

```
int countMotion1Active = 10; // кількість циклів активності сигналу від давачу руху
int motion1Status = 0; // значення давача руху
int FR1Status = 0; // значення фото резистора ззовні
int FR2Status = 0; // значення фото резистора всередині
// кінець блоку вибору портів нейроконтролера та введення даних нейроконтролера
// початок блоку ініціалізації даних нейронної мережі
const int netSize = 14; // кількість нейронів в мережі
const int cntIn = 3; // кількість вхідних нейронів
const int cntOut = 1; // кількість вихідних нейронів
...
```

**Рис. 5. Фрагмент програми керування мікроконтролером підсистеми освітлення**

**Висновки.** Розроблено структуру системи інтелектуального будинку на базі нейроконтролерів, яка дає змогу опрацювати нечіткі та неструктуровані дані від підсистеми давачів.

Запропоновано ввести інтелектуальний аспект на усіх рівнях автоматизованого проектування блоково-ієрархічного підходу та сформульовано основні задачі на кожному з ієрархічних рівнів, що дасть змогу підвищити ефективність автоматизованого проектування систем "інтелектуального будинку".

Наведено моделі на основі кольорових мереж Петрі, що дає змогу дослідити динаміку системи ІБ.

## Література

1. Harper R. (2003). Inside the Smart Home. – London. Springer; Augus. – 275 p.
2. Mahmoud A. (2010). AI-Qutayri Smart Home Systems. – Publisher : InTech. – 194 p.
3. Mann William C. (2005, 7 July) The state of the science // Smart technology for aging, disability and independence. – John Wiley and Sons.
4. Гололобов В.Н. "Умный дом" своими руками / В.Н. Гололобов. – М. : Изд-во "НТ Пресс", 2007. – 416 с.
5. Noury N., Virone G., Barralon P., J. Ye, Rialle V., Demongeot J. (2003, June). New trends in health smart homes // Proceedings of the 5th International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industry (Healthcom '03). – Pp. 118-127.
6. Xu M., Max L., Xia F., Yuan T., Qian J., Shao M. (2010, October). Design and Implementation of a Wireless Sensor Network for Smart Homes // Ubiquitous Intelligence & Computing and 7th International Conference on Autonomic & Trusted Computing (UIC/ATC). – Pp. 239-243.
7. Ni Qin, Pau de la Cruz, Iván García Hernando, Ana Belén (2016). A foundational ontology-based model for human activity representation in smart homes // Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments. – Vol. 8, No. 1. – Pp. 47-61.
8. Chan M., Estève D., Escriba C., Campo E. (2008). A review of smart homes-present state and future challenges // Computer Methods and Programs in Biomedicine. – Vol. 91, No. 1. – Pp. 55-81.
9. Teslyuk V.M., Beregovskiy V.V., Pukach A.I. Development of smart house system model based on colored petri nets // Proc. of the XVIIIth International Seminar / Workshop On Direct And Inverse Problems Of Electromagnetic And Acoustic Wave Theory (DIPED – 2013). – Lviv, Ukraine, 2013. – Pp. 205-208.
10. Jensen K., Kristensen L.M. (2009). Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems, 1st edition, Springer, 395 p.
11. Floreano D., Mondada F. (1998). Evolutionary Neurocontrollers for Autonomous Mobile Robots // Neural Networks. – Vol. 11, Num. 7-8. – Pp. 1461-1478.
12. Pukach A., Teslyuk V., Tkachenko R., Ivantsiv R.-A. Implementation of neural networks for fuzzy and semistructured data // Proc. of the XI Intern. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv – Polyana, Ukraine, 2011. – Pp. 350-352.
13. Kornuta J.A., Nipper M.E., Brandon J. (2013). Dixon Low-cost microcontroller platform for studying lymphatic biomechanics in vitro // Journal of Biomechanics, 46. – Pp. 183-186.

14. Tariq AL-Kadia, Ziyad AL-Tuwaijrib, Abdullah AL-Omran (2013). Arduino Wi-Fi network analyzer // Procedia Computer Science, 21. – Pp. 522-529.

Надійшла до редакції 25.10.2016 р.

## **Береговский В.В., Теслюк В.М., Денисюк П.Ю., Теслюк Т.В. Методы и модели автоматизированного проектирования системы "интеллектуального дома" на базе нейроконтроллеров**

Рассмотрены особенности подходов к проектированию "интеллектуальных зданий". Предложено ввести интеллектуальный аспект при использовании блочно-иерархического подхода для проектирования систем "интеллектуального дома" (ИД). Разработана структура системы "интеллектуального дома" на базе нейроконтроллеров. Представлена структура подсистемы климат-контроль и приведена структура типового нейроконтроллера системы ИД. Представлены модели на основании цветных сетей Петри для анализа работы системы, позволяющие исследовать динамику работы. Построены модели, основанные на искусственных нейронных сетях, позволяющие обработать нечеткие и неструктурированные данные от подсистемы датчиков ИБ.

**Ключевые слова:** интеллектуальный дом, цветная сеть Петри, искусственные нейронные сети, блочно-иерархический подход, нейроконтроллер.

## **Beregovskyy V.V., Teslyuk V.M., Denysyuk V.M., Teslyuk T.V. Methods and Models of Automated Design of Smart House System Based on Neurocontrollers**

We described some features of the design approaches of smart house systems. During the design of smart house (SH) system, it is proposed to use the intellectual aspects with the block-hierarchical approach. The structure of smart house system based on the neuro controller was designed. Climate control subsystem structure as a typical neurocontroller for SH system was described. Models based on colored Petri Nets were used for analysis of the system. They allow exploring the dynamics of the system. Models based on artificial neural networks that allow working out fuzzy and unstructured data from a sensor SH subsystem were designed.

**Keywords:** smart house, colored Petri Nets, artificial neural networks, block-hierarchical approach, neurocontroller.

## УДК 621.[825+3.04]

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МУФТИ З ДІЛЯНКОЮ КВАЗІНУЛЬОВОЇ ЖОРСТКОСТІ З УРАХУВАННЯМ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОДВИГУНА**

**С.М. Комаров<sup>1</sup>, В.Р. Пасіка<sup>2</sup>, І.О. Романчук<sup>3</sup>, Н.О. Гембара<sup>4</sup>**

Досліджено динамічні процеси в електромеханічній двомасовій системі приводу технологічних машин та впливу податливості пружної нелінійної муфти з ділянкою квазінульової жорсткості на його динаміку. Розглянуто уточнену двомасову модель з урахуванням електричних параметрів асинхронного електродвигуна. Розроблено спеціалізовану комп'ютерну програму, яка дає змогу вводити і модифікувати параметри механічної частини, муфти і електродвигуна та інтегрує отримані диференціальні рівняння методом Ейлера. Доведено, що досліджувана нелінійна муфта з ділянкою квазілінійної жорсткості ефективніша від втулково-пальцевої.

**Ключові слова:** електромеханічна система, двомасова динамічна модель, пружна нелінійна муфта, коефіцієнт динамічності.

<sup>1</sup> доц. С.М. Комаров, канд. техн. наук – Українська академія друкарства;

<sup>2</sup> проф. В.Р. Пасіка, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

<sup>3</sup> асист. І.О. Романчук – Українська академія друкарства;

<sup>4</sup> доц. Н.О. Гембара, канд. техн. наук – Українська академія друкарства

За останні десятиріччя інтенсивно розвиваються методи теорії нелінійної динаміки та стійкості руху механічних систем. Гасіння динамічних процесів у нелінійних механічних системах відбуваються за допомогою динамічних нелінійних гасителів коливань. Вони істотно розширюють можливості ефективного гасіння коливань. Динамічні навантаження значною мірою визначають міцність елементів конструкцій. Механічні коливання, що виникають під час перехідних процесів, призводять до нагромадження втомних пошкоджень, що знижує ресурс елементів приводу. Важливим є аналіз процесів пуску привідних систем, які у багатьох випадках можна звести до двомасової динамічної моделі. Для забезпечення достатньої точності розрахунків потрібно враховувати пружно-дисипативні характеристики кінематичного ланцюга приводу та динамічні властивості електродвигунів і виконавчого органу. Механічні вібрації у приводі потрібно досліджувати у взаємозв'язку з електромагнітними процесами в електродвигуні, що ускладнює завдання дослідження. Такий підхід забезпечує високу ефективність проектування приводу і потрібний динамічний стан виконавчого органу.

Відомо, що крутний момент від електродвигуна до виконавчого органу передається через кінематичний ланцюг, що складається з механічних передач і муфт. У приводах виникають значні динамічні навантаження, особливо в період пуску і гальмування. Для зменшення цих навантажень застосовують пружні муфти. Муфти з ділянками квазінульової жорсткості здатні ефективно гасити коливання у широкому частотному діапазоні, зменшуючи амплітуди динамічних навантажень [7, 8]. Механічну систему приводу технологічної машини та її двомасову модель наведено на рис. 1.

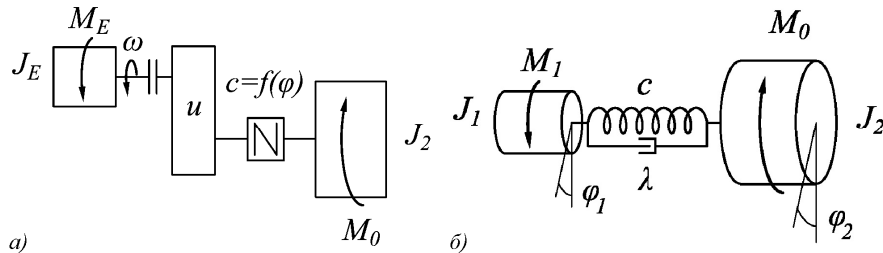


Рис. 1. Структурна схема приводу технологічної машини (а) та її динамічна модель (б)

Привід складається з електродвигуна, муфти, редуктора, пружної муфти та виконавчого механізму (див. рис. 1, а), де:  $J_E$ ,  $M_E$  та  $\omega$  – відповідно момент інерції, електромагнітний момент та кутова швидкість ротора електродвигуна;  $u$  – передатне число редуктора;  $f(\varphi)$  – нелінійна механічна характеристика муфти у функції кута закручування;  $J_2$  – момент інерції виконавчого механізму;  $M_0$  – момент сил корисного опору. Для аналізу динаміки приводу виконаємо зведення мас і жорсткостей до веденого вала. Моменти інерції валів, муфт та інших деталей приводу не враховуємо, оскільки їх значення істотно менші, порівняно з моментами інерції ротора. Вали і муфту приводу вважаємо абсолютно жорсткими, оскільки їх жорсткість набагато перевищує жорсткість пружної муфти. Також приймемо до уваги дисипацію в муфті. Дисипативні си-

ли вважаємо лінійними. Внаслідок приходимо до класичної двомасової схеми (див. рис. 1, б) з відповідними параметрами:

- $J_1 = u^2 J_E$  – зведений момент інерції ротора електродвигуна;
- $M_1 = u M_E$  – рушійний момент приводу;
- $\lambda$  – коефіцієнт дисипації;
- $\varphi_1, \varphi_2$  – узагальнені координати;
- $c = f(\varphi_1 - \varphi_2)$  – нелінійна механічна жорсткість муфти.

Диференційні рівняння руху двомасової системи у функції часу запишемо в такому вигляді:

$$\begin{aligned} J_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + \lambda \cdot \left( \frac{d\varphi_1}{dt} - \frac{d\varphi_2}{dt} \right) + f(\varphi_1 - \varphi_2) &= M_E; \\ J_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} + \lambda \cdot \left( \frac{d\varphi_2}{dt} - \frac{d\varphi_1}{dt} \right) + f(\varphi_2 - \varphi_1) &= M_0. \end{aligned} \quad (1)$$

Рушійний момент на електродвигуні є величиною змінною. Дослідження багатьох авторів довели, що без врахування електромеханічних характеристик двигуна у процесі розгону неможливо отримати достовірну картину динамічних навантажень у кінематичному ланцюгу приводу [1-4]. Диференційні рівняння електромагнітного стану асинхронного електродвигуна без врахування насичення у магнітопроводах запишемо у такому вигляді [5]:

$$\begin{aligned} \frac{di_{Sx}}{dt} &= A_S \cdot \{ U_m + 100\pi \cdot [(i_{Sy} + i_{Ry}) \cdot L_m + i_{Sy} \cdot L_S] - R_S \cdot i_{Sx} \} + \\ &+ B_S \cdot \{ (100\pi - p_0\omega) \cdot [(i_{Sy} + i_{Ry}) \cdot L_m + i_{Ry} \cdot L_R] - R_R \cdot i_{Rx} \} \\ \frac{di_{Sy}}{dt} &= A_S \cdot \{ -100\pi \cdot [(i_{Sx} + i_{Rx}) \cdot L_m + i_{Sx} \cdot L_S] - R_S \cdot i_{Sy} \} + \\ &+ B_S \cdot \{ (p_0\omega - 100\pi) \cdot [(i_{Sx} + i_{Rx}) \cdot L_m + i_{Rx} \cdot L_R] - R_R \cdot i_{Ry} \} \\ \frac{di_{Rx}}{dt} &= A_R \cdot \{ (100\pi - p_0\omega) \cdot [(i_{Sy} + i_{Ry}) \cdot L_m + i_{Ry} \cdot L_R] - R_R \cdot i_{Rx} \} + \\ &+ B_R \cdot \{ U_m + 100\pi \cdot [(i_{Sy} + i_{Ry}) \cdot L_m + i_{Sy} \cdot L_S] - R_S \cdot i_{Sx} \} \\ \frac{di_{Ry}}{dt} &= A_R \cdot \{ (p_0\omega - 100\pi) \cdot [(i_{Sx} + i_{Rx}) \cdot L_m + i_{Rx} \cdot L_R] - R_R \cdot i_{Ry} \} + \\ &+ B_R \cdot \{ 100\pi \cdot [(i_{Sx} + i_{Rx}) \cdot L_m + i_{Rx} \cdot L_R] + R_S \cdot i_{Sy} \}, \end{aligned} \quad (2)$$

де:  $i_{Sx}, i_{Sy}, i_{Rx}, i_{Ry}$  – проекції струмів статора і ротора на координатні осі;  $L_S, L_R, L_m$  – індуктивності розсіювання статора, ротора і робоча індуктивність двигуна;  $R_S, R_R$  – активні опори обмоток статора і ротора;  $U_m$  – амплітуда напруги живлення;  $p_0$  – кількість пар магнітних полюсів;  $\omega$  – кутова швидкість ротора;  $A_S, A_R, B_S, B_R$  – сталі величини, що розраховуються з відповідних індуктивностей:

$$A_S = \frac{L_R + L_m}{L_R L_m + L_S L_m + L_R L_S}; \quad A_R = \frac{L_S + L_m}{L_R L_m + L_S L_m + L_R L_S}; \quad B_S = B_R = \frac{-L_m}{L_R L_m + L_S L_m + L_R L_S}.$$

Електромагнітний момент двигуна знаходимо за формулою

$$M_E = 1,5 p_0 L_m (i_{R_x} i_{S_y} - i_{S_x} i_{R_y}). \quad (3)$$

Зв'язок з рівняннями руху двомасової механічної системи з нелінійною муфтою (1) здійснюємо за допомогою кутової швидкості, передатного числа і електромагнітного моменту

$$M_1 = M_E u; \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt} \cdot u. \quad (4)$$

Для дослідження руху електромеханічної системи, що описується системою нелінійних рівнянь (1)-(4), розроблено спеціалізовану комп'ютерну програму. У діалоговому режимі користувач задає усі параметри механічної та електромеханічної системи відповідно до рівнянь [7, 8]. Параметри електродвигуна взято з [6]. Момент сил корисного опору можна задавати у вигляді сталої і гармонійної складових з довільною частотою і амплітудою. Інтегрування диференціальних рівнянь здійснюється методом Ейлера. Для цього рівняння (1)-(2) подано у нормальній формі Коші за допомогою підстановок:

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_1; \quad \frac{d^2\varphi_1}{dt^2} = \frac{d\omega_1}{dt}; \quad \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2; \quad \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} = \frac{d\omega_2}{dt}.$$

Крок інтегрування і початкові умови можна задати довільно. Інтегрування здійснювали за нульових початкових умов, що відповідають пуску електродвигуна при нерухомому механізмі приводу технологічних машин. Вивід результатів можливий як у графічній формі, так і у вигляді таблиці із заданим кроком часу. Як показує досвід роботи з програмою, досить високої швидкості, стійкості і точності розв'язку можна досягнути за кроку інтегрування 0,00001...0,00002 с. Загальний час перехідного процесу не перебільшує 5 с.

Для дослідження взято пружну муфту з ділянкою квазінульової жорсткості (рис. 2), вільні і вимушені коливання якої досліджено в роботах [7, 8]. Крутний момент муфти  $T$  складається із суперпозиції моментів основних пружин з жорсткістю  $c_1$  і компенсуючих з жорсткістю  $c_2$   $T = T_1 + T_2$ , [8]

$$\text{де } T_1(\varphi) = 2c_1 r^2 \varphi; \quad T_2(\varphi) = -c_2 R_1 R_2 \sin(\varphi) \left[ \frac{\delta_0 + L}{\sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1 R_2 \cos(\varphi)}} - 1 \right], \quad \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 -$$

деформація пружної ланки муфти,  $\delta_0$  – попередній стиск компенсуючих пружин,  $L = R_2 + R_1$ . Інші параметри наведено на рис. 2.

Крутний момент, який передає муфта, становить

$$T(\varphi) = 2c_1 r^2 \varphi - c_2 R_1 R_2 \sin(\varphi) \left[ \frac{\delta_0 + L}{\sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1 R_2 \cos(\varphi)}} - 1 \right].$$

Проаналізуємо вплив параметрів електромеханічної системи на вібравантаженість веденої маси  $J_2$  динамічної моделі (див. рис. 1) при нелінійній муфті з ділянкою квазінульової жорсткості (див. рис. 2). Зауважимо, що досліджувана муфта без компенсуючих пружин є лінійною і передає тільки крутний момент  $T_1$ . Для порівняння взято муфту пружну втулково-пальцеву (МПВП), жорсткість якої можна вважати лінійною [9].

Геометричні параметри подано у безрозмірних одиницях відносно одиничного радіуса  $r=1$ . Тоді радіуси точки кріплення нижнього і верхнього кінців компенсуючих пружин відповідно становлять:  $\lambda_{R1} = R_1 / r \equiv R_1$  і  $\lambda_{R2} = R_2 / r \equiv R_2$ , відносна початкова деформація компенсуючих пружини:  $\lambda_{\delta} = \delta_0 / r \equiv \delta_0$ .

У розроблену комп'ютерну програму вводили наведені вище електричні параметри асинхронного двигуна та характеристики нелінійної муфти: величини жорсткостей  $c_1, c_2$ , безрозмірні геометричні параметри, коефіцієнт затухань  $\mu$ , передатне число і момент інерції веденої маси.

Для МПВП задавали максимальний крутний момент  $M_{кр}$ , який може передати муфта і жорсткість пружних елементів  $c_{\varphi}$ . За введених даних на екрані отримуємо вікно з результатами розрахунку, які можна отримати у вигляді графіків (рис. 3) або таблиць. Вивести на екран можна проекції струмів статора і ротора, кутові переміщення і швидкості обох півмуфт, момент на валу електродвигуна та відновлювальний момент у муфті, а також їх екстремальні значення.

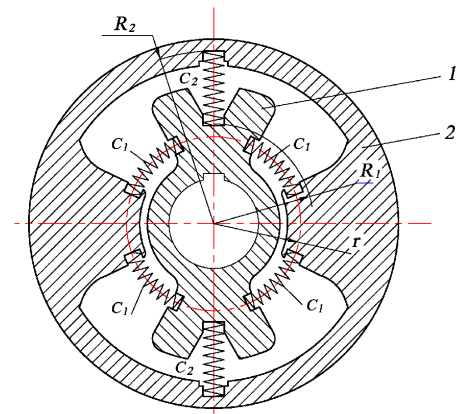


Рис. 2. Структурна схеми пружної муфти з ділянкою квазінульової жорсткості

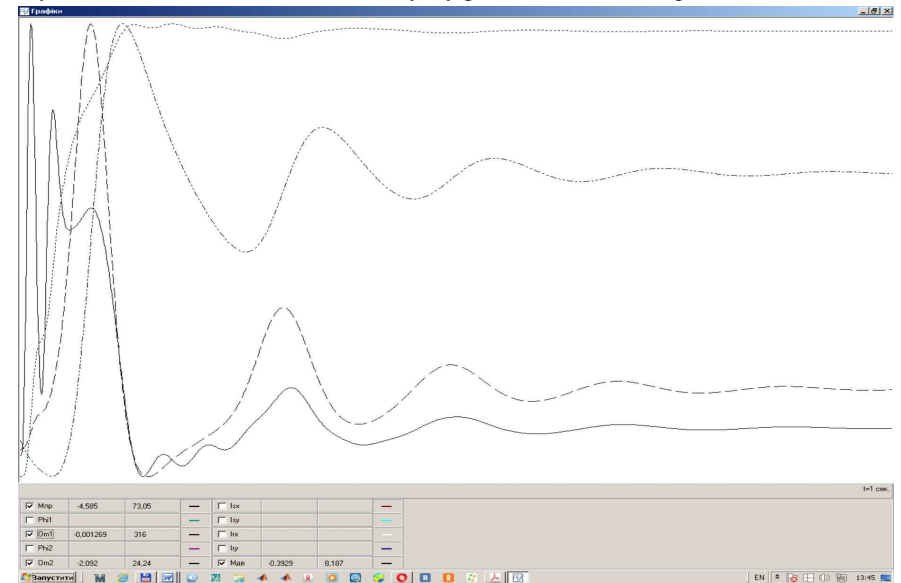


Рис. 3. Робоче вікно результатів роботи програми

Для кращої візуалізації результатів досліджень і для порівняння різних вивідних величин за однакових вхідних величин числові дані імпортувались у програму MATLAB і виводились у вигляді графіків. На рис. 4-6 наведено деякі результати проведених досліджень. У вигляді графіків подано зміну в часі моменту на валу двигуна  $M_{дв}$ , відновлювального моменту  $M_{від}$  та кутової швидкості  $\omega_2$  для різних досліджуваних муфт залежно від моменту інерції веденої маси  $J_2$ .

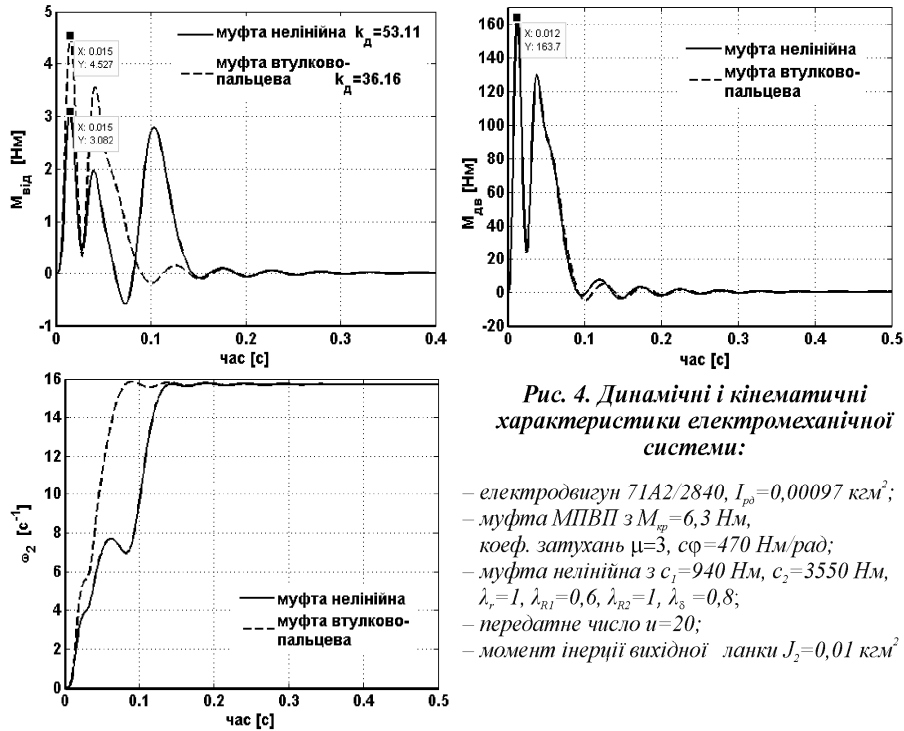


Рис. 4. Динамічні і кінематичні характеристики електромеханічної системи:

- електродвигун 71A2/2840,  $I_{р0}=0,00097$  кгм<sup>2</sup>;
- муфта МПВП з  $M_{сп}=6,3$  Нм, коеф. затухань  $\mu=3$ ,  $c\phi=470$  Нм/рад;
- муфта нелінійна з  $c_1=940$  Нм,  $c_2=3550$  Нм,  $\lambda_r=1$ ,  $\lambda_{R1}=0,6$ ,  $\lambda_{R2}=1$ ,  $\lambda_\delta=0,8$ ;
- передатне число  $i=20$ ;
- момент інерції вихідної ланки  $J_2=0,01$  кгм<sup>2</sup>

У роботі аналізуємо результати на перехідному процесі. Аналіз отриманих графіків (див. рис. 4-6) показав, що час перехідного процесу для обох муфт принципово не відрізняється та становить приблизно від 0,2 до 0,4 с і зростає зі збільшенням зведеного моменту інерції веденої ланки  $J_2$ . Але для нелінійної муфти графік кутової швидкості  $\omega_2$  більш плавно підходить до зони усталеного руху. Коефіцієнт динамічності  $k_D$  для усіх значень моменту інерції кращий (більший) для нелінійної муфти, ніж для лінійної. Його значення виведено на графіках. Хочемо зауважити, що вибраний електродвигун двополосний з номінальною частотою  $n_1 = 3000$  хв<sup>-1</sup>.

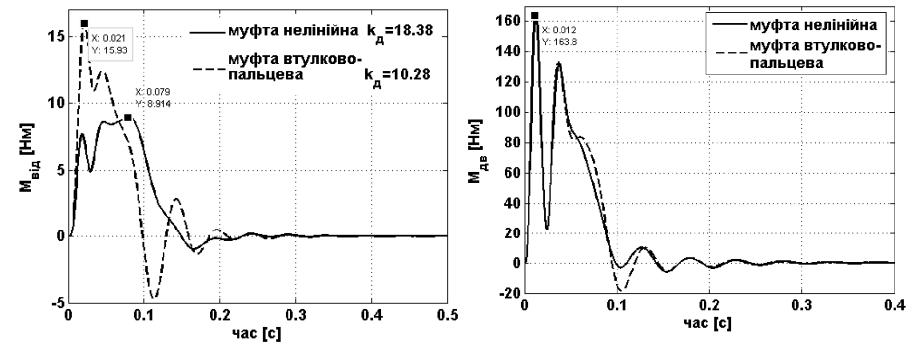


Рис. 5. Динамічні і кінематичні характеристики електромеханічної системи:

- електродвигун 71A2/2840,  $I_{р0}=0,00097$  кгм<sup>2</sup>;
- муфта МПВП з  $M_{сп}=6,3$  Нм, коеф. затухань  $\mu=3$ ,  $c\phi=470$  Нм/рад;
- муфта нелінійна з  $c_1=940$  Нм,  $c_2=3080$  Нм,  $\lambda_r=1$ ,  $\lambda_{R1}=0,6$ ,  $\lambda_{R2}=1$ ,  $\lambda_\delta=0,8$ ;
- передатне число  $i=20$ ;
- момент інерції вихідної ланки  $J_2=0,05$  кгм<sup>2</sup>

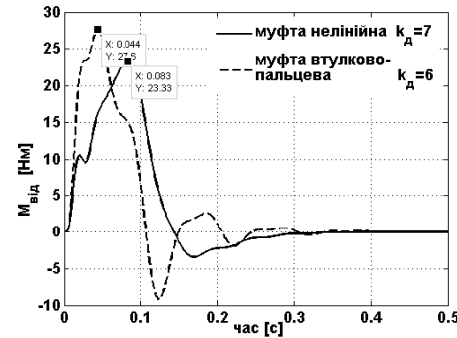
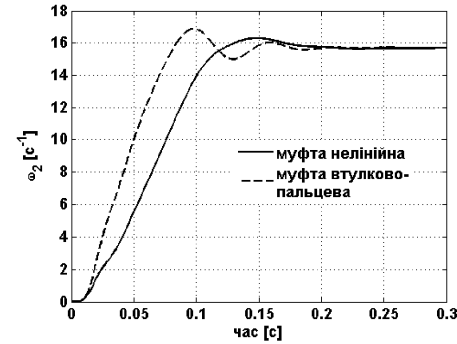
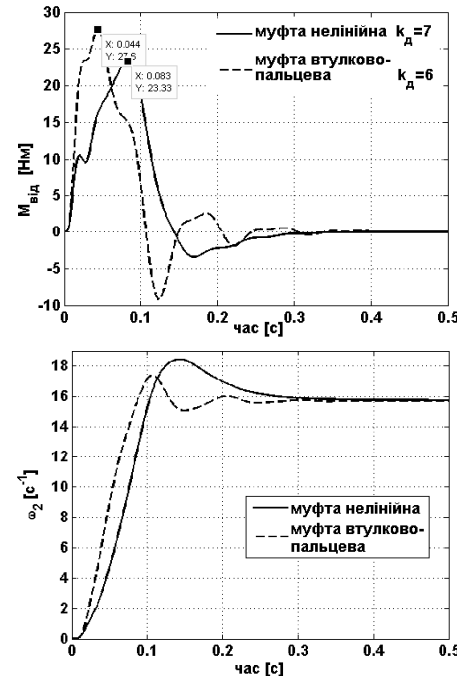


Рис. 6. Динамічні і кінематичні характеристики електромеханічної системи:

- електродвигун 71A2/2840,  $I_{р0}=0,00097$  кгм<sup>2</sup>;
- муфта МПВП з  $M_{сп}=6,3$  Нм, коеф. затухань  $\mu=3$ ,  $c=470$  Нм/рад;
- муфта нелінійна  $c_1=940$  Нм,  $c_2=2750$  Нм,  $\lambda_r=1$ ,  $\lambda_{R1}=0,6$ ,  $\lambda_{R2}=1$ ,  $\lambda_\delta=0,8$ ;
- передатне число  $i=20$ ;
- момент інерції вихідної ланки  $J_2=0,1$  кгм<sup>2</sup>



**Висновки:**

1. Розроблено комп'ютерну програму для аналізу динаміки приводу виконавчих механізмів з урахуванням електромеханічних характеристик електродвигуна і механічних характеристик пружної нелінійної (лінійної) муфти.
2. Для усіх значень зведеного моменту інерції виконавчого механізму  $J_2 = 0,01 - 0,05 - 0,1$  кгм<sup>2</sup> коефіцієнт динамічності кращий для нелінійної муфти.
3. З ростом моменту інерції виконавчого механізму коефіцієнт динамічності на періоді перехідного процесу зменшується.

**Література**

1. Вейц В.Л. Динамика управляемого электромеханического привода с асинхронными двигателями / В.Л. Вейц, П.Ф. Вербовой, А.Е. Кочура и др. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1988. – 272 с.
2. Харченко С.В. Розрахунок динамічних процесів в електромеханічній привідній системі з пружною муфтою / С.В. Харченко, К.К. Колесник // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2001. – Вип. 11.1. – С. 124-129.
3. Харченко С.В. Математичне моделювання гальмівних режимів роботи привідної системи пасажирського ліфта / С.В. Харченко, Б.В. Бондарчук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.13. – С. 294-301.
4. Лютенко В.С. Математична модель для дослідження електромеханічних процесів у підйомниках для складання бурових вишок / В.С. Лютенко // Системи управління, навігації та зв'язку : зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 1. – С. 59-64.
5. Чабан В.И. Основы теории переходных процессов электромашиных систем / В.И. Чабан. – Львов : Изд-во "Вища шк.", 1980. – 200 с.
6. Кравчик А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А : справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболевская. – М. : Изд-во "Энергоиздат", 1982, 504 с.
7. Пасіка В.Р. Побудова скелетних кривих пружної муфти з ділянкою квазінульової або від'ємної жорсткості / В.Р. Пасіка, І.О. Романчук // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2013. – № 759. – С. 79-84.
8. Пасіка В.Р. Вимушені коливання пружної муфти з ділянкою квазінульової жорсткості / В.Р. Пасіка, І.О. Романчук // Вібрації в техніці та технологіях : Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця. – 2014. – № 4(76). – С. 24-33.
9. Харченко С.В. Розрахунок жорсткісних характеристик пружних втулково-пальцевих муфт / С.В. Харченко, К.К. Колесник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2000. – № 412. – С. 96-100.

*Надійшла до редакції 05.10.2016 р.*

**Комаров С.М., Пасіка В.Р., Романчук І.А., Гембара Н.А. Исследование динамических характеристик муфты с участком квазиулевой жесткости с учетом характеристик электродвигателя**

Исследованы динамические процессы в электромеханической двухмассовой системе привода технологических машин и влияния податливости упругой нелинейной муфты с участком квазиулевой жесткости на его динамику. Рассмотрена уточненная двухмассовая модель с учетом электрических параметров асинхронного электродвигателя. Разработана специализированная компьютерная программа, которая позволяет вводить и модифицировать параметры механической части, муфты и электродвигателя и интегрирует полученные дифференциальные уравнения методом Эйлера. Доказано, что исследуемая нелинейная муфта с участком квазиулевой жесткости эффективнее втулочно-пальцевой.

**Ключевые слова:** электромеханическая система, двухмассовая динамическая модель, упругая нелинейная муфта, коэффициент динамичности.

**Komarov S.M., Pasika V.R., Romanchuk I.O., Hembara N.O. The Study of Dynamic Characteristics of Clutch with Quazi-Zero Stiffness Area Considering Electric Motor Characteristics**

The study of dynamic processes in the electromechanical two-mass system of the drive of technological machines has been done as well as a study of the impact of nonlinear elastic clutch compliance with quasi-zero stiffness area on its dynamics. A revised two-mass model has been considered taking into account electrical parameters of asynchronous motor. Specialized computer software has been developed that allows you to input and modify the parameters of the mechanical parts, the clutch and the electric motor and integrates the received differential equations by Euler method. It has been proved that the studied nonlinear clutch with the quasi-linear stiffness area is more effective than a sleeve-finger one.

**Keywords:** electromechanical system, two-mass dynamic model, elastic nonlinear clutch, dynamic factor.

УДК 536.2.083

**ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІДИН**

*І.С. Васильківський<sup>1</sup>, В.О. Фединець<sup>2</sup>, Я.П. Юсик<sup>3</sup>*

Розглянуто теоретичні основи побудови вимірювального перетворювача теплофізичних властивостей рідин у процесі ламінарної течії з використанням порівняльного методу вимірювання, що дасть змогу підвищити точність і спростити процес вимірювання, порівняно з відомими рішеннями. Наведено опис принципової схеми та значення конструктивних параметрів розробленого перетворювача теплофізичних властивостей рідин. Описано порядок проведення вимірювань та наведено розрахункові формули для визначення теплопровідності і температуропровідності рідин. Наведено результати експериментальних досліджень теплофізичних характеристик рідин з використанням розробленого перетворювача.

**Ключові слова:** теплофізичні властивості, температуропровідність, теплопровідність, тепловий опір, досліджувана та еталонна рідина, вимірювальний перетворювач.

**Постановка проблеми.** Потреба вимірювання теплофізичних характеристик рідин спричинена тим, що у процесі проведення наукових досліджень і перебігу технологічних процесів треба знати властивості технічно важливих рідин, оскільки досить часто такої інформації у довідковій літературі немає або значення параметрів наведено зі значною похибкою.

Більшість технологічних рідин – це дисперсні системи (суспензії, емульсії або рідинно-газові суміші), ефективні значення теплофізичних характеристик яких можна виміряти тільки під час їх перебігу. У стані спокою відбувається поділ технологічних рідин на їх компоненти. При цьому тверді частинки суспензій випадають в осад, емульсії розшаровуються, дрібні бульбашки газів виділяються з рідинно-газових сумішей [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом для вимірювання теплофізичних характеристик потоків технологічних рідин значного поширення набули т. зв. методи ламінарного режиму, які полягають у вимірюванні

<sup>1</sup> доц. І.С. Васильківський, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

<sup>2</sup> проф. В.О. Фединець, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

<sup>3</sup> доц. Я.П. Юсик, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"