

УДК 621.664

Ю.В. Кулешков, проф., канд. тех. наук, Т.В. Руденко, канд. тех. наук, М.В. Красота, доц., канд. тех. наук, О.О. Матвієнко, інж., Ю.А. Титов, інж.
Кіровоградський національний технічний університет

Методика стендових випробовувань шестеренного насоса

Розроблена програма досліджень, яка включала методики дослідження основних технічних характеристик НШ для різних значень тиску, робочого об'єму насоса і частоти обертання, і перевірку ступеня збігу основних теоретичних положень і висновків з результатами, отриманими експериментальним шляхом. Розглянуто методики випробувань шестеренних насосів з регульованою подачею, наведено будову та характеристика дослідного обладнання. Викладено методику обробки даних, отриманих при проведенні експериментальних досліджень.

шестеренний насос, діапазон регулювання, параметр регулювання

Останнім часом спостерігається тенденція до збільшення на ринку частки шестеренних насосів (НШ) об'ємного типу. Це пояснюється рядом унікальних якостей, властивих НШ, серед яких високі питомі показники по потужності, малі габаритні розміри й маса, нечутливість до забруднень робочої рідини (РР), висока надійність і технологічність, низька собівартість виготовлення.

На теперішній час проведено цілий ряд досліджень теоретичного й експериментального характеру [1-8], спрямованих на підвищення технічного рівня шестеренного насоса. Один з перспективних напрямків вдосконалення НШ є розробка конструкцій насосів з регульованою подачею [5].

Експериментальне дослідження нових конструкцій з метою вивчення їх характеристики потребує розробки нових експериментальних методик.

Стан питання. При проведенні будь-яких комплексних досліджень після висунування гіпотези виникає необхідність у проведенні попередніх пошукових експериментальних досліджень, а також стендових експериментальних випробовувань нових зразків техніки. З метою коректного порівняльного аналізу результатів експериментальних досліджень, отриманих авторами, існує необхідність у певній уніфікації методик випробовувань типових зразків продукції.

Метою роботи є викладення методики стендових експериментальних досліджень технічних параметрів НШ насосів з регульованою подачею [5] та інших конструкцій насосів типу НШ.

1. Програма експериментальних досліджень

Програма експериментальних випробовувань включала методики дослідження основних технічних характеристик НШ для різних значень тиску, робочого об'єму насоса (РОН) і частоти обертання, і перевірку ступеня збігу основних теоретичних положень і висновків з результатами, отриманими експериментальним шляхом. Вихідними даними для розробки програми досліджень були: основні технічні характеристики ШНРП, загальна методика дослідження, мета й завдання дослідження, робоча гіпотеза, об'єкт і предмет дослідження, а також результати теоретичних досліджень.

Об'єктом дослідження є ШНРП, розроблений за результатами теоретичних і пошукових експериментальних досліджень.

Предметом дослідження є основні технічні й функціональні характеристики ШНРП, а саме: тиск, що розвивається насосом, подача, РОН, КП, механічний і загальний ККД, параметр регулювання (ПР), діапазон регулювання (ДР), залежність подачі від міжцентрової відстані (МЦВ), навантажувальна характеристика ШНРП (залежність подачі ШНРП від тиску при різних значеннях частоти обертання й РОН).

Для вирішення задач експериментальних досліджень методика передбачає одержання ряду показників, які характеризують робочий процес ШНРП, а також параметри його функціонування. Визначення показників ШНРП включало експериментальне дослідження основних технічних характеристик ШНРП за ГСТУ 3-25-180-97 і ДСТУ 2192-93 [9, 10], які передбачають визначення тиску ШНРП, що розвивається, подачі, КП, механічного і загального ККД, а також параметрів, що характеризують регуляторні можливості ШНРП: ПР і ДР ШНРП; визначення залежності подачі від МЦВ і навантажувальної характеристики ШНРП.

2. Установа, оснащення й прилади для проведення експериментальних досліджень НШ

Для експериментального дослідження ШНРП використовували установку, що була створена на базі балансирного стенда для дослідження технічних характеристик НШ ККД - 6 (DS 1036-4/N). Загальний вид установки, його гідравлічна схема та основні вузли представлені на рис. 1-4.

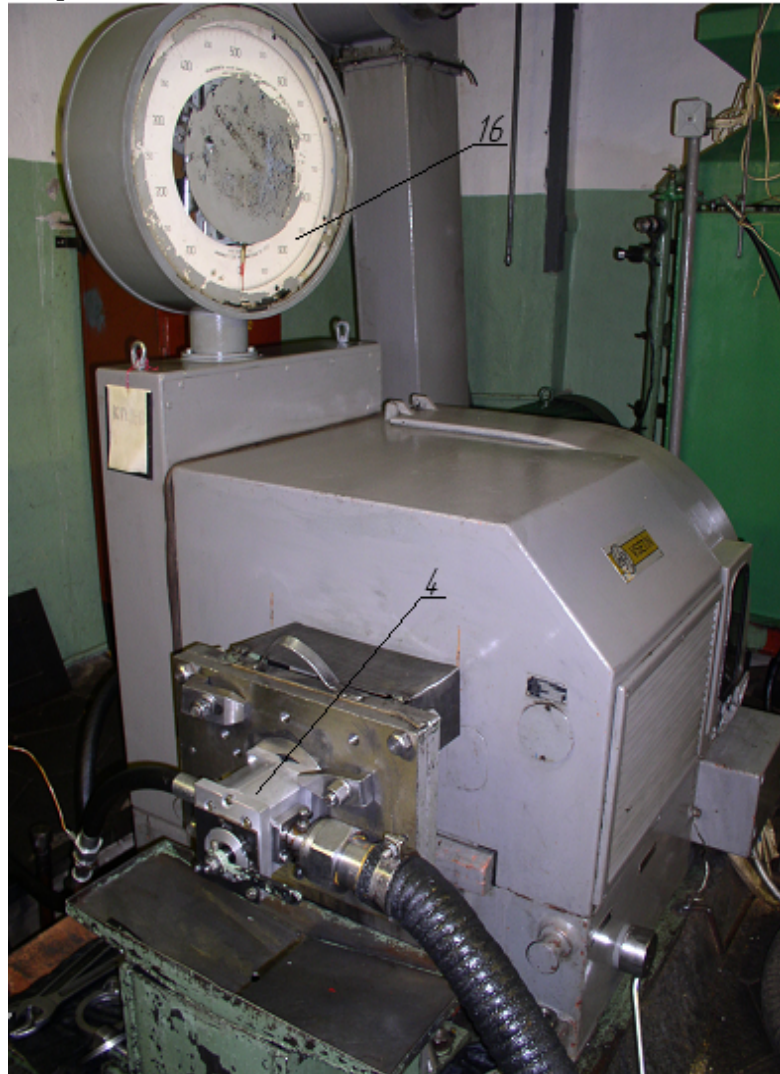


Рисунок 1 - Загальний вид установки для експериментального дослідження основних технічних характеристик ШНРП

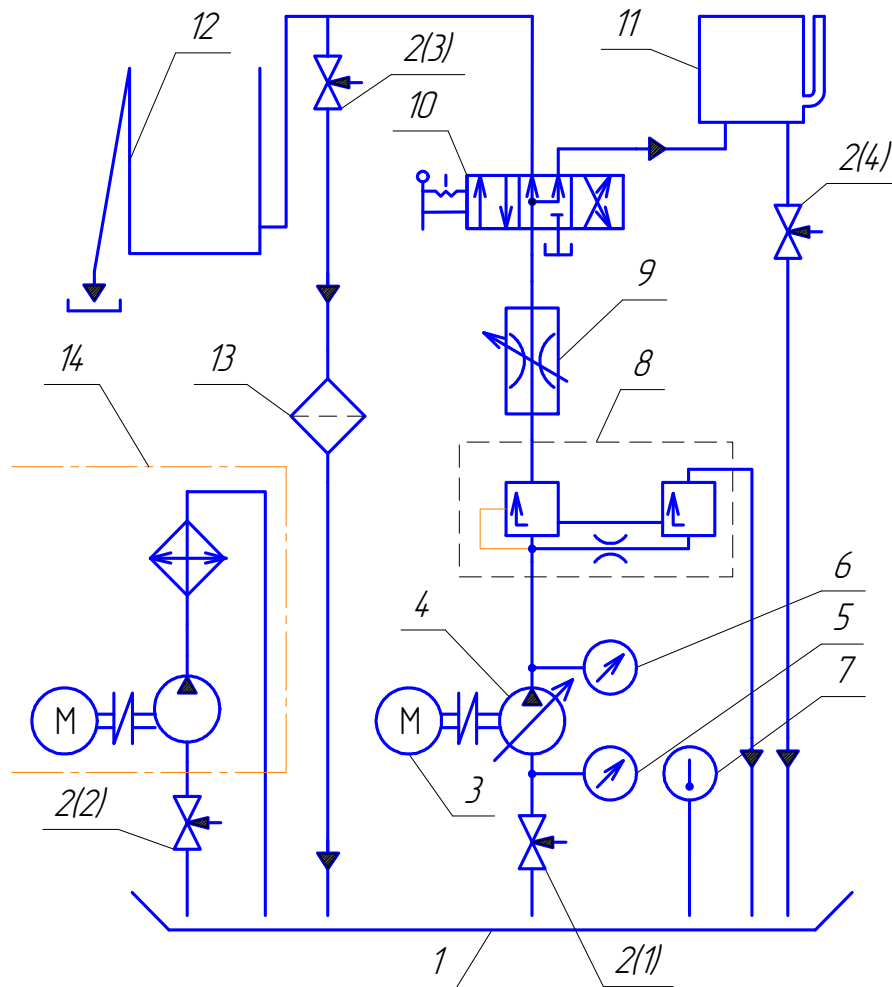


Рисунок 2 - Гідралічна схема станда для визначення об'ємного й механічного ККД ШНРП

Представлена експериментальна установка призначена для визначення основних технічних характеристик НШ: тиску, що розвивається насосом, подачі, РОН, КП, механічного і загального ККД, потужності, що розвивається залежно від тиску нагнітання, швидкості обертання й температури РР.

Установка складається з таких основних вузлів (див. рис. 1-5):

- електропривода із двигуном 3, приводним валом і муфтою, що призначений для обертання ведучого валу експериментального насоса 4 (рис. 1, 2);
- вентилів 2 марки Г 50-16 для керування потоком РР (рис. 2);
- вакуумметра 5, манометра 6 і термометра 7 (рис. 2);
- навантажувального пристрою 8, який розташований в єдиному блоці із дроселем голкового типу й запобіжним клапаном (рис. 2);
- дроселя 9, для регулювання тиску в гідросистемі (рис. 2);
- розподільника 10 марки Г 74-16 для керування роботою станда (рис. 2);
- пристрою для вимірювання подачі насоса із загальним 1, мірним 11 і приймальним баком 12 (рис. 2 і рис. 3);
- балансного пристрою з ваговою головою 16 (рис. 1, 4) для вимірювання крутного моменту привода насоса (рис. 4);
- фільтра 13 і системи охолодження й очищення РР 14 (рис. 2);
- шківів регулювання дроселя – 17 для створення навантаження на НШ (рис. 4);
- пульта керування частотою обертів 18 і контрольно-вимірювальних приладів для вимірювання частоти обертання насоса 19 і циклів 20 (рис. 5).

Привід експериментального насоса здійснюється за допомогою двигуна 3

постійного струму, що може плавно змінювати частоту обертання в діапазоні від 100 до 3000 хв⁻¹. Контроль числа обертів ведучого вала здійснюється приладом 19 марки ЦАТ-3Г (рис. 5).

Балансирний пристрій для вимірювання крутного моменту виконано разом із двигуном 3 і встановлено на кулькових опорах. Рама пристрою передає зусилля, що створюється від реактивного моменту насоса через важіль на ваговий пристрій 16, що являє собою вагову головку типу STP III (рис. 1 і рис. 4).

Для вимірювання подачі ШНРП використовують мірний бак 11 циліндричного типу об'ємом 39,960 дм³, обладнаного поплавком 21 і датчиками 22, які відрегульовані на спрацьовування при заповненні певного відтарованого об'єму бака (рис. 3).

Тарування мірного бака 11 здійснювали за допомогою мірної ємності 1-го класу точності об'ємом 2 дм³ відповідно до ГОСТ 1770–7 Відносна похибка вимірювання за допомогою мірного бака не перевищує 1 %.

Прийомний бак 12 (рис. 2, 3) являє собою ємність на 500 літрів із пристроєм для охолодження, очищення масла й спостереження за підсмоктуванням повітря. Підведення рідини до ШНРП здійснюється через вентиль 2 марки Г 50-16.

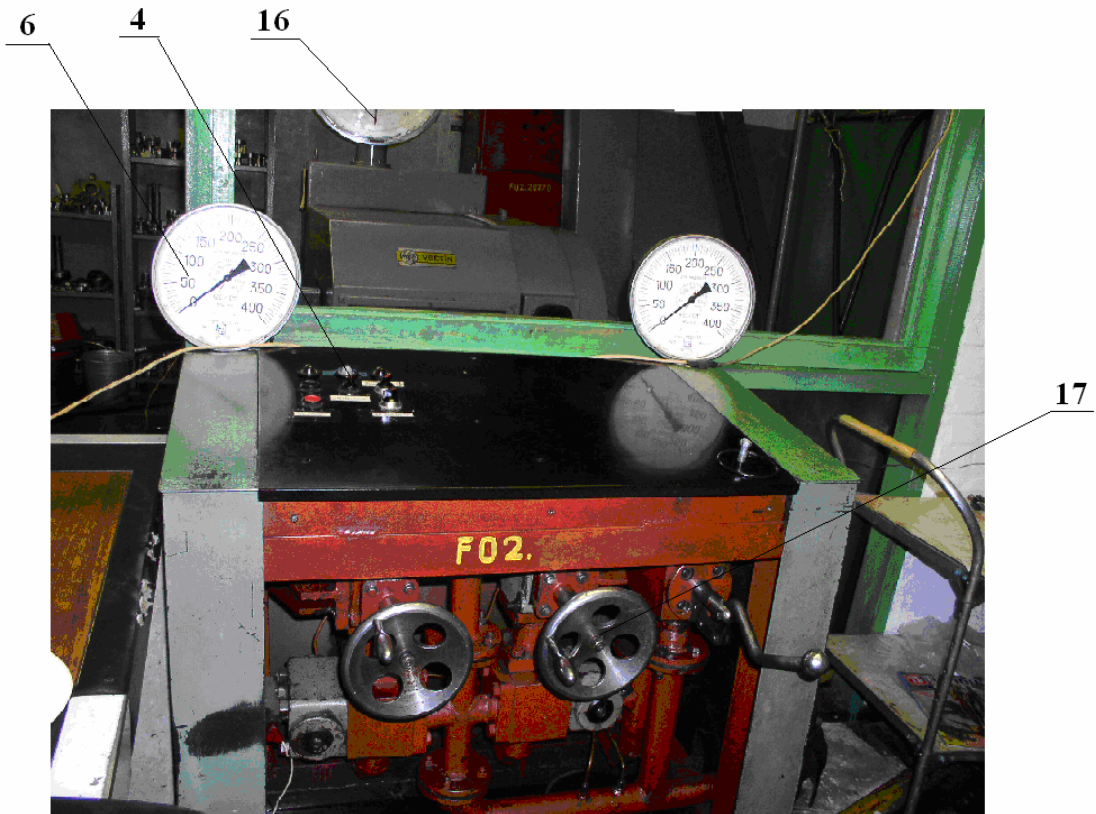
Перелік основних приладів, які використовуються в установці для експериментального дослідження основних технічних характеристик ШНРП, наведений у табл. 1.

Принцип дії експериментальної установки (див. рис. 1, 2) полягає в наступному. Привід експериментального насоса 4 здійснюється за допомогою двигуна постійного струму 3. Кількість обертів двигуна постійного струму регулюють за допомогою реостата 18 (рис. 5). При цьому частоту обертання приводного вала насоса n - визначали приладом 19 марки ЦАТ – 3Г за допомогою фотоелектронного датчика марки ДФ -1 (рис. 5).



1- загальний бак; 11- мірний бак, 12 - прийомний бак

Рисунок 3 – Експериментальна установка



4 - кнопка пуску привода; 6- манометр для визначення тиску; 16 - ваговий пристрій; 17 - вентиль керування тиском

Рисунок 4 - Пульт керування станду



18 – панель керування частотою обертів; 19 – тахометр; 20 – лічильник циклів

Рисунок 5 - Пульт керування установки

Таблиця 1 - Перелік і основні технічні характеристики приладів, які використовуються на експериментальній установці

Найменування приладів або фізична величина, що вимірюється	Марка приладу або умовне позначення	Межі вимірювання	Клас точності; ціна поділки або похибка вимірювання	ДСТУ або ГОСТ
Розрідження на вході в насос, вакуумметр	ОБВ1-160	Тиск 0,1...0 МПа	Кл. 1,5; Ціна поділки 0,002 МПа	ГОСТ 2405-72
Тиск, що розвивається насосом, манометр	МТИ-160×250	Тиск 0...25 МПа	Кл. 0,4	ГОСТ 8625-65
Частота обертання приводного валу двигуна	ЦАТ-3Г, фотоелектронний датчик ДФ-1	Частота обертання 1,5...170 з ⁻¹	Похибка при 1,5 с ⁻¹ - 0,017 с ⁻¹ при 170 с ⁻¹ - 0,042 с ⁻¹	-
Об'ємна подача, мірний бак	-	об'єм 39,960 дм ³	похибка 1,0 %	-
Кількість циклів (обертів) вала насоса, електронний лічильник імпульсів	Ф-5007	0...10 ⁶	Похибка 1/60 про. (0,017 про.)	ТУ -25-04-2032 0 - 71
Крутний момент, вагова головка	СТР III	Сила 50...1000 Н	Ціна поділки - 1 Н	
Температура робочої рідини, термометр	ТПГ-4	Температура 0...200 °С	Похибка 2,5 % Ціна поділки - 2 ⁰ С	ГОСТ 8624-71

Розрідження на стадії всмоктування визначається за допомогою вакуумметра - 5 марки ОБВ1-160 ГОСТ 2405-75.

Необхідний робочий тиск - P , що розвивається насосом, створюється за допомогою дроселя 9 (рис. 2). Тиск контролюється за допомогою манометра 6 марки МТИ-160(250 (рис. 2 і 4).

Подачу, що забезпечує експериментальний ШНРП, вимірювали за допомогою мірного бака 11 ємністю 39,960 дм³ (рис. 2 і 3) і лічильника циклів (кількості обертів) приводного вала насоса 20 (рис. 5). Кількість циклів, за якої заповнюється мірний бак, визначали електронним лічильником імпульсів 20 марки Ф- 5007. Напрямок потоку РР у мірний бак здійснюють за допомогою розподільника 10 марки Г 74-16.

У випадку, коли подачу насоса не вимірюють, потік РР за допомогою розподільника 10 марки Г 74-16 направляють у прийомний бак 12 (рис. 2 і 3).

Температуру РР контролюють за допомогою термометра 7 марки ТПГ-180 з діапазоном вимірювання 0...100 °С.

Очищення РР стенда здійснюється за допомогою спеціальної очисної станції 14, що містить у собі електромотор, насос і фільтр (рис. 2).

3. Окремі методики експериментальних досліджень ШНРП

Для виконання зазначеної програми експериментальних досліджень у роботі були застосовані існуючі й розроблені окремі методики досліджень.

В основу методик експериментальних досліджень покладено вивчення впливу одного фактора на параметри процесу при фіксації інших факторів. При проведенні експериментальних досліджень вимірювання величин проводили, щонайменше, із трикратною повторністю відповідно до вимог [16-20].

3.1. Основні технічні характеристики ШНРП, що визначалися при експериментальних дослідженнях

Відповідно до розробленої програми експериментальних досліджень ШНРП визначали:

- номінальний тиск;
- максимальний тиск;
- залежність подачі ШНРП від тиску при різних значеннях частоти обертання й РОН (ПР або ДР), тобто навантажувальну характеристику ШНРП;
- залежність потужності, яка споживається, від тиску на виході при різних значеннях частоти обертання й РОН (ПР або ДР), тобто навантажувальну характеристику ШНРП, виражену через потужність;
- залежність КП від тиску при різних значеннях частоти обертання й РОН (ПР або ДР);
- залежність потужності, що розвивається, від тиску при різних значеннях частоти обертання й РОН (ПР або ДР);
- залежність механічного ККД від тиску на виході насоса при різних значеннях частоти обертання й РОН (ПР або ДР);
- залежність загального ККД від тиску насоса при різних значеннях частоти обертання й РОН (ПР або ДР);
- ПР і ДР ШНРП;
- залежність РОН і подачі від МЦВ ШНРП;

Визначення основних технічних характеристик ШНРП проводили відповідно до ГСТУ 2192-93 і ГСТУ 3-25-180-97 [9, 10] для кожного значення робочого об'єму на певних значеннях тиску й частотах обертання насоса.

Відповідно до [16-20] функціональні залежності параметрів, варто визначати не менше ніж для п'яти значень незалежних параметрів, у тому числі для граничних і номінальних значень. Виходячи із цього, розроблені режими експериментального дослідження ШНРП, які наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Режими проведення експериментальних досліджень ШНРП

Показники режимів експериментального дослідження ШНРП	Режими експериментального дослідження ШНРП				
	Робочий об'єм, см ³	V_0	$V_0 - 0,25\Delta V_0$	$V_0 - 0,5\Delta V_0$	$V_0 - 0,75\Delta V_0$
Тиск, МПа	0; 5,0; 10,0; 16,0; 21,0	0; 5,0; 10,0; 16,0; 21,0	0; 5,0; 10,0; 16,0; 21,0	0; 5,0; 10,0; 16,0; 21,0	0; 5,0; 10,0; 16,0; 21,0
Частота обертання, п, с ⁻¹ (хв ⁻¹)	8,3 (500)	8,3 (500)	8,3 (500)	8,3 (500)	8,3 (500)
	16 (1000)	16 (1000)	16 (1000)	16 (1000)	16 (1000)
	32 (1920)	32 (1920)	32 (1920)	32 (1920)	32 (1920)
	40 (2400)	40 (2400)	40 (2400)	40 (2400)	40 (2400)
	50 (3000)	50 (3000)	50 (3000)	50 (3000)	50 (3000)
Температура РР (МГЕ 46У ТУ 38.001347-83), °С	35...50				

Примітка: V_0 - номінальне значення робочого об'єму ШНРП.

При цьому тиск, при якому проводили дослідження технічних характеристик ШНРП, відповідає насосу 3-го виконання $P_{ном} = 16$ МПа й $P_{max} = 21,0$ МПа [9].

3.2 Методика визначення параметру регулювання

Перед визначенням основних технічних характеристик уведемо поняття ДР, під яким розуміють відношення номінального робочого об'єму насоса до його мінімально можливого робочого об'єму:

$$D = \frac{V_0}{V_{min}}, \quad (1)$$

де V_0 , V_{min} – відповідно номінальний і мінімальний РОН, м³.

З (1) випливає, що за умов $V_0 = V_{min}$, $D_p = 1$, у той же час, якщо $V_{min} = 0$, то $D \rightarrow \infty$. Крім того, ДР характеризує максимально можливу ступінь регулювання насоса й не використовується для поточного значення регулювання насоса.

Більш точно відображає сутність процесу регулювання поняття, уведені В.М. Прокоф'євим [12] - параметр регулювання, під яким розуміється відношення виду:

$$K_{рег} = \frac{V_m}{V_0}, \quad (2)$$

де V_m - поточне значення робочого об'єму насоса, м³.

З (2) бачимо, що параметр регулювання показує, яку частину робочого об'єму, використовує насос у даний момент часу.

Використання параметра регулювання дає можливість, на відміну від діапазону регулювання, легко визначити, ступінь регулювання насоса й поточне значення його подачі:

$$Q_m = K_{рег} Q_n, \quad (3)$$

де Q_n - номінальна подача НШ, м³/с.

3.3. Визначення номінального тиску, що розвивається експериментальним ШНРП

Відповідно до [11] під номінальним розуміють тиск, при якому забезпечується експлуатація насоса протягом заданого проміжку часу - технічного ресурсу, зі збереженням параметрів у межах заданих норм.

Наведене визначення не встановлює умов, за яких вимірюється номінальний тиск. Тому під номінальним тиском будемо розуміти тиск, при якому робота насоса носить стабільний характер, а температура РР на виході підвищується на постійну величину Δt , що залежить від типу насоса.

Під стабільним характером роботи насоса будемо розуміти роботу насоса, за якої зберігаються технічні характеристики насоса: тиск, подача, КП і загальний ККД на заданому технічними вимогами рівні [9, 10] протягом певного часу, устанавленого технічними вимогами.

Для насосів типу НШ граничний приріст температури становить $\Delta t_{gp} = 50^\circ C$. Якщо приріст температури РР на виході з насоса буде більший її граничного значення $\Delta t_{gp} = 50^\circ C$, то роботу насоса, при цьому не можна вважати стабільною. Це пояснюється тим, що при досягненні РР температури, що перевищує гранично припустиму $t_{гр}$, зменшується в'язкість РР, що приводить до падіння несучої здатності підшипників, а також до зниження таких важливих характеристик насоса, як КП, механічного й загального ККД.

$$t_{zp} = t_{noch} + \Delta t_{zp}, \quad (4)$$

де t_{noch} - початкова температура РР на вході в насос, звичайно початкова температура РР лежить у межах $t_{noch} = 20...30^\circ C$;

Цикл випробування триває 3 хв., що відповідає максимальному часу роботи насоса при номінальному тиску на практиці. Протягом зазначеного часу $t_{ц} = 3$ хв насос безперервно працює при встановленому тиску. Якщо температура РР на виході не перевищувала граничну, встановлену за залежністю (4), то тиск піднімали на 1 МПа й випробування продовжували. Якщо ж температура РР на виході перевищувала граничну, то випробування припиняли й за номінальний тиск приймали його попереднє значення.

3.4. Визначення максимального тиску, що розвивається експериментальним ШНРП

Під максимальним тиском відповідно до [11] розуміється найбільше значення тиску, при якому допускається експлуатація насоса протягом певного відрізка часу.

Для знаходження максимального тиску використовували наступну методику. Навантажували експериментальний ШНРП до тиску:

$$P_{\max 1} = P_{\text{ном}} + 0,1P_{\text{ном}}. \quad (5)$$

Робота насоса в цьому режимі навантаження згідно [9] повинна тривати не більше 3 с, після цього насос розвантажували до номінального тиску, при якому він повинен працювати не менше чотирьох хвилин [9].

При проведенні цього дослідження, були використані більш жорсткі режими випробування: робота при збільшеному тиску (5) - 6 с, після чого насос розвантажували до номінального тиску, при якому він повинен працювати не більше однієї хвилини [13].

Якщо насос витримував такі навантаження, тиск підвищували до значення:

$$P_{\max 2} = P_{\text{ном}} + 2 \cdot 0,1 \cdot P_{\text{ном}}. \quad (6)$$

Під максимальним тиском розуміється тиск, що відповідає залежності:

$$P_{\max} = P_{\text{ном}} + (n_{\text{дос}} - 1) \cdot 0,1 \cdot P_{\text{ном}}, \quad (7)$$

де $n_{\text{дос}}$ - номер досліду, при якому тиск досягає значення, при якому експлуатація ШНРП неможлива, оскільки це загрожує виходу насоса з ладу.

При проведенні досліджень контроль межі працездатності вели за ваговим пристроєм. При різкому відхиленні стрілки приладу ШНРП терміново розвантажували й випробування припиняли.

3.5. Визначення робочого об'єму ШНРП проливанням

Одним з найпростіших методів визначення робочого об'єму НШ є метод проливання. Цей метод описаний у літературі й на думку багатьох фахівців, є одним з найбільш точних методів визначення РОН, що пояснюється майже повною відсутністю втрат РР під час таких випробувань.

Методика полягає в тому, що до камери усмоктування приєднують ємність із РР. Насос повертають кілька разів за допомогою спеціальної рукоятки для заповнення його порожнин РР. Після цього починають вимірювання РОН за допомогою мірної ємності. Для збільшення точності вимірювання мірну ємність заповнюють при багаторазовому повертанні насоса. Тоді РОН насоса підраховують відповідно до залежності:

$$V_0 = \frac{V}{n}, \quad (8)$$

де V - об'єм РР, перекачаної ШНРП за n обертів;

n - кількість обертів ШНРП, необхідне для заповнення мірної ємності, звичайно

$n = 10 \dots 100$.

3.6. Визначення КП експериментального ШНРП

Коефіцієнт подачі є одним з основних показників, що характеризує якість роботи насоса, як гідравлічної машини. КП визначали на експериментальній установці для дослідження основних технічних характеристик ШНРП, змонтованої на базі балансірного стенда ККД - 6 (DS 1036-4/N).

При проведенні досліджень визначали залежність КП від тиску, що розвивається, при різних значеннях РОН, ПР та частоти обертання (див. табл. 2) виду (9), яку потім представляли у вигляді графіків.

$$\eta_v = \phi(P, n, K_{pez}), \quad (9)$$

де η_v - коефіцієнт подачі ШНРП;

P - поточне значення тиску, що розвивається, Па;

КП визначали за формулою:

$$\eta_v = \frac{V_{м.б.}}{n_u \cdot V_0}, \quad (10)$$

де $V_{м.б.}$ - об'єм мірного бака, приймали рівним 39,960 дм³;

n_u - фактичне число обертів, при перекачуванні РР об'ємом, рівним об'єму мірного бака (знаходили за даними електроімпульсного лічильника);

V_0 - теоретичне (номінальне) значення робочого об'єму ШНРП, звичайно постійна величина, але в даному випадку буде змінюватися, як у насосі з регульованою подачею, см³.

Визначення фактичного значення РОН ШНРП здійснювали на вищезгаданій установці при частоті обертання $n = 500$ хв.⁻¹ і тиску РР $p = 0,05 \dots 0,10$ МПа. Незначний тиск $p = 0,05 \dots 0,10$ МПа необхідно підтримувати для включення механізму самопритиснення втулок, які використовують для компенсації торцевих зазорів, тим самим, збільшуючи КП ШНРП. Невелику частоту обертання шестерень використовували для зменшення втрат РР на стадії усмоктування.

3.7. Визначення подачі експериментального ШНРП

Подача ШНРП є однією з основних технічних характеристик, що визначають його типорозмір, від якого в значній мірі залежить потужність ШНРП.

При проведенні досліджень знаходили закономірності залежності подачі ШНРП від тиску, що розвивається, РОН (ПР) і частоти обертання, (див. табл. 2), які представляли у вигляді графіків, що відображають залежність виду:

$$Q = f(p, n, K_{pez}), \quad (11)$$

де Q - поточне значення подачі насоса, см³/с.

Подачу визначали за формулою, см³/с:

$$Q = \frac{n \cdot V_0 \cdot K_{pez} \cdot \eta_v}{1000}, \quad (12)$$

де V_0 - номінальний робочий об'єм експериментального НШ, см³.

Отримані залежності є навантажувальними характеристиками ШНРП, оскільки залежності виду (11) відображають подачу від тиску, що розвивається.

3.8. Визначення загального й механічного ККД експериментального ШНРП

При дослідженні ШНРП знаходили залежності механічного й загального ККД ШНРП від тиску, що розвивається, при різних значеннях РОН (ПР) і частот обертання (див. табл. 2). Отримані результати представляли у вигляді графіків, які відображають

залежності виду:

$$\eta_{\text{мех}} = \psi(P, n, K_{\text{рег}}), \quad (13)$$

де $\eta_{\text{мех}}$ - механічний ККД;

$$\eta_{\text{заг}} = \xi(P, n, K_{\text{рег}}), \quad (14)$$

де $\eta_{\text{заг}}$ - загальний ККД.

Потужність, що розвиває ШНРП на виході, визначають за формулою:

$$N_n = P Q. \quad (15)$$

Потужність, що споживається ШНРП у процесі своєї роботи, відрізняється від потужності, що розвивається, на величину загального ККД НШ:

$$N_{\text{спож}} = \frac{N_n}{\eta_{\text{заг}}}, \quad (16)$$

$N_{\text{спож}}$ - потужність, що споживається, кВт.

Потужність, що споживається, експериментально може бути визначена за формулою:

$$N_{\text{спож}} = M_\delta \omega = 2 \pi n M_\delta, \quad (17)$$

де ω - кутова швидкість привода НШ, с^{-1} ;

M_δ - дійсний момент, що розраховується за формулою:

$$M_\delta = P_i \cdot l_1 - P_x \cdot l_1, \quad (18)$$

де P_i - зусилля визначене за ваговим пристроєм, Н;

l_1 - робоче плече балансірної рамки $l_1 = 1 \text{ м}$;

P_x - навантаження на плече ваг у Н при холостій роботі двигуна, від'єданого від насоса [9].

Тоді загальний ККД ШНРП може бути визначений за формулою:

$$\eta_{\text{обц}} = \frac{N_n}{N_{\text{ном}}} = \frac{P Q}{2 \pi n M_\delta}. \quad (19)$$

Також, загальний ККД ШНРП може бути визначений за формулою:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_v \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_e, \quad (20)$$

де η_e - гідравлічні втрати в об'ємних гідромашинах.

Відомо, що гідравлічні втрати в об'ємних гідромашинах незначні й тому можна прийняти, що $\eta_e \approx 1$ [14], тоді механічний ККД може бути знайдений відповідно до виразу:

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{\eta_{\text{заг}}}{\eta_v}. \quad (21)$$

3.9. Визначення потужності, що розвивається експериментальним ШНРП

Однією з важливих технічних характеристик будь-якої машини є такий показник, як потужність. Потужність, що розвивається, залежно від тиску при різних значеннях РОН (ПР) і частот обертання представляли у вигляді графіків, що відображають залежність виду:

$$N = \phi(P, n, P_{\text{рег}}). \quad (22)$$

Потужність, що розвивається ШНРП визначали за формулою:

$$N_n = P Q. \quad (23)$$

3.10. Залежність РОН і подачі від МЦВ зубчастого зачеплення ШНРП

Значний інтерес являє собою залежність подачі від МЦВ, що забезпечується

кутом повороту - ψ регулюючого елемента, тобто від ПР [15]. Залежність подачі від ПР ШНРП досліджували при номінальних значеннях тиску й частоті обертання насоса:

$$q = \chi(K_{pez}). \quad (24)$$

У ШНРП, пропонується використовувати ексцентриковий механізм регулювання подачі. Кут повороту ексцентрикового механізму лежить в інтервалі $\psi = 0 \dots 90^\circ$. У цьому випадку, згідно теоретичних досліджень подача змінюється практично за лінійною залежністю.

Оскільки РОН змінюється за лінійною залежності то весь кут повороту регулюючого елемента ділимо на п'ять рівних інтервалів, крайні з яких відповідають номінальному й мінімальному РОН, а другий, третій і четвертий відповідно 0,25, 0,50 і 0,75 від номінального об'єму (див. табл. 2). У результаті досліджень була одержана лінійна залежність подачі від зміни МЦВ (ПР насоса).

Результати експериментального дослідження характеристик ШНРП у повному обсязі представлені в публікації [21].

4. Методика обробки даних при проведенні експериментальних досліджень

У результаті проведення експериментальних досліджень одержується здебільшого первинна інформація, що, як правило, вимагає подальшої статистичної обробки.

При аналізі результатів експериментальних даних широко використовували апарат теорії ймовірності і математичної статистики [16 -20].

4.1 Методика розрахунку загальної похибки при визначенні основних технічних характеристик експериментального ШНРП

Достовірність результатів експериментальних досліджень визначається відповідністю прийнятих методик експериментальних досліджень тим фізичним явищам, які лежать в основі процесів відбуваються в ШНРП. Не менш важливою умовою достовірності результатів експериментальних досліджень є їх проведення з певною точністю вимірювань.

Вимірювання є однією з основних складових частин будь-якого експерименту. Від знання закономірностей досліджуваних процесів, залежить точність вимірюваних величин, похибка вимірювання, мінімально необхідна кількість дослідів (вимірювань), умови вимірювань, при яких помилки будуть найменшими, а також загальний аналіз результатів.

Найчастіше при проведенні експериментальних досліджень знаходження досліджуваних величин виконують не безпосередньо, а шляхом непрямих вимірів.

Результати розрахунку відносної похибки вимірювання основних технічних параметрів, зроблений відповідно до методики, викладеної в [19] представлені в табл. 3.

Таблиця 3 - Загальна похибка при визначенні основних технічних характеристик експериментального ШНРП

Технічні характеристики ШНРП	Відносна похибка вимірювання
обочий об'єм насоса	0,16%
коєфіцієнт подачі	0,25%
подача	0,36%
крутний момент	4,0%
загальний ККД	0,82%
механічний ККД	0,86%

5. Висновки

1. На основі результатів теоретичних досліджень розроблена програма експериментальних досліджень, розроблені й підібрані окремі методики експериментальних досліджень характеристик експериментального ШНРП, а також загальні методики визначення його основних технічних характеристик.

3. Розроблені й створені експериментальні установки, які дозволили провести всі необхідні дослідження характеристик експериментального ШНРП.

4. Вибір експериментальних установок і методик проведення експериментальних досліджень адекватно відповідає тим фізичним законам, які лежать в основі процесів і явищ, що відбуваються при роботі ШНРП.

5. Максимальна відносна похибка вимірювання основних технічних параметрів ШНРП не перевищувала 0,86 %, при визначенні крутного моменту на керуючій вилці ШНРП - 4 %, що забезпечує достовірність отриманих експериментальних досліджень.

Список літератури

1. Кулешков Ю.В., Черновол М.И., Бевз О.В., Титов Ю.А. Шестеренные насосы с асимметричной линей зацепления. (Теория, конструкция и расчет) Монография. Кіровоград: «КОД», 2009. - 247 с.
2. Кулешков Ю.В., Аулин В.В., Магопец С.А. Моделирование внутренних утечек в шестеренных насосах НШ с использованием электрических аналогий. Збірник наукових праць КДТУ Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Випуск 8. – Кіровоград: КДТУ. - 2001.- С. 8 – 15.
3. Кулешков Ю.В., Черновол М.И., Дубовик В.О. Підвищення надійності та довговічності шестеренних насосів типу НШ-У шляхом створення на внутрішній поверхні колодязів корпусу залишкових напружень стискування. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Випуск № 8 «Підвищення надійності відновлюємих деталей машин». Том 1 Харків 2001. С.143 – 148.
4. Черновол М.И., Кулешков Ю.В.. Основні напрями вдосконалення шестеренних насосів сільськогосподарської техніки. Вісник аграрної науки, серпень 2008 № 8. – С. 52-54.
5. Кулешков Ю.В., Руденко Т.В. Теоретическое определение подачи шестеренного насоса с регулируемой подачей. Промислова гідравліка і пневматика № 2 (8)2005. С. 114 -19.
6. Кулешков Ю.В., Матвієнко А.А., Руденко Т.В. Математическая модель утечек через торцевой межцентровой зазор шестеренного насоса типа НШ. Промислова гідравліка і пневматика № 2 (20) 2008.- С. 73 -79.
7. Кулешков Ю.В., Осин Р.А., Руденко Т.В., Матвієнко А.А. Усовершенствование математической модели мгновенной подачи шестеренного насоса Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація Випуск 21. Кіровоград: 2008. С. 253...262.
8. Кулешков Ю.В., Руденко Т.В. Осин Р.А. Повышение удельной подачи шестеренного насоса. MOTROL Motorization and Power Industry in Agriculture/ Volume 11A/ Simferopol – Lublin 2009. S.193 – 206.
9. Насоси шестеренні об'ємного гідроприводу. Технічні умови. ГСТУ 3-25-180-97. Мінпром політики України. М. Київ. – 1998. – 48 с.
10. ДСТУ 2192-93. Гідроприводи об'ємні. Насоси об'ємні та гідромотори. Загальні технічні вимоги. Чинний від 1.07.94р.
11. Гідроприводи и пневмоприводы. Термины и определения параметров. Стандарт СЭВ 5831-86.
12. Аксиально-поршневой регулируемый гидропривод / В.Н. Прокофьев и др. – М.: Машиностроение. – 1969.
13. В.К.Свешников, А.А Усов Станочные гидроприводы: Справочник.–М.: Машиностроение, 1982.– 464 с.
14. Угинсус А.А. Гидравлика и гидравлические машины. – Харьков: 1966. – 399 с.
15. Ю.В. Кулешков, О.В. Бевз Теоретичне обґрунтування усунення компресії робочої рідини в затиснутому об'ємі шестереного насоса з асиметричною лінією зачеплення. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Випуск № 15 «Підвищення надійності відновлюємих деталей машин». Харків: 2003.- С.85– 91.
16. Статистические методы обработки эмпирических данных. – М.: Издат. стандартов, 1979 – 232 с.
17. Обработка результатов наблюдений. О.Н Касандрова, В.В. Лебедев. М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. литературы. – 1970. – 104 с.

18. Ю.В. Кулешков, М.І. Черновол, Ф.І. Василенко та ін. Статистичні методи обробки та аналізу експериментальних даних. Навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей. За ред. Ю.В. Кулешкова Кіровоград; КДТУ, 2002. –134 с.
19. Каленков С.Г., Соломахо Г.И. Практикум по физике. Механика: Учебн. пособие для студентов вузов. Под ред. А.Д. Гладуна. – М.: Высшая школа, 1990. – 111 с.
20. Четыркин Е.М., Калихман И.Л. Вероятность и статистика. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 319с.
21. Кулешков Ю.В., Руденко Т.В. Бевз О.В. Дослідження працездатності шестеренного насоса з регульованою подачею. Промислова гідравліка і пневматика № 3 (13)2006, с 35...45.

Ю.Кулешко., Т.Руденко., М.Красота., А. Матвиенко., Ю. Титов
Методика стендовых испытаний шестеренного насоса

Разработана программа исследований, включающая методики исследования основных технических характеристик НШ для разных значений давления, рабочего объема насоса и частоты вращения, проверку степени совпадения основных теоретических положений и выводов с результатами, полученными экспериментальным путем. Рассмотрены методики испытаний шестеренных насосов с регулируемой подачей, приведено устройство и характеристика исследовательского оборудования. Изложена методика обработки данных, полученных при проведении экспериментальных исследований.

J.Kuleshkov, T.Rudenko, M.Krasota, A.Matvienko, J.Titov
Technique of bench tests шестеренного the pump

The program of researches including techniques of research of basic tehniche-skih of characteristics gear-type pumps for different values of pressure, working volume of the pump and frequency of rotation, check of degree of coincidence of the basic theoretical positions and conclusions with the results, luchen th experimentally is developed. Techniques of tests gear-type pumps from a reguliro-bathroom are considered by giving, the device and the characteristic of the research equipment is resulted. The technique of the data processing, the experimental researches received at carrying out is stated.

Одержано 14.05.11

УДК 621.891

В.Г. Писаренко, доц., канд. техн. наук
КНПО "Форт" МВД України, г. Винница,
Р.В. Сорокатый, доц., д-р. техн. наук
Хмельницький національний университет

Анализ напряженно-деформированного состояния подшипников скольжения при перекосе осей вала и втулки

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния элементов пары трения радиального подшипника скольжения при перекосе осей вала и втулки в начальный момент времени.
подшипник скольжения, контактное взаимодействие, напряженно-деформированное состояние

Введение. Анализ работоспособности подшипников скольжения должен учитывать конструктивные особенности машиностроительных конструкций. Одной из особенностей, которая может существенно повлиять на долговечность подшипника