

Г.А. АВРУНІН, І.І. МОРОЗ

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ШЕСТЕРЕННИХ ГІДРОМАШИН ВАТ «ГІДРОСИЛА»

Ціль. Вивчення конструкції, гідравлічних схем агрегування, технічних характеристик та вимог щодо експлуатації шестеренних гідромашин виробництва вітчизняного підприємства «Гідросила» та їх порівняння з провідними виробниками. Сьогодні шестеренні насоси та гідромотори знаходять широке застосування у різних галузях промисловості, у тому числі в секторі машин для мобільного застосування: тракторах, будівельно-дорожніх та підйомно-транспортних машинах, машинах для аеродромного обслуговування та ін.

Метод. Аналіз типорозмірних рядів насосів і гідромоторів за основними технічними параметрами, у тому числі тиску, що розвивається, подачі робочої рідини, крутного моменту, частоти обертання і вихідної потужності і габаритно-масових показників, а також гідравлічних принципових схем агрегування пристроями захисту від перевантажень і енергозбереження.

Результати. Широка номенклатура шестеренних гідромашин «Гідросила» за робочими об'ємами, технічними характеристиками, конструктивними особливостями щодо захисту від перевантажень та енергозбереження, зокрема, застосування клапана пріоритету, дозволяє підвищити технічний рівень цілого класу сільськогосподарських, будівельно-дорожніх, комунальних та аеродромних машин. Наведені матеріали будуть також корисні у навчальному процесі для фахівців машинобудівного профілю, які вивчають об'ємний гідропривод як підвищення технічного рівня різних машин і механізмів.

Ключові слова: Насос, гідромотор, подача, потужність, частота обертання, ККД, конструкція, технічний рівень, вимоги до експлуатації.

G. AVRUNIN, I. MOROZ

ANALYSIS OF THE TECHNICAL LEVEL OF GEAR HYDRAULIC MACHINES OF HYDROSYLA JSC

Target. The study of the design, hydraulic circuits of aggregation, technical characteristics and requirements for the operation of gear hydraulic machines manufactured by the domestic enterprise "Hydrosila" and their comparison with leading manufacturers. Today, gear pumps and hydraulic motors are widely used in various industries, including in the sector of machines for mobile applications: tractors, road construction and lifting and transport machines, machines for airport maintenance, etc.

Method. Analysis of the standard size ranges of pumps and hydraulic motors according to the main technical parameters, including the pressure developed, the supply of the working fluid, torque, rotational speed and output power and overall weight indicators, as well as hydraulic circuit diagrams of aggregation by overload protection and energy saving devices.

Results. A wide range of gear hydraulic machines "Hydrosila" in terms of working volumes, technical characteristics, design features in terms of protection against overloads and energy saving, in particular, the use of a priority valve, allows you to increase the technical level of a whole class of agricultural, road construction, municipal and airfield machines. The given materials will also be useful in the educational process for specialists in mechanical engineering who study hydraulic fluid power drive as a means of raising the technical level of various machines and mechanisms.

Key words: Pump, hydraulic motor, feed, power, speed, efficiency, design, technical level, operating requirements.

Вступ. Шестеренні насоси є одним з основних джерел гідравлічної енергії для об'ємних гідроприводів (ОГП) цілого ряду машин. Шестеренними насосами комплектується переважна більшість гідростанцій, оснащених гідробаком, гідроапаратурою захисту від перевантажень, реверсування потоку робочої рідини (РР) і фільтрації.

Аналіз останніх досягнень і публікацій.

Практично всі провідні світові виробники гідравлічних компонентів випускають шестеренні насоси: Parker Hydraulics (США), Rexroth Bosch Group і Sauer-Danfoss (ФРН, Данія), Bondioli і Pavesi (Італія). Широку номенклатуру шестеренних насосів в Україні пропонує компанія Моторімпекс (м. Харків), зокрема фірм Atos, Caproni, Diplomatic, Metaris, Settima, Warynski Hydraulika і ін. [1-7].

В Україні основним виробником шестеренних насосів із зовнішнім зачепленням є ВАТ Гідросила (м. Кропивницький), включаючи моделі від 1 см³ до 400 см³ і секційні двопотокові та трипотокові насоси [8-10]. Номінальний тиск насосів 16; 20; 25 МПа, а максимальний (піковий) до 32,5 МПа відповідає сьгоднішньому світовому рівню. Слід зазначити унікальність насосів з робочим об'ємом 250 см³ і 400 см³ навіть на світовому ринку. Значно спрощують ОГП моделі насосів з вбудованими клапанами обмеження витрати і тиску.

Одним з найстаріших підприємств в Україні з випуску гідрообладнання є Вінницький завод тракторних агрегатів (ВЗТА), який виробляє шестеренні насоси із зовнішнім зачепленням з робочим об'ємом від 6 до 100 см³. З метою підвищення споживчих властивостей насосів при застосуванні в ОГП мобільних машин завод засвоїв виробництво насосів НШ12К і НШ14(32)КД з вбудованими гідроапаратами, що забезпечують сталість вихідної подачі незалежно від частоти обертання валу насоса і захист від перевантажень. Для систем змащення виробляються насоси низького тиску (до 1,8 МПа) – однопотокові з робочим об'ємом 100 см³ (НШ100М і НС100А-Л) і двопотокові НШ100-100А-Л з робочим об'ємом кожної секції в 100 см³.

ВАТ «Каменський машинобудівний завод» (Черкаська обл.) виробляє шестеренні насоси із зовнішнім зачепленням типу Г11 і насосних установок (насосів з приводними електродвигунами) типу БГ11 для стаціонарних і допоміжних ОГП. Робочий об'єм насосів від 5 до 100 см³ (10 моделей), подача від 5 до 133 л/хв, тиск нагнітання 2,5 МПа, потужність від 0,14 до 7,1 кВт. Передумовою для освоєння шестеренних насосів виявився високий технологічний рівень виробництва шестерень та інших прецизійних деталей на заводі, основною спеціалізацією якого, починаючи з 1967 р., було виготовлення за ліцензією фірми «BARMAG» (ФРН) шестеренних насосів для виробництв ниток і волокон з полімерів.

Сучасний технічний рівень шестеренних гідромашин провідних виробників характеризується мінімальними робочими об'ємами

0,2...1 см³, тиском до 30...40 МПа, застосуванням в якості РР негорючих водомістких і синтетичних, багатопотоковими комбінаціями насосів (до 6 секцій).

Насоси широко агрегуються гідроприроями, що підвищують функціональні можливості ОГП, які спрощують монтаж, знижують масу і вартість останнього: запобіжним клапаном і електромагнітним розвантаженням гідросистеми; клапаном пріоритету з розподілом витрат і функцією «чутливості до навантаження LS», гідророзподільником для зарядки гідропневмоакумулятора, комбінованим пріоритетним клапаном для гальмівної системи і рульового управління.

Шестеренні насоси з внутрішнім зачепленням фірми Eckerle відрізняються рекордними показниками за тиском (до 40 МПа) і мінімального рівня шуму (55 дБА). Робочий об'єм насосів від 5,4 до 50,3 см³, максимальна частота обертання 1800...4200 хв⁻¹, маса від 2,9 до 17,5 кг, ККД досягає 83...88%.

Мета та постановка задачі.

Розглянемо послідовно основні типи шестеренних гідромашини, їх технічні характеристики та конструктивні виконання в галузі вітчизняних та закордонних провідних виробників з метою оцінки їх технічного рівня і можливості застосування в мобільних машинах, зокрема тракторів та будівельно-дорожніх машин.

Технічні параметри шестеренних насосів та гідромоторів.

Розглянемо шестеренні насоси і гідромотори «Гідросила» серій Мастер, Антей, «К» та «Т». В табл. 1 приведені технічні характеристики шестеренних гідромашин з зовнішнім зачепленням «Гідросила» і для порівняння шестеренних насосів з внутрішнім зачепленням «Eckerle» (ФРН). Шестеренні гідромашини «Гідросила» випускаються в 16 серіях і більше ніж в 150 типорозмірах за робочим об'ємом від 1 см³ до 250 см³. Насоси серій Antey НШ А3(4) і Master НШ М3(4) мають номінальний тиск 16 або 20 МПа і широко використовуються багато років в мобільних машинах різного призначення, а в останні 30 років знайшли застосування також в стаціонарних приводах замість пластинчастих насосів, які в Україні не випускаються.

Серії насосів GPK і GPT, і гідромоторів GMK є результатом конструкторських розробок останніх років і мають підвищений до 25...29 МПа номінальний тиск, виконання з вмонтованими агрегатами, корпуси з чавуну та виконання з фланцями та вихідними валами за міжнародними стандартами. За максимальним і піковим тиском насоси наближаються до найкращих по цьому показнику зразків шестеренних насосів з внутрішнім зачепленням, зокрема фірми «Eckerle» (ФРН).

Таблиця 1 – Номенклатура і технічні характеристики шестеренних насосів і гідромоторів «Гідросила» та насосів із внутрішнім зачепленням фірми «Eckerle» (ФРН)

Серія гідромашин	V_p , см ³ / кількість значень V_p	Тиск p , МПа			$n_{\text{макс}}$, хВ ⁻¹	Маса, кг
		$p_{1\text{ном}}$	$p_{2\text{макс}}$	$p_{3\text{пік}}$		
НШ...А3	32-100/4	16	21	25	2400-3000	6,4-16,5
НШ250-А3	250	20	25	28	1920	–
ГМШ...3	32; 50	16	21	–	5000	–
НШ...М3	6-100/8	16	21	25	2400-4200	–
НШ...М4	20-50/5	20	25	28	3000-3600	4-4,5
НШ...М-3 plus	6-14/4	16	21	25	3600-4200	1,4-1,7
GP1K	1-10/13	14-25	16-27	18-30	3200-3400	0,8-1,3
GP2K	4,5-28/16	15-25	17-28	19-30	2500-4000	2,1-3,4
GP2,5K	16-45/13	17-25	19-28	21-30	2500-3000	4,8=6,2
GP3K	20-90/14	15-25	17-27	18-30	2200-3000	7-10
GP4K	63-200/14	14-22	16-24	18-26	2400-3000	10-28
GM2K	6,3-24,8/13	17-25	19-28	–	2900-3400	2,4-3,6
GM3K	20-71/12	17-25	19-27	–	2500-3000	6,9...8,8
GP2,5T	16-45/14	17-25	19-28	21-30	2500-3000	10-11
GP3T	34-100/6	18-28	20-30	22-31	1800-2800	12,9-16,3
GP4T	63-150/7	18-29	21-32	22-33	2500-2700	23,5-27,3
EIPN2	5,4...25/9	33	35	40	3600-4200	4,9...6,5
EIPN3	20...50/5	33	35	–	1800-3000	13,4...18
EIPS2	5,4...25/9	32	35	–	1800-3000	4,9...6,5

Примітки: НШ...А – насоси серії Antey; НШ...М – насоси серії Master; ГМШ і GM...К – гідромотори; EIPN – насоси фірми «Eckerle» (ФРН); V_p – робочий об'єм (діапазон значень в серії); кільк. V_p – кількість типорозмірів; $p_{1\text{ном}}$, $p_{2\text{макс}}$ і $p_{3\text{пік}}$ – тиск (номінальний, максимальний і піковий); $n_{\text{макс}}$ – максимальна частота обертання.

В табл. 2 приведена номенклатура та технічні характеристики шестеренних насосів «Гідросила» як результат систематизації каталогів ранніх випусків [1].

Насоси шестеренні серії «Master» (в кодї замовлення позначається буквою «М») виробляються для ОГП на номінальний тиск 16 МПа (група 3) і 20 МПа (група 4). Конструкція розроблена з урахуванням багаторічного досвіду фахівців заводу і світових компаній. Корпусні деталі насоса виконані зі спеціального алюмінієвого сплаву. Насоси виконання «МЧ» виробляються для важко навантажених ОГП з номінальним тиском до 20 МПа. Корпус насоса виконаний з високоміцного чавуну, що забезпечує високу надійність і довговічність насоса. Типорозмірний ряд насосів складається з робочих об'ємів від 6 см³ до 100 см³. На базі шестеренного насоса «Master» з робочим об'ємом 32 см³ випускається насос НШ32МП-0 з вмонтованими регулятором витрати і запобіжним клапаном для використання в ОГП рульових

систем автомобілів, тракторів, будівельно-дорожніх та сільгоспмашин. При номінальній частоті обертання 1500 хв^{-1} витрата (подача) насоса підтримується в діапазоні 13,5...33 л/хв при тиску 8 МПа. Запобіжний клапан настроюється на тиск 9...11 МПа. Максимальна частота обертання насоса в 2500 хв^{-1} дає можливість його застосовувати в ОГП мобільних машин.

Таблиця 2 – Номенклатура і технічні характеристики шестеренних насосів ВАТ «Гідросила» за каталогами ранніх випусків [1]

Група / виконання	$V_p, \text{ см}^3/$ кільк. V_p	Варіант конструкції	Тиск, МПа	$n_{\text{макс}}, \text{ хв}^{-1}$	Маса, кг
2 / 3	(4...16) /8	НШ...Г - 3	16/21/25	4200...3000	2,5...3,2
2 / 4	(6...16) /8	НШ...Д - 4	20/25/28	4000...3000	2,5...3,2
2 / 4	20 /1	НШ20Д - 4	16/20/25	3000	3,45
2,5 / 4	(16...40) /8	НШ...Д - 4	20/25/28	3600...3000	-
3 / 4	(20...50) /5	НШ...М - 4	20/25/28	3600...3000	4...4,5
3 / 4	63 /1	НШ63М - 3	16/21/25	3000	4,5
3 / 3	(32; 50) /2	НШ...А - 3	16/21/25	3000	6,4; 7,1
3 / 2	32 /1	НШ32У - 2	14/17,5	3000	5,1
3 / 3	32 /1	НШ32У - 3	16/21	3000	5,1
3 / 3	50 /1	НШ50УФ - 3	16/21	3000	5,5
4 / 3	(71; 100) /2	НШ...А - 3	16/21/25	2400	16,5; 16,5
/ 4	(63...125) /7	НШ...Г - 3	20/25/28	2400	-
4 / 3	(140...180) /3	НШ...Г - 3	16/21/23	1920	-
/ 4	(250) /1	НШ160А - 4	20/20/28	1920	-
/ 3	(250; 400) /2	НШ...А - 3	16/16/25	1920	43,6
6 / 4	(6...16) /8	НШ...D - 4	20/25	1920	2,5...3,2
6 / 3	19 /1	НШ19D6-3	16/21	1920	3,45

Примітки: 1. Значення тиску номінальне, максимальне короткочасне і максимальне пікове, відповідно; 2. $n_{\text{макс}}$ – частота обертання максимальна; 3. Насоси з індексом «D» мають установлювальні розміри за стандартом DIN

Секційне виконання насосів Master проводиться в номенклатурі двопотокових і трипотокових виконань. Двопотокові насоси мають два види комбінацій з базовими передніми типорозмірами НШ32М-3 і НШ50М-3, а в якості другого насоса можлива установка насоса з робочим об'ємом 6 см^3 , 10 см^3 , 14 см^3 або 16 см^3 . Передні базові насоси можуть поєднуватися з вибірково з задніми насосами в цьому ж діапазоні робочих об'ємів. Трисекційне виконання насосів має два типи комбінацій по робочому об'єму: $63 \text{ см}^3 \times 63 \text{ см}^3 \times 32 \text{ см}^3$ і $71 \text{ см}^3 \times 71 \text{ см}^3 \times 50 \text{ см}^3$.

Насоси шестеренні серії «Арте» (модернізована версія насосів НШ конструктивного виконання «А») добре зарекомендували себе в роботі в ОГП машин, експлуатованих на будівництві, землерийних роботах, в тому числі у важких кліматичних умовах і в умовах великої запиленості. Зведення до мінімуму гідравлічних навантажень на корпусні деталі, забезпечення комфортних умов роботи підшипників ковзання, а також розміщення їх у монолітному блоці, дає можливість насосам витримувати великі гідравлічні навантаження і мати високі експлуатаційні показники. Типорозмірний ряд насосів складається з робочих об'ємів від 32 см^3 до 250 см^3 (у каталогах ранніх випусків був насос з робочим об'ємом 400 см^3). Двосекційне виконання насосів Арте має два типи комбінацій по робочому об'єму: $71 \text{ см}^3 \times 50 \text{ см}^3$ і $100 \text{ см}^3 \times 50 \text{ см}^3$.

Насоси шестеренні серії «К» широко застосовуються в ОГП мобільних машин і відповідають світовим стандартам. На всіх етапах проектування і виробництва продукції «Гідросила» використовує передові світові тенденції постійного підвищення технічних характеристик, застосування тільки якісних матеріалів і комплектуючих виробів світових виробників. Система управління якістю на підприємстві сертифікована на відповідність міжнародному стандарту ISO 9001:2008. Насоси мають високі значення коефіцієнта подачі (не менше 0,94) і гідромеханічного ККД (не менше 0,88), низький рівень шуму і надійно працюють в ОГП мобільних машин. Габаритно-приєднувальні розміри насосів серії «К» відповідають міжнародним стандартам SAE, DIN і EUROPEAN. Насоси виробляються в типорозмірних групах GP1K, GP2K, GP2,5K, GP3K і GP4K з робочими об'ємами від 1 см³ до 200 см³. Максимальний тривалий (номінальний) тиск до 25 МПа. Монтажні фланці і задні кришки виготовлені з алюмінієвого сплаву або чавуну. Їх виконання насосів з регуляторами витрати, запобіжними і пріоритетним клапанами в задній кришці. Їх виконання насосів з підшипниковим вузлом для компенсації радіальних і осьових навантажень. Насоси виготовляються з наскрізним корпусом з високоміцного алюмінієвого прокату. Завдяки використанню суцільнолитих втулок з високоміцного алюмінієвого антифрикційного сплаву і металофторопластових підшипників насоси серії «К» мають високі експлуатаційні характеристики та характеристики міцності. Ущільнення втулок манжетами зі спеціальним зносостійким захисним елементом дозволяє знизити внутрішні витоки РР і домогтися високого коефіцієнта подачі. На рис. 1 наведені окремі деталі насоса серії GPK.

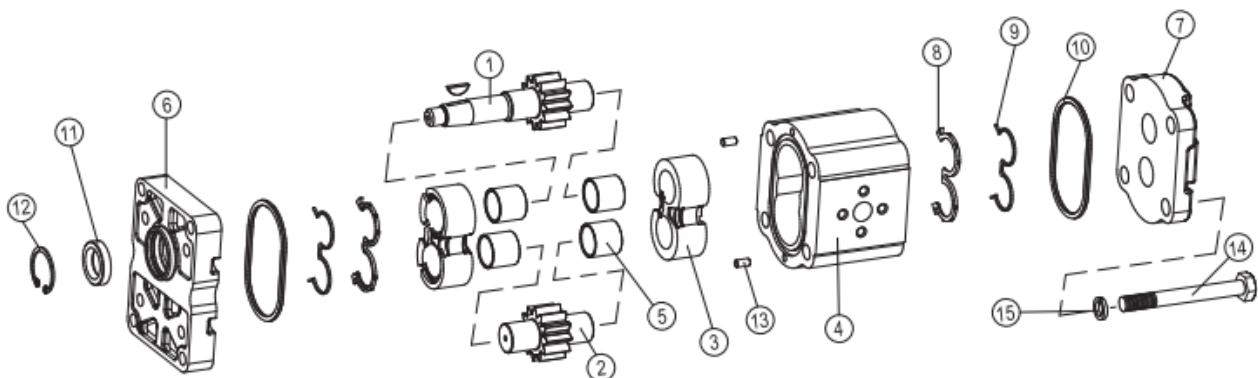


Рис. 1 – Деталі шестеренного насоса серії GPK:

1 – шестерня ведуча; 2 – шестерня ведена; 3 – корпус підшипника; 4 – корпус; 5 – металофторопластовий підшипник; 6 – монтажний фланець; 7 – кришка задня; 8 – манжета торцевого ущільнення; 9 – пластина захисна; 10 – кільце ущільнювача; 11 – манжета ущільнення валу; 12 – кільце стопорне; 13 – штифт; 14 – болт; 15 – шайба

Тиск на вході насоса максимальний 0,05...0,25 МПа. Екстремальні значення коефіцієнта кінематичної в'язкості РР в діапазоні 15...1000 мм²/с (сСт), рекомендований діапазон 17...65 мм²/с (сСт). Температура РР при експлуатації: «мінус» 20 °С...170 °С при ущільненнях з матеріалу NBR, «мінус» 20 °С...170 °С при ущільненнях з матеріалу FPM (VITON). Як РР рекомендуються гідравлічні оливи. При експлуатації на тисках до 20 МПа клас чистоти РР повинен бути не грубіше 19/16 згідно ISO 4406 або 9 згідно NAS 1638, при тиску понад 20 МПа – 18/15, що відповідно ISO 4406 або 10 згідно NAS 1638, що вимагає установки фільтроелементів 25 мкм і 15 мкм, відповідно.

Насоси серії К (рис. 2) виробляються у наступних основних виконаннях: а – базове правого або лівого обертання; б – із запобіжним клапаном КП, лінія зливу з якого спрямована на всмоктування насоса Н (модель VR); в – із запобіжним клапаном КП, лінія зливу з якого

спрямована в бак Б (модель VR1); г – з регулятором витрати РВ і запобіжним клапаном КП (модель VQR).

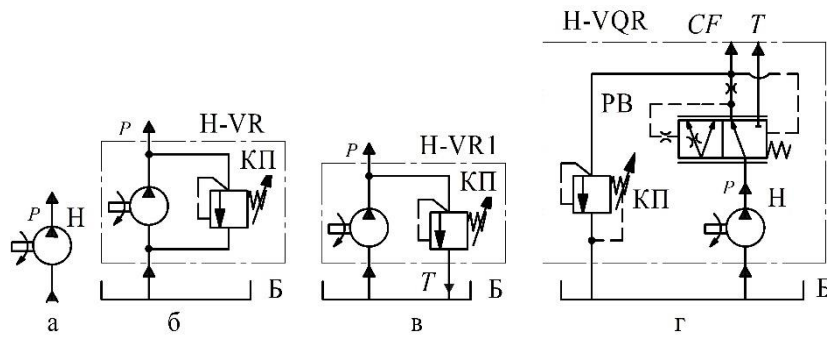


Рис. 2 – Шестеренні насоси серії К (основні виконання)

Гідравлічні схеми насосів серії К в комбінації з пріоритетним клапаном і запобіжним клапаном для забезпечення функціонування декількох гідродвигунів і енергозбереження представлені на рис. 3, причому лінія *CF* є пріоритетною (наприклад, для ОГП рульового управління колісного трактора), а лінія *EF* служить для забезпечення гідравлічною потужністю інших споживачів (наприклад, технологічного обладнання трактора).

Таким чином, є виконання:

- а – базове виконання з пріоритетним клапаном ПК (модель VP);
- б – з пріоритетним клапаном ПК і запобіжним клапаном КП на лінії пріоритетного потоку *CF*, а лінія зливу *T* з клапана повідомлена з лінією всмоктування насоса Н (модель VPR);
- в – з пріоритетним клапаном ПК і запобіжним клапаном КП на лінії пріоритетного потоку *CF*, а лінія зливу *T* з клапана повідомлена з баком Б (модель VPRT);
- г – з пріоритетним клапаном ПК і запобіжним клапаном КП на лінії непріоритетного потоку *EF*, а лінія зливу *T* з клапана повідомлена з баком Б (модель VPRET);
- д – з пріоритетним клапаном ПК, управління якого здійснюється від лінії LS, розміщеної за дроселем ДР регулювання витрати в ОГП (модель VPLS, динамічне LS управління);
- є – з пріоритетним клапаном ПК, управління якого здійснюється від лінії LS через окремий дросель ДР (модель VPLD, статичне LS управління);
- ж – з пріоритетним клапаном ПК, управління якого здійснюється від лінії LS через окремий дросель ДР і запобіжним клапаном КП на пріоритетному потоці (модель VPLRS);
- з – з пріоритетним клапаном згідно зі схемою «д» і запобіжним клапаном ПК в лінії пріоритетного потоку *CF*, а лінія зливу *T* з клапана КП повідомлена з всмоктуванням насоса Н (модель VPLRD);
- і – з пріоритетним клапаном згідно зі схемою «є» і запобіжним клапаном КП в лінії пріоритетного потоку *CF*, а лінія зливу *T* з клапана КП повідомлена з баком Б (модель VPLRST);
- к – з пріоритетним клапаном згідно зі схемою «з» і запобіжним клапаном КП в лінії пріоритетного потоку *CF*, а лінія зливу *T* з клапана КП повідомлена з баком Б (модель VPLRDT).

На рис. 4 представлені гідравлічні принципіві схеми шестеренних тандем-насосів (секційних або двопотокових) Н1 і Н2, які розрізняються загальною лінією всмоктування (а), двома окремими лініями всмоктування при роботі від загального гідробака (б) і окремими лініями всмоктування для індивідуальних баків (в).

Секційні насоси (комбінації або тандеми) серії «К» ви-пускаються в різних поєднаннях груп насосів: 1+1; 2+2; 2,5+1; 2,5+2; 2,5+2,5; 3+2; 3+3 і 4+2,5.

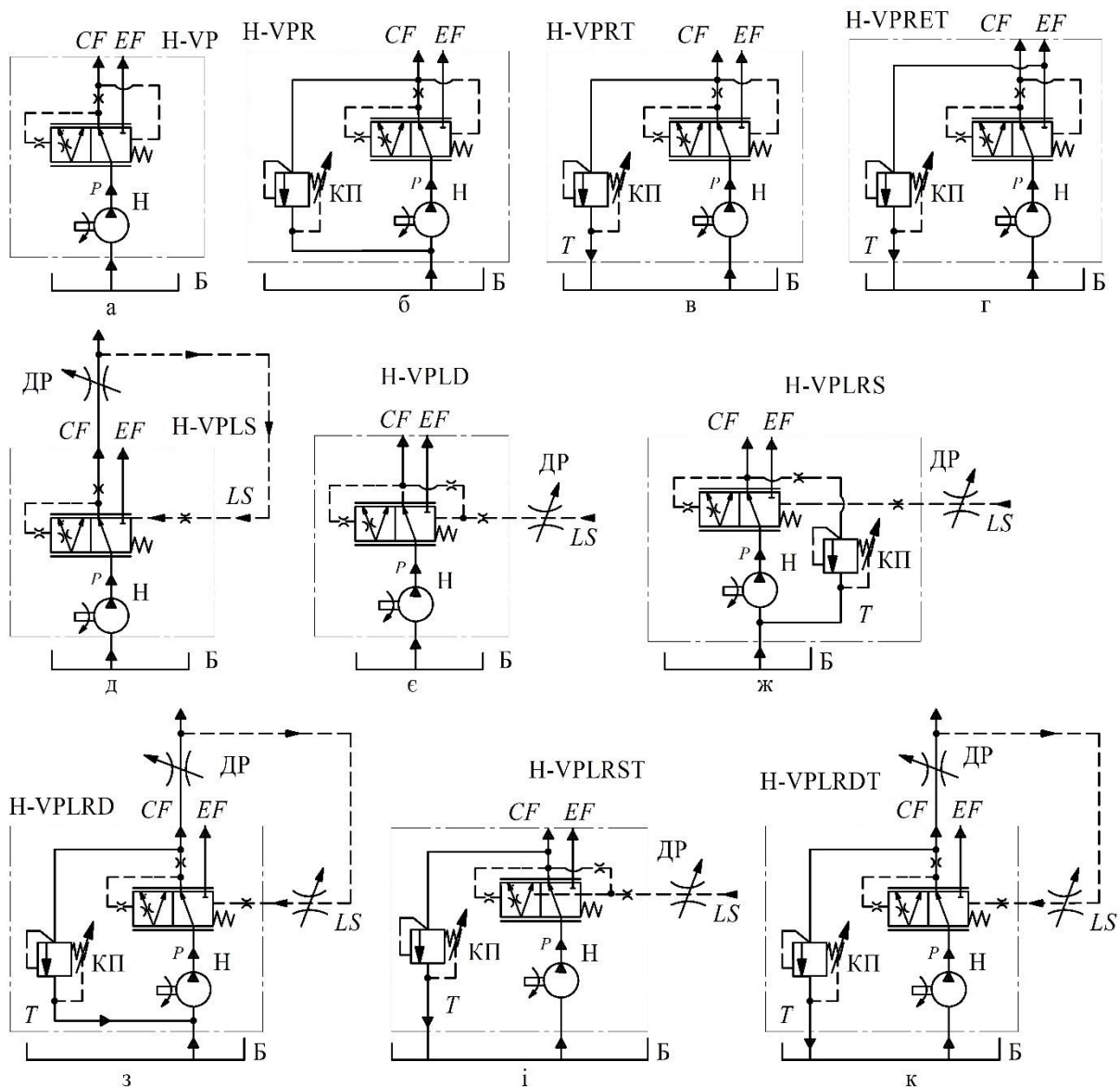


Рис. 3 – Гідравлічні принципові схеми насосів серії К з пріоритетним та запобіжним клапанами

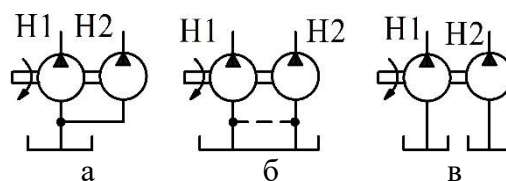


Рис. 4 – Шестеренні тандем-насоси «Гідросила»

Гідромотори серії «К» мають робочі об'єми від 6,3 до 71 см³ (типорозмірні групи 2 і 3) з реверсивним та неревверсивним обертанням вихідного валу. Номінальний тиск досягає 17...25 МПа, максимальний тиск 19...28 МПа, максимальна частота обертання до 2400..3400 хв⁻¹. Гідромеханічний ККД гідромоторів складає 0,85, а об'ємний 0,94. Гідромотори широко застосовуються в ОГП обертання вентиляторів, косарок, пневматичних сіялок та ін.

Шестеренні гідромотори серії К (рис. 5) мають наступні гідравлічні схеми застосування: а – неревверсивне виконання у напрямку обертання вихідного валу; б – реверсивне виконання; гідромотори з вбудованими запобіжним КП клапаном і зливом РР в лінію Т всмоктування насоса (в – модель VR) і безпосередньо в гидробак по лінії Т1 (г – модель VR1); із запобіжним

клапаном КП з пропорційним електричним управлінням і зворотним клапаном КО (д – модель VE). Застосування зворотного клапана КО дозволяє в ряді випадків уникнути кавітації, коли гідромотор обертається по інерції при відключеному підводі РР. При цьому РР всмоктується через зворотний клапан КО з лінії зливу T в лінію нагнітання p .

Шестеренні насоси та гідромотори серії «К» мають конструктивне виконання з посиленням підшипником вихідного валу, що дозволяє навантажувати останній радіальним навантаженням при передачі крутного моменту. Залежно від значень радіального навантаження, точки його застосування і частоти обертання валу гідромашини, довговічність підшипникового вузла може варіюватися від 300 годин до 10000 годин.

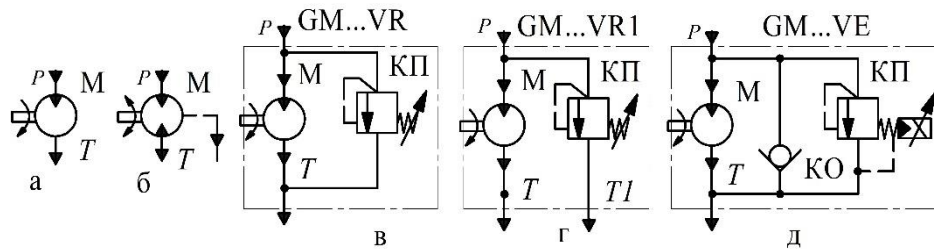


Рис. 5 – Шестеренні гідромотори серії К «Гідросила»

Насоси шестеренні типорозмірної групи 2,5 виготовляються з наскрізним корпусом з високоміцного алюмінієвого прокату (рис. 6). Монтажний фланець і кришка задня виконані з сірого чавуну. Суцільнолиті втулки виготовляються методом лиття під тиском з високоміцного алюмінієвого антифрикційного сплаву. Втулки ущільнюються манжетами з захисним елементом, що забезпечують надійний підтиск до торців шестерень і знижує внутрішні витоки РР і дозволяє домогтися високих робочих характеристик насоса. Відмінною особливістю цих насосів є наявність в монтажному фланці роликів радіально-наполегливих підшипників, які сприймають осьові і радіальні навантаження і допускають установку на провідний вал шківів або приводних шестерень, в т.ч. косозубих.

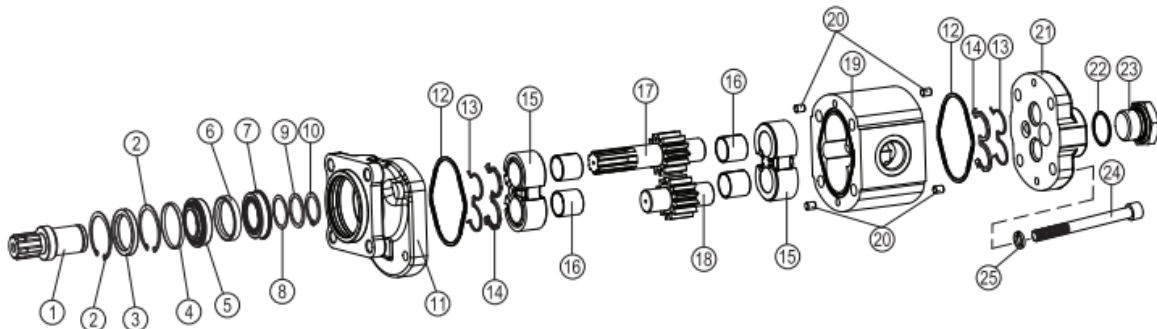


Рис. 6 – Шестеренний насос групи 2,5 «Гідросила»:

1 – вал; 2 і 10 кільця стопорні; 3 – манжета ущільнення валу; 4 – кільце; 5 і 7 – підшипники кочення; 6, 8 і 25 – шайби; 9 – шайба наполеглива; 11 – монтажний фланець; 12 і 22 – кільця ущільнювальні; 13 – пластина захисна; 14 – манжета торцевого ущільнення; 15 – корпус підшипника; 16 – підшипник ковзання; 17 – шестерня ведуча; 18 – шестерня ведена; 19 – корпус; 20 – штифт; 21 – кришка задня; 23 – заглушка; 24 – болт

Корпусні деталі шестеренних насосів типорозмірних груп 3 і 4 (рис. 7) виконані з високоміцного чавуну ВЧ450, до торців провідної і відомої шестерень примикають латунні компенсатори, на тильній торцевій поверхні яких виконані компенсаційні камери, ущільнені манжетами з захисними пластинами, цапфи шестерень спираються на металофторопластові підшипники ковзання, встановлені в розточеннях корпусних деталей. Відмінною особливістю цих насосів є наявність в монтажному фланці роликів радіально-наполегливих підшипників,

які сприймають осьові і радіальні навантаження і допускають установку на провідний вал шківів або приводних шестерень, в т.ч. косозубих.

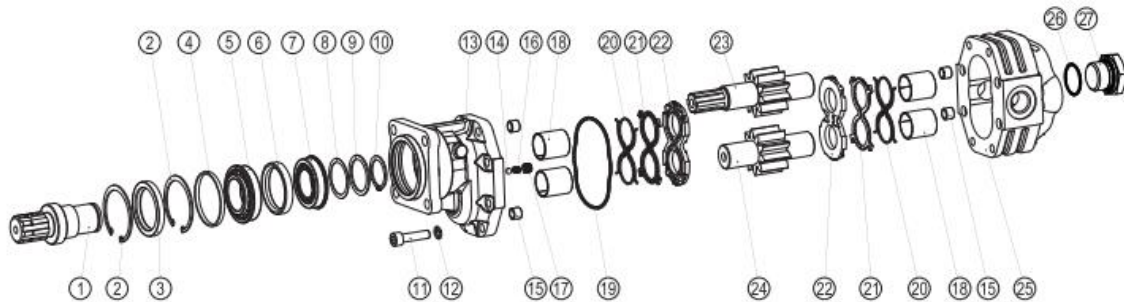


Рис. 7 – Шестеренний насос груп 3 і 4 «Гідросила»:

1 – вал; 2 і 10 – кільця стопорні; 3 – манжета ущільнювальна валу; 4 – кільце; 5 і 7 – підшипники кочення; 8 і 12 – шайби; 9 – шайба напологлива; 11 і 17 – гвинти; 13 – монтажний фланець; 14 – шарик; 15 – штифт; 16 – пружина; 18 – підшипник ковзання; 19 і 26 – кільця ущільнювальні; 20 – пластина захисна; 21 – манжета торцевого ущільнення; 22 – компенсатор; 23 – шестерня ведуча; 24 – шестерня ведена; 25 – корпус; 27 – заглушка

Секційні виконання насосів передбачають поєднання переднього і заднього насосів груп 3 (3 + 3) і переднього групи 4 з заднім групи 3 (4 + 3).

Рекомендовані умови експлуатації шестеренних гідромашин «Гідросила». Тиск на вході насоса максимальний 0,05 ... 0,25 МПа.

Екстремальні значення коефіцієнта кінематичної в'язкості РР 15... 1000 мм²/с (сСт), рекомендований діапазон 17...65 мм²/с (сСт).

Температура РР при експлуатації: «мінус» 40 °С...+100 °С при ущільненнях з матеріалу NBR, «мінус» 20 °С...+170 °С при ущільненнях з матеріалу FPM (VITON). Як РР рекомендуються гідравлічні оливи за стандартом DIN51525;

При експлуатації на тисках до 20 МПа клас чистоти РР повинен бути не грубіше 19/16 згідно ISO 4406 або 9 згідно NAS 1638, при тиску понад 20 МПа – 18/15 відповідно до ISO 4406 або 10 згідно NAS 1638, що вимагає установки фільтроелементів 25 мкм і 15 мкм, відповідно.

На рис. 8 наведені характеристики зміни тиску від часу для шестеренних гідромашин «Гідросила»: $p_{\text{ном}}$ – номінальний тиск, що не має обмеження по продовжності функціонування в ОГП об'єкта (номінальний тиск обмежений тільки за загальним часом напрацювання і може застосовуватися до ресурсу насоса згідно його технічними умовам);

$p_{2\text{макс}}$ – максимальний тиск, тривалість дії якого обмежена для насосів 30 с і для гідромоторів 100 мс; $p_{3\text{пік}}$ – піковий тиск, тривалість якого для насосів обмежена 120 мс (для гідромоторів «Гідросила» такий параметр не вказаний).

Таким чином, значення тиску, що перевищує номінальний, істотно обмежено за часом (тривалості дії), що вимагає від розробника ОГП ретельного контролю за його функціонуванням на етапі експериментального відпрацювання і внесення коректив в конструкцію. Зниження підвищених тисків реалізують шляхом збільшення часу перемикання гідророзподільника, установки «вторинних» запобіжних клапанів між гідророзподільником і гідроциліндром (гідромотором), збільшенням діаметра поршня гідроциліндра або робочого об'єму гідромотора.

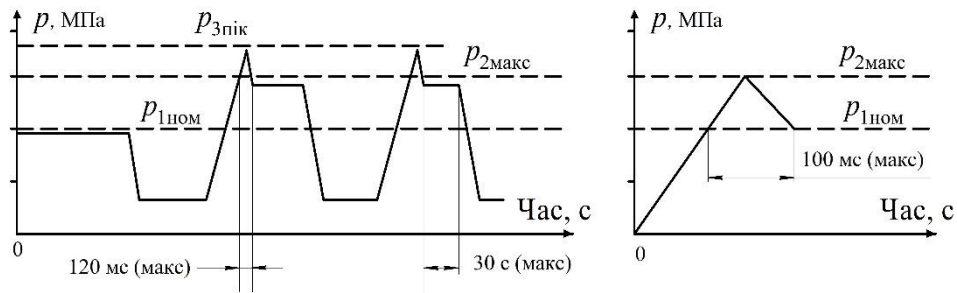


Рис. 8 – Діаграма тисків для насосів (а) і гідромоторів (б), яка використовується підприємством «Гідросила»

Аналіз результатів дослідження.

Розглянемо для порівняння шестеренні насоси закордонного виробництва [1-7; 13].

Шестеренні насоси фірми CASAPPA (Італія) серії PL в алюмінієвому корпусі призначені для роботи на максимальному тиску до 26 МПа, піковому до 30 МПа і частоті до 4000 хв⁻¹. У складі серії 36 моделей з робочим об'ємом від 1 до 91 см³ насоси можуть комплектуватися антикавітаційними, запобіжними і пріоритетними клапанами, у тому числі з системою енергозбереження LS, електрогідравлічними гідророзподільниками для розвантаження від тиску при пуску, клапанами запобіжними і реверсивними гідророзподільниками з пропорційним електромагнітним управлінням.

Шестеренні насоси в алюмінієвому корпусі серії Wishper (WSP...) відрізняються зниженим рівнем пульсацій і шуму – до 75 дБа. Робочий об'єм насосів – від 1,1 до 97 см³ (36 моделей), максимальний тиск 26 МПа, піковий 30 МПа, максимальна частота обертання до 4000 хв⁻¹. Насоси можуть комплектуватися додатковими гідроприроями за аналогією з серією LP. Серія насосів PolarisPH з чавунним корпусом відрізняється підвищеною міцністю і зниженим рівнем шуму. У серію входять 7 моделей насосів з робочим об'ємом від 19 до 33 см³ на максимальний тиск до 25 МПа і піковий до 30 МПа. Максимальна частота обертання до 3500 хв⁻¹. Насоси мають високий рівень агрегування додатковими гідроприроями за аналогією з серіями PL і WSP.

Шестеренні насоси із зовнішнім зачепленням серії KAPA мають чавунний корпус, робочий об'єм 17 моделей – від 5 до 74 см³, номінальний тиск 29 МПа (без обмеження за часом), максимальний 30 МПа тривалістю до 20 с і піковий 33 МПа тривалістю до 8 с. Максимальна частота обертання досягає 4000 хв⁻¹, мінімальна 300...350 хв⁻¹. Насоси можуть комплектуватися пріоритетними клапанами, у тому числі для системи енергозбереження LS. Чавунний корпус насоса забезпечує жорсткість конструкції і більш високу надійність в порівнянні з алюмінієвим. ККД насосів KAPPA CASAPPA досягає 0,88 при коефіцієнті витрати 0,98 і гідромеханічному ККД, що дорівнює 0,9, причому за коефіцієнтом витрати насоси знаходяться на рівні аксіальнопоршневих, істотно поступаючись гідромеханічному (0,95...0,97).

Фірмою CASAPPA випускаються також дві серії насосів: KP20 з робочим об'ємом 5,33 см³ і KP30 з робочим об'ємом 26,74 см³ у кількості типорозмірів 9 і 8, відповідно. На базі цих серій випускаються двопотокові (double) і трипотокові (triple) насоси з різними поєднаннями робочих об'ємів.

Монтажні приєднання насосів виконані за стандартами SAEISO, приєднувальні отвори нагнітання і всмоктування PP можуть мати різьби або фланці; абсолютний тиск на всмоктуванні 0,07...0,3 МПа, рекомендована в'язкість PP 12...100 сСт, температура PP при експлуатації від «мінус» 25 °С до +80 °С і до 110 °С і 125 °С при використанні ущільнень з матеріалу Viton фторированого каучуку. Тонкість фільтрації PP має бути не більше 25 мкм при тиску до 14 МПа і 10 мкм при тиску більше 14 МПа. Основною PP для насосів є мінеральні олії, допускається експлуатація на негорючих PP у тому числі, водовмісних, проте з

обмеженнями за тиском 5...15 МПа і частотою обертання в 1500 хв⁻¹. На рис. 9 наведено залежності зміни максимального тиску, частоти обертання і температури РР від вживаного в експлуатації сорту: мінеральні оливи (на нафтовій основі) за стандартами ISO/DIN; безводні синтетичні РР – HFD; емульсії води (до 40 %) в мінеральній оливі – HFB; водні розчини полімерів (звичайно менше 80 % води) – HFC; емульсії оливи (5...15%) у воді – HFA. Для кожного сорту РР вказані відповідні матеріали ущільнень або їх комбінації з металевими деталями насосів: N або Buna N (Nitrile Butadiene Rubber) – каучук бутадієн-нітрилу, який є стандартним матеріалом для гумових кілець ущільнювачів круглого перерізу і який за своїми характеристиками відповідає групам гуми 1; 2; 3 за ГОСТ 18829; V або Viton – фторований каучук; N і Bz – з гуми нітрилу і дисків ущільнювачів з бронзи; V і Bz (з Viton і дисків ущільнювачів з бронзи).

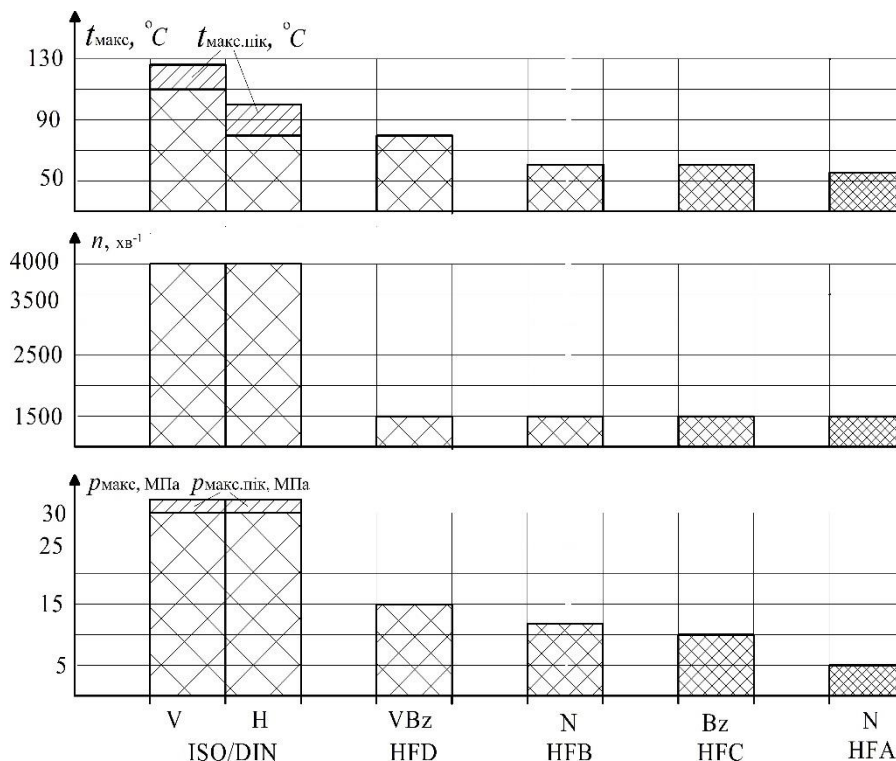


Рис. 9 – Обмеження за тиском, частотою обертання і температурою при експлуатації шестеренних насосів CASAPPA на різних сортах РР

Серія насосів з чавунним корпусом KAPPA COMPACT включає 33 моделі з робочим об'ємом від 19 до 151 см³ на максимальний тиск до 28 МПа і піковий до 33 МПа. Максимальна частота обертання до 3500 хв⁻¹. Насоси можуть агрегатуватися антикавітаційними та запобіжними (протиударними) клапанами, клапанами пріоритету, у тому числі з системою енергозбереження LS, гідророзподільником для розвантаження насоса від тиску при пуску.

Загальний вигляд шестеренного насоса з внутрішнім зчепленням серії IGP Diplomatic Hydraulics (Італія) наведено на рис. 10 [3;14]. До складу серії входять п'ять груп насосів з робочим об'ємом від 3,6 до 252 см³ (22 моделі) на номінальний тиск до 33 МПа і масимальний до 35 МПа. Максимальна частота обертання – від 1800 до 3600 хв⁻¹ залежно від значення робочого об'єму. Маса насосів – від 4 до 59 кг. Витрата насосів при частоті обертання в 1500 хв⁻¹ становить від 5,4 до 378 л/хв. Мінімальна частота обертання насосів 400 хв⁻¹.

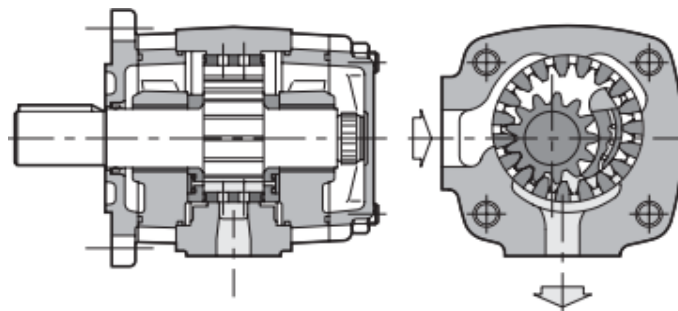


Рис. 10 – Шестеренний насос з внутрішнім зачепленням моделі IGP фірми Duplomatic Hydraulics

Насоси рекомендуються експлуатувати на оптимальній в'язкості РР в діапазоні 25...100 сСт і при екстремальних значеннях 10 і 2000 сСт. Температура РР – від «минус» 10 °С до +80 °С. Міра очищення РР, що допускається в експлуатації, 25 мкм, для підвищення довговічності насосів рекомендується установлення фільтроелементів, що затримують частки розміром більше 10 мкм. Залежності зміни коефіцієнта витрати і ККД насосів з робочим об'ємом 13 (013) і 32 (032) см³ від тиску нагнітання наведено на рис. 11. Коефіцієнт витрати насосів при частоті обертання 1500 хв⁻¹, в'язкістю РР в 46 сСт і тиску 25 МПа складає 0,93...0,98, а повний ККД – 0,87...0,93. Насоси відрізняються виключно низьким рівнем шуму – при частоті обертання 1500 хв⁻¹ і тиску 25 МПа рівень шуму складає 57...78 дБа, підвищуючись зі збільшенням робочого об'єму.

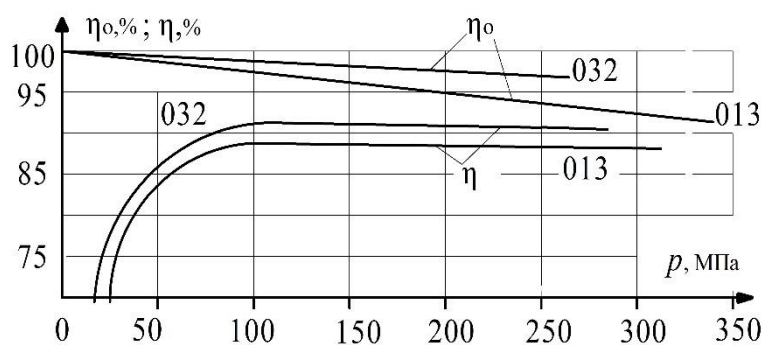


Рис. 11 – Зміна коефіцієнта витрати η_0 і загального ККД η від тиску шестеренних насосів з внутрішнім зачепленням серії IGP Duplomatic

Висновки.

Технічний рівень з точки зору досягнутого тиску та конструктивних агрегованих виконань шестеренних гідромашин «Гідросила» відповідає сучасному світовому рівню, а типорозмір з робочим об'ємом 250 см³ є унікальним зразком.

Поява в номенклатурі насосів в чавунному корпусі сприяє підвищенню надійності їх роботи. К недолікам виробництва шестеренних гідромашин «Гідросила» є відсутність виконань з внутрішнім зчепленням.

Список літератури

1. Аврунін Г.А. Гідравлічне обладнання будівельних та дорожніх машин / Г. А. Аврунін, І. Г. Кириченко, В. Б. Самородов. – Підручник, ХНАДУ, 2016. – 438 с.
2. <https://motorimpex.ua/catalog/gidravlicheskie-nasosy>
3. Об'ємні гідроприводи для машин технічного обслуговування аеродромів та літаків: монографія / Г. А. Аврунін, І. Г. Кириченко, І. Г. Пімонов, О. О. Резніков, В. О. Шевченко, О. В. Щербак. – Харків: ХНАДУ, 2022. – 305 с.
4. CASAPPA S.p.A. Fluid Power Design www.casappa.com.
5. CASAPPA Fluid Power Desine K 03 T A, Replaces: K 02 T A, Edition: 03/03.2006. – 108 p.

6. CONTINUUM Series Helical rotor pumps for high pressure and no noise application. The new generation of gear pumps for NO PULSATION & NO NOISE. SETTIMA MECCANICA SRL www.settima.it. – 60 p.
7. Hydraulic pumps, motors & Filters. CASAPPA S.p.A. Fluid Power Design www.casappa.com. DOC 05 RR. – 05/02/2014. – 36 p.
8. Hydrosila. Gear Pumps series T. – HS-GPT-03/112019. – 43 c.
9. Hydrosila. Gear pumps and motors series K. – HS-GPK-06/112019. – 135 c.
10. Hydrosila. Gear pumps series Master, Antey. – HS-GPMA-05/112019/ – 39 c.
11. IGP INTERNAL GEAR PUMPS Series 10. Duplomatic Hydraulics. – Duplomatic Oleodinamica SpA – 12 100/298 ED. – 20 p.
12. KAPPA. Hydraulic gear pumps and motors two piece cast iron housing. CASAPPA Fluid Power Desine K 03 T A, Replaces: K 02 T A, Edition: 03/03.2006, 108 p.
13. Гідро-та пневмосистеми в автотракторобудуванні: навчальний посібник / В. Б. Самородов, Г. А. Аврунін, І. Г. Кириченко, А. І. Бондаренко, Є. С. Пелипенко: за ред. В. Б. Самородова.; НТУ «ХПІ», Харків : ФОП Панов А. М., 2020, 524 с.

References (transliterated)

1. Avrunin H.A. Hidravlichne obladnannia budivelnnykh ta dorozhnykh mashyn / H. A. Avrunin, I. H. Kyrychenko, V. B. Samorodov. – Pidruchnyk, KhNADU, 2016. – 438 s.
2. <https://motorimpex.ua/catalog/gidravlicheskie-nasosy>
3. Obiemni hidropyvody dlia mashyn tekhnichnoho obsluhovuvannia aerodromiv ta litakiv: monohrafiia / H. A. Avrunin, I. H. Kyrychenko, I. H. Pimonov, O. O. Reznikov, V. O. Shevchenko, O. V. Shcherbak. – Kharkiv: KhNADU, 2022. – 305 s.
4. CASAPPA S.p.A. Fluid Power Design www.casappa.com.
5. CASAPPA Fluid Power Desine K 03 T A, Replaces: K 02 T A, Edition: 03/03.2006. – 108 p.
6. CONTINUUM Series Helical rotor pumps for high pressure and no noise application. The new generation of gear pumps for NO PULSATION & NO NOISE. SETTIMA MECCANICA SRL www.settima.it. – 60 p.
7. Hydraulic pumps, motors & Filters CASAPPA S.p.A. Fluid Power Design www.casappa.com. DOC 05 RR. – 05/02/2014. – 36 p.
8. Hydrosila. Gear Pumps series T. – HS-GPT-03/112019. – 43 c.
9. Hydrosila. Gear pumps and motors series K. – HS-GPK-06/112019. – 135 c.
10. Hydrosila. Gear pumps series Master, Antey. – HS-GPMA-05/112019/ – 39 s.
11. IGP INTERNAL GEAR PUMPS Series 10. Duplomatic Hydraulics. – Duplomatic Oleodinamica SpA – 12 100/298 ED. – 20 p.
12. KAPPA. Hydraulic gear pumps and motors two piece cast iron housing. CASAPPA Fluid Power Desine K 03 T A, Replaces: K 02 T A, Edition: 03/03.2006, 108 p.
13. Hidro-та пневмосистеми в автотракторобудуванні: навчальний посібник / В. Б. Самородов, Г. А. Аврунін, І. Г. Кириченко, А. І. Бондаренко, Є. С. Пелипенко: за ред. В. Б. Самородова.; НТУ «ХПІ», Харків : ФОП Панов А. М., 2020, 524 с.

Надійшла (received) 15.05.2023 р

Відомості про авторів / About the Authors

Аврунін Григорій Аврамович (Avrunin Grygoriy) – кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри «Будівельних і дорожніх машин», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0191-3149>; e-mail: griavrunin@ukr.net.

Мороз Ірина Іванівна (Moroz Irina), Харківський національний автомобільно-дорожній університет, старший викладач кафедри вищої математики, м. Харків, Україна; ORCID 0000-0001-5950-2089; e-mail: irinamoroz1@ukr.net.