

УДК 621.899:62-822

*Д-р техн. наук Е.Н. Лыиков,
канд. техн. наук В.Б. Косолапов,
асп. С.В. Косолапов*

КОНТРОЛЬ СМАЗОЧНОЙ ПЛЕНКИ ПАВ В КОНТАКТЕ ТРИБОСПРЯЖЕНИЯ ПО ЕЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Введение. В настоящее время в конструкциях путевых машин широко применяется гидравлический привод для исполнительных механизмов и трансмиссий [1].

В машинах ВПР-1200 в качестве качающего узла используется аксиально-

плунжерный насос, который является наиболее дорогостоящим элементом объемного гидропривода и имеет наименьшую наработку на отказ [2].

Эксплуатация гидропривода неизбежно сопровождается износом рабочих поверхностей его трибоспряжений. Это

приводит к увеличению зазоров в парах трения и росту утечек рабочей жидкости (РЖ) по зазорам качающего узла. Рост утечек РЖ снижает объемный и общий КПД гидропривода и как следствие производительность машины в целом.

Как отмечает ряд авторов [2-4], трение в условиях граничной смазки является наиболее часто встречаемым видом взаимодействия поверхностей подвижных сопряженных гидропривода. Этот режим смазки возникает в условиях высоких контактных нагрузок, температур, а также при низких скоростях перемещения поверхностей подвижных сопряжений.

Известно, что в условиях граничной смазки, с точки зрения износа, определяющим фактором является смазочная пленка, образующаяся на поверхностях трения в результате адсорбции поверхностно активных веществ (ПАВ) и разделяющая поверхности трения. Одной из характеристик смазочной пленки является несущая способность, т.е. способность такой пленки выдерживать без разрушения внешние нагрузки [5].

В процессе работы гидропривода происходит разрушение молекул ПАВ, что приводит к уменьшению их концентрации в объеме РЖ и замещению их молекулами или радикалами углеводородов в смазочном слое на поверхностях трибосопряжений. Такие вновь образованные смазочные слои обладают пониженной несущей способностью.

Цель исследований. Целью данной работы является подтверждение диэлектрической проницаемости смазочной пленки как диагностического параметра, характеризующего несущую способность смазочной пленки ПАВ на поверхностях трибосопряжения.

Методика исследований. Известно, что адсорбированная на поверхностях трибосопряжения пленка ПАВ представляет собой структурированное, квазикристаллическое образование, обладающее свойствами диэлектрика [3].

Поэтому изменение толщины и несущей способности пленки сопровождается изменением ее электрофизических показателей, таких как: тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$, удельное электрическое сопротивление R и диэлектрическая проницаемость ϵ .

Многие авторы отмечают, что диэлектрическая проницаемость ϵ , как диагностический параметр, обладает рядом преимуществ в сравнении с другими электрофизическими показателями [3,4,6]. Во-первых, диэлектрическая проницаемость является комплексным показателем, который характеризует поляризационные процессы исследуемой среды [3]. Во-вторых, диэлектрическая проницаемость в меньшей степени зависит от температуры, при которой совершается замер [4, 6].

Согласно ГОСТ-22372-77 определение диэлектрической проницаемости производится путем замера электрической емкости конденсатора C и расчета диэлектрической проницаемости по зависимости

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d}, \quad (1)$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость вещества между обкладками;

ϵ_0 - электрическая постоянная;

S - площадь обкладок конденсатора;

d - расстояние между обкладками.

Величина диэлектрической проницаемости ϵ для одного и того же исследуемого образца диэлектрика обычно принимается константой. Таким образом, электрическая емкость в измерительной ячейке определяется величинами S , d . Однако при нагружении контакта исследуемой пары «шарик-плоскость», вследствие деформации квазикристаллической структуры, следует ожидать изменения диэлектрической проницаемости смазочной пленки. Для подтверждения данного предположения было проведено экспериментальное исследование.

В этом исследовании расстояние между обкладками измерительной ячейки d и площадь S определяются толщиной смазочной пленки и радиусом кривизны шарика $R_{ш}$ (рис. 1).

Площадь обкладок измерительной ячейки представляет собой номинальную площадь контактирования по смазочной пленке, которую в первом приближении можно вычислить в соответствии с расчетной схемой на рис. 1.

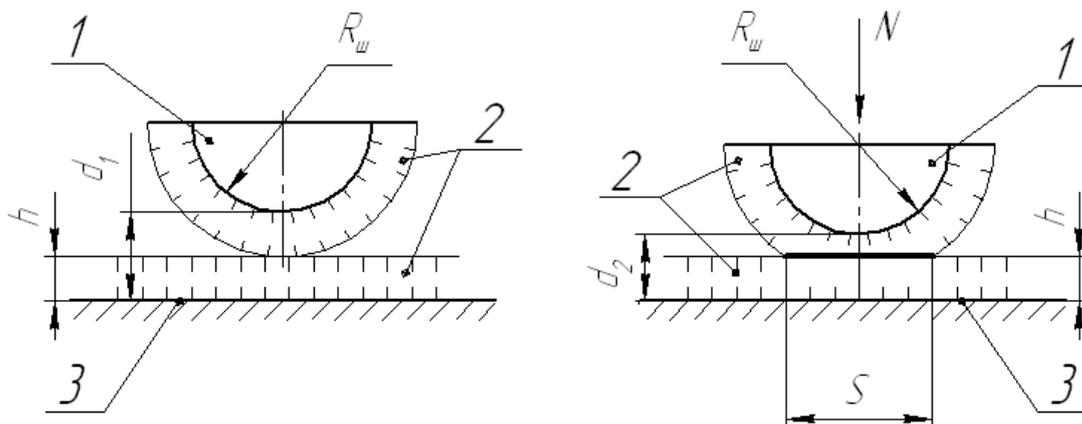


Рис. 1. Схема контакта в измерительной ячейке «шарик-плоскость» в присутствии смазочной пленки:

- 1 – шарик; 2 – исследуемая адсорбционная пленка ПАВ;
3 – поверхность плоского электрода

Предварительный замер толщины смазочной пленки исследуемой РЖ Аксела Nexplore в состоянии поставки показал, что ее величина составляет $h \gg 0,2340 \cdot 10^{-6}$ м.

Расстояние между обкладками d_i определялось из выражения

$$d_i = h - \delta_i, \quad (2)$$

где h – толщина адсорбционной пленки, м;

δ_i – сближение обкладок, м.

Величина сближения обкладок δ_i изменялась в пределах $\delta_0 < \delta_i \leq h$. При этом δ_0 – сближение, при котором величина $C = 0$

$$\delta_i = h - n_i \cdot k, \quad (3)$$

где k – шаг смещения, м;

n_i – номер текущего смещения.

Номинальная площадь контакта в измерительной ячейке «шарик-плоскость» определялась по зависимости

$$S_i = \pi \cdot \left((R_{\phi} + h)^2 - (R_{\phi} + \delta_i)^2 \right), \quad (4)$$

где $R_{ш}$ – радиус шарика, м.

Расстояние между обкладками d_i варьировалось в диапазоне $0,21 \cdot 10^{-6} \dots 0,4 \cdot 10^{-7}$ м, а расчетная площадь обкладок конденсатора S_i составила $0,9 \cdot 10^{-9} \dots 0,1 \cdot 10^{-7}$ м.

Результаты расчета $\frac{S_i}{d_i}$ при

деформировании смазочной пленки ПАВ представлены в виде графика на рис. 2.



Рис. 2. Графік залежності площинки контактирування і зазору між обкладками від деформації смазочної плівки ПАВ

Отношение $\frac{S_i}{d_i}$ при минимальном и максимальном сближении обкладок в измерительной ячейке изменяется в 3,6 раза.

Для определения величины изменения емкости в рассматриваемом диапазоне сближений было проведено экспериментальное исследование.

Экспериментальные исследования. Исследования диэлектрической проницаемости адсорбционной пленки ПАВ проводились на измерительной ячейке, в которой в качестве электродов конденсатора использовалась пара «шарик-плоскость» (рис. 3).

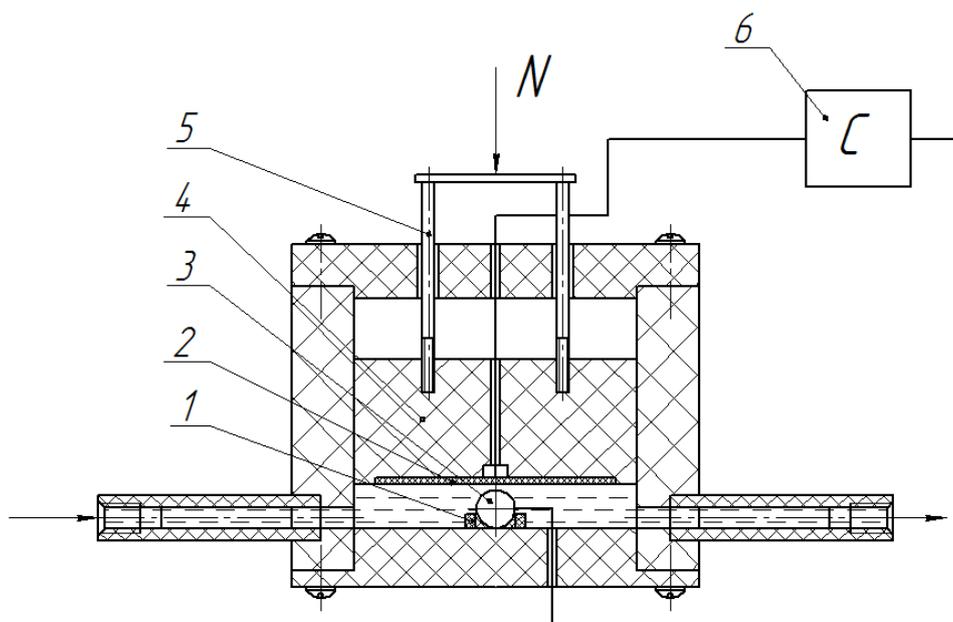


Рис. 3. Схема измерительной ячейки для определения электрической емкости смазочной пленки: 1 – фиксатор шарика; 2 – пластинчатый электрод; 3 – шарик; 4 – поршень;

5 – механизм нагружения; 6 – измеритель емкости

Измерения электрической емкости проводились при следующих условиях: нагружение контакта «шарик-плоскость»

производилось с шагом 0,01 кг; температура РЖ поддерживалась равной 293 К.

Результаты замеров представлены на рис. 4.

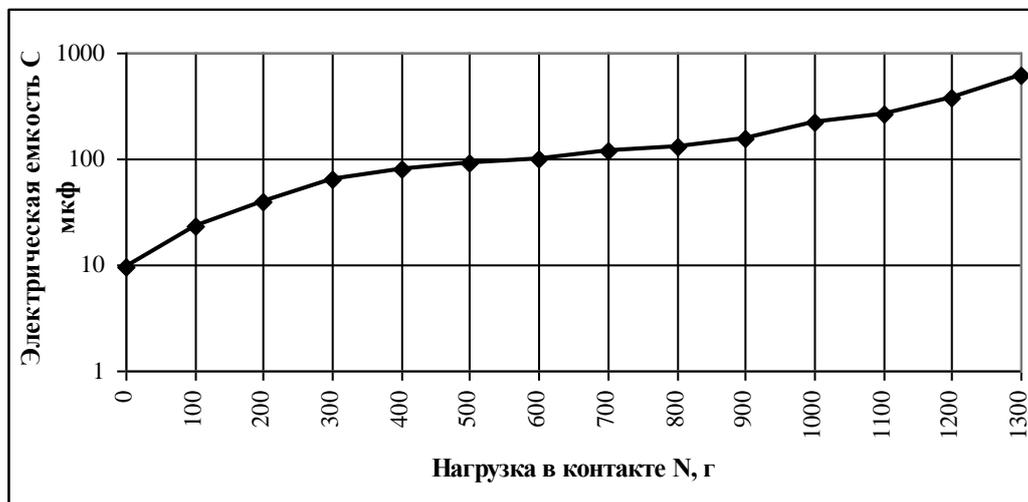


Рис. 4. График зависимости электрической емкости адсорбционной пленки ПАВ от нагрузки в контакте

Экспериментальное исследование показало, что значение емкости адсорбционной пленки, образованной из РЖ Akcela Nexplore в состоянии поставки, изменяется в диапазоне от 9,4 до 714 мкф. Значение емкости при минимальном и максимальном сближении обкладок в измерительной ячейке изменяется в 6,7 раза.

Выводы. Полученные результаты экспериментальных исследований показали, что электрическая емкость в измерительной ячейке в присутствии между электродами смазочной пленки при механической деформации под действием нагрузки изменяется в ~ 700 раз. Таким образом, изменение электрической емкости, полученное в результате замера,

значительно превосходит расчетную величину изменения переменной $\left(\frac{S}{d}\right)$ в выражении (1). Это свидетельствует о наличии в выражении (1) еще одной переменной, т.е. диэлектрическая проницаемость ϵ является переменной величиной.

Диэлектрическая проницаемость ϵ отражает изменения, происходящие с пленкой ПАВ под действием нагрузки.

Диэлектрическую проницаемость ϵ можно использовать в качестве диагностического параметра, характеризующего несущую способность смазочной пленки ПАВ на поверхности трибосопряжения.

Список литературы

1. Данилкин, И.Е. Устройство и эксплуатация рихтовочных и выправочных машин [Текст]: учеб. пособие / И.Е. Данилкин, А.И. Башарин, К.Б. Ершова; под ред. И.Е. Данилкина. – М. Транспорт, 1986. – 204 с.
2. Гаркунов, Д.Н. Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин [Текст] / Д.Н. Гаркунов, П.И. Корник. – М.: Изд-во МСХА, 2003. - 344 с.
3. Ахматов, А.С. Молекулярная физика граничного трения [Текст] / А.С. Ахматов – М.: Физматгиз, 1963. – 471 с.
4. Лысиков, Е.Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем / Е.Н. Лысиков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин. – Харьков: ЭДЭНА, 2009. – 274 с.
5. Повышение ресурса технических систем путем использования электрических и магнитных полей [Текст] / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.Н. Лысиков [и др.]. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 544 с.
6. Григоров, А.Б. Діелектрична проникність, як комплексний показник, що характеризує зміну якості моторних олів у процесі їхньої експлуатації / А.Б. Григоров, П.В. Красножицький, С.А. Слободської // Вісник національного технічного університету «ХПИ». – 2006. – №25. – С. 169-175.

Ключевые слова: рабочая жидкость, диэлектрическая проницаемость, несущая способность, адсорбционная пленка, трибосопряжение, электрическая емкость, деформация, квазикристаллическая структура.

Аннотации

У статті розглянуто електрофізичні показники, що відображають зміни властивостей мастильної плівки, утвореної молекулами ПАР у процесі експлуатації, а також обраний діагностичний параметр, що найбільш повно характеризує структурні зміни в плівці ПАР.

В статье рассмотрены электрофизические показатели, отображающие изменения свойств смазочной пленки, образованной молекулами ПАВ в процессе эксплуатации, а также выбран диагностический параметр, наиболее полно характеризующий структурные изменения в пленке ПАВ.

The article deals with the electrical performance, reflecting changes in the properties of the lubricating film formed by surfactant molecules, while in service, as well as selected diagnostic parameter that best characterizes the structural changes in the film SAW.