

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЛАБІРИНТНО-ГВИНТОВОГО НАСОСА

Вступ. Створення конкурентоспроможної продукції неможливо без підвищення надійності промислового устаткування. Надійність є одним з важливих показників технічного рівня виробу. До основних показників надійності гідроагрегатів, в тому числі і насосів, відносяться ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, час безвідмовної роботи, 90% ресурс. Фактори, які визначають надійність гідроагрегатів, достатньо докладно розглянуті в науково-технічній літературі, зокрема в роботі [1]. До першої групи цих факторів відносяться конструкція виробу та якість її виготовлення, які необхідно визначити на етапі його проектування. Особливу актуальність питання забезпечення високої надійності набуває при проектуванні лабіринтно-гвинтових насосів (ЛГН), які знайшли широке застосування в технологічних процесах зв'язаних з перекачуванням агресивних середовищ.

Аналіз літературних джерел. Питанням розрахунку надійності гідроагрегатів та їх елементів присвячено достатньо велика кількість науково-технічних робіт, наприклад робота [1]. Однак в них відсутні відомості, щодо надійності ЛГН. Зупинимося на останніх публікаціях. В статті [2] розглянуті загальні питання підвищення надійності гідроприводів і їх елементів на етапі проектування, виготовлення та експлуатації. Однак в ній відсутні конкретні дані, щодо надійності гідроприводів і їх елементів.

Аналіз інтенсивності відмов гідравлічного устаткування розглянуто в статті [3]. Наведені результати аналізу значень інтенсивності відмов гідравлічного устаткування за даними літературних джерел, заводів-виробників, експертних оцінок фахівців. Пропонується при використанні в розрахунках надійності за інтенсивністю відмов враховувати умови експлуатації гідравлічного устаткування. Однак і в даній статті відсутні відомості, щодо значень інтенсивності відмов ЛГН. Зазначимо, що відомості щодо надійності та дефектації ЛГН в науково-технічній літературі відсутні.

В статтях [4, 5] наведені методики оцінки та прогнозування надійності. В статті [4], присвяченій надійності електромагнітних клапанів зробленої на підставі аналізу великої кількості експериментальних даних, всі відмови клапанів поділено на дві великі групи: детерміновані та стохастичні. Встановлено, що стохастичні відмови, за частотою появи суттєво менші за детерміновані. Однак, наведена методика не може бути цілком використана при прогнозуванні надійності ЛГН.

В статті [5] наведено методику прогнозування ресурсу малогабаритних пневматичних клапанів з електромагнітним приводом методом аналізу наявних випадкових процесів пошкоджуваності. Розроблена методика розрахунку надійності для виробів які знаходяться під дією циклічних навантажень та базується на великій кількості експериментальних даних. Таким чином і ця методика не може бути використана при розрахунку надійності ЛГН.

Особливість розрахунку надійності ЛГН, обумовлена їх робочим процесом, а саме взаємодією робочої рідини з рухомим гвинтом і нерухомою втулкою, її течією між ними та в каналах насоса. Крім того в насосах внаслідок нерівномірності витрати та стискання робочої рідини має місце коливання витрати, тиску і рухомих елементів. Сполучення цих факторів призводить до складних гідромеханічних процесів, які необхідно враховувати при проектуванні та розрахунку їх надійності. Оскільки відмови

в ЛГН відбуваються під дією великої кількості факторів конструктивного, виробничого і експлуатаційного характеру, то проблема підвищення їх надійності повинна розв'язуватися комплексно на всіх стадіях його життєвого циклу.

Проведений огляд науково-технічної літератури виявив, що питання прогнозування і розрахунку надійності ЛГН не знайшли в ній належного висвітлення.

Метою статті є розробка методики прогнозування надійності ЛГН на етапі їх проектування. Визначення ймовірності та часу його безвідмовної роботи.

Метод експертних оцінок. При прогнозуванні надійності ЛГН методом експертних оцінок залучалися п'ять провідних фахівців ПАТ "ХЕМЗ-ІРЕС". На першому етапі експерти визначили фактори, які на їх думку, найбільш суттєво впливають на надійність ЛГН. Це: 1 – зношення виступів нарізок втулки та гвинта; 2 – зношення гвинтової канавки втулки та гвинта; 3 – зношення торцевого ущільнення; 4 – запафування гвинтової канавки втулки та гвинта.

На другому етапі, експерти, незалежно один від одного, присвоїли кожному фактору ранг від 1 до 0 за ступенем зменшення його впливу на явище яке розглядається, табл. 1. Зазначимо, що дійсне значення рангу кожного фактора знаходиться всередині діапазону оцінок та узагальнена думка експертів є цілком достовірною.

Таблиця 1

Вага, середньоарифметична вага, середня відносна вага і середньоквадратичне відхилення факторів які впливають на надійність ЛГН та коефіцієнт варіацій

Номер експерта, j	Номер фактора, i			
	1	2	3	4
1	1,0	0,9	0,8	0,4
2	1,0	0,8	0,9	0,5
3	0,8	1,0	0,9	0,5
4	0,9	0,7	0,8	1,0
5	0,8	0,5	1,0	0,6
Розраховані параметри				
$\bar{\varphi}_{i,j}$	0,9	0,78	0,88	0,6
$\bar{\varphi}_{0i,j}$	0,285	0,247	0,278	0,190
$\tilde{\sigma}_i$	0,089	0,172	0,075	0,210
\tilde{v}_i 100%	9,89	22,05	8,52	35,0

На третьому етапі розраховували середньоарифметичну вагу, середню відносну вагу і середньоквадратичне відхилення фактора та коефіцієнт варіацій. Для розрахунку використовували формули з роботи [1].

Середньоарифметичну вагу фактора розраховували за залежністю

$$\bar{\varphi}_{i,j} = \frac{1}{m} \sum_1^m \tilde{\varphi}_{i,j}, \quad (1),$$

де m – кількість експертів.

Середню відносну вагу фактора розраховували за формулою

$$\bar{\varphi}_{0i,j} = \bar{\varphi}_{i,j} / \sum_1^n \bar{\varphi}_{i,j}, \quad (2),$$

де n – кількість факторів.

Середньоквадратичне відхилення фактора та коефіцієнт варіацій розраховували за наступними формулами:

$$\tilde{\sigma}_i = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_1^m [\tilde{\varphi}_{i,j} - \bar{\varphi}_{i,j}]^2}, \quad (3)$$

$$\tilde{v}_i = \tilde{\sigma}_i / \bar{\varphi}_{i,j}. \quad (4)$$

Результати розрахунку наведено в нижній частині табл. 1.

На четвертому етапі визначали ранги характеристик факторів які впливають на надійність ЛГН, суми рангів, відхилення суми рангів від середньоарифметичного значення та показників зв'язку рангів. Для визначення рангів заповнювали табл. 2. В лівому верхньому куту якої записані ваги характеристик взятих з верхньої частини табл. 1. Якщо у вагах в послідовності, що ранжуються, k експертів вказали однакову вагу, то рангом є середнє значення натурального ряду чисел. Якщо вага зустрічалась один раз, то ранг є наступним членом натурального ряду чисел.

Таблиця 2

Ранги характеристик факторів які впливають на надійність ЛГН та суми рангів, відхилення суми рангів від середньоарифметичного значення та показників зв'язку рангів

	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$
	1,0	1,0	1,0	1,0
	$\frac{1}{2}$	1,0	1,0	1,0
	$(1+2)\frac{1}{2}=1,5$			
	0,9	0,9	0,9	0,9
	3,0	2,0	$\frac{1}{2}$	0
			$(2+3)\frac{1}{2}=2,5$	
	0,8	0,8	0,8	0,8
	$\frac{1}{2}$	3,0	$\frac{1}{2}$	0
	$(4+5)\frac{1}{2}=4,5$		$(4+5)\frac{1}{2}=4,5$	
	0,7	0,7	0,7	0,7
	–	4,0	–	0
	0,6	0,6	0,6	0,6
	–	0	–	5,0
	0,5	0,5	0,5	0,5
	–	6,0	–	$\frac{1}{2}$
				$(6+7)\frac{1}{2}=6,5$
	0,4	0,4	0,4	0,4
	–	–	–	8,0
Розраховані параметри				
\tilde{s}_i	9,0	16,0	8,0	20,5
\tilde{d}_i	-4,375	2,625	-5,375	7,125
\tilde{T}_i	12	0	12	6

Суми рангів характеристик факторів які впливають на надійність ЛГН, відхилення суми рангів від середньоарифметичного значення та показник зв'язку рангів розраховували за наступними формулами [1]:

сума рангів та середня сума рангів

$$\tilde{s}_i = \sum_1^m \tilde{\rho}_j, \quad \bar{\tilde{s}} = \sum_1^n \tilde{s}_i / n, \quad (5)$$

де $\tilde{\rho}_j$ – ранг характеристики фактора який впливає на надійність ЛГН; відхилення суми рангів від середньоарифметичного значення

$$\tilde{d}_i = \tilde{s}_i - \bar{\tilde{s}}; \quad (6)$$

показник зв'язку рангів

$$\tilde{T}_i = \sum_1^{\tilde{L}} (\tilde{t}_i^3 - \tilde{t}_i), \quad (7)$$

де \tilde{L} – кількість груп рангів; \tilde{t}_i – кількість зв'язаних рангів в \tilde{l} -ій групі.

Результати розрахунку наведено в нижній частині табл. 2.

Відмітимо, що середньоквадратичне відхилення фактора та коефіцієнт варіацій є непрямыми показниками узгодженості думки експертів по даному фактору. Чим менше коефіцієнт варіації, тим більш узгоджена думка експертів. Остаточні висновки щодо узгодженості думки експертів формулювали використовуючи коефіцієнт конкордації (узгодженості) [1]

$$\tilde{W} = \frac{12 \sum_1^n \tilde{d}_i^2}{m^2(n^3 - n) - m \sum_1^n \tilde{T}_i}. \quad (8)$$

Розрахований за формулою (8) коефіцієнт конкордації склав 0,9394. Таким чином думка експертів є узгодженою, $\tilde{W} \approx 1$. Значення коефіцієнта конкордації підпорядковуються χ^2 -розподілу. Розраховували квантиль $\chi_{\text{ср}}^2$ -розподілу за залежністю [1]

$$\chi_{\text{ср}}^2 = \frac{12 \sum_1^n \tilde{d}_i^2}{n m (n + 1) - \frac{1}{m - 1} \sum_1^n \tilde{T}_i}. \quad (9)$$

Розраховували ступінь числа свободи $\tilde{\nu} = m - 1 = 5 - 1 = 4$, та задавались рівнем довіри $\tilde{\gamma} = 0,95$. За таблицями з роботи [6] знаходили значення квантиля $\chi_{\text{т}}^2(\tilde{\gamma}, \tilde{\nu})$ -розподілу. Для $\chi_{\text{т}}^2(0,95, 4) = 9,49$, а розрахований за формулою (9) – 13,71. $\chi_{\text{ср}}^2 > \chi_{\text{т}}^2(\tilde{\gamma}, \tilde{\nu})$, тобто оцінки експертів є узгодженими при заданому рівню довіри $\tilde{\gamma} = 0,95$.

Ранжування факторів за даними з табл. 1 дозволило встановити, що параметрами визначаючими надійність ЛГН є: $\bar{\varphi}(1) = 0,9$ – зношення виступів нарізок втулки та

гвинта; $\bar{\varphi}(2) = 0,88$ – зношення торцевого ущільнення; $\bar{\varphi}(3) = 0,78$ – зношення гвинтової канавки втулки та гвинта; $\bar{\varphi}(4) = 0,6$ – запарафування гвинтової канавки втулки та гвинта. Таким чином при проектуванні ЛГН необхідно в першу чергу забезпечити зменшення зношення виступів нарізок втулки та гвинта.

Прогнозування надійності. За методикою з роботи [1] здійснювали прогнозування надійності ЛГН методом марковської апроксимації. Вище встановлено, що визначальним параметром який характеризує роботоспроможність ЛГН є зношення виступів нарізок втулки та гвинта. За даними експериментальних досліджень проведеними в ПАТ “ХЕМЗ-ІРЕС” ЛГН з 18 різними робочими органами встановлені відносні значення зношення виступів нарізок втулки та гвинта – $\bar{\delta}$. Величини $\bar{\delta}$ визначались за формулою $\bar{\delta} = \Delta\delta/R_r$, де $\Delta\delta$ – приріст діаметрального зазору між нарізками гвинта та втулки; R_r – гідравлічний радіус гвинтової канавки. Результати експериментальних значень (точки) $\bar{\delta}$ в залежності від часу експлуатації t зображено на рис.1.

Ймовірність знаходження відносного значення зношення виступів нарізок втулки та гвинта в момент часу t в i -тому стані (рівні квантування) – \tilde{P}_i (ймовірність безвідмовної роботи ЛГН) визначається рівняннями марковського процесу [1]

$$\tilde{P}_i = -\tilde{v}_i \tilde{P}_i(t) + \tilde{v}_{i-1} \tilde{P}_{i-1}(t), \quad i = 0, 1, 2, \quad (10)$$

де \tilde{v}_i – коефіцієнти.

Система рівнянь (10) розв’язується за допомогою перетворень Лапласа [1]:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_0(t) &= \tilde{P}_0 e^{-\tilde{v}_0 t}; \quad \tilde{P}_1(t) = \frac{\tilde{v}_0 \tilde{P}_0}{\tilde{v}_1 - \tilde{v}_0} e^{-\tilde{v}_0 t} + \left(\tilde{P}_1 - \frac{\tilde{v}_0 \tilde{P}_0}{\tilde{v}_1 - \tilde{v}_0} \right) e^{-\tilde{v}_1 t}; \\ \tilde{P}_2(t) &= \frac{\tilde{v}_0 \tilde{v}_1 \tilde{P}_0}{(\tilde{v}_1 - \tilde{v}_0)(\tilde{v}_2 - \tilde{v}_0)} e^{-\tilde{v}_0 t} + \left[\frac{\tilde{v}_1 \tilde{P}_1}{\tilde{v}_2 - \tilde{v}_1} - \frac{\tilde{v}_0 \tilde{v}_1 \tilde{P}_0}{(\tilde{v}_1 - \tilde{v}_0)(\tilde{v}_2 - \tilde{v}_1)} \right] e^{-\tilde{v}_1 t} + \\ &+ \left[\tilde{P}_2 + \frac{\tilde{v}_1 \tilde{P}_1}{\tilde{v}_2 - \tilde{v}_1} + \frac{\tilde{v}_0 \tilde{v}_1 \tilde{P}_0}{(\tilde{v}_1 - \tilde{v}_0)(\tilde{v}_2 - \tilde{v}_0)} \right] e^{-\tilde{v}_2 t}; \\ \tilde{P}_3(t) &= 1 - \sum_0^2 \tilde{P}_i(t). \end{aligned} \quad (11)$$

З урахуванням системи рівнянь (11) ймовірність безвідмовної роботи ЛГН визначалась наступною залежністю

$$\tilde{P}(t) = 1 - \tilde{P}_3(t), \quad (12)$$

Щільність цієї ймовірності

$$f(t) = \tilde{P}(t) \sum \tilde{v}_i. \quad (13)$$

Математичне очікування

$$\tilde{m}_{\bar{\delta}}(t) = \tilde{P}(t) \sum \bar{\delta}_i. \quad (14)$$

Дисперсія

$$\tilde{\sigma}_{\bar{\delta}}^2(t) = \tilde{P}(t) \sum \bar{\delta}_i^2 - \tilde{m}_{\bar{\delta}}(t)^2. \quad (15)$$

Так як на початку експлуатації $\bar{\delta} = 0$, то в якості початкових значень ймовірностей станів при $t = 0$ приймали $P_0 = 1, P_1 = P_2 = P_3 = 0$. Відмітимо, що на рис. 1 границі поля допусків $\bar{\delta}_{\max} = a$ і $\bar{\delta}_{\min} = b$ в задані технічними умовами.

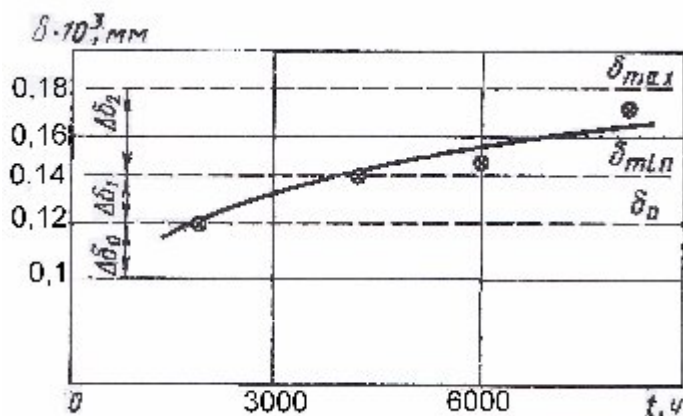


Рис. 1. Зміна відносного зазору між нарізками гвинта та втулки ЛГН

На трьох рівнях робили квантування поля зношування:

$$t_0 = 2000 \text{ год}; \Delta\bar{\delta}_0 = \bar{\delta}(t_0) - \bar{\delta}(0) = 0,019 \cdot 10^{-3} \text{ мм};$$

$$t_1 = 2500 \text{ год}; \Delta\bar{\delta}_1 = \bar{\delta}(t_1) - \bar{\delta}(t_0) = 0,037 \cdot 10^{-3} \text{ мм};$$

$$t_2 = 10000 \text{ год}; \Delta\bar{\delta}_2 = \bar{\delta}(t_2) - \bar{\delta}(t_1) = 0,076 \cdot 10^{-3} \text{ мм}.$$

Визначали інтервали квантування в часі: $t_0^* = 2000$ год; $t_1^* = 2500$ год; $t_2^* = 10000$ год. Розраховували інтенсивності переходів по рівням квантування – коефіцієнти рівнянь ймовірності роботоспроможного стану насосу:

$$\tilde{\nu}_0 = 1/t_0^* = 1/2000 = 0,5 \cdot 10^{-3}; \tilde{\nu}_1 = 1/t_1^* = 1/2500 = 0,4 \cdot 10^{-3}; \tilde{\nu}_2 = 1/t_2^* = 1/10000 = 0,09 \cdot 10^{-3}.$$

Задавалися часом t та за системою рівнянь (11) знаходили значення $\tilde{P}_i(t)$ та за формулою (12) $\tilde{P}(t)$. Результати розрахунків наведено на рис. 2.

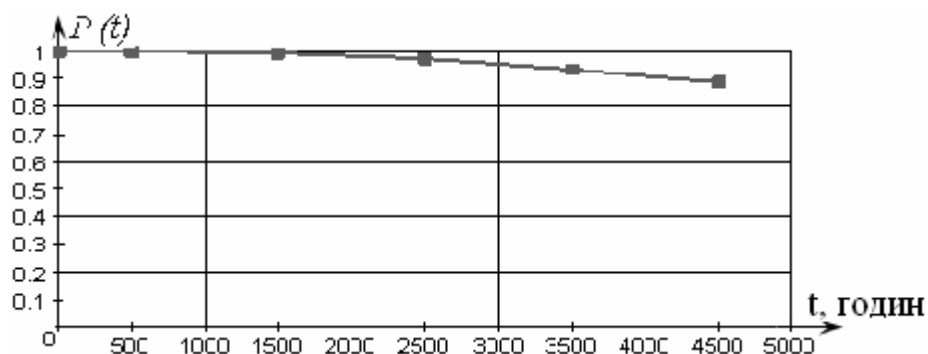


Рис. 2. Залежність ймовірності безвідмовної роботи насосу від часу

Ймовірності безвідмовної роботи ЛГН для 4500 годин роботи становить 0,891, при цьому математичне очікування розраховане за формулою (14) становить $0,12 \cdot 10^{-3}$ мм, а дисперсія $0,0011 \cdot 10^{-6}$ мм². Таким чином ймовірності безвідмовної роботи насоса розрахована з задовільною точністю.

Метод структурних схем. Для підтвердження результатів розрахунку надійності методом марківської апроксимації ймовірність безвідмовної роботи ЛГН розраховували за допомогою метода структурних схем. При цьому приймали, що всі елементи одновідмовні, їх відмови незалежні, однотипні елементи мають однакову надійність, їх параметри відповідають – номінальним, а параметри оточуючого середовища – технічним вимогам. Приймали, що під час експлуатації інтенсивність відмов $\tilde{\lambda}$ не залежить від часу – ймовірність безвідмовної роботи описується експоненціальним законом [1]

$$\tilde{P}(t) = \exp(-\tilde{\lambda}t). \quad (16)$$

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи за залежністю (16) правомірний для невідновлювальних елементів та пристроїв. Для відновлювальних пристроїв результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за залежністю (16) дещо менші, однак виду невизначеності часу відновлення в подальших розрахунках використовували формулу (16). Ймовірність безвідмовної роботи будь-якого пристрою, структурна схема якого містить k паралельних ланцюгів кожний з яких складається з n елементів визначали за формулою [1]

$$\tilde{P}(t) = 1 - \prod_1^k \left[1 - \prod_1^n P_i(t) \right], \quad (17)$$

де $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента.

За конструктивною схемою ЛГН побудували його структурну схему, рис. 3.

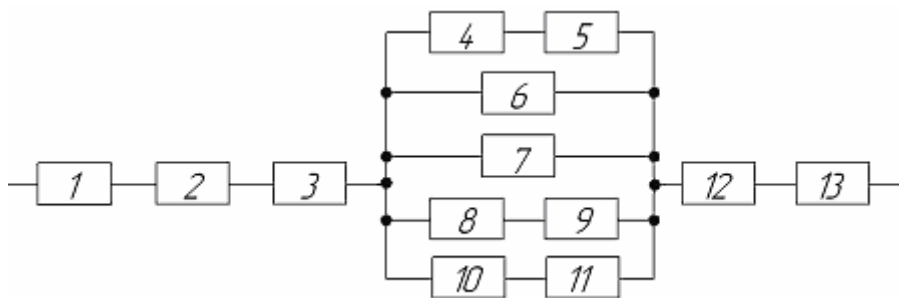


Рис. 3. Структурна схема для розрахунку надійності ЛГН:
1, 13 – трубопровід; 2, 12 – муфта; 3 – ротор; 4, 8 – торцеве ущільнення;
5, 9 – пружина; 6, 7 – підшипник; 10 – гвинт; 11 – втулка.

За структурною схемою з використанням формул (16) та (17), отримали аналітичну залежність для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи ЛГН

$$\tilde{P}(t) = \tilde{P}_{1-3} \left[1 - \prod_1^5 \left(1 - \prod_4^{11} \tilde{P}_i(t) \right) \right] \tilde{P}_{12-13}. \quad (18)$$

Результати розрахунків наведені в табл. 3. При 10000 годин роботи насоса мінімальне значення імовірності безвідмовної роботи становить 0,984.

За результатами розрахунків імовірності безвідмовної роботи ЛГН встановлено, що він є високонадійним елементом. Аналіз розрахунків показав, що імовірність безвідмовної роботи насоса значною мірою залежить від надійності торцевих ущільнень. Однак, слід зазначити, що розрахунок надійності з використанням методу структурних схем дає трохи завищені показники надійності. Точність розрахунку ймовірності безвідмовної роботи ЛГН характеризується дисперсією G_p , розрахунок якої проводили за методикою з роботи [7]. Розрахункове значення G_p для 10000 годин склало $0,031 \cdot 10^{-2}$.

Час безвідмовної роботи ЛГН розраховували за формулою

$$T = 1/\Lambda, \quad (19)$$

де Λ – сумарна інтенсивність відмов насоса.

За результатами розрахунків він становить $1,46 \cdot 10^6$ годин. Таким чином розрахунковим шляхом доведено, що надійність ЛГН є достатньо високою.

Таблиця 3

Імовірність безвідмовної роботи ЛГН

Елемент насоса	$\tilde{\lambda} \cdot 10^{-6}, 1/\text{год} [7]$			$P(4500)$		
	$\tilde{\lambda}_{\min}$	$\tilde{\lambda}_{\text{ср}}$	$\tilde{\lambda}_{\max}$	мин.	сред.	макс.
Трубопровід, $\tilde{\lambda}_{1(13)}$	0,18	0,324	0,7	–	–	–
Муфта, $\tilde{\lambda}_{2(12)}$	0,001	0,025	0,049	–	–	–
Ротор, $\tilde{\lambda}_3$	0,2	0,2	0,2	–	–	–
Торцеве ущільнення, $\tilde{\lambda}_{4(8)}$	0,23	0,7	1,12	–	–	–
Пружина, $\tilde{\lambda}_{5(9)}$	0,004	0,112	0,221	–	–	–
Підшипник, $\tilde{\lambda}_{6(7)}$	0,04	0,5	0,875	–	–	–
Вузол гвинт-втулка, $\tilde{\lambda}_{10-11}$	0,02	0,05	0,098	–	–	–
Насос	–	–	–	0,993	0,996	0,997

Висновки. Доведено, що визначальним параметром при прогнозуванні надійності ЛГН є зношення виступів нарізок втулки та гвинта. Отримані результати дозволяють прогнозувати надійність ЛГН з широкою гамою робочих органів. Встановлено, що мінімальне значення імовірності безвідмовної роботи насоса за 10000 годин становить 0,984, а час безвідмовної роботи $1,46 \cdot 10^6$ годин. Співставлення результатів розрахунку імовірності безвідмовної роботи насоса методом марковської апроксимації і методом структурних схем показало їх гарний збіг. Таким чином розрахунковим шляхом доведена висока надійність ЛГН. Наведену методику розрахунку надійності можна використовувати і при розрахунку надійності гвинтових насосів.

Література: 1. Сырицын Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов / Т.А. Сырицын. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с. 2. Основные пути повышения надежности гидроприводов. – Гидравлика пневматика и приводы, 2010. – № 1 (3). – С. 4 – 7. 3. Ащеулов А.В. Анализ интенсивности отказов гидравлического оборудования / А.В. Ащеулов. – Гидравлика пневматика и приводы, 2010. – № 1 (3). – С. 8 – 9. 4. Ситников А.Е. Оценка надежности электромагнитных клапанов с учетом причинных связей их отказов. / А.Е. Ситников, Е.И. Барелюк, Г.И. Зайончковский / Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця ВДАУ, 2011 – №3(33). – С. – 87 – 89. 5. Рикуніч Ю.М. Прогнозування ресурсу малогабаритних пневматичних клапанів з електромагнітним приводом методом аналізу наявних випадкових процесів пошкоджуваності / Ю.М. Рикуніч, О.Є. Ситніков, Я. Б Федорочко, О.Г. Кучер, Г.И. Зайончковский / Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця ВДАУ, 2011 – №1(31). – С. – 71 – 84. 6. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с. 7. Методичні вказівки до практичних занять “Вивчення принципу дії, експлуатації та розрахунку надійності гідроапаратів із вібраційною лінеаризацією” з курсу “Надійність та експлуатація гідромашин і гідроприводів” / уклад. П.М. Андренко, І.П. Гречка, і ін. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2003. – 72 с.

Bibliography (transliterated): 1. Siryicin T.A. Ekspluatacia i nadegnost gidro- i pnevmoprovodov / T.A. Siryicin. – M.: Machinostroenie, 1990. – 248 s. 2. Osnovnie puti povisheniya nadegnosti gidroprivodov. – Gidravlika pnevmatika i privodi, 2010. – № 1 (3). – S. 4 – 7. 3. Asheulov A.V Analiz intensivnosti otkazov gidravlichesкого oborudovaniya / A.V. Asheulov. – Gidravlika pnevmatika i privodi, 2010. – № 1 (3). – S. 8 – 9. 4. Sitnikov A.E. Ocenka nadegnosti elektromagnitnix klapanov s uchetom prichinnix svyazey ix otkazov. / A.E. Sitnikov, E.I Barelyk, G.I Zayonchkovskiy / Promislova gidravlika i pnevmatika. – Vinnica VDAU, 2011 – №3(33). – S – 87 – 89. 5. Rikunich U.M. Prognozuvannya resursu malogabaritnix pnevmatichnix klapaniv z elektromagnitnim privodom metodom analizu nayavnix vipadkovix procesiv poshkodguvanosti / U.M. Rikunich, O.E. Sitnikov, Y. B. Fedorochko, O.G. Kucher, G.I Zayonchkovskiy Promislova gidravlika i pnevmatika. – Vinnica VDAU, 2011 – №1(31). – S. – 71 – 84. 6. Gnedenko B.V. Matematicheskie metodi v teorii nadegnosti / B.V. Gnedenko, Y.K. Belyaev , A.D. Solovyov. – M.: Nauka, 1965. – 524 s 7. Metodichi vkazivki do praktichnix zanyat “Vivchennya principu dii, ekspluatacii ta rozrakhunku nadiynosti gidroaparativ iz vibracnoyu linearizacieyu” z kursu “Nadiinist ta ekspluataciya gidromachin i gidroprivodiv ” / uklad. P.M. Andrenko , I.P. Grechka, i in. – Kharkiv: NTU “HPI”, 2003. – 72 s.

Лебедев А.Ю.

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЛАБИРИНТНО-ГВИНТОВОГО НАСОСА

Надані відомості про надійність лабіринтно-гвинтових насосів. Доведено, що параметром, що визначає надійність таких насосів є зношування виступів нарізок втулки й гвинта. Наведено результати розрахунку надійності лабіринтно-гвинтових насосів методом марковської апроксимації й методом структурних схем.

Лебедев А.Ю.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЛАБИРИНТНО-ВИНТОВОГО НАСОСА

Содержатся сведения о надежности лабиринтно-винтовых насосов. Доказано, что параметром определяющим надежность таких насосов является износ выступов нарезок втулки и винта. Приведены результаты расчета надежности лабиринтно-винтовых насосов методом марковской аппроксимации и методом структурных схем.

Lebedev A.Y.

PROGNOSTICATION OF RELIABILITY OF LABYRINTH-SPIRAL PUMP

There is information about reliability of labyrinth-spiral pumps. It is well-proven that by a parameter qualificatory reliability of such pumps there is a wear of ledges of cutting of hob and screw. Results over of calculation of reliability of labyrinth-spiral pumps are brought by the method of markovska approximation and method of flow diagrams.