

УДК 681.513.675

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПІДКЛАДОК**Г. В. Кулінченко, В. А. Багута**

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна. E-mail: heorhy@rambler.ru

В. В. Гладкий

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: kafea@kdu.edu.ua

Аналізується електромеханічна взаємодія елементів в установці позиціонування підкладок, яка представлена двохмасовою системою. Дослідження динамічних характеристик проводиться з метою оцінки можливості отримання рівнотовщинного шару плівок в умовах дії збурень є навантаженні робочого органу транспортуючого пристрою. Моделювання системи позиціонування проводиться в програмному середовищі Matlab 7.1 Simulink. Розроблена модель дає можливість досліджувати вплив значень конструктивно-технологічних параметрів установки на режими її роботи, а також здійснювати вибір відповідних апаратів електроприводу. Завдяки блочному принципу розбудови модель є відкритою для подальших удосконалень.

Ключові слова: динамічна характеристика, швидкість переміщення, електропривод, модель, рівномірність.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДЛОЖЕК**Г. В. Кулинченко, В. А. Багута**

Сумской государственной университет

ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина. E-mail: heorhy@rambler.ru

В. В. Гладкий

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: kafea@kdu.edu.ua

Анализируется электромеханическое взаимодействие элементов в установке позиционирования подложек, которая представлена двухмассовой системой. Исследование динамических характеристик производится с целью оценки возможности получения равнотолщинного слоя пленок в условиях действия возмущений в нагрузке рабочего органа транспортирующего устройства. Моделирование системы позиционирования проводится в программной среде Matlab 7.1 Simulink. Разработанная модель позволяет исследовать влияние значений конструктивно-технологических параметров установки на режимы ее работы, а также осуществлять выбор соответствующих аппаратов электропривода. Благодаря блочному принципу построения модель является открытой для дальнейших усовершенствований.

Ключевые слова: динамическая характеристика, скорость перемещения, электропривод, модель, равномерность.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Традиційно виробництво полімерних плівок базується на процесі нанесення полімерного розчину відповідної концентрації на нескінченну стрічку, що рухається з постійною швидкістю. Більшість промислових зразків отримують у результаті відшарування плівки від стрічки після процесу висушування розчинника.

Розглядаючи завдання розбудови такого процесу в аспекті енергозбереження та мінімізації вартості обладнання, виникає необхідність у розробці відповідного тракту транспортування базових елементів, на які відливається плівка. Така постановка питання призводить до дискретного характеру функціонування обладнання.

Тим не менш завдання керування процесом відливу полімерних плівок залишається класичною і формулюється як мінімізація різновтовщинності по площі плівки, уникаючи зон розриву плівок [1].

Процес виробництва полімерних плівок супроводжується збуреннями та завадами різного характеру. Покращити якість плівок можна як шляхом підвищення ефективності каналів керування процесом, так і шляхом вибору досконалого сучасного обладнання, машин і оптимізації їх режимів роботи.

Аналіз ефективності каналів керування процесом зазвичай проводять на моделях об'єкту, які дозво-

ляють визначити характеристики об'єкту та його реакцію на вхідні впливи.

Особливе значення мають динамічні характеристики установки позиціонування підкладок, наявність яких дає змогу не тільки розробити відповідні алгоритми керування процесом, але й оптимізувати параметри механічної частини установки.

Оскільки установка позиціонування підкладок являє собою машину безперервної дії з тяговим органом [2], який одночасно є і робочим органом, то для опису її функціонування можна застосувати відповідні підходи до її аналізу.

Розглядаючи напрямки досліджень функціонування конвеєрів, які належать до машин безперервної дії, можна констатувати, що більшість з них присвячена енергозбереженню та оптимізації загрузки конвеєра [3] за рахунок зміни його швидкості переміщення.

Оптимізація режимів функціонування конвеєрних установок зводиться до вирішення задач реалізації потрібного закону зміни швидкості, виключення коливань динамічних навантажень під час пуску і гальмування; зупинки робочого органу в заданій точці. Всі ці задачі можуть бути вирішені з використанням комбінованого управління за основним задаючим впливом, пропорційним керуваній змінній

(швидкості або положенню) [4]. При цьому оптимізація електроприводу за швидкодією реалізується за допомогою підпорядкованого регулювання координат, а згладжування механічних коливань та завдання руху системи досягається застосуванням спеціальних задаючих пристроїв [5].

Додаткові складнощі в управлінні установками транспортування виникають в результаті дії пружних зв'язків між діючими масами [6, 7]. Урахування динаміки цих зв'язків дозволяє оцінити динаміку електромеханічної системи в цілому.

Вочевидь, що повний аналітичний опис моделі системи отримати важко, тому для вирішення цієї задачі часто використовують структурне моделювання в середовищі Matlab (Simulink), за допомогою якого можна не тільки візуалізувати процес моделювання, але і врахувати нелінійності моделі [8, 9].

Аналіз відомих досліджень сформульованого напрямку дає змогу виробити підхід до вирішення технологічного завдання з відливу полімерних плівок. Це завдання, на відміну від традиційних задач управління транспортуючим обладнанням, повинно забезпечити транспортування базових елементів установки (підкладок) з мінімальними відхиленнями швидкості транспортування від заданої величини.

У зв'язку із вищевикладним метою роботи є дослідження динаміки системи позиціонування підкладок. Додаткове завдання досліджень полягає в оцінці можливостей ступеня узгодження швидкості переміщення підкладок з величиною витрат полімерної композиції, яка наноситься на підкладку.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Поставлено задачу отримання необхідних даних для розробки експериментальної установки відливу плівок з заданими фізико-механічними та спеціальними параметрами, а також проведення досліджень на моделях процесу для вибору необхідного обладнання, що забезпечить потрібні характеристики полімерних плівок.

Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні завдання:

1. Розробка математичної моделі установки позиціонування підкладок, на які відливаються полімерні плівки

2. Дослідження взаємозв'язку конструктивно-технологічних параметрів установки та оцінка ефективності керування режимами обладнання та можливості мінімізації впливу збурень на процес.

3. На основі аналізу отриманих даних сформулювати завдання на розробку пристроїв автоматизації електроприводу установки позиціонування.

Виконання цих завдань дозволяє відпрацювати взаємодію розробленої моделі із системою дозування полімерної композиції і оптимізувати параметри тракту відливу плівок.

Установка позиціонування підкладок працює у безперервному режимі (рис. 1), для якого є характерним періодичне збурення механічного навантаження. Ці збурення виникають у результаті завантаження-вивантаження підкладок на ремні установки.

Специфіка роботи електроприводу полягає в тому, що, не дивлячись на появу механічних збурень, система керування повинна забезпечити мінімальні

відхилення швидкості пересування підкладок V із заданим значенням сили натягу ремня F_n . Додатковими вимогами до цієї електромеханічної системи є забезпечення високих динамічних параметрів з відпрацювання збурень витрат полімерної композиції за рахунок зміни швидкості руху підкладок.

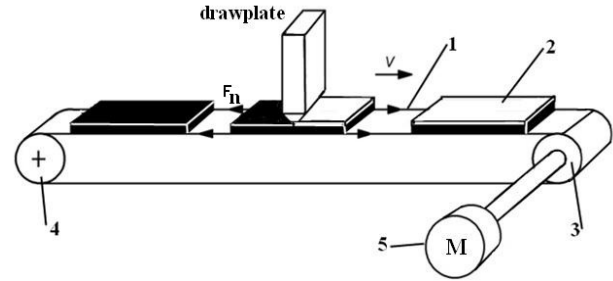


Рисунок 1 – Схема установки позиціонування:
1 – зубчастий ремень; 2 – підкладки для плівки;
3 – зубчасте колесо; 4 – гальмівне колесо;
5 – електродвигун

Указані обставини мають суттєвий вплив на вибір електродвигуна та інших елементів установки.

Аналіз динамічних процесів у системі, що розглядається, ускладнюється відсутністю кількісних характеристик елементів системи позиціонування підкладок.

Для розбудови моделі установки позиціонування розглянемо її схему (рис. 2) із силами, які діють при переміщенні ремнів з підкладками.

Виходячи зі структури установки, її можна представити двохмасовою системою, об'єднавши деякі із розподілених у просторі мас системи.

При цьому до першої маси віднесемо двигун, з'єднувальну муфту та приводне колесо 3 (рис. 1). Це можливо завдяки тому, що проміжні маси суттєво не впливають на швидкість обертання валу двигуна ω_1 , через яку відбувається керування тягнучим моментом виконуючого двигуна.

У другу масу m_2 об'єднаємо масу зубчастого ремня, масу підкладок, що транспортуються, та масу гальмівного колеса. Крім того, суттєвий внесок у процес взаємодії сил вносять сили пружності [10], які проявляються завдяки застосуванню зубчастого ремня.

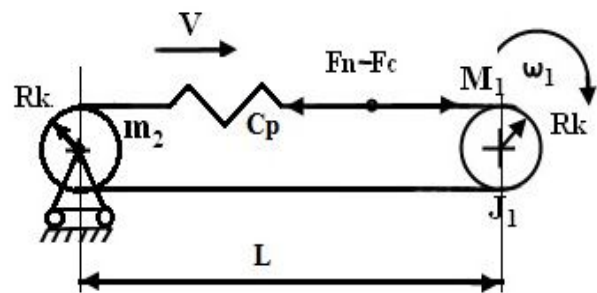


Рисунок 2 – Схема діючих сил:
 R_k – радіус приводного і гальмівного колеса;
 $M_1(\omega)$ – момент двигуна; J_1 – момент інерції першої приведеної маси; ω_1 – швидкість обертання першої маси; F_n – сила натягування ремня;
 C_p – жорсткість зубчастого ремня

Як видно із рис. 2, при транспортуванні підкладок діють дві головні сили: сила тяги і сила опору переміщенню ременів.

Сила тяги визначається електромеханічним моментом електродвигуна, який залежить від швидкості обертання валу двигуна M , а швидкість обертання валу двигуна ω_1 , в свою чергу, врівноважується гальмівним моментом M_1 :

$$M_1 = F_n \cdot R_k$$

Гальмівний момент можна змінювати завдяки зміні положення гальмівного колеса, тим самим змінюючи статичну силу натягування ремня.

Рівняння рівноваги запишеться:

$$J_1 \frac{d\omega}{dt} + F_n \cdot R_k = M_1(\omega), \quad (1)$$

де J_1 – момент інерції першої приведенної маси; ω_1 – швидкість обертання першої маси; F_n – сила натягування ремня; R_k – радіус приводного і гальмівного колеса; $M_1(\omega)$ – момент що розвиває двигун, залежить від швидкості обертання.

Враховуючи пружні властивості зубчатого ремня C_p , процес взаємодії двох зазначених мас, що діють тракті, можна записати наступним чином.

$$\frac{dF_n}{dt} = C_p(\omega_2 R_k - V) \quad (2)$$

В операторній формі:

$$F_n = \frac{C_p}{p}(\omega_2 R_k - V),$$

де V – швидкість руху ременів з підкладками.

Крім пружності зубчатого ремня, на процес взаємодії двох мас ще впливають нелінійні властивості механічних зазорів між зубцями ремня та колес. Ці властивості можна описати співвідношенням узагальненого кута $\Delta\varphi$:

$$V = 0, \text{ якщо } \Delta\varphi \leq \theta, \\ V = \omega_1 R_k, \text{ якщо } \Delta\varphi > \theta, \quad (3)$$

Швидкість переміщення узагальненої другої маси m_2 приведенної до радіусу гальмівного колеса, визначається згідно зі співвідношенням Ньютона:

$$m_2 \frac{dV}{dt} = F_n - F_c. \quad (4)$$

В операторній формі

$$V = \frac{F_n - F_c}{pm_2},$$

де F_c – сила спротиву руху тракту переміщення.

Сила спротиву F_c визначається статичною силою опору, яка також залежить від конструкції тракту позиціонування і швидкості руху підкладок V . Аналітично вирахувати силу спротиву F_c важко, але спираючись на експертні оцінки роботи транспортуючого обладнання, можна визначити, що ця сила складає 5...10 % сили натягування тягнутого ремня F_n і враховується коефіцієнтом β на схемі.

Система рівнянь (1)–(4) складають математичну модель руху підкладок в установці їх позиціонування.

Виходячи із сформованої системи рівнянь, можна представити систему моделювання установки в середовищі MATLAB Simulink (рис. 3).

До них належить швидкість переміщення підкладок V , їх маса m_2 , відстань між тягнучим і гальмівними колесами L та жорсткість ремня C_p . Статичний гальмівний момент визначає первинне значення сили натягування зубчатого ремня, відповідно впливає на характер дії пружних сил.

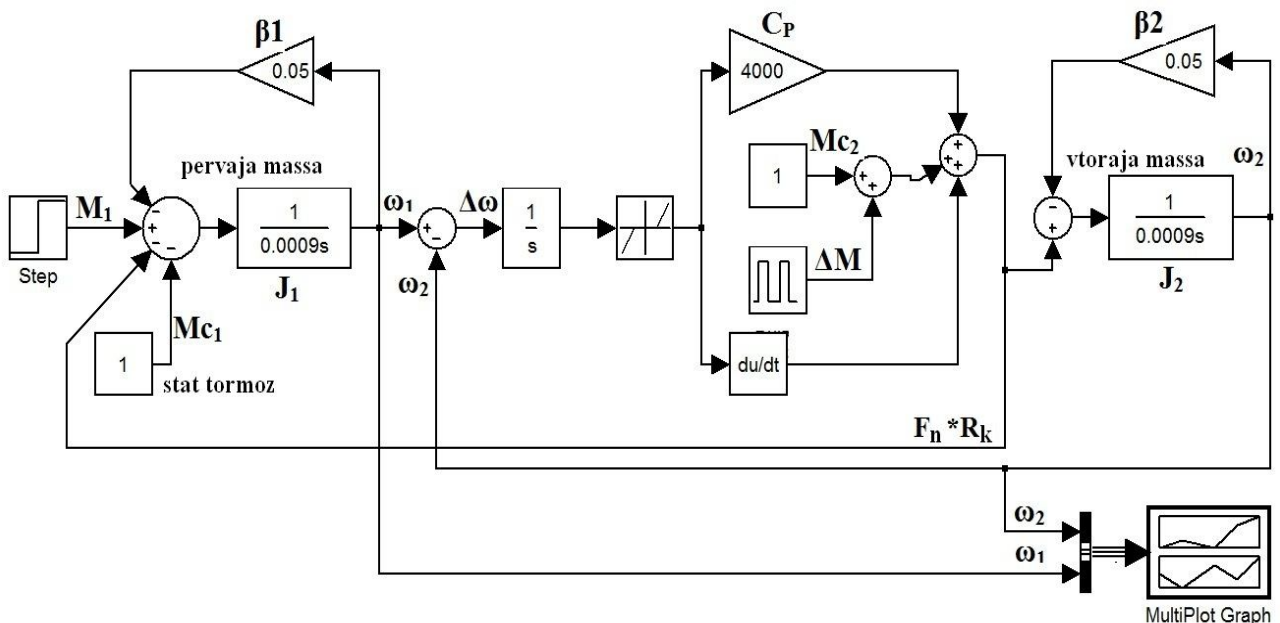


Рисунок 3 – Схема моделі

Оскільки маса елементів, що транспортуються, незначна, то в якості тягнучого можна використати асинхронний двигун малої потужності з мінімальними номінальними обертами. Керування швидкістю позиціонування підкладок реалізується з допомогою перетворювача частоти (ПЧ) із ШІМ.

У результаті запуску схеми моделювання в реальному масштабі часу, отримується розгінна характеристика (рис. 4).

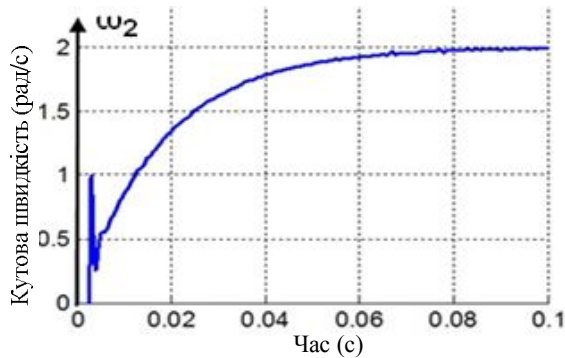


Рисунок 4 – Розгінна характеристика по швидкості

Ця характеристика, виходячи з отриманих сталих часу, дає змогу ідентифікувати об'єкт відповідними ланками і проаналізувати розгінний та гальмівний режими системи.

Розгінна характеристика (рис. 4) отримана, виходячи з наступних даних: $J_1 = J_2 = 0,0009$, $M_{c1} = 1$, $M_{c2} = 10$, $C_p = 4000$ Н/м.

Скачок на характеристиці пояснюється наявністю механічних зазорів між зубцями ременя (3).

Моделюючи періодичне завантаження / вивантаження підкладок за допомогою імпульсного генератора додавання маси (ΔM), отримуємо коливання швидкості переміщення підкладок (рис. 5).

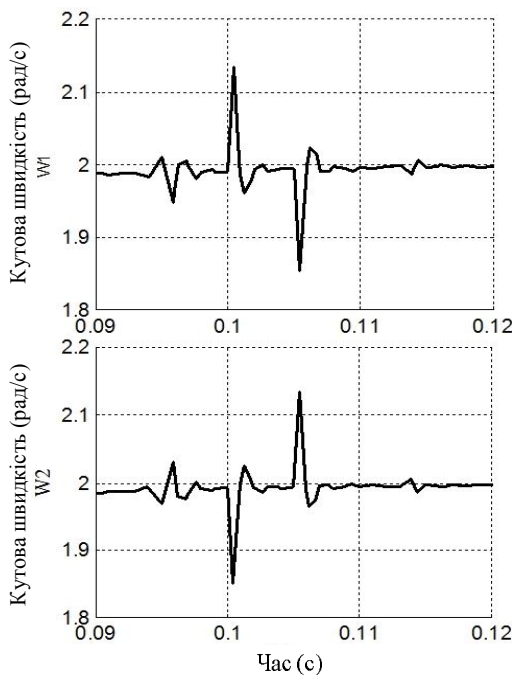


Рисунок 5 – Зміни швидкості в процесі транспортування

Ці коливання пропорційні коливанням кутової швидкості: $\Delta V = \Delta \omega_2 R_k$.

На моделі досліджувався вплив діючого статичного гальмівного моменту на характер коливань швидкості (рис. 6). При зміні значення гальмівного моменту до $M_{c2} = 1$ процес встановлення швидкості до номіналу затягується.

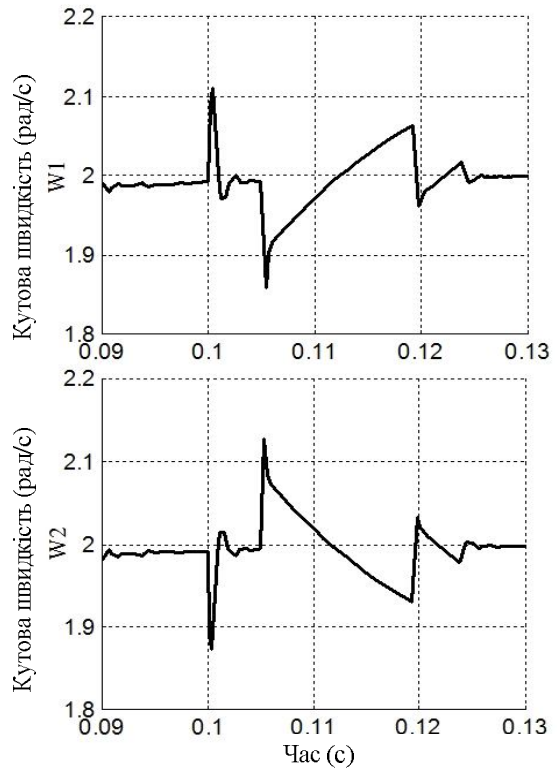


Рисунок 6 – Коливання швидкості при $M_{c2} = 1$

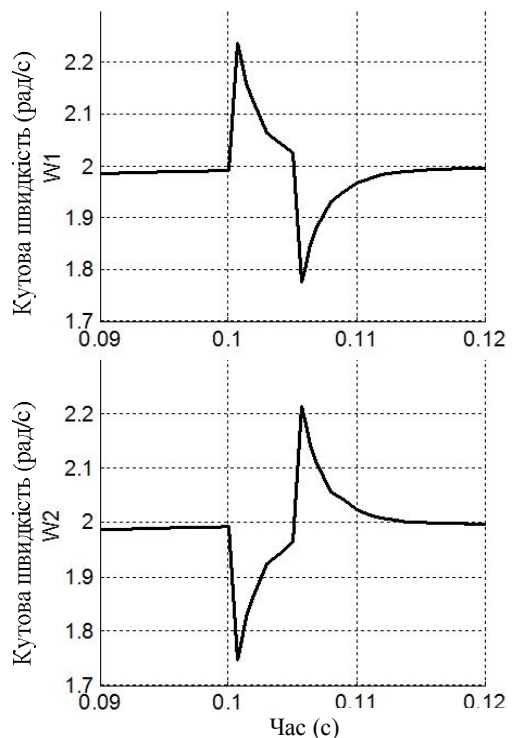


Рисунок 7 – Коливання швидкості при $C_p = 400$

Виходячи із завдань відпрацювання конструктивних механічних характеристик електромеханічної системи, в моделі досліджувався вплив величини жорсткості тягнучого ременя установки на коливання швидкості. Зменшення C_p до значення 400 Н/м призводить до того, що час коливань зменшується, але збільшується їх амплітуда (рис. 7).

Як вказувалося раніше, зміни швидкості в процесі позиціонування підкладок впливають на товщину полімерної плівки, яка відливається. Тому, виходячи з отриманих даних, можна сформулювати вимоги до параметрів регулятора які дозволять мінімізувати вплив зміни швидкості на товщину шару плівки.

Для отримання належної якості регулювання необхідно оптимальне налаштування параметрів регулятора, що потребує додаткових експериментальних досліджень в напрямку оцінки адекватності моделі.

ВИСНОВКИ. 1. Розроблена модель електромеханічної системи позиціонування підкладок.

2. На базі моделі отримані динамічні характеристики, що дає змогу сформулювати вимоги до системи керування дозуванням полімерної композиції.

3. Інтерфейс моделі дозволяє проводити удосконалення та необхідні уточнення моделі, які проводяться за результатами експериментальних робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Багута В.А., Кулинченко Г.В. Задачи управления в процессе отлива пленок // IX Всеукраїнська науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів». – Кременчук, 2010. – С. 9–10.

2. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.

3. Дмитриева В.В., Певзнер Л.Д. Автоматическая стабилизация погонной нагрузки ленточного конвейера. – М.: Изд-во МГГУ. 2005. – 25 с.

4. Чермалых В.М., Чермалых А.В., Майданский И.Я. Исследование динамики и энергетических показателей асинхронного электропривода с векторным управлением // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – № 30. – С. 41–45.

5. Майданский И.Я., Алтухов Е.И., Гузенко Ю.М., Козаченко А.В. Система управления электроприводом с плавным изменением демпфирования упругих механических колебаний // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 4/2009 (57), част. 1. – С. 107–111.

6. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями: Производственное издание. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург. отд., 1992. – 288 с.

7. Мещеряков В.Н. Исследование динамики электромеханических систем с упругими связями. – Липецк: Липец. гос. техн. ун-т, 1999. – 64 с.

8. Холодниок М., Клич А., Кубичек М., Марек М. Методы анализа нелинейных динамических моделей. – М.: Мир. 1991. – 365 с.

9. Дьяконов В.П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 384 с.

10. Цехнович Л.И. О динамике электроприводов постоянного тока с упругой связью // Электричество. – 1968. – № 6. – С. 54–57.

RESEARCH OF DYNAMICS OF POSITIONING SYSTEM OF SUBSTRATE MATERIALS

G. Kulinchenko, V. Bahuta

Sumy State University

vul. Rimsky-Korsakov, 2, Sumy, 40007, Ukraine. E-mail: heorhy@rambler.ru

V. Gladkyi

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: kafea@kdu.edu.ua

Electromechanical interaction of elements in the substrates positioning installation is analyzed. Two-mass system of the installation is represented schematically. The research of dynamic characteristics is performed with a view of capability assessment of obtaining the equithickness films under conditions of the load perturbation of the working element of a conveying device. Modelling of the positioning system is carried out in the Matlab 7.1 Simulink software environment. The model developed allows for investigation of the dependences between the values of functional and technological parameters on the installation and its operation mode and also choosing the electric vehicles required. Due to the block-design principle further enhancement is available for the model developed.

Key words: dynamic response, conveying speed, electric drive, model, uniformity.

REFERENCES

1. Bahuta V.A., Kulinchenko G.V. Control problems in the film pour process. *Proc. of the 9th All-Ukrainian Sci-Tech. Conf. "Physical processes and fields of tech-*

nical and biological objects". – Kremenchuk, 2010. – PP. 9–10. [in Russian]

2. *Avtomatizirovannyi elektroprivod tipovykh proizvodstvennykh mekhanizmov I tekhnologicheskikh kom-*

plksov [Automated electric drive of standard industrial mechanisms and technological complexes]: Textbook / M.P. Belov, V.A. Novikov, L.N. Rassudov. – Moscow: Akademiya, 2007. – 576 p. [in Russian]

3. Dmitrieva V.V., Pevzner L.D. *Avtomaticheskaya stabilizatsiya pogonnoi nagruzki lentochnogo konveyera* [Automatic stabilizing of the linear loading of band conveyor]. – Moscow: MGGU. 2005. – 25 p. [in Russian]

4. Chermalih V.M., Chermalih A.V., Majdanskiy I.J. Research of dynamics and power indexes of asynchronous drive vector control // *Transactions of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*. – 2008. – № 30. – PP. 41–45. [in Russian]

5. Majdanskiy I.J., Altuhov E.I., Guzenko J.M., Kozachenko A.V. Control system of electric drive with smooth variation of damping of elastic mechanical oscillations // *Transactions of Kremenichuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University*. – Kremenichuk: KSPU, 2009. – Iss. 4/2009 (57). P. 1. – PP. 107–111. [in Russian]

6. Bortsov J.A., Sokolowski G.G. *Avtomatizirovannyi elektroprivod s uprugimi svyaziami* [Automatic electric drive with elastic constraints]: Industrial

Edition. – SPb.: Energoatomizdat, 1992. – 288 p. [in Russian]

7. Meshcheryakov V.N. *Issledovanie dinamiki elektromekhanicheskikh system s uprugimi svyaziami* [Study of the dynamics of electromechanical systems with elastic constraints]. – Lipetsk, 1999. – 64 p. [in Russian]

8. Holodniok M., Klich A., Kubicek M., Marek M. *Metody analiza nelineynykh dinamicheskikh modelei* [Methods for analysis of nonlinear dynamical models]. – Moscow: Mir, 1991. – 365 p. [in Russian]

9. Dyakonov V.P. *VisSim + Mathcad + MATLAB. Vizualnoe matematicheskoe modelirovanie* [VisSim + Mathcad + MATLAB. Visual mathematical modeling]. – Moscow: SOLON-Press, 2004. – 384 p. [in Russian]

10. Tsehnovich L.I. On the dynamics of DC drives with elastic constraints // *Electrichestvo*. – 1968. – № 6. – PP. 54–57. [in Russian]

Стаття надійшла 04.01.2013.