

МОДЕЛІ ДИНАМІКИ РОТАЦІЙНИХ ЛИСТГОРІЗАЛЬНИХ МАШИН

Створення та вдосконалення ротаційних листорізальних машин високої продуктивності вимагає розробки моделей їх динаміки з врахуванням пружних властивостей стрічкових матеріалів і валопроводів.

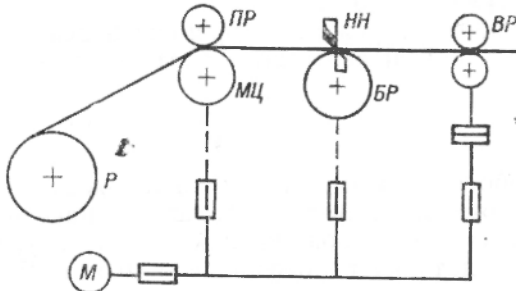


Рис. 1. Спрощена схема листорізальної машини.

Спрощена схема листорізальної машини зображена на рис. 1. Мірний циліндр *МЦ* разом з прижимними роликками *ПР* розмотують паперову стрічку з рулону і подають її в зону механізму різання. Мірний циліндр і вал з гумовими роликками зв'язані між собою за допомогою зубчастих коліс таким чином, що лінійна швидкість циліндра та роликків — однакова. Вивід листів здійснюється вивідними роликками *ВР*, одягнутими на вали, які створюють натяг паперового, картонного полотна під час різання, а після відрізки виштовхують аркуш на стіл прийомки. Обертання нижнього вала здійснюється за допомогою ланцюгової передачі від мірного циліндра через фрикційну муфту *ФМ*. Привід вивідних роликків розрахований таким чином, щоб швидкість руху відрізаного листа була вища швидкості стрічки на 30%. Тому, поки лист не відрізаний, диски фрикціона проковзують.

Механізм різання призначений для розрізання на аркуші паперової або картонної стрічки. Це балка, у підшипниках якої обертається барабан. На балці та барабані закріплені ножи таким чином, що при обертанні барабана стрічка розрізається способом ножиць. Двигун через горизонтальний та вертикальний валопроводи приводять у рух барабан різання. Оскільки сам барабан має велику масу, а валопроводи значну довжину, то жорсткість валопровода суттєво впливає на динаміку машини.

Функціональна схема ротаційної листорізальної машини показана на рис. 2. Стрічкопровідна ділянка описується диференціальним рівнянням натягу [4]

$$T_{ci} \frac{dF_i}{dt} + F_i = K_c (V_{i+1} - V_i). \quad (1)$$

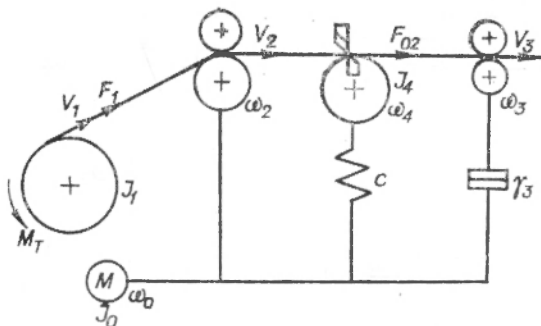


Рис. 2. Функціональна схема листорізальної машини.

де T_{ci} , K_c — стала часу та коефіцієнт передачі ділянки стрічки; F_i — сила натягу стрічки на i -й ділянці; V_i , V_{i+1} — лінійні швидкості стрічки на початку та кінці ділянки.

Якщо стрічка надходить з першої ділянки з натягом F_1 , то з врахуванням цього натягу стрічки на другій ділянці

$$F_{02} = F_1 + F_2. \quad (2)$$

Запишемо рівняння руху листорізальної машини

$$I_0 \frac{d\omega_0}{dt} = M_d - \alpha_2 \frac{V_2}{R_2} - \alpha_3 \frac{V_3}{R_3} - K_1 F_1 - K_2 F_2 - M_{пр}, \quad (3)$$

де M_d — рушійний момент, прикладений до стрічковедучих валиків, мірного циліндра та барабана різання; I_0 — момент інерції рухомих частин машини, зведений до осі ведучих валиків, барабана різання та мірного циліндра; α_1 , α_2 , α_3 , α_4 — коефіцієнти пропорційності, які враховують сили тертя і технологічні навантаження; ω_0 — зведена кутова швидкість; $K_1 = R_1/i_1$, $K_2 = R_2/i_2$ — коефіцієнти, які враховують передаточне число та радіуси рулону і мірного циліндра; $M_{пр}$ — момент пружного зв'язку.

На динаміку машини суттєво впливає жорсткість механічної характеристики електроприводу, яку вважаємо лінійною й опишемо рівнянням [2]

$$M_d = \beta (\omega_3 - \omega_0), \quad (4)$$

де β — коефіцієнт жорсткості механічної характеристики двигуна; ω_3 — задана стала кутова швидкість двигуна.

Пружний валопривід описується диференціальним рівнянням [1]

$$\frac{dM_{\text{пр}}}{dt} = c(\omega_0 - \omega_4), \quad (5)$$

де c — жорсткість валопровода; ω_4 — зведена кутова швидкість барабана різання.

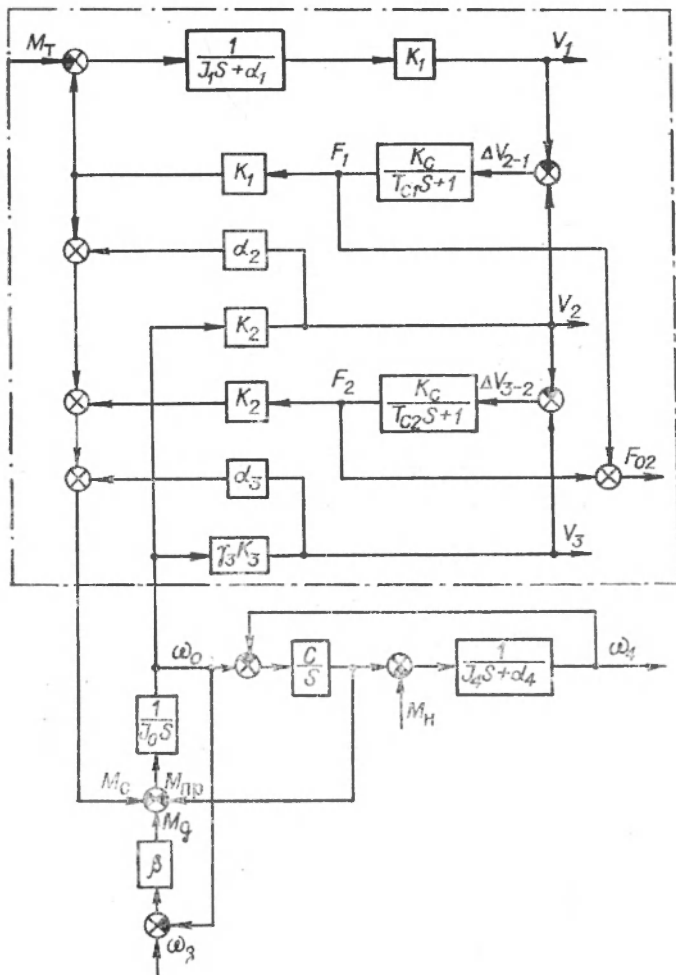


Рис. 3. Структурна схема моделі машини.

Враховуючи функціональну схему (рис. 2) і рівняння (1) — (5), на рис. 3 побудована структурна схема моделі листорізальної ротаційної машини. Коефіцієнт γ_3 враховує проковзування фрикціона привода вивідних роликів; $K_3 = R_3/i_3$, $K_4 = R_4/i_4$ — коефіцієнти, які враховують передаточне число та радіуси вивідного ролика і барабана різання.

Розглянемо спочатку просту модель листорізальної машини без врахування жорсткості електродвигуна та барабана різання, показану на рис. 3 штрих-пунктирною лінією. На основі структурної схеми запишемо залежність сили натягу \bar{F}_1 на першій ділянці стрічки від гальмівного моменту, прикладеного до осі рулону:

$$F_1(s) = \left[\frac{K_1 K_c}{(I_1 s + \alpha_1)(T_{c1} s + 1)} \left(1 + \frac{K_2 \alpha_2}{I_0 s} - \frac{K_2^2 K_c}{I_0 s (T_{c2} s + 1)} + \frac{\gamma_3 K_3 K_c K_2}{I_0 s (T_{c2} s + 1)} + \frac{\gamma_3 K_3 \alpha_3}{I_0 s} \right) \right] \Delta_1^{-1} M_r(s). \quad (6)$$

Детермінант структурної схеми простої моделі листорізальної машини

$$\Delta_1 = 1 + W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_1 W_3 - W_1 W_4 + W_1 W_5 + W_1 W_6,$$

де передаточні функції схем контурної частини

$$W_1 = \frac{K_1^2 K_c}{(I_1 s + \alpha_1)(T_{c1} s + 1)}; \quad W_2 = \frac{K_1 K_2 K_c}{I_0 s (T_{c1} s + 1)}; \quad W_3 = \frac{K_2 \alpha_2}{I_0 s};$$

$$W_4 = \frac{K_1^2 K_c}{I_0 s (T_{c1} s + 1)}; \quad W_5 = \frac{\gamma_3 K_3 K_c K_2}{I_0 s (T_{c2} s + 1)}; \quad W_6 = \frac{\gamma_3 K_3 \alpha_3}{I_0 s}.$$

Після перетворень

$$F_1(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} M_r(s), \quad (7)$$

де

$$b_2 = K_1 K_c I_0 T_{c2}; \quad b_1 = K_1 K_c I_0 + K_1 K_c K_2 \alpha_2 T_{c2} + K_1 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3;$$

$$b_0 = K_1 K_c K_2 \alpha_2 - K_1 K_c^2 K_2^2 + K_1 K_c^2 \gamma_3 K_3 K_2 + K_1 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3;$$

$$a_4 = I_0 I_1 T_{c1} T_{c2}; \quad a_3 = I_0 I_1 T_{c1} T_{c2} + I_0 I_1 T_{c1} + K_2 \alpha_2 I_1 T_{c1} T_{c2} +$$

$$+ K_2 \alpha_2 I_1 T_{c1} T_{c2} + \gamma_3 K_3 \alpha_3 I_1 T_{c1} T_{c2}; \quad a_2 = \alpha_1 I_0 T_{c2} + I_0 I_1 +$$

$$+ \alpha_1 I_0 T_{c1} I_1 + K_1^2 K_c I_0 T_{c2} + K_1 K_2 K_c I_1 T_{c2} + K_2 \alpha_2 I_1 T_{c2} +$$

$$+ K_2 \alpha_2 \alpha_1 T_{c1} T_{c2} + K_2 \alpha_2 I_1 T_{c1} - K_2^2 K_c I_1 T_{c1} + \gamma_3 K_3 K_c K_2 I_1 T_{c1} +$$

$$+ \gamma_3 K_3 \alpha_3 I_1 T_{c2} + \gamma_3 K_3 \alpha_3 \alpha_1 T_{c1} T_{c2} + \gamma_3 K_3 \alpha_3 I_1 T_{c1}; \quad a_1 = \alpha_1 I_0 +$$

$$+ K_1^2 K_c I_0 + K_1 K_2 K_c I_1 + K_1 K_2 K_c \alpha_1 T_{c2} + K_2 \alpha_2 \alpha_1 T_{c2} + K_2 \alpha_2 I_1 +$$

$$+ K_2 \alpha_2 \alpha_1 - K_2^2 K_c I_1 - K_2^2 K_c \alpha_1 T_{c1} + \gamma_3 K_3 K_c K_2 I_1 +$$

$$+ \gamma_3 K_3 K_c K_2 \alpha_1 T_{c1} + \gamma_3 K_3 \alpha_3 \alpha_1 T_{c2} + \gamma_3 K_3 \alpha_3 I_1 + \gamma_3 K_3 \alpha_3 \alpha_1 T_{c1} +$$

$$+ K_1^2 K_c K_2 \alpha_2 T_{c2} + K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3 T_{c2}; \quad a_0 = K_1 K_2 K_c \alpha_1 + K_2 \alpha_2 \alpha_1 -$$

$$- K_2^2 K_c \alpha_1 + \gamma_3 K_3 K_c K_2 \alpha_1 + \gamma_3 K_3 \alpha_3 \alpha_1 + K_1^2 K_c K_2 \alpha_2 - K_1^2 K_c^2 K_2^2 +$$

$$+ K_1^2 K_c^2 K_2 \gamma_3 K_3 + K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3.$$

Приймаючи, що оператор s дорівнює нулеві, визначаємо статичну залежність сили F_1 від гальмівного моменту:

$$F_1 = \frac{K_1 K_c K_2 \alpha_2 - K_1 K_c^2 K_2 + K_1 K_c^2 \gamma_3 K_3 K_2 + K_1 K_2 K_c \alpha_1 + K_2 \alpha_2 \alpha_1 - K_2^2 K_c \alpha_1 + \gamma_3 K_3 K_c K_2 \alpha_1 + K_1 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3}{+ \gamma_3 K_3 \alpha_3 \alpha_1 + K_1^2 K_c K_2 \alpha_2 - K_1^2 K_c^2 K_2^2 + K_1^2 K_c^2 K_2 \gamma_3 K_3 + K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3} M_r. \quad (8)$$

Сила натягу на першій ділянці стрічки залежить від сил тертя, технологічних навантажень, гальмівного моменту та радіуса рулону. Нехтуючи силами тертя, записуємо

$$F_1 = \frac{K_1 (K_c^2 \gamma_3 K_3 K_2 - K_c^2 K_2^2)}{K_1^2 (K_c^2 \gamma_3 K_3 K_2 - K_c^2 K_2^2)} M_r = \frac{1}{K_1} M_r. \quad (9)$$

Таким чином, статичне відхилення сили натягу F_1 , викликане зміною гальмівного моменту, визначається радіусом рулону та відповідним передаточним числом.

Запишемо залежність приросту сили натягу на другій ділянці стрічки від гальмівного моменту

$$F_2(s) = \left[\frac{K_1^2 K_c^2 \gamma_3 K_3}{(I_1 s + \alpha_1) I_0 s (T_{c1} s + 1) (T_{c2} s + 1)} - \frac{K_1^2 K_c^2 K_2}{(T_{c1} s + 1) (I_1 s + \alpha_1) I_0 s (T_{c2} s + 1)} \right] \Delta_1^{-1} M_1(s). \quad (10)$$

Після перетворень

$$F_2(s) = \frac{b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} M_r(s), \quad (11)$$

де

$$b_0 = K_1^2 K_c^2 \gamma_3 K_3 - K_1^2 K_c^2 K_2.$$

З виразу (11) знаходимо статичну залежність сили F_2 від моменту

$$F_2 = \frac{K_1^2 K_c^2 \gamma_3 K_3 - K_1^2 K_c^2 K_2}{K_1 K_2 K_c \alpha_1 + K_2 \alpha_2 \alpha_1 - K_1^2 K_c \alpha_1 + \gamma_3 K_3 K_c K_2 \alpha_1 + K_1 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3 + \gamma_3 K_3 \alpha_3 \alpha_1 + K_1^2 K_c K_2 \alpha_2 - K_1^2 K_c^2 K_2^2 + K_1^2 K_c^2 K_2 \gamma_3 K_3 + K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3} M_r. \quad (12)$$

Таким чином, приріст натягу стрічки на другій ділянці визначається в основному коефіцієнтом γ_3 , тобто проковзуванням фрикціона.

Запишемо залежність сили натягу на першій ділянці стрічки від різниці швидкостей ΔV_{2-1} мірного циліндра і рулона

$$F_1(s) = \left[\frac{K_c}{T_{c1}s + 1} \left(1 + \frac{K_2^2 K_c}{I_0 s} - \frac{K_2^2 K_c}{I_0 s (T_{c2}s + 1)} + \frac{\gamma_3 K_c K_c K_c}{I_0 s (T_{c2}s + 1)} + \frac{\gamma_3 K_3 \alpha_3}{I_0 s} \right) \right] \Delta_1^{-1} \Delta V_{2-1}(s). \quad (13)$$

Після перетворень

$$F_1(s) = \frac{b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \Delta V_{2-1}(s). \quad (14)$$

Коефіцієнти полінома знаменника a_4, a_3, a_2, a_1, a_0 визначаються так само, як і в виразах (7), (11):

$$\begin{aligned} b_3 &= K_c I_0 I_1 T_{c2}; & b_2 &= K_c I_0 I_1 + K_c K_2 \alpha_2 I_1 T_{c2} + K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3 I_1 T_{c2} + \\ &+ K_c \alpha_1 I_0 T_{c2}; & b_1 &= K_c K_2 \alpha_2 I_1 - K_2^2 K_c^2 I_1 + \gamma_3 K_3 K_c K_2 I_1 + \\ &+ K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3 I_1 + K_1 \alpha_1 I_0 + K_c \alpha_1 K_2 \alpha_2 T_{c2} + K_c \alpha_1 \gamma_3 K_3 \alpha_3 T_{c2}; \\ b_0 &= K_c \alpha_1 K_2 \alpha_2 - \alpha_1 K_2^2 K_c^2 + \alpha_1 \gamma_3 K_3 K_c^2 K_2 + K_c \alpha_1 \gamma_3 K_3 \alpha_3. \end{aligned}$$

Статична залежність сили натягу \bar{F}_1 від різниці швидкостей ΔV_{2-4} в усталеному режимі

$$\begin{aligned} \bar{F}_1 &= \frac{K_c \alpha_1 K_2 \alpha_2 - \alpha_1 K_2^2 K_c^2 + \alpha_1 \gamma_3 K_3 K_c^2 K_2 + K_c \alpha_1 \gamma_3 K_3 \alpha_3}{K_1 K_2 K_c \alpha_1 + K_2 \alpha_2 \alpha_1 - K_2^2 K_c \alpha_1 + \gamma_3 K_3 K_c K_2 \alpha_1 + \gamma_3 K_3 \alpha_3 \alpha_1 +} \\ &+ \frac{K_1^2 K_c K_2 \alpha_2 - K_1^2 K_c K_2^2 + K_1^2 K_c K_2 \gamma_3 K_3 + K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3}{\Delta V_{2-1}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Нехтуючи силами тертя, тобто приймаючи $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0, \alpha_3 = 0$, одержуємо

$$F_1 = \frac{0}{K_1^2 K_c^2 \gamma_3 K_3 K_2 - K_1^2 K_c^2 K_2^2} \Delta V_{2-1}. \quad (16)$$

Таким чином, натяг стрічки на першій ділянці мало залежить від швидкості роботи машини. Це пояснюється тим, що мірний циліндр ведучий і механічно не зв'язаний з розмотувальною секцією, а має зв'язок тільки через стрічку.

Розглянемо тепер модель ротаційної листорізальної машини з врахуванням жорсткості механічної характеристики електродвигуна. На основі структурної схеми (рис. 3) запишемо залежність сили натягу F_1 від гальмівного моменту рулону:

$$\begin{aligned} F_1 &= \left[\frac{K_1 K_c}{(I_0 s + \alpha_1)(T_{c1}s + 1)} \left(1 + \frac{K_2 \alpha_2}{I_0 s} - \frac{K_2^2 K_c}{I_0 s (T_{c2}s + 1)} + \right. \right. \\ &+ \left. \left. \frac{\gamma_3 K_3 K_c K_2}{I_0 s (T_{c2}s + 1)} + \frac{\gamma_3 K_3 \alpha_3}{I_0 s} + \frac{\beta}{I_0 s} \right) \right] \Delta_2^{-1} M_r(s). \end{aligned} \quad (17)$$

Детермінант структурної схеми моделі латорізальної машини з врахуванням жорсткості електродвигуна

$$\Delta_2 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7 + W_1 W_3 - W_1 W_4 + \\ + W_1 W_3 + W_1 W_6 + W_1 W_7,$$

де передаточна функція схеми контура, який враховує жорсткість механічної характеристики електродвигуна, $W_7 = \beta/I_0 s$. Після перетворень запишемо

$$F_1(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} M_r(s), \quad (18)$$

де

$$b_2 = K_1 K_c I_0 T_{c2}; \quad b_1 = K_1 K_c I_0 + K_1 K_c K_2 a_2 T_{c2} + K_1 K_c \gamma_3 K_3 a_1 T_{c2} + \\ + \beta T_{c2}; \quad b_0 = K_1 K_c K_2 a_2 - K_1 K_c^2 K_2 + K_1 K_c^2 \gamma_3 K_3 K_2 + K_1 K_c \gamma_3 a_3 + \\ + \beta; \quad a_4 = I_0 I_1 T_{c1} T_{c2}; \quad a_3 = I_0 I_1 T_{c2} + a_1 I_0 T_{c1} T_{c2} + I_0 I_1 T_{c1} + \\ + K_2 a_2 I_1 T_{c1} T_{c2} + \gamma_3 K_3 a_c I_1 T_{c1} T_{c2} + \beta I_1 T_{c1} T_{c2}; \quad a_2 = I_0 I_1 T_{c2} + \\ + a_1 I_0 T_{c1} T_{c2} + K_1^2 K_c I_0 T_{c2} + K_1 K_2 K_c I_1 T_{c2} + K_2 a_2 I_1 T_{c2} + \\ + K_2 a_2 a_1 T_{c1} T_{c2} + K_2 a_2 I_1 T_{c1} - K_2^2 K_c I_1 T_{c1} + \gamma_3 K_3 K_c K_2 I_1 T_{c1} + \\ + \gamma_3 K_3 a_3 I_1 T_{c2} + \gamma_3 K_3 a_3 a_1 T_{c1} T_{c2} + \gamma_3 K_3 a_3 I_1 T_{c1} + \beta I_1 T_{c2} + \\ + \beta a_1 T_{c1} T_{c2} + \beta I_1 T_{c2} + \beta a_1 T_{c1} T_{c2} + \beta I_1 T_{c1}; \quad a_1 = a_1 I_0 + \\ + K_1^2 K_c I_0 + K_1 K_2 K_c I_1 + K_1 K_2 K_c a_1 T_{c2} + K_2 a_2 a_1 T_{c2} + K_2 a_2 I_1 + \\ + K_2 a_2 a_1 - K_1^2 K_c I_1 - K_2^2 K_c a_1 T_{c1} + \gamma_3 K_3 K_c K_2 I_1 + \gamma_3 K_3 K_c K_2 a_1 \times \\ \times T_{c1} + \gamma_3 K_3 a_3 a_1 T_{c2} + \gamma_3 K_3 a_3 I_1 + \gamma_3 K_3 a_3 a_1 T_{c1} + K_1^2 K_c K_2 a_2 \times \\ \times T_{c2} + K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 a_3 T_{c2} + \beta a_1 T_{c2} + \beta a_1 T_{c2} + \beta I_1 T_{c1} + K_1^2 K_c \beta T_{c2}; \\ a_0 = K_1 K_2 K_c a_1 + K_2 a_2 a_1 - K_2^2 K_c a_1 + \gamma_3 K_3 K_c K_2 a_1 + \gamma_3 K_3 a_3 a_1 + \\ + K_1^2 K_c K_2 a_2 - K_1^2 K_c^2 K_2^2 + K_1^2 K_c^2 K_2 \gamma_3 K_3 + K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 a_3 + \\ + \beta a_1 + K_1^2 K_c \beta.$$

Приймаючи, що операатор s дорівнює нулеві, знаходимо статичну залежність сили F_1 від гальмівного моменту:

$$F_1 = \frac{K_1 K_c K_2 a_2 - K_1 K_c^2 K_2^2 + K_1 K_c \gamma_3 K_3 K_2 + K_1 K_c \gamma_3 K_3 a_3 + \beta}{K_1 K_2 K_c a_1 + K_2 a_2 a_1 - K_1^2 K_c a_1 + \gamma_3 K_3 K_c K_2 a_1 + \gamma_3 K_3 a_3 a_1 + \\ + K_1^2 K_c K_2 a_2 - K_1^2 K_c^2 K_2^2 + K_1^2 K_c^2 K_2 \gamma_3 K_3 + K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 a_3 + \\ + \beta a_1 + K_1^2 K_c \beta} M_r. \quad (19)$$

Для спрощення аналізу залежності (19) прийемо, що сили тертя і технологічних навантажень відсутні. Тоді

$$F_1 = \frac{K_1 (K_c^2 \gamma_3 K_3 - K_c^2 K_2^2) + \beta}{K_1 (K_c^2 \gamma_3 K_3 - K_c^2 K_2^2) + K_1^2 K_c \beta} M_r. \quad (20)$$

З (20) видно, що зміна сили натягу на першій ділянці стрічки залежить не тільки від гальмівного моменту, радіуса рулону, але й жорсткості електродвигуна.

Запишемо залежність приросту сили натягу \bar{F}_2 на другій ділянці стрічки від гальмівного моменту, прикладеного до осі рулону:

$$F_2(s) = \left[\frac{K_1^2 K_c \gamma_3 K_3}{I_0 s (I_1 s + \alpha_1) (T_{c1} s + 1) (T_{c2} s + 1)} - \frac{K_1^2 K_c^2 K_c}{I_0 s (I_1 s + \alpha_1) (T_{c1} s + 1) (T_{c2} s + 1)} \right] \Delta_2^{-1} M_r(s). \quad (21)$$

Після перетворень

$$F_2(s) = \frac{b_n}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} M_r(s). \quad (22)$$

Визначаємо залежність приросту сили натягу стрічки на другій ділянці від гальмівного моменту M_r в усталеному режимі:

$$F_2 = \frac{K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 - K_1^2 K_c^2 K_2}{K_1 K_2 K_c \alpha_1 + K_2 \alpha_2 \alpha_1 - K_2^2 K_c \alpha_1 + \gamma_3 K_3 K_c K_2 \alpha_1 + \gamma_3 K_3 \alpha_3 \alpha_1 + K_1 K_c K_2 \alpha_2 - K_1^2 K_c^2 K_2^2 + K_1^2 K_c^2 K_2 \gamma_2 K_3 + K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3 + \beta \alpha_1 + K_1^2 K_c \beta} M_r. \quad (23)$$

Нехтуючи силами тертя і технологічних навантажень, отримуємо

$$F_2 = \frac{K_1^2 K_c^2 \gamma_3 K_3 - K_1^2 K_c^2 K_2}{(K_1^2 K_c^2 \gamma_3 K_3 - K_1^2 K_c^2 K_2) K_2 + K_1^2 K_c \beta} M_r. \quad (24)$$

Отже, зміна приросту сили натягу на другій ділянці стрічки залежить від моменту M_r , радіуса мірного циліндра, проковзування фрикціона, жорсткості механічної характеристики електродвигуна.

Розглянемо залежність приросту сили натягу на другій ділянці стрічки від різниці швидкостей ΔV_{3-2} вивідних роликів мірного циліндра:

$$F_2(s) = \left[\frac{K_c}{T_{c2} s + 1} \left(1 + \frac{K_1 K_c}{(I_1 s + \alpha_1) (T_{c1} s + 1)} + \frac{K_1 K_2 K_c}{I_0 s (T_{c1} s + 1)} + \frac{K_2 \alpha_2}{I_0 s} + \frac{\gamma_3 K_3 \alpha_3}{I_0 s} + \frac{\beta}{I_0 s} + \frac{K_1^2 K_c K_2 \alpha_2}{I_0 s (I_1 s + \alpha_1) (T_{c1} s + 1)} + \frac{K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3}{I_0 s (I_1 s + \alpha_1) (T_{c1} s + 1)} + \frac{K_1^2 K_c \beta}{I_0 s (I_1 s + \alpha_1) (T_{c1} s + 1)} \right) \Delta_2^{-1} \Delta V_{3-2}(s) \right]. \quad (25)$$

Після перетворень

$$F_2(s) = \frac{b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \Delta V_{3-2}(s), \quad (26)$$

де

$$\begin{aligned} b_3 &= K_c I_0 I_1 T_{c1}; \quad b_2 = K_c I_0 I_1 + K_c \alpha_1 I_0 T_{c1} + K_c K_2 \alpha_2 I_1 T_{c1} + \\ &+ K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3 I_1 T_{c1} + K_c \beta I_1 T_{c1}; \quad b_1 = K_c \alpha_1 I_0 + K_c^2 K_1^2 I_0 + \\ &+ K_c^2 K_1 K_2 I_1 + K_c K_2 \alpha_2 I_1 + K_c K_2 \alpha_2 \alpha_1 T_{c1} + K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3 I_1 + \\ &- K_c \gamma_3 \alpha_3 \alpha_1 T_{c1} + K_c \beta I_1 + K_c \beta \alpha_1 T_{c1}; \quad b_0 = K_c^2 K_1 K_2 \alpha_1 + \\ &+ K_c K_2 \alpha_2 \alpha_1 + K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3 \alpha_1 + K_c \beta \alpha_1 + K_c K_1^2 K_2 \alpha_2 + \\ &+ K_c^2 K_1^2 \gamma_3 K_3 \alpha_3 + K_c^2 K_1^2 \beta. \end{aligned}$$

Коефіцієнти полінома знаменника a_4, a_3, a_2, a_1, a_0 визначаються так, як у виразах (18)–(22).

Приймаючи, що оператор s дорівнює нулеві, знаходимо статичну залежність приросту сили F_2 від різниці швидкостей ΔV_{3-2} :

$$\begin{aligned} F_2(s) &= \frac{K_c^2 K_1 K_2 \alpha_1 + K_c K_2 \alpha_2 \alpha_1 + K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3 \alpha_1 + K_c \beta \alpha_1 +}{K_1 K_2 K_c \alpha_1 + K_2 \alpha_2 \alpha_1 - K_c^2 K_c \alpha_1 + \gamma_3 K_3 K_c K_2 \alpha_1 +} \\ &+ \frac{K_c^2 K_1^2 K_2 \alpha_2 + K_c^2 K_1^2 \gamma_3 K_3 \alpha_3 + K_c^2 K_1^2 \beta}{+ \gamma_3 K_3 \alpha_3 \alpha_1 + K_1^2 K_c K_2 \alpha_2 - K_1^2 K_c^2 K_2^2 + K_1^2 K_c^2 K_2 \gamma_3 K_3 +} \\ &+ \frac{K_1^2 K_c \gamma_3 K_3 \alpha_3 + \beta \alpha_1 + K_1^2 K_c \beta}{\Delta V_{3-2}}. \quad (27) \end{aligned}$$

Для спрощення аналізу виразу (27) знехтуємо силами третья і технологічних навантажень. Тоді

$$F_2 = \frac{K_c \beta}{K_c K_2 (\gamma_3 K_3 - K_2) + \beta} \Delta V_{3-2}. \quad (28)$$

Таким чином, приріст сили натягу стрічки на другій ділянці залежить від різниці швидкостей мірного циліндра та вивідних роликів, проковзування фрикціона і жорсткості механічної характеристики електродвигуна. На основі побудованої структурної схеми (рис. 3) можна виконати розрахунок перехідних процесів машини по натягу та швидкості з урахуванням пружних властивостей стрічкових матеріалів і валопроводів, а також отримати і ряд інших залежностей, необхідних для аналізу роботи листорізальної машини, які можуть бути використані при модернізації або проектуванні нових машин цього типу.

1. Баширин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами. Л., 1982. 2. Волощак И. А., Ефреймович Ю. Е., Ройзен С. С. Электрооборудование полиграфических машин. М., 1983. 3. Иванов Г. М., Левин Г. М., Хуторецкий В. М. Автоматизированный многодвигательный электропривод постоянного тока. М., 1978. 4. Луцкий М. М., Дурняк Б. В., Волощак И. А. Анализ упрощенных схем моделей систем натягу наперовой стрічки // Поліграфія і видавнича справа. 1983. № 19. С. 66–72.

Стаття надійшла до редакції 12.01.87