

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОХИБКИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПНЕВМАТИЧНОГО ПРИВОДУ ВІД ПАРАМЕТРІВ ЙОГО РОБОТИ

Анотація: Аналізуються експериментальні, отримані шляхом проведення повнофакторного експерименту, данні для визначення залежності похибки позиціонування пневматичного приводу від параметрів його роботи – тиску в циліндрі пневмоприводу, швидкості руху маніпулятора, швидкості гальмування.

Ключові слова: похибка позиціонування, пневматичний привід, повнофакторний експеримент.

Вступ

Кожен пневматичний привід (як і інші види приводів) має деяку похибку позиціонування. Як правило, ця характеристика приводу є параметром конкретної моделі і визначається максимальною похибкою позиціонування. На практиці, середньостатистична величина цієї похибки залежить від параметрів роботи самого приводу, таких як тиск в циліндрі пневмоприводу, швидкість руху маніпулятора, швидкість гальмування, зношеність деталей, температура, тощо. Для визначення залежності похибки позиціонування від параметрів роботи приводу використовують теорію планування експерименту, попередньо вибравши параметри, залежність від яких необхідно визначити (фактори). Коли залежність встановлена, аналіз отриманого результату дозволяє прогнозувати похибки позиціонування виконавчих органів маніпулятора промислового робота, і тим самим, підвищити надійність його роботи.

Постановка експерименту

Експеримент проводився на стенді, що містить штоковий позиційний пневмопривід з наступними характеристиками: робочий хід пневмоприводу 500 мм, діаметр поршня 80 мм, габарити експериментального стенду 1500x400x180 мм; та контрольно-вимірвальну апаратуру для вимірювання тиску, швидкості та швидкості гальмування штоку пневмоциліндра.

В якості факторів, що здійснюють вплив на точність позиціонування маніпулятора, прийняті такі параметри роботи пневматичного приводу, як тиск в циліндрі пневмоприводу (P), швидкість руху маніпулятора (V_M), швидкість гальмування (V_T). Інші фактори стабілізовані.

Таким чином, в результаті дослідження необхідно встановити значення факторів P , V_M та V_T , що забезпечують мінімальне значення похибки позиціонування $\Delta = f(P, V_M, V_T) \rightarrow \min$.

В якості інтервалів зміни факторів P , V_M та V_T обрано наступні значення:

© М.М. Поліщук, А.В. Землянкін, 2012

$$P = 5.5 \div 8.0 \text{ бар;}$$

$$V_M = 0.6 \div 0.9 \text{ м/с;}$$

$$V_T = 0.04 \div 0.10 \text{ м/с.}$$

Введемо позначення: $\Delta = y$; $P = \tilde{x}_1$; $V_M = \tilde{x}_2$; $V_T = \tilde{x}_3$;

Складемо матрицю експерименту типу 2^3 , в якій значення всіх факторів знаходяться в усіх можливих комбінаціях і проведемо вимірювання в цих точках. Для побудови моделі потрібно забезпечити необхідну відтворюваність результатів експериментів. Для цього обрано число повторюваних досліджень $r = 2$.

Таблиця 1

Результати експериментів

№	\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	\tilde{x}_3	y_1	y_2
1	5.5	0.6	0.04	240	245
2	5.5	0.6	0.10	262	255
3	5.5	0.9	0.04	305	320
4	5.5	0.9	0.10	317	305
5	8.0	0.6	0.04	332	340
6	8.0	0.6	0.10	342	335
7	8.0	0.9	0.04	350	365
8	8.0	0.9	0.10	372	375

Зведемо матрицю експерименту до нормованої, в якій верхнім значенням факторів відповідає $+1$, а нижнім -1 . В загальному випадку $x_i = \frac{2\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i \max} - \tilde{x}_{i \min}}{\tilde{x}_{i \max} - \tilde{x}_{i \min}}$. Результати представлено у таблиці 2. Також, додамо стовбці з середнім значенням похибки по двом експериментам, коефіцієнт вільного члена моделі та коефіцієнтів взаємодії факторів.

Загальне рівняння з урахуванням усіх членів взаємодії факторів записується в кодованих змінних:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (1)$$

Визначення коефіцієнтів моделі проводиться за формулою (2)

$$b_i = \frac{\sum_{v=1}^n x_{iv} \bar{y}_v}{n} \quad (2)$$

$$y = 316.25 + 35.125x_1 + 22.375x_2 + 4.125x_3 - 8.25x_1x_2 + 0.5x_1x_3 - 0.5x_2x_3 + 3.875x_1x_2x_3 \quad (3)$$

Визначення дисперсії відтворюваності

Дисперсія відтворюваності визначається за формулою (4).

№	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2	\bar{y}
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	240	245	242.5
2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	262	255	258.5
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	305	320	312.5
4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	317	305	311
5	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	332	340	336
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	342	335	338.5
7	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	350	365	357.5
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	372	375	373.5

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{v=1}^n \sum_{j=1}^r (y_{vj} - \bar{y}_v)^2}{N(r-1)} \quad (4)$$

Таким чином, $S^2\{y\} = \frac{395}{8(2-1)} = 49.375$, $S\{y\} = 7.027$.

Перевірка однорідності дисперсії за критерієм Кохрена

$$G = \frac{S_{v \max}^2}{S_v^2} = \frac{56.25}{395} = 0.142$$

Для $f_{v \max} = r - 1 = 2 - 1 = 1$; $f_{знам} = N = 8$; $\alpha = 0.05$.

За таблицею визначаємо критичне значення критерія Кохрена: $G_{кр} = 0.6798$, $G < G_{кр}$.

Отже, гіпотеза про однорідність моделі приймається.

1 Перевірка значимості коефіцієнтів регресії

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{Nr} = \frac{49.375}{8 \cdot 2} = 3.086;$$

$$S\{b_i\} = 1.757.$$

Критичне значення критерію Стьюдента для $f_E = N(r - 1) = 8$ та $\alpha = 0.05$ знаходимо за таблицею:

$$t_{кр} = 2.31.$$

Половина довжини довірчого інтервалу:

$$\Delta b_i = t_{кр} S\{b_i\} = 2.31 \cdot 1.757 = 4.058.$$

Коефіцієнт вважається значимим, якщо $|b_i| \geq \Delta b_i$. В рівнянні (3) такими коефіцієнтами є:

$$|b_0| = 316.25; |b_1| = 35.125; |b_2| = 22.375; |b_3| = 4.125; |b_{12}| = -8.25.$$

В інших коефіцієнтів їх значення менше половини довірчого інтервалу. Тому їх можна відкинути без перерахунку інших.

В результаті, у кодованих змінних модель буде мати вигляд:

$$y = 316.25 + 35.125x_1 + 22.375x_2 + 4.125x_3 - 8.25x_1x_2 \quad (5)$$

Перевірка адекватності моделі

Дисперсія адекватності

$$S_{a\hat{d}}^2 = \frac{r}{N - m} \sum_{v=1}^8 (\bar{y}_v - y_v)^2, \quad (6)$$

де $m = 4$ – число членів апроксимуючого поліноmu.

Підставивши у формулу (5) значення (+1) та (-1), у відповідності до матриці планування, знайдемо розрахункове значення \hat{y}_v та запишемо результати у таблицю 3:

Таблиця 3

№ досліду	\bar{y}_v	y_v	$(\bar{y}_v - y_v)$	$(\bar{y}_v - y_v)^2$
1	242.5	246.375	-3.875	15.016
2	258.5	254.625	3.875	15.016
3	312.5	307.625	4.875	23.766
4	311	315.875	-4.875	23.766
5	336	333.125	2.875	8.266
6	338.5	341.375	-2.875	8.266
7	357.5	361.375	-3.875	15.016
8	373.5	369.625	3.875	15.016
			Всього: 124.125	

$$S_{a\hat{d}}^2 = \frac{2}{8 - 5} \cdot 124.125 = 82.75.$$

Критерій Фішера:

$$F = \frac{S_{a\hat{d}}^2}{S^2\{y\}} = \frac{82.75}{49.375} = 1.676.$$

Критичне значення критерія Фішера для

$$f_{a\hat{d}} = N - m = 8 - 5 = 3;$$

$$f_E = N(r - 1) = 8(2 - 1) = 8;$$

$$\alpha = 0.05$$

Знаходимо за таблицею критерія Фішера:

$$F_{кр} = 8.84.$$

Умова $F < F_{кр}$ виконується, отже, модель адекватна.

Розрахунок коефіцієнту множинної кореляції

В якості величини, що характеризує вклад коефіцієнтів регресії у рівняння моделі будемо використовувати коефіцієнт множинної кореляції, що визначається за формулою (7):

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_v (\bar{y}_v - y_v)^2}{\sum_v (\bar{y}_v - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

Величина R може змінюватись від 0 до +1. Якщо вклад, що вносить коефіцієнт регресії дорівнює нулю, то $R = 0$; якщо ж рівняння регресії повністю описує результати експерименту, то $R = 1$.

В результаті отримаємо:

$$R = \sqrt{1 - \frac{124.125}{14680.752}} = 0.996.$$

Таким чином, рівняння регресії практично повністю описує результати експерименту.

Перехід до моделі в натуральних змінних

Виконуючи перехід до моделі в натуральних змінних, отримаємо:

$$y = 316.25 + 35.125 \left(\frac{2\hat{x}_1 - \hat{x}_1 \max - \hat{x}_1 \min}{\hat{x}_1 \max - \hat{x}_1 \min} \right) + 22.375 \left(\frac{2\hat{x}_2 - \hat{x}_2 \max - \hat{x}_2 \min}{\hat{x}_2 \max - \hat{x}_2 \min} \right) + 4.125 \left(\frac{2\hat{x}_3 - \hat{x}_3 \max - \hat{x}_3 \min}{\hat{x}_3 \max - \hat{x}_3 \min} \right) - 8.25 \left(\frac{2\hat{x}_1 - \hat{x}_1 \max - \hat{x}_1 \min}{\hat{x}_1 \max - \hat{x}_1 \min} \right) \times \left(\frac{2\hat{x}_2 - \hat{x}_2 \max - \hat{x}_2 \min}{\hat{x}_2 \max - \hat{x}_2 \min} \right)$$

Остаточний результат у вихідних змінних:

$$\Delta = -217.68 + 61.1P + 446.17V_M + 137.5V_T - 44V_M V_T \quad (8)$$

Побудова графіків перерізів отриманої залежності

Для отримання практично корисного результату побудуємо двовимірні графіки отриманої функціональної залежності, по яким на підприємстві можна швидко визначити необхідні параметри роботи пневмоприводу для отримання задовільного рівня похибки позиціонування маніпулятора.

Двовимірні графіки отримаємо як графіки залежності похибки позиціонування від тиску в циліндрі пневмоприводу, встановлюючи незмінними швидкість руху маніпулятора та швидкість гальмування. Побудуємо перерізи при трьох значеннях обох швидкостей (мінімальне, середнє та максимальне) та отримаємо 3x3=9 графіків. Залежність похибки позиціонування від тиску в циліндрі пневмоприводу при швидкості гальмування $V_T = 0.04\text{м/с}$, $V_T = 0.07\text{м/с}$, $V_T = 0.10\text{м/с}$ наведено на рис. 1,2 та 3, відповідно.

Висновки

В результаті проведених експериментів отримана неповна квадратична модель виду $y = 316.25 + 35.125x_1 + 22.375x_2 + 4.125x_3 - 8.25x_1x_2$.

По величині та знаку коефіцієнтів регресії можна зробити висновки про вплив параметрів приводу на величину похибки позиціонування.

$V_r = \text{const} = 0.04 \text{ м/с}$

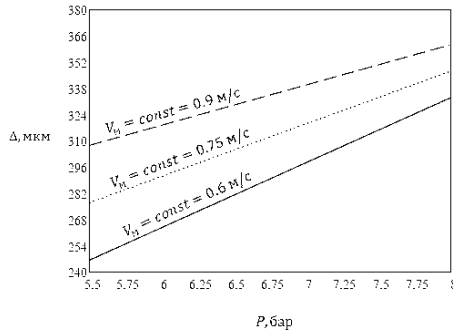


Рис. 1 –

$V_r = \text{const} = 0.07 \text{ м/с}$

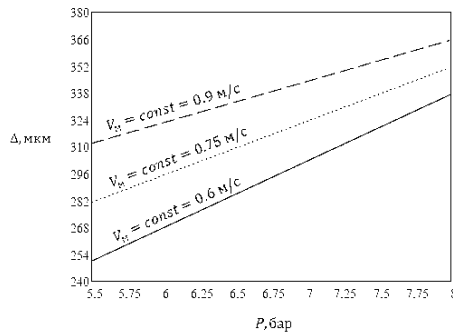


Рис. 2 –

$V_r = \text{const} = 0.10 \text{ м/с}$

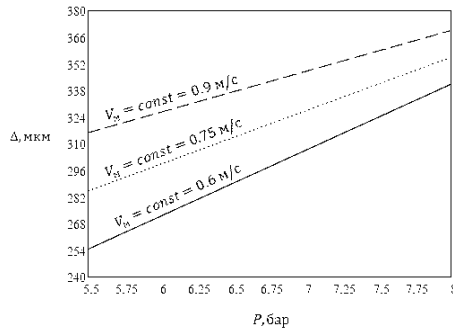


Рис. 3 –

1. Якщо $b_i > 0$ то збільшення x_i викликає збільшення похибки позиціонування. Таким чином, збільшення тиску в циліндрі пневмоприводу, швидкості руху маніпулятора чи швидкості гальмування приводить до збільшення похибки позиціонування Δ причому ця похибка залежить головним чином від швидкості руху маніпулятора та тиску в циліндрі пневмоприводу.
2. Вплив змішаного добутку факторів оцінюється значимістю та знаком коефіцієнта b_{ij} . При $b_{ij} = b_{12} < 0$ величина Δ буде зменшуватись, якщо x_1 та x_2 знаходяться одночасно на верхніх або нижніх рівнях.
3. Отримані перерізи графіків залежності похибки позиціонування від параметрів роботи пневмоприводу є практично корисним результатом, що може бути застосований на підприємствах для визначення похибки позиціонування маніпуляторів промислових роботів, що оснащені пневматичними приводами.

Література

1. Оптимізація технічних рішень в машинобудуванні / Пляскін І.І. // М.: Машинобудування, 1982. – 176 с.
2. Статистичні методи планування експерименту в техніко-економічних дослідженнях / Вознесенський В.А. // М.: Статистика, 1974. – 192 с.
3. Математична теорія оптимальних процесів / Понтрягін Л.С., Болтянський В.Г., Гамкрелідзе Р.В., Мищенко Е.Ф. // М.: Наука, 1976. – 392 с.
4. Планування промислових експериментів / Горський В.Г., Адлер Ю.П., Талалай А.М. // М.: Металургія, 1978. 351 с.

Отримано 25.05.2012 р.