

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАБІРИНТНО-ГВИНТОВОГО НАСОСА

Описан экспериментальный стенд и приведены результаты экспериментальных исследований влияния газосодержания жидкости и формы рабочих органов на характеристики лабиринтно-винтового насоса. Получены аналитические зависимости для расчета его рабочих характеристик в зависимости от формы рабочих органов и газосодержания жидкости. Исследовано влияние газосодержания жидкости на пульсацию давления на выходе насоса.

An experimental stand is described and the results of experimental researches of influence of gas content of liquid and form of workings organs are resulted on descriptions of labyrinth-spiral pump. Analytical dependences are got for the calculation of his workings descriptions depending on the form of workings organs and gas content of liquid. Influence of gas content of liquid is investigational on the pulsation of pressure on the output of pump.

Вступ

Використання лабиринтно-гвинтових насосів (ЛГН) у різних галузях промисловості обумовлено тим, що вони здатні забезпечити стабільні робочі характеристики при перекачуванні агресивних рідин з малою в'язкістю. Завдяки відсутності безпосереднього контакту і тертя між деталями та простій конструкції такі насоси мають високу надійність. Вони використовуються в авіаційній і космічній техніці, хімічній промисловості, для подачі агресивних рідин, при видобутку нафти, в якості змішувачів на вході свердловинних відцентрових насосів тощо. Характеристики ЛГН значною мірою залежать від геометрії робочих органів та вмісту повітря в рідині, що перекачується. Тому дослідження їх впливу на робочі характеристики таких насосів є актуальним завданням.

Аналіз публікацій

Методам проектування та дослідження ЛГН присвячені роботи [1-5]. Конструкції відцентрових насосів для подачі рідин з великим вмістом повітря описані в роботах [1, 2, 3] й інші. Однак в [1] відсутній аналіз впливу вмісту повітря у рідині на робочі характеристики насосів. У статтях [2, 3] не досліджено впливу газовмісту рідини на пульсацію на виході з насоса. В цих статтях та інших, аналізуючих вплив газовмісту рідини на робочі характеристики насоса, не розглядаються ЛГН.

Найбільш повно ці питання висвітлено у монографії [4]. В ній наведено методику розрахунку характеристик ЛГН, що працюють на газорідній суміші. Наведено результати експериментальних досліджень таких насосів з

різними робочими органами. Відмічено про добрий збіг теоретичних розрахунків з експериментальними даними. Однак при проведенні експериментальних досліджень повітря та рідина подавалися до насоса через окремі входи, що не відповідає реальним умовам роботи насоса. Не досліджені пульсації тиску газорідинної суміші на виході та вході насоса. Отже, розроблена методика потребує уточнення на основі експериментального дослідження подібних насосів.

У статті [5] наведено результати експериментальних досліджень ЛГН, який працює на газорідній суміші. При проведенні цих досліджень повітря та рідина подавалися до насоса з герметичного баку змішувача, що відповідає реальним умовам роботи насоса. Однак в даній статті відсутні дослідження пульсацій тиску рідини на виході та вході насоса, не проведено дослідження впливу форми робочих органів насоса на його робочі характеристики.

Проведений нами аналіз літературних джерел дозволив встановити, що експериментальні дослідження пульсацій тиску рідини на виході та вході ЛГН не знайшло в них належного висвітлення. Таким чином, проведення таких досліджень є актуальним науковим завданням.

Метою дослідження є встановлення впливу газовмісту рідини та форми робочих органів ЛГН на пульсації тиску на його виході.

Експериментальний стенд

Відмінною особливістю стенда (рисунок 1) є те, що його оснащено баком змішування води з поверхньоак-

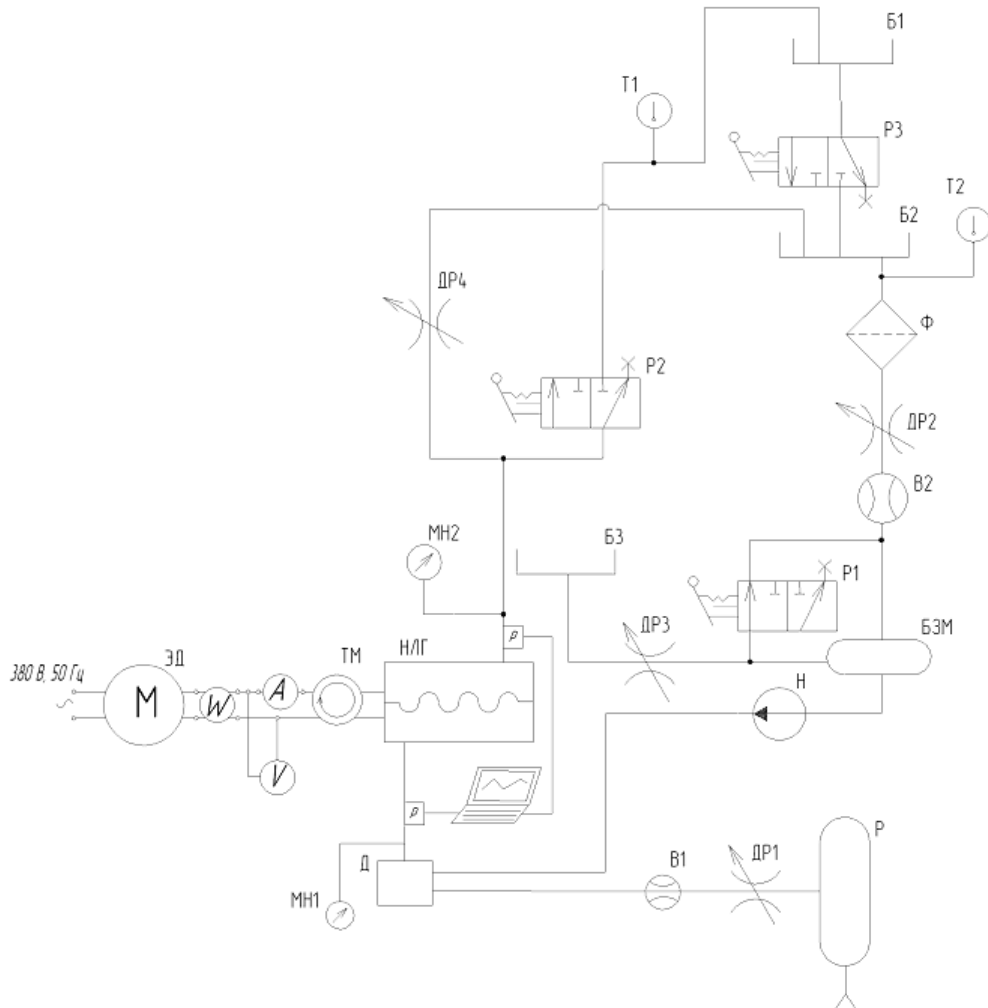


Рисунок 1 — Гідравлічна схема експериментального стенда

тивними речовинами БЗМ, диспергатором Д, для розплювання повітря у рідині та системою подачі повітря (ресивером Р, дроселем ДР7) з датчиком витрати В1.

Стенд забезпечує: максимальний тиск нагнітання – 1,2 МПа; напір 0–100 м; максимальні витрати: води – $2,084 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; повітря – $1,435 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ при споживаній потужності не більше, ніж 5,0 кВт [5].

Для вимірювання: витрати води використовували витратомір В2 та мірний бак Б1; витрати повітря – датчик витрати В1 типу TG 300-10 зі змінними трубками, клас точності 2,0; температури – термометри Т1 і Т2, діапазон вимірювання 0–150 °С, клас точності 1,0; потужності – ватметр W, діапазон вимірювання – 0,3–5,0 кВт, клас точності 1,0. Для вимірювання тиску на вході та виході ЛГН використовувалися манометри МН1 і МН2, а для вимірювання пульсацій тиску – перетворювачі тиску р типу ПД.20/2, похибка вимірювань яких складала $\pm 0,5\%$, а частота пропускання становила 1200 Гц.

Реєстрацію сигналів здійснювали за допомогою багатоканалного вимірювального комплексу, створеного на базі ноутбука ВК. Тарувальні характеристики датчиків тиску знімалися як на спеціальному тарувальному пресі (клас точності 0,05), так і безпосередньо на експериментальному стенді. При таруванні датчиків тиску використовувалися зразкові манометри.

При проведенні експериментальних досліджень відносна середня квадратична похибка при вимірюванні становила: тиску – 1,5%, пульсацій тиску – 2,5%, витрати рідини – 1,5%, витрати повітря – 0,9%.

Причому з ймовірністю 0,95 можна стверджувати, що значення вимірюваних величин знаходяться у довірчому інтервалі, при якому максимальне відхилення від їх середнього вимірюваного значення не більше: для тиску та пульсацій тиску – 4,6%; витрати – 5,8%. Гранічна похибка вимірюваних параметрів не перевищує величин, відповідно до ГОСТ 11828–86.

Експериментальні дослідження

Вони проводилися на лабораторному стенді ПАТ “ХЕМЗ–ІРЕС” (рисунок 2). Досліджували макети ЛГН з робочими органами: втулка Ш62Ч112Ч10 ліва (номінальний діаметр внутрішньої розточки 62 мм, крок нарізки одного витка 112 мм, число заходів нарізки 10, нарізка ліва); гвинт Ш61Ч112Ч10 правий; довжина проточної частини 112 мм.

Нарізка робочих органів насоса мала форму півкола з діаметром 4,5 мм, ширина верхівок нарізок – $0,8 \pm 0,4$ мм. Звичайний ЛГН, далі просто ЛГН, мав гострі входні та вихідні кромки на гвинті і втулці та розроблений ЛГН [6], у якого зі сторони камер підводу та відводу робочої

рідини на гвинтових канавках втулки та гвинта виконано фаски, довжина яких дорівнює чотирьом гідравлічним радіусам гвинтової канавки, утвореної нарізками втулки та гвинта, при цьому фаски з боку камер підводу виконано у вигляді конфузора, з кутом конусності 20–60°, а фаски з боку камер відводу – у вигляді дифузора з кутом конусності 8–15°. Кромки на вході та виході гвинтових канавок втулки і гвинта виконано тупими.



Рисунок 2 – Фотографії експериментального стенда та багатоканального вимірювального комплексу

При проведенні всіх серій експериментів температура води була постійною та дорівнювала 15–16 °С. Навантаження на виході ЛГН регулювали дроселем ДР4, а витрату повітря – дроселем ДР1. Проводили заміри тиску та пульсацій тиску на вході та виході з насоса, витрату рідини та повітря, потужності електродвигуна.

При розробці методики досліджень для зменшення кількості дослідів здійснювали планування експерименту. Проводили двофакторний активний експеримент. Використовували рототабельний план другого порядку, який на відміну від ортогональних дозволяє передбачити функцію відгуку з однаковою дисперсією на рівних відстанях від центру плану. Планування експерименту здійснювали шляхом додавання точок до ядра. При цьому виконували додаткову кількість дослідів у центрі плану (на нульовому рівні) та на відстані d від центра (рисунок 3).

Зіркове плече обирали з таблиці роботи [7] за умови інваріантності плану до обертання. Експерименти прово-

дили таким чином, щоб кожний фактор варіювався на трьох рівнях. На першому етапі проводили кодування факторів згідно з таблиць 1 і 2. Вимірювали витрату на виході з насоса, тиск на його вході і виході та потужність на вході електродвигуна.

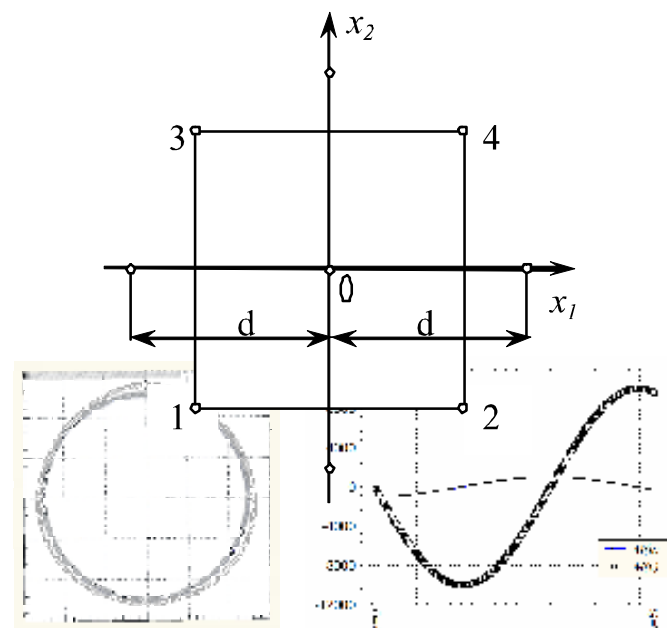


Рисунок 3 – Побудова плану експерименту

Зв'язок між кодовим та натуральним виразом факторів здійснювали за формулою

$$x_i = (X_i - x_{i0}) / \delta_i, \quad (1)$$

де X_i — натуральне значення фактора; x_{i0} — значення i -го фактора на нульовому рівні; δ_i — інтервал варіювання i -го фактора.

На другому етапі з роботи [7] визначили дані для побудови центрального композиційного рототабельного плану другого порядку для двофакторного експерименту. Ядро плану — 2^2 , число точок: зіркових — 4; на нульовому рівні — 5; загальна кількість — 13; величина плеча d для зіркових точок дорівнює 1,414. Проводили центральне композиційне рототабельне планування другого порядку для двофакторного експерименту (таблиці 3, 4). Зауважимо, що паралельні досліді передбачалися для оцінки відтворення дослідів та визначення статистичних оцінок. Виключали грубі вимірювання, використовуючи критерій Стьюдента.

На третьому етапі, згідно з розробленим планом, реалізували серію експериментів. При цьому витрату повітря $q_{\text{пов}}$ зводили до умов на виході з насоса за залежністю з роботи [8].

$$q_{\text{пов}} = q_{\text{пов.вх}} \frac{p_{\text{м1}} T_{\text{a2}}}{p_{\text{м2}} T_{\text{a1}}}, \quad (2)$$

де $q_{\text{пов.вх}}$ — витрата повітря на вході до насоса; $p_{\text{м1}}$ і $p_{\text{м2}}$ — відповідно, абсолютний тиск на вході та виході з насоса (показники приладів вимірювання тиску рідини); T_{a1} і

Таблиця 1 – Кодування факторів (ЛГН з фасками)

Інтервал варіювання та рівень факторів	Витрата на виході з насоса – q , $м^3/доб$	Витрата повітря – $q_{пов}$, $м^3/доб$
Нульовий рівень, $x_i = 0$	64,0	6,6
Інтервал варіювання, δ_i	20,0	6,6
Нижній рівень, $x_i = -1$	44,0	0
Верхній рівень, $x_i = +1$	84,0	13,2
Кодове позначення	x_1	x_2

Таблиця 2 – Кодування факторів (ЛГН)

Інтервал варіювання та рівень факторів	Витрата на виході з насоса – q , $м^3/доб$	Витрата повітря – $q_{пов}$, $м^3/доб$
Нульовий рівень, $x_i = 0$	72,0	6,6
Інтервал варіювання, δ_i	15,0	6,6
Нижній рівень, $x_i = -1$	57,0	0
Верхній рівень, $x_i = +1$	87,0	13,2
Кодове позначення	x_1	x_2

Таблиця 3 – Центральне композиційне рототабельне планування другого порядку для двофакторного експерименту (ЛГН з фасками)

Дослід	x_0	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	x_1x_2	y
Планування типу 2^2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	17,7
	+1	+1	-1	+1	+1	+1	12,4
	+1	-1	+1	+1	+1	+1	17,6
	+1	+1	+1	+1	+1	-1	12,8
Зіркові точки	+1	-1,414	0	2	0	0	19,24
	+1	+1,414	0	2	0	0	11,8
	+1	0	-1,414	0	2	0	15,2
	+1	0	+1,414	0	2	0	15,0
Нульові точки	+1	0	0	0	0	0	14,65
	+1	0	0	0	0	0	14,75
	+1	0	0	0	0	0	14,52
	+1	0	0	0	0	0	14,75
	+1	0	0	0	0	0	14,55

Таблиця 4 – Центральне композиційне рототабельне планування другого порядку для двофакторного експерименту (ЛГН)

Дослід	x_0	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	x_1x_2	y
Планування типу 2^2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	17,7
	+1	+1	-1	+1	+1	+1	12,4
	+1	-1	+1	+1	+1	+1	17,6
	+1	+1	+1	+1	+1	-1	12,8
Зіркові точки	+1	-1,414	0	2	0	0	19,24
	+1	+1,414	0	2	0	0	11,8
	+1	0	-1,414	0	2	0	15,2
	+1	0	+1,414	0	2	0	15,0
Нульові точки	+1	0	0	0	0	0	14,65
	+1	0	0	0	0	0	14,75
	+1	0	0	0	0	0	14,52
	+1	0	0	0	0	0	14,75
	+1	0	0	0	0	0	14,55

T_{a2} — відповідно, абсолютна температура на вході та виході з насоса, причому $T_{a1} = T_{a2}$.

Слід зазначити, що в процесі дослідження насоса на окремих ділянках гідросистеми стенда відбувається зміна тиску робочої рідини, внаслідок чого змінюється співвідношення між розчиненим та нерозчиненим повітрям, що міститься в ній. Зміну об'єму розчиненого повітря у робочій рідині, приймаючи постійним значення об'єму рідинної фази, отримали із залежності з роботи [9], яку, виражаючи об'єм через витрату, записували у наступному вигляді

$$q_{пов0} = \alpha(q - q_{пов}) \frac{p_{m2}}{p_{m1}}, \quad (3)$$

де α — коефіцієнт розчинності повітря у робочій рідині.

Розрахунки за формулою (3) показали, що похибка при нехтуванні об'ємом розчиненого повітря при зведенні витрати повітря до умов на виході з насоса не перевищить 1,5 %. Аналогічний результат отримали шляхом порівняння об'єму рідини при експериментальному дослідженні насоса протягом роботи на рідині та повітряно-рідинній суміші — процент розчиненого повітря становив 1,2 %. Тому при обробці результатів експерименту ним нехтували.

У кожній точці експерименту реєстрували пульсації тиску перед та за насосом. У другій та восьмій точках плану експерименту реєстрували зміну тиску на вході і виході з насоса при швидкій зміні навантаження (швидкому відкритті вентилів ДР4). Деякі з отриманих осцилограм показано на рисунках 4–6.

За результатами експерименту заповнювали останні стовпці таблиць 3 і 4, де замість y підставляли його значення — напір на виході з насоса H . Функції відгуку визначали за поліномом [7]

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (4)$$

де b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} — коефіцієнти регресії, які визначали за результатами експериментів за формулами:

$$b_0 = \delta'_0 \sum_{u=1}^n y_u - \delta''_0 \sum_{u=1}^n \sum_{i=1}^k x_{iu}^2 y_u; \quad (5)$$

$$b_i = \delta_i \sum_{u=1}^n x_{iu} y_u; \quad (6)$$

$$b_{ij} = \delta_{ij} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} y_u; \quad (7)$$

$$b_{ii} = \delta'_{ii} \sum_{u=1}^n x_{iu}^2 y_u + \delta''_{ii} \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^n x_{iu}^2 y_u - \delta'''_{ii} \sum_{u=1}^n y_u. \quad (8)$$

У формулах (4)–(8) u — номер досліду, рядка у протоколі досліджень (таблиці 3, 4); i — номер стовпця у матриці планування експерименту; k — число факторів; n — загальне число дослідів; значення δ брали з таблиці 5.

В результаті обробки експериментальних даних отримали функції відгуку:

для ЛГН з фасками

$$y = 14,704 - 2,577x_1 + 0,002x_2 - 0,125x_1x_2 + 0,362x_1^2 - 0,152x_2^2; \quad (9, a)$$

для ЛГН

$$y = 14,01 - 2,45x_1 + 0,1377x_2 - 0,12x_1x_2 + 0,045x_1^2 - 0,7452x_2^2. \quad (9, б)$$

Використовуючи формулу (1), із залежностей (9, а) і (9, б) отримали значення функцій відгуку — робочі характеристики насосів через натуральні значення факторів:

для ЛГН з фасками

$$H = 26,103 - 0,239q + 0,106q_{\text{на}} - 0,001qq_{\text{на}} + 0,0009q^2 - 0,0035q_{\text{на}}^2; \quad (10, a)$$

для ЛГН

$$H = 24,523 - 0,171q + 0,328q_{\text{на}} - 0,001qq_{\text{на}} + 0,00017q^2 - 0,017q_{\text{на}}^2. \quad (10, б)$$

де H — напір, м; q — витрата робочої рідини на виході з насоса, м³/добу; $q_{\text{пов}}$ — витрата повітря зведена до умов на виході з насоса, м³/добу.

Таблиця 5 — Значення δ для розрахунку коефіцієнтів регресії при рототабельному плануванні другого порядку для двофакторного експерименту [5]

b_0		b_i	b_{ij}	b_{ii}		
δ'_0	δ''_0	δ_i	δ_{ij}	δ'_{ii}	δ''_{ii}	δ'''_{ii}
0,200000	0,100000	0,125000	0,250000	0,125000	0,018750	0,100000

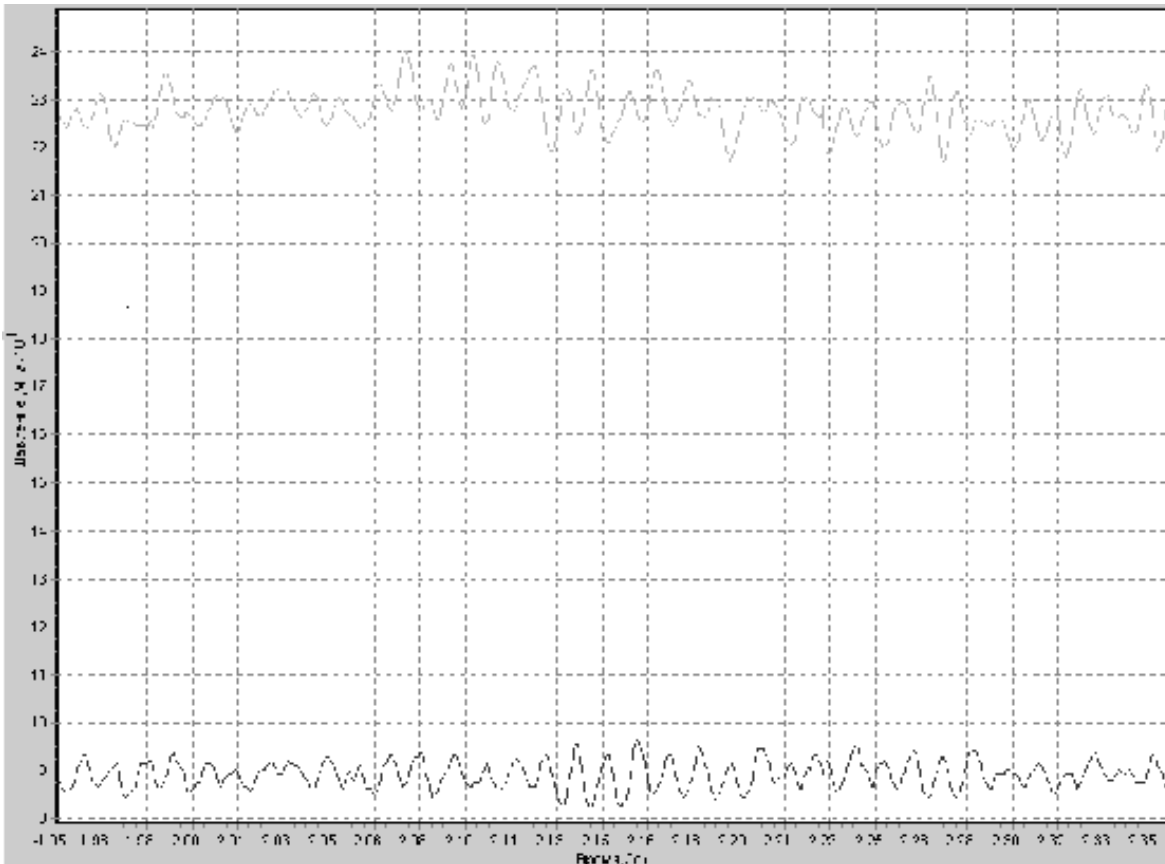


Рисунок 4 — Осцилограма зміни тиску (ЛГН з фасками) при витраті на виході з насоса — $q = 64, \text{ м}^3/\text{доб}$; витраті повітря — $q_{\text{пов}} = 6,6, \text{ м}^3/\text{доб}$: нижня крива — тиск на вході до насоса; верхня — тиск на виході з насоса

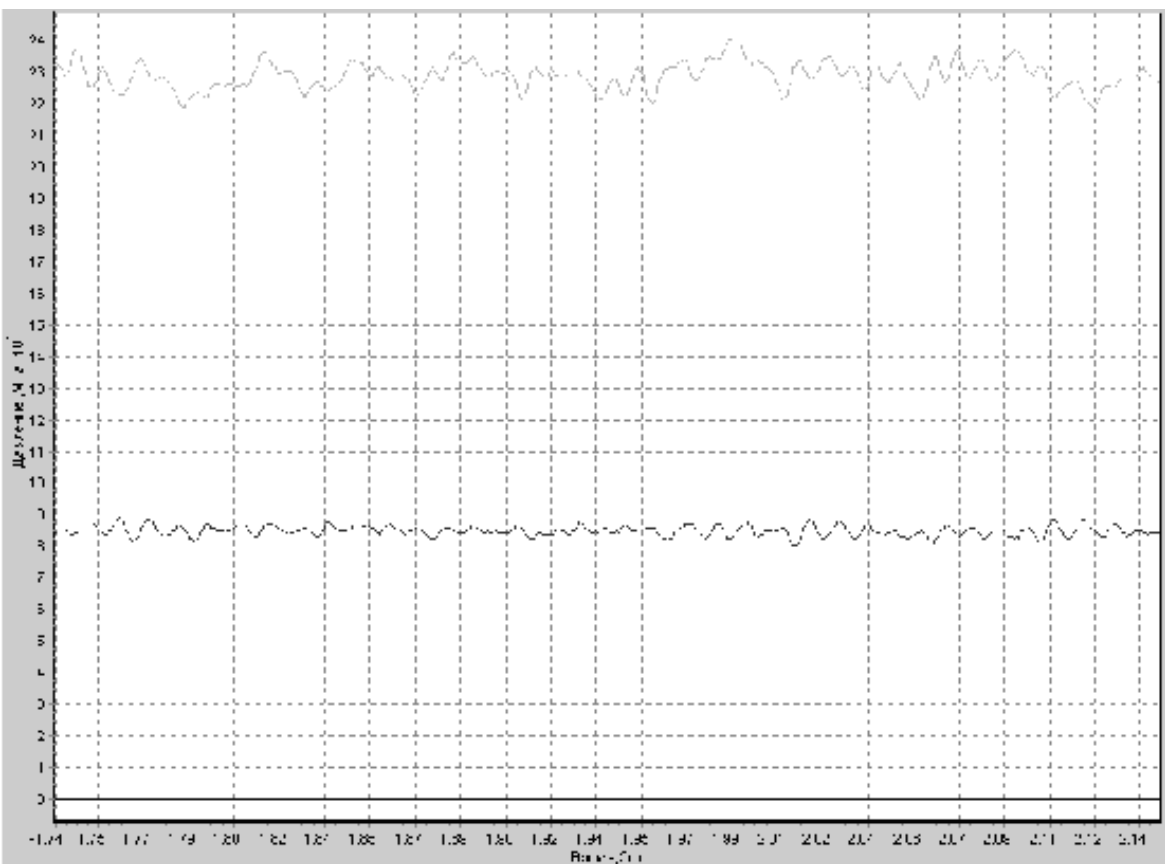


Рисунок 5 — Осцилограма зміни тиску (ЛГН) при витраті на виході з насоса — $q = 72, \text{ м}^3/\text{доб}$; витраті повітря — $q_{\text{пов}} = 6,6, \text{ м}^3/\text{доб}$: нижня крива — тиск на вході в насос; верхня — тиск на виході з насоса

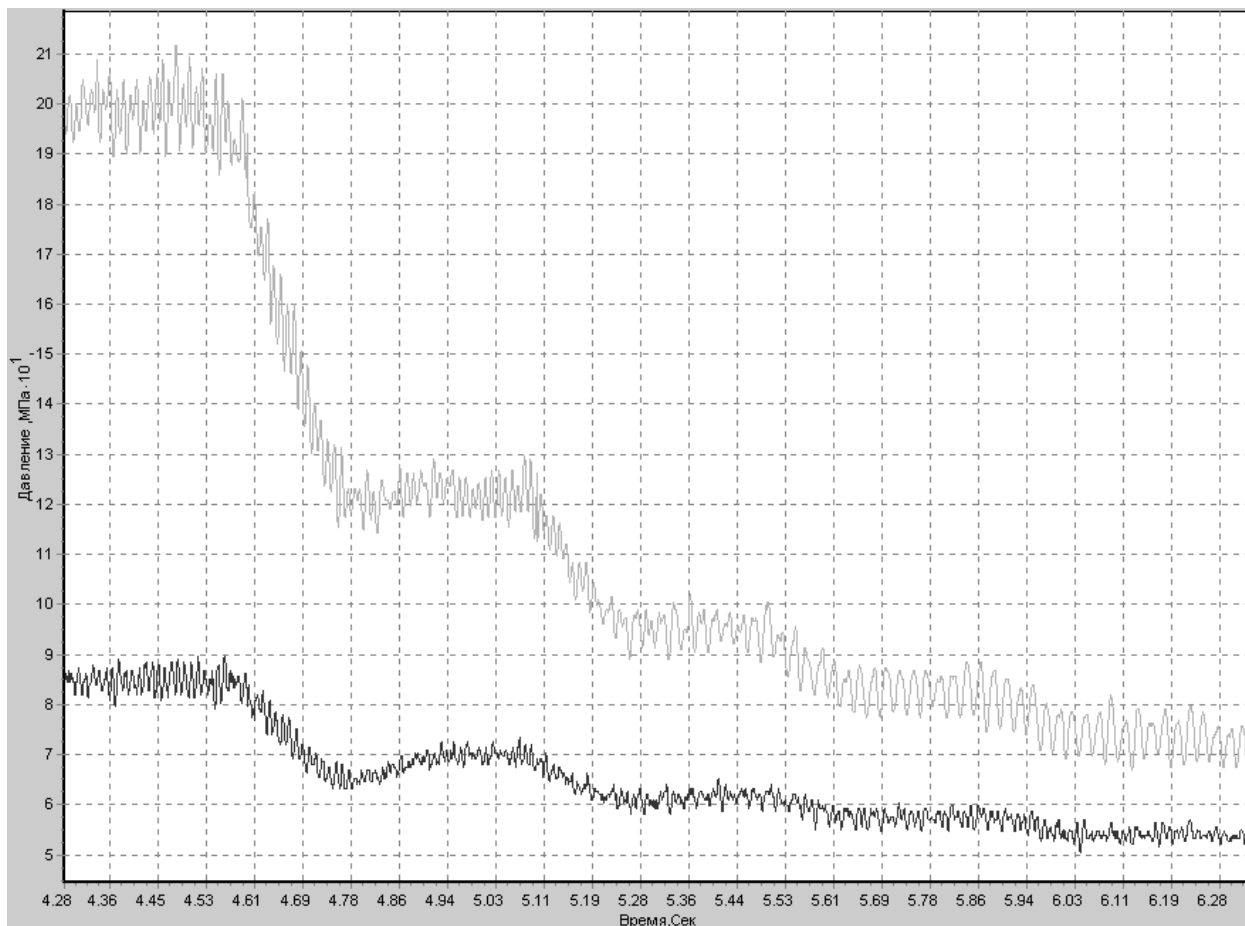


Рисунок 6 — Осцилограма зміни тиску (ЛГН з фасками) при швидкій зміні навантаження та витраті на виході з насоса — $q = 64, \text{ м}^3/\text{доб}$; витраті повітря — $q_{\text{пов}} = 9,33, \text{ м}^3/\text{доб}$: нижня крива — тиск на вході до насоса; верхня — тиск на виході з насоса

Розрахунок похибок вимірювання здійснювався з використанням статистичних методів. Похибку досліду визначали з експерименту в центрі плану, використовували методику, яку наведено у роботі [7]. Розраховували дисперсію, яка характеризує розсіювання результатів дослідів,

$$D_0^2 = D_0 / (n_0 - 1), \quad (11)$$

де $D_0 = \sum_{u=1}^{n_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2$; n_0 — кількість дослідів в центрі плану; y_{0u} і \bar{y}_0 — відповідно результат u -того дослідів і середній результат дослідів у центрі плану.

Визначали загальну залишкову суму квадратів плану

$$D_{\text{заг}} = \sum_{u=1}^n (y_u - y_{u \text{ раз}})^2,$$

де $y_{u \text{ раз}}$ — результат розрахунку u -того дослідів.

Розраховували дисперсію адекватності, яка характеризується сумою $D_{\text{ад}} = D_{\text{заг}} - D_0$ та числом ступенів

$$\text{свободи } f_{\text{ад}} = n - \frac{(k+2)(k+1)}{2} - (n_0 - 1),$$

$$D_{\text{ад}}^2 = D_{\text{ад}} / f_{\text{ад}}.$$

За критерієм Кохрена перевіряли відтворення процесу. Встановлено, що умова відтворення процесу виконується. Перевірка адекватності даних, отриманих за допомогою математичної моделі та експериментальними дослідженнями проводилась за критерієм Фішера. Розраховували критерій Фішера $F = D_{\text{ад}}^2 / D_0^2$ та порівнювали його з табличним. Критерій Фішера, визначений за таблицями [10], дорівнює 6,59. Оскільки критерій Фішера, розрахований за результатами експерименту, менший за табличний, то модель адекватна. Результати розрахунків наведено у таблиці 6.

Проведений аналіз функцій відгуку — рівнянь (10, а, б) дозволив встановити, що при атмосферному тиску на виході з насоса ЛГН з фаскою може перекачувати газорідну суміш, в якій вміст повітря становить біля 30 %, а звичайний — біля 14 %.

Таким чином, при перекачуванні газорідної суміші ефективно використовувати розроблений ЛГН з фасками, виконаний згідно [4].

При швидкій зміні навантаження на виході з насоса тобто швидкому відкриттю вентиля ДР4 (рисунок 6) пульсації тиску на вході і виході ЛГН змінюються з однаковою швидкістю, яка відповідає швидкості зміни на-

вантаження. Цей процес відбувається до моменту встановлення постійного тиску на виході ЛГН.

Як видно з робочих характеристик насоса, побудованими за результатами експериментальних досліджень (рисунок 7), кут нахилу напірної характеристики ЛГН з фасками менший, ніж у звичайного. Тобто він має більший видаток.

Крім того, ККД у ЛГН з фасками на 5 % більший, ніж у звичайного. Максимальний ККД звичайного ЛГН отримано при витраті 90 м³/доб, а ЛГН з фасками — при більший. Меншими в ЛГН з фасками є й гідравлічні втрати. Отже, експериментальним шляхом доведено ефективність застосування запропонованого ЛГН з фасками.

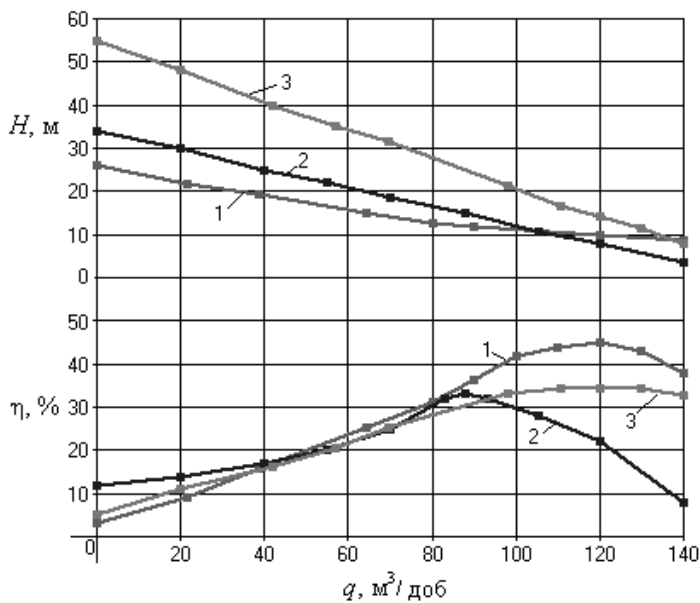


Рисунок 7 — Робочі характеристики ЛГН при роботі на воді: 1 — ЛГН з фасками; 2 — ЛГН; 3 — два ступеня ЛГН, один з яких з фасками

Визначення пульсацій тиску на виході з ЛГН

Отримані осцилограми пульсацій тиску на вході і виході ЛГН не дозволяють прямо визначити пульсацію тиску на його виході, через те що для створення тиску підпору на вході до ЛГН (що відповідає реальним умовам його роботи) використовується лопатевий насос, який на своєму виході створює пульсацію тиску. Тому визначити прямими вимірюваннями пульсацію тиску на виході з ЛГН неможливо. Ця пульсація дорівнює різниці пульсацій тиску на виході насоса і на його вході.

При визначенні пульсацій тиску на виході з ЛГН вважаємо, що вони і пульсації на його вході є періодичними і залежать від кута повороту вала насоса φ , функція $\Delta\tilde{p}(\varphi)$ кусочно-гладка і задовольняє умовам теореми Діріхле. Оскільки будь-який періодичний сигнал з періодом T може бути представлений сумою визначених набором гармонічних коливань з коловими частотами, які

дорівнюють $\omega = n\omega_1 = 2\pi n/T$, де n — номер гармоніки (натуральне число), пульсацію тиску записували у вигляді ряду Фур'є [11]

$$\Delta\tilde{p}(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\varphi + b_n \sin n\varphi), \quad (12)$$

$$\text{де: } a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \Delta\tilde{p}(\varphi) \cos(n\varphi) d\varphi \dots; \quad (13)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \Delta\tilde{p}(\varphi) \sin(n\varphi) d\varphi \dots \quad (14)$$

Співставлення відрізка гармонічного ряду Фур'є з вихідними даними, отриманими при оцифруванні осцилограм тиску на вході та виході з ЛГН при використанні п'яти гармонік, показало гарний збіг. Отриману збіжність було визнано достатньою для проведення подальших досліджень, тому приймали $n = 5$.

В пакеті MatCad було розроблено програму, яка за амплітудами пульсацій тиску $\Delta\tilde{p}_m$, знятих у m точках осцилограм за період 2π , розраховувала коефіцієнти a_n, b_n та будувала гармонічні криві пульсацій тиску на вході і виході з насоса, проводила їх зсув, що визначався відстанню між точками, в яких осцилографували тиск l , і швидкістю поширення звуку у воді c ($t = l/c$), віднімала першу від другої, за результатами розрахунків будувала дійсну пульсацію тиску на виході з ЛГН. Вихідними даними для розробленої програми були: частота обертів насоса $n_n = 2970$ об/хв.; кількість нарізок робочих органів насоса $z = 10$; відстань між точками в яких осцилографували тиск $l = 1$ м; швидкість поширення звуку у воді $c = 1497$ м/с; кількість рівних частин, на який розбивали період 2π , $m = 24$; амплітуда пульсацій тиску $\Delta\tilde{p}_m$ в m точках осцилограм, Па. У результаті розрахунків отримали графіки пульсацій тиску на виході з ЛГН (рисунок 8–11).

З аналізу пульсацій тиску на виході ЛГН, показаних на рисунках 8, 9, видно, що при практично однаковому газовмісті рідини (різниця становила 11 %) пульсація тиску на виході ЛГН з фасками на 30 % менша. Отже, експериментальним шляхом підтверджено ефективність застосування ЛГН з фасками. Аналіз впливу газовмісту на величину пульсацій тиску на виході ЛГН з фасками, показаних на рисунках 8, 10, 11 свідчить, що зі збільшенням газовмісту рідини пульсації тиску на виході з насоса зменшуються. Це пояснюється зменшенням модуля об'ємної пружності рідини та співпадає з дослідженнями пульсацій тиску в гідроагрегатах, які наведено у роботі [12].

Порівняння отриманих експериментальних пульсацій тиску на виході з ЛГН з теоретичними, розрахованими за методикою з роботи [13], показало, що похибка не перевищує 2%.

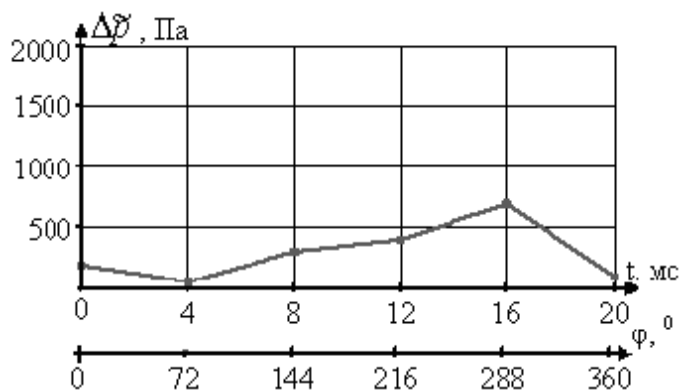


Рисунок 8 — Пульсації тиску на виході ЛГН з фасками: нульова точка $q = 64 \text{ м}^3/\text{доб}$; витраті повітря — $q_{\text{пов}} = 6,6 \text{ м}^3/\text{доб}$; перепад тиску на насосі $\Delta p = 0,14 \text{ МПа}$

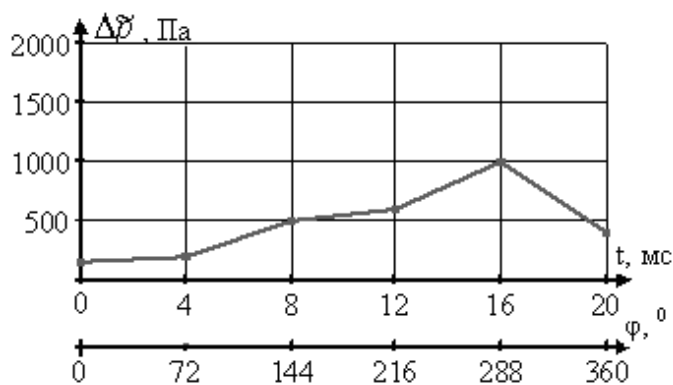


Рисунок 11 — Пульсації тиску на виході ЛГН з фасками: верхня точка $q = 84 \text{ м}^3/\text{доб}$; витраті повітря — $q_{\text{пов}} = 13,2 \text{ м}^3/\text{доб}$; перепад тиску на насосі $\Delta p = 0,115 \text{ МПа}$

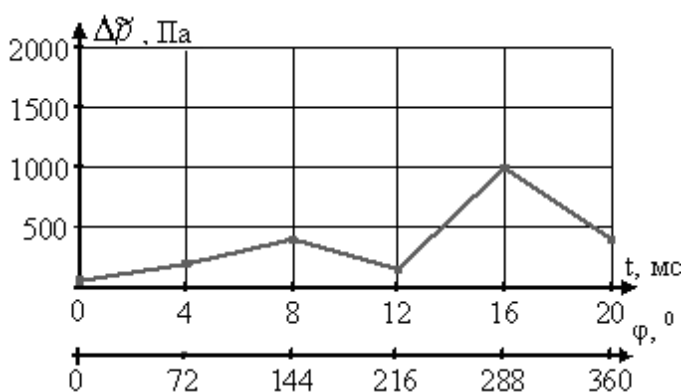


Рисунок 9 — Пульсації тиску на виході ЛГН, нульова точка $q = 72 \text{ м}^3/\text{доб}$; витрата повітря — $q_{\text{пов}} = 6,6 \text{ м}^3/\text{доб}$; перепад тиску на насосі $\Delta p = 0,145 \text{ МПа}$

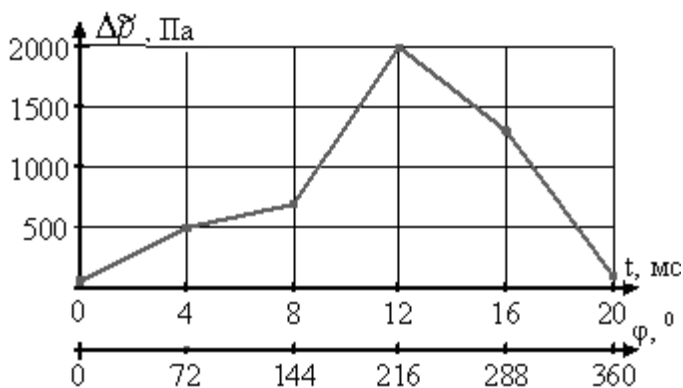


Рисунок 10 — Пульсації тиску на виході ЛГН з фасками: нижня точка $q = 44 \text{ м}^3/\text{доб}$; витрата повітря — $q_{\text{пов}} = 0 \text{ м}^3/\text{доб}$; перепад тиску на насосі $\Delta p = 0,185 \text{ МПа}$

Висновки

Вперше за результатами експериментальних досліджень отримано функції відгуку — робочих характеристик ЛГН з фаскою та звичайного, які можуть бути використані при визначенні оптимальних параметрів їх робочого процесу. Доведено їх адекватність.

Оцифрування осцилограмм пульсацій тиску на вході і виході ЛГН і отримання за допомогою ряду Фур'є їх гармонічних складових та різниці дозволило експериментальним шляхом отримати пульсацію тиску на виході з ЛГН. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що зі збільшенням газовмісту пульсації тиску на виході з ЛГН зменшуються. Доведено, що пульсація тиску на виході ЛГН з фасками менша, ніж у звичайного.

Експериментальним шляхом доведено ефективність використання ЛГН з фасками. Співставлення ККД насосів, отриманих за однакових умов, показало, що ККД ЛГН з фасками на 5 % більший, ніж у звичайного, крім того, він має більший видаток.

Література

1. Конструкции центробежных насосов для подачи жидкостей с высоким газосодержанием / Пер. ст. J. Kosmowski. — British Pump Manufacturers Association. Technical Conference. — Cambrids. — 1983. — № 8. — P. 159—169.
2. Евтушенко, А.А. Коэффициент полезного действия свободновихревого насоса типа *Turo* при работе на чистой жидкости и на газожидкостной смеси / А.А. Евтушенко, С.В. Сапожников, В.А. Соляник // Вестник НТУУ “КПИ”: Машиностроение, 1999. — Вып. 36. — Т. 1. — С. 249—255.
3. Сапожников, С.В. Перекачивание газожидкостных смесей динамическими насосами / С.В. Сапожников // Праці П Респ. наук.-техн. конф. Гідроаеромеханіка в інженерній практиці. — 1998. — С. 81—86.

4. Голубев, А.И. Лабиринтно-винтовые насосы и уплотнения для агрессивных сред / А.И. Голубев. — М.: Машиностроение, 1981. — 112 с.

5. Білокінь, І.І. Вплив газовмісту рідини на характеристики лабіринтно-гвинтового насосу / І.І. Білокінь, Ю.М. Стеценко, В.А. Макагон, В.Ф. Кошевий, П.М. Андренко, А.Ю. Лебедев // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2011. — № 2/8 (50). — С. 32—35.

6. Деклараційний патент на корисну модель 68863 Україна F04/00. Лабіринтно-гвинтовий насос / Андренко П.М., Стеценко Ю.М., Білокінь І.І., Лебедев А.Ю., Макагон В.А.; Андренко П.М., Стеценко Ю.М., Білокінь І.І., Лебедев А.Ю., Макагон В.А. — № 201112505; Заявл. 25.10.2011; Опубл. 10.04.2012, Бюл. №7. — 4 с.: іл.

7. Винарский, М.С. Планирование эксперимента в технических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. — М.: Техника, 1975. — 168 с.

8. Пневматические устройства и системы в машиностроении: справочник / Е.В. Герц, А.И. Кудрявцев, О.В. Ложкин и др.; Под общ. ред. Е.В. Герц. — М.: Машиностроение, 1981. — 408 с.

9. Абрамов, Е.И. Элементы гидропривода: справочник / Е.И. Абрамов, К.А. Колисниченко, В.Т. Маслов. — К.: Техника, 1977. — 320 с.

10. Планування та обробка результатів випробувань гідропневмосистем: навч. посібник / А.О. Коваленко, Д.О. Сьомін, А.С. Роговий, М.В. Пілахов. — Луганськ: Видво СНУ ім. В. Даля, 2011. — 216 с.

11. Бермант, А.Ф. Краткий курс математического анализа для вузов / А.Ф. Бермант. — М.: Наука, 1965. — 664 с.

12. Андренко, П.М. Гасителі пульсацій тиску об'ємних гідроагрегатів: монографія / П.М. Андренко, О.В. Дмитрієнко, М.С. Свиначенко. — Харків: НТМТ, 2012. — 160 с.

13. Лебедев, А.Ю. Визначення нерівномірності подачі лабіринтно-гвинтового насоса. / А.Ю. Лебедев, П.М. Андренко // Промислова гідроліка і пневматика. — 2012. — №3 (37). — С. 33—37.

Надійшла 7.05.2013 року