

Л. М. Салтанова, аспірант, С. О. Лугова, к.т.н. науковий співробітник, І. В. Криштоп, аспірант (Сумський державний університет, Україна)

Планування багатofакторного віртуального експерименту для дослідження вихрового ступеня

Робота присвячена плануванню віртуального експерименту для дослідження вихрового ступеня, який входить до складу комбінованого самовсмоктувального відцентрово-вихрового насоса.

Ключові слова: вихровий ступінь, відцентрово-вихровий насос, віртуальний експеримент, планування експерименту.

Робота посвящена планированию виртуального эксперимента для исследования вихревой ступени, которая входит в состав комбинированного самовсасывающего центробежно-вихревого насоса.

Ключевые слова: вихревая ступень, центробежно-вихревой насос, виртуальный эксперимент, планирование эксперимента.

The paper is devoted to planning virtual experiment to study the vortex stage, which is part of the combined self-priming centrifugal vortex pump.

Keywords: vortex stage, centrifugal vortex pump, a virtual experiment, experiment planning.

Постановка проблеми. Створення нового і вдосконалення існуючого насосного обладнання вимагає проведення великої кількості експериментальних досліджень. Оптимізувати їх кількість та забезпечити необхідну достовірність отриманих результатів дозволяють математичні методи планування експерименту [1-3].

Планування експерименту може проводитись як для одно факторного, так і для багатofакторного експерименту [2-4]. Основним недоліком однофакторного планування являється те, що варіювання відбувається тільки одного параметру, а всі інші залишаються незмінними, що в подальшому може призвести до прийняття хибних рекомендацій та рішень.

Застосування багатofакторного планування дає змогу одночасно варіювати декількома параметрами, що дозволяє всебічно проаналізувати експеримент, дослідити кількісний та якісний вплив кожного з факторів на параметр оптимізації.

Аналіз останніх досліджень. За результатами проведеного аналізу літературних джерел було визначено ряд геометричних параметрів вихрового ступеня, що впливають на його характеристики [5]. Крім того, на цей час не існує аналітичних методів визначення характеристик вихрових ступенів для конкретних геометричних параметрів, а також їх вплив на напірну та енергетичну характеристики [6]. Аналіз сучасних методів дослідження показав, що найбільш ефективним і мало затратним методом дослідження течії, визначення інтегральних характеристик являється віртуальний експеримент, який ґрунтується на чисельному рішенні системи рівнянь, що описують фундаментальні закони гідродинаміки: рівнянь руху в'язкої рідини та рівнянь нерозривності, що забезпечує обґрунтованість застосування цього методу при дослідженні течії в проточній частині лопатевих гідромашин.

Всебічне дослідження впливу різних комбінацій вихрових ступенів для проведення фізичного експерименту потребує великої кількості матеріальних затрат і часу. Тому для дослідження вихрового ступеня комбінованого самовсмоктувального відцентрово-вихрового насоса було прийнято рішення провести планування віртуального експерименту.

Формулювання цілей. Основним завданням являється розгляд можливостей застосування планування віртуального експерименту для знаходження оптимального співвідношення геометричних розмірів вихрового ступеня.

Основна частина. Параметрами оптимізації виступають ККД та напір вихрового ступеня, бо вихрові ступені мають низьке значення ККД, а від його напору залежить висота самовсмоктування відцентрово-вихрового насоса [5]. Попередні дослідження дозволили виявити основні фактори, що впливають на параметри оптимізації ступеня:

$$H, \eta = f(D_2, b, z), \quad (1)$$

де H – напір ступеня, м; η – ККД ступеня, %; D_2 – зовнішній діаметр вихрового робочого колеса, мм; b – ширина вихрового робочого колеса, мм; z – кількість лопатей.

На рис. 1 показано конструкцію вихрового ступеня, який входить до складу самовсмоктувального насоса.

В якості плану експерименту обраний повний факторний експеримент 2^3 , який дозволяє оцінити вплив кожного з факторів на параметри оптимізації.

З метою уникнення протиріч при виборі діапазону варіювання факторів впливу та їхньої сукупності у встановлених границях діапазону, при плануванні експерименту проведено пошукові експерименти для визначення області, в межах якої були б реалізовані сполучення рівнів факторів. Оскільки фактори впливу

є величинами, що мають різну розмірність, а значення цих величин мають різні порядки, для отримання поверхні відгуку цих функцій проведено операцію кодування факторів у вигляді лінійного перетворення факторного простору [7]. Встановлено такі значення рівнів факторів в умовному масштабі: нижній -1, основний 0, верхній +1, загальна кількість дослідів n дорівнює 8.

Істинні значення факторів встановлено на основі проведення пошукових експериментів і наведено в табл. 1.

Факторний експеримент здійснювався за допомогою матриці планування (табл. 2). Параметри оптимізації визначалися в кожному досліді виходячи з отриманої характеристики ступеня.

При досить обмежених знаннях про механізм процесу аналітичний вираз функції відгуку невідомий. Тому функцію відгуку представляють у вигляді полінома [8].

В нашому випадку математична модель приймає вигляд полінома першого ступеня:

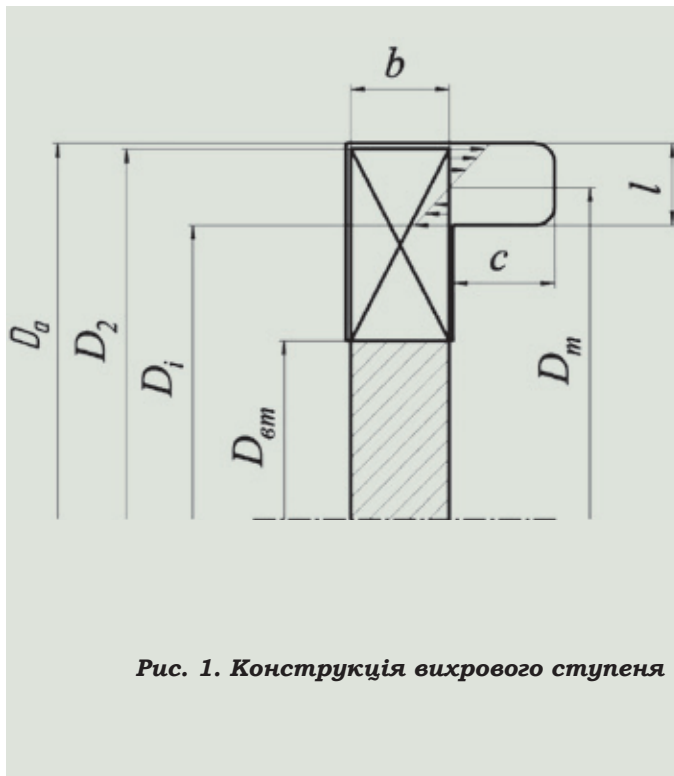


Рис. 1. Конструкція вихрового ступеня

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{1,2}x_1x_2 + b_{1,3}x_1x_3 + b_{2,3}x_2x_3, \quad (2)$$

де y – цільова функція (ККД, напір); $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{1,2}, b_{1,3}, b_{2,3}$ – коефіцієнти регресії.

Для визначення значень коефіцієнтів регресії використано метод найменших квадратів [7].

Адекватність регресійних моделей перевіряємо за критерієм Фішера F [7]:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{від}^2} \leq F(f_1, f_2), \quad (3)$$

де $S_{ад}^2$ – дисперсія адекватності; $S_{від}^2$ – дисперсія відтворюваності; $[F(f_1, f_2)]$ – критичне значення критерію Фішера.

Значимість коефіцієнтів регресії проводилася за t_i – критерієм Ст'юдента [6]. Розрахункове значення критерію t_i порівнювалося з критичним і при $|t_i| \leq [t]$ i -й коефіцієнт регресії вважався незначимим. Отже, ще одною умовою коректності та достовірності регресійних моделей була умова про те, що у випадку отримання при всіх значимих коефіцієнтах розрахункових значень $|t_i| \leq [t]$, рівняння регресії вважались некоректними.

$$t_i = \frac{|b_i|}{S_{від} \sqrt{c_{i,j}}} > [t(f_2)], \quad (4)$$

де $[t(f_2)]$ – критичне значення t -критерію Ст'юдента; $c_{i,j}$ – відповідний елемент матриці.

При проведенні розрахунків було встановлено, що коефіцієнти $b_{1,2}, b_{1,3}, b_{2,3}$ статистично не значимі, тому в подальшому розрахунку участі не приймають.

Рівняння регресії для функції відгуку ККД згідно проведеного багатофакторного експерименту, для кодovаних значень має вигляд:

$$y = 0,59 + 0,13x_1 - 0,1x_2 - 0,14x_3 \quad (5)$$

Для напору:

$$y = 12,99 + 3,55x_1 - 2,60x_2 - 3,0x_3 \quad (6)$$

За допомогою критерію Ст'юдента виявилися значимими всі виділені фактори.

Для дійсних значень факторів рівняння регресії (5) та (6) приймають вигляд:

$$\eta = 0,59 + 0,13D_2 - 0,1b - 0,14z \quad (7)$$

$$H = 12,99 + 3,55D_2 - 2,60b - 3,0z \quad (8)$$

Таблиця 1. Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактори	Позначення	Інтервали варіювання	Рівні факторів		
			Основний	Верхній +1	Нижній -1
Зовнішній діаметр D_2 , мм	x_1	4	120	124	116
Ширина лопаті b , мм	x_2	4	12	16	8
Кількість лопатей z	x_3	4	16	20	12

Таблиця 2. Матриця планування

Номер досліду	X_0	X_1	X_2	X_3
1	+	+	+	+
2	+	-	+	+
3	+	+	-	+
4	+	-	-	+
5	+	+	+	-
6	+	-	+	-
7	+	+	-	-
8	+	-	-	-

Аналіз отриманих рівнянь показує, що найбільший вплив на ККД ступеня має зменшення кількості лопатей вихрового, а на напір збільшення зовнішнього діаметра робочого колеса.

При цьому перевірка експеримента на статистичну значимість отриманих результатів отримала наступні результати: $S_{\text{відмет}}^2=0,00086$, $S_{\text{відмет}}^2=0,012$; $S_{\text{адп}}^2=0,0017$, $S_{\text{адп}}^2=0,023$; $F_{\text{пл}}=1,98 < F=6,9$, $F_{\text{рН}}=1,92 < F=6,9$. Таким чином, можна зробити висновок, що відповідні регресійні моделі є адекватними.

Проведені дослідження дозволили виявити ступінь впливу кожного з геометричних параметрів робочого колеса на параметри оптимізації, а отримані рівняння регресії (7) та (8) дозволяють провести оптимізацію вихрового ступеня, що входить до складу самовсмоктувального насоса з максимальним значенням функцій відгуку «ККД», «напір».

Планування віртуального експерименту дозволило обрати оптимальну геометрію вихрового ступеня для проведення фізичного дослідження. При цьому вихровий ступінь досліджується в складі комбінованого відцентрово-вихрового насоса (рис. 2), створеного на базі відцентрового насоса К 50/32. Особливістю цієї конструкції є розташування вихрового робочого колеса між обіймою та кришкою ущільнення. Вихровий ступінь, в цьому випадку, забезпечує самовсмоктувальну здатність, а також перекачування легколетучих рідин. Обойма має отвори поблизу втулки робочого колеса. Через ці отвори газорідинна суміш потрапляє до вихрового ступеня, а в кришці ущільнення розміщено напірне вікно, через яке газ, газорідинна суміш, або рідина потрапляє в напірний патрубок.

На цей час проводиться розробка експериментального стенду, який дозволить визначити напірні й енергетичні характеристики дослідного насоса, а також його самовсмоктувальну здатність.

Висновки. Завдяки застосуванню метода планування багатофакторного експерименту було отримано рівняння регресії, які дозволяють адекватно описати залежність ККД та напору вихрового ступеня від його геометричних розмірів.

Встановлено, що найбільший вплив на ККД має кількість лопатей вихрового робочого колеса, що підтверджується проведеними раніше дослідженнями, а на напір найбільше впливає зовнішній діаметр робочого колеса.

На базі відцентрового насоса К 50/32 розроблено комбінований самовсмоктувальний відцентрово-вихровий насос, який дозволить дослідити вихровий ступінь.

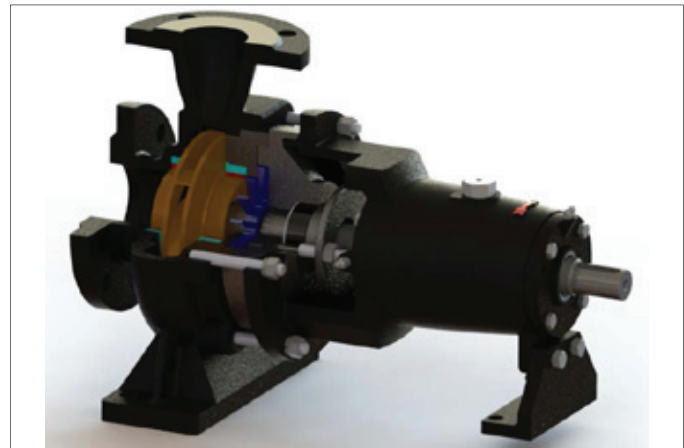


Рис. 2. Експериментальний комбінований самовсмоктувальний відцентрово-вихровий насос

Список літератури:

1. Лавров В. В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов) / В. В. Лавров, Н. А. Спиринов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. – 257 с.
2. Налимов В. Н. Логические основания планирования эксперимента / В. Н. Налимов, Т. И. Голикова – М.: Металлургия, 1981. – 152с.
3. Славутский Л. А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента / Л. А. Славутский. – Чебоксары: Изд-во ЧГУ, 2006. – 200 с.
4. Березюк О. В. Планування багатofакторного експерименту для дослідження вібраційного гідроприводу ущільнення твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 3 (55). – С. 92-97.
5. Байбаков О. В. Вихревые гидравлические машины [Текст] / О. В. Байбаков. – М.: Машиностроение, 1981. – 197 с.
6. Николаенко Л. М. Дослідження робочого процесу вихрового ступеня за допомогою обчислювального експерименту / Вісник НТУ «ХП»-2013 №5. С. 184-193.
7. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
8. Спирионов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спирионов – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.