

УДК 621.891

Косолапов В. Б., Литовка С. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНОЙ ПЛЕНКИ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГИДРОПРИВОДА ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

По данным многочисленных исследований установлено, что до 70 % отказов в работе гидронасыщенных подъемно-транспортных машин (ПТМ) приходится на долю гидропривода [1, 2]. Ресурс гидроприводов ПТМ во многом определяется физико-химическими свойствами рабочей жидкости (РЖ) [3].

С точки зрения износа поверхностей гидропривода наиболее опасным является граничный режим смазки. Этот режим реализуется в условиях высоких контактных нагрузок, низких скоростей перемещения поверхностей друг относительно друга, а также, при повышенных температурах РЖ. В таких условиях происходит разрушение смазочной пленки РЖ, что приводит к непосредственному контакту поверхностей трения по отдельным микронеровностям, приводящее к их повышенному износу [4].

Все гидроагрегаты ПТМ периодически работают в таких неустановившихся режимах, поэтому применяемая РЖ должна быть способна образовывать на поверхностях трения прочный смазочный слой, работающий при различных условиях нагружения. Однако на сегодняшний день недостаточно изучено влияние состава, структуры и режимов нагружения РЖ на ее противоизносные свойства.

Целью данной работы является исследование противоизносных свойств смазочной пленки РЖ гидропривода ПТМ в процессе эксплуатации в режиме граничного трения.

Задачей исследования является определение влияния наработки РЖ и нагрузки в контакте поверхностей в режиме граничного трения на противоизносные свойства смазочной пленки РЖ в процессе эксплуатации гидропривода ПТМ.

В качестве исследуемой смазывающей жидкости применялось гидравлическое масло Mobil DTE 25 с различной наработкой. Свойства РЖ соответствуют стандарту DIN 51524 Part 2 (2006), ISO 11158 L-HM (2006).

Исследования проводились на пирамиде из шариков, используемой в четырехшариковых машинах трения. В пирамиде использовались шарики 7,938 – 60 ГОСТ 3277-81. Схема пары трения «шарик – шарик» показана на рис. 1.

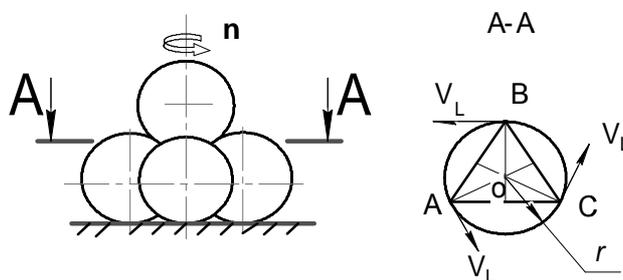


Рис. 1. Схема пары трения «шарик – шарик»:
 r – радиус перемещения точек контакта

Испытания выбранной пары трения проводились на модернизированной машине трения МАСТ – 1, рис. 2.

Подвижная платформа 10 прижимает нижние шарики 3 к вращающемуся шарiku 2 набором грузов 9 с заданным усилием N . Шарик 2 вращается с заданной частотой вращения электродвигателем 5.

Температура РЖ при испытаниях поддерживалась при помощи нагревательного устройства 4 с терморегулятором 7. Для измерения температуры масла в стакане 1 используется терморезистор 6, который подключён к ПЭВМ 11. Сопротивление в контакте «шарик – шарик» контролируется омметром 8. Показания тахометра 12, омметра 8 и тензорезистора 6 выводятся на ПЭВМ 11.

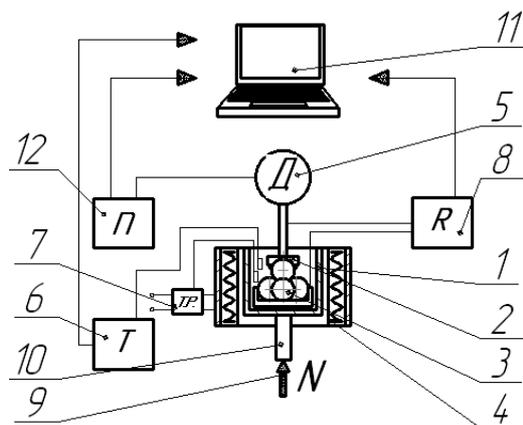


Рис. 2. Схема установки для определения несущей способности адсорбированной пленки молекул ПАВ:

1 – стакан; 2 – вращающийся шарик; 3 – нижняя обойма шариков; 4 – нагревательный элемент; 5 – двигатель привода верхнего шарика; 6 – терморезистор; 7 – терморегулятор; 8 – омметр; 9 – набор грузов; 10 – подвижная платформа; 11 – ПЭВМ; 12 – тахометр

Момент перехода пары трения в режим граничной смазки соответствует возникновению металлического контакта поверхностей по отдельным микронеровностям. Величина электрического сопротивления, при этом достигает минимального значения, которое фиксируется омметром 8.

Для проведения ускоренных испытаний на износ поверхностей трения необходимо определить диапазон нагружения, при котором в режиме металлического контактирования проявляется влияние адсорбционной пленки. Диапазон нагрузок варьировался от момента раздавливания адсорбционного слоя ПАВ до момента, когда пленка не оказывает существенного влияния на износ поверхностей.

С целью установления диапазона изменения нагрузки и частоты вращения шарика были проведены предварительные испытания. При температуре РЖ $t = 323 \text{ }^\circ\text{K}$ варьировалась нагрузка и частота вращения шарика, пока не была определена точка перехода от жидкостного вида смазки к граничному и точка, при которой пленка не играет существенной роли. В результате испытаний установлено, что первая точка определена значениями $N = 0,5 \text{ Н}$, $n = 0,4 \text{ с}^{-1}$ ($v = 1,84 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$); вторая точка – $N = 2,5 \text{ Н}$, $n = 0,4 \text{ с}^{-1}$.

При проведении исследований класс чистоты РЖ, скорость перемещения поверхностей и температура РЖ поддерживались постоянными. Загрязнённость РЖ была не хуже десятого класса чистоты по ГОСТ 17216-2001.

Методика проведения эксперимента включает такую последовательность:

- тщательно промывается, обезжиривается, сушится стакан 1 и шарики 2, 3, рис. 2;
- высушенные шарики помещаются в обойму 3, которая устанавливается неподвижно в стакан 1;
- стакан с обоймой шариков устанавливается на подвижную платформу 10;
- верхний шарик 2 крепится на подвижной колонне;
- подвижная обойма опускается вниз и закрепляется. В результате образуется пирамида из 4-х шариков;

- стакан заполняется испытуемой РЖ;
- при помощи терморегулятора 7 и нагревательного элемента 4 в стакане устанавливается заданная температура РЖ;
- включается двигатель привода верхнего шарика 5, при этом частота вращения контролируется тахометром 12;
- производится нагружение зоны контакта шариков, в соответствие с нагрузкой определенной ранее;
- по истечении времени испытания останавливается двигатель 5, разгружается зона контакта шариков;
- производится обезжиривание обоймы с шариками;
- замер пятна контакта на шариках обоймы.

Экспериментальные исследования по определению зависимости износа поверхностей трения от нагрузки в контакте в режиме граничного трения в процессе эксплуатации РЖ проводились при следующих условиях:

- температура РЖ, $t = 323 \text{ }^\circ\text{K}$;
- скорость вращения шарика, $v = 1,84 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$;
- нагрузка в контакте варьировалась в пределах $N = 0,5 \dots 2,5 \text{ Н}$ с шагом 1 Н;
- наработка РЖ варьировалась в пределах $T = 0 \dots 1000 \text{ мото-ч.}$ с шагом 500 мото-ч.;
- чистота РЖ не ниже 10 класса по ГОСТ 17216-2001;
- время нагружения пары трения принималось равным 1800 с.

Результаты проведенных экспериментальных исследований приведены на графиках рис. 3–4.

Анализ результатов испытаний гидравлического масла Mobil DTE 25 на рис. 3 показал, что функция износа от наработки при нагрузке в контакте 0,5 и 1,5 Н носит нелинейный характер, а при нагрузке 2,5 Н функция становится близкой к линейной.

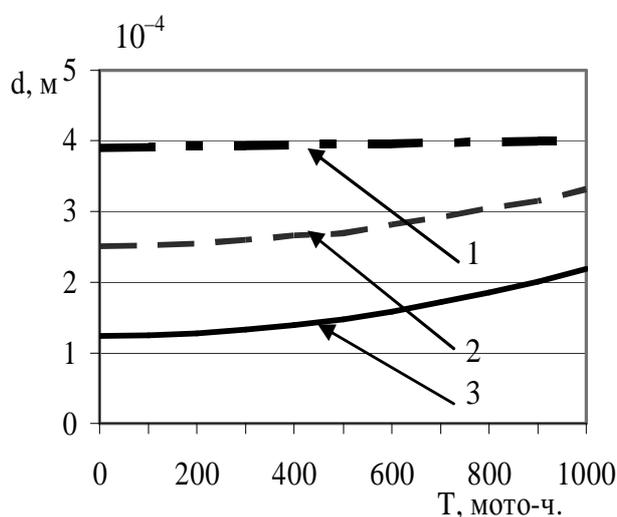


Рис. 3. График зависимости диаметра пятна износа от наработки РЖ ($v = 1,84 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$, $t = 323 \text{ К}$):

1 – нагрузка в контакте 2,5 Н; 2 – нагрузка в контакте 1,5 Н; 3 – нагрузка в контакте 0,5 Н

Кроме этого следует заметить, что при увеличении наработки РЖ в диапазоне нагрузок в контакте 0,5 и 1,5 Н происходит увеличение износа. При этом, чем больше нагрузка в контакте, тем менее существенное влияние на износ оказывает смазочная пленка. Так для при нагрузке 0,5 Н величина прироста износа поверхностей пар трения в исследуемом диапазоне наработки РЖ составляет 75 %, при нагрузке 1,5 Н износ увеличивается на 32 %, а при

нагрузке 2,5 Н всего на 2,5 %. Данное обстоятельство свидетельствует о снижении несущей способности смазочной пленки РЖ в процессе эксплуатации и разрушении смазочного слоя на микронеровностях с увеличением нагрузки.

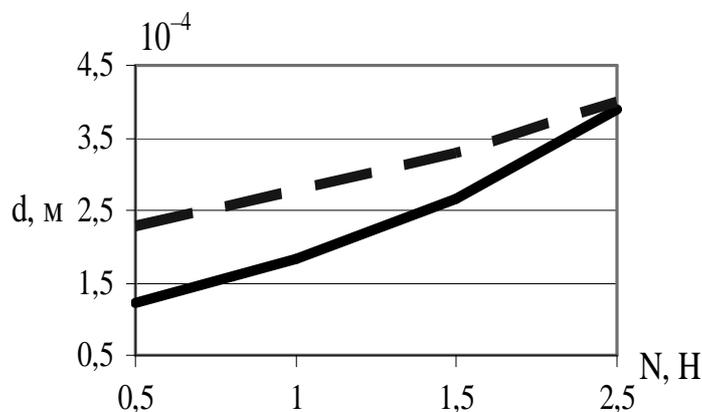


Рис. 4. График зависимости диаметра пятна износа от нагрузки в контакте ($\nu = 1,84 \cdot 10^{-3}$ м/с, $t = 323$ К):

1 – наработка РЖ 1000 мото-ч.; 2 – наработка РЖ 0 мото-ч.

Анализ функций износа на рис. 4 от нагрузки в контакте при граничных значениях наработки РЖ (0 и 1000 мото-ч.) показал, что функция износа от нагрузки в контакте при различной наработке РЖ в режиме граничного трения носит нелинейный характер.

При увеличении нагрузки диаметр пятна износа увеличивается. С повышением наработки РЖ влияние нагрузки на диаметр пятна износа уменьшается, так для РЖ с наработкой 0 мото-ч. величина износа в исследуемом диапазоне нагрузок увеличилась в 3,2 раза, а с наработкой 1000 мото-ч. увеличилась в 1,74 раза.

ВЫВОДЫ

При наработке РЖ наблюдается рост износа поверхностей трения, прирост которого, по сравнению с РЖ в состоянии поставки, в исследуемом диапазоне составляет до 75 %, в зависимости от нагрузки в контакте поверхностей трения. Такой существенный прирост объясняется тем, что в процессе эксплуатации происходит срабатывание присадок, формирующих смазочный слой на поверхностях трения.

При повышении нагрузки в контакте износ поверхностей трения увеличивается. При этом с увеличением нагрузки влияние ее на износ уменьшается. Это обусловлено снижением несущей способности пленки и разрушением смазочного слоя на микронеровностях.

Таким образом, для предотвращения повышенного износа поверхностей трения гидротривода ПТМ необходимо применение РЖ с достаточной несущей способностью смазочной пленки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондаков Л. А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем / Л. А. Кондаков. – М.: Машиностроение, 1982. – 216 с.
2. Надежность объёмных гидротриводов и их элементов / Ю. А. Беленков, В. Г. Нейман, М. П. Селиванов, Ю. В. Точилин. – М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.
3. Проников А. С. Параметрическая надежность машин / А. С. Проников. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 560 с.
4. Чичинадзе А. В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.