

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ПАР ТЕРТЯ КОВЗАННЯ, УЩІЛЬНЕНЬ ТА РОБОЧИХ РІДИН В ОБ'ЄМНИХ ГІДРОПРИВОДАХ БУДІВЕЛЬНИХ ТА ДОРОЖНІХ МАШИН

**Аврунін Г.А., к.т.н., доцент, Глушкова Д.Б., д.т.н, професор,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

***Анотація.** Наведено досвід використання пар тертя ковзання, ущільнень та робочих рідин в об'ємних гідроприводах будівельних та дорожніх машин. Зокрема розглянуті експлуатаційні режими навантаження та застосовані матеріали пар тертя ковзання аксіальнопоршневих та пластинчастих насосів та радіальнопоршневих насосів та гідромоторів. Розглянуті сучасні матеріали для ущільнень гідроциліндрів та валів гідромоторів. Наведені результати стендових випробування технології ХАДО в об'ємних гідроприводах та рекомендації з застосування робочих рідин. Матеріали є корисними для фахівців та студентів-магістрів в галузі проектування, експлуатації та досліджень об'ємних гідроприводів мобільних машин.*

***Ключові слова:** об'ємний гідропривод, насоси і гідромотори, матеріали пар тертя, ущільнення, робочі рідини*

EXPERIENCE IN USING PAIRS OF SLIDING FRICTION, SEALS AND WORKING FLUIDS IN HYDRAULIC FLUID POWER OF CONSTRUCTION AND ROAD MACHINES

**G. A. Avrunin, Ph.D., associate professor, D. B. Hlushkova,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kharkiv National Automobile and Road University**

***Abstract.** The experience of using pairs of sliding friction, seals and working fluids in hydraulics fluid power of construction and road machines is given. In particular, operational load modes and applied materials of sliding friction pairs of axial-piston and plate pumps and radial-piston pumps and hydraulic motors are considered. Modern materials for seals are considered hydraulic cylinders and shafts of hydraulic motors. The results of bench tests of KHADO technology are given in hydraulics fluid power and recommendations for the use of working fluids. The materials are useful for specialists and master's students in the field of design, operation and research of hydraulics fluid power of mobile machines.*

***Key words:** hydraulics fluid power, pumps and hydraulic motors, materials of friction pairs, seals, working fluids.*

Вступ

Сучасні об'ємні гідроприводи (ОГП) працюють в умовах високих швидкісних, навантажувальних (по тиску) і температурних навантажень. Так, в аксіальнопоршневих гідромашинах частоти обертання вихідного валу досягають 10000 хв^{-1} , тиск робочої рідини (РР) до 50 МПа, температура РР в межах

від «мінус» 50 до 135 °С. Забезпечення працездатності вузлів тертя при таких високих параметрах можливе за рахунок застосування високоякісних матеріалів, покриттів, прецизійної обробки поверхонь контртіл і застосування відповідного сорту РР. Тому вибору матеріалів, термообробки та якості шорсткості поверхонь приділяється велика увага.

Аналіз публікацій

Одним із шляхів поліпшення якості та зниження вартості ремонту гідропрстроїв є багаторазове відновлення форми деталей металопокриттями [1; 2]. При цьому вартість відновлених деталей становить 25...40% вартості нових, досягається економія металу, працезатрат і виробничих потужностей. До найбільш поширених способів відновлення деталей металопокриттями відносяться електродугова наплавка, наплавлення під шаром флюсу, віброконтактна наплавка, електродугова металізація, хромування та ін.

У ремонтній практиці найбільшого поширення набула наплавка, що характеризується високим коефіцієнтом використання металу. Наплавлений шар міцно зчепляється з матеріалом деталі і має високу твердість. Однак наплавленн. притаманний і ряд недоліків, пов'язаних з високою температурою в зоні контакту електрода з поверхнею деталі, нерівномірного її розподілу та значних напруг, що викликають деформацію (короблення) та окислення поверхні деталі. Металізаційні покриття отримують газоплазмовим та електродуговим напиленням при температурі розігріву поверхні деталі до 150...200 °С, що дозволяє усунути деформацію деталі.

Хромовані покриття мають високу корозійну стійкість і зносостійкість, необхідних для прецизійних пар гідропрстроїв ОГП мобільних машин [3-6].

Технологія бронзування (отримання біметалічних заготовок для деталей гідромашин ОГП) розроблена харківськими фахівцями [7]. Технологія отримання біметалічних заготовок передбачає можливість нанесення антифрикційного шару з високоолов'янистої бронзи на основу з конструкційної сталі або чавуну високоміцного. Наплавлюваний на сталеву основу бронзовий шар має високий рівень зчеплення на межі «сталь-бронза», високою щільністю самого шару, в мікроструктурі шару, що наплавляється, відсутні інтерметалічні сполуки і фази на основі заліза, що гарантує задані антифрикційні властивості готових деталей. Технологія дозволяє отримувати якісні біметалічні вироби, що працюють у важких експлуатаційних умовах. Широке застосування способ отримання біметалічних заготовок отримав при виробництві аксіальнопоршневих гідромашин з похилим диском і блоком циліндрів, і ремонті на спеціалізованих підприємствах.

При ремонті з усіх способів гальванопокриттів найбільшого поширення набули покриття сталлю, при якому продуктивність отримання електролітичних опадів в десятки разів вище, ніж при хромуванні і при цьому використовуються недефіцитні компоненти (сірчана та соляна кислота і низьковуглецева

сталь). Найбільший досвід застосування технології покриття сталлю накопичено в автомобільній промисловості.

Створення ОГП для сучасної мобільної техніки супроводжується безперервним збільшенням швидкісних, контактних і температурних навантажень, у зв'язку з чим РР повинна мати експлуатаційні характеристики, що задовольняють ряду функціональних вимог: робочого тіла; змазування контртіл високонавантажених вузлів тертя кочення і ковзання гідромашин та гідроапаратів; видалення механічних забруднень із зазорів, викликаних зносом контртіл шляхом перенесення до фільтроелементів гідросистеми і забезпечуючи при цьому високий рівень фільтрованості; відведення тепла від вузлів тертя гідроприсроїв; захисту від корозії [8; 9]. Підтримка оптимального теплового режиму за допомогою РР є також одним з найважливіших завдань, що вирішуються для забезпечення надійної роботи ОГП і досягнення максимального ККД.

Формулювання цілей статті

Основною метою даної статті є ознайомлення фахівців в галузі проектування, експлуатації та ремонту об'ємних гідроприводів з сучасними досягненнями з використання матеріалів для пар тертя ковзання, ущільнень та робочих рідин. Ці цілі направлені також на підвищення рівня дослідницьких робіт на основі попереднього досвіду вітчизняних фахівців. Матеріали статті планується внести в учбовий процес студентів-магістрів механічного факультету ХНАДУ, зокрема в дисципліни, пов'язані з вивченням гідропневмоприводів та їх проектуванням і випробуваннями.

Основний матеріал дослідження

У табл. 1 наведено відомості про типи об'ємних гідромашин, характерні вузли (пари) тертя ковзання та режими їх роботи, застосовувані матеріали та види термообробки, систематизовані ВНДГідроприводом, головним науководослідним та проектно-конструкторським інститутом з гідропневмоприводів в часи колишнього СРСР, та за сучасними інформаційними даними.

Додаткова інформація щодо застосовуваних матеріалів в аксіальнопоршневих гідромашинах: Сплав АК7Ц9 ГОСТ 1583, Бронза Бр012 ТУ 48-26-15-77, Латунь ЛМцКСН 58-3-1,5-1,5-1 ТУ 48-21-775-85, Сплав АК7Т9 ГОСТ 1583; Бр АЖН 10-4-4 ГОСТ 18175, Сталь 38Х2МЮА (азотування); Бронза ГКРН-80НД (ЛМцКНС58-3-1,5-1,5-1 ТУ48-21-275-85), Латунь ЛМцСКА58-2-2-1-1, 30Х3ВА ТУ14-1-950-86 (азотування $h = 0,15...0,35$, HV 700), БРАЖН10-4-4 ГОСТ 1628, сталь 40Х ГОСТ 4543 (30...35 HRCe), сталь Х12Ф1-Ш ТУ 14-19-96-90 (58...62 HRCe).

Таким чином, в об'ємних гідромашинних знаходять застосування різні матеріали, що забезпечують працездатність вузлів тертя ковзання. В якості

хіміко-термічної обробки сталей найбільшого поширення набули об'ємне загартування, цементация та азотування. Зі зростанням питомих тисків у парах тертя ковзання замість чавуну використовуються сплави на основі міді – бронзи та латуні.

Таблиця 1 – Характеристика пар тертя ковзання об'ємних гідромашин

Тип гідромашини, пара тертя	Матеріали контртіл	Характеристика пари тертя			Термообр. HRCe (HV)
		p	v	$p \times v$	
НРП. Поршень-втулка	Сталь 20Х / Бр. АЖ 9-4.	15	2	30	Ц/59-62
НАП. Підп'ятник – НД; Блок цил. – РД; Підп'ятник -поршень	Бр. АЖ9-4 / Сталь Х12Ф1.	1,7	7	12	О3/59-62
	Бр. ОСН10-2-3/ СтальХ12Ф1. Бр. АЖ 9-4 / Сталь 18ХГТ.	2,9 30	10 0,3	29 9	О3/59-62 Ц/59-62
НАП. Підп'ятник – НД; Ротор – РД; Плунжер-Ротор	Бр. АЖН 10-44 / Сталь 38Х2МЮА Сталь38Х2МЮА / Бр ОСН 10-2-3 Сталь38Х2МЮА/ БрАЖМц 11-6,5-1	1,9	12	42	Аз.
		0,7 31	17,5 2,1	12,3 65	HV90 Аз
НАП. Плунжер-ротор; Підп'ятник – НД	Сталь18ХГТ/ БрАЖН10-4-4. БрАЖН10-4-4/ Сталь38Х2МЮА.	33	2,5	82,5	Ц/57-63
		1,5	12	18	HV900
МРП. Поршень-шатун; Поршень-гільза	Чавун А4В –1 / Сталь 18ХГТ.	45	0,05	2,25	Ц/56-62
	Чавун А4В –1 / Сталь 18ХГТ.	20	0,45	9	Ц/56-62
НАП. Підп'ятник – НД	БрАЖ9-4 / Сталь Х12Ф1	1,5	11	16,5	О3/59-62
НАП. Підп'ятник – НД	БрОСН 10-2-3 / СтальХ12Ф1	1,5	15	22,5	О3/59-62
НПЛ. Пластина – статор	Сталь Р6М5 – Сталь ШХ15, або СтальР6М5/металокерам. Ж420Х3	700	6	4200	О3/60-64
		700	3	2100	О3/60-64

Примітки: p - питомий тиск, МПа; v - швидкість, м/с; $p \times v$, МПа \times м/с; Вид термообробки: О3 – об'ємне загартування; Ц – цементация; Аз - азотування; НД – гідромашини з похилим диском; РД – розподільний диск; НРП – насос радіальнопоршневий; НАП – насос аксіальнопоршневий; НПЛ – насос пластинчастий; МРП – гідромотор радіальнопоршнвий.

Технічні характеристики ущільнювальних вузлів для ОГП та сучасні матеріали для виготовлення та ремонту, що застосовуються фірмою «Seal Jet UKRAIN», наведені в табл. 2 [10; 11]. Як матеріали ущільнення пар зворотно-поступального руху застосовуються ECOFLON і ECORUBBER (нітрильний, гідрований і фторкачуки).

Технологія ХАДО відноситься до способу безрозбірного ремонту машин та механізмів, склади ХАДО (ревіталізатори) випускаються за технічними умовами ТОВ ХАДО, м. Харків [12]. Відкриття явища ревіталізації (походить від латинського «vita» – життя) базується на унікальних фізико-хімічних процесах, які за певних умов можуть відбуватися в зоні тертя.

Таблиця 2 - Технічні характеристики ущільнень фірми «Seal Jet UKRAIN»

Тип ущільнення, тиск, МПа	Матеріал	Температура, °С	Швидкість, м/с
Брудозійомники	ECOFLON	- 20(30) ...200	5
Ущільнення манжетне штока – 40 МПа	ECOFLON	- 30...100	10
Ущільнення штока манжетне – 45 МПа	ECOFLON	- 40...200	10
Ущільнення поршня манжетне– 40 МПа	ECOFLON	- 30...100	10
Ущільнення поршня манжетне – 70 МПа	ECORUBBER	- 30...100	0,5
Ущільнення поршня манжетне – 150 МПа	ECORUBBER	- 30...100	0,3
Ущільнення валу манжетне – 0,5 МПа	ECORUBBER	- 20(60)...200	10 (15)
Ущільнення валу манжетне – 40 МПа	ECOPUR	- 20(50)...200	0,2
Ущільнення валу – 30 МПа	ECOFLON	- 50...100	2

При роботі вузлів тертя на підвищених навантаженнях виділяється надмірна енергія, яка спрямована на руйнування при поверхневих шарів деталей контртіл. В основі ефекту ревіталізації лежить гіпотеза про те, що при внесенні в зону тертя «будівельного» матеріалу-ревіталізанта створюються такі умови, за яких енергетично більш вигідно будувати нове, а не руйнувати старе, тобто. енергія руйнування перетворюється на енергію творення. Таким чином, ревіталізація починається в перевантаженій зоні, оскільки саме тут досить надмірної енергії для початку нового процесу і атоми металу мають найбільшу кількість вільних (некомпенсованих) зв'язків. Ці зв'язки, як магніти, захоплюють та утримують саме у місцях зносу будівельний матеріал-ревіталізант. При появі навантажень енергетичний активатор спрямовує надмірну енергію на будівництво нових кристалічних ґрат. Таким чином, на старій основі формується нове покриття. На місці наявних ушкоджень (подряпин) з'являється металокерамічна латка і зона аномальної активності зникає, енергетичні процеси стабілізуються, подальше зростання поверхонь припиняється. Одночасно відбувається взаємна дифузія двох речовин (металу та кераміки), яка завершує процес формування нового покриття, цементуючи і остаточно знищуючи дефект поверхні.

Основні характеристики, досягнуті за допомогою ХАДО:

- Мікротвердість - 650-670 кгс/ мм² (6500-6700 Н/ мм²);
- Висока корозійна стійкість;
- Шорсткість поверхні до $R_a = 0,06$ мм;
- найбільший приріст металокерамічного покриття: на зубцях шестерень – 1,5 мм; на деталях циліндропоршневої групи – 0,2 мм; на плунжерах паливних насосів – 0,02 мм;
- Підвищення мастильних властивостей оливо і пластичних мастил.

Оцінка змащувальних властивостей на 4-х шариковій машині тертя за ГОСТ 9490 показала, що в порівнянні зі стандартним мастилом «Літол-24» так зване «ремонтне» мастило ХАДО має істотні переваги по навантаженню зварювання, критичному навантаженню та індексу задирання 2,5; 3,5 та 2,2 рази, відповідно.

Найбільший досвід використання технології ХАДО отримано у ДВЗ, компресорах та механічних передачах.

Метою стендових досліджень було визначення ефективності впливу складу ХАДО на аксіальнопоршневі гідромашини з похилим блоком циліндрів. Об'єкт випробувань – гідромотор типу 410.56 із робочим об'ємом 56 см^3 виготовлення одеського ВАТ «Будгідравліка». Критеріями ефективності при проведенні випробувань було прийнято зміну різниці (перепаду) тисків на вході та виході з гідромотора та зовнішніх витоків з корпусу при фіксованих значеннях тиску на виході з гідромотора та температури РР. Зміна перепаду тисків дозволяє судити про відповідну зміну механічних втрат у гідромоторі [8; 9]. При випробуваннях визначався перепад тисків на гідромоторі в зоні низьких частот обертання $100...120 \text{ хв}^{-1}$, причому вимірювання проводилися щодня в момент ранкового пуску, щоб уникнути внесення похибки в результати вимірювань [8]. Витоки РР (олива гідравлічна МГЄ-46В) визначалися при температурі в гідробаку $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Гідромотор пройшов попередню обкатку перед введенням в РР складу ХАДО і показував стабільні результати по перепаду тисків і витоків. Після введення в гідробак ємністю 50 дм^3 тубиків складу ХАДО загальний час напрацювання гідромотора склав 28 годин. До складу стендового обладнання входили також шестеренний насос НШ-10, регулятор витрати МПГ55-24 та клапан тиску ПГ54-32М.

Внаслідок випробувань отримано зниження (рис. 3):

- перепаду тисків на 71 % (з 1,2 МПа до 0,35 МПа);
- витоків РР на 26 % (з $500 \text{ см}^3/\text{хв}$ до $370 \text{ см}^3/\text{хв}$).

Слід зазначити більш інтенсивне зниження перепаду тисків (в 1,5 рази за перші 4,6 години напрацювання), в той же час зниження витоків РР стало виявлятися тільки в інтервалі 4,6...11,1 годин напрацювання.

При розбиранні гідромотора виявлено високоякісний стан поверхонь контртіл поршневих груп і розподільного вузла, причому виявлені до випробувань подряпини і дрібно-осередкові сліди припалів зникли і в цілому стан поверхонь значно вище за класом шорсткості в порівнянні зі станом серійних гідромашин. Ефективність впливу технології ХАДО на гідромотор підтверджується зниженням витоків РР та втрат на тертя (тертя ковзання в поршневих групах та розподільному вузлі, тертя кочення – у приводному фланці).

Наслідком вищевикладених змін є підвищення об'ємного ККД гідромотора та його ресурсу. Так як в процесі приробки не відбулося збільшення витоків (характерного для абсолютної більшості гідромашин), отже, технологія ХАДО забезпечує припрацювання гідромашин без зносу контртіл, що є передумовою збільшення їх ресурсу в експлуатації. Таким чином, основним висновком проведених експериментальних досліджень є встановлення ефективності застосування технології ХАДО в ОГП, що дає підставу рекомендувати її для безрозбірного ремонту аксіальнопоршневих гідромашин з метою збільшення об'ємного ККД і ресурсу.

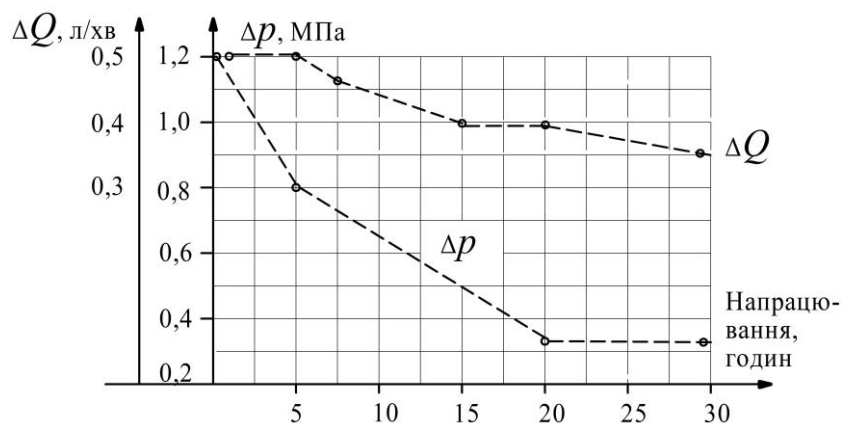


Рисунок 3 - Зміна перепаду тисків та витоків РР у гідромоторі при випробуваннях зі складом ХАДО

Подальші дослідження мають бути спрямовані на визначення впливу технології ХАДО на ресурс ОГП. У той же час, враховуючи великі ємності гідробаків гідросистем, що досягають значень 50...1000 дм³ і більше, необхідно проведення функціонально-вартісного аналізу для вирішення питання про технологію обробки гідрообладнання складом ХАДО.

З точки зору економічності безумовну перевагу слід віддавати індивідуальній обробці окремих гідромашин і гідроапаратів у локальних обсягах, проте при цьому необхідно також мінімізувати тривалість обробки, як це вирішується при обкатуванні гідромашин, де її тривалість при заводських приймальних випробуваннях, як правило, обмежена кількома десятками хвилин.

Робочою рідиною називається рідина, призначена для застосування в ОГП [13]. До основних властивостей РР відносять питому вагу і щільність, в'язкість, стисливість, стабільність та ін.

Класифікація РР, побудована згідно [13, 14], наведена на рис. 2

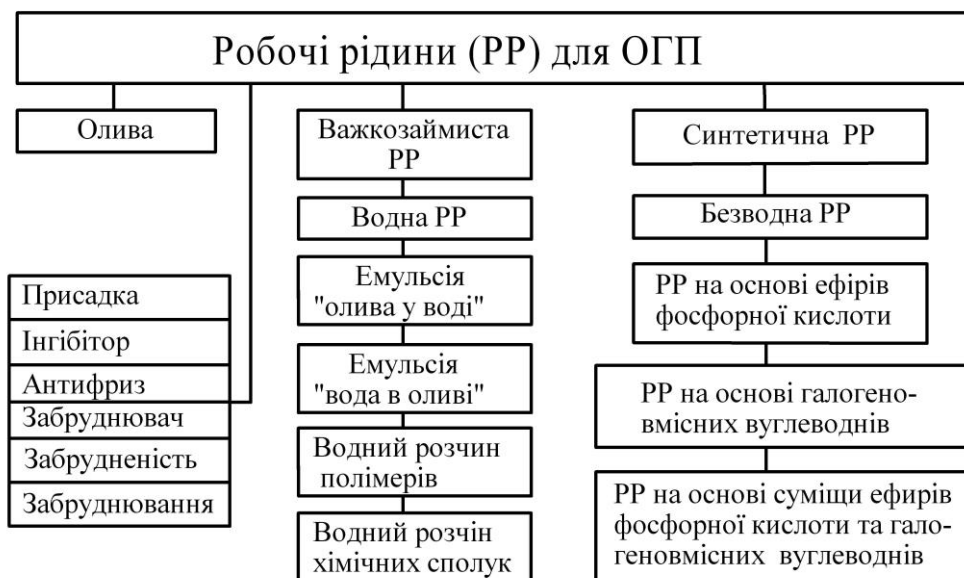


Рисунок 2 – Класифікація робочих рідин для ОГП

Вибір РР для ОГП проводять перш за все виходячи із задоволення трибологічним (змащувальним) і в'язкісно-температурним характеристикам гідромашин, що закладаються конструктором у проєктований ОГП. У цей час виробники гідрообладнання розширили асортимент рекомендованих для експлуатації РР, а номенклатура випуску останніх дозволяє зробити вибір з урахуванням таких важливих чинників як вартість, сумісність з уже використуваними РР, забезпечення екологічної безпеки, вогнестійкості та ін. Зазвичай великі труднощі виникають при призначенні сорту РР при розробці оригінальної конструкції гідромашини, що відрізняється вищими технічними параметрами в порівнянні з аналогами за частотою обертання, тиском і екстремальними значеннями температур.

Для ОГП рекомендують РР на нафтовій основі:

- 1) гідравлічні класів HLP і HVLP згідно зі стандартом DIN 51524, частини 2 і 3;
- 2) моторні за стандартами API-SF або CD, MIL-L 2104C і MIL-L 46152B;
- 3) для автоматичних коробок передач класу ATF;
- 4) високоякісні турбінні оливи та інші РР класу HVLP з високим значенням індексу в'язкості (більше 140), які як і всесезонні моторні оливи досить добре підходять для експлуатації в складних температурних умовах роботи ОГП.

При виборі сорту РР необхідно дотримуватися рекомендацій виробників гідромашин та інших гідропрстроїв, які часто представлені у вигляді посилань на національні або міжнародні стандарти – класифікатори РР.

Класифікація гідравлічних оливо за ГОСТ 28549.5 [15] відповідає стандарту ISO 6743/4-82, включаючи мінеральні водомістні олії і безводні синтетичні РР. Приклад позначення РР за ГОСТ 28549.5: повне ІСО-L-HV 32; скорочене L-HV 32 (L – клас РР, Н – гідравлічні системи, причому букви L і Н завжди є присутніми в позначенні, V – категорія РР в залежності від властивостей і сфери застосування, 32 – клас в'язкості за ГОСТ 17479.3/ІСО 3448).

При застосуванні в ОГП моторних оливо слід враховувати відповідність їх класів в'язкості гідравлічним РР (ISO VG - SAE): 22(HLP)-5 W; 32(HLP)-10 W; 46(HVLP)-10W30; 68(HVLP/HLP)-10 W 30/20 або W 20; 100 (HLP)-W 30.

При оптимальному значенні кінематичної в'язкості РР досягається максимальний ККД ОГП, при екстремальних значеннях в'язкості, як правило, вводяться обмеження за тривалістю роботи і максимальними значеннями асоти обертання і тиску гідромашин щоб уникнути виникнення режимів змішаного тертя й ушкодження поверхонь контртіл (поршневих груп, розподільного вузла, підшипників кочення і ковзання).

Підготовка ОГП до експлуатації при низьких температурах зовнішнього повітря пов'язана з таким важливим чинником, як підтримка мінімального перепаду температур між гідропрстроями і РР щоб уникнути заклинювання прецизійних пар ковзання (поршневих і золотникових) і підшипників кочення. Зазвичай цей перепад температур не повинен перевищувати 20...35 °С.

В'язкісно-температурні властивості РР характеризуються індексом в'язкості (ІВ), розрахунок якого регламентований ГОСТ 25371. Чим більше значення ІВ, тим пологішою є в'язкісно-температурна характеристика РР.

Значення індексу в'язкості для вживаних в ОГП РР:

1) $ІВ = 90...100$ – для ОГП стаціонарних машин, що працюють у приміщенні;

2) $ІВ = 120...200$ – для ОГП, що працюють на відкритому повітрі, зокрема мобільних машин;

3) $ІВ = 200...360$ – для ОГП, що експлуатуються в умовах граничних низьких температур навколишнього повітря.

Для гідромашин мінімальне значення в'язкості складає 5...15 сСт, оптимальне 12...60 сСт і максимальне – не більше 1600...2000 сСт. Слід підкреслити, що хоча останніми роками на західноєвропейському ринку з'явилися гідромашини і гідрообладнання, адаптовані до роботи на підвищених температурах РР до 100...135 °С, ці досягнення є унікальними і отримані в результаті великого обсягу досліджень і експериментального досвіду в галузі нових конструкторських рішень і матеріалів, і не знижують важливості проблем, пов'язаних зі зношенням, зниженням ККД і довговічністю ОГП та РР.

Для оцінки трибологічних характеристик гідравлічних та трансмісійних олив за кордоном широко застосовують стенди, що імітують роботу зубчастих зачеплень, зокрема стенд для проведення тесту FZG A/8.3/90 за стандартом DIN 51 534, ч. 2. До складу стенду входять випробувальні зубчасті колеса, як складові ланки замкненого силового ланцюга, і навантажуванні в результаті пружної деформації від закручування одного з елементів. Випробування проводять при ступінчастому підвищенні навантаження (регламентується 12 ступенів), початковій температурі РР 90°С і швидкості обертання в 8,3 м/с. Після закінчення роботи на кожному ступені навантаження оглядають робочі поверхні зубів коліс, відзначають зміну виду робочих поверхонь коліс і проводять їх зважування. Критерієм оцінки властивостей РР прийнято різке зменшення маси випробувальних зубчастих коліс або руйнування (задирок) більше 20 % робочої поверхні їх зубів.

Для вітчизняних олив (гідравлічних, моторних і трансмісійних) використовується методика оцінки трибологічних характеристик на чотиришариковій машині тертя (ЧШМ) за ГОСТ 9490 (визначаються індекс задирок, навантаження зварювання і діаметр плями зносу). Трибологічні характеристики, отримані за різними методиками, можуть приблизно порівнюватися між собою: ступені 11 і 12 навантажень за тестом FZG еквівалентні значенням плями зносу 0,35 і 0,5 мм при навантаженні 200 і 400 Н, відповідно, 11-й ступінь навантаження еквівалентний індексу задирок більше 336 при випробуваннях на ЧШМ. При роботі на високому тиску пари тертя гідромашин працюють з великими контактними навантаженнями і для зниження зносу в гідравлічні оливи вводять антифрикційні і антизадири присадки. Тому при підборі РР для ОГП рекомендується оцінка їх трибологічних характеристик за тестом FZG на відповідному робочому (експлуатаційному) тиску (табл. 3) [8; 9].

Таблиця 3 – Вимоги до властивостей протизносу РР ОГП (рекомендації фірми «PARKER»)

Рівень тиску / сорт РР за DIN 51524	Тиск, МПа	Число ступенів навантаження (тест FZG)
0	8...12,5	≥ 5
1 – HL	12,5...20	5–6
2 – HL	20...25	7–9
3 – HLP	25...32	≥ 10
–	Більше 32	≥ 12

У цей час ринок РР представлений в Україні провідними сві-товими фірмами «British Petroleum», «Mobil», «Shell», «Petrofer», «Castrol», «Aral», «Optimol», «Tribol», «Molub-Alloy» та ін., фірмами країн СНД і вітчизними виробниками – ВАТ «АЗМОЛ» (м. Бердянськ) і «Кременчуцький нафтомасло-завод (НПЗ)» [8; 9].

Підвищений інтерес з погляду використання в гідромеханічних трансмісіях і двопотокових коробках зміни передач (що поєднують ОГП і планетарну коробку передач) представляють РР серії ATF для автоматичних коробок передач. Ці РР мають тривалий термін служби і практично без заміни можуть експлуатуватися в автоматичній трансмісії транспортного засобу. Історично склалося так, що вимоги до оливо ATF встановлюються провідними автомобільними фірмами «General Motors» і «Ford». Так ОАО «Гідросила» рекомендує оливу «А» (ТУ 38.1011282-89) для застосування в ОГП типу ГСТ з обмеженням у температурі зовнішнього повітря «мінус» 12°C. Для РР класу ATF виробники не наводять трибологічних характеристик, що ускладнює їх порівняння з іншими сортами, які рекомендуються для ОГП. Винятком є характеристики синтетичної РР «AMSOIL ATF», що має ІВ = 182 (значення в'язкості при 40 і 100°C складають 36 і 7 сСт, відповідно, властивості текучості зберігаються до «мінус» 56 °С) і значення плями зносу на ЧШМ – 0,4 мм при навантаженні 400 Н, частоті обертання 1200 хв⁻¹ і тривалості в 1 годину згідно зі стандартом ASTM D 41728В.

Сучасний досвід використання РР в ОГП мобільних машин [16...18]:

1) олива гідравлічна ВМГЗ (ТУ 38.101479-86) для експлуатації при температурі від «мінус» 40 до 60 °С;

2) олива гідравлічна МГЕ-46В (ТУ 38.001347-95) для експлуатації при температурі від «мінус» 5 °С до 70 °С;

3) олива індустріальна І-30А (ГОСТ 20799) як заміник МГЕ-46В;

4) олива трансмісійна ТАД-17і (ТУ У 23.2-00152365-142-201) на мінеральній основі, що містить багатофункціональну сірофосфорну, депресорну та антипінну присадки і призначена для змащування циліндрових, конічних, черв'ячних, спірально-конічних та гіпоїдних передач автомобілів й іншої техніки. Олива ТАД-17і належить до групи ТМ-5 за ГОСТ 1479.2 (GL-5 за стандартом API) і допускає роботу механізмів з ударними навантаженнями і при високій контактній напрузі;

5) оливи «Mobil» DTE 19M (гідролічна) і для автоматичних трансмісій ATF 200 (суфікс «А» [17]) використовувалися для аксіальнопоршневих гідромашин фірм «REXROTH BOSCH GROUP» і «SAUER- SUNDSTRAND». Сорт РР підбирали згідно з умовами експлуатації ОГП: DTE 19M при температурі 80...115°C; ATF 200 – при 60...80°C;

б) оливи для автоматичних трансмісій «Mobil ATF 200/220» (ІВ = 149/161, відповідно) застосовувалися за своїм цільовим призначенням у планетарних коробках зміни передач із гідролічним і електрогідролічним видами керування;

7) синтетична олива ГП №1 розробки «АЗМОЛ» досліджена на стенді з аксіальнопоршневою і шестеренною гідромашинами;

8) гідролічна олива МГЕ-10А (ОСТ 38.01281-82) з антиокислювальною і протизношуючою присадками випробувана в ОГП спеціальних інженерних машин.

Сучасною тенденцією є уніфікації РР для трансмісій, двигунів і ОГП тракторів. Наприклад, концерн ADDINOL LUBE OIL GmbH виробляє трансмісійно-гідролічні мінеральні оливи серії UTTO для тракторів (Universal Tractor Transmission Oil), будучи одночасно продуктом серії TOU (Tractor Oil Universal) [19; 8; 9]. Оливи UTTO відповідають по класифікації моторним SAE10w30, 10w40, 15w40 і 20w40 (UTTO Extra 20w-40 з температурою застигання «мінус» 39°C), трансмісійним GL-4(API) і гідролічним HLP-D і HVLP (DIN 51524 2/3). Наприклад, олива UTTO 10w30 відповідає гідролічному класу HVLP46 (H – олива гідролічна, V – з поліпшеними в'язкісно-температурними властивостями, L – з антиокисною присадкою, P – з протизношуючою присадкою, 46 – коефіцієнт кінематичної в'язкості РР – 41,4...50,6 сСт при температурі 40°C).

Застосування універсальних усесезонних оливок дозволяє спростити проблеми їх утилізації та виключити можливі помилки персоналу, пов'язані з використанням оливи не за призначенням, що може призвести до зниження ресурсу і надійності агрегатів (наприклад, при заправці ДВЗ трансмісійною оливою).

Одним із сучасних напрямків щодо забезпечення екологічної безпеки ОГП є застосування робочих рідин, що біологічно розкладаються (БІО-РР). Досить широко використовуються для гірничого устаткування і в гарячих цехах РР на водній основі мають недостатні змащувальні властивості, малу в'язкість, корозійну активність, схильність до кавітації та істотну залежність в'язкості від тиску. Перспективніше використання БІО-РР, які істотно ближче за своїми характеристиками до мінеральної оливи, проте практично не забруднюють навколишнє середовище. Біологічний розпад за нормами СЕС-L-33-T82 (21 день) для рослинних РР складає 70...98%, для поліалкіленгліколів 35...95%, для синтетичних ефірів 5...95%, а для мінеральних оливок не більше 15...30%. Оскільки гліколі є водорозчинними речовинами, то вони можуть забруднювати ґрунтові води і тому мало придатні. Таким чином, оптимальним є використання рослинних РР (наприклад, рапсової) і синтетичних ефірів, що добре розклада-

ються, причому присадки також повинні володіти властивостями біологічного розкладання.

Терміни заміни РР не регламентовані єдиними нормативними документами і зазвичай є рекомендованими в експлуатаційній документації. Для складних умов експлуатації і при низькій якості РР термін її експлуатації до повної заміни знаходиться в межах 500...2000 годин, а за ідеальних умов експлуатації може досягати 20 тис. годин.

Висновки

1. Приведений практичний досвід щодо застосування матеріалів партертя ковзання в сучасних насосах і гідромоторах може бути корисним при проектуванні нових гідромашин та їх ремонті. Це також стосується матеріалів ущільнень та робочих рідин.

2. Досвід використання технології ХАДО в об'ємних гідроприводах обмежений тільки досить короткочасними стендовими дослідженнями, тому потребує проведення ресурсних випробувань насосів і гідромоторів з моніторингом зношування прецизійних партертя ковзання та кочення.

3. Наведенні інформаційні та практичні результати досліджень плануються для викладання студентам-магістрам з дисципліни «проекування та випробування гідроприводів будівельних та дорожніх машин» в ХНАДУ.

Література

1. Підвищення зносостійкості вузлів об'ємного гідропривода / Глушкова Д.Б., Аврун Г.А., Рижков Ю.В., Воронков О.І., Степанюк А.І., Гнатюк А.А. // Вісник ХНАДУ, вип. 94, 2021. С. 80-84.

2. https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar/%D0%9C%D0%90%D0%A2%D0%95%D0%A0%D0%86%D0%90%D0%9B/2021/robotu_zapros_h/TKMtaM_Bulat.pdf / Застосування іонно-плазмової технології для підвищення довговічності елементів будівельно-дорожніх машин

3. Гуменюк І.А. Триботехнічні властивості сталі 12Х18Н10Т, поверхнено модифікованої комбінованими покриттями/ Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук // 05.02.04 – тертя та зношування в машинах. – Національний авіаційний університет. - Київ. – 2018. – 201 с.

4. Винокуров, Є.Г. Електроосадження модифікованих дисперсними частинками хромових покриттів та їх фізико-механічні властивості / О.Г. Винокуров, АМ Арсенкін [та ін] // Захист металів. - 2006. - Т.42. - №3. - С. 312- 316.

5. Долматов, В.Ю. Одержання зносостійких хромових покриттів із застосуванням наноалмазів різної природи / В.Ю. Долматов, Т. Фуджимура, Г.К. Буркат [та ін] // Надтверді матеріали. - 2002. - №6. – С. 16–21.

6. Корнійчук, І.М. Інтенсифікація хромування відновлюваних деталей сільськогосподарської техніки: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.20.03 / Корнійчук Ігор Миколайович. - М. - 1996. - 17 с.

7. Шнейдерман О.Ш. Спосіб виготовлення біметалевих деталей. Патент на корисну модель № 5646 / Шнейдерман О.Ш., Шнейдерман І.О.// Дата публікації 15.03.2005. – Індекс МПК С23С2/02.

8. Аврунін Г.А. Гідравлічне обладнання будівельних та дорожніх машин: підручник / (Г. А. Аврунін, І. Г. Кириченко, В. Б. Самородов); під ред. Г. А. Авруніна. – Харків: ХНАДУ, 2016. – 438 с.

9. Аврунин Г.А. Эксплуатация гидравлического оборудования строительных и дорожных машин: учебное пособие / Г. А. Аврунин, И. Г. Кириченко, В. Б. Самородов; под ред. Г. А. Аврунина. – Х.: ХНАДУ, 2013. – 438 с.

10. https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/31540042

11. <https://myzp.info/catalog/sial-dzhet-ukraina-proizvodstvo-uplotnitelej-dlya-silovoj-gidravliki-i-pnevmatiki-seal-jet-ukraine.htm>

12. Аврунин Г.А. Исследование влияния «ХАДО-технологии» на технические характеристики объемных гидравлических машин / Г. А. Аврунин // Промислова гідравліка і пневматика. – 2005. – №2(8). – С. 45-47.

13. Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи. Частина 1. Загальні поняття. Терміни та визначення (ДСТУ 3455.1-96). – [Введен с 1998-01-01]. – 48 с. – (Державний стандарт України).

14. Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи. Частина 4. Кондиціонери робочого середовища, гідропосудини та пневмопосудини, гідропроводи та пневмопроводи. Терміни та визначення (ДСТУ 3455.4-96). – [Введен 1998-01-01]. – 30 с. – (Державний стандарт України).

15. Смазочные материалы, Индустриальные масла и родственные продукты (класс L). Классификация. Группа Н (гидравлические системы). (ГОСТ 28549.5-90/ИСО 6743/4-82). – [Введен 1991-01-07]. – 5 с. – (Государственный стандарт СССР).

16. Исследование характеристик масла Тад-17и при испытаниях в объемном гидроприводе / Г.А. Аврунин, А.В. Истратов, Ю.Ф. Мартынов и др. // Промислова гідравліка і пневматика. – 2005. – № 2(8). – С. 20–24.

17. MOBIL. Каталог автомобильных и промышленных масел. MOBIL – 2003. – 21 с.

18. Shell. Каталог смазочных материалов // СП «Донбасс-Ойл» – офиц. дистрибьютор Shell East Europe Company Limited. – Донецк :– 2004. – 54 с.

19. <https://addinol.shevrox.com/universal-tractor-oils/addinol-utto/>