

Моніторинг умов роботи електроприводу ковальсько-штампувальних машин

У статті описано методику фахового супроводження електроприводу ковальсько-штампувального обладнання, умови роботи якого вимагають постійного застосування режиму повторно-довготривалих пусків. Наведені результати відповідних експериментальних досліджень та запропоновано послідовність проведення процедур інженерного моніторингу з метою підвищення довговічності роботи обладнання.

моніторинг, обладнання, електропривод, методика, довговічність

Деякі види ковальсько-штампувального обладнання (КШО) оснащені електроприводом, який постійно (або достатньо тривалий час) має працювати в умовах повторно-довготривалих пусків. В першому випадку це стосується ротаційних машин, волочильних барабанів та холодновисаджувальних автоматів, а у другому – приводів регулювання технологічних параметрів кривошипних машин, автоподавачів тощо. У вищезазначених умовах внаслідок інерції матеріалу вихідної заготовки та ведених частин приводу суттєво зростає початковий пусковий момент електродвигуна. При цьому, відповідно, може зменшитись довговічність стабільного функціонування приводу.

Існуючі державні стандарти, зокрема ГОСТ 19532 та ГОСТ 15150, якими регламентуються основні параметри електродвигунів загального користування, передбачають відношення обертового моменту до початкового пускового $k = 2,0 - 1,2$ [1], причому більші значення відповідають електродвигунам потужністю до 10 кВт. Між тим саме в потужних типорозмірах КШО (наприклад, в горизонтально-кувальних машинах та в гарячештампувальних автоматах номінальним зусиллям від 10 МН і вище, багатопозиційних холодновисаджувальних автоматах для діаметру дроту від 20 мм тощо) найчастіше спостерігаються екстремальні умови роботи електроприводу.

З метою розробки методики інженерного моніторингу електроприводу КШО спочатку було проаналізовано інтенсивність використання різних типів електроприводу, а також основні причини його незадовільного функціонування в умовах підвищених значень ПВ (тривалості вмикання). Встановлено, що для найчастіше застосовуваного в ковальсько-штампувальному обладнанні нерегульованого привода з асинхронним електродвигуном максимальний момент інерції привода (в кГм^2), приведений до головного валу, з метою запобігання перегріванню двигуна визначається за формулою

$$J \leq k_{\phi} \frac{10A_T}{\sigma\omega_g^2}, \quad (1)$$

де A_T - максимальна технологічна робота операції;

σ - допустимий коефіцієнт нерівномірності обертання;

ω_g - кутова частота обертання головного валу, с^{-1} ;

k_{ϕ} - коефіцієнт надлишкової роботи, яку може виконати електродвигун.

Останній параметр розраховується за формулою

$$k_{\phi} = 1 - \frac{p\alpha_0}{2\pi m} k^2 \left(1 + 2 \frac{k^2 - 1}{k^2} \frac{A_x}{A_n}\right), \quad (2)$$

де p - коефіцієнт використання часу робочого циклу (для автоматизованого обладнання $p=1$, для обладнання, яке може працювати в режимі одиночних ходів - кувальні вальці, гвинтові преси тощо $p=0,3-0,5$, для інших типів неавтоматизованого обладнання $p=0,5-0,7$, для автоматів $p=0,7-0,9$);

m - кількість обертів головного валу за цикл роботи КШО;

α_0 - цикловий кут обертання головного валу машини;

$k > 1,05$ - запас потужності електродвигуна (приймається за результатами енергетичного розрахунку машини).

Допустимий коефіцієнт нерівномірності обертання

$$\sigma \leq 2k(s_n + s_p)\epsilon, \quad (3)$$

де s_n - номінальне ковзання попередньо обраного типорозміру електродвигуна; приймається або за даними каталогів, або з табл.1.

Таблиця 1 – Залежність номінального ковзання електродвигуна від кількості ходів

$p\omega_d, \text{хв}^{-1}$	До 15	16-40	41-80	81-100	Більше 100
s_n	0,12-0,08	0,08-0,06	0,06-0,04	0,04-0,03	0,03-0,02

Якщо цикловий кут обертання головного валу $\alpha_0 > 40^\circ$, то знайдене з табл.16 значення s_n корегують за формулою

$$s_n = s_n \left(1 - \frac{p\alpha_0}{2\pi}\right). \quad (4)$$

Тоді розрахунковий запас потужності електродвигуна теж підлягає корегуванню відповідно до рекомендацій табл.2.

Таблиця 2 – Залежність коефіцієнта корегування від номінального ковзання

s_n	0,12-0,08	0,08-0,06	0,06-0,04	0,04-0,03	0,03-0,02
k_k	1,5	1,2	1,25	1,3	1,35

Фактичний запас потужності

$$k = \frac{1000 \cdot N_n \cdot t_u}{A_T + A_x} > 1,05, \quad (5)$$

де N_n - номінальна потужність двигуна;

t_u - тривалість робочого циклу, с;

A_x - робота холостого ходу, Дж;

s_p - ковзання клинопасової передачі (для $\alpha_0 < 40^\circ$ $s_p=0,04$, для $\alpha_0 > 40^\circ$ $s_p=0,02$).

Значення коефіцієнту ϵ в (3) обчислюються за залежностями:

$$\text{при } A_x/A_T > 2,9 \quad \epsilon = 0.307k^{1,011} s_n^{-0,454};$$

$$\text{при } A_x/A_T = 1,0-2,9 \quad \epsilon = 0.405k^{1,066} s_n^{-0,256};$$

$$\text{при } A_x/A_T < 1,0 \quad \epsilon = 0.528k^{1,455} s_n^{-0,062}.$$

Якщо отримані значення σ перевищують допустимі, довговічність роботи електропривода не забезпечується. Тоді необхідно збільшити момент інерції привода

шляхом підстановки у (2) допустимих значень коефіцієнту нерівномірності, які становлять:

- для обладнання, що працює в режимі одиночних ходів..... 0,2-0,3
- для обладнання, що працює в режимі автоматичних ходів.....0,1-0,15

Із зменшенням σ довговічність роботи приводу збільшується. Подібний результат досягається також застосуванням електродвигуну підвищеного ковзання або з фазним ротором. Якщо $k < 1,05$, необхідно приймати двигун більшої потужності.

Під час фахового супроводження електроприводу КШМ доцільно прогнозувати також граничне число вмикань двигуна з умови його нагрівання.

Для електродвигунів змінного струму граничне число вмикань в годину дорівнює

$$h = \frac{30(A - k^2 ПВ_{\phi})}{k^2 t_p}, \quad (6)$$

де коефіцієнт А визначається за формулою

$$A = \frac{t_p (1 + 2\beta)}{t_{\eta}} 100\%. \quad (7)$$

Тут β - коефіцієнт погіршення умов охолодження двигуна під час його пуску та гальмування (для двигунів закритих з обдувом $\beta = 0,75$, для інших типів електродвигунів $\beta = 0,9$); t_p - час розганяння двигуна (приймається за результатами енергетичного розрахунку машини).

Кратність пускового моменту двигуна

$$k = \frac{M_n}{M_p}$$

приймається за даними каталогів, напр. [11], с.534-536; $ПВ_{\phi}$ - фактична відносна тривалість вмикання двигуна - приймається залежно від виду обладнання за даними табл.3.

Таблиця 3 – Залежність тривалості вмикання електродвигуна від типу обладнання

Тип обладнання	ПВ _ф , %
Обладнання для холодного штампування	17-20
Обладнання для гарячого штампування	20-24
Обладнання безперервної дії	25-40
Насоси, компресори	40-55

Розрахункове значення h не повинно перевищувати числа ходів/продуктивності типу обладнання, стосовно якого проводиться інженерний моніторинг.

Запропонована методика інженерного моніторингу електроприводу з використанням залежностей (1)...(7) може використовуватись також і для цілей фахового супроводження інших видів обладнання загальномашинобудівного призначення.

З метою практичної перевірки методики досліджували короткотривалу потужність P_k електродвигуна системи змащення холодновисаджувального автомату АА1216 з різним часом його роботи та зі змінними об'ємами подачі технологічного мастила до вузлів автомату. Тривалість роботи електродвигуна змінювали в діапазоні $ПВ = 0,2 - 0,8$. В залежності від об'єму мастила час роботи електродвигуна t_p вар'ювали

в межах 5-20 с, що у цілому відповідає умовам роботи аналогічного обладнання в умовах діючого виробництва. Під час експериментів визначали фактичну потужність електродвигуна, кВт

$$P_{\phi} = \eta \times \frac{U_{\phi} \times I_{\phi}}{1000}, \quad (8)$$

де η – коефіцієнт корисної дії двигуна;

U_{ϕ} – фактичне значення напруги в силувій електромережі.

$$I_{\phi} = I_p \times \sqrt{1 - \exp\left(-\frac{t_p}{T_n}\right)}, \quad (9)$$

де I_p – струм в обмотці електродвигуна;

T_n – стала часу нагрівання електродвигуна.

В результаті математичної обробки результатів експериментальних досліджень із використанням методики [2] встановлено, що з достатньою точністю допустиме значення P_k можна обчислювати за формулою

$$P_k = \alpha \times P_{\phi}, \quad (10)$$

де α – допустимий коефіцієнт перевантаження електродвигуна:

$$\alpha = 1.2351 \times (ПВ)^{-0,5615}, \quad (11)$$

Значення P_k , кВт, обчислені за допомогою залежностей (10) та (11) і розраховані експериментально по (8) зведені до таблиці 4 (див. також рис.1).

Таблиця 4 – Розрахункові та експериментальні значення коефіцієнту перевантаження електродвигуна

ПВ = 0,2		ПВ = 0,4		ПВ = 0,6		ПВ = 0,8	
Експер.	Розрах.	Експер.	Розрах.	Експер.	Розрах.	Експер.	Розрах.
3,9	3,6588	2,58	2,4792	1,92	1,9745	1,68	1,6798

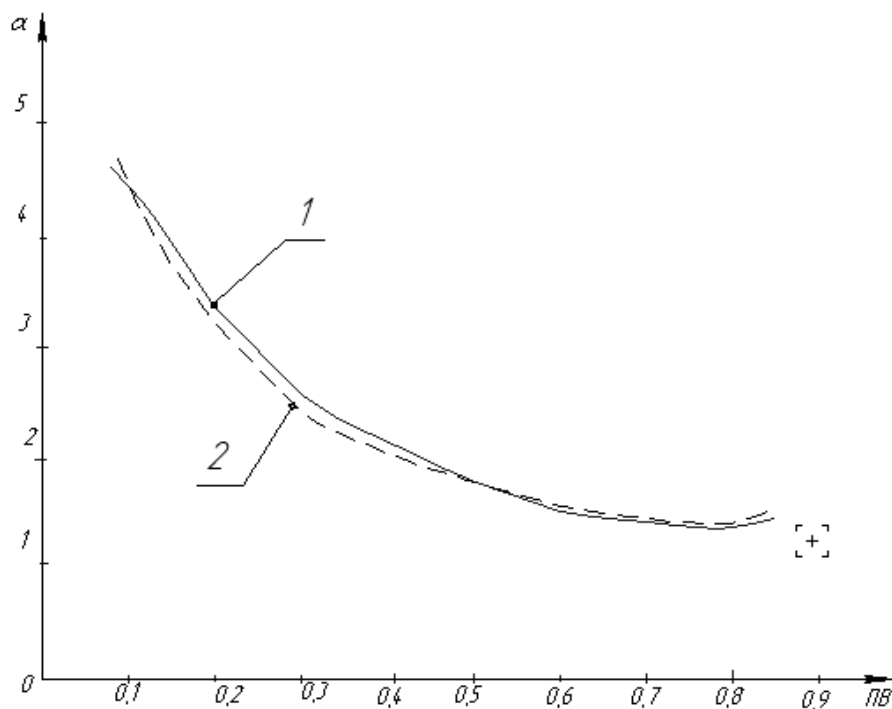


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнту перевантаження α від відносної частоти вмикання ПВ

Аналізуючи отримані дані, можна дійти до висновку, що похибка у значеннях P_k не перевищує 6 – 10 %, а, отже, інженерний моніторинг роботи електроприводу в умовах повторних довго- та короткотривалих пусків із застосуванням емпіричної залежності (11) доцільно рекомендувати для практичного використання.

Проведення подібних процедур фахового супроводження дає можливість підвищити контроль за роботою КШО, зменшити вірогідність відмов та стабілізувати умови роботи електроприводу промислового обладнання.

Список літератури

1. Анурьев В.П. Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х т. Т.3. М.: М-е, 1979. – 537с.
2. Автоматизоване проектування за допомогою пакету програм “Калькулятор – 3000” / Укл. Б.Б. Кришкін. – Кіровоград; КІСГМ, 1993. – 48с.

В статье описана методика профессионального сопровождения электропривода кузнечно-штамповального оборудования, условия работы которого требуют постоянного применения режима повторно-долговременных пусков. Приведенные результаты соответствующих экспериментальных исследований и предложена последовательность проведения процедур инженерного мониторинга с целью повышения долговечности работы оборудования.

The method of professional accompaniment electric-driven blacksmith-punching equipment is described in the article, the terms of work of which require permanent application of the long repeatedly-durations startings mode. The results of the proper experimental researches and the sequence of procedures conducting of the engineering monitoring have been done with the purpose of increase of longewearvity of work of equipment.