

О. В. Дерібо¹
 Ж. П. Дусанюк¹
 С. В. Репінський¹
 М. В. Гораль¹

ДИНАМІКА ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО СЛІДКУВАЛЬНОГО ПРИВОДУ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОБКОЧУВАННЯ ВІСЕНЕСИМЕТРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

¹Вінницький національний технічний університет

Розроблена математична модель електрогідрравлічного слідувального приводу зі зворотним зв'язком за перепадом тиску в порожнинах виконавчого гідроциліндра пристрою для обкочування вісенесиметричних поверхонь. Пристрій забезпечує задане зусилля на інструменті (обкочувальному ролику). Для імітаційного моделювання приводу в середовищі MATLAB Simulink розроблена відповідна обчислювальна структура (блок-схема). Досліджено вплив параметрів приводу на його динамічні характеристики.

Ключові слова: пристрій для обкочування роликом, вісенесиметричні поверхні, електрогідрравлічний слідувальний привід, зворотний зв'язок за перепадом тиску, динамічні характеристики, імітаційне моделювання, середовище MATLAB Simulink.

Вступ

В процесах обробки зовнішніх поверхонь деталей поверхневим пластичним деформуванням важливою умовою є керованість силою деформування. Якщо оброблювана поверхня має ексцентриситет відносно осі обертання заготовки або є нециліндричною, наприклад, конічною або бочкоподібною, то ця задача ускладнюється. Одним з можливих шляхів розв'язання цієї задачі є застосування в обкочувальному пристрої електрогідрравлічного слідувального приводу (ЕГСП), який працюватиме в режимі «м'якого» навантаження, тобто в режимі, який передбачає забезпечення стабільності сили, яка діє зі сторони інструмента на заготовку незалежно від профілю обкочуваної поверхні. Такий привід розглянутий в [1, 2]. Особливістю проводу, який розглядається у цій статті, є використання перепаду тиску в робочих порожнинах гідроциліндра як сигналу головного зворотного зв'язку. Важливим є забезпечення такої швидкодії проводу, яка гарантувала б можливість використання бажаних режимів обробки, а саме силу на ролику в межах 500...1800 Н і швидкість обкочування 40...100 м/хв [3]. Таким чином, *метою роботи* є дослідження динаміки обкочувального пристрою, розробка обчислювальної структури для числового імітаційного дослідження в програмному середовищі MATLAB Simulink і проведення самого імітаційного дослідження для визначення раціональних конструктивних параметрів приводу.

Математична модель ЕГСП і обчислювальна структура для його дослідження

Розрахункова схема досліджуваного ЕГСП показана на рис. 1. Згідно з цією схемою математична модель ЕГСП включає рівняння:

– датчика головного зворотного зв'язку

$$u_{fb} = -k_{fb}\Delta p;$$

– суматора

$$u_{\Delta} = u_{in} - u_{fb};$$

– підсилювача сигналу розузгодження

$$i = k_{iu}u_{\Delta};$$

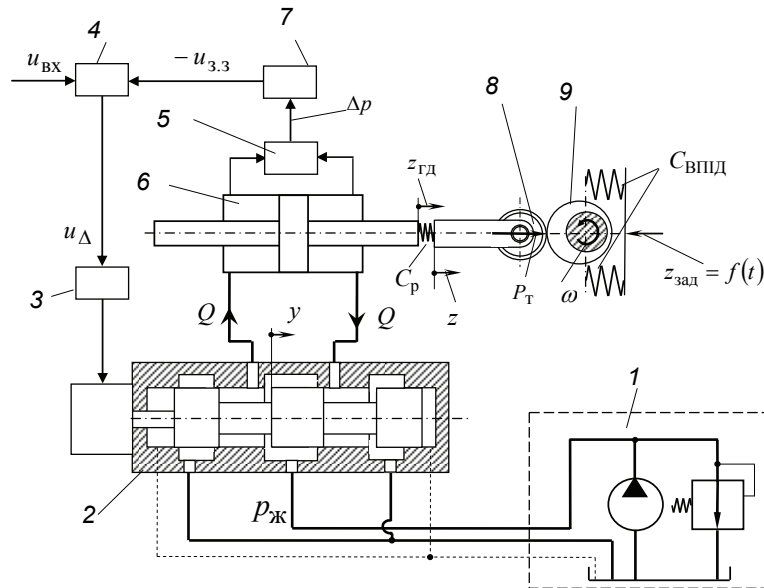


Рис. 1. Схема ЕГСП: 1 — гідростанція; 2 — електрогідравлічний підсилювач; 3 — підсилювач сигналу розузгодження; 4 — суматор; 5 — датчик перепаду тиску (датчик сигналу зворотного зв'язку); 6 — виконавчий двигун (гідроциліндр); 7 — підсилювач сигналу зворотного зв'язку; 8 — обкочувальний ролик; 9 — оброблювана заготовка

– електрогідравлічного підсилювача

$$y = k_1 i, \text{ якщо } i \leq \frac{y_{\max}}{k_1},$$

$$y = y_{\max}, \text{ якщо } i > \frac{y_{\max}}{k_1};$$

– подачі рідини на виході електрогідравлічного підсилювача, що має розподільний золотник з «нульовими» перекриттями робочих вікон [4]

$$Q = k_{Qy} y \sqrt{1 - \frac{\Delta p}{p_s} \text{sign } y};$$

– зв'язку між переміщеннями вихідного органа ідеального гідродвигуна і штока реального гідроциліндра

$$P = C_p (z_1 - z);$$

– сили, що розвивається вихідним органом ідеального гідродвигуна

$$P = \Delta p F;$$

– рівноваги сил, що діють на обкочувальний ролик і шток гідроциліндра

$$P = m \frac{d^2 z}{dt^2} + \beta \frac{dz}{dt} + C(z + z_2).$$

Сумарна жорсткість C_p робочої рідини, яка міститься в гідролінях між ЕГП і гідроциліндром та в робочих порожнинах гідроциліндра визначалась за формулою [5]

$$C_p = \frac{2F^2 E_p}{V_0 \left(1 + \frac{V_1}{V_0}\right)}.$$

В формулах математичної моделі прийняті такі позначення: u_{in} — вхідний сигнал, пропорційний заданій силі обкочування P_0 ; u_{fb} — сигнал на виході датчика головного зворотного зв'язку; u_{Δ} — сигнал на виході суматора (сигнал розузгодження); k_{fb} , k_{iu} , k_1 — відповідно, коефіцієнти підсилення датчика, підсилювача сигналу розузгодження та ЕГП; i — струм на вході в ЕГП; y — зміщення золотника ЕГП від нейтрального (середнього) положення; $k_{Qy} = \mu b \sqrt{\frac{p_s}{\rho}}$ — коефіцієнт

підсилення ЕГП за подачею Q робочої рідини; b — довжина робочого вікна розподільного золотника ЕГП; p_s — тиск живлення ЕГП; Δp — перепад тиску в робочих порожнинах гідроциліндра; μ — коефіцієнт витрати робочих вікон розподільного золотника ЕГП; ρ — густина робочої рідини; F — ефективна площа поршня гідроциліндра (однакова для обох порожнин); P — сила, що діє зі сторони обкочувального ролика на заготовку; m — маса заготовки; β — зведений коефіцієнт в'язкого тертя; C — сумарна жорсткість системи «верстат–пристрій–інструмент–деталь»; z_1 і v_1 — переміщення і швидкість вихідного органа ідеального гідродвигуна (переміщення і швидкість штока гідроциліндра, який працює на нестисливій робочій рідині); z — переміщення вихідного штока гідроциліндра, який працює на реальній робочій рідині; z_2 — задане профілем обкочуваної поверхні переміщення обкочувального ролика; C_p — зведена жорсткість рідини в робочих порожнинах гідроциліндра та каналів, що з'єднують кожен з порожнин гідроциліндра з ЕГП; V_0 — об'єм рідини у кожній з порожнин гідроциліндра у середньому положенні поршня; V_1 — об'єм рідини в каналі,

який з'єднує ЕГП з робочою порожниною гідроциліндра; E_p — модуль пружності робочої рідини.

На основі математичної моделі ЕГСП розроблена її структурна схема (рис. 2). Особливістю і перевагою цієї схеми є відсутність блоків диференціювання. Це забезпечило стійкість роботи обчислювальної структури (рис. 3), яка реалізована в середовищі MATLAB Simulink для дослідження динаміки приводу.

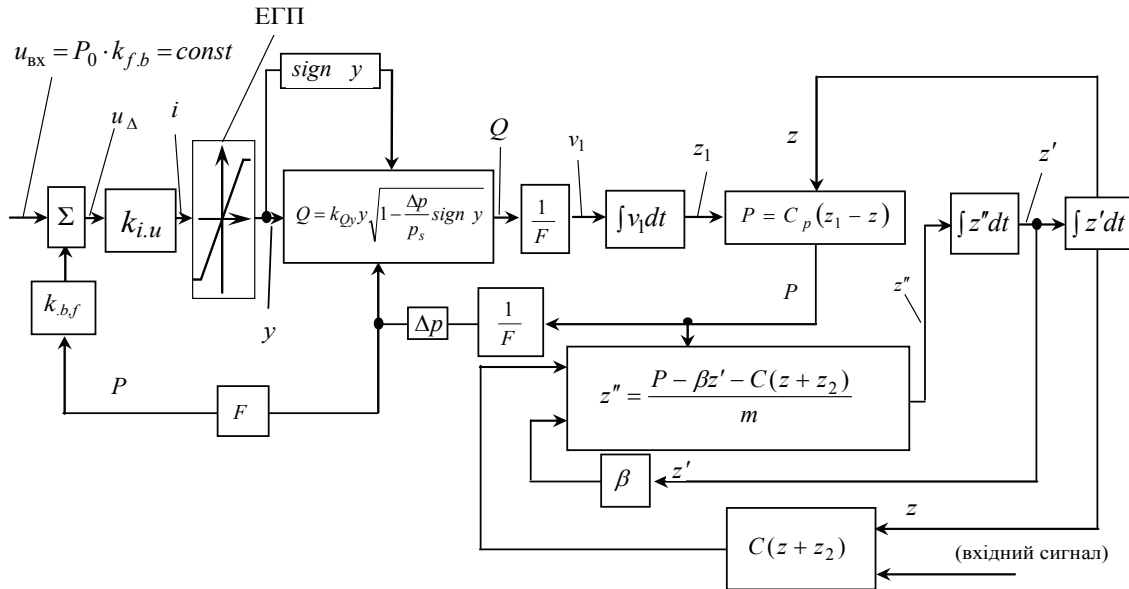


Рис. 2. Структурна схема математичної моделі ЕГСП

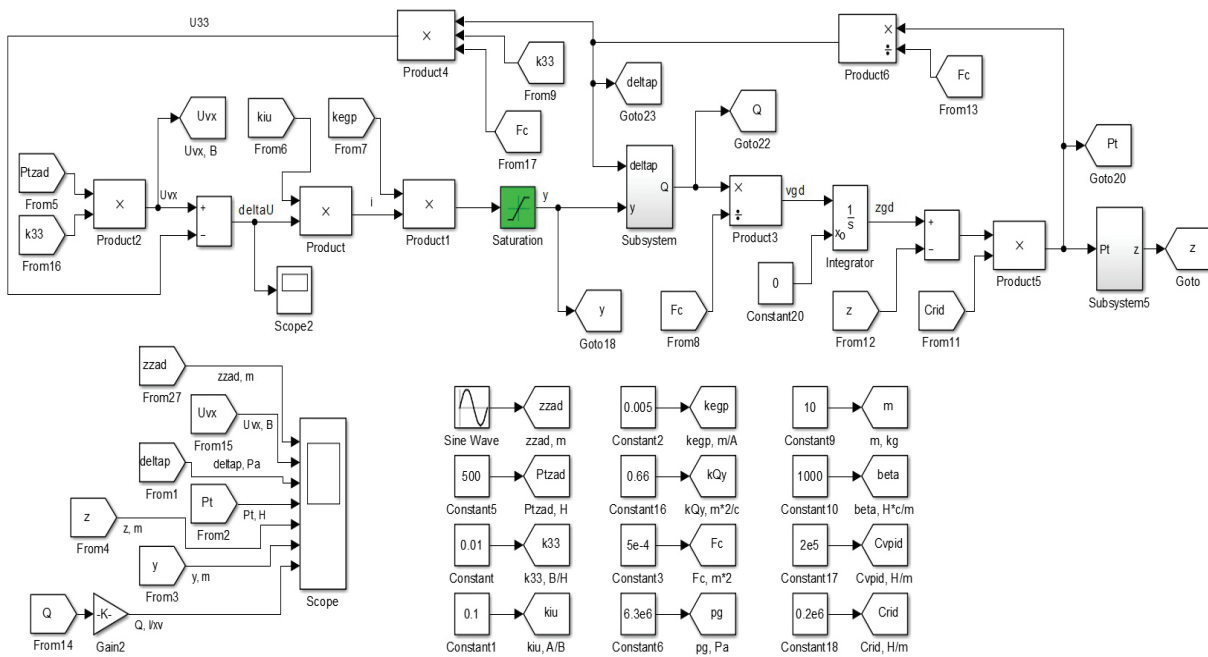


Рис. 3. Обчислювальна структура для імітаційного дослідження ЕГСП в середовищі MATLAB Simulink

Результати дослідження

Дослідження виконувались за таких параметрів ЕГСП: $k_{f,b} = 0,01$ В/Н; $k_{i,u} = 0,1$ А/В; $k_1 = 0,005$ м/А; $F = 0,0005$ м²; $p_s = 6,3 \cdot 10^6$ Н/м²; $k_{Q,y} = 0,66$ м²/с; $m = 10$ кг; $\beta = 1000$ Н·с/м; $C = 2 \cdot 10^5$ Н/м; $C_p = 12,7 \cdot 10^6$ Н/м; $E_p = 1400$ МПа.

На рис. 4 показані часові характеристики процесу обточування циліндричної поверхні, яка має ексцентриситет 2 мм відносно осі обертання деталі. Частоти обертання становили 20 об/хв (а) і 200 об/хв (б). Задана сила, яка діє зі сторони обточувального ролика на заготовку — 2000 Н.

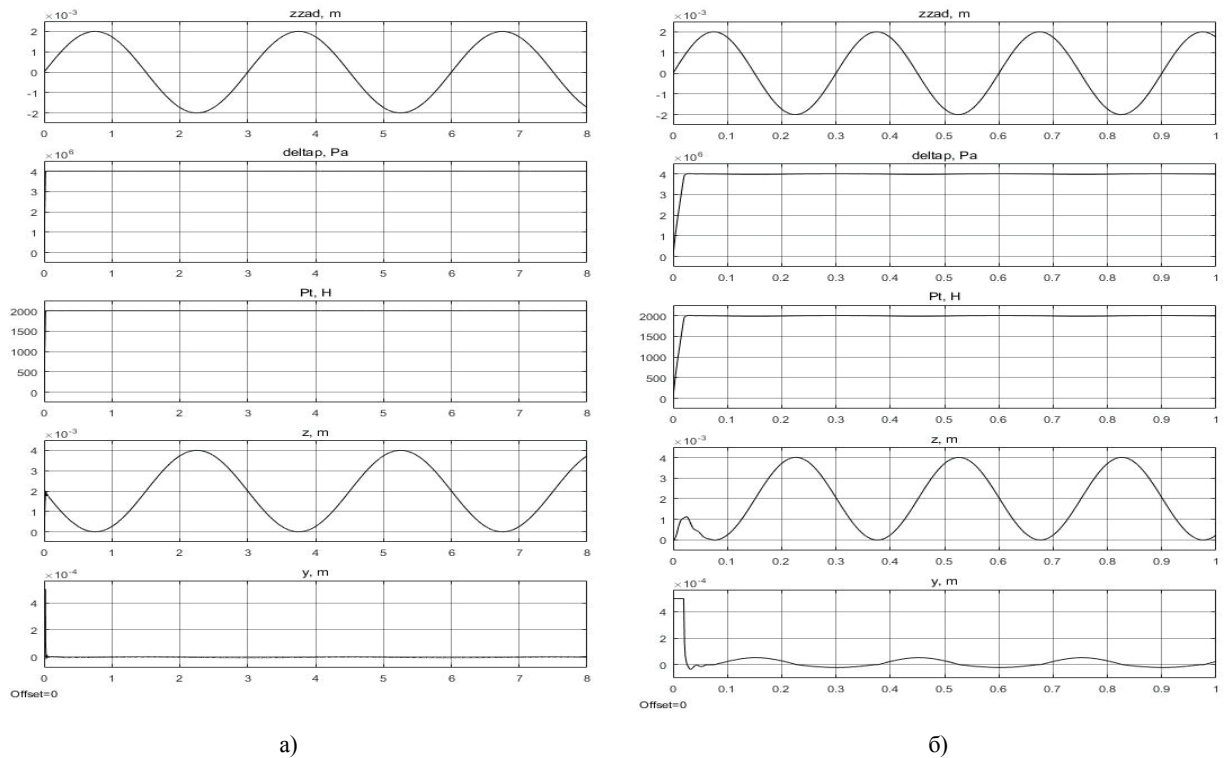


Рис. 4. Часові характеристики процесу обточування циліндричної поверхні, яка має ексцентриситет 2 мм відносно осі обертання деталі. Частоти обертання становили: а — 20 об/хв; б — 200 об/хв

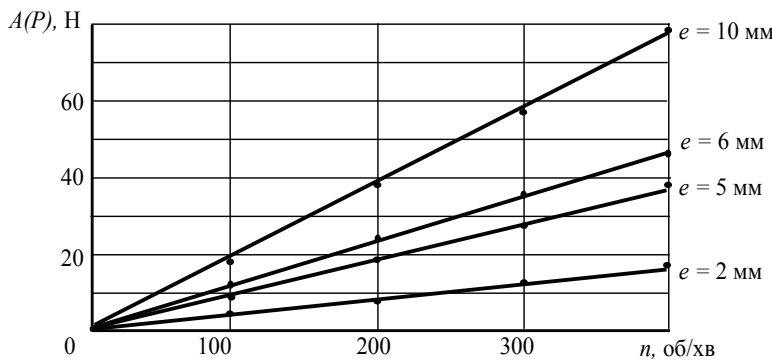


Рис. 5. Залежність амплітуди коливань сили, що діє зі сторони обточувального ролика на оброблювану заготовку, від частоти обертання заготовки і ексцентриситету обточуваної поверхні (задана величина сили $P = 2000$ Н)

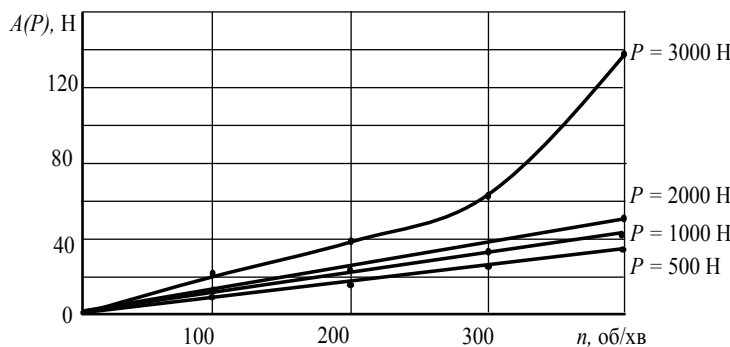


Рис. 6. Залежність амплітуди коливань сили, що діє зі сторони обточувального ролика на оброблювану заготовку, від частоти обертання заготовки і заданої величини сили (ексцентриситет обточуваної поверхні $e = 6$ мм)

З використанням отриманих під час моделювання осцилограм часових характеристик побудовані графіки залежностей амплітуд коливань сили, що діє на заготовку, від частоти її обертання. На рис. 5 показані графіки, отримані для різних величин ексцентриситету (e) обточуваної поверхні відносно осі обертання заготовки. З наведених графіків випливає, що амплітуда коливань сили, яка відповідає частоті обертання шпинделя 200 об/хв і ексцентриситету обточуваної поверхні 10 мм становить 40 Н. Це складає близько 2 % від заданого значення сили (2000 Н).

На рис. 6 показані графіки, отримані для різних значень заданих сил на обточувальному ролику.

Аналізувався також вплив величини ефективного площі гідроциліндра F на відхилення сили обточування від заданого значення (рис. 7). З графіків випливає, що для певних параметрів технологічної системи можна підібрати значення ефективного площі гідроциліндра F , яка забезпечує найменше відхилення

(амплітуду коливань) сили від заданого значення. Для вибраних параметрів ЕГСП і технологічної системи раціональне значення F становило 5 см^2 .

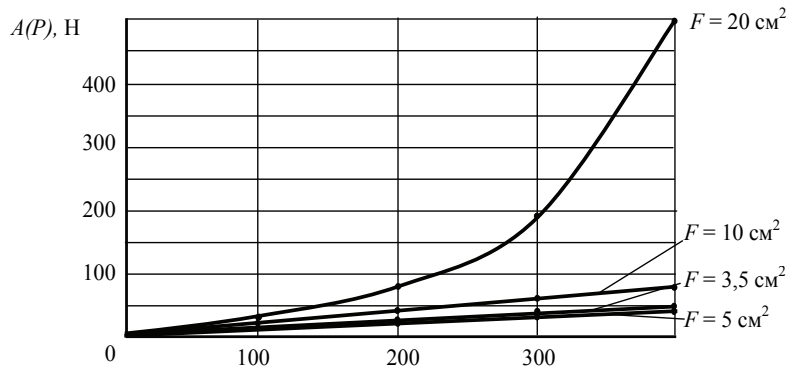


Рис. 7. Залежність амплітуди коливань сили, що діє зі сторони обкочувального ролика на оброблювану заготовку, від частоти обертання заготовки і ефективного площі гідроциліндра (ексцентриситет обкочуваної поверхні $e = 6 \text{ мм}$, задана величина сили $P = 2000 \text{ Н}$)

Висновки

1. Розроблена математична модель ЕГСП пристрою для обкочування віснесиметричних заготовок.
2. Для імітаційного моделювання ЕГСП в середовищі MATLAB Simulink розроблена відповідна обчислювальна структура.
3. Виконані дослідження показали, що ЕГСП з керуванням перепаду тиску в гідроциліндрі може бути використаний в пристрої для обкочування віснесиметричних заготовок.
4. За результатами імітаційного моделювання визначені раціональні конструктивні параметри ЕГСП для заданих параметрів системи ВПД.
5. В подальшому планується виготовити і дослідити експериментальний зразок пристрою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дерібо О. В. Електрогидравлічний стежний привод пристрою для обробки поверхневим пластичним деформуванням / О. В. Дерібо, І. О. Сивак, О. В. Сердюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2010. — № 6. — С. 76—79.
2. Дерібо О. В. Імітаційне моделювання електрогидравлічного слідкувального приводу з керуванням зусиллям на виконавчому органі / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2013. — № 5. — С. 110—116.
3. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. — М.: Машиностроение, 2002. — 300 с.
4. Электрогидравлические следящие системы / [В. А. Хохлов, В. Н. Прокофьев, Н. А. Борисова и др.]; под ред. В. А. Хохлова. — М.: Машиностроение, 1971. — 432 с.
5. Лещенко В. А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением / В. А. Лещенко. — М.: Машиностроение, 1975. — 288 с.

Рекомендована до друку металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 1.12.2017

Дерібо Олександр Володимирович — канд. техн. наук, доцент, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: deriboov@ukr.net ;

Дусанюк Жанна Павлівна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування;

Репінський Сергій Володимирович — канд. техн. наук., доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування;

Гораль Микола Володимирович — студент факультету машинобудування та транспорту.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. V. Deribo¹
Zh. P. Dusaniuk¹
S. V. Repinskyi¹
M. V. Horal¹

Dynamics of Electrohydraulic Servo Drive Device for Burnishing of Axially Asymmetric Surfaces

¹Vinnitsia National Technical University

The mathematical model of the electrohydraulic servo drive with feedback on the pressure difference in the cavities of the actuating hydraulic cylinder of the device for roller burnishing of the axially asymmetric surfaces has been developed. The device generates a specified force on the tool. For simulating drive modulation in the MATLAB Simulink environment, an appropriate computing structure (block diagram) is developed. The effect of drive parameters on its dynamical characteristics has been investigated.

Keywords: device for roller burnishing, axially asymmetric surfaces, electrohydraulic servo drive, feedback on pressure drop, dynamic characteristics, simulation modeling, environment MATLAB Simulink.

Deribo Oleksandr V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Professor of the Chair of Mechanical Engineering Technologies and Automation, e-mail: deriboov@ukr.net ;

Dusaniuk Zhanna P. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Mechanical Engineering Technologies and Automation;

Repinskyi Serhii V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Mechanical Engineering Technologies and Automation;

Horal Mykola V. — Student of the Department of Mechanical Engineering and Transport

О. В. Дерібо¹
Ж. П. Дусанюк¹
С. В. Репінський¹
М. В. Гораль¹

Динамика электрогидравлического следящего привода устройства для обкатки осесимметричных поверхностей

¹Винницкий национальный технический университет

Разработана математическая модель электрогидравлического следящего привода с обратной связью по перепаду давления в полостях исполнительного гидроцилиндра устройства для обкатки осесимметричных поверхностей. Устройство создает заданное усилие на инструменте. Для имитационного моделирования привода в среде MATLAB Simulink разработана соответствующая вычислительная структура (блок-схема). Исследовано влияние параметров привода на его динамические характеристики.

Ключевые слова: устройство для обкатки роликом, осесимметричная поверхность, электрогидравлический следящий привод, обратная связь по перепаду давления, динамические характеристики, имитационное моделирование, среда MATLAB Simulink.

Дерибо Александр Владимирович — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры технологий и автоматизации машиностроения, e-mail: deriboov@ukr.net ;

Дусанюк Жанна Павловна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологий и автоматизации машиностроения;

Репинский Сергей Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологий и автоматизации машиностроения;

Гораль Николай Владимирович — студент факультета машиностроения и транспорта