УДК 677.052.24.001

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА НАМАТЫВАНИЯ РОВНИЦЫ КАК ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЕЕ НАТЯЖЕНИЯ

А.П. СОРКИН, А.А. ЗАДВИЖКИН

(Костромской государственный технологический университет)

В работе [1] показано, что механизм наматывания ровницы без принудительного привода катушек с индукционными тормозками обеспечивает стабилизацию натяжения ровницы в стационарном режиме работы машины с использованием программного регулирования тока в обмотках тормозков. Однако в нестационарных режимах, то есть в период пуска и останова машины, имеет место отклонение натяжения ровницы от заданного уровня. Исключить такое явление можно введением корректирующего контура системы автоматического регулирования с использованием датчика уровня натяжения ровницы в зоне вытяжной прибор – головка рогульки.

Рассмотрим процесс наматывания ровницы с крутильно-мотальным механизмом без принудительного привода катушек с индукционными тормозками.

Уравнение динамики зоны намотки можно представить в виде

$$v_в K_у - \frac{v_н}{1+\varepsilon} = \frac{d}{dt}\left(\frac{\ell}{1+\varepsilon}\right) = -\ell\frac{\ell}{(1+\varepsilon)^2}\frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1)$$

где ℓ – длина зоны намотки от выпускной пары вытяжного прибора до катушки; ε – относительная деформация ровницы; $v_в$ и $v_н$ – соответственно скорости выпуска ровницы вытяжным прибором и намотки на катушку; $K_у$ – коэффициент укрутки ровницы;

$$v_н = 2\pi \overset{\circ}{r}_н n_\circ. \quad (2)$$

Здесь $n_о$ – число витков, наматывающихся на катушку в секунду:

$$n_о = n_р - n_к, \quad (3)$$

где $n_р$ и $n_к$ – соответственно частоты вращения рогульки и катушки.

Натяжение ровницы можно выразить как

$$T = \varepsilon/\alpha_1, \quad (4)$$

где α_1 – коэффициент продольной деформации ровницы от ее натяжения, 1/Н;

$$\alpha_1 = 1/G_р.$$

Здесь $G_р$ – жесткость ровницы при растяжении, Н.

Из (4)

$$\varepsilon = \alpha_1 T, \quad (5)$$

С учетом (5) выражение (1) можно записать в виде

$$v_в K_у - \frac{v_н}{1+\alpha_1 T} = -\frac{\alpha_1 \ell}{(1+\alpha_1 T)^2}\frac{dT}{dt}. \quad (6)$$

Дифференциальное уравнение, устанавливающее зависимость скорости изменения радиуса наматывания $r_н$ от толщины δ наматываемой ровницы, можно представить в виде

$$\frac{dr_н}{dt} = \frac{\delta v_н}{2\pi r_н(1+\alpha T)}. \quad (7)$$

Здесь α – коэффициент сплющивания ровницы от натяжения при наматывании на паковку:

$$\alpha = (\delta - \delta_{факт})/\,\delta\, T,$$

где $\delta_{факт}$ – толщина деформированной под натяжением Т ровницы.

Считаем, что все отклонения величин от базовых значений малы. Выражение (6) в приращениях по Т запишется в виде

$$v_в K_у - v_н + \alpha_1 v_в K_у (T^{\circ} + \Delta T) =$$
$$= -\frac{\alpha_1 \ell}{(1+\alpha_1 T^{\circ})\left(1+\frac{\alpha_1 \Delta T}{1+\alpha_1 T^{\circ}}\right)} \frac{d\Delta T}{dt}. \qquad (8)$$

Пренебрегая, ввиду малости, величиной $\frac{\alpha_1 \Delta T}{1+\alpha_1 T^o}$ и обозначив $\ell_э = \frac{\ell}{1+\alpha_1 T^o}$, получим уравнение динамики зоны намотки в приращениях по Т:

$$\alpha_1 \ell_э \frac{d\Delta T}{dt} + \alpha_1 v_в K_1 \ell_э =$$
$$= v_н - v_в K_у - \alpha_1 v_в K_у T^o. \qquad (9)$$

Считая, что

$$v_н = v_н^o + \Delta v_н \qquad (10)$$

и подставляя в (9), получим

$$\alpha_1 \ell_э \frac{d\Delta T}{dt} + \alpha_1 v_в K_у \Delta T =$$
$$= v_н^o - v_в K_у + \Delta v_в - \alpha_1 v_в K_у T^o. \qquad (11)$$

При $\Delta T=0$:

$$\alpha_1 v_в K_у \Delta T = v_н^o - v_в K_у. \qquad (12)$$

С учетом (12) выражение (11) запишется в виде

$$\alpha_1 \ell_э \frac{d\Delta T}{dt} + \alpha_1 v_в K_у \Delta T = \Delta v_н. \qquad (13)$$

Преобразуем (11) к виду:

$$\frac{\ell_э}{v_в K_у} = \frac{d\frac{\Delta T}{T^o}}{dt} + \frac{\Delta T}{T^o} = \frac{\Delta v_н}{v_н^o} \frac{v_н^o}{\alpha_1 v_в K_у T^o}. \qquad (14)$$

Обозначив в выражении (14) $\Delta\overline{T} = \frac{\Delta T}{T^o}$ – относительная величина отклонения натяжения от базового значения; $\Delta\overline{v}_н = \frac{\Delta v_н}{v_н^o}$ – относительная величина отклонения скорости наматывания от базовой; $\frac{\ell_э}{v_в K_у} = \tau_1$ – постоянная времени; $\frac{v_н^o}{\alpha_1 v_в K_у T^o} = \psi_1$ – постоянный безразмерный коэффициент, получим уравнение динамики зоны намотки в относительных величинах отклонений Т и $v_н$:

$$\tau_1 \frac{d\Delta\overline{T}}{dt} + \Delta\overline{T} = \psi_1 \Delta\overline{v}_н. \qquad (15)$$

Преобразуя выражение (1) из [1]с учетом выражения для силы N прижима лапки к намотке из [2], получим

$$\theta'_0 \frac{dn_к}{dt} = (T^o + \Delta T) r_н + \mu r_н (c'(T^o + \Delta T) + c_4 - c_5 r_н) - c_3 i^2 - M_c, \qquad (16)$$

где c', c_4, c_5 – коэффициенты, зависящие от конструкции лапки и постоянные для данной заправки машины; i – сила тока в обмотке возбуждения тормозка; M_c – момент сопротивления вращению в опорах тормозка и аэродинамического сопротивления при вращении ротора и катушки с ровницей.

$$\theta'_0 = 2\pi\theta_0.$$

Здесь θ_0 – момент инерции массы ротора тормозка и катушки с ровницей относительно оси вращения.

Запишем (16) в приращениях, считая $r_н = r_н^o + \Delta r_н$, $i = i^o + \Delta i$, $n_к = n_к^o + \Delta n_к$.

Следует отметить, что $r_н^o$, i^o, $n_к^o$, θ'_0, являясь основными уровнями, в каждый момент времени работы корректирующего контура в программном режиме меняются во времени, то есть

$$r_н^o = r_н^o(t),\ i^o = i^o(t),\ n_к^o = n_к^o(t),$$
$$\theta'_o = \theta'_o(t).$$

Ввиду весьма малых значений отклонения момента инерции массы тормозка и катушки с ровницей от базового уровня θ'_0 за время Δt при анализе работы корректирующего контура этим отклонением пренебрегаем и считаем θ'_0 постоянным на каждом базовом уровне. Тогда

$$\theta'_0 \frac{dn_к^o}{dt} + \theta'_0 \frac{d\Delta n_к}{dt} = (T^o + \Delta T)(r_н^o + \Delta r_н) + \mu(r_н^o + \Delta r_н)(c'(T^o + \Delta T) + c_4 -$$
$$- c_5(r_н^o + \Delta r_н)) - c_3(i^o + \Delta r)^2(n_к^o + \Delta n_к) - M_c. \qquad (17)$$

Вычитая из (17) уравнение программного режима (выражение (16) при ΔT =0), и пренебрегая из-за малости членами с входящими в них значениями $\Delta T \Delta r_н$; $(\Delta r_н)^2$; $(\Delta i)^2$; $\Delta i \Delta n_к$ и перейдя к безразмерным относительным отклонениям, получим

$$\frac{\theta'^o_0 n_к^o d\dfrac{\Delta n_к}{n_к^o}}{T_0^o r_н^o dt} = \frac{\Delta T}{T^o} + \frac{\Delta r_н}{r_н^o} + \mu c' \frac{\Delta T}{T^o} + \mu c' \frac{\Delta r_н}{r_н^o} + \frac{\mu c_4}{T^o}\frac{\Delta r_к}{r_н^o} -$$
$$- \frac{2\mu c_5 r_н^o}{T^o}\frac{\Delta r_н}{r_н^o} - \frac{c_3(i^o)^2 n_к^o}{T^o \Delta r_н^o}\frac{\Delta n_к}{n_г^o} - \frac{2c_3(i^o)^2 n_к^o}{T^o \Delta r_н^o}\frac{\Delta i}{i^o}. \qquad (18)$$

Обозначим

$\dfrac{\theta'^o_0 n_к^o}{T^o r_н^o} = \tau_2$ – механическая постоянная времени системы наматывания, с ;

$\dfrac{\Delta r_н}{r_н^o} = \Delta \bar{r}_н$ – относительная величина отклонения радиуса наматывания от базового значения;

$\dfrac{\Delta n_к}{n_к^o} = \Delta \bar{n}_к$ – относительная величина отклонения частоты вращения ротора тормозка с катушкой от базовой;

$\dfrac{\Delta i}{n^o} = \Delta \bar{i}$ – относительная величина отклонения силы тока в обмотке тормозка от базового значения;

$\psi_2 = \mu c'$; $\psi_2 = \dfrac{\mu c_4}{T^o}$; $\psi_4 = \dfrac{2\mu c_5 r_н^o}{T^o}$;

$\psi_5 = \dfrac{2c_3(i^o)n_к^o}{T^o r_н^o}$ – постоянные безразмерные коэффициенты.

С учетом принятых обозначений уравнение (18) записывается в виде

$$\tau_2 \frac{d\Delta \bar{n}_к}{dt} = \Delta \bar{T} + \Delta \bar{r}_н + \psi_2(\Delta \bar{T} + \Delta \bar{r}_н) + \psi_3 \Delta \bar{r}_н - \psi_4 \Delta \bar{r}_н - \psi_5(\Delta \bar{n}_к + 2\Delta \bar{i}). \qquad (19)$$

и является уравнением движения ротора тормозка с катушкой в относительных отклонениях от программного режима.

ВЫВОДЫ

Получены уравнения движения катушки с ровницей в крутильно-мотальном механизме ровничной машины без принудительного привода катушек с индукционными тормозками, необходимые для дальнейшего анализа системы управления натяжением ровницы с использованием датчика контроля его уровня

ЛИТЕРАТУРА

1. *Соркин А.П., Хавкин В.П.* Анализ динамики системы стабилизации натяжения ровницы // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1975, №3. С.124…127.

2. *Соркин А.П.* Исследование намотки хлопчатобумажной ровницы без принудительного привода катушек на ровничных машинах: Дис.…канд. техн. наук. – Ташкент, 1971.

3. *Соркин А.П.* Анализ динамики процесса намотки ровницы на ровничной машине // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1984, №3. С.26…30.

4. *Воронов А.А.* Основы теории автоматического управления. – М.: Энергия, 1980.

Рекомендована кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов. Поступила 21.06.2006.