от конструкции двигателя; опытным путём установлено, что для бензиновых двигателей он равен 0,46, для дизелей – 0,56.

Из этой формулы следует, что, зная вязкость масла при температуре пуска для какого-либо двигателя, можно прогнозировать возможность пуска этого же двигателя на другом масле. В частности, в данном случае можно решать как прямую, так и обратную задачи, а именно: задав желаемую температуру пуска, можно оценить необходимую вязкость моторного масла, или наоборот, зная вязкость моторного масла, спрогнозировать на нём возможную температуру пуска.

Как уже отмечалось выше, определение изменения пусковых свойств моторных масел по мере их наработки в двигателе является важной практической задачей, поскольку позволяет оценить температуру надёжного пуска двигателя и, таким образом, при прочих равных условиях выделить область

безотказной эксплуатации. При необходимости на этом основании можно регламентировать предельно допустимое состояние работающего моторного масла, обеспечивающее надёжный холодный пуск двигателя.

Указанная динамика была изучена на примере ряда нефтяных загущённых и незагущённых масел. В качестве таковых были выбраны два зимних масла: М-8В и М-8Г1, отличающиеся по качеству, а также всесезонное универсальное загущённое масло М-63/10В. На указанных маслах в их исходном состоянии бензиновый двигатель пускается при температуре минус 20 °С. Работа масел имитировалась на установке высокотемпературного каталитического окисления – ВКО (установке Шора) – при температуре 205 °С. Продолжительность окисления составила 1, 3 и 5 ч. Это позволило оценить динамику изменения состояния масел с точки зрения их пусковых возможностей. Для масел, соответственно окисленных в течение указанного времени описанным выше методом, прогнозировалась возможная температура пуска на них двигателя. Результаты расчётов приведены в табл. 1.

Как следует из полученных экспериментальных данных, по мере окисления масел, имитирующего их наработку, температура холодного пуска повышается. Причём для незагущённых масел повышение заметнее, чем для загущённого. Кроме того, возможное (прогнозируемое) увеличение температуры холодного пуска двигателя зависит от качества испытуемых масел. С повышением качества масла (М-8Г1) эта тенденция проявляется в

Таблица 2. Изменение пусковых свойств масла М-63/10В по мере его наработки в бензиновом двигателе

Пробег автомобиля, тыс. км	0	6	12	18
Температура холодного пуска двигателя, °С	-20,0	-19,0	-18,5	-18,0

меньшей степени, чем для менее качественного масла (М-8В). Такая особенность, очевидно, связана со сдерживанием окислительных процессов, влияющих на реологические характеристики масел в худшую сторону.

При наличии полимера в масле происходит его деструкция, которая определённым образом корректирует вязкостно-температурные характеристики масла. В этом случае загущённые масла выгодно отличаются от незагущённых.

Тенденция изменения пусковых свойств моторных масел по мере их наработки в двигателе была подтверждена также на примере масла М-63/10В, извлечённого из бензинового двигателя автомобиля после 6, 12 и 18 тысяч километров его пробега соответственно (табл. 2).

В общем случае, как известно, на реологические свойства масел и, в частности, на их вязкостно-температурные характеристики влияют химический состав масла и особенности поведения его ингредиентов в широком диапазоне температур. Так, например, при понижении температуры в маслах формируются сверхмицеллярные структуры вплоть до полного структурирования всего объёма. Эта особенность усиливается при окислении масла, в результате чего оно быстро теряет свою подвижность, переходя в бингамово тело, со всеми вытекающими отсюда отрицательными последствиями. При наличии вязкостных присадок в масле в условиях пониженных температур возможны ассоциативные взаимодействия между ними или между макромолекулой полимера и функциональными присадками масла, что также влияет на реологию системы,

особенно в присутствии продуктов окисления.

Кроме того, взаимодействие ассоциативного характера возможно между функциональными присадками, что негативным образом сказывается на подвижности масел при пониженных температурах.

Указанные особенности требуют детального изучения при разработке северных, зимних или всесезонных масел, использование которых предполагается при пониженных температурах окружающего воздуха.

Таким образом, свойства химического состава моторных масел оказывают существенное влияние на их реологические характеристики как в исходном состоянии, так и по мере наработки. Это, следовательно, влияет на пусковые свойства масел как на их способность обеспечивать достаточно надёжный пуск холодного двигателя.

Анализ экспериментальных данных, приведённых в таблицах, показывает, что в общем случае зависимость температуры пуска от наработки (времени окисления) можно интерпретировать выражением вида:

$$T_r = T_0 - \alpha\tau,$$

где T_0 — температура холодного пуска двигателя на свежем масле; T_r — то же после определённой наработки (окисления); τ — время наработки (окисления); α — коэффициент.

Коэффициент, в свою очередь, влияет на тенденцию изменения пусковых свойств масла и находится в прямой зависимости от перечисленных выше особенностей поведения ингредиентов масла. Химический состав масла необходимо подбирать таким образом, чтобы

величина коэффициента α в первом приближении была наименьшей для сохранения пусковых свойств на требуемом уровне. С этой целью при разработке масляных композиций необходимо стремиться к минимизации ассоциативных взаимодействий как между молекулами (мицеллами) функциональных присадок, так и между последними и ингредиентами масляной основы. Указанная особенность, заметно проявляющаяся при пониженных температурах, должна соответствующим образом контролироваться, в частности при разработке масел определённого температурного диапазона применения.