

УДК 621.225

Стефанов Володимир Олександрович, канд. техн. наук, асистент кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин, Українська державна академія залізничного транспорту, м. Харків, Україна, пл. Фейєрбаха 7, м. Харків, Україна, 61050. тел. +38-057-783-91-59. E-mail: vstef@ukr.net (orcid.org/0000-0002-7947-2718)

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПРИСАДКИ НА РЕСУРС ГІДРОАГРЕГАТИВ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ЕЛЕКТРООБРОБКИ РОБОЧОЇ РІДИНИ

Проведений аналіз існуючих методів підвищення протизносних властивостей робочих рідин. Визначено вплив концентрації стеаринової кислоти на ресурс гідроагрегатів засобів залізничного транспорту в умовах обробки робочої рідини зовнішнім електростатичним полем. Знайдено раціональну концентрацію присадки, при якій спостерігається найбільший ресурс гідроприводу.

Ключові слова: електрообробка, концентрація, робоча рідина, залізничний транспорт.

УДК 621.225

Стефанов Владимир Александрович, канд. техн. наук, асистент кафедры строительных, путевых и погрузочно-разгрузочных машин, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков, Украина, пл. Фейербаха 7, г. Харьков, Украина, 61050. тел. +38-057-783-91-59. E-mail: vstef@ukr.net (orcid.org/0000-0002-7947-2718)

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИСАДКИ НА РЕСУРС ГИДРОАГРЕГАТОВ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

Проведен анализ существующих методов повышения противоизносных свойств рабочих жидкостей. Определено влияние концентрации стеариновой кислоты на ресурс гидроагрегатов средств железнодорожного транспорта в условиях обработки рабочей жидкости внешним электростатическим полем. Найдена рациональная концентрация присадки, при которой наблюдается наибольший ресурс гидропривода.

Ключевые слова: электрообработка, концентрация, рабочая жидкость, железнодорожный транспорт.

UDK 621.225

Stefanov Vladimir Aleksandrovich, Candidate of Engineering, department of building, traveling and handling machines, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, Ukraine, pl. Feuerbach 7, Kharkov, Ukraine, 61050. Tel. +38-057-783-91-59. E-mail: vstef@ukr.net (orcid.org/0000-0002-7947-2718)

INFLUENCE CONCENTRATION OF ADDITIVE ON THE HYDRAULIC DRIVE MACHINES RESOURCE RAIL TRANSPORT IN THE PROCESSING OF WORKING LIQUID ELECTROSTATIC FIELD

The analysis of known ways to improve resource hydrodrives rail. Determined that the electrostatic treatment of the working fluid is the most promising way. In this paper defined resource growth depending on the concentration of stearic acid and treatment of the working fluid electrostatic field. Found rational concentration of the additive in which resource hydrodrive rail transport is the largest. The maximum capacity of the hydraulic drive rail transport is observed at a concentration equal to 0.35% additive.

Keywords: electric treatment, concentration, working fluid, trains.

Постановка проблеми

На залізничних дорогах України при будівництві та експлуатації широко використовують різні засоби транспорту. Для привидення в дію робочих органів цих машин використовують об'ємний гідравлічний привод, який має ряд переваг, до яких належать: невеликі габарити та маса агрегатів, а також проста конструкція захисту вузлів від перевантажень. Крім того, гідропривод легко управляється, може передавати великі зусилля та потужності, має високу надійність. Через високу ціну агрегатів гідравлічних приводів та передач, а також велику трудомісткість їх ремонту, виникає необхідність розробки та впровадження ресурсозберігаючих технологій, спрямованих на вдосконалення конструкцій агрегатів та покращення характеристик робочих рідин.

Анализ предшествующих исследований

В процессе работы гидроагрегатов средств железнодорожного транспорта увеличиваются зазоры в контакте, и при определенных пределах изнашивания наступает резкое увеличение утечек, что приводит к падению КПД гидромашины. Определяющими параметрами, влияющими на ресурс, является зазор в паре трения, который в процессе эксплуатации элементов гидроагрегатов изменяется, и зависит от толщины и несущей способности адсорбционной пленки в граничном режиме трения которая напрямую зависит от противоизносных свойств рабочей жидкости (РЖ).

Актуальным в последние десятилетия стал поиск оптимальных способов внешнего воздействия на рабочую жидкость для улучшения ее трибологических свойств. Такие виды воздействия, как механическое, акустическое, магнитное, электромагнитное и другие используют для интенсификации нефтехимических и химических процессов: полимеризации; получения коллоидов металлов в органических средах, маслорастворимых поверхностно-активных веществ; изготовления эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей; обессоливания и обезвоживания нефти; эмульгирования и дизэмульгирования; очистки нефтепродуктов; фильтрования и центрифугирования дисперсных систем; кроме того внешние силовые поля могут быть использованы для улучшения качества нефтепродуктов [1–4]

Влияние электростатических полей на противоизносные свойства углеводородных жидкостей рассмотрено в работах Лысикова Е. Н., Руднева В. К., Косолапова В. Б., Воронина С. В. и др. В этих работах показана возможность повышения противоизносных свойств рабочей жидкости гидроприводов с помощью электростатического поля [6-8]. Однако в этих работах не уделялось внимания исследованию и изучению механизма формирования адсорбционной пленки на поверхностях трения с учетом изменения концентрации молекул поверхностно-активных веществ в базовом масле.

Формирование целей статьи

Целью данной статьи является установление закономерности влияния концентрации присадки в рабочей жидкости и ее обработки электростатическим полем на толщину граничного смазочного слоя и ресурс гидроагрегатов средств железнодорожного транспорта.

Основная часть

В процессе трения поверхностей твердых тел, важную роль выполняют граничные смазочные слои жидких сред. Механизм их формирования рассмотрен большим количеством научно-исследовательских работ, так как он представляет огромный практический интерес. Жидкие смазочные среды, из которых формируется смазочный слой, по своей сути является многокомпонентной средой, в которой решающую роль играют поверхностно-активные вещества. Структура этих молекул такова, что все они обладают электрическим дипольным моментом. С другой стороны на свойства граничного смазочного слоя оказывает влияние и структура поверхности металла, так как она формирует его силовое поле. Следовательно, формирование граничных смазочных слоев на поверхностях гидроаппаратуры, контактирующих со смазочным материалом, зависит от двух главных факторов: силового поля поверхности металла и молекулярной структуры поверхностно-активных веществ.

Рассмотрим общую физическую картину и механизм формирования граничных смазочных слоев на поверхностях трения. При этом принимаем несколько допущений. Поверхности абсолютно гладкие и граничный слой состоит только из молекул поверхностно-активных веществ (не включает в себя ни частиц износа и различного рода загрязнений). Схематично такой адсорбционный слой можно представить следующим образом рис. 1.

Физическую картину такого адсорбционного слоя можно охарактеризовать несколькими зонами. Первая зона включает в себя монослой, вторая – димерные ряды поверхностно-активных веществ (ПАВ), третья – сольватная шуба.

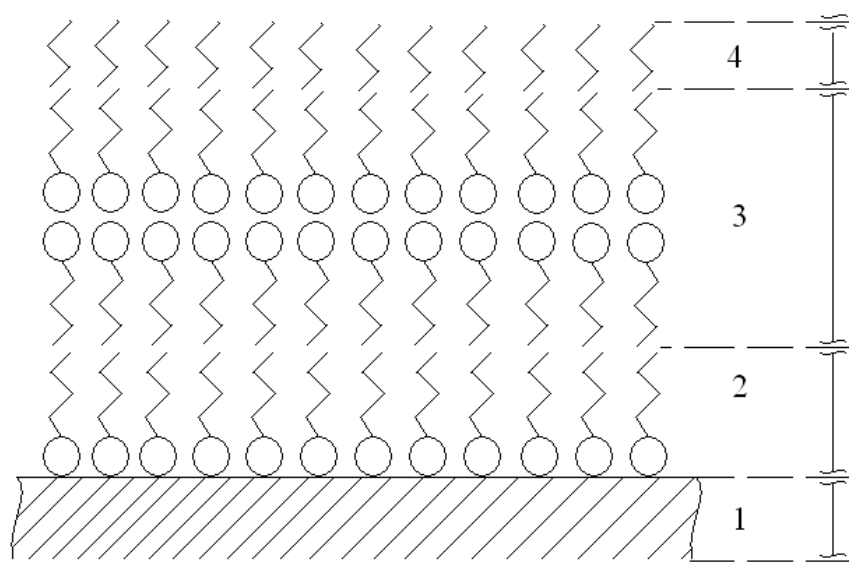


Рис. 1. Схема формирования адсорбционного слоя на поверхностях трения :
 1 – поверхность ; 2 – мономолекулярный слой;
 3 – димерные ряды; 4 – сольватная «шуба»

Первая и вторая зоны определяются главными характеристиками: природой поверхности металла и дипольным моментом молекул ПАВ. Этим зонам свойственна важная особенность, которую много раз подтверждают исследования. Она обладает свойствами твердого тела и является существенно значимой для теории граничных явлений. На поверхностях, в пределах которой она формируется, в теории молекулярной физики граничного трения называют критической толщиной граничного слоя. Величину такого слоя по данным Ахматова А.С. и ряда других ученых определяют по такой методике. Если длина молекулы поверхностно-активных веществ находится в диапазоне $16\text{Å} \dots 25\text{Å}$ [1], то критическая толщина слоя для высокомолекулярных жирных кислот составляет $0,05 \dots 0,1$ мкм. Эти данные позволяют приблизительно определить количество монослоев поверхностно-активных веществ, которые находятся в критической толщине адсорбционного слоя. Экспериментальные данные тоже хорошо корректируются с этим подходом и в этом слое их находится от 20 до 40 монослоев. Если принять во внимание, что структура граничных слоев формируется главным образом путем димерных рядов (две молекулы соединены между собой карбоксильными концами), то их количество соответственно составит $10 \dots 20$. В физике процесса формирования критической толщины адсорбционного слоя наблюдается закономерность, которая многократно подтверждена экспериментальными данными. Согласно этой закономерности, чем меньше слой, тем выше его упругость и ниже пластичность. Из этой закономерности следует важный вывод о том, что критическая толщина зависит как от силового поля металла, так и от дипольного момента поверхностно-активных веществ. Кроме того, в процессе работы пар трения целесообразно путем конструкторских разработок не превышать внешней критической нагрузки, которая может воспринять по своей несущей способности предельный (критический) адсорбционный слой.

Одним из сложных физических процессов является определение силовых полей ($W_{\text{ПАВ}}$) на поверхности металла. Однако, при определенных допущениях, эту задачу можно решить, если воспользоваться методом Желе, выраженного достаточно хорошо в физической литературе.

Для определения $W_{\text{ПАВ}}$ воспользуемся методом желе хорошо описанного в литературе [9]. Поверхность трения представим в виде набора микроскопических ступенек высотой R_a с определенным периодом s_0 рис. 2.

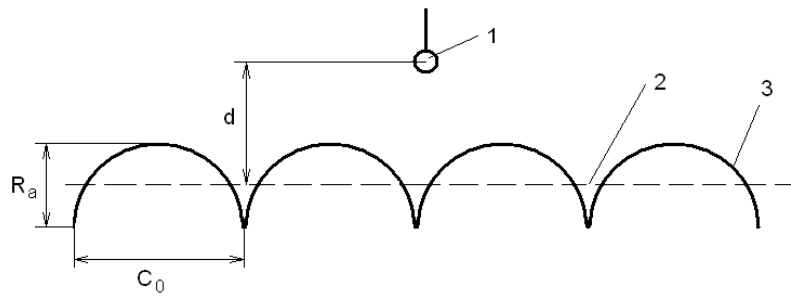


Рис. 2. Модель поверхности трения в гидроприводах: 1 – молекула ПАВ; 2 – средняя линия; 3 – поверхность трения

Ссылаясь на расчеты [9], определяем энергию взаимодействия молекулы ПАВ с поверхностью трения,

$$W_{\text{ПАВ}} = -pE_d = -\frac{py}{2ee_0} \cdot \left(1 - \frac{d}{\sqrt{b^2 + d^2}}\right), \quad (1)$$

где p – дипольный момент молекулы - $p \approx 10^{-29}$ Кл·м;

y – поверхностная плотность заряда;

e – диэлектрическая проницаемость рабочей жидкости;

e_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость в вакууме

$$e_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / \text{Н} \cdot \text{м}^2;$$

d – расстояние от молекулы ПАВ до поверхности трения;

b – радиус площади контакта.

Поверхностная плотность заряда определяется следующим образом

$$y = \frac{q_i}{a_0^2}, \quad (2)$$

где q_i – заряд одного ионного остова, Кл;

a_0 – расстояние между положительно заряженными центрами, $a_0 = 5 \text{ \AA}$.

Радиус площадки контакта будет равняться

$$b = \sqrt{r^2 - \frac{r^2}{4}} = r \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (3)$$

где r – радиус микронеровности в форме полусферы рис.3.

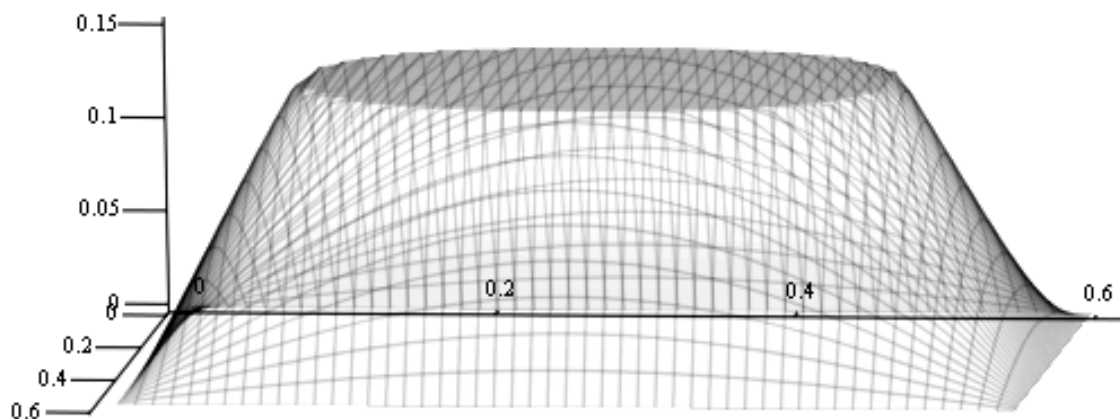


Рис. 3. Микронеровность поверхности трения (размеры в мкм)

Рассмотрим термодинамику мицеллообразования ПАВ в рабочей жидкости на примере стеариновой кислоты. Энергия взаимодействия молекул в мицелле (W_M) определяется по формуле:

$$W_M = \frac{-RT \ln(KKM)}{N_a}, \quad (4)$$

где R – постоянная газовая универсальная, $R=8.31 \frac{Дж}{моль \cdot К}$;

T – температура рабочей жидкости, $К$;

N_a – постоянная Авогадро, $N_a = 6.02 \cdot 10^{23}, \frac{1}{моль}$;

KKM – критическая концентрация мицеллообразования, $0,0009 \frac{моль}{л}$ [10].

Формирования адсорбционного слоя на поверхностях трения необходимо, что бы силовое поле поверхности металла превышало энергию связи молекул в мицелле. Данный процесс можно описать уравнением

$$W_{ПАВ} \Rightarrow W_M, \quad (5)$$

Определим максимальное расстояние (d_m), на котором возможно разрушение мицеллы ПАВ поверхностью. Для этого приравняем энергию $W_{ПАВ}$ с энергией W_M ,

$$W_M = \frac{py}{2ee_0} \cdot \left(1 - \frac{d_m}{\sqrt{b^2 + d_m^2}} \right). \quad (6)$$

Получим:

$$d_m = b \sqrt{\frac{\left(1 - 2ee_0 \frac{W_M}{py} \right)^2}{1 - \left(1 - 2ee_0 \frac{W_M}{py} \right)^2}}. \quad (7)$$

Для эффективного формирования адсорбционного слоя на поверхности трения гидроагрегатов средств железнодорожного транспорта необходимо чтобы все молекулы поверхностно-активных веществ находились в мономерном состоянии и время за которое слой молекул ПАВ достигнет максимальной толщины было как можно меньше.

Представим физическую модель формирования адсорбционного слоя молекул ПАВ на поверхностях трения следующим образом рис. 4.

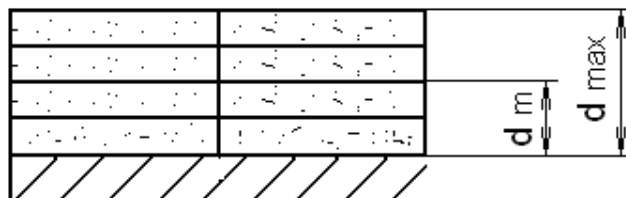


Рис. 4. Модель формирования адсорбционного слоя на поверхностях трения гидроагрегатов средств транспорта: d_{max} – максимально возможная толщина адсорбционного слоя (мономерное состояние молекул ПАВ); d_m – максимальное расстояние от поверхности трения при котором возможно разрушение мицелл

Данная модель представляет собой движение рабочей жидкости в виде пластин шириной, равной максимально возможной толщине адсорбционного слоя на поверхности трения. Учитывая, что при увеличении концентрации присадки мономеры ПАВ ассоциируют в различного рода агрегаты, была принята величина d_m характеризующая расстояние, при котором силовое поле поверхности может разрушить мицеллы и тем самым адсорбировать молекулы ПАВ.

Была принята величина X (необходимое количество проходов пластин для формирования адсорбционного толщиной d_{max}), являющаяся одним из главных критериев определения рациональной концентрации молекул поверхностно-активных веществ. Для определения X был предложен алгоритм расчета данной модели рис. 5.

Учитывалось условие, что при электрообработке РЖ мицеллы разрушались полностью и энергия взаимодействия молекулы ПАВ в РЖ приравнивалась энергии тепловых колебаний КТ.

Теоретический расчет толщины смазочного слоя на поверхностях трения с учетом концентрации присадки в рабочей жидкости, обработанной электростатическим полем, приведены в следующих выражениях:

$$h_0 = \int_0^{X(c)} b \frac{\sqrt{\left(1 - \frac{2ee_0KT}{py}\right)^2}}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{2ee_0KT}{py}\right)^2}} \cdot C \, dn, \quad (8)$$

$$h_{00} = \int_0^{X(c)} b \frac{\sqrt{\left(1 - \frac{2ee_0W_M}{py}\right)^2}}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{2ee_0W_M}{py}\right)^2}} \cdot C \, dn. \quad (9)$$

где h_0 – толщина смазочного слоя на поверхностях трения при обработке рабочей жидкости электростатическим полем;

h_{00} – толщина смазочного слоя на поверхностях трения без обработки рабочей жидкости электростатическим полем;

C – концентрация присадки;

$X(c)$ – количество необходимых проходов пластин для формирования граничного смазочного слоя, с учетом концентрации присадки;

KT – тепловая энергия (энергия взаимодействия мономера ПАВ в рабочей жидкости);

p – дипольный момент молекулы;

y – поверхностная плотность заряда;

e – диэлектрическая проницаемость рабочей жидкости;

e_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость в вакууме;

d – расстояние от молекулы ПАВ до поверхности трения;

b – радиус площади контакта.

Полученные значения толщин смазочной пленки при обработке рабочей жидкости электростатическим полем на поверхностях трения гидроагрегатов средств железнодорожного транспорта полученных из выражений (8 и 9) приведены на рис. 6.

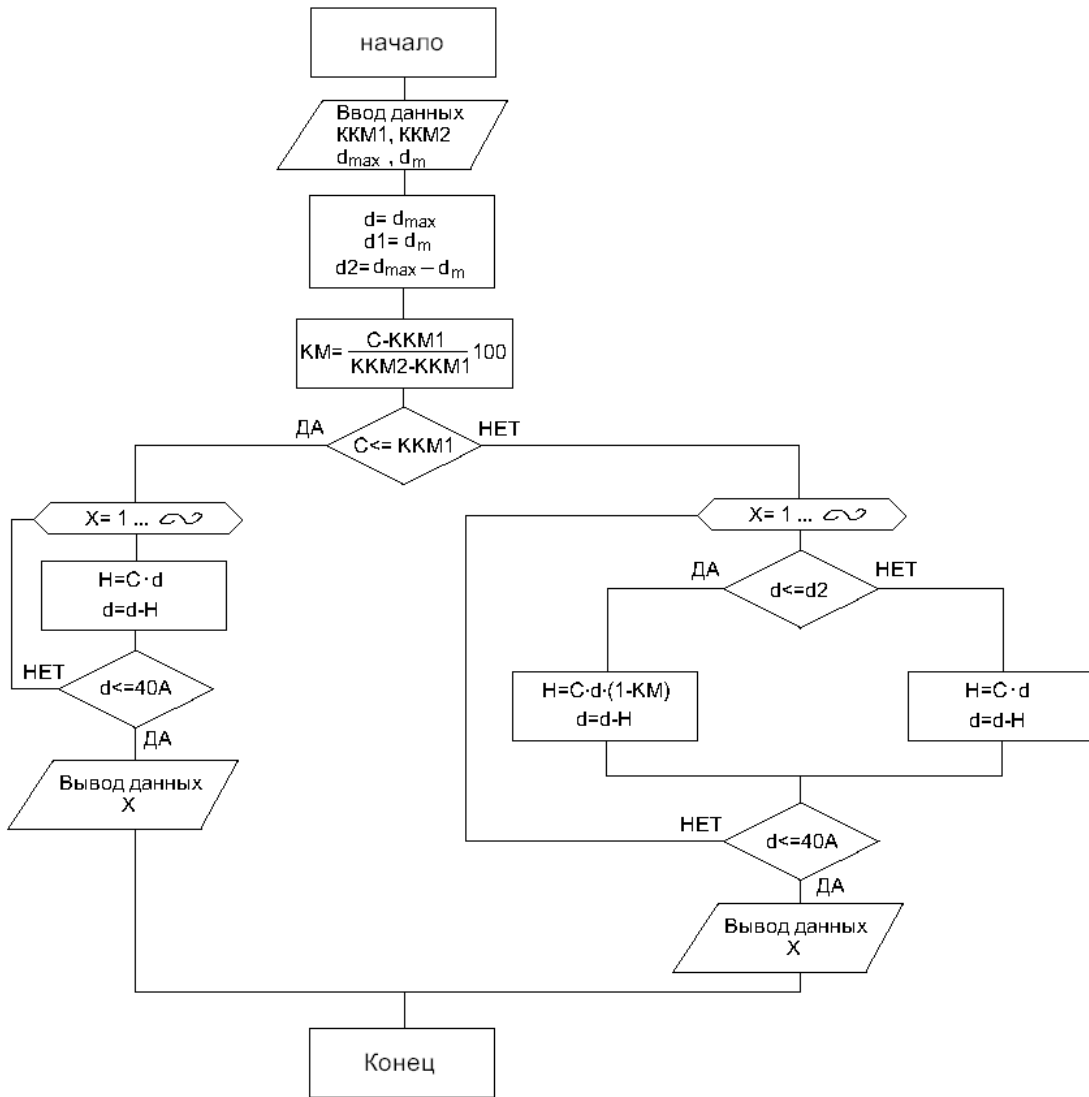


Рис. 5. Алгоритм расчета количества проходов пластин в зависимости от концентрации присадки: d – переменная, показывающая изменение толщины адсорбционного слоя при проходе пластины; H – толщина слоя, образованного при проходе одной пластины; C – концентрация присадки; X – искомое количество проходов; $ККМ1$ – концентрация начала ассоциации молекул ПАВ; $ККМ2$ – концентрация, при которой все молекулы присадки в мицеллярной форме

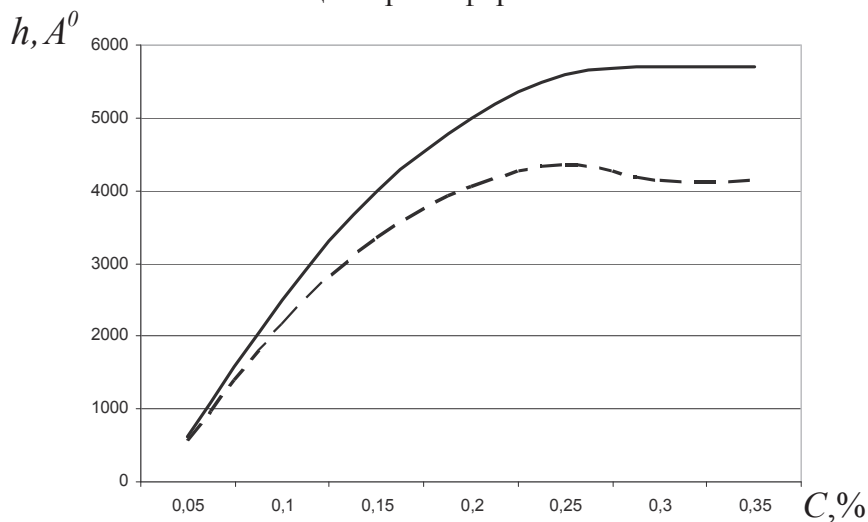


Рис. 6. Зависимость толщины адсорбционного слоя от концентрации молекул ПАВ стеариновой кислоты: «-» с обработкой РЖ; «---» без обработки РЖ

Выдвинута гипотеза, суть которой заключается в том, что с учетом степени поверхностной активности присадки, при электростатической обработке жидкости существует такая концентрация присадки, которая обеспечивает прирост ресурса гидроагрегатов на максимальном уровне.

Ресурс гидроагрегатов средств железнодорожного транспорта определяется скоростью изнашивания их узлов трения и может быть установлен из следующей зависимости:

$$T \approx \frac{\eta_0 - \eta_{\min}}{\operatorname{tg} \alpha} \approx \frac{2 \cdot S_{\phi} \cdot (\nu + 1) \cdot HB \cdot (\eta_0 - \eta_{\min})}{N \cdot f \cdot \nu}, \quad (10)$$

где S_{ϕ} – фактическая площадь контакта в поршневой группе, м^2 ;

$\operatorname{tg} \alpha$ – тангенс угла наклона кривой, которая характеризует скорость износа;

N – нагрузка в контакте, Н;

ν – коэффициент, зависящий от вида сноса;

HB – твердость изнашиваемого материала;

η_0 – объемный КПД аксиально-поршневого насоса в начале эксплуатации, %;

η_{\min} – нижняя граница объемного КПД, %;

f – коэффициент трения;

ν – относительная скорость перемещения пар трения, м/с.

В результате электростатической обработки рабочей жидкости происходит изменение фактической площади контакта рис. 7. Данное физическое явление приводит к уменьшению адгезионной составляющей трения и удельного контактного давления, которое приводит к снижению скорости изнашивания и повышению ресурса узлов трения гидроагрегатов.

Учитывая зависимость (10), соотношение ресурсов узлов трения гидроагрегатов, с использованием электрообработки рабочей жидкости, T_o та без нее $T_{\bar{o}o}$ можно предоставить следующей зависимостью:

$$\frac{T_o}{T_{\bar{o}o}} = \frac{2 \cdot S_o \cdot (\nu + 1) \cdot HB \cdot (\eta_0 - \eta_{\min}) \cdot N \cdot f \cdot \nu}{N \cdot f \cdot \nu \cdot 2 \cdot S_{\bar{o}o} \cdot (\nu + 1) \cdot HB \cdot (\eta_0 - \eta_{\min})} = \frac{S_o}{S_{\bar{o}o}}, \quad (11)$$

где S_o и $S_{\bar{o}o}$ – соответственно площади фактического контакта поверхностей трения при обработке рабочей жидкости электростатическим полем, так и без нее.

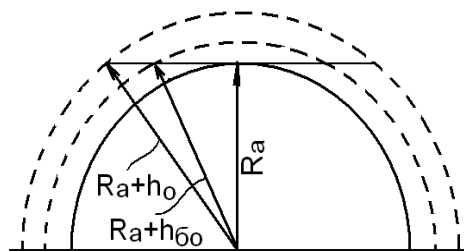


Рис. 7. Изменение фактической площади контакта в зависимости от толщины смазочного слоя: h_o – толщина смазочного слоя на поверхностях трения при обработке рабочей жидкости электростатическим полем; $h_{\bar{o}o}$ – толщина смазочного слоя на поверхностях трения без обработки рабочей жидкости электростатическим полем; R_a – среднее значение отклонения радиуса вершин микронеровности

С учетом площадей фактического контакта, а также микрогеометрии поверхностей трения зависимость (11) приобретает вид:

$$\frac{T_o}{T_{\bar{o}o}} = \frac{S_o}{S_{\bar{o}o}} = \frac{R_a h_o + h_o^2}{R_a h_{\bar{o}o} + h_{\bar{o}o}^2}. \quad (12)$$

При заданном значении R_a прирост ресурса гидроагрегата, согласно теоретического расчета толщины пленки и зависимости (11), отображен на рис. 8.

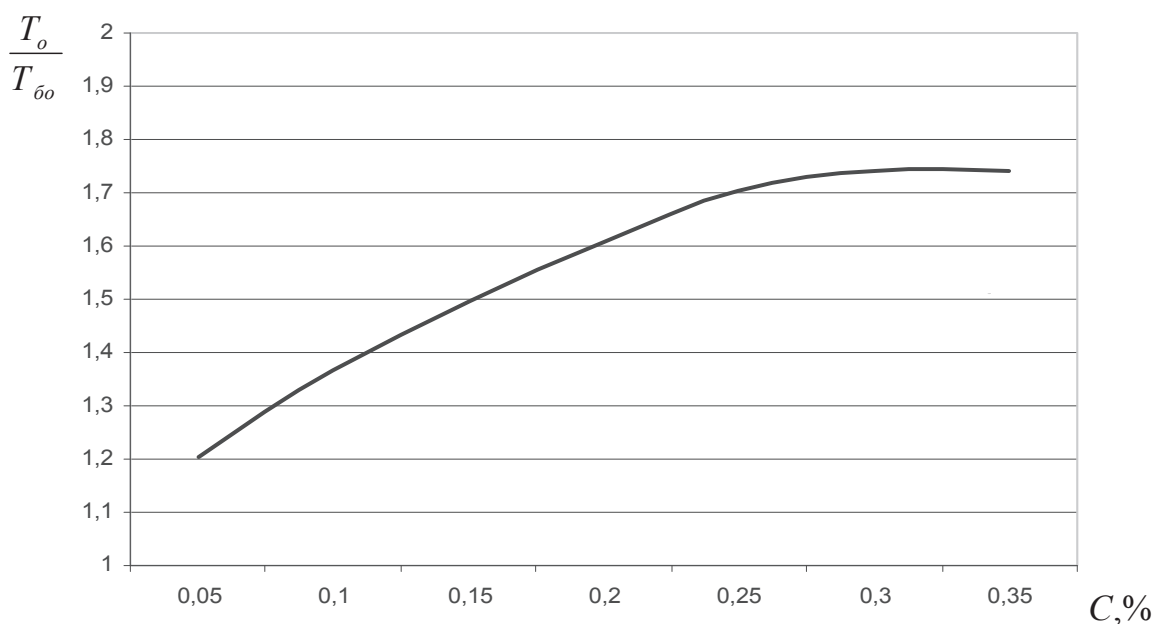


Рис. 8. Изменение прироста ресурса гидроагрегатов в зависимости от концентрации присадки при обработке рабочей жидкости электростатическим полем

Из графика видно, что обработка рабочей жидкости внешним электростатическим полем позволяет увеличить ресурс пар трения гидроагрегатов средств транспорта от 1,2–1,75 раз.

Выводы

1. Ресурс гидроагрегатов зависит от многих факторов, среди которых одним из главных является качество рабочей жидкости, а именно ее противоизносные свойства. Согласно ранее проведенных исследований, такие свойства определяются процессом формирования смазочного слоя и достигается введением в рабочие жидкости поверхностно-активных веществ-присадок, а также обработкой внешними силовыми полями.

2. Установленная закономерность влияния концентрации противоизносной присадки в рабочих жидкостях на ресурс гидроагрегатов средств железнодорожного транспорта, в которой главными факторами являются толщина смазочного слоя. Согласно установленной закономерности, с ростом концентрации присадки изменяется фактическая площадь контакта поверхностей трения за счет роста толщины граничного смазочного слоя, и при некоторых значениях концентрации, наблюдается максимум прирост ресурса. Такая закономерность получена как для условий электростатической обработки, так и без нее.

Список литературы

1. Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения [Текст] / А. С. Ахматов, – М.: Физматгиз, 1963. – 471 с.
2. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических ВУЗов [Текст] / [под общ. ред. А. В. Чичинадзе]. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
3. Заславский Ю.С. Трибология смазочных материалов [Текст] / Заславский Ю. С. – Химия, 1991. – 240 с.
4. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах [Текст] / Б. И. Костецкий, – К.: Техника, 1977. – 396 с.
5. Меркурьев Г.Д. Смазочные материалы на железнодорожном транспорте [Текст] / Г. Д. Меркурьев, Л. С. Елисеев. – М.: Транспорт, 1985. – 255 с.: ил., табл.
6. Лысиков Е. Н. Интенсификация адсорбционной способности рабочей жидкости гидроприводов путем воздействия на неё электростатическим полем [Текст] / Е. Н. Лысиков, В. Б. Косолапов // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. – Харьков: РИО ХГАДТУ. – 1997. – вып. 6. – С. 44–47.

7. Лыиков Е. Н. Повышение ресурса гидроприводов автомобилей специального назначения за счет обработки рабочих жидкостей электростатическим полем [Текст] / Е. Н. Лыиков // Автомобильный транспорт. – Харьков: РИО ХГАДТУ. – 1999. – вып. 3. – С. 81–83.

8. Руднев В. К. Улучшение противоизносных свойств нефтепродуктов электрообработкой [Текст] / В. К. Руднев // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Интерстроймех 2002». – Могилев: МГТУ. – 2002. – С. 303–304.

9. Лыиков Е.Н. Расчет толщины адсорбированных слоев молекул ПАВ на поверхностях трибосопряжения [Текст] / Е.Н. Лыиков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – Харьков: РИО ХНАДУ, – 2001. – № 7–8. – С. 95–99.

10. Мицеллообразование, солюбилизация и микроэмульсии [Текст] / [под ред. К. Л. Миттела]. – М.: Мир, 1980. – 597 с.

References

1. Ahmatov A. S. (1963) "Molecular physics of boundary friction" [Molekulyarnaya fizika granichnogo trenya], engineering, Moscow, 471 p.

2. Chichinadze A.V. (2001) "Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication)" [Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka)], engineering, Moscow, 664 p.

3. Zaslavskiy Yu. S. (1991) "Tribology of lubricating materials" [Tribologiya smazochnykh materialov], chemistry, Moscow, 240 p.

4. Kostetskiy B. I. (1977) "Friction, lubrication and wear in machines" [Trenie, smazka i iznos v mashinakh], technics, Kiev, 396 p.

5. Merkyr'ev G. D., Eliseev L. S. (1985) "Lubricants in rail transport" [Smazochnie materialy na zhelezodorozhnom transporte], transport, Moscow, 255 p.

6. Lysikov E. N., Kosolapov V. B. (1997) "Intensification of the adsorption capacity of the working fluid by the action of hydraulic drives her electrostatic field", Bulletin of Kharkiv State Automobile and Road Technical University ["Intensifikatsiya adsorptsionnoy sposobnosti rabochey zhidkosti gidroprivodov putem vozdeystviya na neye elektrostatcheskim polem", Vesnik Khar'kovskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo tehniceskogo universiteta], Kharkov, No. 6, P. 44–47.

7. Lysikov E. N. (1999) "Improving resource hydrodrives special purpose vehicles by treating process fluids electrostatic field", Auto transport ["Povyshenie resursa gidroprivodov avtomobiley spetsial'nogo naznacheniya za schet obrabotki rabochnykh zhidkostey elektrostatcheskim polem", Avtomobilny transport], Kharkov, No. 3, P. 81–83.

8. Rudnev V. K. (2002) "Improved anti-wear properties of petroleum electric treatment", Proceedings of International. scientific and engineering. conf. "Interstroyemeh 2002" ["Uluchshenie protivoznosnykh svoystv nefteproduktov elektroobrabotkoy", Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Interstroyemeh 2002"], Mogilev, P. 303–304.

9. Lysikov E. N., Kosolapov V. B., Voronin S. V. (2001) "Calculation of the thickness of adsorbed layers of surfactant molecules on the surfaces tribomating", Auto transport: collection of scientific works ["Raschet tolshchiny adsorbirovanykh sloev molekul PAV na poverhnostyakh tribosopriazheniya", Avtomobily transport: Sbornik nauchnykh trudov], Kharkov, No. 7–8, P. 95–99.

10. Mittel K. L. (1980) "Micelle formation, solubilization and microemulsions" [Mitselloobrazovanie, solyubizatsiya i mikroemulsiy], World, Moscow, 597 p.

Поступила в редакцию 06.05 2014 г.