

рків: НТУ «ХПІ», 2014. – № 6 (1049). – С. 99 – 111. Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2222-0631.

Запропоновано метод дослідження спектру власних частот та форм пологих оболонок неканонічних форм у плані, що утворюються з функціонально-градієнтних матеріалів. Метод базується на сумісному використанні уточненої теорії першого порядку типу Тимошенко, варіаційного методу Ритца, теорії  $R$ -функцій (RFM) та сплайн-апроксимації. Запропонований метод дозволив провести дослідження впливу типу граничних умов, кривини та показника степені об'ємної частки матеріалу на спектр власних частот та форм оболонок зі складною формою плану. Результати, що наведені у роботі, отримані як за допомогою поліноміальної, так і за допомогою сплайн-апроксимації. Для підтвердження достовірності результатів наведено їх порівняння з відомими раніш в літературі для оболонок з прямокутною формою плану.

**Ключові слова:** функціонально-градієнтні матеріали (ФГМ), пологі оболонки, теорія  $R$ -функцій (RFM), сплайн-апроксимація, теорія типу Тимошенко, спектр власних частот, складна форма плану.

UDC 517.07

**Determining eigen frequencies of functionally graded shallow shells using the R-function theory and spline-approximation / L. V. Kurpa, A. A. Osetrov, T. V. Shmatko // Bulletin of National Technical University «KhPI» Series: Mathematical modeling in engineering and technologies. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2014. – № 6 (1049). – pp. 99 – 111. Bibliog.: 13 titles. – ISSN 2222-0631.**

The article suggests a method of investigation of natural frequencies and eigen forms of shallow shells with non-canonical plan-forms consisting of functionally graded materials. The solution method is based on the joint usage of the refined shallow shell theory of the first order (Timoshenko's type), the Ritz variational method, the R-function theory and spline-approximation. The proposed approach allows investigating the influence of boundary conditions, type of curvature and the volume fraction power coefficient on the natural frequencies and eigen forms of shallow shells with complex planform. The results presented in the article are obtained by both polynomial and spline-approximation. To prove the reliability of the obtained results we compare them with the once previously known for the shells with rectangular planform.

**Key words:** functionally-graded materials (FGM), shallow shells, the R-functions theory (RFM), spline-approximation, the Timoshenko's type theory, natural frequencies, complex planform.

УДК 66.023

*А.Ю. ЛЕБЕДЕВ*, аспірант, НТУ «ХПІ»

## **ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ЛАБІРИНТНО-ГВИНТОВОГО НАСОСА ЗА РАХУНОК ВДОСКОНАЛЕННЯ ЙОГО РОБОЧИХ ОРГАНІВ**

Наведено методику визначення технічного рівня лабіринтно-гвинтового насоса. Проведено аналіз впливу форми робочих органів насоса та газомісту робочої рідини на цей показник. Отримані дані дозволяють на етапі проектування оцінити і визначити шляхи підвищення технічного рівня лабіринтно-гвинтового насоса.

**Ключові слова:** лабіринтно-гвинтовий насос, робочі органи, гвинтова канавка, технічний рівень, газоміст.

**Вступ та постановка проблеми.** Завдяки здатності перекачування хімічно активних, вибухо- і пожежонебезпечних рідин в'язкістю до 500 сСт, яка

містить не більше ніж 2 % твердих домішок розміром до 0,1 мм та має температуру до 105°С, *лабіринтно-гвинтові насоси* (ЛГН) знайшли широке використання у хімічній та харчовій галузях промисловості. ЛГН значно простіші у виготовленні, компактні та легші за вихрові і завдяки особливостям робочого процесу та відсутністю механічного тертя більш надійніші. Вони можуть використовуватися як свердловинні занурювальні насоси для місцевого водопостачання та входні ступені відцентрових насосів при нафтовидобутку.

Значною мірою характеристики ЛГН залежать від їх робочих органів – гвинта і втулки, у яких виконані багатозахідні нарізки, спрямовані у протилежні сторони [1]. Як відмічено у статті [2], стратегічним напрямком розвитку ЛГН є удосконалення форми їх проточної частини, встановлення оптимальних конструктивних і робочих параметрів.

Методикам розрахунку та проектування ЛГН присвячені роботи [1, 3]. В них наведені характеристик ЛГН, що мають робочі органи з напівкруглою, трапецеїдальною та трикутною нарізками. Для більш малих напорів перевагу слід надавати напівкруглій та трапецеїдальній нарізкам, так як вони простіші у виготовленні, їх гідравлічні характеристики кращі та у меншому ступені залежать від зазору між гвинтом і втулкою. Однак в даних роботах не встановлено технічний рівень ЛГН у залежності від форми нарізок робочих органів та їх конкурентоспроможність.

Оцінка технічного рівня об'ємних гідромашин розглядається у роботі [4]. В ній наведені прості та комплексні критерії для порівняння показників технічного рівня об'ємних гідромашин, систематизовано інформацію щодо робочих параметрів гідромоторів передових зарубіжних фірм, проаналізовано вплив деяких характеристик гідромоторів на їх технічний рівень. Однак не визначений економічний ефект від впровадження даних гідромоторів, не встановлені числові значення показники їх технічного рівня. Таким чином, наведена методика не може бути цілком використана для встановлення технічного рівня ЛГН.

Методика визначення технічного рівня гідромашин наведена у роботі [5]. В ній розглядається технічний рівень *аксіально-поршневого насоса*. Однак наведені в ній показники технічного рівня, як і у роботі [4], придатні тільки для використання широкої гами об'ємних гідромашин, а для встановлення технічного рівня ЛГН потребують уточнення. Безрозмірні критерії для порівняння ЛГН з робочими органами різної форми наведені у [6]. Але в ній, як і у роботах [1, 3], відсутні відомості щодо технічного рівня ЛГН та їх конкурентоспроможності. Таким чином, розробка методики та встановлення показників технічного рівня ЛГН є актуальним науково-технічним завданням. В такій постановці дана задача не розглядалась.

**Удосконалені конструкції ЛГН.** В основу розробки проточних частин робочих органів насоса була поставлена задача підвищення напору, ККД та зменшення ймовірності виникнення кавітації на вході в насос. В рамках проведеної роботи нами розроблено дві вдосконалені конструкції робочих органів ЛГН.

Перша, відрізняється тим, що на вході і виході втулки та гвинта ЛГН в

гвинтових канавках виконані фаски, довжина яких дорівнює чотирьом гідралічним радіусам гвинтової канавки втулки та гвинта (рис. 1). При цьому фас-

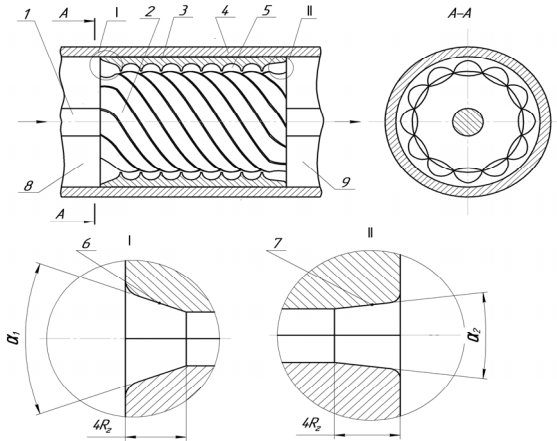


Рис. 1 – Удосконалені робочі органи насоса [7]: 1 – привідний вал; 2 – гвинт; 3 – втулка; 4 – корпус; 5 – гвинтова канавка; 6 – вхід в робочу зону ЛГН; 7 – вихід з робочої зони ЛГН; 8 – камера підводу; 9 – камера відводу.

ка на вході втулки та гвинта виконана у вигляді конфузора, з кутом конусності  $20^\circ \dots 60^\circ$ , а фаска зі сторони камер відводу – у вигляді дифузора з кутом конусності  $8^\circ \dots 15^\circ$ , причому кромки на вході і виході гвинтових канавок втулки і гвинта виконані тупими [7].

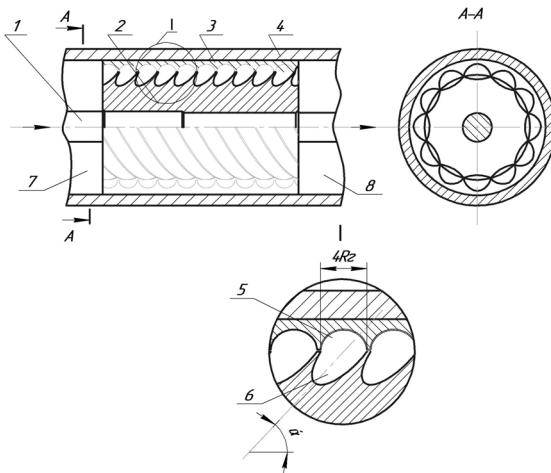


Рис. 2 – Удосконалені робочі органи насоса [8]: 1 – привідний вал; 2 – гвинт; 3 – втулка; 4 – корпус; 5 – гвинтова канавка напівкруглої форми; 6 – гвинтова канавка довгастої форми; 7 – камера підводу; 8 – камера відводу.

Нами також запропоновано конструкцію ЛГН, робочі органи якого відрізняються тим, що гвинтові канавки на гвинті виконані у вигляді еліпса, вісь яких утворює з віссю гвинта, у напрямку подачі рідини, гострий кут  $\alpha$ , та ширина яких, в перетині на зовнішній поверхні гвинта, дорівнює ширині гвинтових канавок на внутрішній поверхні втулки, чи чотирьом гідравлічним радіусам гвинтової канавки втулки, а кромки на вході та виході гвинтових канавок втулки і гвинта виконані тупими [8]. При такому виконанні гвинтові канавки насоса утворюють *резисторний діод* (рис. 2).

**Визначення технічного рівня ЛГН.** Якісну оцінку технічного рівня проводили порівнянням сукупності показників якості вдосконалених ЛГН з відповідною сукупністю показників аналога – конструкції ЛГН, що серійно випускається на ПАТ «ХЕМЗ–ІРЕС» (м. Харків).

Для оцінки технічного рівня ЛГН використовували наступні основні класифікаційні та оціночні показники: гідравлічний радіус, діаметр гвинта, зазор між гвинтом та втулкою ЛГН, довжину гвинта, кут нарізок гвинта, подачу і напір ЛГН, його ККД та вагу. Результати розрахунків наведені у таблицях 2 – 4. Параметри, які є постійними для всіх конструкцій насосу, що розглядаються, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Загальні (або незмінні) параметри ЛГН

Найменування параметру	Величина показника
Гідравлічний радіус $R_c \cdot 10^4$ , м	2,25
Діаметр гвинта $d_c \cdot 10^3$ , м	65
Зазор між гвинтом та втулкою $\delta \cdot 10^4$ , м	0,5
Довжина гвинта $l_c$ , м	0,112
Подача ЛГН $q$ , м <sup>3</sup> /доб	80

Враховуючи умови експлуатації ЛГН, була проведена оцінка його технічного рівня при роботі на газорідинній суміші з 20% повітря, яка за своїми властивостями наближена до умов його реальної роботи (табл. 3).

Ступінь відповідності параметрів оцінюваних ЛГН показникам еталону розраховували за формулою [9]

$$I_i = P_i / P_i^e, \quad (1)$$

де  $I_i$  – параметричний індекс  $i$ -го параметра;  $P_i$  та  $P_i^e$  – відповідно, значення  $i$ -го параметра, який характеризує споживчі властивості оцінюваного ЛГН і ЛГН-еталону.

Показник уніфікації, який характеризує ступінь насиченості пристрою стандартизованими і уніфікованими деталями, це коефіцієнт використання:

$$K_{\text{уп}} = \frac{P_d - P_{d0}}{P_d} \cdot 100, \quad (2)$$

де  $P_d$  – загальна кількість деталей, шт.;  $P_{d0}$  – кількість оригінальних деталей, шт.

Зведений індекс показників технічного рівня розраховували за формулою:

$$I_n = \sum_{i=1}^n B_i \cdot I_i, \quad (3)$$

де  $B_i$  – величина вагомості  $i$ -го параметру.

Таблиця 2 – Оцінка показників технічного рівня удосконаленого ЛГН з фасками [7]

Найменування основних параметрів	Величина показників якості за варіантами			Відносний показник технічного рівня виробу		Вагомість показника, бали	Зведений індекс показника технічного рівня	
	Аналог	Проект	Еталон	Аналог	Проект		Аналог	Проект
1. Кут нарізок гвинта $\alpha$ , °	70	70	70	1,0	1,0	0,05	0,05	0,05
2. Напір $H$ , м	62,8	72,2	72,2	0,87	1,0	0,15	0,13	0,15
3. ККД, %	29,4	34,1	43,0	0,67	0,79	0,25	0,17	0,2
4. Вага $m$ , кг	52	51	51	0,98	1,0	0,05	0,043	0,05
5. Однакові показники	-	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5
Комплексний показник	-	-	-	-	-	-	0,893	0,95

Рівень показників технічного рівня ЛГН визначали за формулою:

$$K = I_n / I_{он}, \quad (4)$$

де  $I_{он}$  – зведений індекс показників технічного рівня ЛГН-аналогу.

Зведений індекс показника технічного рівня ЛГН з вдосконаленими робочими органами коливається у діапазоні від 0,94 до 0,97 у залежності від умов експлуатації і, за класифікацією [10], відповідає вищій категорії якості. Конкурентоспроможність ЛГН з вдосконаленою конструкцією робочих органів, розрахована за залежністю (4), становить 1,06 ... 1,07 для ЛГН з фасками, та 1,09 для ЛГН з діодним виконанням канавок, тобто за показниками технічного рівня перевищує ЛГН-аналог.

Використання ЛГН з удосконаленими робочими органами при роботі на робочій рідині з 20%-м газовмістом є більш ефективним, так як показник його технічного рівня зростає до 7,2 %. Причому показник уніфікації розрахований за формулою (2) для ЛГН, що має робочі органи з фасками на вході і виході з них, та ЛГН-аналога – однаковий.

Таблиця 3 – Оцінка показників технічного рівня удосконаленого ЛГН з фасками [7], при 20%-ному газовмісті робочої рідини

Найменування основних параметрів	Величина показників якості за варіантами			Відносний показник технічного рівня виробу		Вагомість показника, бали	Зведений індекс показника технічного рівня	
	Аналог	Проект	Еталон	Аналог	Проект		Аналог	Проект
1. Кут нарізок гвинта $\alpha$ , °	70	70	70	1,0	1,0	0,05	0,05	0,05
2. Напір $H$ , м	62,8	69,7	69,7	0,9	1,0	0,15	0,14	0,15
3. ККД, %	29,4	33,9	43,0	0,67	0,78	0,25	0,17	0,19
4. Вага $m$ , кг	52	50,7	50,7	0,98	1,0	0,05	0,05	0,05
5. Однакові показники	-	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5
Комплексний показник	-	-	-	-	-	-	0,894	0,94

Таблиця 4 – Оцінка показників технічного рівня удосконаленого ЛГН з канавками, що утворюють резисторний діод [8]

Найменування основних параметрів	Величина показників якості за варіантами			Відносний показник технічного рівня виробу		Вагомість показника, бали	Зведений індекс показника технічного рівня	
	Аналог	Проект	Еталон	Аналог	Проект		Аналог	Проект
1. Кут нарізок гвинта $\alpha$ , °	70	85	85	0,82	1,0	0,05	0,041	0,05
2. Напір $H$ , м	62,8	73,5	73,5	0,85	1,0	0,15	0,13	0,15
3. ККД, %	29,4	38,2	43,0	0,67	0,89	0,25	0,17	0,22
4. Вага $m$ , кг	52	50,5	50,5	0,97	1,0	0,05	0,048	0,05
5. Однакові показники	-	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5
Комплексний показник	-	-	-	-	-	-	0,89	0,97

**Висновки.** Розроблена методика та вперше встановлено технічний рівень ЛГН і вплив на нього форми робочих органів насоса. Показано, що за-

стосування вдосконалених робочих органів ЛГН дозволяє підвищити його технічний рівень на 6,4 % при застосування робочих органів з фасками на вході і виході з них та на 9 % при формі канавок, що утворюють резисторний діод. Причому при 20%-ному газомісті робочої рідини технічний рівень ЛГН з фасками на вході і виході з робочих органів зростає, у порівнянні з ЛГН-аналогом, до 7,2 %.

**Список літератури:** 1. *Голубев А.И.* Лабиринтно-винтовые насосы и уплотнения для агрессивных сред. – 2 изд. – М.: Машиностроение, 1981 – 112 с. 2. *Андренко П.Н., Лурье З.Я.* Тенденции развития объемных гидроприводов // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця ВДАУ, 2013. – № 3 (41). – С. – 3 – 14. 3. *Голубев А.И.* Лабиринтные насосы для химической промышленности. – М.: Машиностроение, 1961 – 76 с. 4. *Аврунін Г.А., Кириченко І.Г., Мороз І.І.* Основы объемного гидроприводу і гидропневмоавтоматики: навч. посіб. Під ред. Г.А. Авруніна. – Х.: ХНАДУ, 2009. – 424 с. 5. Гидроприводы объемные, пневмоприводы, и смазочные системы. Оценка технического уровня и качества: ОСТ2 Н06-35-84. – [Чинний від 1985-01-01]. – М.: ВНИИТЭМР, 1985. – 39 с. (Отраслевой стандарт). 6. *Андренко П.Н., Лебедев А.Ю.* Критерии для сравнения характеристик лабиринтно-винтовых насосов. XVIII Міжнародна науково-технічна конференція “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці”. Київ 21 – 24 травня 2013 р. матеріали конференції – К.: Підприємство УВОІ “Допомога” УСІ”, 2013. – С. 135. 7. Патент на корисну модель 68863 Україна, МПК F04D 3/00. Лабіринтно-гвинтовий насос / Андренко П.М., Стеценко Ю.М., Білокінь І.І., Лебедев А.Ю., Макогон В.А.; заявник і патентовласник Андренко П.М., Стеценко Ю.М., Білокінь І.І., Лебедев А.Ю., Макогон В.А. – № у 2011 12505; заявл. 25.10.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. №7. 8. Патент на корисну модель 73119 Україна, МПК F04D 3/00. Лабіринтно-гвинтовий насос / Андренко П.М., Стеценко Ю.М., Білокінь І.І., Лебедев А.Ю., Макогон В.А.; заявник і патентовласник Андренко П.М., Стеценко Ю.М., Білокінь І.І., Лебедев А.Ю., Макогон В.А. – № у 2012 02788; заявл. 12.03.2012; опубл. 10.09.2012, Бюл. №17. 9. *Яковлев А.І.* Соціально-економічна ефективність за умов ринку: навч. посібник / А.І. Яковлев. – К.: ІСДО, 1994. – 228 с. 10. Гидроприводы объемные, пневмоприводы, и смазочные системы. Оценка технического уровня и качества: ОСТ2 Н06-35-84. – [Чинний від 1985-01-01]. – М.: ВНИИТЭМР, 1985. – 39 с. (Отраслевой стандарт).

*Надійшла до редакції 28.02.2014*

УДК 66.023

**Підвищення технічного рівня лабиринтно-гвинтового насоса за рахунок вдосконалення його робочих органів / А. Ю. Лебедев // Вісник НТУ «ХП». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХП», 2014. – № 6 (1049). – С. 112 – 117. Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2222-0631.**

Приведена методика определения технического уровня лабиринтно-винтового насоса. Проведен анализ влияния формы рабочих органов и газосодержания рабочей жидкости на этот показатель. Полученные данные позволяют на этапе проектирования оценить и определить пути повышения технического уровня лабиринтно-винтового насоса.

**Ключевые слова:** лабиринтно-винтовой насос, рабочие органы, винтовая канавка, технический уровень, газосодержание.

UDC 66.023

**Increasing the technical level of a labyrinth-helical pump by improving its working bodies / A.Y Lebedev // Bulletin of National Technical University «KhPI» Series: Mathematical modeling in engineering and technologies. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2014. – № 6 (1049). – pp. 112 – 117. Bibliog.: 10 titles. – ISSN 2222-0631.**

A method of determining the technical level of a labyrinth-helical pump is proposed. The influence of the form of working bodies and the gas content of working fluid on this index is analyzed. The data obtained allow estimating and identifying ways to improve the technical level of a labyrinth-helical pump at the design stage.

**Key words:** labyrinthine-screw pump, working bodies, screw groove, technical level, gas content.