

УДК 677.023: 62-83

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ
ОСНОВЫ И НИТИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
МЕХАНИЗМА СНОВАЛЬНОГО ВАЛА**

**MATHEMATIC DESIGNING OF THE PROCESS OF WARP DEFORMATION
AND A THREAD IN THE SYSTEM OF AN ELECTRIC DRIVE
OF A WARPING SHAFT MECHANISM**

В.Ф. ГЛАЗУНОВ, К.С. ШИШКОВ
V.F. GLAZUNOV, K.S. SHISHKOV

(Ивановский государственный энергетический университет)
(Ivanovo State Power University)
E-mail: ttyp@igta.ru

Представлена разработка математической модели системы асинхронного электропривода механизма сновального вала, построенной с учетом его влияния на процесс деформации основы и ее отдельной нити.

The article presents development of the mathematical model of the system of an asynchronous electric drive for a warping shaft mechanism designed in view of its influence on the process of warp deformation and its separate thread.

Ключевые слова: электропривод, сновальный вал, скорость, натяжение, деформация.

Keywords: an electric drive, a warping shaft, speed, tension, deformation.

В процессе наматывания нитей основы на сновальный вал момент сопротивления вращению его асинхронного двигателя (АД) при условии пренебрежения потерями в двигателе и редукторе создается натяжением основы и может быть представлен как произведение радиуса намотки на количество нитей и некоторое среднее натяжение одной нити. В процессе пуска или при отработке возмущений в системе электропривода сновальный и мерильный вал совершают движение, влияющее на натяжение всех нитей, которое обуславливает переходный процесс натяжения каждой

отдельной нити, определяемый индивидуальными условиями ее транспортирования через нитенатяжитель и действующими на нее силами трения.

Таким образом натяжение основы, отнесенное к количеству нитей, является некоторым средним для всех нитей натяжением, а изменение натяжения одной нити может рассматриваться как отклонение от этого среднего значения, обусловленное условиями ее транспортирования.

Упростим задачу моделирования процесса деформации, пренебрегая действием уплотняющего вала, продольными и попе-

речными колебаниями нити, сопровождаемыми резонансными явлениями, а также массой нити и влиянием распределенного аэродинамического трения ее о воздух. Будем считать также известной зависимость силы трения нити в нитенатяжителе (НН) и рассматривать процессы в области положительных натяжений. Для исследования процессов деформации нити воспользуемся функциональной схемой (рис. 1 – технологическая схема зон деформации нити между нитенатяжителем, мерильным и сновальным валами), включающей формируемую паковку 2, нитенатяжитель 3, мерильный вал 4 и нить 1.

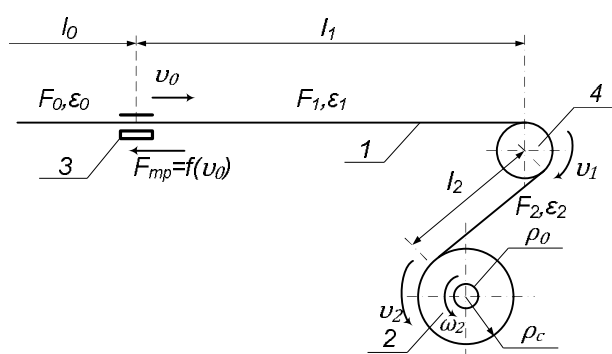


Рис. 1

Здесь v_1, v_2, v_0 – линейные скорости мерильного и сновального валов и скорость движения нити на выходе НН, м/с; $F_2, F_1, F_0, \varepsilon_2, \varepsilon_1, \varepsilon_0$ – натяжения и относительные удлинения нити в зонах деформации, Н; $F_{тр} = f(v_0)$ – сила трения нити в НН, Н; ρ_0, ρ_c – начальный и текущий радиусы намотки, м; ℓ, ℓ_2 – длины нити в зонах деформации, м.

Учитывая принятые выше допущения, запишем линеаризованное уравнение материального баланса нити в зоне деформации [1]:

$$T_{c1} \frac{dF_1}{dt} = E_0 k_v (v_1 - v_0) + (F_0 - F_1), \quad (1)$$

где E_0 – модуль упругости нити, Н/м; v_{cp} – средняя скорость движения нити, м/с; $k_v = 1/v_{cp}$; $T_{c1} = \ell_1/v_{cp}$ – постоянная вре-

мени нити в зоне деформации между НН и мерильным валом, с.

Используя преобразование Лапласа, получим передаточную функцию, связывающую изображения натяжения нити и рассогласования линейных скоростей ее движения в зоне деформации:

$$H_1(s) = \frac{F_1(s)}{v_1(s) - v_0(s)} = \frac{E_0 k_v}{T_{c1} s + 1}. \quad (2)$$

Примем уравнения математической модели НН, приведенные в [2] в виде:

$$\left. \begin{aligned} H_{нн}(s) &= \frac{F_1(s) - F_{тр}(s)}{F_0(s)} = \frac{k}{s^2 + 2bs + \omega^2}, \\ F_{тр}(s) &= \alpha_0^2 v_0(s), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где α_0 – постоянный коэффициент, определяемый настройкой НН; $H_{нн}(s)$ – передаточная функция НН; $F_{тр}(s)$ – составляющая приращения натяжения нити на выходе НН за счет силы трения, представленной в функции линейной скорости снования, Н; k, b, ω – коэффициенты передачи, демпфирования и собственная частота колебаний НН.

Из (3) линейная скорость движения нити на выходе НН:

$$v_0(s) = \frac{F_1(s) - F_0(s)}{\alpha_0^2} \frac{k}{s^2 + 2bs + \omega^2}. \quad (4)$$

Передаточная функция, связывающая изображения рассогласования линейных скоростей движения нити и ее натяжения в зоне деформации между мерильным и сновальными валами:

$$H_2(s) = \frac{F_2(s)}{v_2(s) - v_1(s)} = \frac{k_v E_0}{T_{c2} s + 1}, \quad (5)$$

где $T_{c2} = \ell_2/v_{cp}$ – постоянная времени нити в зоне между мерильным и сновальными валами, с.

Структурная схема, построенная на основе передаточных функций (2), (4), (5), описывающих процесс деформации нити в зонах ее транспортирования, приведена на рис. 2.

Процессы деформации основы как упругого звена могут быть представлены передаточными функциями, аналогичными (2), (5). На рис. 3 представлена структурная схема зоны деформации основы [3], [4] в системе управления автоматизированным электроприводом (СУАП) с учетом инерционности мерильного вала и возможного ее скольжения по его поверхности в переходных процессах.

Здесь $M_F(s) = F'_2(s) \frac{\rho_c}{i_p}$ – момент сопротивления, создаваемый натяжением основы, Н·м; $M_c(s)$ – сумма моментов сопротивления механизмов сновального и уплотняющего валов, приведенных к валу асинхронного двигателя (АД) сновального вала, Н·м; ω_2 – угловая скорость вращения АД сновального вала, рад/с; $k_{до}$ – коэффициент обратной связи по линейной скорости; i_p – передаточное число редуктора; E – модуль упругости основы, Н;

J_m, ω_1, F_{cm} – момент инерции мерильного вала, $кг \cdot м^2$, его угловая скорость вращения, рад/с и статический момент сопротивления, Н·м; F'_1, F'_2 – натяжения основы на участках зон деформации между НН, мерильным и сновальным валами, Н; $f_{п}, f_{ск}$ – коэффициенты трения покоя и скольжения между основой и поверхностью мерильного вала.

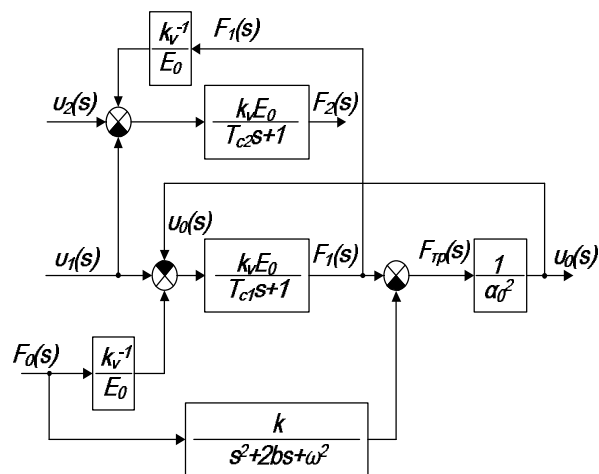


Рис. 2

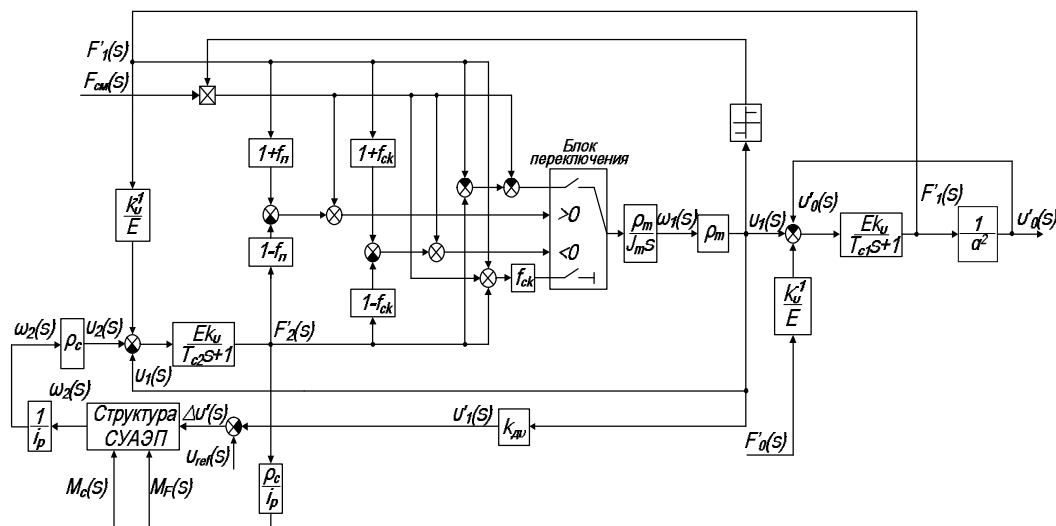


Рис. 3

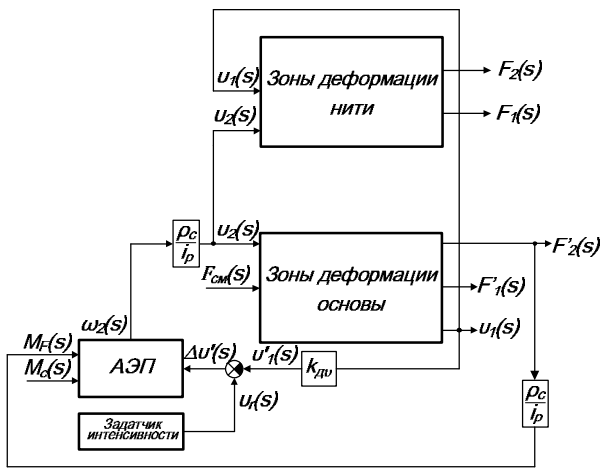


Рис. 4

В процессе работы система электропривода механизма сновального вала обеспечивает заданную скорость движения основы v_2 , которая определяет переходный процесс каждой нити, имеющей свои параметры и условия транспортирования. В этой связи структурные схемы процессов деформации нити (рис. 2) и основы (рис. 3) могут быть объединены в одну структурную схему системы электропривода механизма сновального вала (рис. 4),

на входе которой дополнительно установлен задатчик интенсивности. Анализ выполним с учетом параметров сновальной машины СП-140 [2], [3], [5]: $J_m = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $\rho_m = 0,053 \text{ м}$; $\rho_0 = 0,12 \text{ м}$; $\rho_c^{\max} = 0,3 \text{ м}$; $m = 400$; $E = 485 \text{ Н}$; $E_0 = 1,2 \text{ Н}$; $\ell_1 = 3 \text{ м}$; $\ell_2 = 0,56 \text{ м}$; $v_r = 10 \text{ м/с}$; $i_p = 1,2$; $f_{II} = 0,25$; $f_{ck} = 0,05$; $F_{cm} = 10 \text{ Н}$; $F_0 = 5 \text{ сН}$; $F'_0 = 20 \text{ Н}$; $\alpha = 2$; $\alpha_0 = 0,1$ и АД типа 4A132S4У3 механизма сновального вала, характеристика которого представлена в [6]. Здесь математическая модель СУАЭП построена на основе уравнений Парка-Горева в системе координат d, q , ориентированной по вектору потокосцепления ротора [6]. Регуляторы компонент активного и реактивного тока статора, ЭДС, угловой ω_2 и линейной v_2 скоростей сновального вала рассчитаны применительно к сновальной машине СП-140 с использованием принципов подчиненного регулирования [4], [6].

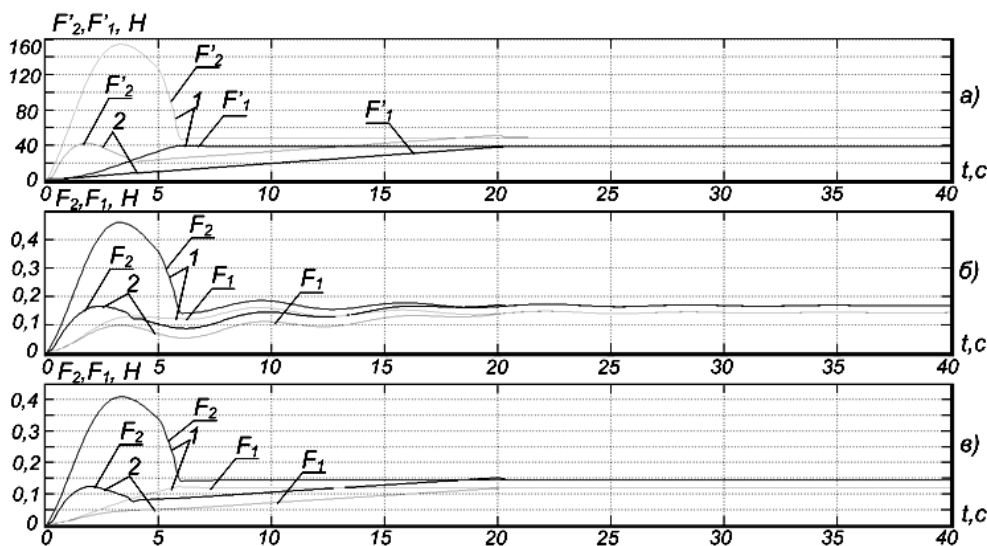


Рис. 5

На рис. 5 в качестве иллюстрации результатов моделирования представлены переходные процессы натяжений основы F'_1 , F'_2 (рис. 5-а) и нити F_1 , F_2 при различной настройке НН ($k = 1$, $b = 0,1$, $w = 1$ –

рис. 5-б, $k = 0,5$; $b = 0,5$, $w = 1$ – рис. 5-в) и параметрах сновального вала $\rho_0 = 0,12 \text{ м}$, $J_0 = 0,67 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Постоянные времени задатчика интенсивности приняты $T_i = 1 \text{ с}$ и $T_{ii} = 20 \text{ с}$. Интенсивный пуск ($T_{ii} = 1 \text{ с}$)

ВЫВОДЫ

приводит к росту динамических составляющих натяжений основы F'_2 и нити F_2 (рис. 5-а, б, в, кривые 1) в зоне мерильного вала. При этом увеличение длительности пуска ($T_1 = 20$ с) сопровождается снижением броска натяжений F'_2 и F_2 (рис. 5-б, в, кривые 2). В зоне деформации между НН и мерильным валом переходный процесс натяжения основы F'_1 всегда является апериодическим, что объясняется упругим скольжением нитей относительно мерильного вала, которое вносит запаздывание в сигнал обратной связи по его линейной скорости и увеличивает длительность разгона мерильного вала. Переходные процессы натяжений нити F_1, F_2 (рис. 5-б, в) зависят от ее физико-механических свойств, линейных скоростей мерильного и сновального валов, настройки НН. При этом в ходе настройки НН в зависимости от соотношения между коэффициентом демпфирования b и частотой собственных колебаний ω процесс изменения натяжения нити может быть колебательным (рис. 5-б) или апериодическим (рис. 5-в).

Показана взаимная связь процессов деформации основы и ее отдельной нити в системе электропривода механизма сновального вала, построенного на базе системы векторного управления асинхронным двигателем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Васильев Н.А.* Вопросы теории прядения. – М.: Гизлегпром, 1932.
2. *Новоселов К.М.* Разработка и исследование методов компьютерного моделирования систем автоматического управления натяжением нити основы на сновальных машинах: Дис. ...канд. техн. наук. – М., 2010.
3. *Кулида Н.А.* Влияние мерильного валика партионной сновальной машины на натяжение нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 3.
4. *Глазунов В.Ф., Виноградов А.Б., Шишков К.С.* Асинхронный электропривод механизма формирования сновальных валов // Вестник ИГЭУ. – 2011, № 1. С. 83...87.
5. *Крагельский И.В., Виноградова И.Э.* Коэффициенты трения. Справочное пособие. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1962.
6. *Виноградов А.Б.* Векторное управление электроприводами переменного тока. – Иваново: ИГЭУ, 2008.

Рекомендована кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок. Поступила 03.12.12.