

УДК 621.892.8(045)

І. Л. ТРОФІМОВ

Національний авіаційний університет, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА ПРОТИЗНОСНІ ВЛАСТИВОСТІ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Теоретично обґрунтовано підвищення протизносних властивостей мастильних матеріалів електричним полем. Розроблено математичну модель впливу електричного поля на протизносні властивості мастильних матеріалів, яка встановлює взаємозв'язок між основними фізичними параметрами трибосистем і електричним полем.

Ключеві слова: *мастильний матеріал, протизношувальні властивості, електричне поле, математична модель.*

Вступ. Необхідність забезпечення високої надійності та економічності сучасних машин і механізмів безпосередньо пов'язана з підвищенням якості мастильних матеріалів (ММ). Розроблення нових методів підвищення протизносних властивостей ММ є актуальним науково-прикладним завданням сучасної трибології.

На сьогодні вимоги до мастильних середовищ, режиму і властивостей їх роботи в різних умовах визначають необхідність підвищення протизносних властивостей ММ та пошуку нових напрямів і методів для цього. Стрімке здорожчання природних ресурсів спонукає до відновлення та підвищення протизносних властивостей ММ, що на сьогодні є також актуальним.

Постановка завдання. Питання щодо фізики та аналітичного опису впливу електричного поля на протизносні властивості ММ на сьогодні залишається відкритим. Мета роботи полягала у розробці математичної моделі впливу електричного поля на вуглеводневі рідини, зокрема, на протизносні властивості ММ.

Аналіз досліджень та публікацій. Аналіз літературних джерел показує активну зацікавленість науковців стосовно експериментальних і теоретичних досліджень з підвищення протизносних властивостей пар тертя та досліджень впливу електричного поля на зміну стану і властивостей робочих рідин.

Аналіз джерел [1 – 3] показує, що головним компонентом ММ, який дозволяє сформувати адсорбційні шари на поверхні металів, є поверхнево-активні речовини (ПАР). Їх основна властивість полягає в тому, що центри тяжіння позитивних і негативних зарядів не збігаються, і завдяки такій структурі молекула ПАР має постійний дипольний момент. У разі дії на неї електричним полем постійні дипольні моменти мають орієнтуватися у напрямі напруженості електричного поля. У результаті цього молекули ПАР переорієнтовувалися так, що найменші фізичні елементи об'єму ПАР набувають дипольні моменти. Така поляризація значно інтенсивніша, ніж поляризація, що індукується електричним полем. Молекули ПАР набувають напрямленості за вектором напруженості зовнішнього електричного поля і в міру її зростання дедалі більша кількість молекул ПАР стає напрямлена за вектором напруженості цього поля та за певної напруги настає момент, коли майже всі молекули займають це положення [1; 2].

Така поляризація молекул ПАР може привести до того, що збільшиться імовірність їх взаємодії між собою, а крім того, їх упакованість (густина на одиницю довжини поверхні) буде вищою у разі розташування на поверхні металу.

У разі накладення зовнішнього електричного поля на базові ММ, зокрема оливи, відбувається процес поляризації, оскільки позитивні заряди прагнути-

муть рухатись за напрямком вектора напруженості, а негативні – протилежно. У результаті молекули базової оливи набувають дипольного моменту і мастильне середовище поляризується. Описана фізична картина дії електричного поля на базову оливу не змінює її структури [1; 2]. У цьому випадку молекули взаємодіють з вуглеводневим радикалом ПАР і утворюють додатково напрямлений шар своїх молекул по вектору напруженості. Такий зв'язок може сприяти підвищенню в'язкості ММ. Завдяки дії зовнішнього електричного поля, ММ набувають структури, яка як за рахунок зростання кількості молекул ПАР у вигляді мономерів, так і внаслідок їх взаємодії з молекулами базового середовища має сприяти зростанню в'язкості, що в свою чергу зумовлюватиме зростання товщини змащувального шару.

Такий механізм дає змогу отримати високу локальну концентрацію молекул ПАР прямо на поверхні тертя, що дозволить створити змащувальний шар більшої товщини, а отже, безпосередньо взаємодія виступів поверхонь тертя зменшиться, що призведе до зниження інтенсивності їх зношування. Крім того, частинки зношування, оточені молекулами ПАР, заповнюючи шорсткості поверхонь, знижують питомий контактний тиск між ними, що теж призводить до зниження зносу. При процесах взаємодії пар тертя слід очікувати адсорбційного пластифікування поверхонь тертя, і, як наслідок, зниження коефіцієнта тертя навіть в умовах граничного змащування.

Аналітичними дослідженнями встановлено, що основним фізичним фактором, який визначає взаємодію молекул базових ММ (олив) та молекул ПАР із електричним полем, є електричний дипольний момент їх атомів і молекул. Використовуючи саме цей фізичний фактор, розглянемо молекулу оливи (або ПАР), на яку впливає електричне поле.

Під час руху рідини по трубопроводах і технологічному обладнанню виникає явище природної трибоелектризації, яке створює електричне поле у певному об'ємі рідини. Більш того, можна за допомогою зовнішніх джерел додатково створити електричне чи електромагнітне поле для посилення природного електричного поля. Полярні і неполярні молекули під дією на них зовнішнього електричного поля мають заряди, які зміщені відносно умовного електричного центра ваги. На ці заряди діє електростатичне поле з напруженістю E , яка діє на заряд q молекули із силою F . Але заряд перебуває в середовищі, значення діелектричної проникності якого становить приблизно 2 ... 4 [3]. Отже, можна записати:

$$F = \frac{qE}{\varepsilon} \quad (1)$$

Відомо, що напруженість E електричного поля залежить від напруги U в електричному полі і відстані h , на якій діє ця напруга. У цьому випадку оброблюємо ММ накладеними електромагнітним та електричним полями (метод оброблення та пристрій описані в [4]), подаючи напругу U постійного струму до пристрою підвищення експлуатаційних властивостей паливно-мастильних матеріалів, який містить об'єм обробленої вуглеводневої рідини. Таким чином,

$$E = \frac{U}{h} \quad (2)$$

Енергія взаємодії заряджених частинок з полем може бути виражена однією з енергетичних одиниць виміру. Якщо праву і ліву частини виразу (1) помножимо на числове значення відстані h , то в лівій частині отримаємо символічний вираз роботи, що затрачується на поляризацію та переорієнтацію заряду. Знайдена таким способом робота і буде оцінювати енергетичну взаємодію електричного поля і заряду. Покажемо це в аналітичній формі і встановимо одиниці розмірності:

$$Fh = \frac{qE}{\varepsilon} h; \quad A = \frac{qEh}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon} qU [\text{Кл} \cdot \text{В}] = \frac{1}{\varepsilon} qU \quad [\text{Дж}]. \quad (3)$$

Залежність (3) ще раз підтверджує, що енергія взаємодії між конкретним зарядом молекули і полем залежить від однієї змінної величини – напруги постійного струму.

Відомо, що під час дослідження процесів тертя та зношування значне місце займає адгезія між ММ і поверхнею тертя та, власне, явище змочування твердих тіл. Із джерела [5] відома формула стану рівноваги краплі ММ на поверхні твердого тіла

$$\sigma_{\text{тг}} = \sigma_{\text{рт}} + \sigma_{\text{рг}} \cos \varphi \quad (4)$$

та формула роботи адгезії між твердим тілом і рідиною

$$W_{\text{рт}} = \sigma_{\text{рт}} (1 + \cos \varphi), \quad (5)$$

де φ – крайовий кут зіткнення рідкої і твердої фаз; σ – поверхневий натяг, ерг/см²; р, т, г – індекси позначають відповідно рідку, тверду і газоподібну фази.

З аналізу залежностей (4, 5) видно, що домінуючою змінною величиною являється поверхневий натяг σ .

Із термодинаміки відомо [5], що повна енергія системи має вигляд:

$$U' = H - T \frac{dH}{dT}, \quad (6)$$

де H – вільна енергія; $T \frac{dH}{dT}$ – зв'язана енергія.

За літературним джерелом [5] у разі ізотермічної зміни величини поверхні (наприклад рідини) на 1 см² затрачується (у разі розтягування) чи віддається (у разі стискання) механічна робота, яка чисельно дорівнює поверхневому натягу σ . Отже, ця робота виражає зміну вільної енергії поверхні при ізотермічному збільшенні або зменшенні поверхні на 1 см². Тобто $H = \sigma$. Відповідно, рівняння (6) набуде вигляду:

$$U' = \sigma - T \frac{d\sigma}{dT}. \quad (7)$$

де σ – поверхневий натяг, а також вільна енергія одиниці поверхні, ерг/см².

Величина $T \frac{d\sigma}{dT}$ може бути знайденою, якщо відома залежність $\sigma = f(T)$. Ця залежність може бути прийнятою в широкому інтервалі температур [5]:

$$\sigma = \sigma_0 - \beta t, \rightarrow \frac{d\sigma}{dT} = -\beta, \rightarrow U' = \sigma + \beta T. \quad (8)$$

У залежності (8) σ_0 – поверхневий натяг за нульової температури. Отже, з підвищенням температури поверхневий натяг падає, оскільки збільшується середня відстань між молекулами і їх міжмолекулярна дія слабшає.

Із рівнянь (7), (8) випливає, що повна енергія поверхневого шару не залежить від температури, оскільки $\frac{d\sigma}{dT} = -\beta$, то $\frac{d^2\sigma}{dT^2} = 0$. З іншого боку, з рівняння (7) випливає,

що $\frac{dU'}{dT} = -T \frac{d^2\sigma}{dT^2}$, отже, $\frac{dU'}{dT} = 0$, що відповідає $U' = \text{const}$.

У розглянутому випадку можна припустити, що енергія, з якою електричне поле діє на одиничну поверхню ММ, буде виражати повну енергію U' одиниці поверхні. Тобто

$$U' = \sigma + \beta T = U. \quad (9)$$

Із формул (2), (8) і (9) можна отримати такі залежності:

$$U = Eh = \sigma + \beta T \rightarrow \sigma = Eh - \beta T \quad (10)$$

Із формули (10) випливає, що поверхневий натяг σ має залежати від напружено-сті електричного (електростатичного) поля E . Тобто ми отримали залежність

$$\sigma = f(E).$$

Висновок. Теоретично обґрунтовано вплив електричного поля на протизносні властивості ММ. Міркування про механізм взаємодії молекул мастильних середовищ і їхніх окремих частин під дією електричного поля викладено на підставі проаналізованих робіт та аналізу результатів власних досліджень щодо зміни властивостей ММ під впливом накладених зовнішнього електричного та природного електростатичного полів.

Отримано модельні залежності, що пояснюють взаємозв'язок між роботою, що затрачується на поляризацію та переорієнтацію заряду, поверхневим натягом і електричним полем:

$$A = f(U); \quad \sigma = f(\vec{E}, T).$$

Список літератури

1. Кравец І.А. Ремонтная регенерация трибосистем / И. А. Кравец. – Т.: Издательство Бережанского агротехнического института, 2003. – 284 с.
2. Александров Е.Е. Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.П. Лысиков, О.В. Соловьев, А.А. Тропина. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 544 с.
3. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (Область слабых полей) / Г.И. Сканава. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 253 с.
4. Трофімов І.Л. Метод підвищення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів дією електростатичного поля / І. Л. Трофімов // Вісник Національного технічного університету України «КПІ» (Машинобудування), – 2008. – вип. №53/2008, ч.1 – С. 134–144.
5. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения / А.С. Ахматов. – М.: Физ. гиз., 1963. – 472 с.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2012

I. L. TROFIMOV

DEVELOPMENT MATHEMATICAL MODEL INFLUENCES OF ELECTRIC-FIELD ON ANTIWEAR PROPERTIES OF LUBRICATING ENVIRONMENTS

The primary purpose of research is a theoretical ground influence of electric-field on tribologic properties of lubricating materials and receipt of mathematical dependences which describe this influence. In this article grounded presentation in relation to the mechanism cooperation of molecules of lubricating environments and their separate parts under influence of external electric-field on the basis of the analysed works and analysis of results of own researches. The theoretical ground of influence of electric-field on workings liquids allowed to get mathematical dependences for an analysis and design influence of electric-field on antiwear properties of lubricating materials, explanations of intercommunication between a work, which is used up on polarization and orientation of charge, weed a surface-tension and electric-field. The results of researches can be applied the experts of tribologicers, chemotologists, and also by specialists in area of exploitation the fuel and lubricating systems of surface and aviation technique.

Keywords: lubricating material, antiwear properties, electric field, mathematical model.

Трофімов Ігор Леонідович – канд. техн. наук, доцент кафедри екології Інституту екологічної безпеки Національного авіаційного університету.