

Дослідження впливу електростатичної обробки робочої рідини на коефіцієнт корисної дії об'ємних гідравлічних машин

Д.В. Онопрейчук, В.О. Стефанов, В.В. Пашенко, Г.О. Радіонов

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна
Національна академія національної гвардії України, Харків, Україна
Corresponding author. E-mail: dmytroonopriychuk@ukr.net

Paper received 25.08.18; Accepted for publication 30.08.18.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-179VI21-16>

Анотація. Досліджено вплив електростатичної обробки робочої рідини на об'ємний коефіцієнт корисної дії аксіально-поршневого насосу під час його експлуатації. За результатами досліджень отримані математичні моделі зміни об'ємного коефіцієнта корисної дії насоса без впливу електрообробки робочої рідини та з впливом електростатичного поля на робочу рідину в залежності від часу напрацювання, що дають можливість стверджувати про значне зниження інтенсивності падіння об'ємного коефіцієнта корисної дії насоса до свого граничного значення, а значить збільшення терміну експлуатації насоса.

Ключові слова: аксіально-поршковий насос, робоча рідина, електростатичне поле, коефіцієнт корисної дії.

Вступ. Об'ємні гідравлічні машини широко використовуються в гідроприводах мобільних машин через свою компактність, простоту конструкції та відмінні експлуатаційні характеристики. До таких гідравлічних машин, зокрема, відносяться аксіально-поршкові насоси, що є основним агрегатом переважної більшості гідрофікованих мобільних машин та безпосередньо впливають на їх продуктивність. По мір експлуатації техніки відбувається знос плунжерних пар насоса, що призводить до падіння важливої характеристики – коефіцієнту корисної дії, та впливає на зниження продуктивності машини в цілому. Процес зношування плунжерних пар слід розглядати в контексті з робочою рідиною, оскільки вона виконує роботу не лише передачі енергії, а й виступає в якості змащувального матеріалу.

Огляд публікації за темою. Основний знос спостерігається в режимі граничного змащення. Такий режим супроводжується тим, що гідравлічна олива, що є робочим тілом та змащувальним матеріалом спряжень під дією силового поля поверхні тертя набуває зовсім інші властивості, які вона має в об'ємі. На поверхнях тертя формуються квазікристалічні і квазітверді зони із мастильного середовища, які мають високу несучу здатність. Фізичними передумови формування мастильної плівки є ввід в гідравлічну оливу різноманітних присадок (протиносні, протизадирні і т.д.). Відмінність їх будови на молекулярному рівні від базової оливи полягає в тому, що центри ваги позитивних і від'ємних зарядів рознесені, і завдяки цьому вони мають електричний дипольний момент, який сприяє витісненню молекул базової оливи з поверхні тертя і, в результаті фізичної конкурентної адсорбції формуються квазітверді зони в приповерхневих шарах спряжень. Окрім цього, знаходячись в об'ємі, молекули присадок мають електричне поле і між собою також можуть взаємодіяти і утворювати різні агрегатні стани. Особливістю агрегатних станів молекул присадки є те, що полярно-активна частина їх знаходиться в центрі [1-3].

Для формування моно і полімолекулярної мастильної плівки силовому полю поверхні тертя необхідно зруйнувати агрегати надмолекулярних структур присадки, тобто перевести молекули присадки в інший молекулярний стан і лише тоді відбудеться процес взаємодії полярно-активної частини молекули присадки з поверхнею тертя [1-3].

Процес переводу молекул присадки з агрегатного

стану в мономолекулярний варіант може відбутися, якщо енергія силового поля поверхні тертя більша від енергії зв'язку молекул в агрегаті. Але такий процес не завжди можливий і тому присадка не може в повному обсязі виконувати своє функціональне призначення.

Найперспективнішим способом, що призводить до перебудови таких агрегатів та спонукає щільнішому упакуванню молекул присадки на поверхні тертя, інтенсифікації адсорбційного процесу, збільшення товщини змащувальної плівки (зменшення зазору плунжерної пари) є вплив електростатичного поля на робочу рідину. Таке твердження підтверджується в ряді робіт [1, 4-6], але не відображено вплив обробки робочої рідини електростатичним полем на головну характеристику об'ємних гідравлічних машин – коефіцієнт корисної дії.

Метою є встановлення впливу електростатичної обробки робочої рідини на об'ємний коефіцієнт корисної дії аксіально-поршневих насосів.

Матеріали і методи. Дослідження закономірності зміни об'ємного коефіцієнта корисної дії під впливом електростатичної обробки робочої рідини, дозволить давати оцінку ступеню впливу електрообробки робочої рідини на характеристики найдорожчих агрегатів гідравлічної системи (аксіально-поршневих насосів), а також прогнозувати ресурс цих агрегатів.

Для дослідження був обраний здвоєний аксіально-поршковий насос 321.224 з номінальним робочим об'ємом $112+112 \text{ см}^3$, номінальним тиском на виході 20 МПа (максимальний 30 МПа), номінальною частотою обертання валу $18,63 \text{ с}^{-1}$ (максимальна 30 с^{-1}), максимальною споживчою потужністю 58,8 кВт та об'ємним коефіцієнтом корисної дії 0,96.

Клас чистоти робочої рідини в гідроприводі, протягом усіх випробувань, становив 15 ... 16 за ГОСТ 17216-2001. Випробування проводились на екскаваторі ЕО-3323. Для цього був розроблений пристрій обробки робочої рідини електростатичним полем згідно рекомендацій [1, 3-5], що забезпечував вплив поля напруженістю $1,25 \times 10^6 \text{ В/м}$ [4, 5] на робочу рідину. Пристрій був вмонтований у зливній магістралі гідравлічної системи екскаватора (рис. 1). На електроди пристрою подається напруга від джерела живлення, яке підключене до бортової мережі екскаватора з постійним струмом та напругою 24 В. споживча потужність джерела живлення не більше 50 Вт, а вихідна напруга в діапазоні 100...3000 В.

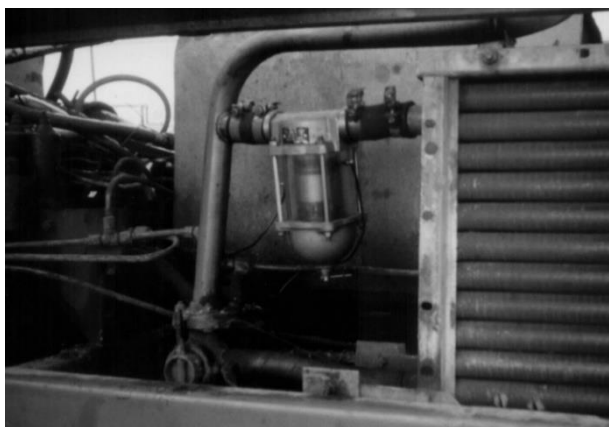


Рисунок 1. – Пристрій обробки робочої рідини вмонтований у зливну магістраль екскаватора

Дослідження проводилось в два етапи. На першому етапі встановлювали зміну об’ємного коефіцієнту корисної дії насоса в часі без електростатичної обробки робочої рідини, а на другому з електростатичною обробкою. Протяжність обох етапів становила 500 годин напруження екскаватора. Вимірювання стану насоса проводили з рівною періодичністю в 100 годин. Об’ємний коефіцієнт корисної дії насоса визначався з виразу

$$\eta_{об} = \frac{Q_{пн}}{Q_o} = \frac{Q_o - Q_{вт}}{Q_o} = 1 - \frac{Q_{вт}}{Q_o}, \quad (1)$$

де $Q_{пн}$ – подача насоса при номінальному тиску і частоті обертання, л/хв;

Q_o – подача насоса при мінімальному тиску в нагнітачній магістралі і номінальній частоті обертання, л/хв.;

$Q_{вт}$ – величина витікання робочої рідини через зазори спряжень насоса, л/хв.

В процесі випробувань вимірювалася, безпосередньо, подача насоса $Q_{пн}$.

Для цього в напірну магістраль насоса було вмонто-

Таблиця 1. - Результати проведених порівняльних випробувань об’ємного коефіцієнта корисної дії аксіально-поршневого насоса 321.224

Об’ємний коефіцієнт корисної дії $\eta_{об}$ без обробки робочої рідини				Об’ємний коефіцієнт корисної дії $\eta_{об}$ з обробкою робочої рідини			
t, час	№1	№2	Ср.	t, час	№1	№2	Ср.
0	0,95	0,946	0,948	500	0,89	0,894	0,892
100	0,939	0,945	0,942	600	0,883	0,889	0,886
200	0,934	0,938	0,936	700	0,881	0,883	0,882
300	0,918	0,922	0,92	800	0,881	0,877	0,879
400	0,892	0,898	0,895	900	0,869	0,865	0,867
500	0,873	0,867	0,87	1000	0,85	0,854	0,852

За результатами, наведеними в таблиці, отримані наступні математичні моделі:

Модель, що описує зміну коефіцієнта корисної дії насоса в часі при експлуатації без електростатичної обробки робочої рідини

$$\eta_{BE} = 0,95 - 10^{-6} \cdot t^{1,82}. \quad (2)$$

Адекватність отриманої моделі перевірялася за критерієм Фішера. Так при надійності результатів 0,95 табличне значення $F_T = 7,7086$, а розрахункове $F_P = 0,5769$, отже, модель адекватна.

Модель, що описує зміну коефіцієнта корисної дії насоса в часі при експлуатації з електростатичною обробкою робочої рідини

$$\eta_{ZE} = 0,89 - 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot (t - 500)^{1,78}. \quad (3)$$

Адекватність отриманої моделі також перевірялася за критерієм Фішера. При надійності результатів 0,95 таб-

вано манометр МТП-1М з межами вимірювання тиску від 0 до 25 МПа та відносною похибкою вимірювання 0,3 %. Після манометру був змонтований регульований дросель VRFU 90 (тиск 0-45 МПа, а витрати 10-280 л/хв), який дозволяв регулювати тиск в напірній магістралі, а далі витратомір ШЖУ – 2П з класом точності 1 і прямим вимірюванням витрат 100-3600 л/хв. Також був встановлений контрольний тахометр типу 1ТН – 3 з відносною похибкою вимірювання 0,5 % в діапазоні частоти обертання від 0 до 10000 хв⁻¹. Для контролю температури робочої рідини використовувався термометр ТЛ – 44 – 63 з відносною похибкою 0,2 % з межами вимірювання температури -10 – 100 °С.

Методика проведення кожного вимірювання складалася з такої послідовності операцій:

- зупинити двигун машини;
- перед підключенням витратоміра до насоса повністю відкрити прохідний переріз дроселя;
- зняти заглушки з витратоміра і дроселя і під’єднати до насоса, який діагностується, за допомогою двох шлангів наступним чином: вхід з’єднати з нагнітаючою магістраллю насоса, а вихід з’єднати з баком;
- запустити двигун машини;
- за допомогою тахометра провести контроль частоти обертів колінчатого валу двигуна машини (встановити на рівні 1200 об/хв.);
- змінюючи переріз дроселя і встановити тиск у нагнітаючій магістралі, відповідний номінальному тиску в гідросистемі ($P = 20$ МПа);
- при досягненні температури робочої рідини в баку значення 45 °С зробити замір продуктивності насоса.

Результати та їх обговорення. Отриманні результати вимірювань з подальшим обрахуванням об’ємного коефіцієнта корисної дії насоса наведені в таблиці 1.

личне значення $F_T = 7,7086$, а розрахункове $F_P = 1,6091$, отже, модель адекватна.

Приймаючи в якості допущення, що інтенсивність падіння об’ємного коефіцієнта корисної дії в обох випадках підпорядковується отриманим закономірностям протягом усього терміну служби насоса, залежність (3) можна записати у вигляді

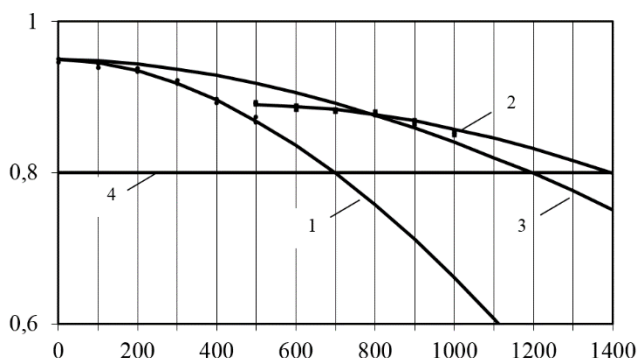
$$\eta_{ZE}^{1P} = 0,95 - 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot t^{1,78}, \quad (4)$$

тут коефіцієнт при t і показник степеня залишаються незмінними.

Графічна інтерпретація отриманих моделей (2), (3), (4) наведена на рисунку 2.

Як видно з графіків, наведених на рисунку 2, зниження об’ємного коефіцієнта корисної дії насоса в обох випадках носить нелінійний характер. Застосування обробки рідини призводить до двох істотних ефектів.

При включенні пристрою, в початковий момент часу виявляється зростання об'ємного коефіцієнта корисної дії (на рис. 2 перехід від кривої 1 до кривої 2 в точці 500 годин). Таке зростання становить 2,5%, що підтверджує теоретичні та експериментальні дослідження по впливу електричного поля на товщину мастильної плівки.



1 - крива, що відображає залежність (2); 2 - крива, що відображає залежність (3); 3 - крива, що відображає залежність (4); 4 - значення граничного коефіцієнта корисної дії, що відповідає падінню на 15%.

Рисунок 2 – Графічна інтерпретація математичних моделей зміни об'ємного коефіцієнта корисної дії насоса в залежності від напрацювання екскаватора в умовах електростатичної обробки робочої рідини та без неї

Електростатична обробка робочої рідини має суттєвий вплив на швидкість падіння коефіцієнта корисної

дії. Так без електростатичної обробки за 500 годин роботи екскаватора коефіцієнт корисної дії насоса впав на 8,2%, крива 1, а при обробці рідини таке падіння склало 4,5% за такий ж проміжок часу. Зіставивши значення коефіцієнта корисної дії насоса в двох варіантах експлуатації зі значенням граничного коефіцієнта корисної дії, що визначається 15%-м його падінням відносно початкового значення, можна спрогнозувати ресурс випробуваного насоса. Тобто, для варіанта експлуатації без електростатичної обробки ресурс насоса складе близько 700 годин (точка перетину кривої 1 з прямою 4), а при обробці робочої він буде дорівнювати приблизно 1200 годин (точка перетину кривої 3 з прямою 4). Такий прогноз говорить про те, що електростатична обробка робочої рідини продовжує ресурс аксіально-поршневих насосів орієнтовно в 1,7 рази.

Висновки. Дослідження зміни об'ємного коефіцієнта корисної дії насоса в часі, у порівняльних варіантах з обробкою робочої рідини та без неї показали, що вплив електростатичного поля на робочу рідину призводить до значного зниження інтенсивності падіння об'ємного коефіцієнта корисної дії насоса до свого граничного значення. Тобто, з отриманих результатів видно, що інтенсивність зниження об'ємного коефіцієнта корисної дії на 48% менше порівняно з насосом не обладнаним пристроєм обробки робочої рідини електростатичним полем, відповідно ресурс його роботи збільшується в 1,7 рази.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лысков Е.Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем / Е.Н. Лысков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин – Харьков: ЭДЭНА, 2009 – 274 с.
2. Лисіков Є.М. Підвищення ресурсу технічних систем МВС України шляхом використання нанотехнологій / Є.М. Лисіков, Д.В. Онопрійчук // Зб. наук. пр. АВВ МВС України. – Х.: АВВ МВС України, 2010. – Вип. 1. С.34-37
3. Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.Н. Лысков и др. Повышение ресурса технических систем путем воздействия электрическими и магнитными полями.– Харьков: НТУ «ХПИ», 2006 – 544с.
4. Лисіков Є. М., Онопрійчук Д.В. Швидкість зносу спряжень в

- гідроприводах технічних систем при обробці робочої рідини електростатичним полем // Механіка і машинобудування, Х.: НТУ «ХПІ», 2010. -№1.-С.171-176.
5. Онопрійчук Д.В. Вплив напруженості електростатичного поля на товщину мастильної плівки в гідроприводах при граничному терті / Д.В. Онопрійчук // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Х.: УкрДАЗТ, – 2011. – Вип. 122. С. 282-288.
6. Воронін С.В. Процес формування мастильної плівки на поверхнях тертя в умовах електростатичної обробки оливи / С.В. Воронін, Г.М. Сладков, Е.І. Османов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 147. – С.172-176.

REFERENCES

1. Lysikov E.N. Supramolecular structures of liquid lubricating media and their influence on the wear of technical systems / O.M. Lysikov, V.B. Kosolapov, S.V. Voronin - Kharkiv: EDENA, 2009 - 274 s.
2. Lysikov Ye.M. Increase the resource of technical systems of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine through the use of nanotechnologies / Ye.M. Lysikov, D.V. Onopreichuk // Zb. nauk. pr. AVV MVS Ukrainy. – Kh.: AVV MVS Ukrainy, 2010. – Vyp. 1. S. 34-37
3. E.E. Aleksandrov, Y.A. Kravets, E.N. Lysikov i in. Increase the resource of technical systems by exposure to electric and magnetic fields.- Kharkiv: NTU «KhPI», 2006 - 544s.
4. Lysikov Ye. M., Onopriichuk D.V. Speed of wear of couplings in

- hydraulic drives of technical systems when working fluid is processed by an electrostatic field // Mekhanika i mashynobuduvannia, Kh.: NTU “KhPI”, 2010. - №1. – S. 171-176.
5. Onopreichuk D.V. Influence of tensivity of electrostatic field on thickness of lubricating film in hydraulic drives at marginal friction / D.V. Onopreichuk // Zb. nauk. pr. UkrDAZT. – Kh.: UkrDAZT, – 2011. – Vyp. 122. S. 282-288.
6. Voronin S.V. The process of forming a lubricant film on the surfaces of friction in the conditions of electrostatic treatment of oil / S.V. Voronin, H.M. Sladkov, E.I. Osmanov // Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT. – Kharkiv: UkrDAZT, 2014. – Vyp. 147. – S.172-176.

Investigation of the influence of electrostatic treatment of working fluid on the efficiency factor of bulky hydraulic machines

D. V. Onopreichuk, V. O. Stefanov, V. V. Pashchenko, H. O. Radionov

Abstract. The influence of electrostatic treatment of the working fluid on the volumetric efficiency of the axial-piston pump during its operation was investigated. According to the results of the research mathematical models of the change in the volumetric efficiency of the pump without the influence of the electrostatic treatment of the working fluid and the influence of the electrostatic field on the working liquid, depending on the time worked, which make it possible to assert a significant decrease in the intensity of the fall of the volume of the pump's efficiency to its limit value The increase in the life of the pump.

Keywords: axial-piston pump, working fluid, electrostatic field, coefficient of performance.