

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК ЯК ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Одним з основних напрямків в електромеханіці є підвищення якості керування складними об'єктами, що мають розподілені маси, пружні зв'язки й нелінійності, наприклад, зазори в кінематичному ланцюзі. Врахування всіх суттєвих особливостей об'єктів дозволяє проводити технологічний процес у розрахунковому режимі з одночасним зменшенням перевантаження елементів кінематичного ланцюга, підвищенням надійності й збільшенням терміну служби механізмів, покращенням техніко-економічних показників. Важливе значення має підвищення точності позиціонування підйомних установок (особливо вантажно-людських), що дозволяє покращити комфорт, зменшити вірогідність небезпечних ситуацій, збільшити продуктивність й знизити енерговитрати. Невиробничі втрати часу на підйомних установках за статистичними даними складають 20-25 %, в тому числі втрати обумовлені зниженням точності позиціонування становлять 10-15 % [1].

Метою роботи є складання уточнених математичних моделей підйомних установок з урахуванням пружності канатів та зазору в редукторі при приведенні всіх параметрів до швидкості підйомної посудини, що дозволяє синтезувати систему автоматичного керування підйомною установкою з підвищеною точністю позиціонування.

Найбільше поширення мають два види кінематичних схем підйомних установок: без врівноважувального (хвостового) та з врівноважувальним канатом. Схема з врівноважувальним канатом використовується при більших висотах підйому, коли коефіцієнт неврівноваженості $\delta = gH/Q > 0.5$, де g – вага одного погонного метру канату; H – висота підйому; Q – маса вантажу. Для вирішення задачі підвищення точності позиціонування узагальненою координатою математичної моделі є положення підйомної посудини, тому основною ділянкою шляху підйомної посудини, що підлягає детальному дослідженню, є перехідний процес при уповільненні установки. Дуже важливим є врахування достатньо суттєвої розподіленої маси канатів, яка замінюється еквівалентною зосередженою на основі метода приведення по найменшій частоті коливань. При цьому тяговий канат приводиться шляхом додавання $1/3$ своєї маси до маси підйомної посудини та шківів, а врівноважувальний канат – додаванням $2/3$ маси до посудини і $2/5$ – до додаткової маси, що створюється з нього [2]. Таким чином, розрахункова схема неврівноваженої підйомної установки при приведенні до лінійної швидкості посудини представляється чотиримасовою (рис. 1а), а врівноваженої підйомної установки – п'ятимасовою (рис. 1б) розгалуженою схемою, де: c_{12} та β_{12} – жорсткість та коефіцієнт демпфірування валу між редуктором та двигуном; c_{23} , c_{24} , c_{35} та β_{23} , β_{24} , β_{35} – жорсткості та коефіцієнти демпфірування лівої й правої гілок тягового каната та врівноважувального каната; Δx_3 – зазор в редукторі; V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 та x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – лінійні швидкості та переміщення мас; F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 – зусилля, що діють на маси. Маса m_1 представляє собою приведену масу двигуна. Маса m_2 складається з приведеної маси редуктора й шківів та з $1/3$ маси правої й лівої гілки тягового каната. Маса m_3 вміщує масу першої підйомної посудини, вантажу, $1/3$ маси лівої гілки тягового каната, а для врівноваженої схеми ще й $2/3$ маси врівноважувального каната. Маса m_4 складається з маси другої підйомної посудини та вантажу (або все разом противага) й $1/3$ маси правої гілки тягового каната. Додаткова маса m_5 створюється $2/5$ маси врівноважувального каната.

Система диференціальних рівнянь, що описує механічну частину врівноваженої підйомної установки та її рух відносно підйомних посудин, складена на основі рівнянь Лагранжа 2-го роду

$$\begin{aligned} m_1 \frac{dV_1}{dt} &= F_1 - F_{ПВ1} \\ m_2 \frac{dV_2}{dt} &= F_1 + F_{ПВ1} - c_{23}(x_2 - x_3) - c_{24}(x_2 - x_4) - \beta_{23}(V_2 - V_3) - \beta_{24}(V_2 - V_4) \\ m_3 \frac{dV_3}{dt} &= F_3 + c_{23}(x_2 - x_3) - c_{35}(x_3 - x_5) + \beta_{23}(V_2 - V_3) - \beta_{35}(V_3 - V_5) \\ m_4 \frac{dV_4}{dt} &= F_4 + c_{24}(x_2 - x_4) + \beta_{24}(V_2 - V_4) \\ m_5 \frac{dV_5}{dt} &= F_5 + c_{35}(x_3 - x_5) + \beta_{35}(V_3 - V_5) \end{aligned} \quad (1)$$

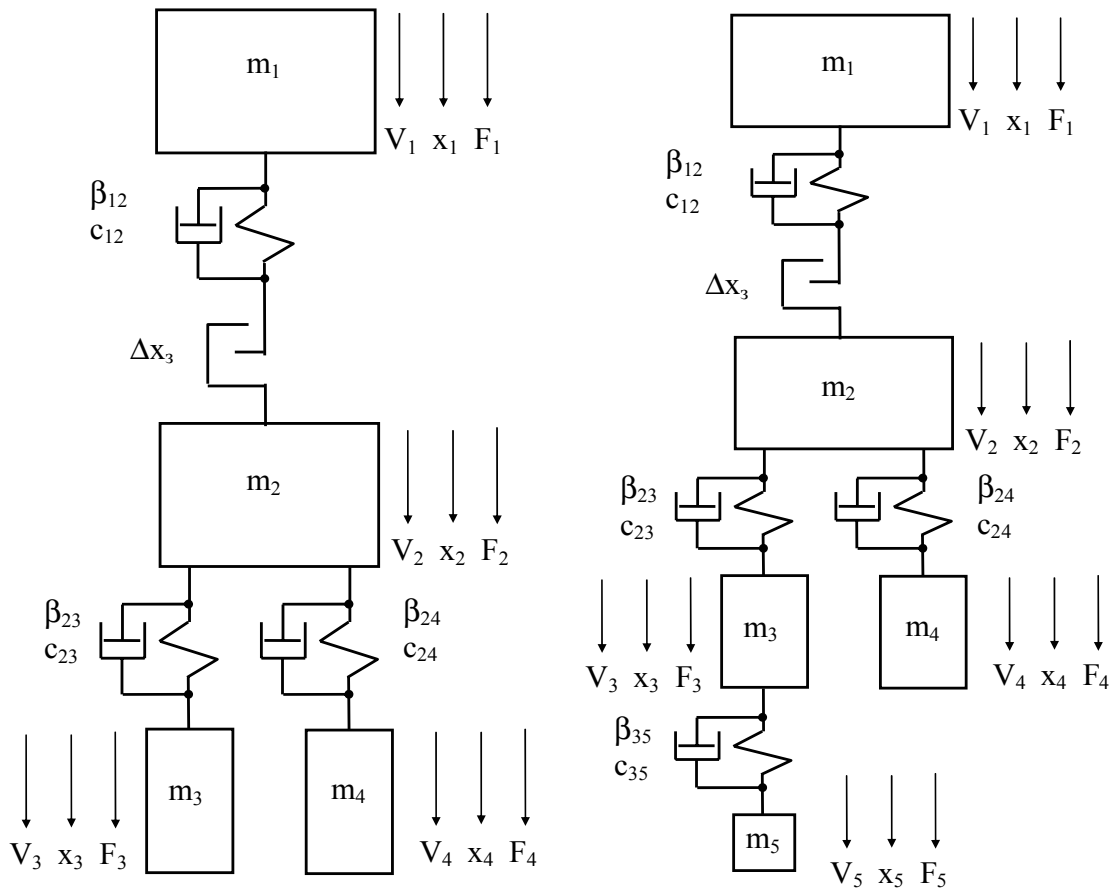
Система рівнянь для неврівноваженої установки аналогічна (1), проте складається з перших чотирьох рівнянь та не містить складових для п'ятої маси в третьому рівнянні.

Наявність зазору Δx_3 обумовлює нелінійну залежність пружного зусилля F_{12} та зусилля внутрішнього в'язкого тертя $F_{ВТ1}$ між 1-ю та 2-ю масами. Результуюче пружно-в'язке зусилля $F_{ПВ1}$ визначається наступною закономірністю [3]

$$F_{\text{ПВІ}} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \text{sign}\Delta x_{12} \neq \text{sign}\Delta V_{12} \text{ та } |F_{\text{ВТ1}}| > |F_{12}| \\ F_{\text{ВТ1}} + F_{12}, & \text{якщо } \text{sign}\Delta x_{12} = \text{sign}\Delta V_{12} \text{ або } |F_{\text{ВТ1}}| \leq |F_{12}| \end{cases} \quad (2)$$

де $F_{12} = c_{12} f_1(x)$ – пружне зусилля; $F_{\text{ВТ1}} = \beta_{12} \Delta V_{12} f_2(x)$ – зусилля в'язкого тертя; f_1 та f_2 – нелінійні функції:

$$f_1(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } |\Delta x_{12}| \leq \frac{\Delta x_3}{2}; \\ \Delta x_{12} - \frac{\Delta x_3}{2}, & \text{при } \Delta x_{12} > \frac{\Delta x_3}{2}; \\ \Delta x_{12} + \frac{\Delta x_3}{2}, & \text{при } \Delta x_{12} < -\frac{\Delta x_3}{2}, \end{cases} \quad f_2(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } |\Delta x_{12}| \leq \frac{\Delta x_3}{2}; \\ 1, & \text{при } \Delta x_{12} > \frac{\Delta x_3}{2}. \end{cases}$$



а) б)
Рис. 1 - Розрахункові схеми підйомних установок

Таким чином, рівняння (1) та (2) являють собою уточнену математичну модель підйомних установок в координатах підйомних посудин, яка враховує механічний зазор в кінематичному ланцюзі та пружність канатів і сил внутрішнього в'язкого тертя. Отримана модель дозволить здійснити синтез законів керування та аналіз якості керування електромеханічної системи автоматизації підйомної установки для різних режимів роботи, в тому числі за точністю позиціонування.

ЛИТЕРАТУРА

1. Католиков В.Е., Динкель А.Д., Седунин А.М. Автоматизированный электропривод подъемных установок глубоких шахт. – М.: Недра, 1983. – 270 с.
2. Белобров В.И., Дзензерский В.А., Самуся В.И., Ильин С.Р. Динамика шахтных подъемных установок. – Днепропетровск, Изд-во Днепропетровского университета, 2000. – 384 с.
3. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 288 с.