

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТИ ПОБУТОВИХ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ З МОЖЛИВІСТЮ ЇХ ПАРАЛЕЛЬНОГО ТА ПОСЛІДОВНОГО З'ЄДНАННЯ

В. Є. Василенков, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Ю. В. Шуруб, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут електродинаміки НАН України

E-mail: wasil14@ukr.net

Анотація. *В умовах постійного зростання дефіциту та цін на енергоресурси (водні, енергетичні) все більша увага споживачів приділяється енергоефективності (ККД) насосного обладнання. Багатолітня практика засвідчує, що при проектуванні навіть простих насосних установок будь якого призначення, виникають труднощі у виборі необхідного насосного обладнання з енергоефективними режимами роботи. Важливим моментом дослідження енергоефективних режимів роботи і побудови енергетичних характеристик побутових відцентрових насосів типу БЦН є проведення експериментальних досліджень.*

Метою цієї роботи є створення експериментального стенду з замкненою циркуляцією рідини, дросельним регулюванням продуктивності насосів з можливістю їх паралельного та послідовного з'єднання для визначення енергоефективних режимів використання спожитої потужності.

Теоретичні та експериментальні дослідження визначення енергоефективних режимів використання спожитої потужності здійснювалася за рахунок розроблення та створення експериментального стенду для визначення режимів роботи і побудови енергетичних характеристик побутових відцентрових насосів типу БЦН.

Контрольно-вимірювальні прилади та методика параметричних випробувань відцентрових насосів із визначенням втрат спожитої потужності на кожному режимі забезпечили необхідну точність проведення фізичного експерименту.

Ключові слова: *відцентрові насоси, спожита потужність, дросельне регулювання, характеристики насосів, ресурсозбереження*

Актуальність. *Нині більшість систем водопостачання в побуті для населення представлені широким асортиментом побутових відцентрових поверхневих насосів типу БЦН. Наприклад, побутовий відцентровий поверхневий насос БЦН 1.1–20 використовують для перекачування води, поливання городів, садів, газонів; подання води з відкритих водойм (озер, ставків), а також колодязів, ємностей, свердловин.*

Серед заводів-виробників цих насосів є такі відомі торгові марки як: ХЕЛЗ, Промелектро, Бриз (Харків), Електромотор, Ворскла (Полтава), УАПО Агідель (Уфа), Кама (Перм), Гарант Бештау (Лермонтов, Ставропольський край). Великий вибір і широкий спектр застосування роблять ці насоси незамінними в побуті. Тому дослідження їх енергетичних характеристик у різних режимах роботи за допомогою готової конструкції стенда для сумісної роботи 2-х насосів при паралельному і послідовному їх з'єднанні (в першому випадку для збільшення витрат, в другому для збільшення напору), які б допомагали споживачам при виборі насосів, обумовлює актуальність цієї теми [1, 2, 3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відцентровий насос, виготовлений на заводі, підлягає випробуванням, при яких визначають напір, що створює насос, його продуктивність при різних напорах, потужність на валу насоса, коефіцієнт корисної дії. Залежність напору, потужності на валу насоса, коефіцієнта корисної дії від продуктивності насоса (подачі) при відомому постійному числі обертів представляють кривими, які називають енергетичними графічними характеристиками насоса. Ці випробування та криві, побудовані за ними, наводяться в каталогах насосів. Дані про втрачену спожиту потужність відсутні, також відсутні конструкція стенда для сумісної роботи 2-х насосів, алгоритм їх роботи і можливості цієї роботи.

Практика показує, що насоси часто працюють в умовах, які відрізняються від номінальних [4, 5]. Тому необхідно представляти, як змінюються напір, ККД і спожита насосом потужність залежно від різної продуктивності (подачі) при постійному числі обертів, тобто знати його робочу характеристику. Важливим етапом енергоефективного використання побутових відцентрових насосів є проведення експериментального дослідження.

Тому одним з основних напрямків ефективного використання насосного обладнання є створення стенду для дослідження енергетичних характеристик побутових відцентрових насосів.

Мета дослідження – створення стенду із замкненою циркуляцією рідини, дросельним регулюванням подачі насосів з можливістю їх паралельного та

послідовного з'єднання для дослідження енергетичних характеристик побутових відцентрових насосів типу БЦН та втрат спожитої потужності.

Матеріали і методи дослідження. Теоретичні та експериментальні дослідження ефективного використання насосного обладнання здійснювалась з використанням методики для параметричних випробувань, з визначенням втрат спожитої потужності на кожному режимі роботи. Для проведення експериментальних досліджень розроблено випробувальний стенд для двох насосів із замкненою циркуляцією рідини (рис.1).



Рис 1. Експериментальний стенд із замкненою циркуляцією рідини для енергетичних випробувань побутових відцентрових насосів

На рис.2 наведена принципова схема стенда для дослідження енергетичних характеристик відцентрових насосів. Насос 2 забирає воду з резервуара всмоктувальною трубою 1. Вода від насоса надходить напірним трубопроводом назад у бак. Для вимірювання напору насоса на всмоктувальному трубопроводі встановлений вакуумметр, а на напірному трубопроводі – манометр.

Подача насоса вимірюється об'ємним способом за допомогою лічильника 6 і регулюється заслінкою 8, встановленою на напірному трубопроводі 7. Заслінки 5, 11 повинні бути закритими, а заслінки 4, 15 - відкритими протягом усього експерименту.

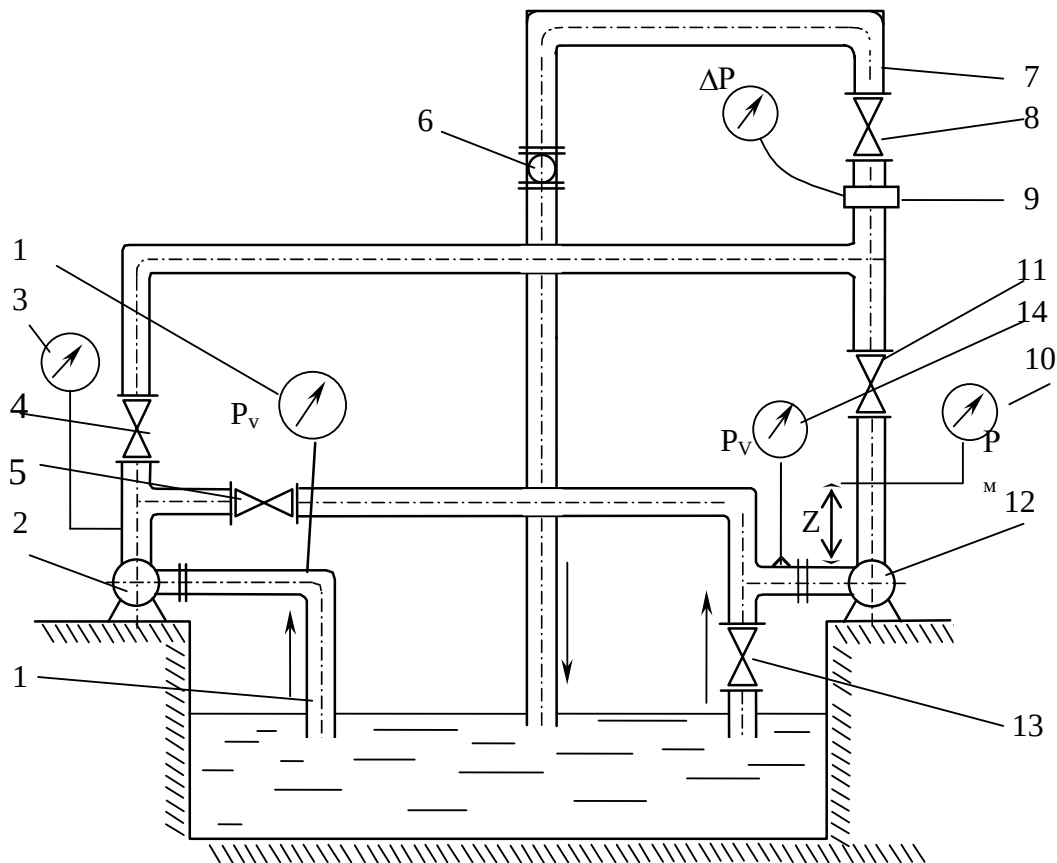


Рис. 2. Принципова схема стенда для енергетичних випробувань побутових відцентрових насосів типу БЦН:

1, 7 – трубопроводи; 2, 12 – насоси; 3, 10 – манометри; 4, 5, 8, 11, 13 – заслінки; 6 – лічильник рідини; 9 – витратомір Вентурі; 14 – вакуумметр

Електрична схема стенду подана на рис. 3. Для визначення потужності, споживаної електродвигуном з мережі, стенд обладнаний вольтметром і амперметром. Частота обертання валу електродвигуна контролюється за допомогою переносного механічного тахометра.

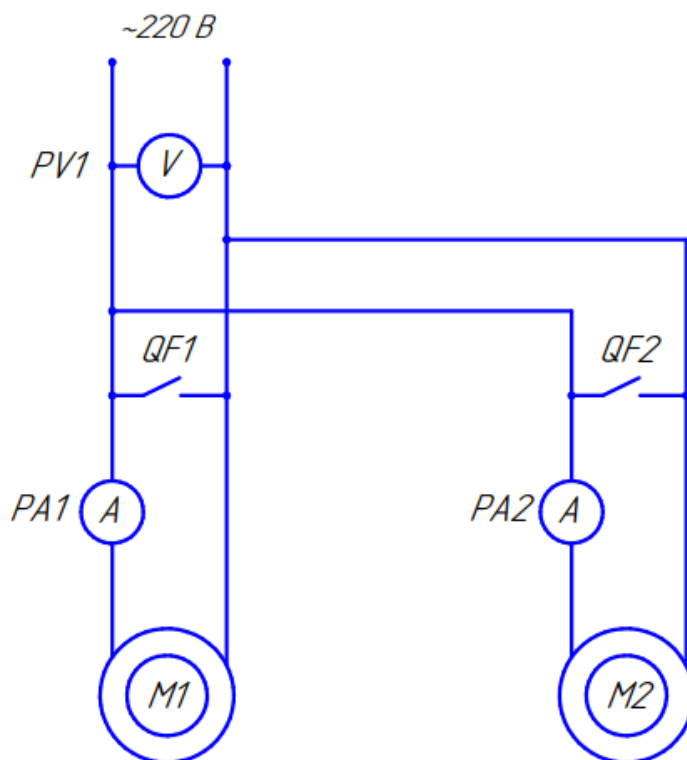


Рис. 3. Електрична схема стенда для енергетичних випробувань побутових відцентрових насосів типу БЦН:

M1, M2 – електродвигун робочої машини (насоса); *PA, PA2* – амперметри; *PV1* – вольтметр; *QF1, QF2* – автоматичні вимикачі

Результати досліджень та їх обговорення. Важливими енергетичними характеристиками насосів є спожита потужність та її втрати на кожному режимі. Зняті вихідні дані для їх розрахунку за шістьма дослідях приведені в табл. 1.

1. Результати дослідження параметричних випробувань побутового відцентрового насоса типу БЦН

№, з/п	I, A	U, B	$h_{ман}, атм.$	$h_в, атм.$	$Q, м^3/с$	$Q, м^3/год$
1	2	3	4	5	6	7
1	2,4	210	20	0,2	0	0
2	3,8	210	12	1,0	0,0016	5,76
3	3,5	210	14	0,6	0,0014	5,04
4	3,2	210	16	0,2	0,0011	3,96
5	3,0	210	18	0,2	0,00085	3,06
6	2,6	210	20	0,2	0,00045	1,62

Нижче наведено покроковий порядок виконання роботи, а саме дослідження динаміки перетворення спожитої енергії зі зняттям показників з контролюючих приладів.

1. Витрату записуємо в стовпчики 6 або 7 табл. 1.

2. Потужність, Вт, споживана насосним агрегатом з мережі

$$N_{e1-6} = I_{1-6} \cdot U_{1-6} \cdot \cos \varphi, \quad (1)$$

де U - напруга мережі живлення, В; I - струм електродвигуна, А; $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності двигуна. Слід зазначити, що тут береться каталожне значення коефіцієнту потужності, що може відрізнятись від реального, враховуючи несиметричний однофазний режим роботи електродвигуна даного насосу [6]. Приймаємо $\cos \varphi = 0,85$.

3. Тоді корисна потужність насоса буде визначатися за формулою:

$$N_{к1-6} = \rho g Q_{1-6} H_{нас1-6}, \text{ Вт.} \quad (2)$$

4. Потужність на валу насоса (витрачена на привід насоса):

$$N_{в1-6} = \eta_d N_{e1-6}, \text{ Вт.} \quad (3)$$

де η_d — ККД електродвигуна (за умовами досвіду приймаємо $\eta_d = 0,7$).

5. Визначаємо коефіцієнт ККД насосного агрегату за формулою:

$$\eta_{1-6} = \frac{N_{к1-6}}{N_{e1-6}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

6. Енергетичні втрати в насосних установках можна представити рівнянням:

$$\Delta N_{1-6} = N_{e1-6} - N_{к1-6}, \text{ Вт.} \quad (5)$$

Щоб отримати робочу характеристику, необхідно закрити напірну трубу засувкою. Тоді $Q = 0$, $H = 0$. Змінюючи переріз напірної труби за допомогою засувки, вимірюємо для кожного окремого випадку витрату Q та напір H за манометром та вакуумметром при зберіганні постійного числа обертів робочого колеса насоса. Будуємо графік, відкладаючи на осі абсцис значення Q в прийнятому масштабі для кожного окремого відкриття засувки і на вісі ординат значення H . З'єднуючи отримані точки, отримаємо криву $Q - H$. Вимірюючи для кожного випадку витрату Q , за значеннями амперметра і вольтметра за формулою (1)

розраховуємо спожиту потужність, за формулою (2) – корисну потужність, за формулою (3) – потужність на валу насоса, за формулою (4) – коефіцієнт корисної дії насосної установки $\eta_{нас}$. З'єднуючи отримані точки отримаємо криві $Q - N_v$, $Q - \eta_{нас}$.

Криві $Q - H$, $Q - N_v$, $Q - \eta_{нас}$ і є робочими енергетичними характеристики для даного насосу. Крива $Q - H$ – це головна характеристика насоса, а точка В кривої вказує на найбільше значення ККД – оптимальна точка. Для отримання необхідної витрати (необхідного режиму роботи) потрібно закривати засувку до тих пір, поки не отримаємо заданий режим.

При цьому споживана потужність визначається електричною потужністю, споживаною двигуном з електричної мережі. Корисна потужність визначається гідравлічною потужністю насоса. Випробування насоса проводять не менше ніж при 5 подачах. При цьому отримують ряд точок, за якими будують характеристики насоса. Характеристики відцентрових насосів подають в табл. 2 і в графічній формі (рис. 4).

2. Результати досліджень динаміки перетворень потужностей в насосному агрегаті

№ п/п	Параметр, умовне позначення	одиниця вимірювання	№ досліду					
			1	2	3	4	5	6
1	Подача насоса, Q_{1-6}	м ³ /с	0	0,0016	0,0014	0,0011	0,00085	0,00045
2	Спожита потужність, N_e 1-6	Вт	428	678	625	571	536	464
3	Потрібний напір насоса, $H_{нас}$ 1-6	м	20,2	13,0	14,6	16,2	18,2	20,2
4	Корисна потужність насоса, N_k 1-6	Вт	0,00	208	204	178	155	91
5	Потужність на валу насоса, N_v 1-6	Вт	300	475	438	398	375	325
6	ККД насосного агрегата, η_{1-6}	%	0,00	30,67	32,64	31,17	28,91	19,51
7	Втрачена спожита потужність	Вт	0,00	470	421	393	381	373

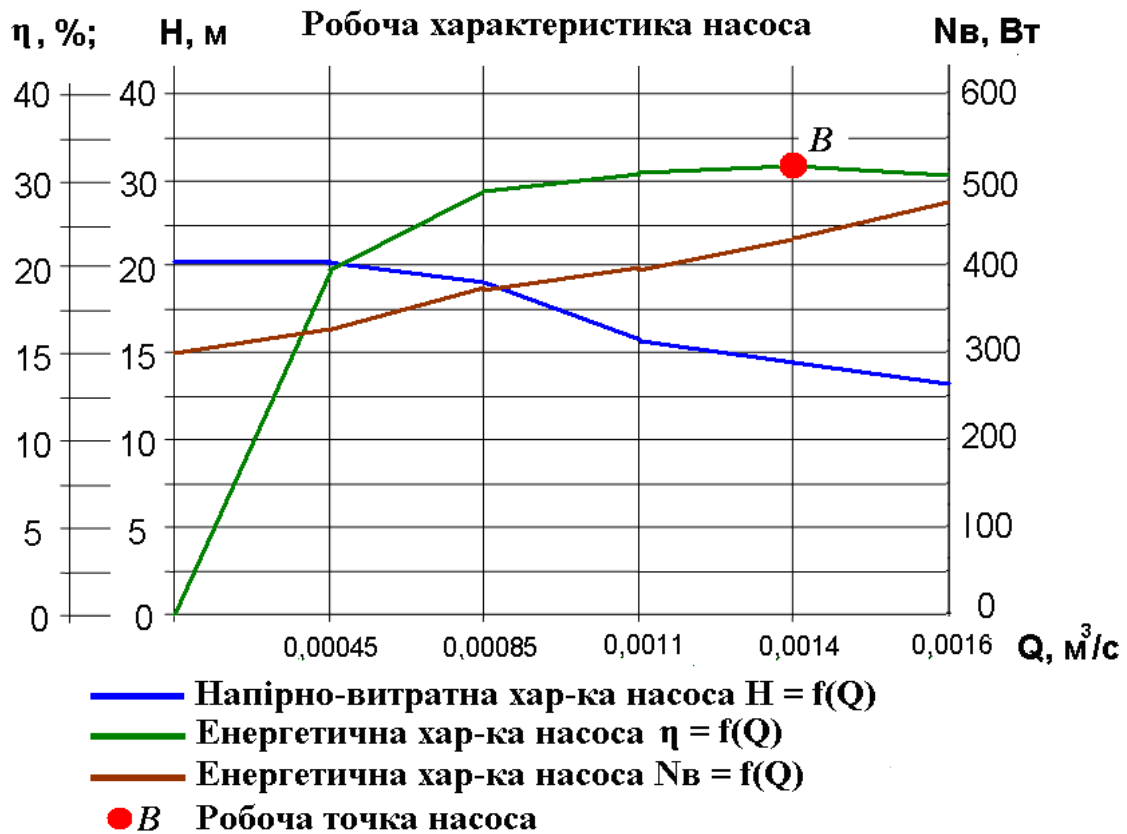


Рис.4. Характеристики відцентрового насоса

Стенд дозволяє проводити дослідження послідовної та паралельної роботи насосів на мережу. Спільне підключення насосів до однієї мережі використовують у тих випадках, коли необхідно суттєво збільшити продуктивність насосної установки або підвищити її напір. Можливі варіанти паралельного і послідовного з'єднання насосів. У першому варіанті збільшується подача рідини при майже незмінному напорі, в другому – напір потоку при незмінній подачі. Паралельна робота насосів можлива при однакових напорах насосів у кожний даний момент.

Для вивчення спільної роботи відцентрових насосів також використовується експериментальний стенд, фізично представлений на рис. 1, а та схематично представлений на рис.2. Для паралельного з'єднання насосів необхідно заслінки 4, 8, 11, 13 відкрити, заслінку 5 закрити. Схема послідовного включення насосів буде, якщо заслінки 5, 8, 11 відкриті, а заслінки 4, 13 закриті.

Для регулювання подачі призначена заслінка 8. Напір насосної установки (для послідовного і паралельного включення) контролюється за вакуумметром 3 і манометром 10.

Ключ до побудови сумарних характеристик насосів при їх паралельній та послідовній роботі представлено на рис. 5.

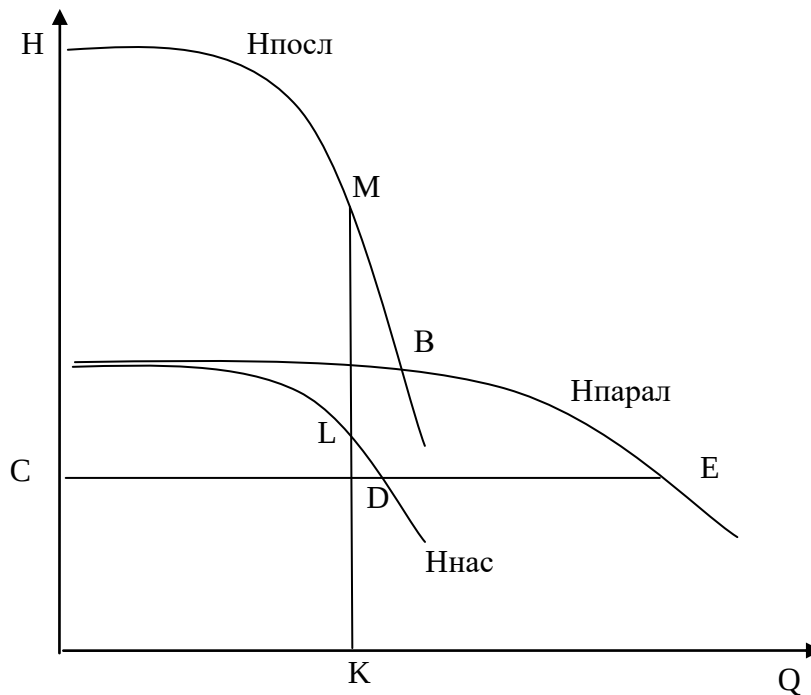


Рис. 5. Ключ до побудови сумарних характеристик насосів:
при паралельній роботі $CE=2CD$; при послідовній – $KM= 2KL$

Висновки і перспективи. Розроблено конструкцію випробувального стенду з двома насосами для проведення фізичного експерименту з визначення параметрів і енергетичних характеристик побутових відцентрових насосів типу БЦН з можливістю їх паралельної та послідовної роботи. Проведені експериментальні дослідження побутового відцентрового насоса БЦН на експериментальному випробувальному стенді показали, що при дросельному регулюванні величина спожитої потужності змінюється в широкому діапазоні від 678 Вт до 464 Вт залежно від зміни подачі насоса від $0,0016 \text{ м}^3/\text{с}$ до $0,00045 \text{ м}^3/\text{с}$ (від $5,76 \text{ м}^3/\text{год}$ до $1,62 \text{ м}^3/\text{год}$). При цьому втрати спожитої енергії при максимальній подачі насоса складають 470 Вт за ККД 30,67 %, а за мінімальної подачі складають 373 Вт за ККД 19,51 %.

Список використаних джерел

1. Бугай Ю. Н., Огородніков П. І., Палішкін Н. А. Гідравліка, гідромашини і гідропривод. К.: МНТУ, 2002. 388 с.

2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривід: за ред. В. А. Дідура. Запоріжжя: Прем'єр, 2005. 461 с.
3. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции. М.: Стройиздат, 1983. 320 с.
4. Мазуренко Л. І., Попович О. М., Гребеніков В. В., Бібік О. В., Головань І. В., Джура О. В., Шуруб Ю. В., Вербовий А. П., Романенко В. І. Електричні машини змінного струму та електромеханічні системи на їх основі. Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. 2011. Вип. 29. С. 62–70.
5. Попович О. М., Бібік О. В. Пошук і оцінка шляхів підвищення енергоефективності моноблочного насосу за застосування комплексного проектування. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: "Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії". 2018. № 5. С. 79–82.
6. Попович А. Н., Шуруб Ю. В., Бибики Е. В. Определение и учет коэффициента мощности при улучшении технико-экономических характеристик асинхронных электроприводов в динамических режимах с учетом несимметрии. Технічна електродинаміка. 2003. № 6. С. 42–49.

References

1. Bugaj, Yu. N., Ogorodnikov, P. I., Palishkin, N. A. (2002). Gidravlika, gidromashiny i gidroprivod [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drive]. Kiev: MNTU, 388.
2. Didur, V. A., ed. (2005). Gidravlika, silskogospodarske vodopostachannya ta gidropnevmoprivid [Hydraulics, agricultural water supply and hydropneumatic drive]. Zaporizhzhya: Premer, 461.
3. Lobachev, P. V. (1983). Nasosy i nasosnye stancii [Pumps and pumping stations]. Moscow, Russia: Strojizdat, 320.
4. Mazurenko, L. I., Popovych, O. M., Grebenikov, V. V., Bibik, O. V., Holovan, I. V., Dzhura, O. V., Shurub, Yu. V., Verbovyi, A. P., Romanenko, A. I. (2011). Elektrychni mashyny zminnoho strumu ta elektromekhanichni systemy na yikh osnovi [Alternative current electric machines and electromechanical systems on their base]. Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 29, 62-70.
5. Popovych, O. M., Bibik, O. V. (2018) Poshuk i otsinka shlyakhiv pidvyshchennya enerhoefektyvnosti monoblochnoho nasosu za zastosuvannya kompleksnoho proektuvannya [Search and evaluation of ways to increase the energy efficiency of a monoblock pump in the application of complex design]. Bulletin of the NTU "KhPI". Series: Electrical Machines and Electromechanical Energy Conversion, 5, 79–82.
6. Popovich, A. N., Shurub, Yu. V., Bibik, E. V. (2003). Opredeleniye i uchet koeffitsiyenta moshchnosti pri uluchshenii tekhniko-ekonomicheskikh kharakteristik asinkhronnykh elektroprivodov v dinamicheskikh rezhimakh s uchetom nesimmetrii [Definition and the power factor account at improvement of technical and economic characteristics of induction electric drives in dynamic modes taking into account asymmetry]. Technical Electrodynamics, 6, 42-49.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ БЫТОВЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИХ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

В. Е. Василенков, Ю. В. Шуруб

Аннотация. В условиях постоянного роста дефицита и цен на энергоресурсы (водные, энергетические) все большее внимание потребителей уделяется энергоэффективности (КПД) насосного оборудования. Многолетняя практика показывает, что при проектировании даже простых насосных установок любого назначения возникают трудности в выборе необходимого насосного оборудования с энергоэффективными режимами работы. Важным моментом исследования энергоэффективных режимов работы и построения энергетических характеристик бытовых центробежных насосов типа БЦН является проведение экспериментальных исследований.

Целью данной работы является создание экспериментального стенда с замкнутой циркуляцией жидкости, дроссельным регулированием производительности насосов с возможностью их параллельного и последовательного соединения для определения энергоэффективных режимов использования потребляемой мощности.

Теоретические и экспериментальные исследования определения энергоэффективных режимов использования потребляемой мощности осуществлялась за счет разработки и создания экспериментального стенда для исследования режимов работы и построения энергетических характеристик бытовых центробежных насосов типа БЦН.

Контрольно-измерительные приборы и методика параметрических испытаний центробежных насосов с определением потерь потребляемой мощности в каждом режиме обеспечили необходимую точность проведения физического эксперимента.

Ключевые слова: центробежные насосы, потребляемая мощность, дроссельное регулирование, характеристики насосов, ресурсосбережение

EXPERIMENTAL STAND FOR THE STUDY OF ENERGY PERFORMANCE OF DOMESTIC CENTRIFUGAL PUMPS WITH THE POSSIBILITY OF THEIR PARALLEL AND SERIES CONNECTION

V. Vasilenkov, Yu. Shurub

Abstract. In conditions of constant growth of deficit and prices for energy resources (water, energy), more and more attention of consumers is paid to energy efficiency (efficiency) of pumping equipment. Many years of practice show that when designing even simple pumping units for any purpose, there are difficulties in choosing the necessary pumping equipment with energy-efficient modes. An important point in the study of energy-efficient modes of operation and construction of energy characteristics of household centrifugal pumps such as BCN is to conduct experimental studies.

The aim of this work is to create an experimental stand with closed fluid circulation, throttle control of pump performance with the possibility of their parallel and series connection to determine energy-efficient modes of power consumption.

The theoretical and experimental component of determining the energy efficiency modes of power consumption was carried out through the development and creation of an experimental stand for the study of operating modes and construction of energy characteristics of household centrifugal pumps type BCN.

Control and measuring devices and methods of parametric tests of centrifugal pumps to determine the loss of power consumption in each mode, provided the necessary accuracy of the physical experiment.

Key words: *centrifugal pumps, power consumption, throttle control, pump characteristics, resource savin.*