

УДК 621.89

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ГІДРОПРИВОДУ ДОЗОВАНИМ УВЕДЕННЯМ НАНОЧАСТИНОК ВУГЛЕЦЮ В РОБОЧУ РІДИНУ

INCREASING THE SERVICE LIFE OF THE HYDRAULIC DRIVE BY DOSED INTRODUCTION OF CARBON NANOPARTICLES INTO THE WORKING FLUID

О. О. Суранов, канд. техн. наук,

Український державний університет залізничного транспорту

Анотація. В роботі розглянуті поняття ресурсу гідроприводу, пар тертя та механізм зносу та мащення. Запропоновано пристрій для дозованого введення наноприсадок до мастила. Пристрій включає до себе корпус з вхідними та вихідними отворами, робочу камеру, яка утворена поришем з ущільнюючим кільцем, який з'єднаний кулькою з механізмом подачі присадок, до якого входить трубчастий шток з зовнішньою різьбою, всередині якого зроблений повздовжній паз під шпонку, а також жорстко закріплена на корпусі гайка у вигляді кришки з внутрішньою різьбою відповідною до різьби штока, згідно до винаходу, механізм подачі рідини має мікрометричну різьбу пари шток – кришка з приводом від крокового двигуна або крокового реле, який забезпечує передачу кутового моменту від валу привода штоку з мікрометричною різьбою за допомогою шпонки та відносне взаємне пересування штока і вала.

Прилад забезпечує можливість роботи без участі людини, автоматизувати подачу присадки до гідросистеми введенням приводу у вигляді крокового двигуна або крокового реле, а також спростити конструкцію дозатора, за рахунок усунення багатьох деталей прототипу та використання однієї мікрометричної пари шток - кришка.

На сучасному етапі розвитку залізничного транспорту спостерігається тенденція до зростання швидкостей поїздів, тому особливе значення має надійність основних агрегатів і вузлів рухомого складу, у тому числі, локомотивів. При цьому особлива увага приділяється безвідмовності роботи візків. Одним з процесів, які супроводжують старіння мастил при експлуатації, є спрацьовування присадок, що обмежує строк їх використання. Зменшення витрат присадок має важливе значення в зв'язку з їх високою вартістю, яка може перевищувати вартість базового мастила в десятки разів. Введення присадок до мастил значно підвищує строк їх використання, але значні концентрації присадок адекватно не підвищують якість мастил.

Ключові слова: ресурс, гідропривід, наноприсадки, мащення, мастило, дозатор.

Вступ

На сучасному етапі розвитку залізничного транспорту спостерігається тенденція до зростання швидкостей поїздів, тому особливе значення має надійність основних агрегатів і вузлів рухомого складу, у тому числі, локомотивів. При цьому особлива увага приділяється безвідмовності роботи візків. Основні елементи, що зношуються, є моторно-осьові підшипники (МОП) ковзання, змащування яких здійснюється осьовими оливами «Л» та «З» (відповідно, літня та зимова). В процесі експлуатації локомотивів спостерігається значна кількість виходів із строю МОП у зв'язку зі значним зносом його елементів (вала і вкладишів), що може негативно відбиватися на безпеці руху поїздів. Це обумовлено насамперед тим, що в осьові оливи не входить жодної присадки, у тому числі, протизношувальної.

Одним з процесів, які супроводжують старіння мастил при експлуатації, є спрацьовування присадок, що обмежує строк їх використання. Причини спрацьовування присадок досить докладно розглянуто в фундаментальних трудах інших провідних вчених [1-3]. Зменшення витрат присадок має важливе значення в зв'язку з їх високою вартістю, яка

може перевищувати вартість базового мастила в десятки разів. Відомо, що введення присадок до мастил значно підвищує строк їх використання, але значні концентрації присадок адекватно не підвищують якість мастил.

Під терміном «ресурс гідроприводу» ми розуміємо сукупність його експлуатаційних можливостей та технічних показників, що включають термін служби основних вузлів і агрегатів, а також здатність виконувати роботу в певних умовах [1, 2-4, 5].

Фактори, що впливають на ресурс:

- умови експлуатації – робота в складних умовах, високі навантаження;
- якість паливно-мастильних матеріалів, використання невідповідних або низькоякісних матеріалів;
- регулярність та своєчасність технічного обслуговування;

Таким чином, ресурс гідроприводу не є фіксованим числом, а є сукупністю технічних показників, що залежать від цілого комплексу факторів, пов'язаних з його експлуатацією та обслуговуванням.

Серед перелічених вище факторів пропонується підвищити якість паливно-мастильних матеріалів за рахунок дозованого введення наночастинок вуглецю, що впливає на двигун, гідросистему та інші виконавчі вузли [6, 8].

Для зниження величини та стабілізації умов тертя, а також для запобігання інтенсивному зносу у вузли тертя вводять різні мастильні середовища. Мономолекулярні плівки запобігають адсорбції мастила твердою поверхнею, що значно зменшує залежність сили тертя від в'язкості мастильного матеріалу та тертя між його шарами.

Однак, дуже часто вони не надають бажаного ефекту, так як в процесі роботи в результаті розігріву мастила стікають з поверхні, видавлюються із зони тертя, внаслідок чого в точках контакту створюється нестача мастила і виникає потреба постійного додавання присадок у зону тертя.

Підвищення ресурсу гідроприводу та підтримання концентрації присадок на заданому рівні є актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень

Для розв'язання зазначеної проблеми доцільно спиратися на результати сучасних досліджень фундаментальних і прикладних наук, зокрема у сфері нанотехнологій, наносистем та наноматеріалів [10]. Розвиток цих напрямів дозволяє по-новому підходити до підвищення експлуатаційних характеристик мастильних матеріалів, зокрема їх протизношувальних та антифрикційних властивостей, що є особливо актуальним для вузлів тертя машин і механізмів.

Однією з визначальних властивостей нанооб'єктів є здатність до самоорганізації, зокрема молекул поверхнево-активних речовин (ПАР). У процесі взаємодії з поверхнями тіл тертя такі молекули можуть формувати впорядковані моношари орієнтованих структур, які адсорбуються на металевих поверхнях. Формування подібних граничних плівок суттєво впливає на трибологічні характеристики контактуючих поверхонь, знижуючи коефіцієнт тертя, стабілізуючи режим мащення та підвищуючи загальну мастильну здатність оливи.

Встановлено, що найбільш енергоємним і несприятливим з точки зору зношування є процес тертя в умовах граничного мащення. Такий режим характеризується високими значеннями коефіцієнта тертя та інтенсивним зношуванням поверхонь тертя, що обумовлює підвищені втрати енергії та скорочення ресурсу машин. Аналіз наявних досліджень, присвячених вивченню механізмів граничного тертя, дозволяє виділити декілька основних підходів до підвищення мастильної здатності за механізмом дії, а саме фізичний, хімічний та комбінований методи [11, 12]. Фізичні методи пов'язані зі зміною мікрогеометрії поверхонь і формуванням захисних плівок, хімічні — з використанням активних добавок, а комбіновані поєднують переваги обох підходів.

Визначено, що одним із перспективних шляхів підвищення мастильних властивостей індустріальних олив є застосування штучних вуглецевих сполук, таких як фулерени та вуглецеві нанотрубки, у якості протизношувальних і антифрикційних добавок. Використання зазначених наноструктур призводить до істотного зменшення коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування, що підтверджено результатами експериментальних досліджень [10]. Водночас встановлено, що вуглецева сажа, яка містить у своєму складі різні типи наночастинок вуглецю, здатна забезпечувати подібний трибологічний ефект, при цьому її вартість є значно нижчою порівняно з «чистими» фулеренами та нанотрубками.

Разом з тим, застосування штучних вуглецевих наноструктур у чистому вигляді супроводжується значними економічними витратами, що обмежує доцільність їх широкого промислового використання. У зв'язку з цим низка дослідників пропонує використовувати більш доступну за вартістю вуглецеву сажу без додаткового розділення на фракції. Проведені дослідження трибологічних характеристик вуглецевої сажі підтвердили її антифрикційні та протизносні властивості [6–7]. Проте в більшості робіт не було вирішено питання визначення раціональної концентрації вуглецевої сажі в індустріальних оливах з урахуванням технологічних режимів її отримання та структурних особливостей частинок [13, 14].

У разі введення мікро- та наночастинок вуглецю до складу індустріальних олив механізм зношування деталей ковзання транспортно-технологічних і енергетичних машин набуває подвійної природи та включає механічне й абразивне зношування. Механічна складова зношування нелінійно зменшується зі зростанням концентрації мікро- та наночастинок вуглецю, що пояснюється заповненням мікронерівностей поверхонь, збільшенням фактичної площі контакту та зростанням товщини граничної плівки у зоні тертя. Водночас абразивне зношування пов'язане з високою твердістю мікро- та наночастинок вуглецю (МНЧВ) і, на відміну від механічної складової, лінійно зростає зі збільшенням їх концентрації в мастильному матеріалі [15].

При виконанні досліджень взаємодії МНЧВ з поверхнею тертя вважається, що основною силою взаємодії є електростатична сила:

$$F_E = \frac{dW_E}{dh}, \quad (1)$$

де W_E – енергія взаємодії МНЧВ із поверхнею, Дж; h – відстань МНЧВ до поверхні, м.

Таким чином із рівняння (1), можемо отримати рівняння руху МНЧВ до поверхні в загальному вигляді:

$$m\ddot{x} = F_E - F_C, \quad (2)$$

де F_C – сила Стокса, яка визначає опір руху МНЧВ у в'язкій рідині.

Мікро- та наночастинок вуглецю вуглецевої сажі, при потраплянні у силове поле поверхні тертя, приймають участь у фізичній конкурентній адсорбції поруч із молекулами оливи. Рішення отриманого у роботі рівняння (2) руху мікро- та наночастинок вуглецю під дією силового поля молекул показало, що час абсорбції мікро- та наночастинок вуглецю на 2-3 порядки менший, ніж у поодиноких молекул оливи. Тобто, механізм взаємодії мікро- та наночастинок вуглецю з поверхнею тертя протікає у три етапи: електризація частинки, формування сольватної оболонки навколо частинки, та її першочергової абсорбції на поверхню металу. Враховуючи отримані розрахункові данні мікро- та наночастинок вуглецю являються концентраторами та транспортерами поверхнево-активних речовин до поверхні тертя, що сприяє збільшенню товщини граничної плівки.

У даній роботі докладно розглядається пристрій для дозованого уведення наноприсадок до мастила.

Аналіз технічної та патентної літератури показує, що увага більшості дослідників, які займаються проблемою використання присадок в оливах будь-якого призначення, приділяється розробці пристроїв додавання присадок. Вони вважають доцільним введення присадок у оливи дозовано. Зусилля в цьому напрямку зосереджені на розробці всіляких засобів як механічного типу (періодичним додаванням присадок, неперервним додаванням та ін.), так і хімічного та дифузійного поступового розчинення присадок. Але серед них не виявлено жодної конструкції, яка б дозволила надійно, та водночас, достатньо точно (краплинами) дозувати присадки з регульованою швидкістю їх введення, досить тривалий час та в автоматичному режимі без участі людини.

Основний матеріал дослідження

Метою дослідження є підвищення ресурсу гідроприводу за допомогою використання наночастинок вуглецю у якості протизносної та антифрикційної присадки, а також розробка конструкції приладу, який дозволяє точно дозувати та керувати процесом введення присадок від однієї краплини за секунду до однієї краплини за місяць.

Проведений патентний пошук та дослідження інших авторів показав, що використання наносполук вуглецю для підвищення мастильної здатності є доцільним, але немає конструкцій дозованого введення присадок до гідроприводу, які б задовольняли б вимогам до даних пристроїв.

В даній роботі розглянута одна з можливих конструкцій краплинного дозатора [16].

В основі створення приладу поставлена задача розробки нової конструкції дозатора присадок шляхом спрощення конструкції і введення мікрометричної пари гвинт-гайка з приводом від крокового електродвигуна або крокового реле. Це дає можливість підвищити надійність роботи пристрою та точність дозування присадок за рахунок краплинної подачі.

Поставлена задача досягається шляхом використання пристрою, який містить ємкість для присадки, а також для досягнення точного краплинного дозування, мікрометричну пару гвинт-гайка з приводом від крокового електродвигуна або крокового реле.

Порівняно з роботами інших авторів, запропонована конструкція забезпечує можливість підвищити надійність роботи пристрою та точність краплинного дозування за рахунок, усунення багатьох деталей прототипів та використання мікрометричної пари.

На рисунку 1 зображена схема запропонованого краплинного дозатора для введення присадок.

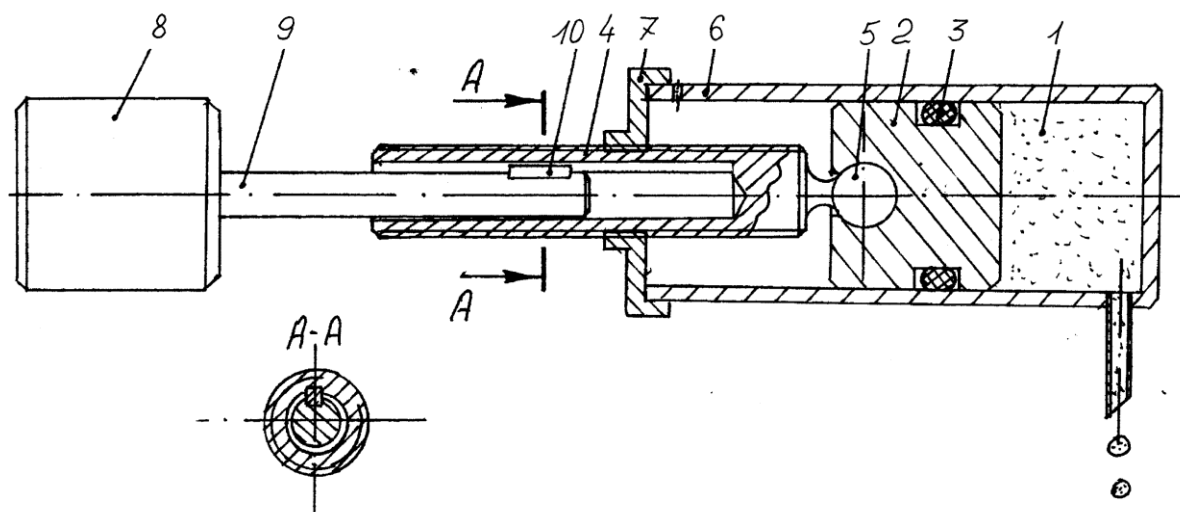


Рисунок 1 – Конструкція дозатора присадок 1 – ємкість для присадки; 2 – поршень; 3 – ущільнююче кільце; 4 – мікрометричний гвинт; 5 – кулька; 6 – кришка; 7 – гвинту з мікрометричною різьбою; 8 – кроковий електродвигун; 9 – вал; 10 – шпонка, яка передає кутовий момент мікрометричному гвинту

Краплинний дозатор працює наступним чином. При надходженні електричного сигналу на кроковий електродвигун 8 його вал 9 повертається на певний кут, величина якого визначається конструкцією електродвигуна 8, за допомогою шпонки 10 кутовий момент передається мікрометричному гвинту 4, в середині якого зроблено продольний паз під шпонку 10. Це дає можливість мікрометричному гвинту 4, який встановлений в кришці 7 з відповідною мікрометричною різьбою на корпусі 6, обертатись разом з валом 9 електродвигуна 8 та пересувати в продольному напрямі поршень 2 через кульку 5. При пересуванні поршня 2 за схемою праворуч ємкість 1 з присадкою зменшується і, таким чином, витискається краплина присадки.

Висновки

Проведений аналіз патентної та технічної літератури показав, що для підвищення мастильної здатності та зниження тертя слід використовувати наночастинки вуглецю у якості протизносної та антифрикційної присадки, яка збільшує ресурс гідроприводу. Запропонована конструкція приладу подачі та точного дозування присадок в мастила з метою підвищення строків їх роботи та зносостійкості вузлів тертя машин.

В роботі запропоновано використання краплинного дозатора присадок, який дозволяє точно дозувати та управляти процесом введення присадок від однієї краплини за секунду до однієї краплини за місяць.

Пристрій, що пропонується у даній роботі може бути корисним для застосування у гідроприводі, підвищення ресурсу, зносостійкості деталей та надійності гідравлічних машин, але потребує проведення подальших експериментальних або стендових досліджень процесу зношування в умовах експлуатації різних гідравлічних олиф, зміни концентрації присадки в них.

Література

1. Александров Є.Є. Підвищення ресурсу технічних систем шляхом використання електричних та магнітних полів [Монографія] / Є.Є. Александров, І.А. Кравець, Є.М. Лисіков. – Харків: НТУ «ХП», 2006. – 544 с.
2. Мельянцов П.Т. Забезпечення надійності аксіально-поршневих агрегатів гідравлічних трансмісій в процесі їх ремонту конструктивними заходами / П.Т. Мельянцов // *Modern engineering and innovative technologies*. – Is. 32 (Part 1), 2024. – P. 20-28. DOI: 10.30890/2567-5273.2024-32-00-086.
3. Рабочие жидкости систем гидропривода: учеб. пособие / В.А. Трофимов, О.М. Яхно, А.П. Губарев, Р.И. Соломин. – К.: НТУУ «КПИ», 2009. – 184 с.
4. Воронін С.В. Методика та приклад розрахунку раціонального ресурсу аксіально-плунжерних гідромашин мобільної техніки / С.В. Воронін, В.О. Стефанов, Р.С. Васянович, Т.В. Трифонов, С.О. Півоваров // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Харків: УкрДУЗТ, 2024. – Вип. 208. – С.36-43.
5. Батлук В.А. Оцінка надійності мехатронних гідроагрегатів на стадії їх проектування / В.А. Батлук, І.М. Федоренко // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2009. – №5/6 (41). – С. 21-24.
6. V. Kosarchuk, M. Chausov, V. Tverdomed, A. Pilipenko, and O. Aharkov, "Lubricant composition for increasing wear resistance of heavy-loaded friction pairs," *Transp. Syst. Technol.* **39**, 30–40 (2022); <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39-4>.
7. S. V. Voronin, A. V. Suranov, and A. A. Suranov, "The effect of carbon nano-additives on the tribological properties of industrial oils," *J. Frict. Wear* **38**, 359–363 (2017); <https://doi.org/10.3103/S1068366617050130>.

8. Al-Quraan, T. M., Mikosianchyk, O., Tokaruk, V., Mnatsakanov, R., Kharchenko, O., & Kharchenko, S. (2024). Determination of the criteria for the transition of the tribosystem to disastrous wear. *JurnalTribologi*, 41, 93-112. <https://jurnaltribologi.mytribos.org/v41/JT-41-93-112.pdf>
9. Пристрій для отримання наночасток вуглецю електродуговим способом Патент на винахід № 105616 Україна: МПК C01B 31/02, B82B 3/00 заявник УкрДАЗТ. - заявл. 30.09.2013; опубл. 25.05.2014, Бюл. №10. - 9 с.
10. M. Waqas, R. Zahid, M. U. Bhutta, Z. A. Khan, and A. Saeed, "A review of friction performance of lubricants with nano additives," *Materials* **14**, 6310 (2021); <https://doi.org/10.3390/ma14216310>.
11. Mikosianchyk, O., Mnatsakanov, R., Tokaruk, V., Kharchenko, O. (2022). Phenomenological Probabilistic Model of Friction Pair Wear Taking into Account Thermal Mechanical Stability of Boundary Layers. In: Boichenko, S., Yakovlieva, A., Zaporozhets, O., Karakoc, T.H., Shkilniuk, I. (eds) Chemmotological Aspects of Sustainable Development of Transport . Sustainable Aviation. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06577-4_3
12. A. Singh, P. Chauhan, and T. Mamatha, "A review on tribological performance of lubricants with nanoparticles additives," *Mater. Today Proc.* **25**, 586–591 (2020); <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.245>.
13. Vojtov, V.A., Kravtsov, A.G., Tsymbal, B.M. Evaluation of Tribotechnical Characteristics for Tribosystems in the Presence of Fullerenes in the Lubricant. *J. Frict. Wear* **41**, 521–525 (2020). <https://doi.org/10.3103/S1068366620060197>
14. Vojtov, V.A., Biekirov, A.S., Voitov, A.V. et al. Running-in Procedures and Performance Tests for Tribosystems. *J. Frict. Wear* **40**, 376–383 (2019). <https://doi.org/10.3103/S1068366619050192>
15. Zhao, J. Nanolubric antadditives: A review / J.Zhao, Y. Huang, Y.He//Friction, 2021. – №9.P. 891–917.<https://doi.org/10.1007/s40544-020-0450-8>.
16. Краплинний дозатор для введення присадок Патент на винахід № 82911 Україна: Пат. 21514А Україна F 01 M/9/02 заявник УкрДАЗТ. - заявл. 11.06.2007, бюл. № 8/2007; опубл. 26.05.2008, бюл. № 10/2008

UDC 621.89

Increasing the Service Life of the Hydraulic Drive by Dosed Introduction of Carbon Nanoparticles into the Working Fluid

O. Suranov

Ukrainian State University of Railway Transport

Summary

The work considers the concepts of hydraulic drive resource, friction pairs and wear and lubrication mechanism. This work considers a device for metered introduction of nanoadditives into the lubricant. The device includes a housing with inlet and outlet openings, a working chamber formed by a piston with a sealing ring, which is connected by a ball to the additive supply mechanism, which includes a tubular rod with an external thread, inside of which a longitudinal groove for a key is made, as well as a nut rigidly fixed to the housing in the form of a cover with an internal thread corresponding to the rod thread, according to the invention, the fluid supply mechanism has a micrometric thread of the rod - cover pair driven by a stepper motor or stepper relay, which provides angular momentum transmission from the drive shaft to the rod with a micrometric thread using a key and relative mutual movement of the rod and shaft.

The device provides the ability to work without human intervention, automate the supply of the additive to the hydraulic system by introducing a drive in the form of a stepper motor or stepper relay, as well as simplify the design of the dispenser, by eliminating many parts of the prototype and using one micrometric pair of rod - cover. At the current stage of development of railway transport, there is a tendency to increase train speeds, therefore, the reliability of the main units and components of rolling stock, including locomotives, is of particular importance. At the same time, special attention is paid to the reliability of the bogies. One of the processes that accompany the aging of lubricants during operation is the activation of additives, which limits the period of their use. Reducing the consumption of additives is important due to their high cost, which can exceed the cost of the base lubricant by dozens of times. The introduction of additives to lubricants significantly increases the period of their use, but significant concentrations of additives do not adequately improve the quality of lubricants.

Keywords: resource, hydraulic drive, nanoadditives, lubrication, grease, dispenser.