

О. М. ФАТЄЄВ, Н. М. ФАТЄЄВА, В. В. ПОЛЯКОВ

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ НАСОСІВ І ГІДРОМОТОРІВ ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ КОРИСНОЇ ДІЇ

Для визначення технічного стану елементів гідроприводів під час експлуатації пропонується вибрати спосіб контролю, який забезпечує ефективну оцінку за найменших витрат і дозволяє визначити ті параметри, зміна яких під час експлуатації призводить до максимальних втрат. Крім того, обрані параметри мають давати змогу здійснювати контроль технічного стану елементів гідроприводу без зняття їх з машини і без розбирання. Цим вимогам, насамперед, відповідає контроль технічного стану гідроприводу за коефіцієнтом корисної дії. Розглянуто визначення загальних втрат, гідромеханічних втрат та об'ємних втрат. Показано, що можна визначити як загальний енергетичний коефіцієнт корисної дії, так і гідромеханічний коефіцієнт корисної дії, оцінити втрати за вказаними рівняннями, з урахуванням ефекту стисливості робочої рідини. Для визначення реальних параметрів гідросистем та для оцінки фактичних показників коефіцієнта корисної дії був використаний комплект засобів діагностики гідравлічних систем, розроблений кафедрою «Гідравлічні машини ім. Г. Ф. Проскури», за допомогою якого параметри, які вимірюються, можуть бути записані на внутрішню карту пам'яті або передані через бездротовий Bluetooth зв'язок на персональний комп'ютер PC або Android-пристрій (смартфон, планшет) для подальшої обробки. Наведена схема для випробування насосів з відкритим та закритим контурами, а також схема випробування гідромоторів. В наведених схемах вказано на яких позиціях можливо використовувати даний комплект. Наведені теоретичні залежності, спільно з обробленими даними, та отриманими за допомогою розробленого комплексу засобів діагностики, дозволяють визначити та побудувати реальні характеристики агрегатів з урахуванням втрати потужності, яка може змінюватися в залежності від рівня тиску, температури рідини і кількості повітря, розчиненого в рідині.

Ключові слова: насос, гідромотор, коефіцієнт корисної дії, втрати потужності, гідроустаткування, комплект засобів діагностики, тестер гідравлічний.

O. FATYUEV, N. FATIEVA, V. POLIAKOV

METHODS AND MEANS OF DIAGNOSING PUMPS AND HYDRAULIC MOTORS BY EFFICIENCY

To determine the technical condition of the elements of hydraulic drives during exploitation, it is proposed to choose a control method that provides an effective assessment at the lowest cost and allows you to determine those parameters, the change of which during exploitation leads to maximum losses. In addition, the selected parameters should allow to control the technical condition of the hydraulic drive elements without removing them from the machine and without disassembly. These requirements, first of all, corresponds to the control of the technical condition of the hydraulic drive by the coefficient of efficiency. The definition of total losses, hydromechanical losses and volumetric losses is considered. It is shown that it is possible to determine both the total energy efficiency and the hydromechanical efficiency, to estimate the losses by the specified equations, taking into account the effect of compressibility of the working fluid. To determine the real parameters of hydraulic systems and to assess the actual performance of the efficiency, a set of diagnostic tools for hydraulic systems developed by the Department of Hydraulic Machines named after academician G. F. Proskura was used, with which the measured parameters can be recorded on an internal memory card or transmitted via wireless Bluetooth to a personal computer PC or Android device (smartphone, tablet) for further processing. A scheme for testing pumps with open and closed circuits, as well as a scheme for testing hydraulic motors is given. These schemes indicate on which positions this set can be used. The given theoretical dependences, together with the processed data, and obtained with the help of the developed set of diagnostic tools, allow to determine and build the real characteristics of the units, taking into account the power loss, which can vary depending on the pressure level, fluid temperature and the amount of air dissolved in the liquid.

Keywords: pump, hydraulic motor, efficiency, power loss, hydraulic equipment, complete set of diagnostic tools, hydraulic tester.

Вступ. Призначенням гідроприводу в будь-якій машині є перетворення механічної енергії приводного двигуна в енергію потоку рідини і далі в механічну енергію виконавчих органів.

Зміна технічного стану того чи іншого гідроагрегату по-різному позначається на зниженні продуктивності машини. Найбільше зменшується продуктивність машини при зниженні ефективності роботи насоса. Час роботи окремих виконавчих гідродвигунів (гідромоторів і гідроциліндрів) становить від 5 % до 25 % часу роботи насоса, а окремих розподільних пристроїв – 15–30 %.

Для визначення технічного стану елементів гідроприводів під час експлуатації необхідно вибрати спосіб контролю, який забезпечував би ефективну оцінку за найменших витрат і дозволив би визначити ті параметри, зміна яких під час експлуатації призводить до максимальних втрат. Крім того, обрані параметри мають давати змогу здійснювати контроль технічного стану елементів гідроприводу без зняття їх з машини і без розбирання. Цим вимогам, насамперед, відповідає контроль технічного стану гідроприводу за

коефіцієнтом корисної дії (ККД).

Методи діагностування насосів і гідромоторів за коефіцієнтом корисної дії. Згідно стандарту ДСТУ ISO 4409:2013 [1] «Насоси об'ємні, гідромотори та гідропередачі. Методи випробування та подання основних сталих робочих характеристик» визначаються наступні поняття:

- *загальний ККД насоса* (pump overall efficiency)

η_r^p – відношення значення потужності, яка передається рідині протягом її проходження насосом, до значення механічної потужності на вході, як наведено у рівнянні (1):

$$\eta_r^p = \frac{(q_{V_{2,e}} \cdot p_{2,e}) - (q_{V_{1,e}} \cdot p_{1,e})}{2\pi \cdot n \cdot T}, \quad (1)$$

де $q_{V_{2,e}}$ – дійсна витрата на виході насоса (pump effective outlet flow rate);

p_e – дійсний тиск (effective pressure). Тиск робочої рідини відносно атмосферного тиску, значення якого є позитивним, якщо тиск перевищує атмосферний, або негативним, якщо тиск менше ніж

атмосферний;

n – частота обертання вала. Кількість обертів приводного вала за одиницю часу;

T – крутний момент. Вимірне значення крутного моменту на валу випробовуваного пристрою;

- **об'ємний ККД насоса** (pump volumetric efficiency) η_V^P – відношення значення витрати на виході, придатної для роботи, до добутку значень корисного об'єму насоса, V_i , та частоти обертання вала, n , за визначених умов, як наведено у рівнянні (2):

$$\eta_V^P = \frac{q_{V_2,e}}{V_i^P \cdot n}, \quad (2)$$

де V_i – корисний об'єм (derived capacity). Об'єм робочої рідини, переміщуваної насосом або гідромотором за один оберт, розрахований з вимірювань за різних значень швидкості в умовах випробовування [2].

Експериментальне визначення повного корисного об'єму V_i насоса або гідромотора описано в ДСТУ ISO 8426:2013 [3] або в [4]. Однак, в даний час не існує експериментального методу для визначення мінімального об'єму робочої камери. Ця інформація повинна бути або надана виробником, або розрахована на основі розмірів компонентів насоса або гідромотора.

З точки зору ефективності, більшість розробників насосів і гідромоторів намагаються звести до мінімуму «мертвий» об'єм V_{\min} . Для багатьох насосів і двигунів відношення V_{\min}/V_i менше 1. Однак існують також конструкції, в яких відношення V_{\min}/V_i набагато більше, як, наприклад, у аксіально-поршневому насосі з похилим диском. Ситуація значно ускладнюється для машин зі змінним робочим об'ємом. Якщо, наприклад, в аксіально-поршневому насосі з похилим диском, зменшити кут повороту, то мертвий об'єм збільшиться, а витіснений об'єм одночасно зменшиться. Це може призвести до високих значень відношення $V_{\min}/\Delta V$. Дослідження [5] доводить, що визначення гідромеханічного ККД за стандартом ISO 4409 може призвести до похибки навіть більше 15 %. Також для машин цифрового поршневого типу і машин, що використовують зворотні клапани для перемикання, співвідношення буде залежати від фаз клапанів і клапанної динаміки впускного і випускного клапанів [6].

У дослідженні [7] пропонується нове визначення, у порівнянні з визначенням ISO, теоретичного крутного моменту, який відрізняється поправочним коефіцієнтом a_1 . Цей коефіцієнт залежить від перепаду тиску Δp , середнього ізоентропійного об'ємного модуля оливи K_S і співвідношення між мінімальним об'ємом камери витіснення V_{\min} і об'ємом витіснення V_i . Всі ці параметри мають додатне значення, а це означає, що $a_1 < 1$. Для малих перепадів тиску і малих мертвих об'ємів поправка теоретичного крутного моменту не є суттєвою. Однак, існують також ситуації, в яких ISO 4409 завищує теоретичний крутний момент на цілих 10 % або навіть вище.

Таким чином, авторами дослідження [7] пропонується розраховувати **загальний ККД** шляхом порівняння механічної потужності з гідравлічною:

- для насоса:

$$\eta_t^P = \frac{a_2 \cdot p_2 \cdot Q_2 - p_1 \cdot Q_1}{T \cdot \omega},$$

- для гідромотора:

$$\eta_t^M = \frac{T \cdot \omega}{a_2 \cdot p_2 \cdot Q_2 - p_1 \cdot Q_1},$$

де поправочний коефіцієнт a_2 знаходиться як:

$$a_2 = 1 + \frac{p_2}{2K_S}.$$

Гідромеханічний ККД пропонується визначати за новим визначенням [7] шляхом порівняння вимірної механічної потужності з теоретичним крутним моментом:

- для насоса:

$$\eta_{hm}^P = \frac{T_{th} \cdot \omega}{T \cdot \omega} = \frac{\Delta p \cdot V_g \cdot a_1}{2\pi \cdot T};$$

- для гідромотора:

$$\eta_{hm}^M = \frac{T \cdot \omega}{T_{th} \cdot \omega} = \frac{2\pi \cdot T}{\Delta p \cdot V_g \cdot a_1},$$

де поправочний коефіцієнт a_1 знаходиться як:

$$a_1 = 1 - \frac{\Delta p}{K_S} \left(\frac{1}{2} + \frac{V_{\min}}{\Delta V} \right).$$

На прикладі [8] доведено, що вплив нових визначень на загальні втрати для насоса на 5–9 % менші, а для гідромотора на 12–14 % перевищують втрати, отримані з використанням методів і визначень ISO 4409. Це пов'язано з врахуванням впливу внутрішньої енергії, що призводить до збільшення гідравлічної потужності на виході насоса, і більшого гідравлічного навантаження на вході мотора, ніж при використанні ISO-визначень.

Нові визначення втрат, наведені в роботі [7], показують набагато більший вплив на розрахункові гідромеханічні втрати. Нові визначення призводять до збільшення гідромеханічних втрат насосів, в той час, як ті ж втрати зменшуються від 41 % до 68 % для гідромоторів. Це дослідження також доводить, що нові визначення мають сильний вплив на об'ємні втрати. Для насоса розрахункові втрати зменшуються від 48 % до 75 %. При використанні нових визначень, об'ємні втрати насоса майже ідентичні вимірним втратам дренажного потоку. Для гідромотора, однак, новий розрахунок об'ємних втрат дає набагато більше значення, ніж отримане за допомогою рівнянь ДСТУ ISO 4409:2013. Втрати в 1,8–2,2 рази вищі за новими визначеннями. Ці результати аналізуються при тиску в системі 400 бар. Різниця стає меншою для нижчих рівнів тиску [9].

ДСТУ ISO 4409:2013 є непослідовним у розрахунку впливу стисливості оливи, хоча він вимагає врахування стисливості оливи у витратах, він не вимагає такої ж поправки для визначення ККД:

- визначення загального та гідромеханічного ККД для гідростатичних насосів та гідромоторів повинні бути скориговані шляхом включення ефекту стисливості [10, 11];

- чинні визначення об'ємного ККД за стандартом ДСТУ ISO 4409:2013 базуються на співвідношенні витрат, а не на потужності. Для цілей аналізу втрат потужності та аналізу перетворення енергії необхідні нові визначення.

- було б більш корисно визначити рівняння для втрат потужності замість того, щоб розділяти втрати за допомогою визначень ефективності.

Засоби діагностування насосів і гідромоторів.

Для фактичної оцінки стану гідрообладнання в реальних умовах [12], а також для випробування насосів, було розроблено комплект засобів діагностики гідравлічних систем (рис. 1), який містить у собі:

- тестер гідравлічний електронний SHD (Smart Hydraulic DataLogger);

- блок вимірювальних приладів – БВП-200;

- навантажувальний пристрій – НП-200;

- уніфіковані датчики тиску;

- тахометр.

SHD має шість вхідних каналів (три аналогових – тиск P , P_1 , P_2 і три цифрових – витрата Q , температура t , частота обертання n) і може відображати, записувати й обробляти сигнали від датчиків, під'єднаних до приладу.

Для оперативного вимірювання основних параметрів гідросистеми використовується один роз'єм із трьома каналами (Q , P , t), до якого підключається блок вимірювальних приладів для одночасного вимірювання витрати, тиску і температури робочої рідини.

Для вимірювання тиску в різних точках гідросистеми є два аналогових канали (P_1 і P_2) з окремими роз'ємами для підключення датчиків тиску. Для цих датчиків на екрані SHD можуть бути відображені виміряні фактичні, максимальні,

мінімальні значення тиску, а також різниця між значеннями каналів P_1 і P_2 ($P_1 - P_2$). Максимальні та мінімальні значення (P_{1min} , P_{1max} , P_{2min} , P_{2max}) можуть бути скинуті в будь-який момент часу натисканням кнопки "Скидання" (Reset). Діапазон вимірювання датчиків, що підключаються, обирається в налаштуванні.

Для вимірювання частоти обертання приводного вала насоса або вала гідромотора передбачено окремий роз'єм із цифровим входом (n), до якого під'єднується тахометр.

SHD має вбудований годинник реального часу, що зручно для обробки результатів вимірювань. Поточна дата і час відображається у верхній частині екрана. Коригування поточної дати та часу можливе в режимі налаштування.

Вимірювані значення можна записати на внутрішню карту пам'яті або передати через бездротовий Bluetooth зв'язок на персональний комп'ютер PC або Android-пристрій (смартфон, планшет) для подальшого опрацювання.

Тестер гідравлічний електронний – SHD працює в трьох основних режимах.

Перший режим – вимір та побудова залежності витрати від тиску, а також знаходження потужності в десятих точках відповідно до випробуваних режимів роботи. Таким чином можливо оцінити втрати потужності во всьому діапазоні роботи насоса (гідромотора).

Другий режим – зовнішні датчики тиску, які вимірюють тиск у двох різних точках гідросистеми. Під час проведення вимірювання на екрані відображається поточне значення зовнішніх датчиків тиску, різниця значень тиску, максимальні та мінімальні значення, що може бути використано для оцінки показників надійності гідроустаткування [13].

Третій режим – показання всіх датчиків.

Розроблений комплект засобів діагностики можливо використовувати для діагностики та оцінки стану гідравлічних систем, позиційних агрегатів [14], а також використовувати для випробування насосів та гідромоторів за стандартом ДСТУ ISO 4409:2013, які проводять за наступними схемами:



Рис. 1. Комплект засобів діагностики

- випробування за відкритого контуру (схема для випробування рис. 2);
- випробування за закритого контуру (схема для випробування рис. 3);
- випробування гідромотора (схема для випробування гідромотора рис. 4).

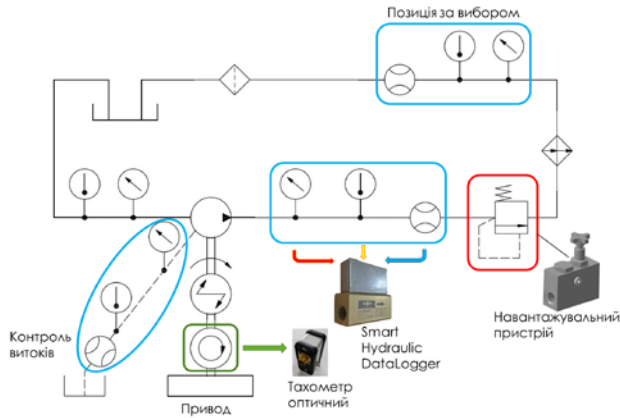


Рис. 2. Схема для випробування насоса (відкритий контур)

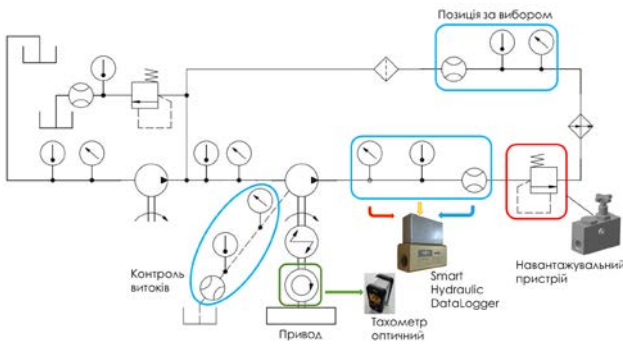


Рис. 3. Схема для випробування насоса (закритий контур)

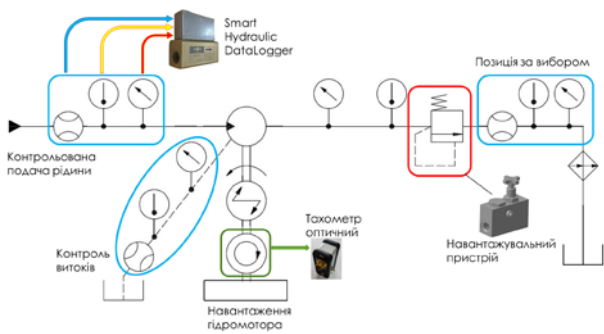


Рис. 4. Схема для випробування гідромотора

Висновки. В роботі розглянуто нові визначення загальних втрат, гідромеханічних втрат та об'ємних втрат. Показано, що можна визначити як загальний енергетичний ККД, так і гідромеханічний ККД. Хоча ISO 4409 не надає жодних рівнянь для розрахунку втрат потужності, ці рівняння можна вивести з визначень ефективності, наведених в ISO 4409. Таким чином, пропонується виправити ці рівняння втрат за вказаними рівняннями, щоб включити ефекти стисливості робочої рідини, що зменшить вплив на загальну похибку.

Розроблено й розглянуто комплект засобів діагностики гідравлічних систем за допомогою якого можливо оцінити фактичний стан гідрообладнання в реальних умовах. Випробування насосів і гідромоторів пропонується проводити за вказаними схемами та за допомогою розробленого комплекту засобів діагностування. Таким чином, можливо побудувати реальні характеристики агрегатів з урахуванням втрати потужності, яка може змінюватися в залежності від рівня тиску, температури рідини і кількості повітря, розчиненого в рідині.

Список літератури

1. ДСТУ ISO 4409:2013. Об'ємні гідроприводи. Насоси об'ємні, гідромотори та гідропередачі. Методи випробування та подання основних сталих робочих характеристик (ISO 4409:2007, IDT) / Нац. Стандарт України. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 17 с.
2. Toet G., Johnson J., Montague J., Torres K., Garcia-Bravo J. The Determination of the Theoretical Stroke Volume of Hydrostatic Positive Displacement Pumps and Motors from Volumetric Measurements. *Energies*. 2019. Vol. 12, issue 3. P. 415. doi: 10.3390/en12030415
3. ДСТУ ISO 8426:2013. Об'ємні гідроприводи. Насоси об'ємні та гідромотори. Методи визначення корисного об'єму (ISO 8426:2008, IDT) / Нац. Стандарт України. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 10 с.
4. Costa G. K., Sepehri N. Understanding overall efficiency of hydrostatic pumps and motors. *International Journal of Fluid Power*. 2018. Vol. 19, issue 2. P. 106–116. doi: 10.1080/14399776.2018.1476306
5. Manring N., Williamson C. Calculating the Mechanical and Volumetric Efficiencies for Check-Valve Type, Digital Displacement Pumps. *Proceedings of the BATH/ASME 2018 Symposium on Fluid Power and Motion Control (12–14 September 2018, Bath, UK)*. Bath: ASME, 2018. P. no. FPMC2018-8834, V001T01A016. 10 p. doi: 10.1115/FPMC2018-8834
6. Achten P., Potma J., Eggenkamp S. A New Hydraulic Pump and Motor Test Bench for Extremely Low Operating Speeds. *Proceedings of the ASME/BATH 2017 Symposium on Fluid Power and Motion Control (16–19 October 2017, Sarasota, Florida, USA)*. Sarasota: ASME, 2017. P. no. FPMC2017-4232, V001T01A015. 6 p. doi: 10.1115/FPMC2017-4232
7. Achten P., Mommers R., Nishiumi T., Murrenhoff H., Sepehri N., Stelson K., Palmberg J., Schmitz K. Measuring the Losses of Hydrostatic Pumps and Motors: A Critical Review of ISO 4409:2007. *Proceedings of the ASME/BATH 2019 Symposium on Fluid Power and Motion Control (7–9 October 2019, Longboat Key, Florida, USA)*. Longboat Key: ASME, 2019. P. no. FPMC2019-1615, V001T01A007. 11 p. doi: 10.1115/FPMC2019-1615
8. *Performance of Hydrostatic Machines. Extensive Measurement Report*. URL: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=1.+Performance+of+hydrostatic+machines.+Extensive+measurement+report> (дата звернення: 10.12.2022).
9. Li P. Y., Barkei J. Hydraulic Effort and the Efficiencies of Pump and Motors With Compressible Fluid. *Proceedings of the BATH/ASME 2020 Symposium on Fluid Power and Motion Control (9–11 September 2020, Virtual, Online)*. ASME, 2020. P. no. FPMC2020-2801, V001T01A051. 13 p. doi: 10.1115/FPMC2020-2801
10. Achten P., Potma J., Achten J. Low Speed Performance of Axial Piston Machines. *Proceedings of the BATH/ASME 2018 Symposium on Fluid Power and Motion Control (12–14 September 2018, Bath, UK)*. Bath: ASME, 2018. P. no. FPMC2018-8832, V001T01A014. 10 p. doi: 10.1115/FPMC2018-8832
11. Schänzle C., Pelz P. F. Meaningful and Physically Consistent Efficiency Definition for Positive Displacement Pumps – Continuation of the Critical Review of ISO 4391 and ISO 4409. *Proceedings of the ASME/BATH 2021 Symposium on Fluid Power and Motion Control (19–21 October 2021, Virtual, Online)*. ASME, 2021. P. no. FPMC2021-68739, V001T01A027. 8 p. doi: 10.1115/FPMC2021-68739

- 10.1115/FPMC2021-68739
12. Фатеев А. Н., Салыга Т. С., Красильник А. В., Ерёмин А. В. Методика диагностики и настройки гидравлических систем тестером гидравлическим ТГ-200. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units.* Kharkiv: NTU "KhPI". 2015. No. 45 (1154). P. 106–110.
 13. Фатеева Н. Н., Фатеев А. Н. Оценка показателей надежности гидрооборудования с учетом влияния величины рабочего давления. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units.* Kharkiv: NTU "KhPI". 2019. No. 1. P. 104–108. doi: 10.20998/2411-3441.2019.17.15
 14. Черкашенко М. В., Фатеева Н. Н., Фатеев А. Н., Салыга Т. С., Радченко Л. Р. Позиционные гидропневмоагрегаты. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units.* Kharkiv: NTU "KhPI". 2015. No. 45 (1154). С. 4–8.
- References (transliterated)**
1. DSTU ISO 4409:2013 *Ob'yemni hidropriyvody. Nasosy ob'yemni, hidromotory ta hidroporedachi. Metody vyprobuvannya ta podamyia osnovnykh stalykh robochykh kharakterystyk* [State Standard 4409:2013. Volumetric hydraulic drives. Positive displacement pumps, hydraulic motors and hydraulic transmissions. Methods of testing and presentation of the main stable operating characteristics]. Kyiv, Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine Publ., 2014. 17 p.
 2. Toet G., Johnson J., Montague J., Torres K., Garcia-Bravo J. The Determination of the Theoretical Stroke Volume of Hydrostatic Positive Displacement Pumps and Motors from Volumetric Measurements. *Energies.* 2019, vol. 12, issue 3, p. 415. doi: 10.3390/en12030415
 3. DSTU ISO 8426:2013. *Ob'yemni hidropriyvody. Nasosy ob'yemni ta hidromotory. Metody vyznachannya korysnoho ob'yemu* [State Standard 8426:2013. Volumetric hydraulic drives. Positive displacement pumps and hydraulic motors. Methods of determining the useful volume]. Kyiv, Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine Publ., 2014. 10 p.
 4. Costa G. K., Sepehri N. Understanding overall efficiency of hydrostatic pumps and motors. *International Journal of Fluid Power.* 2018, vol. 19, issue 2, pp. 106–116. doi: 10.1080/14399776.2018.1476306
 5. Manning N., Williamson C. Calculating the Mechanical and Volumetric Efficiencies for Check-Valve Type, Digital Displacement Pumps. *Proceedings of the BATH/ASME 2018 Symposium on Fluid Power and Motion Control (12–14 September 2018, Bath, UK).* Bath, ASME Publ., 2018, p. no. FPMC2018-8834, V001T01A016, 10 p. doi: 10.1115/FPMC2018-8834
 6. Achten P., Potma J., Eggenkamp S. A New Hydraulic Pump and Motor Test Bench for Extremely Low Operating Speeds. *Proceedings of the ASME/BATH 2017 Symposium on Fluid Power and Motion Control (16–19 October 2017, Sarasota, Florida, USA).* Sarasota, ASME Publ., 2017, p. no. FPMC2017-4232, V001T01A015, 6 p. doi: 10.1115/FPMC2017-4232
 7. Achten P., Mommers R., Nishiumi T., Murrenhoff H., Sepehri N., Stelson K., Palmberg J., Schmitz K. Measuring the Losses of Hydrostatic Pumps and Motors: A Critical Review of ISO 4409:2007. *Proceedings of the ASME/BATH 2019 Symposium on Fluid Power and Motion Control (7–9 October 2019, Longboat Key, Florida, USA).* Longboat Key, ASME Publ., 2019, p. no. FPMC2019-1615, V001T01A007, 11 p. doi: 10.1115/FPMC2019-1615
 8. *Performance of Hydrostatic Machines. Extensive Measurement Report.* Available at: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=1.+Performance+of+hydrostatic+machines.+Extensive+measurement+report> (accessed 10.12.2022).
 9. Li P. Y., Barkei J. Hydraulic Effort and the Efficiencies of Pump and Motors With Compressible Fluid. *Proceedings of the BATH/ASME 2020 Symposium on Fluid Power and Motion Control (9–11 September 2020, Virtual, Online).* ASME, 2020, p. no. FPMC2020-2801, V001T01A051, 13 p. doi: 10.1115/FPMC2020-2801
 10. Achten P., Potma J., Achten J. Low Speed Performance of Axial Piston Machines. *Proceedings of the BATH/ASME 2018 Symposium on Fluid Power and Motion Control (12–14 September 2018, Bath, UK).* Bath, ASME Publ., 2018, p. no. FPMC2018-8832, V001T01A014, 10 p. doi: 10.1115/FPMC2018-8832
 11. Schänzle C., Pelz P. F. Meaningful and Physically Consistent Efficiency Definition for Positive Displacement Pumps – Continuation of the Critical Review of ISO 4391 and ISO 4409. *Proceedings of the ASME/BATH 2021 Symposium on Fluid Power and Motion Control (19–21 October 2021, Virtual, Online).* ASME Publ., 2021, p. no. FPMC2021-68739, V001T01A027, 8 p. doi: 10.1115/FPMC2021-68739
 12. Fatyeyev A. N., Salyga T. S., Krasil'nik A. V., Eremin A. V. Metodika diagnostiki i nastroyki gidravlicheskih sistem testerom gidravlicheskim TG-200 [Methods of diagnostics and adjustment of hydraulic systems with a hydraulic tester TG-200]. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units.* Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 45 (1154), pp. 106–110.
 13. Fatieieva N. N., Fatyeyev A. N. Otsenka pokazateley nadezhnosti gidrooborudovaniya s uchetom vliyaniya velichiny rabocheho davleniya [Estimation of indicators of reliability of hydraulic equipment taking into account the influence of the value of working pressure]. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units.* Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2019, no. 1, pp. 104–108. doi: 10.20998/2411-3441.2019.17.15
 14. Cherkashenko M. V., Fatieieva N. N., Fatyeyev A. N., Salyga T. S., Radchenko L. R. Pozitsionnye gidropnevmoagregaty [Positional hydropneumatic units]. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units.* Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 45 (1154), pp. 4–8.

Надійшло (received) 11.12.2022

Відомості про авторів / About the Authors

Фатєєв Олександр Миколайович (Fatyeyev Oleksandr) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Гідравлічні машини ім. Г. Ф. Проскури»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9212-4507>; e-mail: fatyan1@ukr.net

Фатєєва Надія Миколаївна (Fatieieva Nadiia) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Гідравлічні машини ім. Г. Ф. Проскури»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6955-5301>; e-mail: nadin_yak@ukr.net

Поляков Валерій Валерійович (Poliakov Valerii) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», магістр кафедри «Гідравлічні машини ім. Г. Ф. Проскури»; м. Харків, Україна; e-mail: valerii.poliakov@mit.khpi.edu.ua