

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-77-81>

УДК 621.89

Д. В. Онопрейчук<sup>1</sup>  
І. Ю. Сафонюк<sup>2</sup>  
Н. М. Аношкіна<sup>1</sup>  
О. С. Харківський<sup>1</sup>

## ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ГІДРОАГРЕГАТІВ БУДІВЕЛЬНИХ ТА КОЛІЙНИХ МАШИН ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ РІДКОКРИСТАЛІЧНИХ ПРИСАДОК

<sup>1</sup>Український державний університет залізничного транспорту, Харків;

<sup>2</sup>Регіональна філія «Південно-західна залізниця» АТ «Українська залізниця», Фастів

Наведено результати досліджень впливу трибологічних характеристик рідкокристалічної речовини фенантронового ряду як присадки до гідравлічних масел на ресурс гідроагрегатів технологічних машин, наприкладі будівельних та колійних машин. Показано, що присадка формує на поверхнях тертя мастильні плівки холестеринного типу, які мають високу несучу здатність та низьке тертя в їхніх шарах, що значно покращує змащувальну здатність гідравлічного масла. Попередні випробування на чотирикульковій машині тертя показали ефективність цієї рідкокристалічної присадки, зокрема покращення протизносних та протизадирних характеристик масел. Присадка досліджувалась у середовищі індустріального масла І-30А (ГОСТ 20799-88), яке не містить заводських функціональних присадок, та у гідравлічних маслах Mobil Hydraulic 10w і John Deere Hy-Gard, в яких вони вже містяться. Досліджено вплив рідкокристалічної присадки на швидкість зношування та ресурс окремих відповідальних деталей гідроагрегатів будівельних та колійних машин. Працездатність цих машин повністю залежить від надійності роботи їхніх гідроприводів, а важливою ланкою цієї гідросистеми є аксіально-поршневі гідромашини. Найшвидше зношуються пари тертя агрегатів. Тому для виконання дослідження змодельовано роботу пари «плунжер–гільза» на машині тертя СМЦ-2 з використанням ролика зі сталі 38ХМЮА ГОСТ 4543-71 та бронзової колодки з БрАЖ9-4 ГОСТ 18175-78. Для виключення можливості впливу забруднень та температурного фактору на результати експерименту застосовано циркуляційну систему з термостатом. Спочатку проводились теоретичні дослідження, які показали можливість підвищення ресурсу плунжерної пари. В експериментальних дослідженнях вивчається вплив концентрації на показники зношування модельної пари тертя. Для цього рідкокристалічна присадка розчинялась в індустріальному маслі І-30А в різній концентрації. Отриманий рідкий мастильний матеріал застосовувався для змащування зразків на машині тертя. Лабораторні дослідження показали підвищення ресурсу майже у два рази за раціональної концентрації присадки. На завершальному етапі дослідження виконано зіставлення теоретичних даних з деякими експериментальними.

**Ключові слова:** гідроагрегат, плунжер, гільза, гідравлічне масло, рідкокристалічна присадка, ресурс, швидкість зношування.

### Вступ

На сьогодні залишається актуальною тема підвищення надійності машин. Надійністю називається здатність машини зберігати її якість в процесі експлуатації. Цей показник стосується як самої машини, так і її окремих агрегатів. Для гідрофікованих машин важливою є надійність їхніх гідроприводу. Важливими і найдорожчими елементами, від яких залежить працездатність таких машин є аксіально-поршневі гідроагрегати (АПП). Підвищення надійності АПП може значно продовжити строк служби всієї машини та зменшити витрати на ремонти і простої [1]–[3]. Основним

показником надійності гідроагрегатів є їхній ресурс, тобто час роботи агрегату до його переходу в граничний стан — стан за якого механізм більше не може ефективно виконувати свої функції.

Ресурс АПГ значно залежить від властивостей робочої рідини. Ця рідина виконує роль робочого тіла в гідросистемі, відводить тепло від її елементів і, що дуже важливо, відіграє роль мастильного матеріалу. Найшвидше зношуються пари тертя АПГ: «плунжер–гільза», «розподільча шайба–блок циліндрів», підшипники кочення на валу. Полумки у цих ланках призводять до виходу з ладу всього агрегату. Тому робоча рідина має забезпечувати високу мастильну здатність, що впливатиме на ресурс АПГ в цілому.

Актуальним є завдання підвищення ресурсу гідроагрегатів шляхом поліпшення мастильної здатності масел, що застосовуються в гідросистемах як робоча рідина. Одним з варіантів впливу на змащувальні характеристики робочої рідини є додавання до неї присадок. Аналіз проведених досліджень показує ефективність застосування рідкокристалічних речовин як присадок [4], [5]. Значно впливають на мастильну здатність масел холестеринні рідкокристалічні речовини [4].

В попередніх роботах авторів вже досліджувалась рідкокристалічна речовина фенантренового ряду [6], [7]. Оскільки в гідроприводах вітчизняної техніки і зараз нерідко застосовують індустриальні масла, які не містять функціональних присадок, то саме таке масло вибрано авторами для досліджень. Рідкокристалічна присадка фенантренового ряду, розчинена в середовищі індустриального масла И-30А (ГОСТ 20799-88), створює на металевих поверхнях граничні мастильні плівки холестеринної будови. Вони мають високу несучу здатність і низьке тертя між шарами. Найбільше така присадка впливає на протизносні властивості індустриального масла. Експеримент на чотирикульковій машині тертя, проведений за методикою, наведеною в ГОСТ 9490-75, показує зменшення діаметра плями зносу на 38...50% за концентрації 0,4% відносно діаметра плями зносу для масла без присадки. Також поліпшуються протизадирні властивості. Індекс задиру підвищується на 48...49% за концентрації присадки 0,1...0,4%. Значення критичного навантаження для масла зростає з 490 Н до 617 Н.

Експериментально підтвердилася ефективність присадки з фенантреновим скелетом і в товарних гідравлічних маслах, які вже містять заводський пакет присадок — Mobil Hydraulic 10w та John Deere Hy-Gard [8]. Дослідження проводилися за такою ж методикою, як і в попередніх роботах. Запропонована присадка покращує протизадирні і протизносні властивості цих мастил. Для обох масел зменшилася середня пляма зносу на 5...7% за концентрації присадки 0,4% у порівнянні з діаметром плями зносу масел без цієї присадки. Індекс задиру підвищується на 13...15% для масла Mobil Hydraulic 10W і на 3...5% для масла John Deere Hy-Gard за концентрації присадки 0,1...0,4%. Значення критичного навантаження для масла Mobil Hydraulic 10W підвищується з 980 Н до 1235 Н, а для масла John Deere Hy-Gard залишається незмінним — 1235 Н.

*Метою роботи* є визначення впливу концентрації рідкокристалічної присадки фенантренового ряду на швидкість зношування гідроагрегатів будівельних та колійних машин та на їхній ресурс.

### Результати досліджень

В роботі розглянуто ресурс аксіально-поршневого насос-мотора типу 210 [9]. Такі АПГ використовуються в гідросистемах будівельних та колійних машин в силових вузлах об'ємного гідроприводу.

Ресурс АПГ можна визначити таким чином [10]:

$$T = \frac{U_{lim}}{V_{wear}}, \quad (1)$$

де  $T$  — ресурс, год;  $U_{lim}$  — граничне значення зносу, мг;  $V_{wear}$  — швидкість зношування, мг/год.

Загальний ресурс АПГ багато в чому визначає працездатність його пар тертя «плунжер–гільза» [11].

Тож наші теоретичні дослідження ґрунтуватимуться на розрахунку ресурсу цієї пари тертя. Контакт плунжера з гільзою відбувається по циліндричній поверхні (рис. 1 [9]).

Між поверхнями пари тертя існує технологічний зазор  $\Delta$ , який для справного АПГ становить 10...50 мкм. Граничний знос для однієї пари «плунжер–гільза» вибраної авторами АПГ з досягненням граничного зазору складатиме  $U_{lim} = 0,38$  г [11].

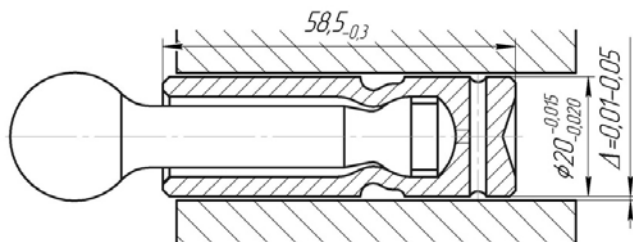


Рис. 1. Схема пари тертя «плунжер–гільза» АПГ

Найкраще процес зношування описує крива зносу [10]. Відкинувши етап припрацювання та екстремальної роботи із зони рівномірного зносу, взявши похідну за часом, можна знайти швидкість зношування,  $V_{wear}$

$$V_{wear} = U' = \frac{dU}{dt}, \quad (2)$$

де  $U$  — абсолютний знос, мг;  $t$  — час, год.

Згідно з дослідженнями [12] швидкість зношування основного металу пари тертя зменшується обернено пропорційно квадрату збільшення товщини змащувальної плівки.

Товщина змащувальної плівки, зі свого боку, залежить прямопропорційно від дипольного моменту молекули поверхнево активної речовини. Тоді можна вивести таке співвідношення:

$$\frac{h_{com}}{h_{fen}} = \frac{p_{com}}{p_{fen}}, \quad (3)$$

де  $h_{com}$  — товщина мастильної плівки, утвореної власними поверхнево активними (ПАР) речовинами досліджуваного масла,  $h_{com} = 224,3$  нм [3];  $h_{fen}$  — товщина мастильної плівки, утвореної рідкокристалічною присадкою з фенантреновим скелетом;  $p_{com}$  — дипольний момент молекули власних ПАР досліджуваного масла, близько  $p_{com} = 3,336 \cdot 10^{-30}$  Кл·м [3];  $p_{fen}$  — дипольний момент молекули рідкокристалічної присадки,  $p_{fen} = 8,273 \cdot 10^{-30}$  Кл·м [13].

З рівності (3) маємо  $h_{fen} = 526,3$  нм. Враховуючи співвідношення між зносом та товщиною мастильної плівки, маємо таке:

$$V_{com} \cdot h_{com}^2 = V_{fen} \cdot h_{fen}^2, \quad (4)$$

де  $V_{com}$  — швидкість зношування за використання чистого масла И-30А, з попередніх досліджень  $V_{com} = 0,18$  мг/год.

Тоді з рівняння (4) отримано  $V_{fen} = 0,033$  мг/год.

Ресурс АПГ за використання масла без рідкокристалічної присадки з умови (1) становитиме  $T_{com} = 2111$  год, а за використання мастила з додаванням присадки у її раціональній концентрації складе  $T_{fen} = 11515$  год.

Отже, за використання рідкокристалічної присадки фенантренового ряду теоретично швидкість зношування АПГ знизиться майже в 5,5 разів і в стільки ж збільшиться ресурс.

Експериментальні дослідження проводились на машині СМЦ-2, схема якої показана рис. 2.

Як досліджувана робоча рідина використане мінеральне масло И-30А (ГОСТ 20799-88). Пара тертя моделювалась за допомогою ролика, виготовленого зі сталі 38ХМЮА (ГОСТ 4543-71) та колодки з БрАЖ9-4 (ГОСТ 18175-78.)

Для експерименту підготовлено такі суміші:

1. И-30А без додавання присадки;
2. И-30А з додаванням 0,1 % рідкокристалічної присадки;
3. И-30А з додаванням 0,2 % рідкокристалічної присадки;
4. И-30А з додаванням 0,3 % рідкокристалічної присадки;
5. И-30А з додаванням 0,4 % рідкокристалічної присадки;
6. И-30А з додаванням 0,5 % рідкокристалічної присадки.

Суміші готувались за методикою авторських попередніх робіт [6], [7].

Частоту обертання ролика взято мінімально можливою для машини СМЦ-2 — 300 об/хв, щоби усунути можливість виникнення гідродинамічного режиму мащення (позаяк у парах тертя АПГ реалізується граничний режим мащення). Тривалість випробування кожної суміші складала 50 год. Зусилля притискання колодки до ролика складало 1000 Н і вибиралось дослідним шляхом так, щоби забезпечити стабільний температурний режим.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень показані на графіках рис. 3. та рис. 4.

Теоретичні дослідження показують максимальне підвищення ресурсу майже в 5,5 разів. Такий результат в реальних умовах неможливий оскільки модель не враховує вплив інших видів зносу та

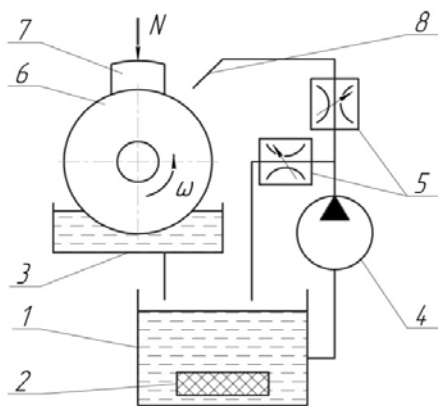


Рис. 2. Схема машини СМЦ-2 з циркуляційною схемою і термостатом:  
1 — бак; 2 — термостат; 3 — чашка для уловлення мастила; 4 — насос; 5 — дросель; 6 — ролик; 7 — колодка; 8 — форсунка

складних фізичних і хімічних процесів, які виключити на практиці неможливо. У свою чергу експериментальні дослідження показують, що масло з рідкокристалічною присадкою з фенантреновим скелетом нелінійно зменшує швидкість зношування та за концентрації 0,4 % майже вдвічі збільшує ресурс.

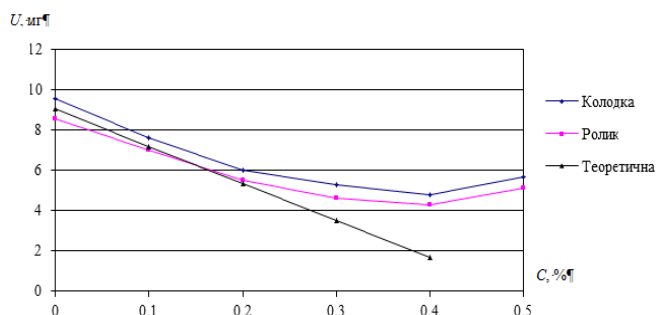


Рис. 3. Теоретичний і експериментальний знос пари тертя «плунжер–гільза» АПП за 50 годин

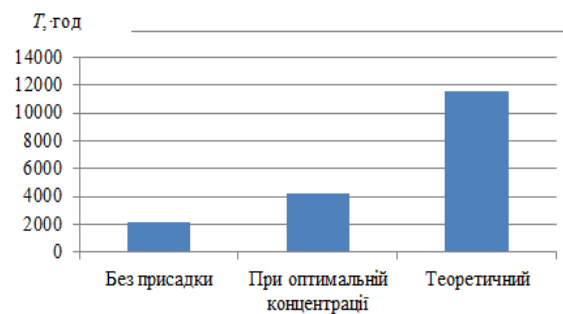


Рис. 4. Ресурс аксiально-плунжерного насоса серії 210

Подальше підвищення концентрації зменшує корисний ефект, що ймовірно пов'язано з утворенням надмолекулярних структур, які погіршують адсорбцію присадки. Отже, раціональна концентрація присадки становить близько 0,4 %. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів складає 5,5...62 % .

### Висновки

Проведена робота підтверджує взаємозв'язок особливостей будови молекул з проявами їхніх фізичних властивостей. Так вищий дипольний момент молекули присадки дає можливість створити міцнішу мастильну плівку у місці контакту деталей. Використання рідкокристалічної речовини фенантренового ряду як присадки до індустріального масла дозволяє підвищити ресурс гідроагрегатів будівельних та колійних машин. Приріст ресурсу залежить від концентрації присадки в маслі. За оптимального вмісту рідкокристалічної речовини цей показник зростає майже в 2 рази.

Реальний ресурс АПП буде залежати зокрема і від реальних умов роботи машини і може бути отриманий в результаті експлуатаційних випробувань. Проведені авторами теоретичні та експериментальні дослідження підтверджують доцільність продовження роботи зі встановлення впливу присадки на ресурс АПП в процесі їхньої експлуатації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Е. Е. Александров, И. А. Кравец, и Е. Н. Лысиков, *Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей*. Харьков, Украина: НТУ «ХПИ», 2006.
- [2] В. К. Руднев, Е. Н. Лысиков, и Е. С. Венцель, *Повышение эксплуатационной надежности гидроприводов строительных и дорожных машин*. Киев, Украина: УМК ВО, 1989.
- [3] Е. Н. Лысиков, В. Б. Косолапов, и С. В. Воронин, *Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем*. Харьков, Украина: ЭДЭНА, 2009.
- [4] С. Ф. Ермаков, *Трибология жидкокристаллических наноматериалов и систем*. Минск, Беларусь: Беларус. наука, 2012.
- [5] Б. И. Купчинов, и др., «Исследование влияния жидких кристаллов на трение твердых тел,» *Трение и износ*, № 4 (8), с. 614-619, 1987.
- [6] С. В. Воронин, В. А. Стефанов, Д. В. Онопрейчук, И. Ю. Сафонюк, и Н. Н. Аношкина, «Влияние концентрации и типа жидкокристаллической присадки на трибологические характеристики промышленных масел,» *Трение и износ*, № 4 (41), с. 498-505, 2020. <https://doi.org/10.32864/0202-4977-2020-41-4-498-505> .
- [7] С. В. Воронин, И. Ю. Сафонюк, Н. М. Аношкина, і О. С. Харківський, «Дослідження впливу концентрації рідкокристалічної присадки та електричного поля на фізико-хімічні властивості індустріальної оливи», *Вісник національного авіаційного університету*, № 2 (83), с. 70-76, 2020. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.83.14654> .
- [8] Н. М. Аношкина, і О. С. Харківський, «Трибологічні властивості гідравлічних та моторних олив з урахуванням стану рідкокристалічних присадок,» на *VIII Міжн. наук.-техн. конф. Science, innovations and education: problems and prospects*, Токіо, Японія, 2022, с. 60-65.
- [9] Б. М. Бим-Бад, М. Г. Кабаков, В. Н. Прокофьев, и С. П. Стесин, *Атлас конструкций гидромашин и гидропередач*. Москва: Машиностроение, 1990.
- [10] Г. Хайнике, *Трибохимия*. Москва: Мир 1987.
- [11] Т. М. Башта, *Объёмные насосы и гидравлические двигатели гидросистем*. Москва: Машиностроение, 1974.
- [12] С. В. Воронин, и А. В. Дунаев, «Влияние электрического и магнитного поля на механизм действия присадок к маслам,» *Трение и износ*, № 1 (36), с. 41-49, 2015.
- [13] О. А. Осипов, В. И. Минкин, и А. Д. Гарновский, *Справочник по дипольным моментам*. Москва: Высшая школа, 1971.

Рекомендована кафедрою галузевого машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 13.06.2022

**Онопрейчук Дмитро В'ячеславович** — канд. техн. наук, доцент кафедри машинобудування та технічного сервісу машин;

**Аношкіна Наталія Миколаївна** — аспірант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин, e-mail: anoshkinatasha@gmail.com ;

**Харківський Олександр Сергійович** — аспірант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин. Український державний університет залізничного транспорту, Харків;

**Сафонюк Іван Юрійович** — канд. техн. наук, інженер-технолог РПЧ-8.

Регіональна філія «Південно-західна залізниця» АТ «Українська залізниця», моторвагонне депо Фастів-1, Фастів

**D. V. Onopreichuk<sup>1</sup>**  
**I. Yu. Safoniuk<sup>2</sup>**  
**N. M. Anoshkina<sup>1</sup>**  
**O. S. Kharkovskiy<sup>1</sup>**

## **Extending the Service Life of Hydraulic Units of Construction and Track Machines by Applying Liquid Crystal Additives**

<sup>1</sup>Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv;

<sup>2</sup>Regional branch “South-Western Railway” JSC “Ukrainian Railway”, Railcar Depot Fastiv-1, Fastiv

*The article describes the influence of tribological characteristics of phenanthrene liquid crystalline substance (as an additive to hydraulic oils) on the service life of hydraulic units of technological machines (e. g. construction and track machines). It demonstrates that the additive creates cholesteric lubricating films on the friction surfaces. The films have a high bearing capacity and low friction in their layers, which significantly improves the lubricity of hydraulic oil. Preliminary tests on a four-ball friction machine demonstrated the effectiveness of this liquid crystal additive, and the improvement of anti-wear and anti-seizure characteristics of oils. The additive was studied in the environment of industrial oil И-30А GOST 20799, which does not contain factory functional additives, and in hydraulic oils Mobil Hydraulic 10w and John Deere Hy-Gard, which contain them. The article investigates the influence of liquid crystal additive on the wear rate and service life of some critical parts of hydraulic units of construction and track machines. The efficiency of these machines depends entirely on the reliability of their hydraulic drive, and axial-piston hydraulic units are its important part. Friction pairs wear out the fastest. Therefore, in the course of the research, we simulated the work of a “piston-casing” pair in the CML-2 friction machine using a roller made of steel (38ХМЮА GOST 4543-71) and a bronze block (БрАЖ9-4 GOST 18175-78). To prevent influence of contaminants and temperature factors on the results of the experiment we used a circulating system with a thermostat. Initially, theoretical studies were conducted, which showed the possibility of increasing the life of the piston pair. In the experimental part of the research, the concentration effect on the wear indicators of the model friction pair was studied. For this purpose the liquid crystal additive was dissolved in industrial oil (И-30А GOST 20799) in different concentrations. The obtained liquid substance was used to lubricate the samples in the friction machine. Laboratory studies showed that normal concentration of the additive resulted in an almost twofold extension of service life of the parts. In the final part of the study, we compared theoretical and experimental data.*

**Keywords:** hydraulic unit, piston, casing, oil, liquid crystal additive, service life, wear rate.

**Onopreichuk Dmytro V.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines;

**Safoniuk Ivan Yu.** — Cand. Sc. (Eng.), Process Engineer of “RPCh-8”;

**Anoshkina Nataliia M.** — Post-Graduate Student of the Chair of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, e-mail: anoshkinatasha@gmail.com ;

**Kharkovskiy Oleksand S.** — Post-Graduate Student of the Chair of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines