

РОЗРОБЛЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ (МС) ЛІФТА

Динамічна модель МС ліфта розробляється і досліджується для виявлення процесу періодичних пружних коливань в ній і ідентифікації його параметрів. Результати досліджень використовуються для налаштування системи керування ліфтом і оцінки ресурсів деталей МС в умовах багатоциклових навантажень.

При дотриманні умов відсутності буксування динамічну модель МС ліфта представляємо трьохмасовою крутильною системою з пружними зв'язками.

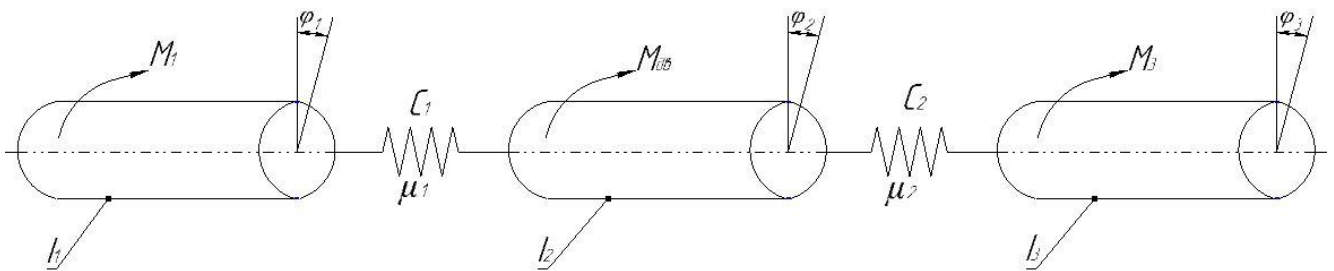


Рис. Розрахункова динамічна схема ліфта

Розрахункова динамічна система ліфта має вигляд крутильної системи, що приведена до валу двигуна.

Кінетична енергія системи:

$$E = \frac{1}{2} I_1 \dot{\varphi}_1^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\varphi}_2^2 + \frac{1}{2} I_3 \dot{\varphi}_3^2$$

Потенційна енергія (енергія деформації) системи:

$$\Pi = \frac{1}{2} (\varphi_2 - \varphi_1)^2 C_1 + \frac{1}{2} (\varphi_3 - \varphi_2)^2 C_2$$

Дисипативна функція Релея для системи:

$$\Phi = \frac{1}{2} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) \mu_1 + \frac{1}{2} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2) \mu_2$$

В якості більш значимого прийнятий механізм розсіювання енергії коливань при дії сил в'язкого тертя.

Робота зовнішніх сил на віртуальних переміщеннях:

$$\begin{cases} \delta A_1 = -M_1 \delta \varphi_1 - M_{T1} \delta \varphi_1 \\ \delta A_2 = M_{дв} \delta \varphi_2 \\ \delta A_3 = M_3 \delta \varphi_3 \end{cases}$$

Динамічна система такого типу описується рівнянням Лагранжа II роду:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_i} + \frac{\delta A_i}{\delta \varphi_i}$$

де i – номер координати тіла системи.

Рівняння руху тіл системи:

$$\begin{cases} \ddot{\varphi}_1 = \frac{(C_1\varphi_2 - C_1\varphi_1 + \mu_1\dot{\varphi}_2 - \mu_1\dot{\varphi}_1 - M_1 - M_{T1})}{I_2} \\ \ddot{\varphi}_2 = \frac{(C_1\varphi_1 - C_1\varphi_2 - C_2\varphi_2 + C_2\varphi_3 + \mu_1\dot{\varphi}_1 - \mu_1\dot{\varphi}_2 - \mu_2\dot{\varphi}_2 + \mu_2\dot{\varphi}_3 + M_{дв})}{I_2} \\ \ddot{\varphi}_3 = \frac{(C_2\varphi_2 - C_2\varphi_3 + \mu_2\dot{\varphi}_2 - \mu_2\dot{\varphi}_3 + M_3)}{I_2} \end{cases}$$

При вимкненні двигуна лебідки вмикається механічне колодкове гальмо, тоді замість $M_{дв}$ у друге рівняння потрібно підставити значення гальмівного моменту із знаком «мінус». Для розрахунку режимів спуску кабіни з вантажем приймемо наступне правило знаків: $\varphi_1 > 0$, $\varphi_2 > 0$, $\varphi_3 > 0$ – відповідає режиму спуску кабіни (відповідно режиму підйому противаги), $M_{дв} > 0$ – двигунний режим роботи приводу, $M_{дв} = 0$ – двигун обертається із синхронною кутовою швидкістю (або вимкнений), $M_{дв} < 0$ – генераторний режим роботи двигуна. У першому рівнянні перед моментом M_1 знак “-” потрібно змінити на “+”. У третьому рівнянні M_3 знак “+” потрібно змінити на “-”

Параметри системи:

I_1 – момент інерції кабіни та вантажу, зведений до валу двигуна, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$$I_1 = (m_k + m_v) \frac{R_{ш}^2}{u_p^2}$$

де m_k , кг – маса кабіни; m_v , кг – маса вантажу; $R_{ш}$, м – радіус канатоведучого шківів; u_p – передаточне відношення редуктора.

I_3 – момент інерції противаги, зведений до валу двигуна, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$$I_3 = m_{пр} \frac{R_{ш}^2}{u_p^2}$$

де $m_{пр}$, кг – маса противаги.

I_2 – момент інерції лебідки, зведений до валу двигуна, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$$I_2 = (I_p + I_m)\delta + I_{max}$$

де I_p , $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ – момент інерції ротора двигуна; I_m , $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ – момент інерції муфти з гальмівним шківом; I_{max} , $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ – момент інерції маховика; δ – коефіцієнт, що враховує момент інерції обертальних мас редуктора і шківів.

C_1 – жорсткість канатів підвіски кабіни, приведена до крутильної на валу двигуна, $\text{Н}\cdot\text{м}/\text{рад}$;

$$C_1 = n_k \frac{F_k E_k}{l_k} \cdot \frac{R_{ш}^2}{u_p^2}$$

де F_k , мм^2 – площа проволочного каната; E_k , $\text{Н}/\text{м}^2$ – модуль пружності для канатів; n_k – кількість канатів у підвісі; l_k , м – довжина отвеса канатів підвіски кабіни.

C_2 – жорсткість канатів і пружин підвіски противаги, приведена до крутильної на валу двигуна, $\text{Н}\cdot\text{м}/\text{рад}$;

$$C_2 = k_{л.пр} \frac{R_{ш}^2}{u_p^2}$$

Лінійна жорсткість кабіни підвіски противаги, $\text{Н}/\text{м}$;

$$k_{пр} = n_{пр} \cdot k'_{пр}$$

де $n_{пр}$ – кількість пружин у підвісі; $k'_{пр}$, $\text{Н}/\text{м}$ – лінійна жорсткість однієї пружини.

Лінійна жорсткість канатів підвіски противаги:

$$k_k = \frac{n_k F_k E_k}{l_k}$$

Лінійна жорсткість підвіски противаги:

$$k_{л.пр} = \frac{k_{пр} k_k}{k_{пр} + k_k}$$

Коефіцієнти демпфування (розсіювання) коливань у підвісках кабіни μ_1 і противаги μ_2 визначались, Н·м·с/рад:

$$\mu_1 = \frac{\psi \sqrt{I_1 C_1}}{2\pi}$$

$$\mu_2 = \frac{\psi \sqrt{I_3 C_2}}{2\pi}$$

де ψ – відносне розсіювання енергії коливань:

$$\psi = \frac{\Delta\Pi}{\Pi}$$

де $\Delta\Pi$ – енергія, що розсіюється системою за один цикл коливань, Дж; Π – енергія системи, що відповідає амплітуді циклу коливань, Дж.

$$\psi = 2l_n \frac{a_i}{a_{i+1}}$$

де a_i – амплітуда i -го коливання; a_{i+1} – амплітуда $i+1$ коливання.

Н.И.Григорьев. «Нагрузки кранов, Машиностроение, М.-Л. 1964 г.» дає значення ψ для розсіювання енергії в канатах $\psi=0,4\dots0,6$.

Приймемо у розрахунках $\psi=0,6$.

Дійсне значення ψ для ліфтів (різної степені зношування) можна отримати по результатам випробувань.

Сили тяжіння кабіни, вантажу, противаги віднесемо до зовнішніх сил, діючих на систему. Сили тертя у напрямних, так само віднесемо до зовнішніх сил. Моменти крутні, що розвиваються двигуном чи механічним гальмом віднесемо до моменту зовнішніх сил, діючі на систему. Тертям у напрямних противаги нехтуємо.

Момент, крутний від ваги кабіни та вантажу, приведений до валу двигуна:

$$M_1 = (m_k + m_b) q \frac{R_{ш}}{u_p}$$

Момент, крутний від сил тертя кабіни з вантажем об напрямні:

$$M_{T1} = 0,07 m_b q \frac{R_{ш}}{u_p}$$

Момент, крутний від ваги противаги, приведений до валу двигуна:

$$M_3 = m_{пр} q \frac{R_{ш}}{u_p}$$

Для розрахунку режимів підйому кабіни з вантажем приймемо наступне правило знаків: $\varphi_1 > 0$, $\varphi_2 > 0$, $\varphi_3 > 0$ – відповідають режиму підйому кабіни (відповідно режиму опускання противаги), $M_{дв} > 0$ – двигунний режим роботи приводу, $M_{дв} = 0$ – двигун обертається із синхронною кутовою швидкістю (або увімкнений), $M_{дв} < 0$ – генераторний режим роботи двигуна.

Числові значення параметрів для ліфтової установки вантажністю 400 кг наводимо в таблиці.

Таблиця

Параметри	Значення параметрів в періодах руху кабіни
m_k	577 кг
m_b	400 кг
$m_{пр}$	777 кг
$R_{ш}$	0,255 м
I_p	0,125 кг·м ²
I_M	0,076 кг·м ²
I_{max}	0,439 кг·м ²
δ	1,15
F_k	37,5 мм ²
E_k	$0,97 \cdot 10^{11}$ Н/м ²
l_k на 1-му поверсі	47,97 м
l_k на 12-му поверсі	2,97 м
l_k на 1-му поверсі	3,3 м
l_k на 12-му поверсі	48,3 м
$k_{пр}$	97630 Н/м
$n_{пр}$	3
n_k	3

ВИСНОВКИ: МС розроблення динамічної моделі ліфта є універсальною для сімейства подібних машин і використовується (укупі з рівнянням характеристики двигуна) для оцінки параметрів коливного процесу в МС, величини і характеру динамічних навантажень на елементи конструкції.

Список використаних джерел:

1. В.С.Бондарев, О.І. Дубинець, М.П. Колісник, С.В. Бондарев, Ю.П. Горбатенко, В.Я. Барабанов - Підйомно-транспортні машини - Київ:«Вища Школа» , 2009
2. Вісник НТУУ «КПІ» серія машинобудування №59 [ст.228-230] - 2010