

УДК 677.023:62-83

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
МЕХАНИЗМОВ НАМОТКИ СНОВАЛЬНЫХ ВАЛОВ***

**MATHEMATICAL MODELING
OF THE WARPING BEAMS WINDING
MECHANISMS' ELECTRIC DRIVE SYSTEM**

В.Ф. ГЛАЗУНОВ, А.А. РЕПИН, Ю.А. РОДИОНОВ
V.F. GLAZUNOV, A.A. REPIN, JU.A. RODIONOV

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

Приведена структурная схема математической модели системы координированного управления электроприводом укатывающего вала в зависимости от угла поворота сновального вала, а также переходные процессы в системе электропривода.

A block diagram of the pressure beam electric drive control system's mathematical model which coordinated to the warping beam's rotating angle as well as transients in the electric drive system are given.

Ключевые слова: электропривод, сновальный вал, укатывающий вал, математическая модель.

Keywords: electric drive, warping beam, pressure beam, mathematical model.

Увеличение многодвигательности является важным фактором совершенствования технологического оборудования и расширения его технологических возможностей.

Так, в сновальном оборудовании установка электродвигателя на механизм уплотняющего вала позволяет координировать его движение в зависимости от угла поворота сновальной паковки и обеспе-

чить стабилизацию ее технологических параметров [1], [2].

Рассмотрим построение и математическую модель одного из возможных вариантов [3] такой системы электропривода, обеспечивающей координированное движение механизмов сновального и укатывающего валов, принцип действия которой иллюстрируется функциональной схемой, представленной на рис. 1.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00972).

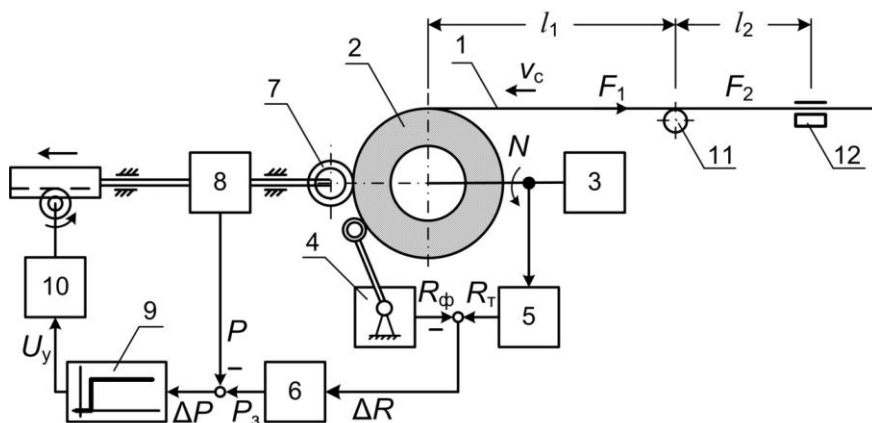


Рис. 1

Здесь в процессе намотки основы 1 на сновальную паковку 2 с помощью электропривода 3 механизма сновального вала наблюдается отклонение фактического радиуса R_ϕ паковки, измеряемого датчиком радиуса 4, от его теоретического значения R_τ , вычисляемого блоком 5 в соответствии с формулой спирали Архимеда [1] на основе информации о толщине основы и числе оборотов N сновального вала и соответствующего равномерной плотности намотки.

Полученная разность $\Delta R = R_\tau - R_\phi$ подается на блок 6 задания давления на паковку 2 укатывающего вала 7, измеряемого датчиком давления 8. Управляющий отводом укатывающего вала сигнал $\Delta P = P_3 - P$, где P_3 и P – сигналы, соответствующие заданному и текущему значениям давления, подается на релейный блок 9, коммутирующий напряжение управления U_y на входе электропривода укатывающего вала 10, соответственно включая его отвод при $P > P_3$.

Для привода механизма сновального вала используется асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, получающий питание от преобразователя частоты с векторным регулированием координат [4]. Механизм укатывающего вала, работающий в кратковременном режиме, приводится в движение асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором,

скорость которого регулируется преобразователем частоты [5], [6].

С целью упрощения анализа при разработке математической модели системы электропривода сделаем следующие допущения:

- скольжение между основой и поверхностью мерильного вала отсутствует;
- зависимость натяжения основы от скорости ее движения представляется линейной;
- все процессы нагружения основы протекают в области упругих и положительных деформаций;
- распределенные по длине силы трения нитей основы о воздух и направляющие элементы представляются сосредоточенными в точке на расстоянии l_2 от мерильного вала (рис. 1).

На рис. 2 представлена развернутая структурная схема системы координированного управления электроприводами механизмов сновального 1 и укатывающего 2 валов.

С целью анализа системы электропривода и в связи с невозможностью точного описания процесса сжатия слоев наматываемой основы, обусловленного действием ее натяжения и случайных факторов, учтем их косвенно изменением параметра α_ϕ спирали Архимеда (рис. 1), в соответствии с которым формируется фактический радиус $R_\phi = R_0 + \alpha_\phi N$, где R_0 – начальный радиус намотки.

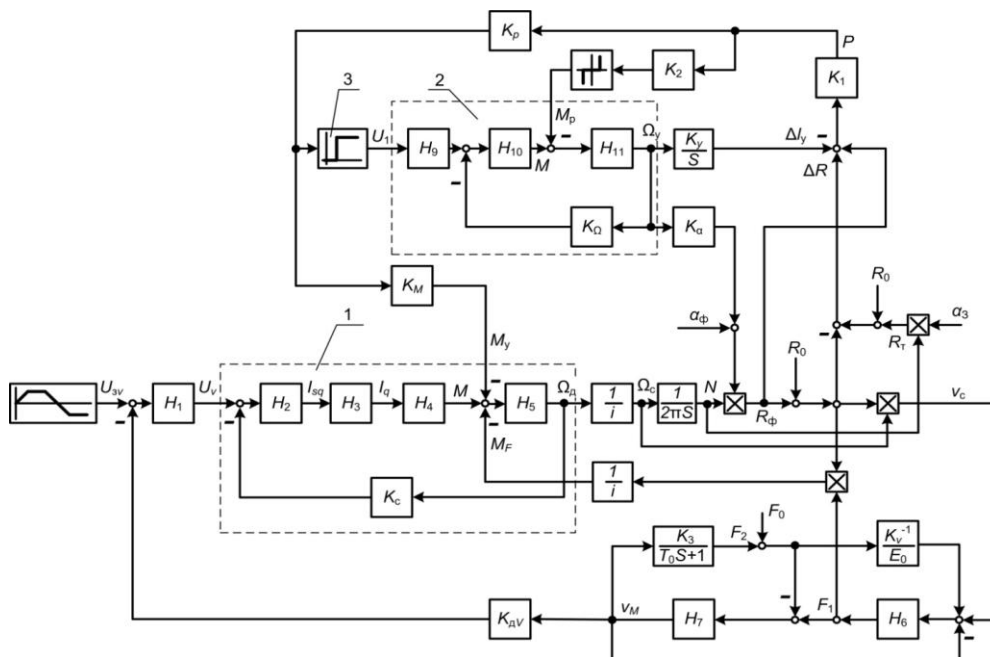


Рис. 2

Теоретический радиус R_T рассчитывается аналогично при заданном значении параметра α_3 . Разность $\Delta R = R_T - R_{\phi}$ является задающим сигналом для системы электропривода укатывающего вала, замкнутой по давлению P в контакте валов. При этом электродвигатель 2 укатывающего вала отводит его от катушки шагами при включении реле 3, поддерживая заданное значение ΔR .

Таким образом, в процессе моделирования имеется возможность выполнить анализ системы электропривода при любых возможных на практике значениях параметров спирали Архимеда α_{ϕ} и α_3 .

С учетом введенных ранее в [2] обозначений передаточные функции регуляторов системы электропривода сновального вала и контура тока статора его электродвигателя представлены в табл. 1.

Таблица 1

№	Наименование	Обозначение	Передаточная функция
1	Регулятор скорости v_c основы	$H_1(s)$	$\frac{U_v(s)}{(U_{3v} - U_1)} = k_{pv} + \frac{1}{T_p s}$
2	Регулятор реактивной составляющей I_{qs} тока статора	$H_2(s)$	$\frac{I_{sq}(s)}{(U_v - k_c \Omega_c)(s)} = k_{p\Omega} + \frac{1}{T_{\Omega} s}$
3	Эквивалентная ПФ контура тока статора	$H_3(s)$	$\frac{I_q(s)}{(I_{q3} - I_q)(s)} = \frac{1/k_{дт}}{2T_{кт} s + 1}$

Здесь k_{pv} , $k_{p\Omega}$, $k_{дт}$ – коэффициенты усиления регуляторов скорости, реактивной составляющей тока статора и обратной связи по току; T_p , T_{Ω} , $T_{кт}$ – постоянные времени регуляторов, с.

Передаточные функции электродвигателей и преобразователей механизмов сновального и укатывающего валов имеют вид:

$$H_4(s) = \frac{M(s)}{I_q(s)} = \frac{3p_{\Pi} L_m \Psi_r}{2L_r},$$

где p_{Π} , L_m , L_r , Ψ_r – соответственно число пар полюсов, взаимная индуктивность обмоток статора и ротора, индуктивность обмотки ротора, Гн; потокоцепления ро-

тора, Вб; электродвигателя сновального вала.

$$H_5(s) = \frac{\Omega_d(s)}{(M - M_F - M_y)(s)} = \frac{1}{J_{пр} s},$$

где $J_{пр}$ – приведенный к валу электродвигателя момент инерции механизма сновального вала, кг·м²; M , M_y , M_F – соответственно момент на валу электродвигателя и моменты, создаваемые уплотняющим валом и натяжением основы, Н·м.

В процессе намотки сновального вала изменяется давление на него укатывающего вала и его момент нагрузки. Определенное в соответствии с методикой силового взаимодействия валковых пар [7] значение момента M_y от параметров сновального вала имеет вид:

$$\Delta M_c = 0,12 \frac{R_c P}{i_p B} \sqrt{\frac{P(1-\mu^2)}{BR_y E_0}},$$

где P – давление укатывающего вала на намотку, Н; R_y , R_c – соответственно радиусы укатывающего и сновального валов, м; B , E_0 – ширина основы, м, и модуль упругости, отнесенный к ее ширине, Н/м; μ – коэффициент Пуассона; i_p – передаточное отношение редуктора.

$$H_6(s) = \frac{F_1(s)}{(v_c - v_m + F_1 k_v^{-1})(s)} = \frac{E_0 k_v}{T_c s + 1},$$

где F_1 , F_2 – соответственно натяжение основы в зоне деформации между мерильным и сновальным валами и на ее входе, Н; E_0 – модуль упругости основы, приведенный к ее ширине, Н/м; v_m – скорость основы на поверхности мерильного вала, м/с; $T_c = \frac{\ell_1}{v_c}$; ℓ_1 – длина основы в зоне деформации, м.

$$H_7(s) = \frac{v_m(s)}{F_1(s) - F_2(s)} = \frac{R_m^2}{J_m s},$$

где J_m – приведенный к валу электродвигателя момент инерции мерильного вала, кг·м²;

$$H_8(s) = \frac{F_2(s)}{v_m(s)} = \frac{k_3}{T'_c s + 1},$$

где $T'_c = \frac{\ell_2}{v_c}$; ℓ_2 – длина основы между мерильным валом 11 и точкой приложения силы трения 12, м (рис. 1).

Передаточные функции электропривода укатывающего вала [6]:

$$H_9(s) = \frac{\omega(s)}{U_y(s)} = k_{пч} \frac{2\pi}{p_n},$$

где $k_{пч}$ – коэффициент усиления преобразователя частоты; U_y – напряжение управления, В; p_n – число пар полюсов обмотки статора двигателя; ω – частота напряжения на выходе преобразователя, рад/с.

$$H_{10}(s) = \frac{M(s)}{(\omega - k_\Omega \Omega_d)(s)} = \frac{2 \frac{M_k}{s_k}}{T_m s + 1},$$

где Ω_d – частота вращения вала электродвигателя, рад/с; k_Ω – коэффициент усиления обратной связи по скорости, В·с/рад; M_k , s_k – соответственно критические момент, Н·м, и скольжение; T_m – электро-механическая постоянная времени электродвигателя, с.

$$H_{11}(s) = \frac{\Omega_y(s)}{(M - M_p)(s)} = \frac{1}{J_y s},$$

где J_y – приведенный к валу электродвигателя суммарный момент инерции укатывающего и сновального валов, кг·м²; M_p – статический момент на валу электродвигателя, создаваемый механизмом укатывающего вала, Н·м.

Разработанная в соответствии со структурной схемой (рис. 2) математическая модель системы электропривода механизмов сновального и укатывающего валов реализована в программном комплексе MATLAB Simulink.

На рис. 3 приведены расчетные кривые переходных процессов при пуске системы электропривода и в процессе намотки, ил-

люстрирующие работу механизмов укатывающего и сновального валов.

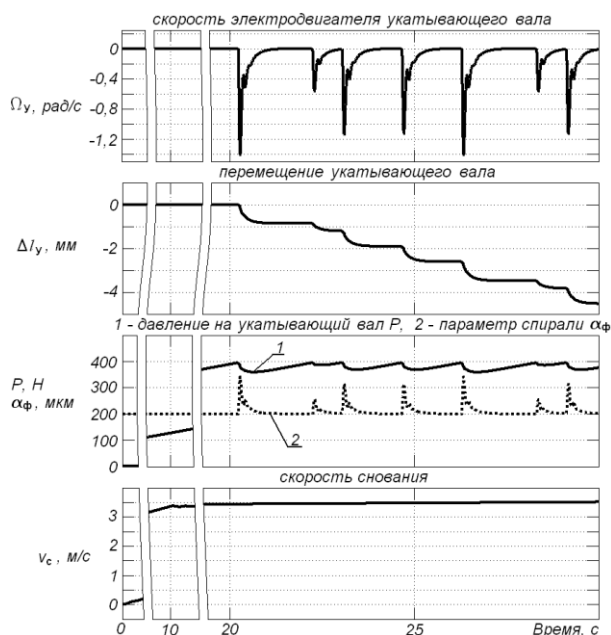


Рис. 3

Основные параметры системы:

Электродвигатель сновального вала 4A132S4Y3, $P_n = 7,5$ кВт; $U_n = 220$ В; $I_n = 15$ А; $\Omega_n = 150$ рад/с. Преобразователь частоты серии ЭПВ.

Электродвигатель укатывающего вала 4H88Y3 $P_n = 0,15$ кВт; $U_n = 220$ В; $\Omega_n = 73$ рад/с; $I_n = 0,65$ А. Преобразователь фирмы Mitsubishi FRD720S-014-EC/220.

Параметры элементов структурной схемы:

$J_M = 0,02$ кг·м²; $R_M = 0,053$ м; $l_1 = 3$ м; $l_2 = 0,56$ м; $R_c = 0,4$ м; $i_p = 1,2$; $E_0 = 6 \cdot 10^3$ Н/м; $F_0 = 80$ Н; $\Delta M_c = 6,57$ Нм; $K_p = 0,01$ В/Н; $K_M = 0,013$ Нм/м; $K_y = 0,038$; $K_3 = 4,85$ Н·с/м; $K_\Omega = 0,06$ В·с/рад; $K_c = 1$ В·с/рад; $K_{dv} = 1$ В·с/м; $T_0 = 0,6$ с.

ВЫВОДЫ

Разработана математическая модель регулируемого асинхронного электропривода механизмов сновального и укатывающего валов, обеспечивающих намотку сновальной паковки под контролем давления на нее укатывающего вала, координи-

рованного с углом поворота сновального вала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутин А.Ю. Проектирование текстильных паковок рулонного типа и методы их воспроизводства. – Иваново: Научно-производственный центр "Стимул", 2006.
2. Глазунов В.Ф., Виноградов А.Б., Шишков К.С. Асинхронный электропривод механизма формирования сновальных валов // Вестник ИГЭУ. – 2011. Вып. 1, С. 83...87.
3. Патент № 2439218. Российская Федерация. Устройство управления формированием сновальных валов / Глазунов В.Ф. Патентообладатель ИГЭУ. 2010145553/12. Заявл. 09.11.2010. Опубл. 10.01.2012, бюлл. № 1.
4. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. – Иваново: ИГЭУ, 2008.
5. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Под общ. ред. Г.Б. Онищенко. – М.: РАСХН, 2001.
6. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Теория электропривода. – Минск: ЗАО "Техноперспектива", 2004.
7. Фомин Ю.Г., Ларионов С.В., Ларионова М.Д. Основы теории, конструкция и расчет валковых машин. – Ч. 1. – Изд-во Иваново, 1999.

REFERENCES

1. Kut'in A.Ju. Proektirovanie tekstil'nyh pakovok rulonnogo tipa i metody ih vosproizvodstva. – Ivanovo: Nauchno-proizvodstvennyj centr "Stimul", 2006.
2. Glazunov V.F., Vinogradov A.B., Shishkov K.S. Asinhronnyj jelektroprivod mehanizma formirovanija snoval'nyh valov // Vestnik IGJeU. – 2011. Vyp. 1, S. 83...87.
3. Patent № 2439218. Rossijskaja Federacija. Ustrojstvo upravlenija formirovanijem snoval'nyh valov / Glazunov V.F. Patentoobladatel' IGJeU. 2010145553/12. Zajavl. 09.11.2010. Opubl. 10.01.2012, bjull. № 1.
4. Vinogradov A.B. Vektornoe upravlenie jelektroprivodami peremennogo toka. – Ivanovo: IGJeU, 2008.
5. Avtomatizirovannyj jelektroprivod promyshlennyh ustanovok / Pod obshh. red. G.B. Onishhenko. – M.: RASHN, 2001.
6. Firago B.I., Pavljachik L.B. Teorija jelektroprivoda. – Minsk: ZAO "Tehnoperspektiva", 2004.
7. Fomin Ju.G., Larionov S.V., Larionova M.D. Osnovy teorii, konstrukcija i raschet valkovykh mashin. – Ch. 1. – Izd-vo Ivanovo, 1999.

Рекомендована кафедрой ЭП и АПУ. Поступила 20.01.16.