

УДК 621.314.52

Г. М. Афанасов

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ МОЛЕКУЛ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН МОТОРНИХ МАСТИЛ В АДСОРБЦІЙНОМУ ШАРІ НА ПОВЕРХНЯХ ТЕРТЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

*Розглянуто механізм формування полімолекулярних шарів поверхнево-активних речовин у парах тертя двигунів внутрішнього згоряння під дією силового поля поверхонь. Визначена енергія взаємодії диполів поверхнево-активних речовин між собою, залежно від їх відносного розташування в адсорбційному шарі.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* поверхнево-активні речовини, адсорбційний шар, полімолекулярний шар.

**Постановка проблеми.** У двигунах внутрішнього згоряння значний час пари тертя знаходяться у граничному режимі змащування, де проявляється дія адсорбційного шару, що формується за рахунок молекул поверхнево-активних речовин (ПАР), які обов'язково присутні в моторних мастилах [1].

Під час вивчення адсорбційного процесу молекул ПАР на поверхнях тертя виникає необхідність розв'язування двох головних задач:

- визначення механізму формування полімолекулярного шару;
- визначення несучої здатності полімолекулярного шару.

Розв'язування таких задач доцільно виконати на основі вивчення міжмолекулярних взаємодій електромагнітної природи. Оскільки у структурі молекул ПАР центри ваги позитивних і негативних зарядів не співпадають, то вони мають високий електричний дипольний момент. Отже, вивчення механізму формування структури полімолекулярних плівок на поверхнях тертя доцільно побудувати на базі дослідження їх енергетичного стану.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дотепер не проводилися теоретичні дослідження процесу взаємодії молекул ПАР у полімолекулярному шарі між собою. Відомі результати теоретичних досліджень адсорбційної здатності робочих рідин гідроприводів при впливі на них електростатичним полем [2]. У цих дослідженнях доведена можливість інтенсифікації процесу формування адсорбованого шару ПАР. Проте у них не розглянута задача визначення енергії взаємодії молекул ПАР між собою в адсорбційному шарі.

**Метою статті** є визначення енергії взаємодії молекул ПАР моторних мастил, які утворюють адсорбційний шар на поверхнях тертя двигунів, залежно від їх відносного розташування.

**Виклад основного матеріалу.** Виконаємо енергетичне оцінювання взаємодії молекул ПАР у процесі формування полімолекулярного адсорбційного шару. Як відомо, кожний електричний диполь створює в оточуючому просторі електричне поле, яке впливає на інші диполі. Напруженість поля диполя можна визначити з виразу [3]:

$$E_g(\vec{P}, \vec{r}) = \frac{3\vec{r}(\vec{P}, \vec{r}) - \vec{P}r^2}{r^5} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}, \quad (1)$$

де  $\vec{P} = q \cdot \vec{l}$  – дипольний момент;  $\vec{r}$  – радіус-вектор, проведений з точки локалізації диполя у точку спостереження;  $\epsilon_0$  – електрична стала;  $\epsilon = 2$  – відносна діелектрична проникність моторної оливи.

У рідинних змащувальних середовищах електричні диполі знаходяться у хаотичному стані, їх випадковий дотик може бути причиною взаємодії з притяганням або відштовхуванням (див. рис. 1, а).

У випадку потрапляння рідких змащувальних середовищ в область дії силового поля поверхонь тертя спостерігається інша фізична картина. Під впливом силового поля пари тертя ПАР як диполі будуть обертатися у напрямку вектора напруженості таких зовнішніх полів і адсорбуватись на поверхнях. У подальшому утворенні поля молекулярного шару, коли поле поверхні тертя екрановане, головну роль починає відігравати диполь – дипольна взаємодія молекул, у результаті якої може змінюватись на різноспрямоване їх відносне розташування. Фізична картина спрямованості ПАР матиме вигляд, представлений на рис. 1, б.

Дамо енергетичну оцінку процесу взаємодії (зближення) молекул ПАР у випадку, коли вони потрапляють під вплив силового поля поверхонь тертя. Для цього розглянемо взаємодію на прикладі

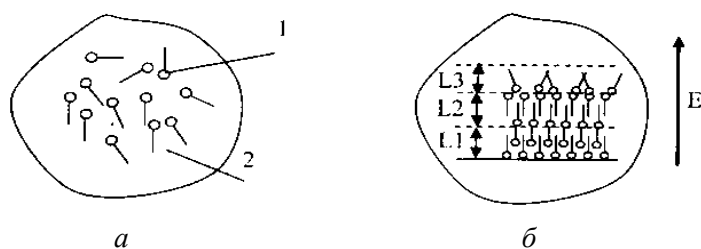


Рис. 1. Розташування ПАА (диполів) у рідких змащувальних середовищах:  
 а – хаотичне розташування (1 – молекула ПАА; 2 – мастило);  
 б – розташування під впливом силового поля поверхонь тертя  
 (L1 – зона дії поля поверхні; L2 – шари ПАА, які не потрапляють в зону дії поля;  
 L3 – хаотичне розташування)

двох диполів  $\vec{P}_i$  та  $\vec{P}_j$ , які знаходяться у точках А і Б (рис. 2). Така взаємодія можлива як для однаково спрямованих диполів, так і при їх зворотному положенні.

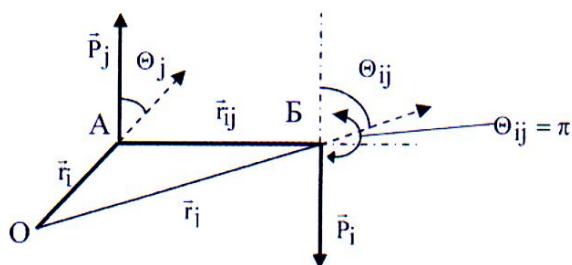


Рис. 2. Орієнтування ПАА у системі координат

Раніше відмічалось, що електричний диполь створює в оточуючому просторі електростатичне поле. У фазі зближення диполів важливо оцінити енергію взаємодії. Припускаємо, що система “диполь – диполь” прямує до мінімального енергетичного стану. Тоді енергію двох диполів можна визначити, користуючись працею [3]. У векторній формі вона має вигляд:

$$W_{ij} = -\vec{P}_i \cdot E_q(\vec{q}_j, \vec{r}_{ij}) = \frac{\vec{P}_i \cdot \vec{P}_j \cdot r_{ij}^2 - 3(\vec{r}_{ij} \cdot \vec{P}_i)(\vec{r}_{ij} \cdot \vec{P}_j)}{r_{ij}^5} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}, \quad (2)$$

де  $r_{ij} = \vec{r}_i - \vec{r}_j$ ;  $\Theta_{ij}$  – кут між векторами  $\vec{P}_i$  та  $\vec{P}_j$ ;  $\Theta_i$  та  $\Theta_j$  – кути відповідно між векторами  $\vec{P}_i$  та  $\vec{P}_j$  і вектором  $\vec{r}_{ij}$ ;  $W_{ij}$  – енергія диполя  $\vec{P}_i$  у полі диполя  $\vec{P}_j$ .

Використаємо залежність (2) для прикладу взаємодії двох однакових диполів, коли  $|\vec{P}_i| = |\vec{P}_j| = |P|$  та за умови, що вони орієнтовані однаково під впливом силового поля поверхонь тертя. Тоді  $\Theta_{ij} = \Theta_j - \Theta_i = 0$  (див. рис. 3, а).

Позначимо  $|\vec{r}_{ij}| = r$ , тоді формула (2) набуває вигляду (див. рис. 3, б):

$$W_{ij}^1 = \frac{p^2(1 - 3\cos^2 \Theta)}{r^3} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}. \quad (3)$$

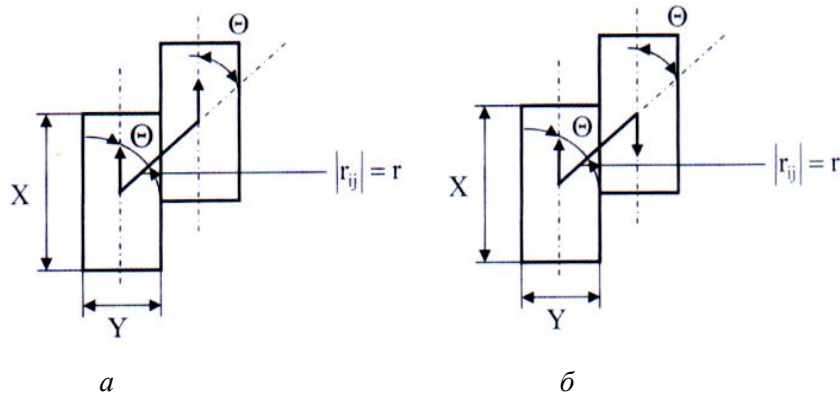


Рис. 3. Взаємодія двох молекул ПАР під впливом силового поля поверхні тертя: а – однаково спрямованих; б – різноспрямованих

Для випадку різноспрямованих диполів (рис. 3, б):

$$W_{ij}^2 = \frac{p^2(3 \cos^2 \Theta - 1)}{r^3} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \quad (4)$$

Крім того, з рис. 3 видно, що  $r = \frac{Y}{\sin \Theta}$ , та  $\Theta_{\min} = \arctg \frac{Y}{X}$ .

Проаналізувавши функції  $W_{ij}^1, W_{ij}^2 = W_{ij}(\Theta)$  на екстремум в інтервалі кутів  $\Theta = \Theta_{\min} \div \Theta_{\max}$ , де  $\Theta_{\max} = \pi - \Theta_{\min}$ , визначаємо, що максимальні значення функції  $W_{ij}^1$  та  $W_{ij}^2$  мають відповідно для кутів  $\frac{\pi}{2}$  та  $43,56^\circ$ , а мінімальні значення – для кутів  $43,56^\circ$  та  $\frac{\pi}{2}$ .

Дослідимо зміну енергії взаємодії молекул ПАР в інтервалі кутів  $\Theta = \Theta_{\min} \div \Theta_{\max}$  для обох відносних положень (рис. 4). Величину дипольного моменту ПАР вважаємо рівною  $10^{-29}$  Кл·м [4].

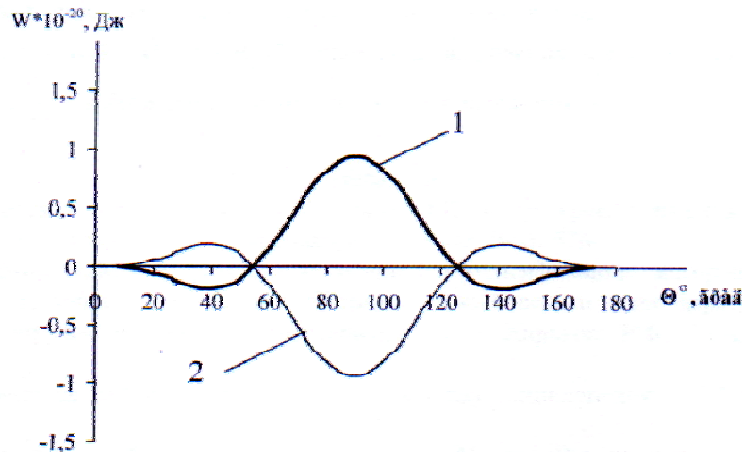


Рис. 4. Енергія взаємодії молекул ПАР в інтервалі кута  $\Theta$  : 1 – однаково спрямовані диполі; 2 – різноспрямовані диполі

Як видно з рис. 4, функція енергії взаємодії для обох випадків має знаковмінний характер. Згідно з положеннями класичної електростатики позитивні значення енергії відповідають силам відштовхування молекул, а негативні – силам притягання. Для обох відносних положень функція енергії має три характерні інтервали, при цьому для першого відносного положення молекул існує один діапазон кутів, в якому відбувається відштовхування молекул, і два діапазони притягання. Для другого положення функція дзеркально відображається. Енергія взаємодії молекул максимальна за

абсолютним значенням в обох випадках для кута  $\frac{\pi}{2}$ , однак, у другому положенні вона відповідає притяганню молекул.

### **Висновки**

1. Відносно розташування молекул ПАР у полімолекулярному шарі може бути однаково спрямованим і різноспрямованим. Це залежить від того, підпадають молекули ПАР під дію поля поверхні чи ні. У випадку, коли молекули ПАР знаходяться в полі поверхні, вони намагаються обернутися однаково за вектором напруженості цього поля. Таким чином, молекули мають однаково спрямовані положення в шарі.

2. Оскільки тільки перші адсорбовані шари формуються під дією поля поверхонь тертя, а подальше формування відбувається за рахунок взаємодії молекул між собою, то слід очікувати зміну положення молекул на різноспрямоване у міру їх віддалення від поверхонь тертя.

3. У шарах, найбільш наближених до поверхонь тертя, максимальне значення енергії притягання між молекулами ПАР дорівнює  $W_{ij} = 0.2 \cdot 10^{-20}$  Дж для кутів  $43,56^\circ$  та  $136,44^\circ$ . У шарах, віддалених

від поверхонь тертя, максимальне значення енергії притягання складає  $W_{ij} = 1 \cdot 10^{-20}$  Дж для кута  $\frac{\pi}{2}$ .

Таким чином, формування полімолекулярних шарів ПАР на поверхнях тертя двигунів відбувається в два етапи : а) утворення наближених до поверхонь шарів, молекули яких однаково спрямовані та розташовані під кутами  $43,56^\circ$  та  $136,44^\circ$ ; б) утворення віддалених від поверхонь шарів, молекули яких можуть бути різноспрямованими і розташованими під кутом  $\frac{\pi}{2}$ .

### **Список використаних джерел**

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) [Текст] / А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун и др. – М. : Машиностроение, 2003. – 576 с.
2. Лыиков, Е. Н. Теоретические основы интенсификации адсорбционной способности рабочих жидкостей [Текст] / Е. Н. Лыиков // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. – Х. : ХГАДТУ. – 1997. – Вып. 6. – С. 41–43.
3. Матвеев, А. Н. Электричество и магнетизм [Текст] / А. Н. Матвеев. – М. : Высш. шк., 1983. – 463 с.
4. Осипов, О. А. Справочник по дипольным моментам [Текст] / О. А. Осипов, В. И. Минкин. – М. : Высш. шк., 1965. – 261 с.

*Стаття надійшла до редакції 23.11.2012 р.*