

УДК 621.891(07): 621.891.2/.275

ИСПЫТАНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ
СВОЙСТВ ПОЛИМЕТИЛСИЛОКСАНОВЫХ ЖИДКОСТЕЙ

А.М. Кадырметов (ВГЛТА), Ф.А. Белогубец (ООО Научно-технический центр «Космос-Нефть-Газ»), Е.В. Снятков, Д.А. Попов,
А.В. Макаренко (ВГЛТА)

Способность смазочных масел защищать трущиеся поверхности от задиров является одной из основных антифрикционных характеристик, обеспечивающих высокую надежность узлов трения, в том числе и плунжерных насосов, использующих в качестве рабочих полиметилсилоксановые жидкости. В работе экспериментально исследованы антифрикционные характеристики данных жидкостей: а) ПМС-20; б) «Югра»; в) «Югра» + 10 % «Vammar»; г) «Югра» + 1 % «Силан»; д) «Югра» + 10 % «Vammar» + 1 % «Силан»; е) ВМГЗ; ж) ПМС-20 с наномодификатором; з) ЛЗ-240.

Целью работы являлось определение жидкости с лучшими антизадирными свойствами и несущей способностью.

В качестве образцов трения использовалась пара трения «ролик-колодка» (рис. 1). Материал роликов – сталь 45, колодок – сталь 30ХМА.

Испытания проводились на модернизированной машине трения МИ-1М (рис. 2). Во время всех испытаний снимались показания момента трения интегратора $M_{кр}$, силы прижима колодки к ролику P и температуры колодки T . Снятие параметров момента трения интегратора $M_{кр}$ и силы прижима колодки к ролику P осуществлялось от датчиков электрического сопротивления через модуль аналого-цифрового ввода ADAM 4017+ и модуль преобразования интерфейса ADAM 4520 к компьютеру. Это позволило вести автоматическую запись этих параметров в память компьютера. Контроль температуры в зоне трения осуществлялся бесконтактным пирометром. Подача масла обеспечивалась самотоком через капельницу с регулируемым расходом.

В качестве критериев антифрикционных свойств масел при их сравнении друг с другом для выбранных материалов образцов использовались коэффициент трения, противозадирная способность и скорость изнашивания образцов. Противозадирные способности масел определялись по нагрузке заедания, в качестве которой принималась нагрузка, вызывающая резкое возрастание коэф-

коэффициента трения [1-3]. При этом заедания и задиры проявлялись в определенном диапазоне нагрузок, сначала при меньших (ограниченное заедание) и достигали максимальной величины при определенных, больших по величине, нагрузках (прогрессивное заедание, полный задир).

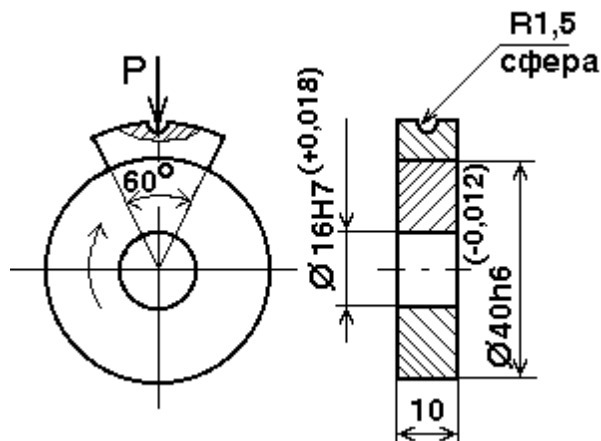


Рисунок 1 – Схема трения и размеры пары трения «ролик-колодка»



Рисунок 2 – Машина трения МИ-1М

Порядок проведения каждого опыта осуществлялся в последовательности:

1) Проведение приработки образцов (пары ролик-колодка) плавно повышая нагрузку до 50 кгс, обеспечив стабилизацию момента трения.

2) Снятие пары ролик-колодка, обезжиривание с помощью салфетки, смоченной в ацетоне, и сушка.

3) Взвешивание образцов (ролика и колодки), занесение результатов в журнал эксперимента.

4) Установка образцов на машину трения и проведение испытания на изнашивание при нагрузке 50 кгс в течение 22 минут.

5) Снятие пары ролик-колодка, обезжиривание с помощью салфетки, смоченной в ацетоне, и сушка.

6) Взвешивание образцов (ролика и колодки), занесение результатов в журнал эксперимента.

7) Установка образцов на машину трения и проведение испытания на критическую нагрузку (нагрузку схватывания) путем постепенного ее повышения до наступления схватывания. Критерием окончания испытания являлось резкое повышение момента трения, визуально определяемое по изменению положения плеча интегратора машины трения, часто сопровождаемое изменением звучания (повышением уровнем звука, или визгом, или скрежетом) при работе пары трения.

8) Проведение расчетов по формулам (1)-(4).

$$f = \frac{F}{P}, \quad (1)$$

где f – коэффициент трения; F – сила трения; P – нагрузка на каретку.

В свою очередь,

$$A = n_u \cdot M_{кр}, \quad (2)$$

$$S = 2\pi R n_{об}, \quad (3)$$

$$F = \frac{A}{S}, \quad (4)$$

где A – работа трения; S – путь трения ролика за определенное время; R – радиус ролика; $n_{об}$ – количество оборотов ролика; n_u – количество оборотов диска

интегратора.

Таким образом, испытания для каждой пары образцов проводились в три этапа: приработка, испытания на изнашивание, испытания на задир.

В результате проведенных испытаний были получены зависимости момента интегратора M_{mp} машины трения и коэффициента трения f от удельной нагрузки P_{yd} в процессе ее наращивания по времени на этапах приработки, испытаний на изнашивание и испытаний до задира (рис. 3). Сопоставление взаимного изменения указанных величин позволило увидеть зоны потенциального схватывания и задира образцов. О наличии заеданий и задира судили по резкому увеличению коэффициента трения.

На основе полученных зависимостей построена диаграмма критических удельных нагрузок (рис. 4), при которых возникали явления схватывания и задира. На рисунке 5 представлено распределение средних температур и максимумов коэффициента трения при максимальных нагрузках (при полном заедании, или схватывании) для исследованных масел. Дополнительно для косвенной оценки качества смазочных масел по результатам измерений износа образцов была построена диаграмма скоростей суммарного изнашивания пары трения «ролик-колодка» (рис. 6).

Во время испытаний образцы достаточно быстро нагревались, температура большинства образцов за 2 ... 3 минуты повышалась до 150 ... 200 °С. К концу 22-х минут испытания до задира она достигала уже 350 ... 400 °С. Исключение составляли испытания со смазочными маслами ВМГЗ (185 °С), ЛЗ-240 (309 °С). При испытаниях образцов на изнашивание температура большинства образцов в среднем была примерно на 100 °С ниже температуры во время испытаний до задира.

Все смазочные масла при испытаниях дымят, за исключением масла ЛЗ-240. Масла ЛЗ-240 и ПМС-20 с наномодификатором хорошо смачивают ролик, образуя видимое пленочное кольцо. Масло ЛЗ-240 мало засоряется продуктами износа и остается чистым.

Смазочные масла «Югра + 1 % Силан» и «Югра + 10 % Vammar + 1 % Силан» не стабильны и имеют осадок в виде хлопьев. Данный осадок скапливался в системе подачи смазки к образцам, что привело к перекрытию каналов протекания смазки. По этой причине с этими маслами не удалось провести ис-

пытания за исключением одной пары образцов для масла «Югра» + 1 % Силан». В результате для каждого масла было проведено по 2 ... 3 испытания.

Рассмотренные масла имеют различные антифрикционные характеристики. Из рисунка 4 следует, что с точки зрения минимальных удельных нагрузок, при которых начинают проявляться явления схватывания и задиры, наиболее стойким являются смазочные масла «Югра + 1 % Силана» (5,5 МПа) и «Югра» (5,3 МПа). Однако, как было указано, масло «Югра + 1 % Силана» имеет недостаток, заключающийся в выпадении хлопьевидной фракции и забивании каналов подачи масла. По максимальным нагрузкам наиболее стойкими являются масла «Югра» (11,4 МПа) и «Югра + 10 % Vammar» (10,9 МПа). Вместе с тем, из первых трех масел (ПМС-20, «Югра» и масло «Югра» с 10 % добавкой «Vammar») масло «Югра» обеспечивает максимальную износостойкость (скорость изнашивания минимальна – 0,197 г/ч; коэффициент трения 0,083).

Наилучшими антифрикционными свойствами по износостойкости и коэффициенту трения среди исследованных обладают масла ВМГЗ (0,0163 г/ч; $f = 0,065$) и ЛЗ-240 (0,0065 г/ч; $f = 0,016$), хотя по противозадирной способности они уступают другим маслам. Следовательно, среди первых трех масел (ПМС-20, «Югра» и масло «Югра» с 10 % добавкой «Vammar») наилучшими антифрикционными свойствами (в т. ч. и по противозадирной способности) обладает масло «Югра».

Испытания показали наличие существенного температурного фактора, влияющего на результаты, так как завершающие стадии испытаний проходили при температурах, выше температуры рекристаллизации сталей и меняющих их физико-механические свойства и структуру. С другой стороны, при таких температурах вследствие температурной деструкции могут ухудшаться и даже существенно меняться свойства масел. Для корректного учета влияния температуры требуется при опытах фиксировать температуру зоны трения на уровне, соответствующем условиям эксплуатации, с помощью системы охлаждения и регулирования температуры.

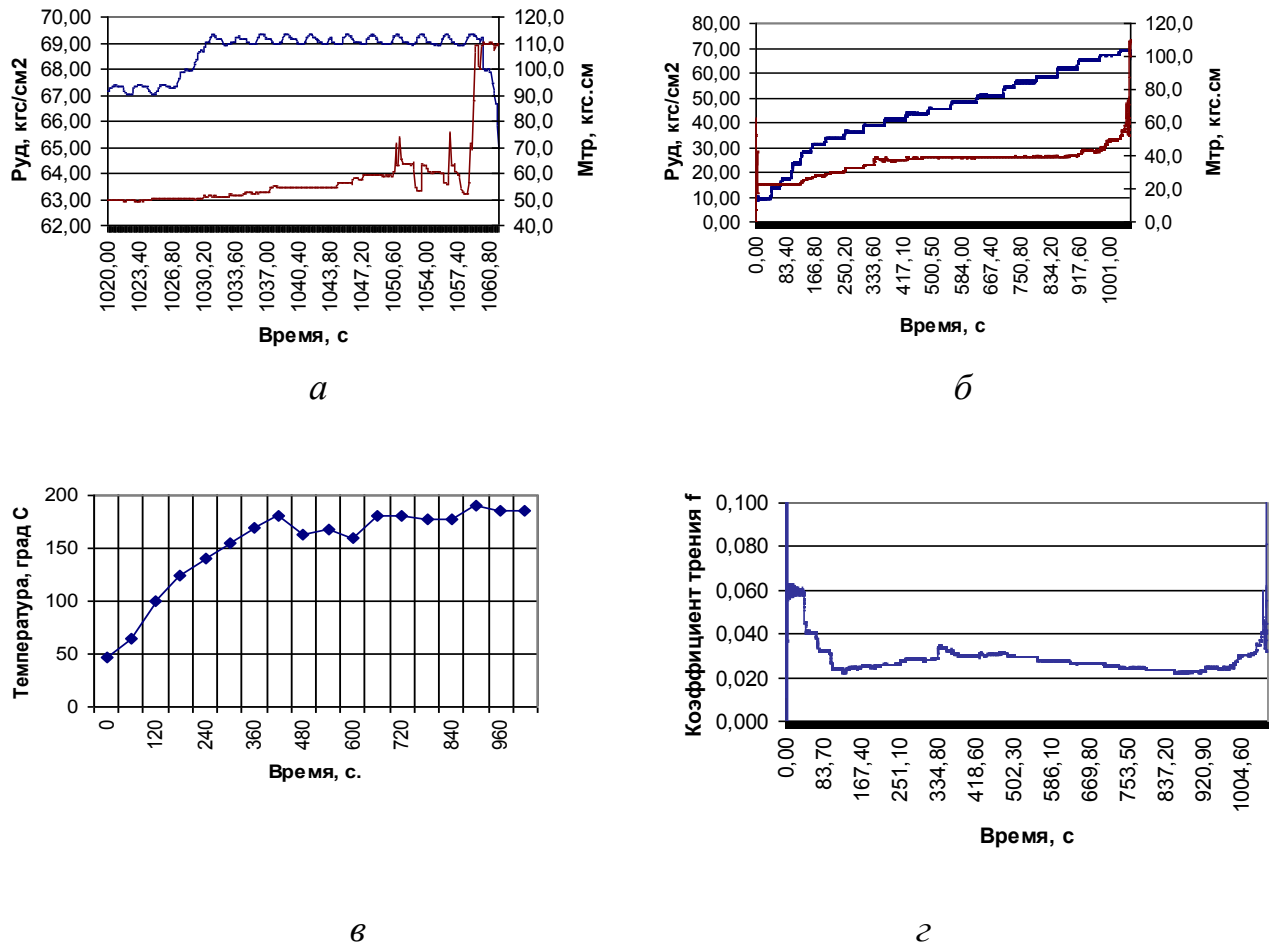


Рисунок 3 – Пример зависимости момента интегратора $M_{тр}$ (а, б) и коэффициента трения f (в) от удельной нагрузки $P_{уд}$ в процессе ее наращивания, а также изменение температуры (г) колодки по времени (масло «ВМГЗ»)

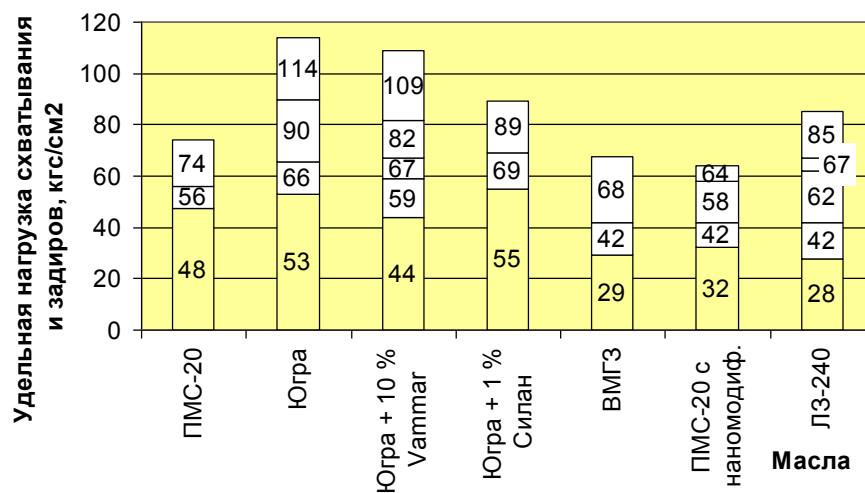


Рисунок 4 – Сравнительный ряд смазочных масел по удельной нагрузке схватывания в зоне трения образцов «ролик-колодка»

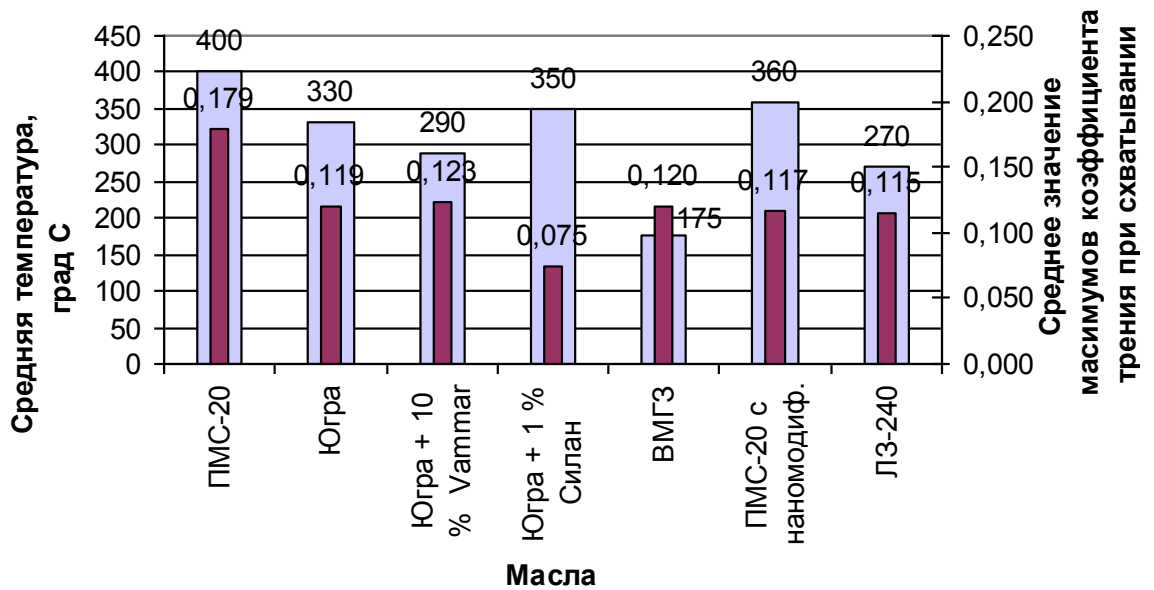


Рисунок 5 – Средние значения температуры и максимумов коэффициента трения при схватываниях в зоне трения образцов «ролик-колодка»

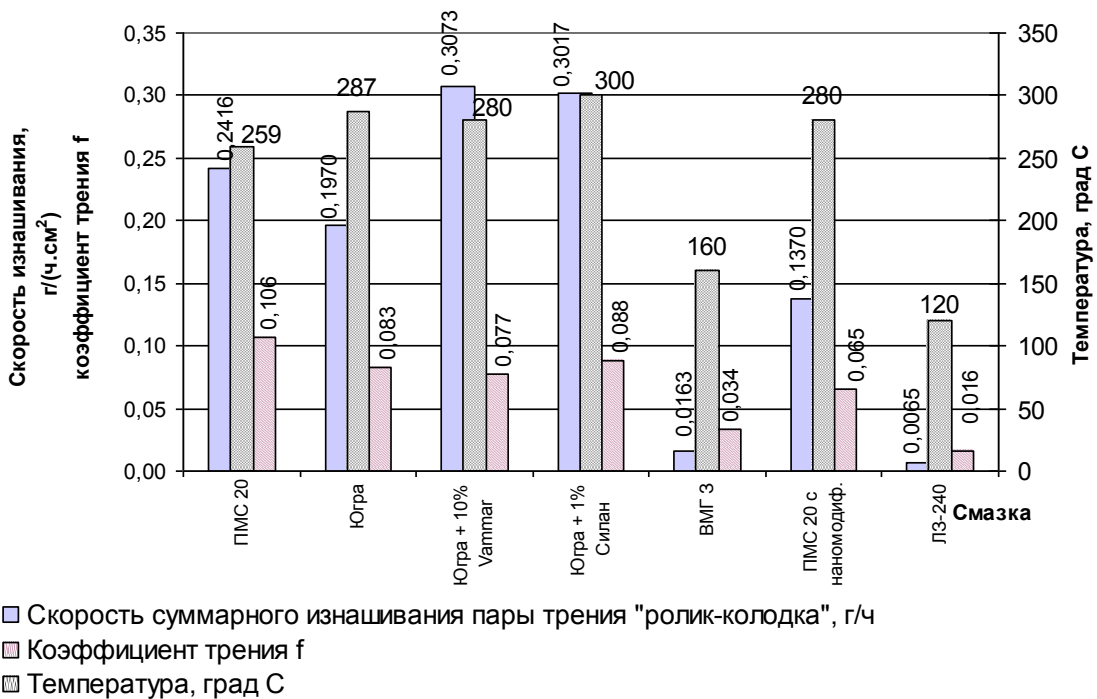


Рисунок 6 – Сравнительный ряд смазочных масел по скорости изнашивания образцов «ролик-колодка»

Выводы

1 Наилучшими антифрикционными свойствами среди масел ПМС-20, «Югра» и «Югра» с 10 % добавкой «Vammar» в диапазоне температур 260-

400 °С обладает масло «Югра» (диапазон удельных нагрузок задира – 5,3-11,4 МПа; скорость изнашивания – 0,197 г/ч; коэффициент трения – 0,083).

2 Наиболее целесообразными с точки зрения защиты от изнашивания при температурах до 450 °С являются масла ВМГЗ (0,0163 г/ч) и ЛЗ-240 (0,0065 г/ч), хотя по противозадирной способности они уступают другим маслам. У этих двух масел и самые низкие коэффициенты трения – соответственно 0,065 и 0,016.

3 Для корректного приложения результатов испытаний к эксплуатационным температурам, отличным от рассмотренных, требуется теоретическая корректировка или проведение испытаний при эксплуатационных температурах.

Библиографический список

1 Виноградов, Ю. М. Методы испытания и оценки противозадирных свойств износостойких покрытий / Ю. М. Виноградов, З. П. Киреева / Методы испытания на изнашивание. Труды совещания, состоявшегося 7-10 декабря 1960 г. – Т. II. – М. : Изд-во АН СССР. – 1962. – С. 101-106.

2 Мишарин, Ю. А. Лабораторное исследование противозадирной стойкости некоторых материалов, применяемых в червячных передачах / Ю. А. Мишарин, А. В. Сивякова / Износ и износостойкость. Антифрикционные материалы: Труды третьей всесоюзной конференции по трению и износу в машинах. – Т. I. – М. : Изд-во АН СССР. – 1960. – С. 170-173.

3 Сгон, И. Испытание на задир пар материалов для шпинделя и гаек арматур / И. Сгон / Сухое и граничное трение. Фрикционные материалы : Труды третьей всесоюзной конференции по трению и износу в машинах. – Т. II. – М. : Изд-во АН СССР. – 1960. – С. 101-106.