

## АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ ГІДРОМАШИН ДЛЯ ПРИВОДІВ ЗАСОБІВ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Аврунін Г. А., Шевченко В. О., Шевченко Д. М., Щербак О. В.,  
Пімонов І. Г., Мороз І. І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Розглянуто конструктивні особливості, технічні характеристики і типорозмірні ряди аксіально-поршневих насосів і гідромоторів виробництва вітчизняного підприємства «Гідросила» для застосування в об'ємних гідроприводах машин для аеродромно-технічного обслуговування. Дано порівняльний аналіз із гідромашинами провідних західних виробників.

*Ключові слова:* аеродромно-технічне обслуговування, об'ємний гідропривід, аксіально-поршневі насоси і гідромотори, подача, крутний момент, частота обертання, потужність, типорозмірні ряди гідромашин.

### Вступ

У ХНАДУ ведуться роботи зі створення нового енергоефективного машинного комплексу та модернізації транспортного парку Повітряних Сил Збройних Сил України та Національної Гвардії з урахуванням потенціалу вітчизняного машинобудування та критичного імпорту агрегатів і вузлів. Зокрема розглядаються питання розробки силових елементів машин для аеродромів та літаків щодо технічного обслуговування, доставки вантажів, заправки паливом та боєкомплект з використанням модульних конструкцій на базі тракторів вітчизняного виробництва. Одним із завдань цієї роботи є створення концепції формування типорозмірного ряду транспортно-технологічних гідрофікованих модульних засобів для обслуговування літаків та методи зонування території навколо літака для забезпечення захисту літака від ушкоджень та безпечної роботи обслуговуючого персоналу під час маневрування модульного транспортно-технологічного засобу. Слід відмітити, що на цей час в сучасних тракторах широко застосовується об'ємний гідропривід (ОГП) в системах рульового управління і технологічного обладнання, а також у трансмісіях пересування за допомогою повнопотокових ОГП або гідромеханічних двопотокових безступеневих передач [1].

Таким чином, результати дослідження вирішують проблеми в рамках пріоритетних напрямів розвитку науки України, які належать до сфери національної безпеки та оборони шляхом впровадження нових енергоефективних транспортно-технологічних схем забезпечення боєздатності бойових літаків, створення зразків спеціальної мобільної техніки з урахуванням потенціалу вітчизняного машинобудування.

### Аналіз публікацій

Стаття відноситься до вирішення завдань аеродромно-технічного забезпечення (АТЗ) за допомогою ОГП. Під АТЗ розуміється комплекс заходів тилового забезпечення польотів авіаційних підрозділів і окремих літаків. [2]. АТЗ включає підготовку аеродрому, аеродромних споруд та наземної техніки забезпечення польотів, матеріальне забезпечення авіаційної техніки до польотів, евакуацію літаків, що зазнали аварії або зробили вимушену посадку в районі аеродрому.

Машини АТЗ сертифікуються за стандартами ІКАО. Для АТЗ використовують такі групи машин:

- для заправки азотом, киснем та гідравлічною або робочою рідиною (РР) для приводів літака;

- для завантаження обладнання на борт літака використовуються спеціальні машини – автоліфти (в сучасній технології – «мобільні підйомники з робочими платформами МППП» [3]). Конструктивно автоліфт має автофургон із гідробортом (об'ємним гідроприводом згідно з термінологією в ДСТУ 3455.1), який забезпечує функціонування ножничного підйомника і опорних аутригерів (виносних опор). Є також спеціальні медичні підйомники з ОГП для пасажирів на інвалідному візку або носилках;

- збиральної техніки, включаючи плужно-щіткові машини, шнекороторні снігоочисники, універсальні поливальні машини і спеціальні збирально-усмоктувальні причіпні машини, призначені для повного видалення з аеродромних покриттів сторонніх предметів, пилу, води і сльоти, що утворилися після використання хімічних реагентів. Практично всі перераховані вище машини використо-

вують в якості приводів робочих органів ОГП, а для пересування застосовують автономні шасі або причіпні з колісними тракторами.

Номенклатура машин для авіаційного забезпечення та їх основні технічні характеристики широко представлені в роботі [4]. Використання збиральної техніки для АТЗ широко реалізовано на базі тракторів МТЗ-1523 з двигуном потужністю 110 кВт [5]. Це універсальні машини для очищення снігу, прибирання доріг і аеродромів, а також їх застосовують в якості буксирів, сінокосарок і планування ґрунту. Ці машини оснащуються гідроприводними передніми відвалами, підмітальними щітками і шнеко-роторними снігоочисниками, причому з регулюванням висоти в залежності від снігового покриву. Снігоочишувальні ножі оснащуються сталевими ножами під час збирання великих об'ємів і ущільненого снігу, сітчастими для зняття з дорожнього полотна крижаного накату і обгумованими під час роботи з великою кількістю перешкод у вигляді бордюрів і огорож. Поливомийне обладнання забезпечує різні технології збирання, в тому числі під високим тиском. Все обладнання досить швидко і зручно переустановлюється і приєднується до гідросистеми базового трактора.

Питання використання гідропрстроїв в ОГП колісних тракторів ХТЗ, в тому числі рульового управління, технологічного обладнання і трансмісіях колісного ходу розглянуті в роботах [1;6–8]. Потужність двигунів тракторів ХТЗ до 130...177 кВт та досвід

використання гідравлічних систем дозволяють розраховувати на створення на їх базі засобів для АТЗ.

### Мета і постановка завдання

Метою статті є аналіз технічних характеристик сучасних аксіально-поршневих гідромашин вітчизняного виробництва для визначення можливості їх застосування в ОГП засобів для обслуговування аеродромів і літаків. Для проєктування гідрофікованих машин для АТЗ розглянемо номенклатуру і технічні характеристики сучасного гідрообладнання, пропонованого на ринку вітчизняними і провідними зарубіжними виробниками. Об'єктом вивчення є аксіально-поршневі гідромашини з регульованим робочим об'ємом – насоси та гідромотори, в тому числі для трансмісій, і насоси, що забезпечують енергозбереження в технологічному обладнанні.

В табл. 1 приведені технічні характеристики аксіально-поршневих насосів для ОГП із замкненим ланцюгом циркуляції РР (або із закритим контуром), а в табл. 2 характеристики аксіально-поршневих гідромоторів провідних інофірм [1; 9–11]. Всі ці гідромашини мають регульований робочий об'єм, що суттєво розширює діапазон частоти обертання, ефективність роботи та енергозбереження в мобільній машині. Позначки параметрів у таблицях:  $V_p$  – робочий об'єм;  $Q$  – подача насоса;  $M$  – крутний момент гідромотора;  $P$  – потужність;  $m$  – маса.

Таблиця 1 – Технічні характеристики аксіально-поршневих насосів для ОГП із замкненим ланцюгом циркуляції РР

Серія	$V_p$ , см <sup>3</sup>	$Q$ , л/хв / $\Delta p$ , МПа	$n$ , хв <sup>-1</sup>	ККД	$P$ , кВт	$m$ , кг	$m / P$ , кг /кВт
1. 90-42	42	210/ 48	5000	0,93	168	34	0,2
2. 90-250	250	688 /48	2750	0,93	550	154	0,28
3. Н1Р045	45	158/ 45	3500	-	119	41	0,34
4. Н1Р165	165,1	512/ 45	3100	-	384	96	0,25
5. А4VG/40 28	45	203/50	4300/4500	-	170	55	0,32
6. А4VG/40 250	280	714/50	2400/2550	-	595	160	0,27
7. Р6	98,3	295/ 42	3000	-	207	80	0,39
8. Р30	501,5	901/ 35	1800	-	526	340	0,65
9. NT12PV14	14	50/ 30	3600	-	25	15	0,6
10. М5РV115	115	380/ 42	3300	-	266	58	0,22
11. НCV50	50	200/45	4000	-	150	56	0,37
12. НCV125	124	322/45	2600	-	242	65	0,27

Примітки: 1. Виробники насосів (фірми): №1...4 – SAUER- DANFOSS; № 5 і 6 – Rexroth Bosch Group; № 7 і 8 – Denison; № 9 і 10 – BONDIOLI & PAVESI; № 11 і 12 – SAMHYDRAULICK (Brevini group); 2. Потужність визначена як добуток максимальних значень подачі і тиску.

Таблиця 2 – Технічні характеристики аксіально-поршневих гідромоторів

Серія	$V_p, \text{см}^3$	$M, \text{Нм} / \Delta p, \text{МПа}$	$n, \text{хв}^{-1}$	ККД	$P, \text{кВт}$	$m, \text{кг}$	$m / P, \text{кг/кВт}$
1. H2V30	30/8,7	215/45	5000/6500	-	113	19	0,17
2. H2V226	225/65	1610/45	2500/3200	-	421	106	0,25
3. A6VM 28	28,1/0	201/ 45	5550/8750	-	117	29	0,25
4. A6VM 250	250/0	1590 / 40	2500/3300	-	365	90	0,25
5. A6VM 1000	1000/0	6360/ 40	1600/2100	-	1066	430	0,4
6. 51-060	60/12	458/ 48	4400/7000	0,945	211	28	0,13
7. 51-250	250/50	1908/ 48	2700/4250	0,945	539	86	0,16
8. M5M V75	75/30	501/42	4000	-	210	40	0,19
9. M5M V115	115/40	768/42	3800	-	306	48	0,16

*Примітки:* 1. Виробники гідромоторів (фірми) : 1 і 2 – Denison; 3...5 – Rexroth Bosch Group; 6 і 7 – SAUER-DANFOSS; 8 і 9 – BONDIOLI & PAVESI; 2. Потужність визначена як добуток моменту на частоту обертання.

### Основна частина

ВАТ «Гідросила» (м. Кропивницький) виробляє аксіально-поршневі насоси і гідромотори для переважного застосування в ОГП сільськогосподарських і будівельно-дорожніх машин [12–14]. Ці гідромашини (АПГ) можуть працювати у складі трансмісій обертального руху, а також приводах технологічного обладнання із замкненим або розімкненим ланцюгами РР. Сучасні серії номенклатури аксіально-поршневих гідромашин «Гідросила»:

**S** – насоси серії PVS (НП) з регульованим робочим об'ємом (максимальні значення 33; 52; 71 і 90  $\text{см}^3$ ) і гідромотори MFS (МП) з постійним робочим об'ємом на номінальний тиск 36,7 і максимальний 42 МПа за ліцензією фірми «SAUER SUNDSTRAND» (серії 20 в Україні з 1980 року). Насоси мають пропорційну гідромеханічну (ручну) МН та електрогідравлічну трипозиційну ER системи керування і забезпечують реверсування потоку РР за постійного напрямку обертання приводного двигуна. Є можливість встановлення механічним шляхом зменшеного значення робочого об'єму. ОГП на базі насосів НП і гідромоторів МП називають гідростатичними трансмісіями ГСТ;

**H** – насоси серії PVH з регульованим робочим об'ємом (максимальні значення 33, 52; 71; 90 і 112  $\text{см}^3$ ) і гідромотори MFH з таким же постійним робочим об'ємом, і MVH з регульованим робочим об'ємом (максимальні значення 90 і 112  $\text{см}^3$ ) на номінальний тиск 42 і максимальний 45 МПа. Насоси і гідромотори мають гідромеханічну (ручну) МН, електрогідравлічну трипозиційну ER, гідравлічну HD та електрогідравлічну пропорційну EP системи керування. Гідромотори

серії MFH мають також скорочене виконання;

**H2** – насоси серії PVH2 з регульованим робочим об'ємом (максимальні значення 75; 90 і 112  $\text{см}^3$ ) і гідромотори MFH2 з таким же постійним робочим об'ємом на номінальний тиск 42 і максимальний 45 МПа. Насоси мають гідромеханічну (ручну) МН, електрогідравлічну трипозиційну ER, гідравлічну HD та електрогідравлічну пропорційну EP системи керування;

**PVC** – насоси з регульованим робочим об'ємом (максимальні значення 18; 28; 38; 45; 51; 63 і 71  $\text{см}^3$ ) на номінальний тиск 28 і максимальний 35 МПа. Насоси забезпечені автоматичними регуляторами постійності тиску і комбінованим регулятором подачі й тиску типу «Load Sensing» (чутливий до навантаження відповідно до західної термінології), дозволяючи істотно знизити енергоспоживання і нагрівання ОГП технологічного обладнання мобільних машин;

**PVC1** – насоси з регульованим робочим об'ємом (максимальні значення 28; 45; 63 і 85  $\text{см}^3$ ) на номінальний тиск 21 і максимальний 25 МПа. Насоси забезпечені автоматичними регуляторами такого ж типу, як і в серії PVC;

**PBF** (насоси) і **MBF** (гідромотори) з похилим блоком циліндрів і постійним робочим об'ємом. Серії PBF10 і MBF10 мають робочий об'єм 28; 56 і 112  $\text{см}^3$  на номінальний тиск 25 і максимальний 40 МПа. Серії PBF20 і MBF20 мають робочий об'єм 56; 80 і 107  $\text{см}^3$  на номінальний тиск 40 і максимальний 45 МПа;

**MBV10.4.112** – гідромотор з регульованим робочим об'ємом 112  $\text{см}^3$  на номінальний тиск 25 і максимальний 45 МПа. Гідро-

мотори мають гідромеханічну (ручну) МН, електрогідролічну трипозиційну ЕР, гідролічну НД та електрогідролічну пропорційну ЕР системи керування напругою 12 або 24 В постійного струму.

АПП серій S, H, H2 та PVC побудовані на єдиній базовій конструкції з похилим диском типу ліцензійної серії 20, а АПП серій PBF, MBF і MBV є оригінальною розробкою з похилим блоком циліндрів і є суттєвим досягненням у конкуренції з АПП виробництва ПСМ [15].

Регулятори зміни робочого об'єму гідромашин є спостережними із заданням режиму регулювання оператором і автоматичними. Спостережні регулятори застосовують в ОГП із замкненим або розімкненим ланцюгами циркуляції РР в системах машинного (об'ємного) регулювання швидкості гідромотора, а автоматичні – в системах дросельного регулювання гідромотора або гідроциліндра.

Характеристики регуляторів спостережного типу приведені на рис. 1 у вигляді залежності подачі насоса  $Q_n$  від положення регульовального органу  $x$ : кута нахилу  $\varphi$  ручки переміщення приводу спостережного золотника (гідромеханічний регулятор типу МН), тиску керування  $p_y$  редукційним гідроклапаном на вході в гідроциліндр зміни кута похилого диску (гідролічний регулятор типу НД), або значення струму  $I$  на пропорційних електромагнітах (пропорційний регулятор типу ЕР). Незалежно від конструктивних відмінностей регуляторів їх теоретичні характеристики носять лінійний характер

$$Q_{n,i} = 10^{-3} V_{рн,i} \cdot n_n = 10^{-3} V_{рн} \frac{x-a1}{b1-a1} \cdot n_n, л/хв, (1)$$

де  $V_{рн}$  – максимальне значення робочого об'єму насоса,  $см^3$ ,  $V_{рн,i}$  – поточне значення робочого об'єму насоса,  $см^3$ ,  $a1...b1$  – зона керуваної мускульної або електричної дії на спостережний золотник або тиску на гідроциліндр регулятора насоса;  $x$  – керувальна дія в діапазоні від  $a1$  до  $b1$  (діапазон від 0 до  $\pm a1$  є зоною нечутливості з причини витоків РР із поршневих груп та розподільного вузла),  $n_n$  – частота обертання насоса,  $хв^{-1}$ .

Слід відмітити, що зона нечутливості насоса  $\pm a1$  є меншою за зону нечутливості гідромотора  $\pm a2$  за рахунок витоків РР в гідромоторі.

Таким чином, для регулятора з гідролічним керуванням значеннями  $a1...b1$  є тиск  $p_y$ , створюваний у порожнинах силового гідроциліндра; для регулятора з електрогідролічним керуванням значеннями  $a1...b1$  є електричні сигнали (струму  $I$  або напруги  $U$ ) для дії на пропорційний електромагніт редукційного клапана, для регулятора з мускульним керуванням значеннями  $a1...b1$  є відхилення тяги керування  $\varphi$ . Значення тиску керування, електричного сигналу або кута відхилення тяги наводяться постачальниками гідромашин, дозволяючи споживачу підібрати відповідну за характеристиками апаратуру керування або кінематику механізму мускульного керування. Фактична зона регулювання частоти обертання гідромотора позначена як  $\pm a2...b2$ .

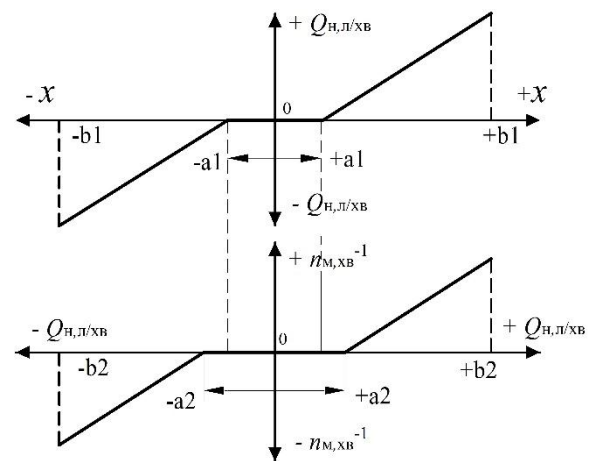


Рис. 1. Теоретичні характеристики зміни подачі насоса  $Q_n$  від керуального сигналу  $x$  регулятора робочого об'єму насоса та частоти обертання гідромотора  $n_m$  від подачі насоса  $Q_n$  для ОГП із замкненим ланцюгом циркуляції РР

Частота обертання гідромотора пропорційна подачі РР, підведеної від насоса

$$n_{m,i} = n_n \frac{V_{рн,i}}{V_{рм}} \eta_{он} \eta_{ом} = n_n \frac{V_{рн}}{V_{рм}} \frac{(x-a1)}{(b1-a1)} \eta_{он} \eta_{ом}, хв^{-1}, (2)$$

де  $V_{рм}$  – робочий об'єм гідромотора (постійне значення),  $см^3$ ;  $\eta_{он}$  і  $\eta_{ом}$  – об'ємний ККД насоса (коефіцієнт подачі) і гідромотора відповідно.

За екстремальних значень  $x = a1$  і  $x = b1$  одержуємо нульову і максимальну частоти обертання гідромотора

$$n_{m,i} = 0 \text{ при } x = a1 \text{ і}$$

$$n_{m,\text{макс}} = n_n \cdot \frac{V_{pH}}{V_{pM}} \cdot \eta_{OH} \cdot \eta_{OM} \text{ при } x = b1. \quad (3)$$

За необхідності визначення значення тиску редукування на вході в силовий гідроциліндр або значення електричного сигналу одержимо таку залежність

$$x = a1 + \frac{V_{pM} \cdot n_{m,i} \cdot (b1 - a1)}{V_{pH} \cdot n_n \cdot \eta_{OH} \cdot \eta_{OM}}. \quad (4)$$

Таким чином, можливе попереднє визначення керуючого сигналу для його подальшого завдання під час роботи ОГП (безпосередньо тиску або електричного сигналу, формованого електронним блоком керування пропорційним електромагнітом).

В разі використання гідромотора з регульованим робочим об'ємом його частота обертання визначається за формулою

$$n_{m,i} = n_n \frac{V_{pH,i}}{V_{pM,i}} \eta_{OH} \eta_{OM}, \text{ хв}^{-1}, \quad (5)$$

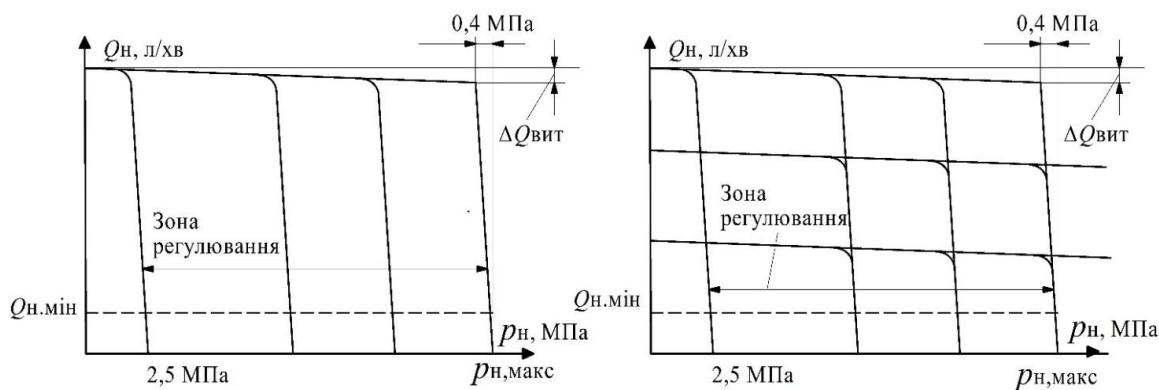


Рис. 2. Технічна характеристика подачі від тиску в насосах з автоматичними регуляторами; а – постійності RP і RPR; б – подачі і тиску RPF і PPF1

Зниження втрат потужності як результат ефективності енергозбереження при використанні регулятора типу «постійності тиску» визначають за формулою

$$\Delta P = \frac{p_n}{60} \left( \frac{Q_{n,\text{макс}}}{\eta_{\text{макс}}} - \frac{Q_{n,\text{мін}}}{\eta_{\text{мін}}} \right), \text{ кВт} \quad (6)$$

де  $Q_{n,\text{макс}}$  – теоретична подача насоса з максимальним робочим об'ємом, л/хв.;  $Q_{n,\text{мін}}$  –

де  $V_{pM,i}$  – поточне значення робочого об'єму гідромотора,  $\text{см}^3$ .

Таким чином, за зменшення робочого об'єму гідромотора його частота обертання збільшується і такий режим використовують в ОГП трансмісій в разі виникнення потреби у підвищенні швидкості, коли момент супротиву транспортного засобу зменшується.

На рис. 2 наведені залежності зміни подачі аксіально-поршневих насосів серій PVC і PVC1, забезпечених автоматичними регуляторами зміни робочого об'єму. Для регуляторів сталості тиску (рис. 2, а) теоретична подача насоса є постійною (горизонтальна лінія), а фактична подача  $Q_n$  знижується через витоки  $\Delta Q_{\text{вит}}$  по поршневих парах і розподільчому вузлу насоса. За допомогою механізму регулювання насоса відбувається налаштування на максимальний тиск, при якому регулятор спрацьовує і подача насоса знижується до мінімального значення, яке компенсує тільки витоки в насосі.

Автоматичний регулятор подачі і тиску виконує дві функції (рис. 2,б) – встановлює автоматично необхідну споживачем подачу і знижує витрату при спрацьовуванні регулятора тиску.

теоретична мінімальна подача насоса зі зменшеним регульованим робочим об'ємом на режимі спрацьовування регулятора, яка компенсує тільки витоки в насосі, л/хв.;  $\eta_{\text{макс}}$  – загальний ККД насоса з постійним робочим об'ємом;  $\eta_{\text{мін}}$  – загальний ККД насоса на режимі спрацьовування регулятора;  $p_n$  – тиск нагнітання насоса (приймаємо постійним для регульованого і нерегульованого режимів), МПа.

Порівняльні характеристики за вихідною потужністю насосів, крутним моментом гідромоторів із зазначенням номінальної частоти обертання типорозмірних рядів гідромашин «Гідросила» наведені на рис. 3. На базі цих гідромашин можуть створюватися ОГП потужністю від менше 30 кВт до 250 кВт і крутним моментом від 200 Н.м до 740 Н.м. Слід зазначити, що серія гідромоторів MFH2 за однакових значень номінального тиску в 42 МПа і, відповідно, крутного моменту, порівняно із серією MFH, має більш високу номінальну частоту обертання.

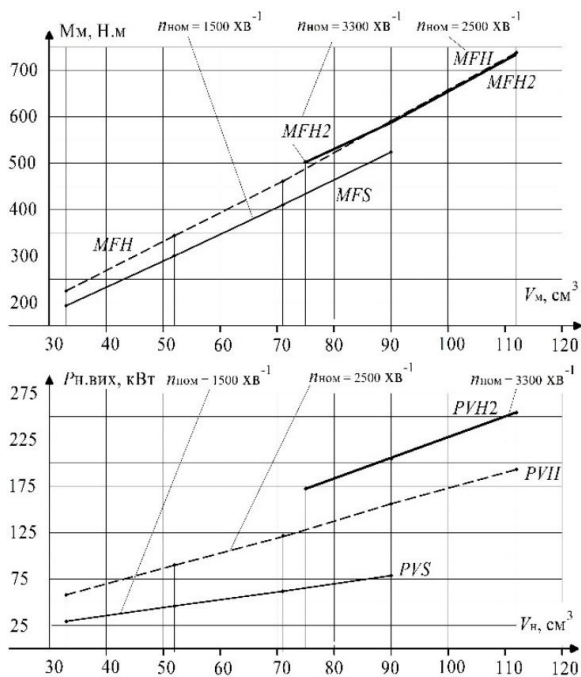


Рис. 3. Значення вихідної потужності насосів та крутного моменту гідромоторів «Гідросила» серій S, H та H2

Ця серія (MFH2) має тільки три типорозміри за робочим об'ємом (75, 90 і 112  $\text{cm}^3$ ) і відрізняється від серії H більш високою номінальною частотою обертання (3300  $\text{хв}^{-1}$  і 2500  $\text{хв}^{-1}$  відповідно), що дає навіть за однакового номінального тиску в 42 МПа приріст потужності майже більш ніж в 1,3 рази. Насоси серій H і H2, в порівнянні з серією S, мають підвищену номінальну частоту обертання і тиск (2500  $\text{хв}^{-1}$  і 1500  $\text{хв}^{-1}$ , 42 МПа і 35,7 МПа відповідно), що дає істотний приріст потужності майже у два рази.

Насоси з допоміжним насосом підживлення героторного типу дають можливість будувати конструкції з двох аксіально-

поршневих насосів (тандем) та доповнювати їх шестеренним насосом (ця серія має назву «Н+»). Першим насосом у такій конструкції повинен бути насос PVH (рис. 4); до нього приєднують насоси PVH або PVS, а до останнього – шестеренний насос GP. Багатопотокові насоси застосовують в ОГП за умов декількох робочих органів або в тих випадках, коли потужності одного насоса не вистачає.

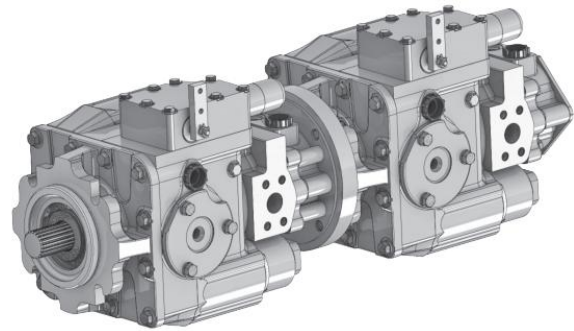


Рис. 4. Аксіально-поршневі тандем-насоси «Н+» із вбудованим шестеренним насосом для приводів технологічного обладнання мобільних машин

На рис. 5 приведені залежності подачі та вихідної потужності насосів серії PVC (PVC1) від значення робочого об'єму для всіх типорозмірних рядів. Таким чином, номінальна подача насосів охоплює діапазон від 30 до 170 л/хв, а потужність досягає 55 кВт, що дає можливість вести проектні роботи зі створення ОГП для технологічного обладнання для широкої гами мобільних машин.

Аксіально-поршневі гідромашини з похилим блоком циліндрів серій BF10, BF20 і BV10 відносяться до розробок ВАТ «Гідросила» останніх років. Значною мірою насоси і гідромотори такої конструкції призначені для повної заміни гідромашин виробництва ПСМ («Пневмостроймашина», РФ) і частково ряду типорозмірів ВАТ «Будгидравліка» (м. Одеса).

На рис. 6 приведені значення вихідної потужності насосів PBF10(20) та крутного моменту гідромоторів MBF10(20) типорозмірних рядів виробництва «Гідросила». Там же вказані значення номінальної частоти обертання гідромоторів. Для серії PBF10 номінальна потужність складає від 25 кВт до 50 кВт, а для серії PBF20 – від 75 кВт до 110 кВт. Таким чином, нові гідромашини з похилим блоком циліндрів відповідають вимогам

для ОГП широкого ряду мобільних машин переважно будівельно-дорожнього напрямку розвитку.

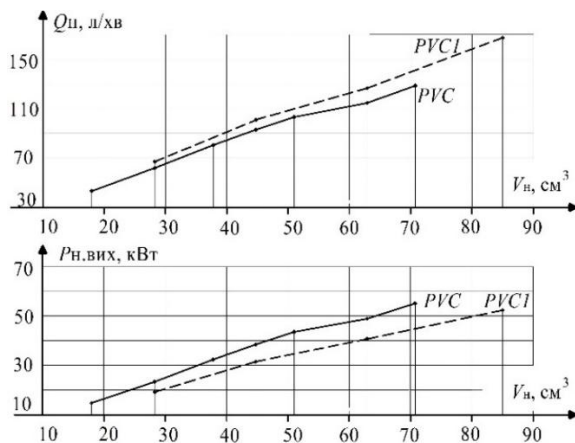


Рис. 5. Подача та вихідна потужність насосів серії PVC (PVC1) від значення робочого об'єму для обох типорозмірних рядів

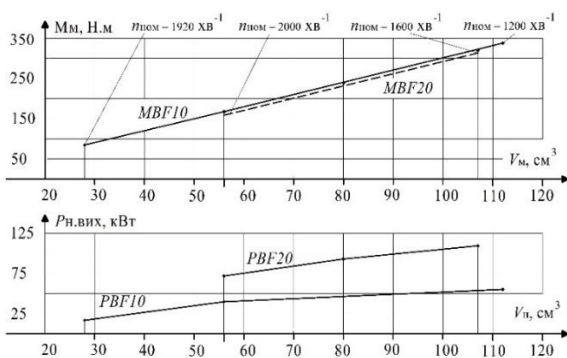


Рис. 6. Значення вихідної потужності насосів PBF10(20) та крутного моменту гідромоторів MBF10(20) залежно від їх робочого об'єму

Аксіально-поршневі гідромашини в Україні випускають ще декілька підприємств. Одеське ВАТ «Будгідраліка» випускає насоси та гідромотори з постійним робочим об'ємом 56; 112 і 224 см<sup>3</sup> (діаметри поршнів 20, 25 і 32 мм, відповідно) і насоси з регульованим робочим об'ємом 112 і 224 см<sup>3</sup>, в тому числі здвоєні 2×112 см<sup>3</sup> на номінальний тиск 20(25) МПа, максимальний 32(45) МПа [16].

В останні роки заводом освоєний випуск регульованого аксіально-поршневого гідромотора з робочим об'ємом 112 см<sup>3</sup> за типом «TRIMOT» з гідравлічним керуванням. Гідромашини першого покоління на номінальний тиск 16 МПа мали бронзовий блок циліндрів, для підвищених тисків, з метою зниження деформацій здійснено перехід на ста-

левий блок циліндрів із бронзуванням поверхонь отворів для поршнів і контактування з розподільним диском.

В рамках конверсії спробу виходу на ринок цивільних галузей промисловості зробили підприємства військово-промислового комплексу, що спеціалізуються на ОГП для авіаційних гідросистем, зокрема Харківський завод «ФЕД», Дніпропетровський і Вовчанський агрегатні заводи. При цьому було проведено уніфікацію за габаритними та приєднувальними розмірами з гідромашинами загальногромадського застосування. Однак широкого застосування ці аксіально-поршневі гідромашини в народному господарстві не знайшли, у зв'язку з низкою техніко-фінансових проблем.

На рис. 7 представлено ОГП з гідромашин серії Н у складі стенда для дослідницьких випробувань. До блоку насоса БН входять насос Н із регульованим робочим об'ємом, насос підживлення Нп із запобіжним клапаном КПп, зворотні (антикавітаційні) клапани КО1 і КО2, гідророзподільник Р зі спостережним золотником системи управління гідроциліндрами Ц1 і Ц2 зміни кута нахилу диска регулятора робочого об'єму насоса, два редуційні клапани КР1 і КР2 з електромагнітним пропорційним управлінням, які забезпечують переміщення спостережного золотника гідророзподільника Р, тягу зворотного зв'язку ЗЗ між спостережним золотником і гідроциліндрами. Система дроселів ДР1...ДР3 призначена для регулювання часу виходу регулятора насоса на задану подачу РР. Обертання насоса здійснюється від приводного електродвигуна Е1 в балансирному виконанні, який забезпечує вимір споживаного крутного моменту за допомогою вимірювача ВМ1. Блок насоса БН з'єднаний з блоком гідромотора БМ гумовими рукавами високого тиску РВД1 і РВД2.

До блоку БМ входять гідромотор М з постійним робочим об'ємом, «промивний» гідророзподільник Рп і клапан тиску КД системи охолодження вузлів тертя гідромотора, лінії дренажу 1 м і 2 м для відводу зовнішніх витоків з корпусу гідромотора. Дренажна система (відведення зовнішніх витоків з корпусів насоса і гідромотора) побудована таким чином, щоб РР з корпусу гідромотора М надходила крізь рукав РВД3 в корпус насоса Н і далі до оливоохолоджувача АТ. Навантаження на гідромотор створюється гальмівним пристроєм ГП і контролюється вимірювачем крутного моменту ВМ2.

Функціонування ОГП у замкненому ланцюзі циркуляції РР забезпечують гідробак Б, всмоктувальний фільтр Ф з моновакуумметром МН, оливоповітряний охолоджувач АТ із приводним електродвигуном Е2 вентилятора і повітряний фільтр (сапун) ФЗГ із заливною горловиною.

Системи управління частотою обертання насоса Н, навантаженням гідромотора М, контролю і запису параметрів зосереджені в електронному блоці БУ. До системи контро-

лю параметрів стендового обладнання ОГП входять вимірювачі крутного моменту ВМ1 на валу насоса і ВМ2 на валу гідромотора; перетворювачі частоти обертання ДЧО1 і ДЧО2, тиску ПД1 і ПД2 в основних магістралях і ПД3 в лінії управління робочим об'ємом насоса Н, температури РР на вході ПТ1 і виході ПТ2 з оливоохолоджувача АТ, і ПТ3 і ПТ4 в основних магістралях ОГП, і реле РКР контролю рівня РР у гідробака Б.

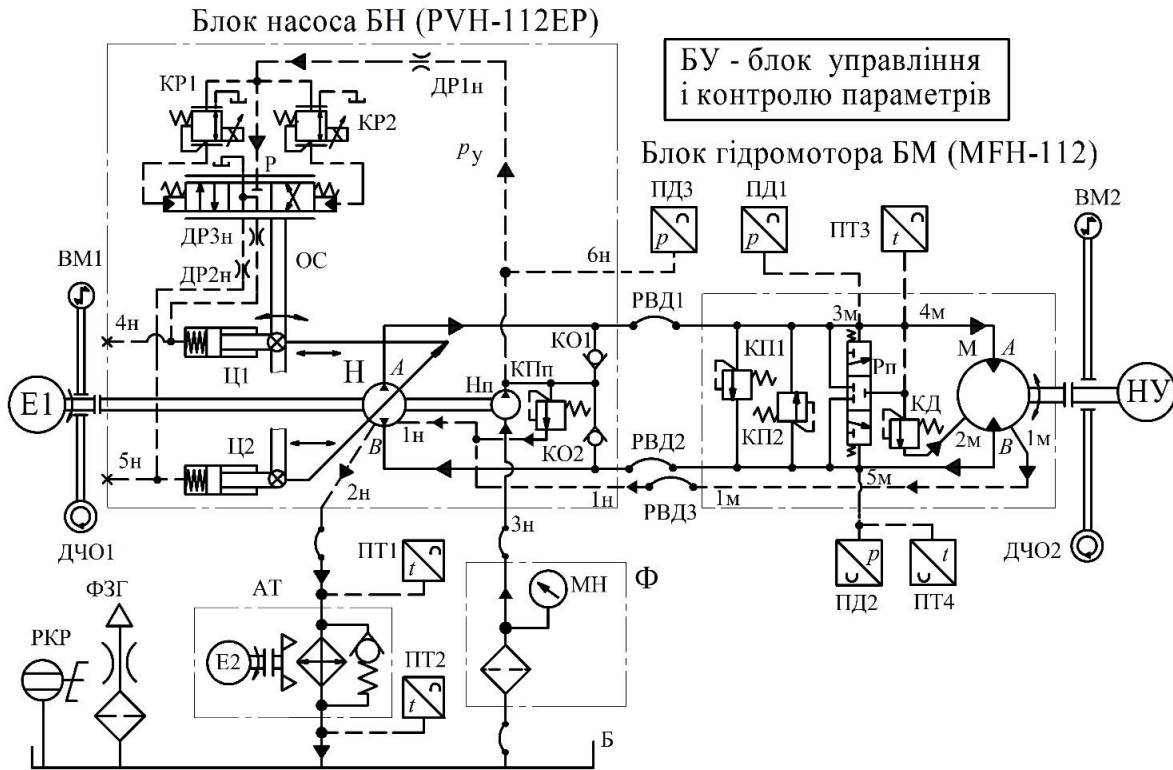


Рис. 7. Гідралічна принципова схема стендового ОГП, яка складається з аксіально-поршневих гідромашин «Гідросила» серії Н (Н2)

На рис. 8 приведено загальний вигляд аксіально-поршневого насоса серії PVC (PVC1). Насос із похилим диском складається з наступних деталей: 1 – вал; 2 – плунжер із підп'ятником; 3 – регулятор робочого об'єму; 4 – корпус; 5 – блок циліндрів; 6 – шайба; 7 – сепаратор; 8 – втулка сферична; 9 – штир; 10 – підшипник; 11 – шток управління; 12 – поршень управління; 13 – кільце регулювальне; 14 – люлька; 15 – пружина; 16 – пружина люльки; 17 – розподільник; 18 – пробка дренажу; 19 – пробка управління; 20 і 21 – штифти; 22,23 – гвинти; 24 і 25 – шайби; 26 і 27 – кільця стопорні; 28...33 – кільця ущільнювальні; 34 – манжета; 35 і 36 – підшипники; 37 – кришка задня

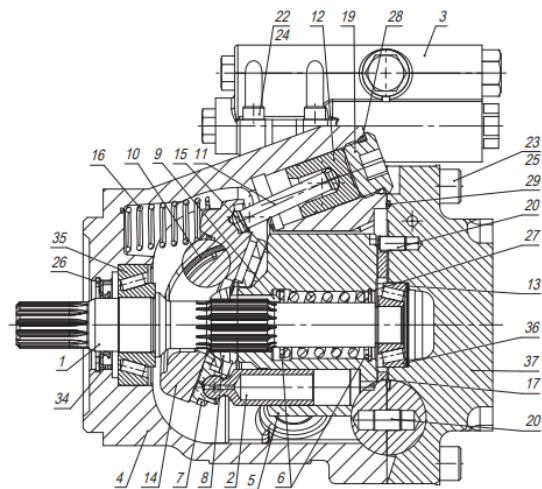


Рис. 8. Аксіально-поршневий насос серії PVC (PVC1)



На рис. 9 наведені відомості про технічний рівень аксіально-поршневих реверсивних насосів «Гідросила» за відносним параметром оцінки технічного рівня відношення маси до номінальної потужності  $m/P$  [кг / кВт] для представника з робочим об'ємом  $90 \text{ см}^3$  трьох серій PVS, PVH і PVH2. У міру досконалості конструкції показник знижений у три рази з  $0,98 \text{ кг/кВт}$  до  $0,33 \text{ кг/кВт}$ , причому за рахунок зростання тиску з  $35,7$  до  $42 \text{ МПа}$  на  $15 \%$ , а за рахунок збільшення частоти обертання з  $1500 \text{ хв}^{-1}$  до  $3300 \text{ хв}^{-1}$ , тобто більш ніж у два рази. Досягнуте значення в  $0,33 \text{ кг/кВт}$  для серії H2 знаходиться на рівні кращих зарубіжних зразків (див. табл. 1). Слід зазначити, що об'єктивне порівняння за показником у ряді випадків викликає труднощі через відсутність в імпортованих аналогах так званих «номінальних» значень тиску і частоти обертання, обов'язкових для українських виробників, згідно з ДСТУ21921. Таким чином, підприємство «Гідросила» демонструє позитивну динаміку підвищення технічного рівня своїх виробів, що має суттєве значення при розробці засобів для АТЗ.

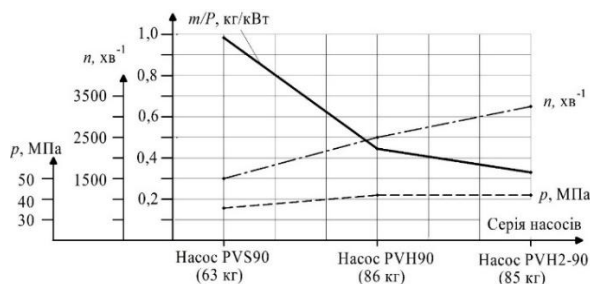


Рис. 9. Технічний рівень аксіально-поршневих насосів «Гідросила» з робочим об'ємом  $90 \text{ см}^3$  за параметром «маса до потужності» ( $m/P$ ) в історичному контексті їх розвитку

### Висновки

1. Завдяки останнім розробкам ВАТ «Гідросила» в аксіально-поршневих гідромашинах досягнуто сучасних значень тисків до  $42 \dots 48 \text{ МПа}$ , номенклатурний ряд гідромашин складає діапазон від  $28 \text{ см}^3$  до  $112 \text{ см}^3$ . В гідромашинах із регульованим робочим застосовані ефективні регулятори з автоматичними та електрогідравлічними пропорційними системами. Проведено аналіз технічного рівня, суттєво підвищеного в останні роки, і наведено номограми для вибору типорозмірів гідромашин.

2. Встановлено, що вітчизняна номенклатура сучасних насосів та гідромоторів аксіально-поршневого типу дозволяє створювати об'ємні гідроприводи потужністю від  $30 \text{ кВт}$  до  $250 \text{ кВт}$  для трансмісій з машинним безступінчастим дистанційним електрогідравлічним регулюванням частоти обертання коліс модульних транспортно-технологічних засобів, а також від  $5 \text{ кВт}$  до  $55 \text{ кВт}$  для дросельних приводів технологічного обладнання із системами енергозбереження шляхом використання насосів з автоматичними регуляторами зміни робочого об'єму. Крутний момент гідромоторів досягає  $740 \text{ Н.м}$ . В разі потреби в аксіально-поршневих гідромашинах із робочими об'ємами менше  $33 \text{ см}^3$  та більш ніж  $112 \text{ см}^3$  треба використовувати тандем-насоси, а для гідромоторів закордонні розробки, які мають діапазон робочих об'ємів від  $5 \text{ см}^3$  до  $280 \text{ см}^3$ .

3. Подальший аналіз номенклатури та типорозмірних рядів гідропрістроїв, зокрема шестеренних насосів, гідроциліндрів, високомоментних гідромоторів, гідророзподільників, запобіжних гідроклапанів та кондиціонерів робочої рідини дозволяє створити базові основи для створення гідрофікованих машин аеродромно-технічного забезпечення.

### Література

1. 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.
2. <https://vertol.com.ua/catalog/katalog-ati/ati-dlya-otchestvennyh-vs/aerodromnaya-spectehnika-eroportovoe-oborudovanie>
3. Объемный гидропривод в мобильных подъемниках с рабочими платформами: монография / И. Г. Кириченко, Г. А. Аврунін, В. Б. Самородов, А. В. Ярыжко. – Харьков: ХНАДУ, 2018 – 296 с.
4. Авиационная наземная техника: справочник / В. Е. Канарчук, Г. Н. Гелетуца, В. В. Запорожец и др.; од. ред. В. Е. Канарчука. – М.: Транспорт, 1989. – 278 с.
5. <https://ate.aero/product/tekhnika/tekhnika-na-bazemtz/>
6. Samorodov V. Analysis of the development modern transmission wheeled tractors / V. Samorodov, E. Pelipenko // International Collection of scientific proceedings. – Warszawa: Consilium Sp. z o.o. – 2016. – Vol. 6 (13). – P. 49–57.
7. Samorodov V. B. The optimization algorithm in determining the relationship between technical and economic indices of machine-tractor unit

- with hydrovolumetric-mechanical transmission / V. B. Samorodov, M. B. Burluga // EUROPEAN COOPERATION. WSPÓŁPRACA EUROPEJSKA NR. – 2016.– 3(10). P. 94-107.
8. Модернизация объемных гидроприводов навесного оборудования колесных тракторов ПАО «ХТЗ им. С. Орджоникидзе» / Г. А. Аврунин, В. И. Аносов, В. Н. Рулев, В. Б. Самородов // Промислова гідроліка і пневматика – 2014. – №4(46). – С. 71–82.
  9. QH013. BONDIOLI & PAVECI / 398C30800-0413-1-C. – Printed in Italy. – 2013. – 1440 p.
  10. Axial piston variable pump–Аксиально-поршневой регулируемый насос A4VG Серия 40 /The Drive & Control Company Rexroth Bosch Group // R-RS 92004. Редакция 02.2017, Заменен: 07.2016. – 72 p.
  11. Axial piston variable pump A4VG Series 32 Europe / The Drive & Control Company Rexroth Bosch Group // RE-E 92003. – Edition: 04.2016, Replaced: 06.2012. – 72 p.
  12. Axial Piston Pumps and Motors for Closed Circuit. Аксиально-поршневые насосы и гидромоторы для закрытых гидросистем серии S, H, H2 / HYGROSILA – HS-AC-03/012018. – 100 c.
  13. Variable Axial Piston Pumps for Open Circuit.Аксиально-поршневые регулируемые насосы для открытых гидросистем серии С (PVC) / HYGROSILA – HS-AO-02/042016. – 31 c.
  14. Bent-axis pumps and motors series BF10/BF20/BV10. Аксиально-поршневые насосы и моторы с наклонным блоком / HYGROSILA. – 02/2015. – 63 c.
  15. ОАО «Пневмостроймашина» PSM-Hydraulics: Каталог продукции: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.psm-hydraulics.ru>. – 29.03.12. – Екатеринбург : – 282 с.
  16. ЧАО «Стройгидравлика»: Каталог изделий: [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.stroygidravlika.com.ua>. – Одесса: – 2021 г. – 74 с.
- ### References
1. Gidro-ta pnevmosistemi v avtotraktorobuduvannI: navchalniy posibnik / V. B. Samorodov, G. A. Avrunin, I. G. Kirichenko, A. I. Bondarenko, E. S. Pelipenko: za red. V. B. Samorodova.; NTU «НПІ», Harkiv : FOP Panov A. M., 2020, 524 s.
  2. <https://vertol.com.ua/catalog/katalog-ati/ati-dlya-otechestvennyh-vs/aerodromnaya-spectehnika-aeroportovoe-oborudovanie>.
  3. Ob'emnyiy gidroprivod v mobilnyih pod'emnikah s rabochimi platformami: monografiya / I. G. Kirichenko, G. A. Avrunin, V. B. Samorodov, A. V. Yaryzhko. – Harkov: HNADU, 2018 – 296 s.
  4. Aviatsionnaya nazemnaya tehnika: Spravochnik / V. E. Kanarchuk, G. N. Geletuha, V. V. Zaporozhets i dr.; Pod. red. V. E. Kanarchuka. – M.: Transport, 1989. – 278 s.
  5. <https://ate.aero/product/tehnika/tehnika-na-baze-mtz/>
  6. Samorodov V. Analysis of the development modern transmission wheeled tractors / V. Samorodov, E. Pelipenko // International Collection of scientific proceedings. – Warszawa: Consilium Sp. z o.o. – 2016. – Vol. 6 (13). – P. 49-57.
  7. Samorodov V. B. The optimization algorithm in determining the relationship between technical and economic indices of machine-tractor unit with hydrovolumetric-mechanical transmission / V.B. Samorodov, M.B. Burluga // EUROPEAN COOPERATION. WSPÓŁPRACA EUROPEJSKA NR. – 2016.– 3(10). P. 94-107.
  8. Modernizatsiya ob'emnyih gidroprivodov navesnogo oborudovaniya kolesnyih traktorov PАО «HTZ im. S. Ordzhonikidze» / G. A. Avrunin, V. I. Anosov, V. N. Rulev, V. B. Samorodov Promislova gidravlika i pnevmatika – 2014. – #4(46). – S. 71-82.
  9. QH013. BONDIOLI & PAVECI / 398C30800-0413-1-C. – Printed in Italy. – 2013. – 1440 p.
  10. Axial piston variable pump–Аксиально-поршневой регулируемый насос A4VG Seriya 40 / The Drive & Control Company Rexroth Bosch Group // R-RS 92004. Redaktsiya 02.2017, Zamenen: 07.2016. – 72 p.
  11. Axial piston variable pump A4VG Series 32 Europe / The Drive & Control Company Rexroth Bosch Group // RE-E 92003. – Edition: 04.2016, Replaced: 06.2012. – 72 p.
  12. Axial Piston Pumps and Motors for Closed Circuit. Аксиально-поршневые насосы и гидромоторы для закрытых гидросистем серии S, H, H2 / HYGROSILA – HS-AC-03/012018. – 100 c.
  13. Variable Axial Piston Pumps for Open Circuit. Аксиально-поршневые регулируемые насосы для открытых гидросистем серии С (PVC) / HYGROSILA – HS-AO-02/042016. – 31 c.
  14. Bent-axis pumps and motors series BF10/BF20/BV10. Аксиально-поршневые насосы и моторы с наклонным блоком / HYGROSILA. – 02/2015. – 63 c.
  15. ОАО «Пневмостроймашина» PSM-Hydraulics: Каталог продукции: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.psm-hydraulics.ru>. – 29.03.12. – Екатеринбург : – 282 с.
  16. ЧАО «Стройгидравлика»: Каталог изделий: [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.stroygidravlika.com.ua>. – Одесса: – 2021 г. – 74 с.
- Аврунін Григорій Аврамович**, к.т.н, доцент, +380 (50) 596-62-53, ORCID 0000-0002-0191-3149, [griavrunun@ukr.net](mailto:griavrunun@ukr.net), Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002.  
**Шевченко Дмитро Миколайович**, аспірант, +380 (50) 402 56 95, ORCID 0000-0001-6213-3501,

[d.shevchenko@m-impex.com.ua](mailto:d.shevchenko@m-impex.com.ua), Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002.

**Мороз Ірина Іванівна**, старший викладач, +380 (50) 700-67-95, ORCID 0000-0001-5950-2089, [irinamoroz1@ukr.net](mailto:irinamoroz1@ukr.net), Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002.

**Пімонов І.Г.**, к.т.н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків, тел. (050)217-05-24, [igor\\_lena\\_p@ukr.net](mailto:igor_lena_p@ukr.net).

**Щевченко В. О.**, к.т.н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків, тел. (067)28-38-768, [valery03102016@gmail.com](mailto:valery03102016@gmail.com)

**Щербак О. В.**, к.т.н., доцент, ORCID 0000-0002-7953-2135, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків, тел. (097)23-33-083, [olegcherbar@gmail.com](mailto:olegcherbar@gmail.com).

#### **Analysis of the characteristics of axial-piston hydraulic machines for drives for maintenance of airfields and planes**

**Abstract. Problem.** *Is an integral part of the development of the concept of forming a standard range of transport and technological hydrophilic modular means for maintenance of airfields and aircraft.*

**Goal.** *Development of scientifically sound recommendations for determining the rational parameters of the hydraulic system with automation of control and energy saving during operation of modular vehicles for maintenance of airfields and aircraft, taking into account the potential of domestic engineering and critical imports of units.* **Methodology.** *Analysis of the development of axial-piston pumps and motors according to the manufacturers' catalogs taking into account the needs of modular vehicles for maintenance of airfields and aircraft, in particular, taking into account the creation of modern hydraulic machines by enterprise «Hydrosila» by increasing pressure, speed and development new regulators.*

**Results.** *It is established that the domestic nomenclature of modern pumps and motors of axial piston type allows to create three-dimensional hydraulic drives with power to 110 kW for transmissions with machine stepless remote electrohydraulic regulation of speed of rotation of wheels of modular vehicles and to 85 kW throttle drives of technological equipment with energy saving systems by using pumps with automatic regulators of change of working volume. It has been established that in the pumps for of transmissions the ratio of mass to power is reduced three times.* **Originality.** *Graphic dependences of power, supply and torque of standard size series on the working volume of axial-piston pumps and hydraulic motors of the domestic enterprise "Hydrosila" for volumetric hydraulic transmissions and technological equipment of aerodrome and aircraft maintenance facilities are constructed.* **Practical value.** *The possibility of a rational selection of axial-piston domestic hydraulic machines for the development of hydraulic drives for airfields and aircraft.*

**Key words:** *aerodrome maintenance, hydraulic fluid power, axial-piston pumps and motors, output flow, torque, speed, power.*

**Avrunin Grygoriy**, PhD, associate professor, +380 (50) 596-62-53, ORCID: 0000-0002-0191-3149, [griavrunin@ukr.net](mailto:griavrunin@ukr.net), Kharkiv National Automobile Highway University, Yaroslava Mudrogo str. 25.

**Shevchenko Dmitriy**, aspirant, +380 (50) 402 56 95, ORCID 0000-0001-6213-3501, [d.shevchenko@m-impex.com.ua](mailto:d.shevchenko@m-impex.com.ua), Kharkiv National Automobile Highway University, Yaroslava Mudrogo str. 25.

**Moroz Irene**, senior teacher, +380 (50) 700-67-95, ORCID 0000-0001-5950-2089, [irinamoroz1@ukr.net](mailto:irinamoroz1@ukr.net), Kharkiv National Automobile Highway University, Yaroslava Mudrogo str. 25.

**Pimonov I.G.**, PhD in Technical Sciences, Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho, Kharkiv, 61002, Ukraine, +380502170524, [igor\\_lena\\_p@ukr.net](mailto:igor_lena_p@ukr.net).

**Shevchenko V.O.**, PhD in Technical Sciences, Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho, Kharkiv, 61002, Ukraine, (067)28-38-768, [valery03102016@gmail.com](mailto:valery03102016@gmail.com)