

УДК 378.14

Б.І. Кузнецов, Л.Б. Курцева, О.М. Пономаренко, М.В. Лучанінова

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

ТРЬОХМАСОВА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ І НАТЯГОМ БАГАТОДВИГУНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПАПЕРООБМОТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Проведені дослідження поведінки параметрів паперообмотувальної машини: радіусу кружка стрічки і моменту інерції кружка із стрічкою у міру вироблення стрічки в процесі обмотки. Перехідні процеси трьохмасової системи управління по силі приводного механізму при середньому, кінцевому радіусах розмотування є коливальними, а при початковому радіусі розмотування – аперіодичними.

Ключові слова: паперообмотувальна машина, трьохмасова система управління, гальмівний механізм, рівняння стану, перехідний процес, момент інерції, динамічні характеристики, оптимальний регулятор.

Вступ

Постановка проблеми. Розвиток економіки незалежної України підвищує зростання випуску кабельної продукції, підвищення її якості і створення нових типів кабелів. Рішення цих питань вимагає удосконалення обмотувальних машин і підвищення їх технічних характеристик. Це, перш за все, стосується підвищення точності регулювання швидкості обертання і натягу стрічки паперообмотувальних машин.

У більшості обмотувальних машин використовуються чисто механічні регулятори натягу обмотувальної стрічки, які не забезпечують необхідної якості підтримки заданого натягу. Це пояснюється відсутністю працездатних електричних датчиків натягу і математичної моделі обмотувальної машини, складністю технологічного устаткування, що обумовлено пред'явленням до системи регулювання додаткових вимог, з яких основною є компенсація дії відцентрових сил.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. У роботах Кузнецова Б.І., Чаусова А.О., Седельникової Л.Г. запропонована побудова регуляторів натягу обмотувальної стрічки з електромеханічним приводом гальмівного механізму і з модальними або оптимальними регуляторами. Такі регулятори забезпечують вищі показники якості порівняно з чисто механічними регуляторами. Проте за допомогою цих регуляторів неможливо істотно підвищити якість регулювання у зв'язку з тим, що наявність пружних елементів в обмотувальній машині починає впливати на динаміку системи управління.

Під керівництвом професора Акімова Л.В. проведені дослідження по синтезу модальних регуляторів з використанням модальних спостерігачів стану, а також системи з послідовною корекцією, синтез яких виконаний поліноміальним методом для одне, два і трьохмасових електромеханічних систем управління. Проте застосування модальних регуляторів і модальних спостерігачів додатково потребує

рішення задач вибору типу і параметрів стандартних форм, які реалізуються засобами модального управління. Системи управління послідовної корекції з регуляторами, синтезованими поліноміальним методом, мають істотно складніші структури регуляторів, які ускладнюють їх технічну реалізацію.

На підставі аналізу останніх публікацій витікає, що багато обмотувальних машин обладнано чисто механічними регуляторами натягу. Такі регулятори не забезпечують заданої точності регулювання натягу обмотувальною стрічкою і, отже, не забезпечують заданої якості нанесення обмотки на кабель.

Аналіз останніх публікацій по синтезу систем управління з використанням оптимальних регуляторів показує, що даний напрям є актуальним.

Метою статті є розробка математичної моделі трьохмасової системи управління швидкістю обертання і натягом багатодвигунового електроприводу паперообмотувальної машини з використанням оптимального астатичного регулятора і побудова на ПЕОМ її динамічних характеристик.

Виклад матеріалу дослідження, отриманих наукових результатів

Останнім часом для управління електромеханічними системами управління з складними кінематичними ланцюгами разом з традиційними системами підлеглого регулювання застосовуються системи управління по повному вектору стану з модальними і оптимальними регуляторами. В процесі буксування машин часто виникають коливання, обумовлені наявністю пружних елементів в трансмісіях.

Характерним прикладом двоканальної електромеханічної системи управління є обмотувальні машини, в яких необхідно одночасно підтримувати натяг обмотувальної стрічки і швидкість обертання вала багатодвигуновим електроприводом паперообмотувальної машини. Для регулювання цих змінних є два виконавчі пристрої – електропривод гальмувального

пристрою для регулювання натягу обмотувальної стрічки і електропривод обмотувальника для регулювання швидкості обертання валу. Причому, в трьохмасовій системі управління є взаємний зв'язок між цими каналами через обмотувальник як об'єкт управління. Обмотувальник складається з приводного механізму, зарядної котушки з стрічкою і ділянки обмотувальної стрічки. Виконавчий електродвигун приводного механізму розташований на значній відстані від паперообмотувальної машини і приводить в обертання обмотувальника через загальний редуктор. Розглянемо математичну модель паперообмотувальної машини по приводному механізму.

Для швидкості приводного двигуна $V_d(t)$ отримаємо наступне рівняння стану:

$$m_d \frac{dV_d(t)}{dt} = F_d(t) - F_{\Sigma 1}(t),$$

де m_d – маса рухомих частин приводного двигуна; $F_d(t)$ – сила приводного двигуна; $F_{\Sigma 1}(t)$ – сумарна сила, що передається швидкохідним валом.

Сила $F_{\Sigma 1}(t)$ рівна сумі сил пружності $F_{y1}(t)$ і сил в'язкого тертя $F_{вт1}(t)$, що передаються швидкохідним валом

$$F_{\Sigma 1}(t) = F_{y1}(t) + F_{вт1}(t),$$

де $F_{y1}(t)$ – сила пружності швидкохідного валу; $F_{вт1}(t)$ – сила в'язкого тертя швидкохідного валу.

Сила в'язкого тертя $F_{вт1}(t)$ пропорційна різниці швидкостей двигуна $V_d(t)$ і редуктора $V_p(t)$:

$$F_{вт1}(t) = \beta_1 (V_d(t) - V_p(t)),$$

де β_1 – коефіцієнт в'язкого тертя, швидкохідного валу, Н·м/с/рад.

Сила пружності $F_{y1}(t)$ пропорційна різниці кутів повороту двигуна $\varphi_d(t)$ і редуктора $\varphi_p(t)$:

$$F_{y1}(t) = C_1 (\varphi_d(t) - \varphi_p(t)),$$

де C_1 – коефіцієнт жорсткості швидкохідного валу, Н·м/рад.

Продиференціювавши обидві частини цього рівняння, отримаємо наступне рівняння стану

$$\frac{dF_{y1}(t)}{dt} = C_1 (V_d(t) - V_p(t)).$$

Розглянемо тепер тихохідний вал для трьохмасової системи управління. Для рухомих частин редуктора рівняння динаміки приймає такий вигляд:

$$m_p \frac{dV_p(t)}{dt} = F_{\Sigma 1}(t) - F_{\Sigma 2}(t),$$

у якому сила, що передається тихохідним валом, позначена $F_{\Sigma 2}(t)$.

Ця сила складається з двох компонент:

$$F_{\Sigma 2}(t) = F_{y2}(t) + F_{вт2}(t),$$

де $F_{y2}(t)$ – сила пружності тихохідного валу; $F_{вт2}(t)$ – сила в'язкого тертя тихохідного валу.

Сила пружності $F_{y2}(t)$, пропорційній різниці кутів повороту редуктора $\varphi_p(t)$ і приводного механізму $\varphi_n(t)$:

$$F_{y2}(t) = C_2 (\varphi_p(t) - \varphi_n(t)),$$

де C_2 – коефіцієнт жорсткості тихохідного валу.

Продиференціювавши обидві частини цього рівняння, отримаємо наступне рівняння стану

$$\frac{dF_{y2}(t)}{dt} = C_2 (V_p(t) - V_n(t)).$$

Сила в'язкого тертя $F_{вт2}(t)$ пропорційна різниці швидкостей редуктора $V_p(t)$ і приводного механізму $V_n(t)$:

$$F_{вт2}(t) = \beta_2 (V_p(t) - V_n(t)),$$

де β_2 – коефіцієнт в'язкого тертя тихохідного валу.

Розглянемо математичну модель паперообмотувальної машини по гальмівному механізму. При використанні гальмівної стрічки і лінійного або поворотного електродвигуна сила натягу гальмівного механізму пропорційна лінійному або кутовому положенню електроприводу. Величина гальмівної сили $F_T(t)$ визначається положенням рейки редуктора. Динаміка руху гальмівного механізму описується коливальною ланкою з одиничним коефіцієнтом передачі

$$T_0^2 \frac{d^2 F_T(t)}{dt^2} + 2\xi T_0 \frac{dF_T(t)}{dt} + F_T(t) = U_T(t).$$

Введемо позначки коефіцієнтів підсилення $K_4 = K_6 = 1/T_0^2$ та $K_5 = 2 \cdot \xi / T_0$, при коефіцієнті демпфування, рівному $\xi = 0,5$, та постійної часу $T_0 = 0,1$ с. Тоді з урахуванням транзисторного підсилювача потужності, за допомогою якого записується якірний ланцюг цього двигуна, знаходимо значення коефіцієнтів підсилення $K_4 = K_6 = 100$ та $K_5 = 10$.

Введемо змінні стану – силу гальмівного механізму $F_T(t)$ і швидкість зміни цієї сили $V_T(t)$. Тоді отримаємо наступні рівняння стану:

$$\frac{dF_T(t)}{dt} = V_T(t);$$

$$\frac{dV_T(t)}{dt} = -K_5 V_T(t) - K_6 F_T(t) + K_4 U_T(t).$$

Введемо вектор стану трьохмасової системи управління в наступному вигляді:

$$\vec{X}(t) = \begin{Bmatrix} V_d(t), F_{y1}(t), V_p(t), F_{y2}(t), \\ V_n(t), V_m(t), F_m(t), V_c(t), S(t) \end{Bmatrix}.$$

Компонентами вектора стану $\vec{X}(t)$ є швидкість приводного двигуна $V_d(t)$, сила пружності $F_{y1}(t)$ швидкохідного валу, швидкість редуктора $V_p(t)$, сила пружності $F_{y2}(t)$ тихохідного валу, швидкість приводного механізму $V_n(t)$, швидкість зміни сили

гальмівного механізму $V_m(t)$, сила гальмівного механізму $F_m(t)$, швидкість сходу стрічки з кружка $V_c(t)$ і натяг $S(t)$. Ведемо вектор управління $\bar{U}(t)$,

компонентами якого є сила приводного двигуна $F_d(t)$ і напруга на гальмівному двигуні $U_T(t)$:

$$\bar{U}(t) = \{F_d(t), U_T(t)\}^T ;$$

$$\begin{aligned} \frac{dV_d(t)}{dt} &= -\beta_1/m_d V_d(t) - 1/m_d F_{y1}(t) + \beta_1/m_d V_p(t); & \frac{dF_{y1}(t)}{dt} &= C_1 V_d(t) - C_1 V_p(t); \\ \frac{dV_p(t)}{dt} &= \beta_1/m_p V_d(t) + 1/m_p F_{y1}(t) - (\beta_1 + \beta_2)/m_p V_p(t) - 1/m_p F_{y2}(t) + \beta_2/m_p V_n(t); \\ \frac{dV_n(t)}{dt} &= \beta_2 R_n^2/I_n V_p(t) + R_n^2/I_n F_{y2}(t) + a_{55} V_n(t) - \lambda_n^2/I_n S(t); & \frac{dF_T(t)}{dt} &= V_T(t); \\ \frac{dV_T(t)}{dt} &= -K_5 V_T(t) - K_6 F_T(t) + K_4 U_T(t); & \frac{dF_{y2}(t)}{dt} &= C_2 V_p(t) - C_1 V_n(t); \\ \frac{dV_c(t)}{dt} &= -R_T^2/I_c F_T(t) - \beta_c^*/I_c V_c(t) + r_{cc}^2/I_c S(t); & \frac{dS(t)}{dt} &= C_s (V_n(t) - V_c(t)). \end{aligned}$$

На підставі диференційних рівнянь побудуємо алгоритмічну схему трьохмасової системи управ-

ління за допомогою середовища Simulink системи Matlab, яка показана на рис. 1.

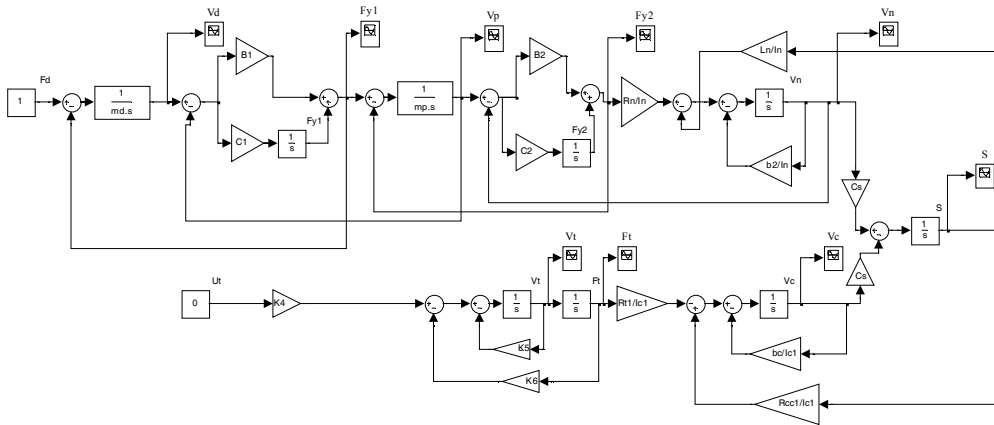
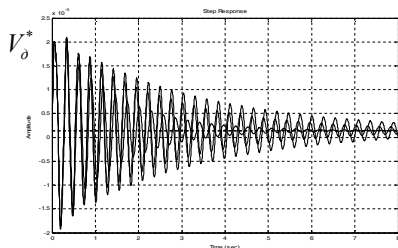


Рис. 1. Алгоритмічна схема трьохмасової системи управління з урахуванням пружних елементів

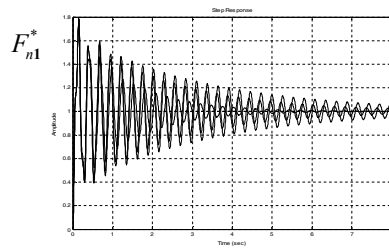
По отриманих рівняннях стану за допомогою системи пакету «MATLAB» побудовані перехідні процеси в даній обмотувальній машині. При цьому також виконаємо розрахунок перехідних процесів для трьох радіусів розмотування стрічки з кружка. На рис. 2, 3 представлені перехідні процеси сили двигуна по приводному каналу та напруги гальмівного каналу для трьох значень радіусів розмотки. Стале значення сили пружності $F_y^*(t)$ дорівнює $F_n^*(t)$ – силі приводного механізму. У перехідних процесах спостерігаються

високочастотні коливання, викликані наявністю пружних елементів. Перехідні процеси швидкості редуктора $V_p(t)$, показані на рис. 2, в, схожі на перехідні процеси швидкості двигуна $V_d(t)$ (рис. 2, а). При подачі сили двигуна на приводний канал зміні стану: швидкість гальмівного механізму – $V_T = 0$ (рис. 2, е) і сила гальмівного механізму – $F_T = 0$ (рис. 2, е) рівні нулю, так як ці змінні стану змінюються тільки при зміні задання напруги $U_T(t)$ на гальмівний механізм.



t, c

а – швидкість двигуна



t, c

б – сила пружності швидкохідного валу

Рис. 2. Перехідні процеси сили приводного каналу

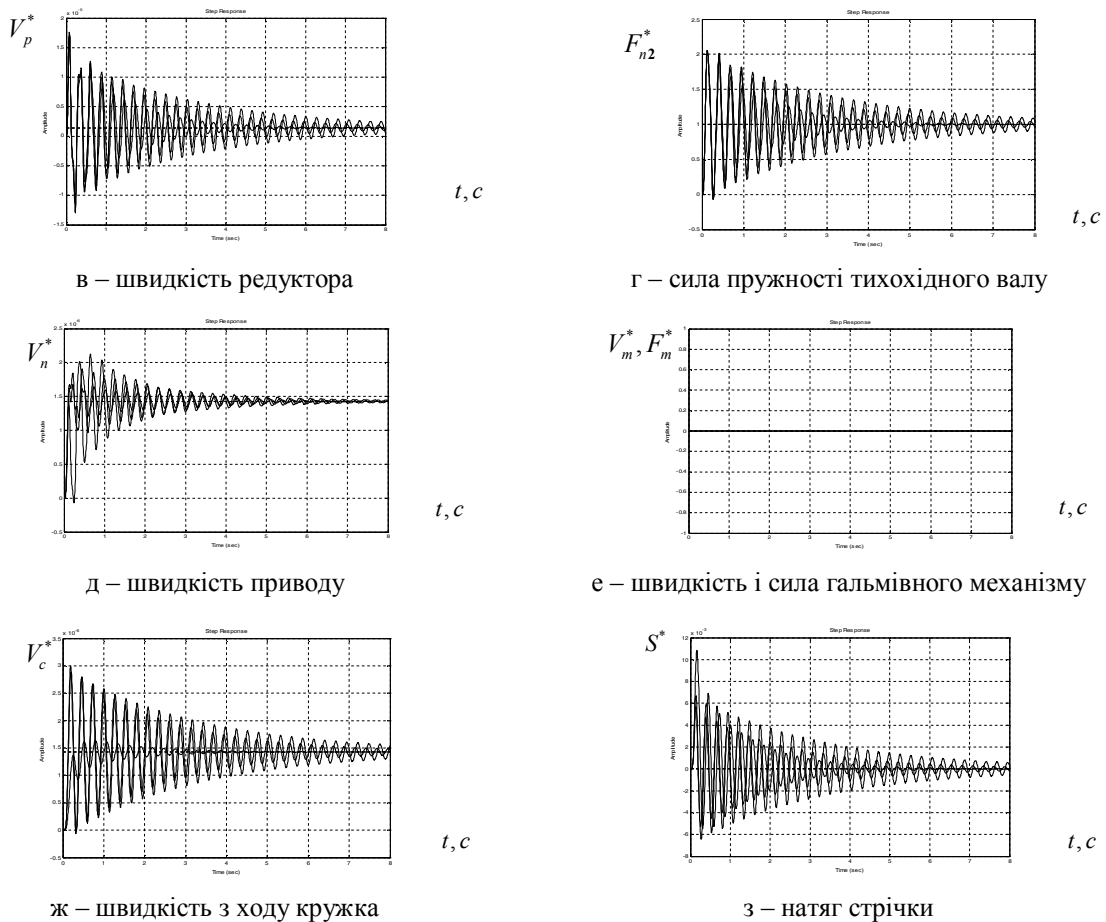


Рис. 2. Перехідні процеси сили приводного каналу (закінчення)

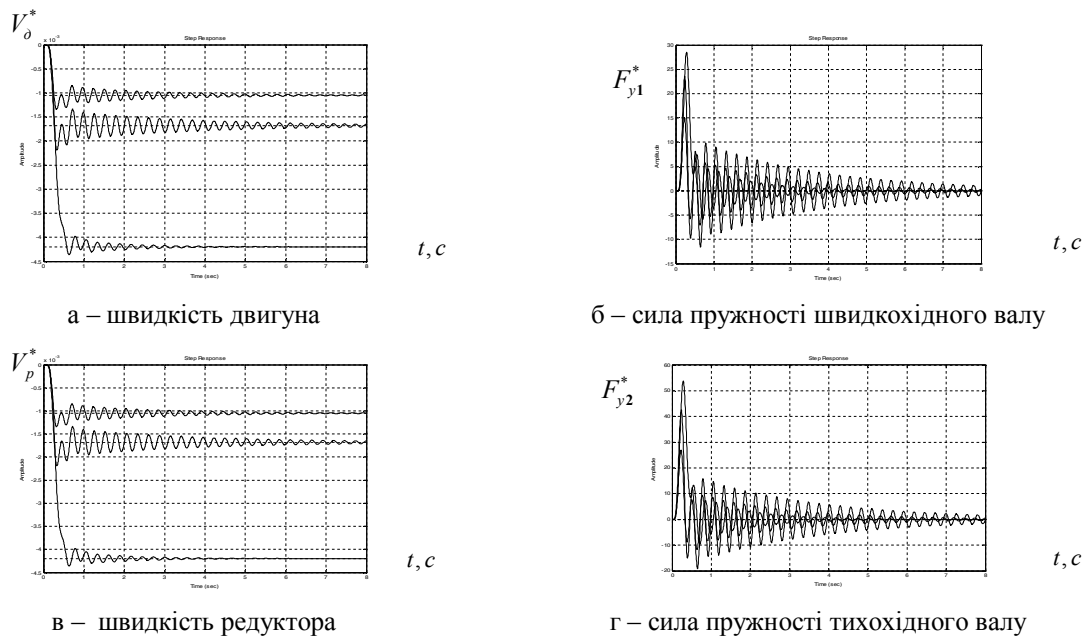


Рис. 3. Перехідні процеси напруги гальмівного каналу

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження поведінки параметрів паперобмотувальної машини: радіусу кружка стрічки і моменту інерції кружка із стрічкою у міру ви-

роблення стрічки в процесі обмотки. Перехідні процеси трьохмасової системи управління по силі приводного механізму при середньому, кінцевому радіусах розмотування є коливальними, а при початковому радіусі розмотування - аперіодичними.

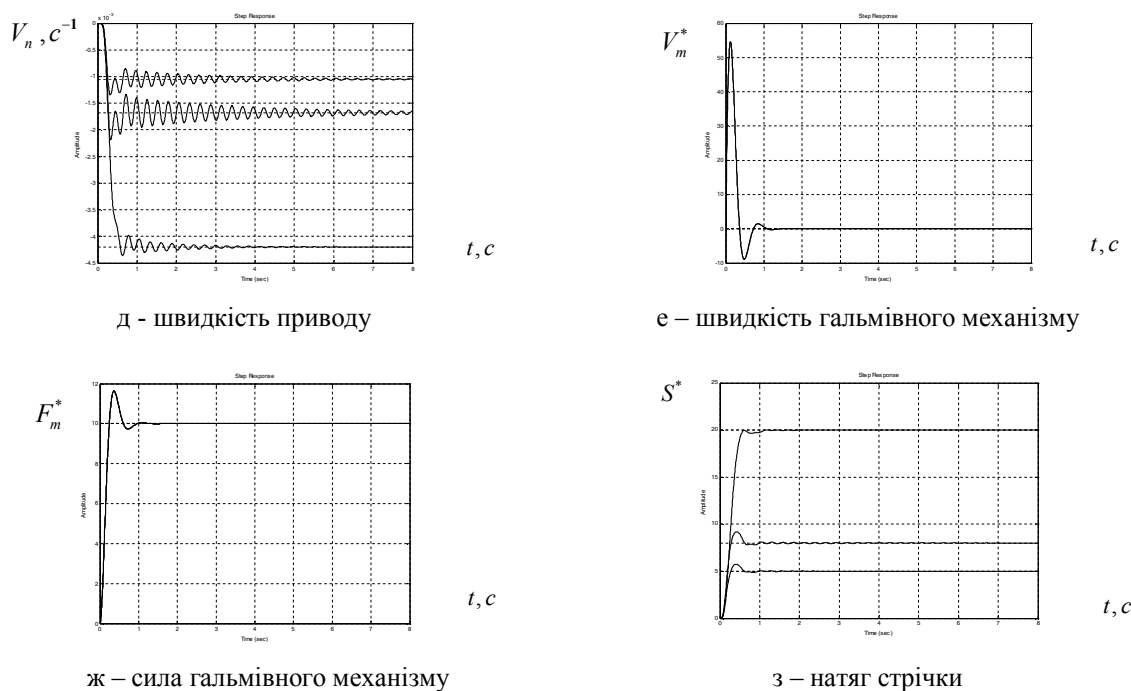


Рис. 3. Перехідні процеси напруги гальмівного каналу (закінчення)

У перспективі доцільно дослідити динамічні характеристики цифрової трьохмасової системи управління паперообмотувальної машини з оптимальним DLQR - регулятором.

Список літератури

1. Автоматизированные электромеханические системы с модальными регуляторами и наблюдателями состояния: Сб. научных трудов / Под ред. В.Б. Клепикова, Л.В. Акимова. – Х.: ХГПУ, 1997. – 89 с.
2. Кузнецов Б.И. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями: монография / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, В.В. Коломиец. – Х., 2005. – 512 с.
3. Александров Е.Е. Оптимизация электромеханических систем с упругими элементами / Е.Е. Александров, Б.И. Кузнецов, А.Е. Радиевский. – Х.: Основа, 1995. – 304 с.

4. Медведев В.С. Control System Toolbox. MATLAB 5 для студентов / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин; Под общей ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1999. – 287 с. (Пакеты прикладных программ).

5. Патент на корисну модель № 71098, МПК H02P 5/46. (2006.01). Багатодвигуновий електропривод паперообмотувальної машини / Кузнецов Б.І., Курцева Л.Б., Кушнарченко О.В., Лутай С.М. – Україна, заявл. 27.09.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.

Надійшла до редколегії 21.05.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Сахацький, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

ТРЕХМАССОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ И НАТЯЖЕНИЕМ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУМАГОБОМОТОЧНОЙ МАШИНЫ

Б.И. Кузнецов, Л.Б. Курцева, Е.М. Пономаренко, М.В. Лучанинова

Проведенные исследования поведения параметров бумагообмоточной машины: радиусу кружка ленты и момента инерции кружка с лентой по мере выработки ленты в процессе обмотки. Переходные процессы трехмассовой системы управления по силе приводного механизма при среднем, конечном радиусах размотки является колебательными, а при начальном радиусе размотки – аperiodическими.

Ключевые слова: бумагообмоточная машина, трехмассовая система управления, тормозной механизм, уравнение состояния, переходный процесс, момент инерции, динамические характеристики, оптимальный регулятор.

THREE-MASS CONTROL SYSTEM BY SPEED OF ROTATION AND PULL OF MULTIMOTIVE ELECTROMECHANIC OF PAPER-LAPPING MACHINE

B.I. Kuznetsov, L.B. Kurceva, E. M. Ponomarenko, M.V. Luchaninova

Conducted researches of conduct of parameters of paper-lapping machine: to the radius of group of ribbon and moment of inertia of group with a ribbon as far as making of ribbon in the process of puttee. Transients of three-mass control system on force drive mechanism at middle, eventual unwinding radiuses shake, and at the initial radius of unwinding – aperiodic.

Keywords: paper-lapping machine, three-mass control the system, brake mechanism, equalization of the state, transient, moment of inertia, dynamic descriptions, optimum regulator.