

## ДІЕЛЕКТРИЧНА ПРОНИКНІСТЬ АДСОРБЦІЙНОГО ШАРУ ПАР НА МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХНЯХ ТРИБОСПОЛУЧЕНЬ

В.Б. Косолапов

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет;*

**Вступ.** Сучасні будівельні і дорожні машини оснащені об'ємним гідравлічним приводом навісного технологічного обладнання. Аналіз показників надійності гідронасичених машин показує, що близько 70% відмов в умовах експлуатації припадає на відмови гідросистем. Робота дорожньо-будівельних машин супроводжується значними пульсаціями навантаження на робочих органах [1, 2].

Відомо, що найбільше інтенсивно процес зношування поверхонь рухливих трибосполучень елементів гідроприводу відбувається в умовах граничного режиму змащення, який виникає при виникненні пульсацій навантаження на робочих органах машини, а також під час початку й закінчення їх руху. Зазначені умови виникають під час критичних тисків на майданчиках контактування поверхонь сполучень, внаслідок появи між ними безпосереднього контакту, тобто без адсорбційної плівки на границі поділу поверхонь тертя [3]. Зниження питомого тиску, шляхом збільшення майданчиків фактичного контактування поверхонь сполучень досягається шляхом формування на їхніх поверхнях адсорбційної плівки зі складу робочої рідини (РР), здатної витримувати значний тиск. Таким чином, здатність РР формувати на поверхнях тертя гідроагрегатів дорожньо-будівельних машин значною мірою впливає на їх ресурс.

**Аналіз публікацій.** Багато дослідників відзначають, що в процесі експлуатації гідроприводів машин відбувається спрацьовування присадок і виділення їх із складу РР разом з продуктами зношування [3, 4]. Зниження концентрації поверхнево-активних речовин (ПАР) в об'ємі РР і, відповідно, зменшення товщини адсорбційної плівки на поверхнях тертя є основною причиною підвищеної інтенсивності зношування поверхонь трибосполучень гідроприводів, що працюють у граничному режимі змащення.

Відомо, що адсорбована на поверхнях трибосполучення плівка ПАР являє собою структуроване, квазікристалічне утворення, що має властивості діелектрика [3, 5]. Зміна товщини і несучої здатності плівки ПАР неминуче супроводжується зміною її електрофізичних показників, таких як: тангенс кута діелектричних втрат ( $\text{tg}\delta$ ) і діелектричної проникності ( $\epsilon$ ).

Багато авторів відзначають, що діелектрична проникність ( $\epsilon$ ), як діагностичний параметр має ряд переваг у порівнянні з іншими електрофізичними показниками [6, 7]. По-перше, діелектрична проникність є комплексним показником, який характеризує властивості діелектрика досліджуваного середовища. По-друге, діелектрична проникність меншою мірою залежить від температури, при якій відбувається вимір [7].

Величина діелектричної проникності визначається за схемою вимірювального гнізда (рис. 1), у відповідності із ДСТ-22372-77, шляхом виміру електричної ємності конденсатора та розрахунків діелектричної проникності по залежності

$$\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot C \cdot \frac{d}{S}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – діелектрична проникність речовини між обкладками;

$\varepsilon_0$  – електрична постійна;

$S$  – площа обкладок конденсатора;

$d$  – відстань між обкладками.

При такій вимірювальній схемі (рис. 1) діелектрична проникність ( $\varepsilon$ ) є сумою діелектричної проникності РР у міжелектродному просторі ( $\varepsilon_{PP}$ ) і діелектричної проникності плівки ПАР ( $\varepsilon_{nl}$ ).

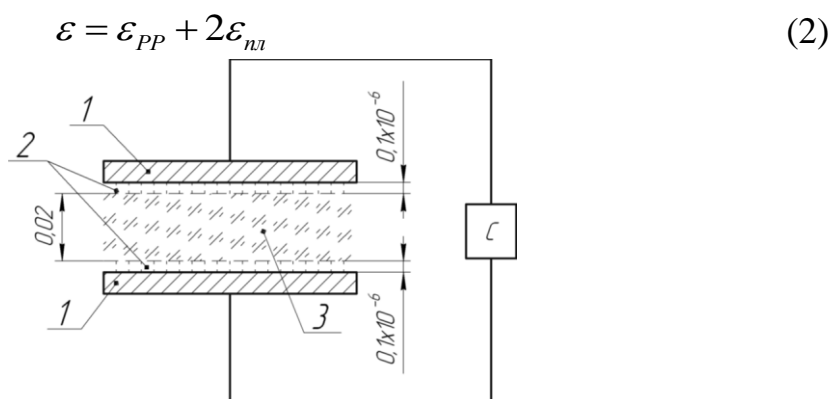


Рис.1. Схема вимірювального гнізда за ДСТ-22372-77

1 – дискові електроди; 2 – адсорбційний шар ПАР; 3 – об'єм робочої рідини поміж електродами

Результати досліджень моторних і трансмісійних мінеральних мастил [6, 7] виявили, що величина їх відносної діелектричної проникності перебуває в межах  $\varepsilon=2,3\dots2,5$ , а зміни цього показника в процесі експлуатації машини (350....500 мото-годин) склали  $\Delta\varepsilon=0,04\dots0,012$ . Отримані значення відносної діелектричної проникності характерні для рідких діелектриків, у той час як для структурованих, квазікристалічних молекулярних утворень величина відносної діелектричної проникності перебуває в діапазоні сотень або тисяч відносних одиниць [7]. Тому даний метод виміру не можна вважати таким, що характеризує стан адсорбованої на поверхнях трибосполучень плівки ПАР.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є висвітлення можливості застосування діелектричної проникності адсорбційного шару ПАР, як показника, що характеризує протизносні властивості РР

**Основна частина.** Відомо, що товщина мастильної плівки на поверхнях тертя може досягати величини розміру молекули ПАР ( $\sim 20 \cdot 10^{-10}$  м), при цьому конструктивно складно виконати вимірювальний пристрій з дисковими електродами діаметром  $5 \cdot 10^{-3}$  м у якого паралельність рухливих електродів була б менш ніж  $2 \cdot 10^{-9}$  м. З метою виміру діелектричної проникності мастильної плівки використовувався вимірювальний пристрій з безпосереднім контактом електродів (рис. 2).

Пристрій (рис. 2) складається із пластинчастого й сферичного електродів. Сферичний електрод закріплений нерухомо, а до пластинчастого – покровоно прикладається навантаження.

У місці взаємодії електродів здійснюється точкове контактування, що дозволяє зареєструвати електричну ємність у місці безпосереднього контакту адсорбційних плівок на поверхнях електродів.

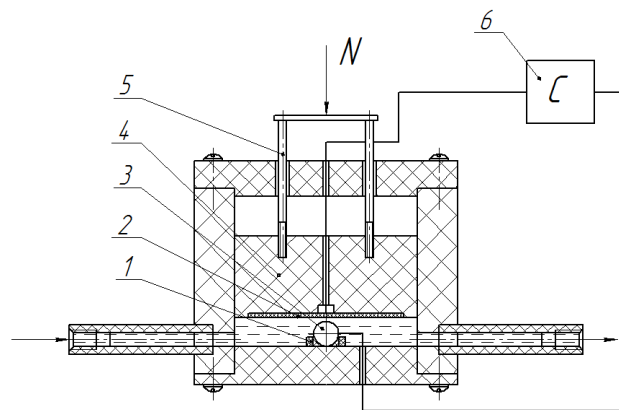


Рис. 2. Схема пристрою контролю електричної ємності мастильної плівки  
1 – фіксатор кульки; 2 – пластинчастий електрод; 3 – кулька; 4 – поршень; 5 – механізм навантаження; 6 – вимірник ємності

Вимір електричної ємності адсорбованої плівки молекул ПАР із складу РР марки Mobil DTE 13М здійснювався шляхом лабораторного виміру її зразків з різним наробітком у гідроприводі автогрейдера АМКОДОР RD-165.

**Результати дослідження.** За результатами лабораторних випробувань були отримані результати, що містяться на рисунках 3, 4

Аналіз результатів виміру ємності свідчать, що збільшення терміну наробітку РР у гідроприводі автогрейдера супроводжується збільшенням граничної ємності при навантаженні сполучення «кулька-площина» з одночасним зменшенням навантаження до моменту розриву адсорбційної плівки.

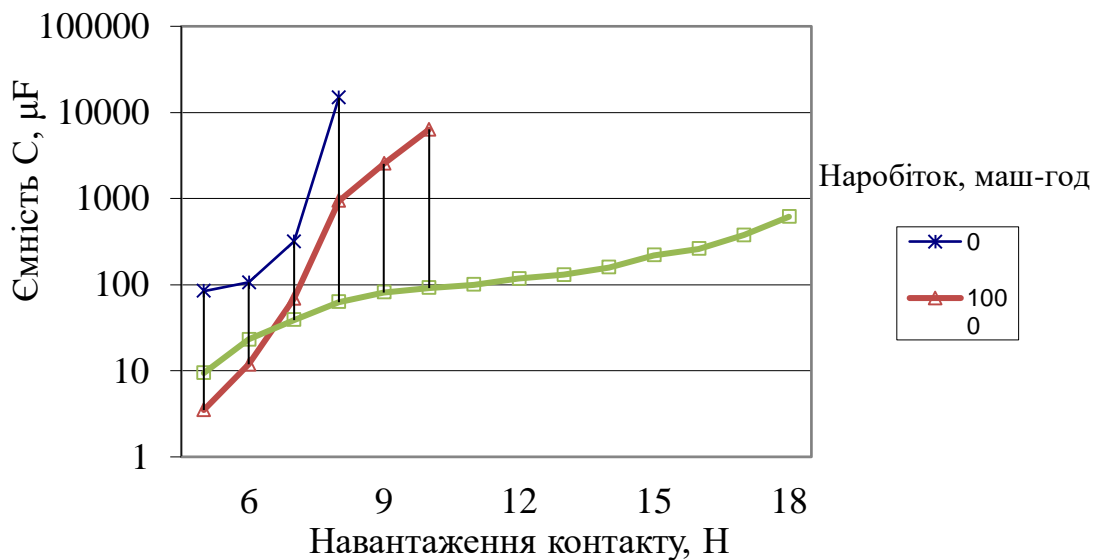


Рис. 3. Графік залежності електричної ємності від навантаження сполучення «кулька-площина»

Відносна діелектрична проникність плівки ПАР на поверхнях сполучення визначалася за виразом (1).

Визначення площі контакту сполучення «кулька-площина»  $S$  виконано виходячи з уявлення контактування відповідно до схеми на рис. 4

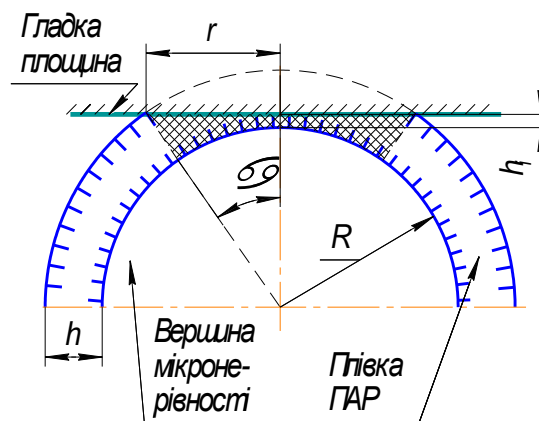


Рис. 4. Схема контакту сполучення «кулька-площина»

$$S = \pi [(R + 2 \cdot h) \cdot \text{tg}(\alpha)]^2$$

За даними електричної ємності, з урахуванням функції її зміни від навантаження сполучення «кулька-площина», була розрахована відносна діелектрична проникність плівки ПАР. Результати розрахунків наведено на рис. 4.

Аналіз результатів доводять, що діелектрична проникність плівки ПАР має величину 10...800 умовних одиниць (рис. 5), що значно вище від значення діелектричної проникності РР.



Рис. 5. Графік залежності діелектричної проникності адсорбованого шару ПАР від навантаження сполучення «кулька-площина»

Результати випробування дозволяють стверджувати, що плівки ПАР на поверхнях має мезоморфний стан і таким чином для її характеристики треба застосовувати такі показники як несуча здатність, пружність і т.і.

**Висновки.** Проведені дослідження показують: що адсорбований шар ПАР на поверхнях тертя є окремий елемент системи сполучення, який має властивості, що значно відрізняються від властивостей РР і має мезоморфний стан; діелектрична проникність адсорбованого шару ПАР є окремий показник, який комплексно характеризує його стан; використання застосованої в дослідженнях методики визначення діелектричної проникності адсорбованого шару ПАР дозволяє значно зменшити похибку вимірів.

### Література

1. Аврунін Г. А., Кириченко І. Г., Самородов В. Б. Гідравлічне обладнання будівельних та дорожніх машин : підручник. Харків : ХНАДУ, 2016. 438 с.
2. Akira Kurasako, Hideki Akita, Yoshinobu Hagiwara, Tomomi Honda Applicability of Online Oil Condition Monitoring System to Biodegradable Hydraulic Oil in Construction Machinery. Tribology Online, 2025. 20(4), С. 197-205. <https://doi.org/10.2474/trol.20.197>
3. Рукавишников Ю. В. Визначення протизносної властивості робочої рідини за діелектричною проникністю адсорбованого шару ПАР. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету : зб. наук. пр. Харків, 2020. Вип. 88, т. 2. С. 120–123.

4. Yin W., Yu Y., Zhao Y. Volumetric efficiency degradation prediction of axial piston pump based on friction and wear test. Processes. 2024. Т. 12, вип. 3. (Article 424). URL: <https://doi.org/10.3390/pr12030424>.
5. Надмолекулярні структури рідких мастильних середовищ та їх вплив на знос технічних систем / уклад. Лисіков Є.М., Косолапов В.Б., Воронін С.В. – Харків, 2009. -273 с
6. Hwang, S. (). Development of Experimental Device for Analysis of Hydraulic Oil Characteristics with Dielectric Constant Sensors. Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 2024. 33(4) DOI : 10.9725/kts.2021.37.2.41
7. Chong, H., Zhou, Y., Liu, J., Yang, P., Han, B., Li, X. Measurement of Lubricating Film Thickness by Combining Electrical Capacitance and Optical Interferometry Method. Lubrication Engineering, 2023. 48(2), 135-141.

УДК 621.825

## **МОМЕНТ ІМПУЛЬСУ ХРЕСТОВИНИ ШАРНІРА НЕРІВНИХ КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ**

О. О. Коряк<sup>1</sup>, С. С. Кононов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>SPX FLOW, Rochester, New York, USA

<sup>1</sup>*alexanderalexkor@gmail.com*, <sup>2</sup>*sergeykonov1989@gmail.com*

Шарнір нерівних кутових швидкостей (шарнір Гука) є головним елементом класичних карданних передач, а також широко використовується для передачі обертального руху в приводах різноманітних механізмів, осі валів яких перетинаються під деяким кутом  $\alpha$ , що може змінюватися в процесі роботи.

Як показав аналіз літературних джерел, при дослідженнях динамічних процесів, які відбуваються в механічних передачах з використанням шарніра Гука, досить часто не враховуються масово-інерційні параметри хрестовини і особливості її руху. Це пояснюється відносно незначною масою хрестовини, через що вона майже не впливає на динаміку карданної передачі. Такий підхід цілком виправданий при розрахунках тихохідних передач, але, при точних розрахунках швидкохідних передач таке спрощення може призвести до відчутної похибки.

Фундаментальною динамічною характеристикою сферичного руху твердого тіла є його момент імпульсу. Враховуючи важливість даної характеристики, метою роботи є дослідження зміни моменту імпульсу хрестовини шарніра Гука в процесі його функціонування.

На рис. 1 представлена схема шарніра нерівних кутових швидкостей. Вали 1 (вхідний) і 3 (вихідний), а також нерухомо пов'язані з ними карданні