

**П.М. АНДРЕНКО**, д-р. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;  
**О.В. ДМИТРІЄНКО**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»;  
**А.Ю. ЛЕБЕДЕВ**, аспірант, НТУ «ХПІ»

## **БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЛАБИРИНТНО-ГВИНТОВОГО НАСОСУ**

За результатами аналізу літературних джерел обґрунтовано вибір методу оптимізації лабиринтно-гвинтового насоса. Наведено методика та результати багатокритеріальної оптимізації його конструктивних та робочих параметрів. Проведено аналіз впливу форми робочих органів та газомісту робочої рідини на основні характеристики лабиринтно-гвинтового насоса, які виражені у безрозмірних значеннях. Отримані дані дозволяють на етапі проектування такого насоса визначити його конструктивні параметри, які забезпечать раціональні значення потужності та максимальний ККД.

**Ключові слова:** лабиринтно-гвинтовий насос, робочі органи, гвинтова канавка, багатокритеріальна оптимізація, критерії якості.

**Вступ та постановка проблеми.** Одним із способів підвищення ефективності роботи занурювальних насосних агрегатів при роботі на рідинах з великим вмістом газоповітряної суміші є використання диспергаторів, які здрибнюють газові пухирці до отримання квазігомогенної суміші, або використання насосних ступенів, що добре працюють на газорідинних сумішах. Лабіринтно-гвинтові насоси (ЛГН), які є насосами тертя, завдяки особливостям робочому процесу можуть виконувати роль як диспергаторів так і насосних ступенів, добре працюючих на газорідинних сумішах. Процес проектування таких насосів передбачає розв'язання комплексу задач, пов'язаних з розрахунком їх конструктивних та робочих параметрів. Розширення області використання ЛГН лежить в площині розв'язання актуальної науково-технічної задачі з розвитку наукових положень та методологічного забезпечення, щодо удосконалення методів математичного моделювання і розрахунку його робочих характеристик, в тому числі і методів багатокритеріальної оптимізації параметрів.

**Аналіз публікацій.** Проведений нами аналіз літературних джерел дозволив встановити, що оптимізацію параметрів гідроагрегатів і їх елементів у більшості наукових робіт (наприклад, у статті [1]), виконують розглядаючи їх у складі гідравлічної системи чи гідроприводу та проводячи оптимізацію за одним критерієм. У роботі [2] задача визначення оптимальних площ дроселюючих щілин гідророзподільників розв'язана прямими аналітичними методами, а в роботі [3] визначення оптимальної відстані між кромками плунжера гідророзподільника проводиться графоаналітичним методом. Робота [4] присвячена проектуванню резонаторів з відгалуженням, математичні моделі робочого процесу яких побудовані з використанням *перетворень Фур'є*, які

можуть бути використані при визначенні їх раціональних, конструктивних і робочих параметрів. Слід відмітити, що в роботах [1 – 4] мова йде скоріше не про оптимізацію, а про раціональний вибір окремих параметрів гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв, оскільки, в даних роботах не визначені критерії оптимальності, функціональні та критеріальні обмеження.

У роботі [5] проводиться порівняльний аналіз методів оптимізації гідроагрегатів, проте відсутні відомості, щодо вибору методу оптимізації групи спеціальних насосів, до яких належить ЛГН.

*Методом дослідження параметрів простору* проведена багатокритеріальна оптимізація конструктивних та робочих параметрів гідроагрегату верстату для намотування обмоток електродвигунів, яка наведена у роботі [6]. Цей метод використовується для багатокритеріальної оптимізації параметрів клапана з осциляцією [7] та гідравлічного гасителя пульсацій тиску [8]. На цих прикладах підтверджено, що застосування метода дослідження параметрів простору на базі ЛП<sub>τ</sub> послідовності [9] для багатокритеріальної оптимізації гідравлічних агрегатів та гідравлічних пристроїв є достатньо ефективним.

За аналізом літературних джерел встановлено, що на сьогодні відсутні роботи, в яких розглядається оптимізація конструктивних та робочих параметрів ЛГН, не розроблено загальної методики його багатокритеріальної оптимізації, не встановлені критерії оптимальності, параметричні та функціональні обмеження. Отже, розробка такої методики на базі запропонованих нами безрозмірних робочих параметрів ЛГН, які використовуються в якості критеріїв оптимальності, є актуальним науково-технічним завданням.

**Мета статті.** Визначення конструктивних параметрів ЛГН, які, при відомих вихідних параметрах: частоті обертання гвинта, тиску на вході в насос, газовмісту робочої рідини, навантаженні гідравлічної системи, забезпечать раціональні значення потужності на його виході та максимальний коефіцієнт корисної дії (ККД).

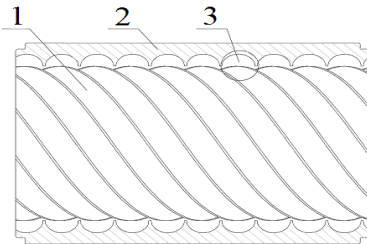


Рис. 1 – Схема робочих органів ЛГН:  
1 – гвинт; 2 – втулка; 3 – гвинтова канавка.

**Постановка задачі для багатокритеріальної оптимізації ЛГН.** Так оптимізація проводилась методом дослідження простору параметрів на базі ЛП<sub>τ</sub> послідовності [9]. Частоту обертання гвинта  $n$  обирали з розмірного ряду та вважали постійною. Основну увагу приділяли вибору конструктивних параметрів ЛГН, робочих параметрів на його вході і виході, які забезпечать раціональне значення його робочих характеристик та ККД.

Розглядали ЛГН, схема робочих органів якого наведена на рис. 1.

Теоретичною основою методики багатокритеріальної оптимізації ЛГН є розроблена нами теорія розрахунку його характеристик, наведена в статтях

[10 – 12]. Оптимізацію виконували за допомогою розробленої програми, яка здійснює складання таблиць досліджень, перевірку виконання функціональних та критеріальних обмежень, вибір оптимальної точки.

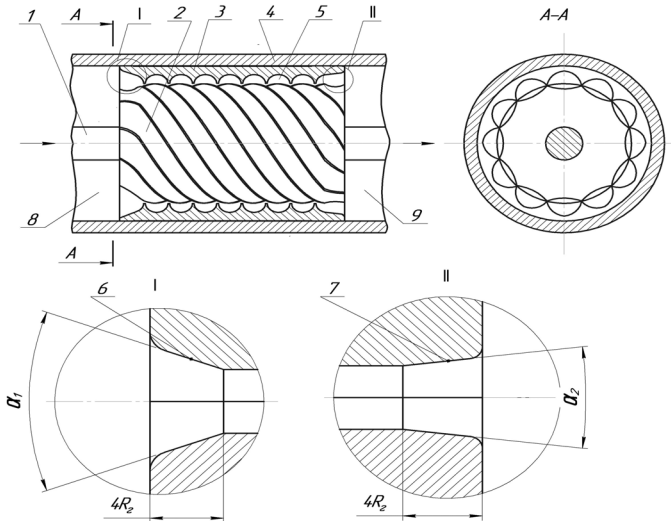


Рис. 2 – Удосконалені робочі органи ЛГН із статті [13]: 1 – привідний вал; 2 – гвинт; 3 – втулка; 4 – корпус; 5 – гвинтова канавка; 6 – гвинтова канавка на вході; 7 – гвинтова канавка на виході; 8 – камера підводу; 9 – камера відводу.

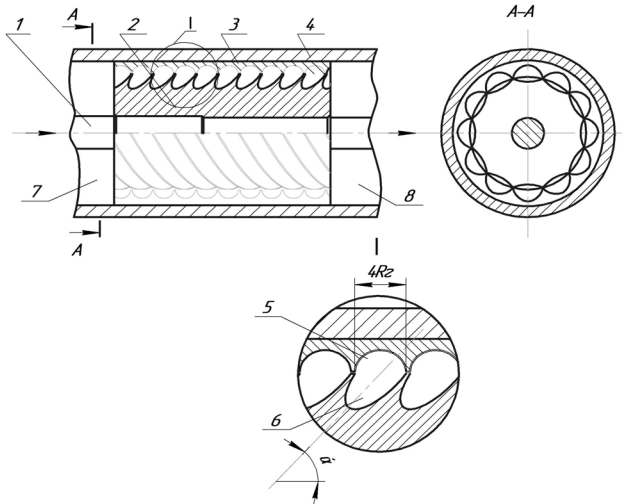


Рис. 3 – Удосконалені робочі органи ЛГН із статті [14]: 1 – привідний вал; 2 – гвинт; 3 – втулка; 4 – корпус; 5 – гвинтова канавка напівкруглої форми; 6 – гвинтова канавка довгастої форми; 7 – камера підводу; 8 – камера відводу.

При проведенні оптимізації вважали, що діаметри трубопроводів на вході і виході з насоса – стандартні та рівні між собою. Коефіцієнт нерівномірності подачі ЛГН  $\delta_{с.н.} = 0$ . Попередньо задавалися типом робочої рідини та її газовмістом. За базову модель брали насос з напівкруглими гвинтовими канавками, робочі органи яких наведені на рис. 1. Розглядали канавки напівкруглої форми, на вході і виході яких виконані фаски [13], рис. 2, а також канавки у формі еліпсу який забезпечує діодність [14], рис. 3.

Обирали варійовані параметри ЛГН:  $x_1 = R_r$  – гідравлічний радіус гвинтової канавки, м;  $x_2 = \delta$  – радіальний зазор, м;  $x_3 = s_{гв}$  – крок гвинтової канавки, м;  $x_4 = l_{гв}$  – довжина гвинта, м;  $x_5 = d_{гв}$  – зовнішній діаметр втулки, м;  $x_6 = \alpha$  – кут нарізок по відношенню до осі гвинта;  $x_7 = z$  – кількість нарізок.

Приймали наступні параметричні обмеження:

$$\begin{aligned} 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \leq x_1 \leq 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \leq x_2 \leq 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \\ 0,07 \text{ м} \leq x_3 \leq 0,072 \text{ м}; \quad 0,1 \text{ м} \leq x_4 \leq 0,145 \text{ м}; \quad 0,075 \text{ м} \leq x_5 \leq 0,08 \text{ м}; \\ 50^\circ \leq x_6 \leq 85^\circ; \quad 6 \leq x_7 \leq 12. \end{aligned} \quad (1)$$

Обмеження (1) виділяли у просторі параметрів  $D$  абстрактного  $n$ -вимірного простору паралелепіпед  $\Pi = \{x/(1)\}$ , де  $x$  – точка (вектор), яка відповідає набору параметрів  $(x_1, \dots, x_7)$ . У подальшому розглядали точки  $x$ , параметри яких задовольняють обмеженням (1).

Як функціональні обмеження приймали вирази, що визначають працездатність ЛГН та взаємозв'язки параметрів між собою. А саме:

- *функція обмеження коефіцієнта діодності:*

$$D = \xi_{пр} / \xi_{зв} \geq 1, \quad (2)$$

де  $\xi_{пр}$  – коефіцієнт місцевих витрат при течії рідини у прямому напрямі;  $\xi_{зв}$  – коефіцієнт місцевих витрат при течії рідини в зворотному напрямі.

- *функція обмеження критерію кавітації:*

$$\sigma = \frac{2(p_{вих} - p_{п})}{\rho_c v_{ср}^2} \geq \sigma_{кр}, \quad (3)$$

де  $p_{вих}$  – тиск на виході з ЛГН;  $p_{п}$  – тиск підпору на вході в ЛГН;  $\rho_c$  – густина робочої рідини;  $v_{ср}$  – середня швидкість в гвинтовій канавці ЛГН;  $\sigma_{кр}$  – критичне значення критерію кавітації, приймали  $\sigma_{кр} = 0,427$ ;

- *функція обмеження швидкості робочої рідини у гвинтовій канавці:*

$$v_{ср.вих} = \frac{q_{ср}}{4\pi R_r^2} \leq v_{ср.вихкр}, \quad (4)$$

де  $q_{ср}$  – середня витрата ЛГН;  $v_{ср.вихкр}$  – критичне значення швидкості робочої рідини у гвинтовій канавці, приймали  $v_{ср.вихкр} = 8,838$  м/с;

- *функція обмеження ККД:*

$$\eta \geq 0,2, \quad (5)$$

де  $\eta$  – ККД ЛГН.

Сформулювали три критерії якості ЛГН, значення яких бажано збільшити:

1. питомий напір

$$\tilde{H} = \frac{H}{z l_B / R_T} \rightarrow \max, \quad (6)$$

де  $H$  – напір ЛГН;

2. питома витрата

$$\tilde{q} = \frac{q_{\text{сеп}}}{z l_B / R_T} \rightarrow \max; \quad (7)$$

3. питомий ККД

$$\tilde{\eta} = \frac{\eta}{z l_B / R_T} \rightarrow \max. \quad (8)$$

Критеріальні обмеження обирали на етапі попереднього дослідження ЛГН, виходячи з фізики процесів, що відбуваються в ньому, та забезпечення максимальних значень усіх критеріїв якості і не пустоти множини допустимих точок в просторі параметрів  $D$ . Приймали, що питомий ККД  $\tilde{\eta} > 0$ . Таким чином, виключали з розгляду область неприцездатності ЛГН.

*Псевдокритерії.* Оскільки значення питомої потужності  $\tilde{P}$  залежить від витрати, напору ЛГН, та є важливим параметром, що забезпечує бажану якість його характеристик, розглядали його не як функціональне обмеження, а як псевдокритерій, який бажано мати найбільшим у вибраному варіанті.

Задавали вихідні дані:  $R_T = 2,25 \cdot 10^{-3}$  м;  $\delta = 0,7 \cdot 10^{-3}$  м;  $s_{\text{ГВ}} = 0,072$  м;  $l_{\text{ГВ}} = 0,112$  м;  $v_t = 30$  сСт;  $d_B = 0,075$  м;  $\alpha = 700$ ;  $z = 10$ ;  $n = 2900$  об/хв;  $\rho_c = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

**Етапи та результати оптимізації.** Знаходження оптимальних параметрів ЛГН проводили в три етапи відповідно до алгоритму методу дослідження простору параметрів. Розв'язували задачу знаходження оптимальних параметрів насоса при заданих функціональних та критеріальних обмеженнях. Задача розв'язувалася за допомогою розробленої програми у пакеті прикладних програм Mathcad. В результаті розв'язання оптимізаційної задачі отримали таблицю досліджень. За результатами розрахунків було взято  $N = 1024$  пробних точок. Функціональним обмеженням задовольняли  $N' = 235$  точок, що свідчить про ефективність відбору ( $\gamma = N' / N = 0,23$ ) [9]. Знаходили точки, в яких задовольняються критеріальні обмеження. Згідно з рекомендаціями [9], для отримання оптимальних параметрів ЛГН покращували значення оптимальної точки, отриманої на першому етапі. Деякі точки, які відповідають критеріям якості для ЛГН з різними формами робочих органів, наведені в табл. 1 – 3.

Таблиця 1 – Вибірка із таблиці досліджень параметрів ЛГН, що серійно випускається на ПАТ «ХЕМЗ-ІРЕС» (м. Харків)

№ точ- ки	Параметри лабіринтно-гвинтового насоса							Критерії якості			
	$R_r \cdot 10^{-3}$ м	$\delta \cdot 10^{-4}$ , м	$s_{ГВ}$ , м	$l_{ГВ}$ , м	$d_B$ , м	$\alpha$ , °	$z$	$\tilde{H}$	$\tilde{q}$	$\tilde{\eta}$	$\eta$
1	1,77	6,18	0,07	0,129	0,071	80,15	6,53	0,065	0,118	0,037	20,7
4	1,40	9,63	0,071	0,116	0,075	83,22	10,48	0,072	0,129	0,062	21,5
7	2,02	8,94	0,07	0,132	0,08	70,71	6,04	0,115	0,156	0,071	34,9
12	1,74	7,41	0,07	0,128	0,074	51,81	11,22	0,125	0,144	0,092	36,8
16	1,02	5,64	0,07	0,110	0,08	67,57	7,37	0,078	0,176	0,097	38,6

Таблиця 2 – Вибірка із таблиці досліджень параметрів удосконаленого ЛГН з фасками [13]

№ точ- ки	Параметри лабіринтно-гвинтового насоса							Критерії якості			
	$R_r \cdot 10^{-3}$ м	$\delta \cdot 10^{-4}$ , м	$s_{ГВ}$ , м	$l_{ГВ}$ , м	$d_B$ , м	$\alpha$ , °	$z$	$\tilde{H}$	$\tilde{q}$	$\tilde{\eta}$	$\eta$
1	2,47	6,51	0,072	0,140	0,070	83,29	6,13	0,097	0,154	0,068	24,3
3	2,43	5,68	0,070	0,136	0,071	76,93	10,52	0,112	0,194	0,093	27,5
6	1,15	8,05	0,071	0,105	0,074	80,08	10,03	0,114	0,190	0,101	29,1
10	2,02	8,94	0,070	0,132	0,080	70,71	6,04	0,129	0,180	0,108	31,9
14	1,02	5,64	0,070	0,11	0,080	67,57	7,37	0,08	0,210	0,115	46,1

Таблиця 3 – Вибірка із таблиці досліджень параметрів удосконаленого ЛГН з канавками, що утворюють резисторний діод [14]

№ точ- ки	Параметри лабіринтно-гвинтового насоса							Критерії якості			
	$R_r \cdot 10^{-3}$ м	$\delta \cdot 10^{-4}$ , м	$s_{ГВ}$ , м	$l_{ГВ}$ , м	$d_B$ , м	$\alpha$ , °	$z$	$\tilde{H}$	$\tilde{q}$	$\tilde{\eta}$	$\eta$
1	2,43	7,31	0,072	0,11	0,074	73,79	10,27	0,096	0,147	0,069	23,0
3	1,37	7,57	0,071	0,12	0,074	77,00	8,90	0,099	0,157	0,075	24,8
4	1,40	9,63	0,071	0,116	0,075	83,22	10,48	0,110	0,195	0,104	29,7
7	1,74	7,41	0,070	0,128	0,074	51,81	11,22	0,113	0,199	0,115	42,3
9	1,02	5,64	0,070	0,110	0,080	67,57	7,37	0,081	0,213	0,118	47,1

За аналізом зміни питомої витрати від питомого напору ЛГН, рис. 4, встановлено, що ця характеристика для ЛГН з усіма розглянутими робочими органами має явно виражену тенденцію зменшення напору при зміщенні в бік великих питомих витрат послідовно для насосів зі стандартними робочими органами, робочими органами з фаскою на вході і виході з робочої зони та робочих органів, що утворюють діод. Такий характер співпадає з уточненою нами фізичною моделлю робочого процесу насоса, наведеною у роботі [15].

Як видно з графіку залежності питомого ККД ЛГН від питомого напору, рис. 5, питомий ККД, незалежно від форми робочих органів, зі зменшенням питомого напору збільшується. При малих значеннях питомого напору зміна

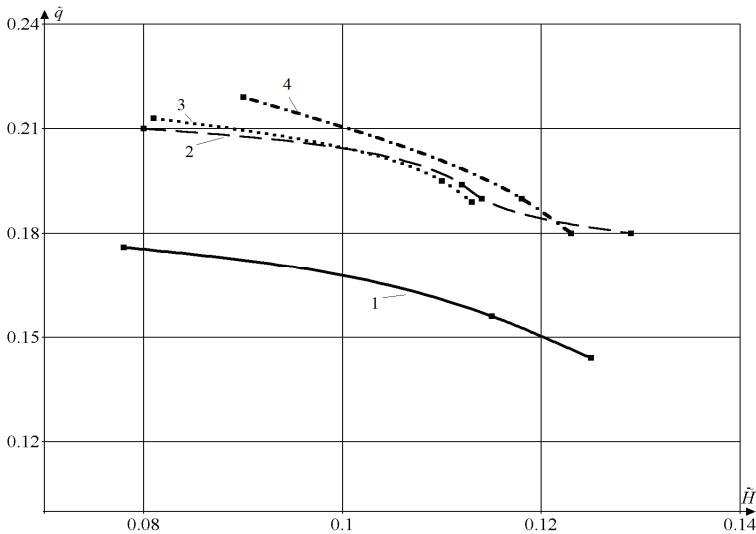


Рис. 4 – Залежність питомої витрати ЛГН від питомого напору: 1 – стандартні робочі органи ЛГН; 2 – ЛГН з фасками на вході і виході з робочої зони; 3 – ЛГН, канавки якого забезпечують діодність; 4 – ЛГН з фасками на вході і виході з робочої зони (експериментальні дані).

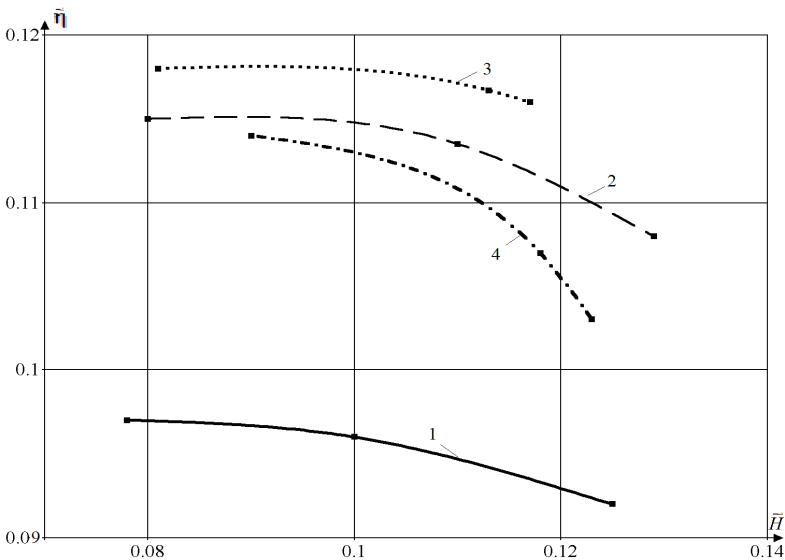


Рис. 5 – Залежність питомого ККД ЛГН від питомого напору: 1 – стандартні робочі органи ЛГН; 2 – ЛГН з фасками на вході і виході з робочої зони; 3 – ЛГН, канавки якого забезпечують діодність; 4 – ЛГН з фасками на вході і виході з робочої зони (експериментальні дані).

питомого ККД для насосів з різними робочими органами практично однакова, при цьому найбільший питомий ККД має насос, робочі органи якого утворюють діод.

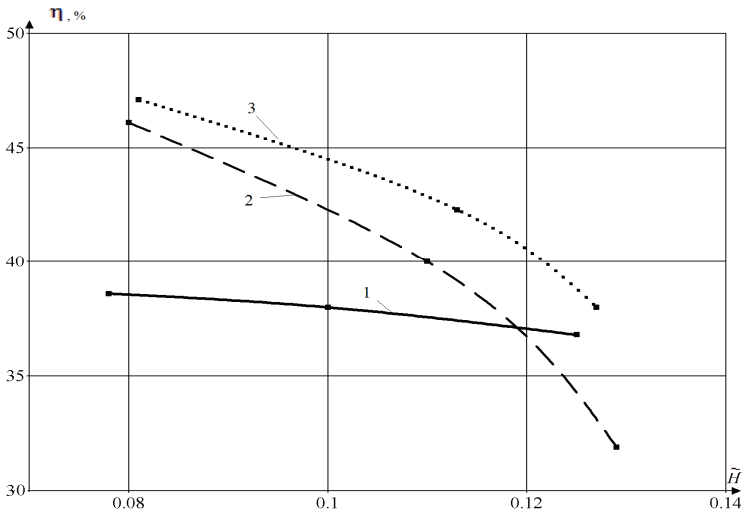


Рис. 6 – Залежність ККД ЛГН від питомого напору: 1 – стандартні робочі органи ЛГН; 2 – ЛГН з фасками на вході і виході з робочої зони; 3 – ЛГН, канавки якого забезпечують діодність.

Зміна реальних значень ККД відносно питомого напору для невеликих його значень має однаковий з питомими ККД характер. Далі, зі збільшенням питомого напору, відбувається покращення характеристик ЛГН зі стандартними робочими органами порівняно з удосконаленими конструкціями насосів. При цьому, найбільше значення ККД (близько 48%) має насос з робочими органами, що утворюють діод.

Порівняння значень робочих характеристик, отриманих для ЛГН з фасками в результаті багатокритеріальної оптимізації, зі значеннями отриманими за експериментальними дослідженнями, показало їх гарний збіг, рис. 4, 5. Слід зазначити, що характер зміни робочих характеристик, побудованих за результатами розв'язання оптимізаційної задачі, та характеристик, отриманих експериментальним шляхом, однаковий, а різниця між ними не перевищує 15 %.

Проведений кореляційний аналіз між критеріями оптимальності для призначеного діапазону зміни параметрів дозволив встановити відсутність лінійного зв'язку між парами критеріїв та парами – критерій і параметр (добуток параметрів). Тобто, обрані критерії оптимізації є незалежними, і їх використання для оптимізації ЛГН є цілком правомірним.

**Висновки.** В результаті розв'язання оптимізаційної задачі вперше отримані значення оптимальних параметрів ЛГН, які дозволяють ще на попередньому етапі проектування проводити раціональний вибір конструкції їх ро-



бочих органів та параметрів, завдяки чому зменшується час на проектування, підвищуються показники технічного рівня. Уперше за результатами розв'язання оптимізаційної задачі побудовані графічні залежності зміни питомих параметрів ЛПН, аналіз яких дозволив обґрунтувати області ефективного використання ЛПН з різними робочими органами. Встановлено, що ЛПН з удосконаленими нами робочими органами мають кращі робочі характеристики та ККД у порівнянні зі стандартними.

**Список літератури:** 1. Попов Д.Н. Оценка эффективности и оптимальное проектирование гидрориводов // Вестник машиностроения, 1986. – № 9. – С. 20 – 23. 2. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов: Учебник. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с. 3. Хохлов В.А. Электрогидравлический следящий привод. – М.: Наука, 1964. – 231 с. 4. Андренко П.М., Дмитрієнко О.В. Математичні моделі і розрахункові дослідження гідравлічних гасителів і підсилювачів пульсацій тиску // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків: – 2004. – № 5 (11). – С. 88 – 93. 5. Методичні вказівки до практичних занять на тему «Складання структурно-функціональних схем та графів причинно-наслідкових зв'язків гідроагрегатів» та «Оптимізація режимів технічного обслуговування і діагностування гідроприводів машин» з курсу «Діагностика і контроль гідропневмоприводів» / П.М. Андренко, О.В. Дмитрієнко, О.Б. Панарьова, М.С. Свиначенко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – 36 с. 6. Андренко П.М., Дмитрієнко О.В., Гречка І.П. Багатокритеріальна оптимізація параметрів гідроагрегату верстату для намотування обмоток електродвигунів / Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – № 4. – С. 53 – 60. 7. Андренко П.М. Багатокритеріальна оптимізація параметрів гідроапаратів з осциляцією / Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ, 2008. – № 4 (22). С. 93 – 97. 8. Андренко П.М., Дмитрієнко О.В., Свиначенко М.С. Методика розрахунку та проектування гідравлічного гасителя пульсацій тиску у складі гідроагрегата / Вестник НТУ «ХПІ». – 2010. – №54. С. 4 – 9. 9. Соболев І.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями – М.: Наука, 1981. – 107 с. 10. Лебедев А.Ю., Андренко П.М. Визначення нерівномірності подачі лабіринтно-гвинтового насоса // Промислова гідравліка і пневматика. Вінниця: ВДАУ. – 2012. – № 3 (37). – С. 33 – 37. 11. Лебедев А.Ю. Визначення коефіцієнта втрат на тертя для розрахунку характеристики лабіринтно-гвинтового насоса // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь : ТДАУ, 2012. – Вип. 12. – Т. 3. – С. 215 – 219. 12. Лебедев А.Ю. Визначення критерія кавітації лабіринтно-гвинтового насоса // Вісник НТУ «ХПІ». Сер.: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2013. – №5 (979). – С. 124 – 129. 13. Патент на корисну модель 68863 Україна, МПК F04D 3/00. Лабіринтно-гвинтовий насос / Андренко П.М., Стеценко Ю.М., Білогінь І.І., Лебедев А.Ю., Макогон В.А.; заявник і патентовласник Андренко П.М., Стеценко Ю.М., Білогінь І.І., Лебедев А.Ю., Макогон В.А. – № у 2011 12505; заявл. 25.10.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. №7. 14. Патент на корисну модель 73119 Україна, МПК F04D 3/00. Лабіринтно-гвинтовий насос / Андренко П.М., Стеценко Ю.М., Білогінь І.І., Лебедев А.Ю., Макогон В.А.; заявник і патентовласник Андренко П.М., Стеценко Ю.М., Білогінь І.І., Лебедев А.Ю., Макогон В.А. – № у 2012 02788; заявл. 12.03.2012; опубл. 10.09.2012, Бюл. №17. 15. Білогінь І.І. Вплив газовмісту рідини на характеристики лабіринтно-гвинтового насосу / І.І. Білогінь, Ю.М. Стеценко, В.А. Макогон, та ін. // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – № 2/8 (50). – С. – 32 – 35.

**Bibliography (transliterated):** 1. Popov, D. N. "Ocenka jeffektivnosti i optimal'noe proektirovanie gidroprivodov." *Vestnik mashinostroeniya*. No. 9. 1986. 20–23. Print. 2. Navrockij, K. L. *Teorija i proektirovanie gidro- i pnevmoprivodov*: Uchebnik. Moscow: Mashinostroenie, 1991. Print. 3. Hohlov, V. A. *Elektrogidravlicheskiy sledjashhij privod*. Moscow: Nauka, 1964. Print. 4. Andrenko, P. M., and O. V. Dmitrienko. "Matematychni modeli i rozrahunkovi doslidzhennja gidravlichnyh gasyteliv i pidsyljuvachiv pul'sacij tysku." *Shidno-Jevropejs'kyj zhurnal peredovyh tehnologij*. No. 5 (11). Kharkiv. 2004. 88–93. Print. 5. Andrenko, P.M., et al. *Metodychni vkazivky do praktychnyh zanjat' na temu "Skladannja strukturno-funkcional'nyh shem ta grafiv prychnyno-naslidkovykh zv'jazkyv gidroagregativ" ta "Optymizacija rezhimiv tehničnogo obslugojuvannja i diagnostuvannja gidroprivodiv mashyn" z kursu "Diagnostyka i kontrol' gidropnevmopryvodiv."* Kharkiv: NTU «KhPI», 2008. Print. 6. Andrenko,

P. M., O. V. Dmytrijenko and I. P. Grechka. "Bagatokryterial'na optimizacija parametriv gidroagregatu verstatu dlja namotuvannja obmotok elektrovyguniv." *Visnyk NTU «KhPI»*. No. 4. Kharkiv: NTU «KhPI». 2010. 53–60. Print. 7. Andrenko, P. M. "Bagatokryterial'na optimizacija parametriv gidroaparativ z oscyljacieju." *Promyslova gidravlika i pnevmatyka*. No. 4 (22). Vinnitsa: VDAU, 2008. 93–97. Print. 8. Andrenko, P. M., O.V. Dmytrijenko and M. S. Svyarenko. "Metodyka rozrahunku ta proektuvannja gidravlichnogo gasytelja pul'sacij tysku u skladi gidroagregata." *Vestnik NTU «KhPI»*. No. 54. 2010. 4–9. Print. 9. Sobol', I. M., and R. V. Statnikov. *Vybor optima'lnyh parametrov v zadachah so mnogimi kriterijami*. Moscow: Nauka, 1981. Print. 10. Lebedev, A. Y., and P. M. Andrenko. "Vyznachennja nerivnomirnosti podachi labirintno-gvyntovogo nasosa." *Promyslova gidravlika i pnevmatyka*. No. 3 (37). Vinnitsa: VDAU. 2012. 33–37. Print. 11. Lebedev, A. Y. "Vyznachennja koeflicijenta vtrat na tertja dlja rozrahunku harakterystyky labirintno-gvyntovogo nasosa." *Praci Tavrijs'kogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universytetu*. No. 12. Vol. 3. Melitopol': TDAU, 2012. 215–219. Print. 12. Lebedev, A. Y. "Vyznachennja kryterija kavitaciji' labirintno-gvyntovogo nasosa." *Visnyk NTU «KhPI»*. Ser.: *Matematyчне modeljuvannja v tehnici ta tehnologijah*. No. 5 (979). 2013. 124–129. Print. 13. Andrenko, P.M., et al. Ukrai'na, assignee. Patent na korysnu model 68863 UA, MPK F04D 3/00. Labiryntno-gvyntovyy nasos. № u 2011 12505; zayavl. 25.10.2011; opubl. 10.04.2012, Byul. №7. 14. Andrenko, P.M., et al. Ukrai'na, assignee. Patent na korisnu model 73119 UA, MPK F04D 3/00. Labiryntno-gvyntovyy nasos. № u 2012 02788; zayavl. 12.03.2012; opubl. 10.09.2012, Byul. №17. 15. Bilokin', I. I., et al. "Vplyv gazovmistu ridyny na harakterystyky labiryntno-gvyntovogo nasosa." *Shidno-Jevropeys'kyj zhurnalпередovyh tehnologij*. No. 2/8 (50). 2011. 32–35. Print.

Надійшло (received) 03.12.2014

УДК 661.152.3

**О.Р. БЕЛЯНСКА**, здобувач, ДДТУ, Дніпродзержинськ;  
**М.Д. ВОЛОШИН**, д-р техн. наук, проф., ДДТУ, Дніпродзержинськ;  
**В.В. КАРМАЗІНА**, канд. фіз.-мат. наук, проф., ДДТУ,  
Дніпродзержинськ

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПОПЕРЕДНЬОГО ДИСПЕРГУВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ДОБРИВА

Наведено математичний опис процесу попереднього диспергування і відстоювання складового компонента комплексного добрива – активного мулу. Математичний опис дозволяє спрогнозувати, наскільки зменшиться залишковий об'єм активного мулу, та враховує температуру розчину, початкову вологість мулу, тривалість диспергування та частоту обертання ротору диспергатора. Розраховані параметри роторного диспергатора, що дозволять підібрати диспергатор для застосування у промислових умовах. Достовірність отриманих статистичних залежностей та параметрів оцінена за величиною відносної похибки розрахунків. Встановлено, що в результаті диспергування активного мулу руйнується його гідратна оболонка, колоїдна зв'язана вода вивільнюється, процес відстоювання інтенсифікується. Визначено, що при підтримці критерію Рейнольдса  $4,49 \cdot 10^4$ , частоті коливання рідини  $533 \text{ c}^{-1}$ , тривалості диспергування 4...6 хвилин об'єм активного мулу зменшується з 1000 до  $320 \text{ мл/дм}^3$ . Запропоновано принципову технологічну схему одержання комплексного добрива на основі техногенних відходів, перевагою якої є підвищення корисного об'єму біореактору за рахунок підвищення концентрації відстоюаного диспергованого активного мулу.

**Ключові слова:** диспергування, активний мул, техногенні відходи, комплексне добриво.

© О. Р. Белянська, М. Д. Волошин, В. В. Кармазіна, 2015