

УДК 621.89

Лысиков Е. Н., Воронин С. В.

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

В современном оборудовании для добычи, переработки и обогащения полезных ископаемых, а также в подъемно-транспортном и технологическом оборудовании (станочный парк и т. д.) широко применяется гидравлический привод рабочих органов или циркуляционные системы смазки узлов трения. Ресурс гидравлических агрегатов и узлов трения перечисленных технических систем зависит, главным образом, от процессов изнашивания, протекающих в подвижных сопряжениях.

Скорость изнашивания сопряжений гидравлического оборудования определяется, при прочих равных условиях, специфическими свойствами применяемых смазочных материалов (рабочих жидкостей и масел), такими как противоизносные, противозадирные и антифрикционные. Эти свойства обусловлены наличием в смазочных материалах молекул поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые формируют на поверхностях трения слои, предотвращающие износ деталей и снижающие коэффициент трения при граничной смазке [1, 2]. Молекулы ПАВ изначально присутствуют в базовых маслах, используемых для получения различных масел и рабочих жидкостей и, несмотря на их малую концентрацию, оказывают существенное положительное влияние на процессы трения и износа. Кроме того, с целью многократного улучшения смазочных свойств масел и рабочих жидкостей на этапе их производства вводится большое количество функциональных присадок – ПАВ, которые обладают повышенной активностью и формируют на поверхностях трения более прочные полимолекулярные слои, предотвращающие износ в широком диапазоне нагрузок, скоростей и температур, присущих большинству технических систем.

Как показывают теоретические и экспериментальные исследования в области трибологии и коллоидной химии молекулы ПАВ, находящиеся в объеме смазочного материала (углеводородной среды), взаимодействуют друг с другом и образуют различные по строению и форме надмолекулярные структуры [2, 3, 4]. Такое взаимодействие имеет электромагнитную природу, интенсивность образования надмолекулярных структур зависит от концентрации присадки в базовом масле, а силы межмолекулярного взаимодействия тем сильнее, чем выше постоянный дипольный момент молекул ПАВ. Образованные в смазочном материале надмолекулярные структуры – агрегаты ПАВ, согласно ранее проведенным исследованиям, препятствуют эффективному формированию граничных смазочных слоев на поверхностях трения, поскольку полярно-активные части молекул связаны между собой и располагаются внутри агрегата, а неполярные углеводородные радикалы – снаружи [2, 3, 4]. Таким образом, агрегированные молекулы присадок не в полной мере выполняют свое функциональное назначение.

Для обеспечения условий эффективного формирования граничных смазочных слоев на поверхностях трения гидравлического оборудования необходимо ввести подготовительный этап, направленный на разрушение надмолекулярных структур ПАВ (перевод молекул в мономерное состояние) в объеме, что позволит интенсифицировать процесс осаждения молекул ПАВ на поверхностях трения и существенно снизить их износ [5]. С точки зрения энергозатрат, на этом этапе целесообразно проводить обработку смазочных материалов электрическими полями, поскольку силы межмолекулярных взаимодействий в агрегатах ПАВ имеют такую же природу.

Целью данной работы является изучение физических основ влияния электрических полей на эксплуатационные свойства жидких смазочных материалов, а также разработка

практических рекомендаций по использованию предлагаемого способа продления ресурса гидравлического оборудования.

При взаимодействии смазочного материала с поверхностью трения происходит процесс конкурентной физической адсорбции молекул ПАВ. Поверхностно-активные молекулы попадают в область действия силового поля поверхности трения и осаждаются на ней. Более активные молекулы вытесняют с поверхности менее активные, и через определенный промежуток времени, называемый «латентным периодом», наступает равновесное состояние, при котором на поверхности формируется моно- или полимолекулярный смазочный слой неизменной толщины. Толщина адсорбционного слоя зависит от величины силового поля поверхности трения, активности молекул ПАВ, их концентрации и степени агрегации в объеме смазочного материала. При эксплуатации технических систем силовое поле поверхностей трения после приработки остается неизменным, поверхностная активность молекул ПАВ зависит от величины постоянного дипольного момента полярно-активной части молекулы и при использовании одного сорта смазочного материала также не изменяется. Таким образом, при эксплуатации технических систем параметрами, определяющими процесс адсорбции на поверхностях трения, являются концентрация молекул ПАВ и их агрегатное состояние.

Из коллоидной химии известно, что с увеличением концентрации молекул ПАВ в углеводородном растворителе (базовое масло) растет количество столкновений растворенных молекул с образованием их агрегатов. По достижению некоторого порогового значения концентрации (критической концентрацией мицеллообразования или ККМ) практически все молекулы ПАВ находятся в агрегированном состоянии [4]. Типичными и наиболее распространенными агрегатами ПАВ являются мицеллы, (рис. 1, а)). В них полярно-активные части молекул расположены внутри, а углеводородные радикалы – снаружи. Такое строение не позволяет одиночной молекуле взаимодействовать с поверхностью трения, (рис. 1, а)).

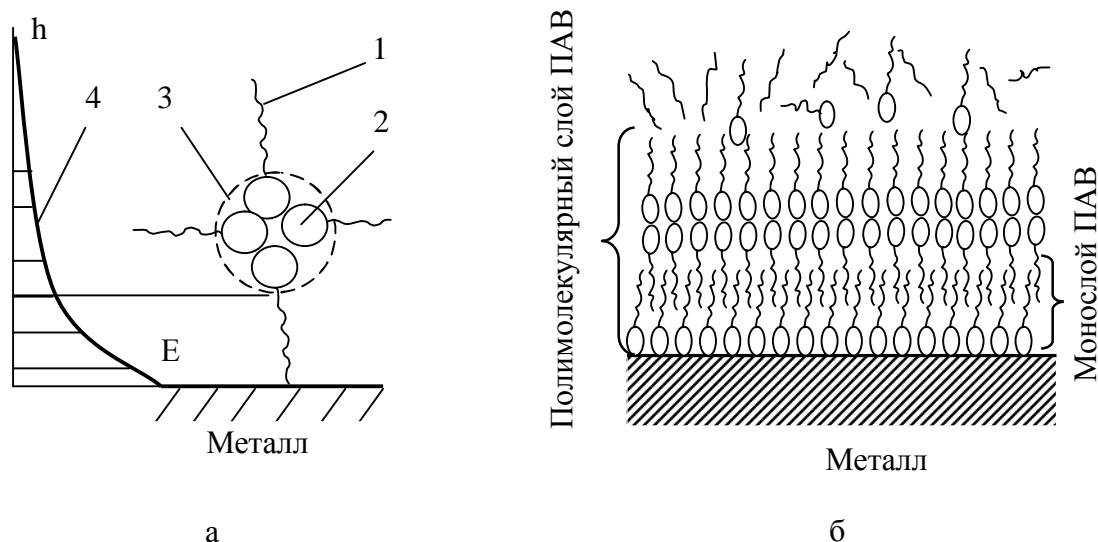


Рис. 1. Взаимодействие надмолекулярных структур ПАВ с поверхностью трения (а) и формирование полимолекулярного слоя ПАВ (б):

1 – углеводородный радикал молекулы ПАВ; 2 – полярно-активная часть молекулы ПАВ; 3 – ядро мицеллы; 4 – кривая распространения силового поля поверхности трения

При условии, когда все молекулы ПАВ находятся в мономерном состоянии или когда силового поля поверхности достаточно, чтобы разрушить надмолекулярные структуры, на поверхности трения может сформироваться полимолекулярный слой (рис. 1, б). Учитывая, что силовое поле поверхности металла убывает пропорционально 3–4 степени

расстояния [1] и способно сформировать лишь монослой ПАВ, то основным фактором, определяющим процесс адсорбции ПАВ на поверхности трения, является степень агрегации активных молекул в объеме смазочного материала.

Известно, что в современные жидкие смазочные материалы вводятся присадки в концентрациях 0,1...2% [6]. Согласно исследованиям, ККМ для жирных кислот – типичных представителей противоизносных присадок составляет около 0,9...2,2 моль/м³.

Зная процентное содержание противоизносных присадок в смазочных материалах ε объемную концентрацию молекул ПАВ можно определить из выражения:

$$c_{\text{ПАВ}} = \frac{\rho \cdot \varepsilon}{100 M}, \quad (1)$$

где M – молярная масса присадки, кг/моль; ρ – плотность, кг/м³.

Так для лауриновой кислоты, молярная масса которой равна $M = 0,189$ кг/моль, а плотность $\rho \approx 900$ кг/м³, объемная концентрация составляет 47,6 моль/м³ при $\varepsilon = 1\%$. Для беззольной противоизносной присадки БМА-5 ($M = 0,172$ кг/моль; $\rho = 900$ кг/м³) объемная концентрация составляет 52,3 моль/м³.

Легко увидеть, что концентрация присадок в смазочных материалах превышает собственные значения ККМ. Это говорит о том, что в современных смазочных материалах большинство молекул присадок находится в агрегированном (мицеллярном) состоянии, как следствие, структура смазочных материалов не отвечает условиям эффективного формирования граничного смазочного слоя, представленного на рис. 1.

Для интенсификации адсорбционных процессов на поверхностях трения технических систем можно использовать электростатическую обработку жидких смазочных материалов. Под воздействием внешнего электростатического поля молекулы ПАВ – электрические диполи стремятся повернуться по вектору напряженности поля. При определенном значении напряженности поля все молекулы приобретают сонаправленное положение, а значит агрегаты молекул разрушаются. Таким образом, структура смазочного материала изменяется так, как показано на рис. 2.

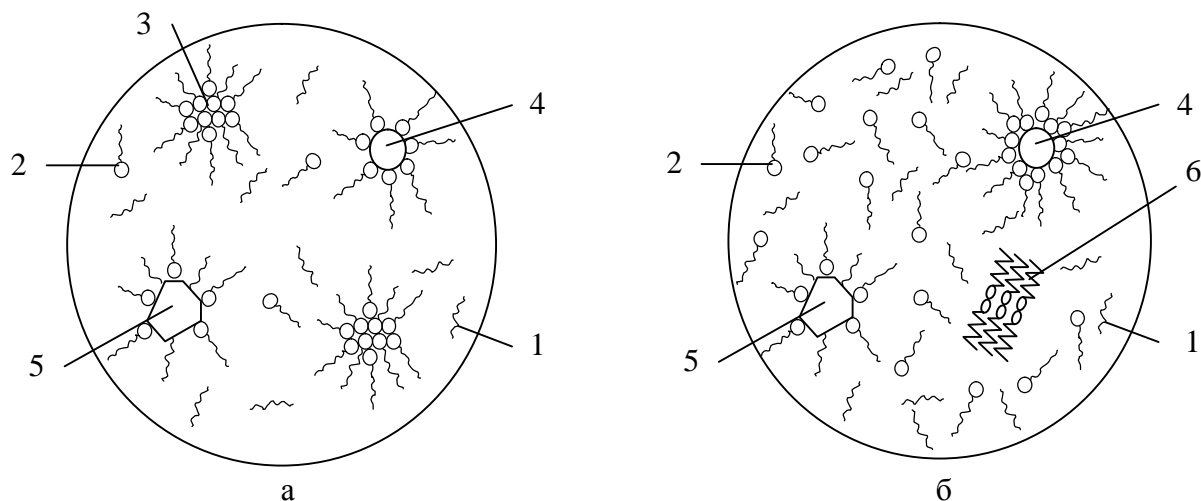


Рис. 2. Структура смазочного материала до электростатической обработки (а) и после обработки (б):

1 – молекула базового масла; 2 – молекула ПАВ; 3 – мицелла; 4 – продукт износа, покрытый оболочкой ПАВ; 5 – неметаллическая частица, покрытая оболочкой ПАВ; 6 – молекулярный пакет ПАВ

Рассматривая структуру жидкого смазочного материала, прошедшего обработку внешним электростатическим полем, необходимо отметить основные изменения, происходящие в надмолекулярных структурах и других агрегатах:

- насыщение объема смазочного материала молекулами ПАВ в мономерной форме вследствие разрушения мицелл;
- формирование в объеме молекулярных пакетов ПАВ квазикристаллической структуры [7];
- формирование вокруг продуктов износа насыщенных адсорбционных слоев ПАВ [8].

С целью углубленного изучения влияния внешнего электростатического поля на свойства жидких смазочных материалов проведены экспериментальные исследования толщины (рис. 3, а) и несущей способности смазочного слоя ПАВ на металлических поверхностях (рис. 3, б), а также испытания смазочных материалов на машине трения в условиях их электростатической обработки (рис. 3, в)).

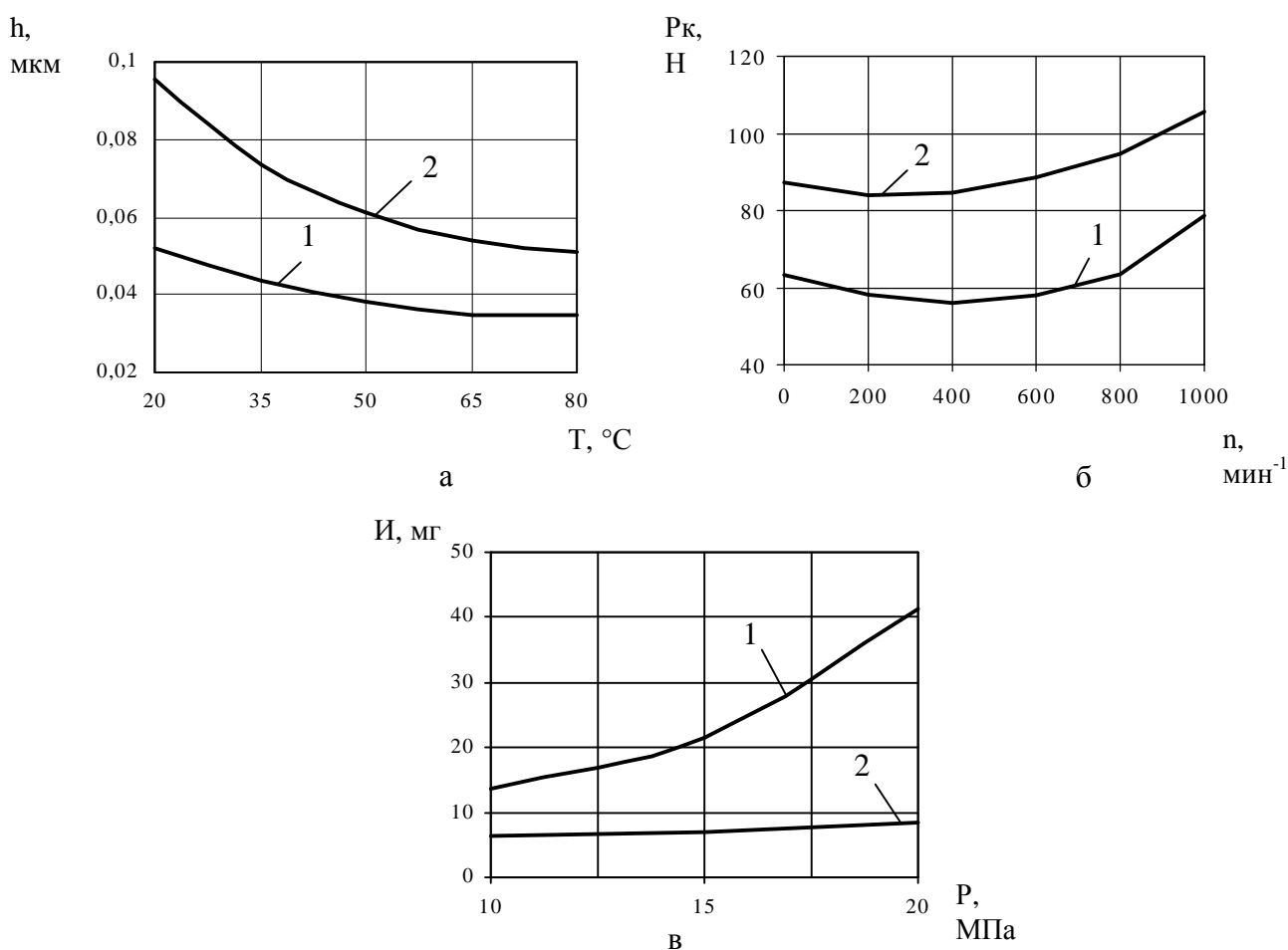


Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований влияния электростатического поля на свойства смазочных материалов:

1 – без электростатической обработки; 2 – с электростатической обработкой

Анализируя весь механизм взаимодействия внешнего электростатического поля на жидкие смазочные среды, получены следующие положительные явления в узлах трения технических систем:

- рост толщины смазочного слоя на поверхностях трения вследствие интенсификации физической адсорбции ПАВ, а значит, снижения интенсивности износа поверхностей трения;

– продукты износа, покрытые полимолекулярным слоем ПАВ, в меньшей степени вызывают износ пар трения, а соизмеримые с толщиной смазочной пленки заполняют впадины микронеровностей поверхностей и способствуют снижению контактных давлений, тем самым играют положительную роль с точки зрения износных процессов;

– несущая способность адсорбционной пленки растет благодаря росту локальной концентрации молекул ПАВ непосредственно у поверхности трения и более высокой степени «упакованности» адсорбционного слоя молекулами ПАВ;

– благодаря снижению удельных контактных давлений в паре трения и росту толщины адсорбционного слоя ПАВ, уменьшается число прямых взаимодействий выступов неровностей контактирующих поверхностей деталей, а значит, происходит уменьшение доли номинальной площади, на которой происходит чисто механическое взаимодействие рабочих поверхностей, что позволяет снизить величину износа пар трения в условиях граничной смазки;

– происходит рост объемного коэффициента полезного действия гидроприводов, так как во времени интенсивность износа рабочих поверхностей падает, кроме того, утечки рабочей жидкости через уплотнения снижаются благодаря росту величины граничного слоя смазки;

– интенсифицируется эффект трибополимеризации, поскольку в зоне трения возрастает масса углеводородной смазочной среды и, как следствие, происходит рост высокомолекулярных продуктов – полимеров трения. Такие полимеры вызывают улучшение противозадирных и противоизносных свойств смазочных материалов.

Снижение износа узлов трения технических систем приводит к соответствующему повышению ресурса (наработке до капитального ремонта) гидравлического оборудования и элементов систем смазки. Предлагаемый способ повышения ресурса может реализоваться посредством специальных устройств, встраиваемых в гидравлическую систему или систему смазки. Такие устройства состоят из двух основных элементов: блок обработки смазочного материала (рис. 4); преобразователь напряжения.

Технические характеристики устройства для обработки масел (рис. 4) представлены в табл. 1.

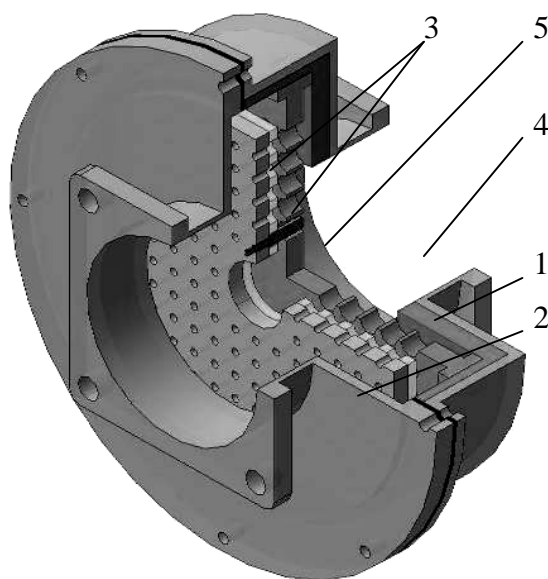


Рис. 4. Блок обработки для системы смазки с производительностью основного насоса 600...1200 л/мин:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – электроды; 4 – изоляционный кожух; 5 – изоляционная шайба

Таблиця 1

Характеристики устройства для обработки масел (пример)

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Значение
1	Производительность, тах	л/мин	1200
2	Потребляемая мощность, тах	КВт	0,2
3	Перепад давления	атм	0,1
4	Габариты D × L	мм × мм	250 × 150
5	Масса	кг	10,5

При проектировании указанных устройств, следует учитывать такие основные факторы:

- сорт смазочного материала;
- производительность основного насоса;
- температура смазочного материала при эксплуатации;
- давление в масляной магистрали;
- напряжение и мощность внешней электрической сети.

ВЫВОДЫ

Современные смазочные материалы содержат большое количество функциональных присадок, которые в силу своего строения формируют в объеме надмолекулярные структуры, препятствующие эффективному формированию граничных смазочных слоев.

Для интенсификации процессов адсорбции молекул присадок на поверхностях трения, снижения их износа и продления ресурса необходимо вводить подготовительный этап, направленный на разрушение надмолекулярных структур, т. е. способствующий переводу молекул присадок в мономерное (одиночное) состояние.

Наиболее эффективным способом разрушения надмолекулярных структур присадки является электростатическая обработка смазочных материалов в специальных устройствах. Применение такой обработки позволяет продлить ресурс гидравлического оборудования в 2 раза, в зависимости от условий его эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения / А. С. Ахматов. – М. : Физматгиз, 1963. – 471 с.
2. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Чичинадзе А. В., Берлинер Э. М., Браун Э. Д., и др. – М. : Машиностроение, 2003. – 576 с.
3. Лаиши В. Л. Коллоидная химия смазочных масел / В. Л. Лаиши, И. Г. Фукс, Г. И. Шор // Химия и технология топлив и масел. – 1991. – № 7. – С. 16–20.
4. Мицеллообразование, солюбизация и микроэмульсии / Под ред. К. Л. Миттела. – М. : Мир, 1980. – 597 с.
5. Повышение ресурса технических систем путем воздействия электрическими и магнитными полями / Е. Е. Александров, И. А. Кравец, Е. Н. Лысыков и др. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2006 – 544 с.
6. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости : справочник / Под ред. В. М. Школьников. – М. : Химия, 1989. – 432 с.
7. Пат. № 83946, Україна, МПК С10. Спосіб обробки рідких мастильних матеріалів ; опубл. 26.08.2008, Бюл. № 16.
8. Пат. № 76384 Україна, МПК С10. Електростатичний спосіб інтенсифікації формування оболонок поверхнево-активних речовин на продуктах зносу в рідких змащувальних матеріалах технічних систем. Опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.