

Методика розрахунку загальної похибки при визначенні основних технічних характеристик шестеренного насоса з асиметричною лінією зачеплення

В статті запропонована методика розрахунку похибки результатів експериментальних досліджень на прикладі експериментального визначення основних технічних характеристик шестеренного насоса.

шестеренний насос, похибка, об'єм робочої камери, подача, коефіцієнт подачі

Значення експерименту в наукових дослідженнях важко переоцінити. З експерименту починається будь-яке сучасне дослідження, експериментом воно і завершується, виступаючи в останньому випадку критерієм істинності теоретичних досліджень.

Невід'ємною складовою частиною будь-якого експериментального дослідження є вимірювання. Від правильності вимірів і наступної їхньої статистичної обробки багато в чому залежать результати експерименту. Тому кожен дослідник повинен приділяти значну увагу закономірностям вимірювальних процесів: уміти правильно вимірювати досліджувані величини; оцінити похибку при вимірах, правильно, з необхідною точністю обчислити значення вимірюваних величин, визначити мінімально необхідну кількість дослідів (вимірів), визначити найкращі умови вимірів, при яких похибки експерименту будуть найменшими, уміти зробити загальний аналіз результатів вимірів.

Об'єктом дослідження є оцінка похибки вимірів експериментального дослідження.

Методика і обладнання. При проведенні вимірів дослідник, безумовно, повинен спиратися на рекомендації державних стандартів і, зокрема на ГОСТ 8.010-90 [1], МИ 1317-86 [2], та інші.

Найчастіше при проведенні експериментальних досліджень знаходження досліджуваних величин роблять не безпосередньо, а шляхом непрямих вимірів.

Як відомо похибка непрямого виміру знаходиться через похибки прямих вимірів за правилом диференціювання. Часто цієї оцінки виявляється досить [3].

Для оцінки абсолютної похибки виміру існує наступна формула [3]:

$$\Delta a = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \Delta y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \Delta z^2}, \quad (1)$$

де $\partial f / \partial y$ і $\partial f / \partial z$ - частинні похідні по y і z , взяті при значеннях $y = \bar{y}$ і $z = \bar{z}$.

Часто зручно виражати точність, з якою знайдено змінну a , через відносну похибку ϵ , яку визначають за формулою (1). Відносна похибка, безумовно, є безрозмірною величиною.

Найпростіші випадки розрахунку граничних похибок результату непрямих вимірів величини наведені нижче.

1. Похибка суми двох чисел. Нехай $y = a + b$, а граничні абсолютні похибки прямого виміру величин a і b відповідно дорівнюють Δa і Δb (це може бути похибка

вимірювальної апаратури, або результат розрахунку). Тоді абсолютна похибка виміру складе [3]:

$$\Delta y = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2}, \quad (2)$$

а гранична відносна похибка:

$$e_y = \frac{\sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2}}{\bar{a} + \bar{b}}. \quad (3)$$

2. Похибка різниці двох чисел. Нехай $y = a - b$, а граничні абсолютні похибки прямого виміру величин a і b відповідно рівні Δa і Δb . Тоді абсолютна похибка виміру складе [3]:

$$\Delta y = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2}, \quad (4)$$

а гранична відносна похибка:

$$e_y = \frac{\sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2}}{\bar{a} - \bar{b}}. \quad (5)$$

Ми бачимо, що при одній і тій же величині абсолютної похибки Δy , тобто при одних і тих же величинах Δa і Δb відносна похибка різниці може бути значно більше відносною похибки суми при близьких значеннях \bar{a} і \bar{b} .

3. Похибка добутку двох чисел. Нехай $y = a \cdot b$, а граничні абсолютні похибки прямого виміру величин a і b відповідно дорівнюють Δa і Δb . Тоді абсолютна похибка виміру складе [3]:

$$\Delta y = \sqrt{\bar{b}^2 \cdot \Delta a^2 + \bar{a}^2 \cdot \Delta b^2}, \quad (6)$$

а гранична відносна похибка:

$$e_y = \sqrt{e_a^2 + e_b^2}. \quad (7)$$

4. Похибка частки від ділення двох чисел. Нехай $y = \frac{a}{b}$, а граничні абсолютні похибки прямого виміру величин a і b відповідно дорівнюють Δa і Δb . Тоді абсолютна похибка виміру складе [3]:

$$\Delta y = \sqrt{\frac{1}{\bar{b}^2} \cdot \Delta a^2 + \frac{\bar{a}^2}{\bar{b}^4} \cdot \Delta b^2}, \quad (8)$$

а гранична відносна похибка: $e_y = \sqrt{e_a^2 + e_b^2}$. (9)

Оцінка похибки виміру при знаходженні коефіцієнту подачі і механічного ККД насосів проводилася з урахуванням особливостей конструкції дослідницького обладнання.

Визначимо відносну похибку при вимірюванні об'єму робочої камери шестеренного насоса.

Об'єм робочої камери шестеренного насоса визначали за формулою:

$$q = \frac{V_{\text{мб}}}{n_z}, \quad (10)$$

де $V_{\text{мб}}$ - об'єм мірного бака, $V_{\text{мб}} = 39,96 \text{ дм}^3$;

n_z - кількість циклів для заповнення насосом мірного бака.

Відносну похибку вимірювання робочого об'єму шестеренного насоса знайдемо за формулою [3]:

$$e_q = \sqrt{e_{V_{\text{мб}}}^2 + e_{n_z}^2} = \sqrt{\frac{\Delta V_{\text{мб}}^2}{V_{\text{мб}}^2} + \frac{\Delta n_z^2}{n_z^2}}, \quad (11)$$

де Δn_z - абсолютна похибка вимірювання числа циклів і становить $\Delta n_z = 1,0$;
 $n_z = 88375,0$ - кількість обертів необхідних для заповнювання об'єму мірного бака.
Тоді відносна похибка вимірювання числа циклів:

$$e_{n_z} = \frac{\Delta n_z}{n_z} = \frac{1}{88375,0} = 1,1315 \cdot 10^{-5},$$

де $\Delta V_{\text{мб}}$ - абсолютна похибка вимірювання об'єму мірного бака.

Відносну похибку вимірювання об'єму мірного бака можна визначити знаючи абсолютну похибку кінцевих вимикачів - $\Delta h = 0,2 \text{ мм}$ та глибину робочої рідини в мірному баці $h = 248 \text{ мм}$, тоді

$$e_{V_{\text{мб}}} = \frac{2 \cdot \Delta h}{h} = \frac{2 \cdot 0,2}{248} = 0,0016.$$

Тоді відносна похибка вимірювання робочого об'єму шестеренного насоса становить

$$e_q = \sqrt{0,0016^2 + (1,1315 \cdot 10^{-5})^2} \approx 0,0016.$$

Формула для визначення коефіцієнту подачі:

$$\eta_v = \frac{V_{\text{мб}}}{n \cdot q}. \quad (12)$$

Тоді відносна похибка при вимірюванні коефіцієнту подачі розраховували за формулою:

$$e_{\eta_v} = \sqrt{e_{V_{\text{мб}}}^2 + e_n^2 + e_q^2} = \sqrt{\frac{\Delta V_{\text{мб}}^2}{V_{\text{мб}}^2} + \frac{\Delta n^2}{n^2} + \frac{\Delta q^2}{q^2}}. \quad (13)$$

Відносну похибку вимірювання частоти обертання можна визначити наступним чином. Прилад для визначення числа циклів фіксує 1/60 оберту, тобто $\Delta n = 1/60 = 0,017$, мінімальна частота, при якій проводили вимірювання становила 8,33 (500 об/с), тоді відносна похибка вимірювання частоти обертання:

$$e_n = \frac{\Delta n}{n} = \frac{0,017}{8,333} = 0,0020.$$

Тоді відносна похибка при вимірюванні коефіцієнта подачі складе:

$$e_{\eta_v} = \sqrt{e_{V_{\text{мб}}}^2 + e_n^2 + e_q^2} = \sqrt{0,0016^2 + 0,0020^2 + 0,0016^2} = 0,0030 = 0,30\%. \quad (14)$$

Формула для визначення об'ємної подачі шестеренного насоса:

$$Q = \frac{n \cdot q \cdot \eta_v}{1000}. \quad (15)$$

Тоді відносна похибка при вимірюванні об'ємної подачі шестеренного насоса:

$$e_Q = \sqrt{e_{V_{\text{мб}}}^2 + e_{\eta_v}^2 + e_q^2} = \sqrt{0,0016^2 + 0,0020^2 + 0,0030^2} = 0,0039 = 0,39\%.$$

Формула для визначення загального ККД шестеренного насоса:

$$\eta_{\text{заг}} = \frac{P_Q}{2\pi n M_\delta}. \quad (16)$$

Тоді відносна похибка при вимірюванні загального ККД шестеренного насоса:

$$e_{\eta_{\text{заг}}} = \sqrt{e_P^2 + e_Q^2 + e_n^2 + e_{M_\delta}^2}. \quad (17)$$

Відомо, що клас точності манометра для вимірювання тиску, який розвиває шестеренний насос становить 0,5, тобто абсолютна похибка манометра становить:

$$\Delta P = 25,0 \text{ МПа} \cdot 0,005 = 0,125 \text{ МПа}.$$

Тоді відносна похибка при вимірюванні тиску складе:

$$e_p = \frac{\Delta P}{P} = \frac{0,125}{14,0} = 0,0089 = 0,89\% . \quad (18)$$

Ваговий пристрій для вимірювання крутного моменту має:

- поділку вагового пристрою 1 Н, тобто абсолютна похибка вимірювання становить 0,5 Н;

- довжина важеля 1000 мм, тобто абсолютна похибка вимірювання довжини важеля складає 0,5 мм.

Тоді відносна похибка вимірювання сили від крутного моменту на ваговому пристрою становить:

$$e_F = \frac{\Delta F}{F} = \frac{0,5}{1000} = 0,5 \cdot 10^{-3} . \quad (19)$$

Відносна похибка вимірювання довжини важеля становить:

$$e_L = \frac{\Delta L}{L} = \frac{0,5}{1000} = 0,5 \cdot 10^{-3} .$$

Відносна похибка при визначенні крутного моменту буде становити:

$$e_{M_\theta} = \sqrt{e_L^2 + e_F^2} = \sqrt{0,0005^2 + 0,0005^2} = 0,0007 = 0,07\% . \quad (20)$$

Тоді відносна похибка при визначенні загального ККД буде становити:

$$e_{\eta_{заг}} = \sqrt{0,0089^2 + 0,0039^2 + 0,0020^2 + 0,0007^2} = 0,0099 = 0,99\% . \quad (21)$$

Формула для визначення механічного ККД шестеренного насоса:

$$\eta_{мех} = \frac{\eta_{заг}}{\eta_v} . \quad (22)$$

Тоді відносну похибку вимірювання механічного ККД знаходили по залежності:

$$e_{\eta_{мех}} = \sqrt{e_{\eta_v}^2 + e_{\eta_{заг}}^2} . \quad (23)$$

Підставляючи в наведену формулу (23) значення виразів (21) та (14) отримаємо відносну похибку для вимірювання механічного ККД:

$$e_{\eta_{мех}} = \sqrt{e_{\eta_v}^2 + e_{\eta_{заг}}^2} = \sqrt{0,0039^2 + 0,0099^2} = 0,0106 = 1,06\% .$$

Висновок. Запропонована методика дозволяє розрахувати похибки при експериментальному визначенні основних технічних характеристик шестеренного насоса, що дає змогу стверджувати про певну визначену достовірність експериментальних досліджень.

Список літератури

1. ГОСТ 8.010-90. Методики выполнения измерений. М.: Издательство стандартов – 1991. – 16 с.
2. МИ 1317-86. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. М.: Издательство стандартов – 1986. – 29 с.
3. Обработка результатов наблюдений. О.Н. Касандрова, В.В. Лебедев., М.: Наука., Гл. ред. Физ. – мат. Литературы. – 1970. 104 с.
4. Каленков С.Г., Соломахо Г.И. Практикум по физике. Механика: Учебн. пособие для студентов вузов. Под ред. А.Д. Гладуна. – М.: Высшая школа, 1990. – 111 с.

В статье предложена методика расчета погрешности результатов экспериментальных исследований на примере экспериментального определения основных технических характеристик шестеренного насоса.

In the article the method of computation of error of results of experimental researches on the example of experimental is offered definition basic technical characteristics of gear pumps.

Одержано 03.10.06