

ПЕРЕПЕЛИЦЯ В.І.

Вінницький національний технічний університет
e-mail: pvi_92@ukr.net

КОЗЛОВ Л. Г.

Вінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0001-9652-1270>
e-mail: osna2030@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗАГОТОВОК ЦЕГЛИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ МІНІМАЛЬНУ ПОХИБКУ ПЕРЕМІЩЕННЯ

В роботі наведено приклади сучасних механізмів, які у процесі своєї роботи потребують синхронного виконання двох або більше рухів. Розглянуто методи синхронізації декількох гідравлічних приводів в залежності від умов роботи таких механізмів. Відомі способи із застосування дросельного дільника потоку, дільника потоку з регульованим співвідношенням, двох незалежних контурів з об'єднанням їх за допомогою контролера нечіткої логіки та інші. Обґрунтовано актуальність оптимального підбору параметрів конструкції, які безпосередньо впливають на похибку синхронізації руху. Запропоновано варіант удосконалення різального автомату для формування заготовок цегли шляхом заміни механічної конструкції на гідравлічний привід, визначено його основні переваги. Представлено гідравлічну схему установки для формування заготовки цегли, та описано принцип дії даного пристрою. Розроблено математичну модель динаміки руху каретки установки для формування цегли, яка представлена системою нелінійних диференціальних рівнянь. Для розв'язання розробленої системи використано метод Розенброка. Наведено блок-схему розв'язання рівняння роботи гідроциліндра установки для формування заготовок цегли та проведено імітаційне дослідження динаміки руху каретки установки в середовищі MATLAB Simulink. В результаті проведеного дослідження було отримано залежності швидкості руху та переміщення каретки установки для формування заготовок цегли. Визначено залежності впливу найбільш вагомих параметрів на величину похибки переміщення каретки установки для формування заготовок цегли. Такими параметрами є: площа робочого вікна дроселя, площі допоміжного гідроциліндра та жорсткість пружини. Рекомендовано числові значення параметрів, при яких похибка переміщення каретки установки для формування цегли відносно глиняного бруса буде мінімальною.

Ключові слова: установка для формування заготовок цегли, математична модель, дросель, пружина, похибка переміщення, синхронізація руху.

Vyacheslav PEREPELITSYA, Leonid KOZLOV
Vinnytsia National Technical University

DETERMINATION OF INSTALLATION PARAMETERS FOR FORMATION OF BRICK PREPARATIONS THAT PROVIDE MINIMUM ERROR OF MOVING

The paper presents examples of modern mechanisms that in the process of their work require the simultaneous execution of two or more movements. Methods of synchronization of several hydraulic drives depending on the operating conditions of such mechanisms are considered. There are methods for using a throttle flow divider, a flow divider with an adjustable ratio, two independent circuits with their combination using a fuzzy logic controller, and others. The relevance of the optimal selection of design parameters that directly affect the error of motion synchronization is substantiated. A variant of improving the cutting machine for forming brick blanks by replacing the mechanical structure with a hydraulic drive is proposed, its main advantages are determined. The hydraulic scheme of the installation for forming a brick blank is presented, and the principle of operation of this device is described. A mathematical model of the dynamics of the carriage motion of an installation for brick formation has been developed, which is represented by a system of nonlinear differential equations. Rosenbrock's method was used to solve the developed system. The block diagram of solving the equation of operation of the hydraulic cylinder of the installation for the formation of brick blanks is presented and a simulation study of the dynamics of the carriage of the installation in the environment of MATLAB Simulink. As a result of the study, the dependences of the speed of movement and movement of the carriage of the installation for the formation of brick blanks were obtained. The dependences of the influence of the most important parameters on the value of the error of the carriage movement of the installation for the formation of brick blanks are determined. These parameters are: the area of the working window of the throttle, the area of the auxiliary hydraulic cylinder and the stiffness of the spring. Numerical values of parameters at which the error of movement of the carriage of the installation for formation of a brick concerning a clay bar will be minimum are recommended.

Keywords: installation for forming brick blanks, mathematical model, throttle, spring, displacement error, motion synchronization.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сучасному етапі технологічного розвитку, значна частина промислових пристроїв взаємодіє з іншими установками або має декілька робочих органів, які потребують синхронності під час своєї роботи. Прикладами таких систем можуть бути струнні різальні автомати СМК-163 та РАШЛ-3 призначені для відрізання від суцільного глиняного бруса, що безперервно виходить з екструдера, заготовок цегли потрібного розміру [1, 2], конвеєрні механізми для переміщення заготовок та виробів [3], машини для безперервного лиття заготовок [4]. Для подібних механізмів завдання синхронізації двох і більше рухів може вирішуватись декількома способами, що залежать від умов роботи пристрою та поставлених цілей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемі синхронізації декількох рухів присвячена велика кількість зарубіжних і вітчизняних праць. Наприклад в роботі [5] розглядається вплив подачі робочої рідини на швидкість руху гідродвигунів в гідроприводах із застосуванням дросельного дільника потоку. В роботі [6] для керування рухом двох гідроциліндрів створений привід, який для контролю кожного гідроциліндра використовує незалежний контур управління з об'єднанням контролером нечіткої логіки в систему. В роботі [7] для забезпечення одночасного руху декількох гідравлічних приводів вирішується використанням дільника потоку робочої рідини. В роботі [8] запропоновано дільник потоку з регульованим співвідношенням, який розділяє один вхідний потік на два вихідних потоки у заздалегідь визначеному співвідношенні, незалежно від тиску навантаження чи загального потоку. В роботі [9] стійкість роботи та динамічні характеристики клапана дільника потоку забезпечуються на основі математичного моделювання. Результати моделювання показують залежності похибки поділу потоку від досліджуваних параметрів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

Незважаючи на велику кількість досліджень, в практиці проектування існують завдання коли зовнішні впливи, що діють на систему, дано у досить вузьких діапазонах. У таких випадках система синхронізації може бути спрощена використанням регульованого дроселя встановленого в лінії подачі рідини кожного силового циліндра. Крім того, буде доцільно сформулювати завдання оптимального підбору характеристик таких дроселів та інших параметрів конструкції, що безпосередньо впливають на точність синхронізації робочих рухів [10].

Формування цілей статті

Метою статті є виявлення параметрів, які мають найбільш вагомий вплив на динаміку руху каретки установки для формування заготовок цегли. А також, визначення числових значень виявлених параметрів, при яких похибка переміщення каретки відносно глиняного бруса буде мінімальною.

Вихідні передумови

Удосконалення струнних різальних автоматів розглянутих у роботах (1, 2) представлено на рис. 1. Установка для формування заготовок цегли побудована на гідравлічному приводі, що у порівнянні з механічними конструкціями струнних різальних автоматів (1, 2) має суттєві переваги. А саме: невеликі габарити та малу кількість вузлів, низькі енерговитрати, високу надійність та продуктивність.

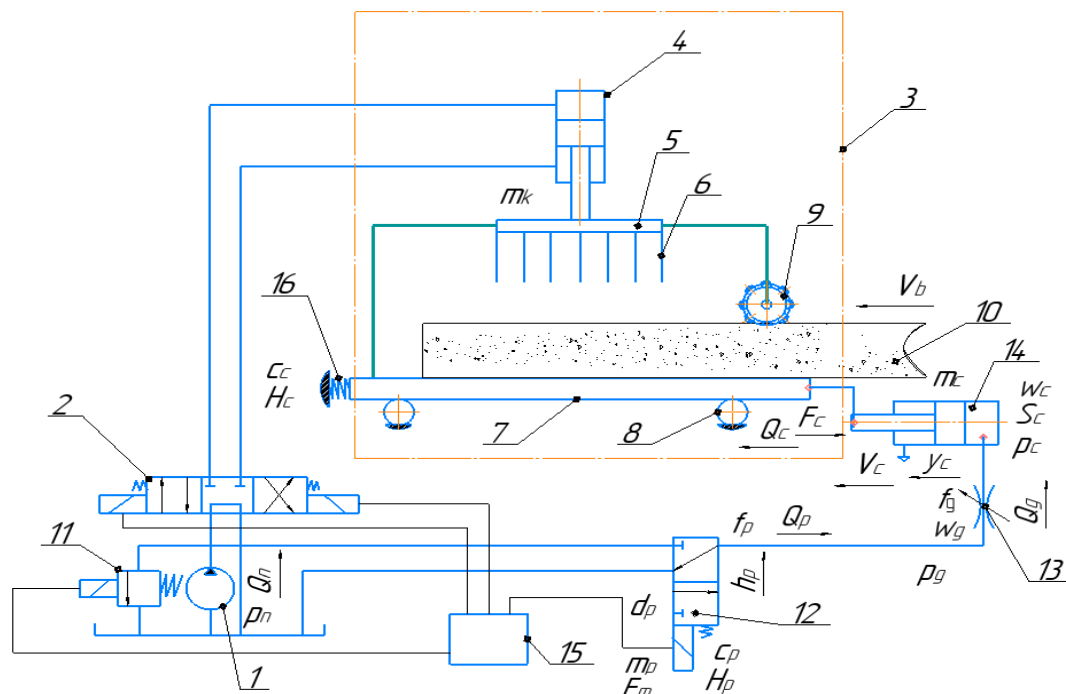


Рис. 1. Гідравлічна схема установки для формування заготовки цегли

Установка для формування заготовок цегли складається з таких елементів: 1 – шестеренний насос; 2 – 3-х позиційний 4-х лінійний розподільник з електромагнітним керуванням; 3 – каретка; 4 – гідроциліндр різання; 5 – траверса; 6 – різальні струни; 7 – рухомий стіл; 8 – опори кочення; 9 – датчик руху; 10 – глиняний брус; 11 – запобіжно-переливний клапан; 12 – 2-х позиційний 3-х лінійний розподільник з електромагнітним керуванням; 13 – регульований дросель; 14 – гідроциліндр подачі; 15 – блок керування; 16 – пружина.

Установка працює наступним чином. Глиняний брус 10, що видавлюється із екструдера, рухається по рухомому столу 7. Датчик 9 відраховує розмір n -ої кількості заготовок цегли (в залежності від кількості ріжучих органів 6) і подає електричний сигнал на блок керування 15. Останній формує сигнали керування на запобіжно-переливний клапан 11 та розподільники 2 і 12. Клапан 11 переходить в робочий режим – коли підвищується тиск в гідросистемі. Після чого, витрата рідини від насосної станції направляється через розподільник 2 на гідроциліндр різання 4, та через розподільник 12 на гідроциліндр подачі 14. Гідроциліндр різання 4 приводить в рух траверсу 5 з різальними струнами 6, для розрізання глиняного бруса на заготовки цегли. Гідроциліндр подачі 14 одночасно з цим забезпечує синхронізацію каретки 3, яка розташований на опорах кочення 8, з рухом глиняного бруса 10. Після закінчення циклу різання, пружина 16 повертає гідроциліндр подачі 14 у вихідне положення.

Виклад основного матеріалу

Динаміка руху каретки установки для формування заготовок цегли представляє собою системою диференціальних рівнянь (1.1-1.4). Ця система містить рівняння, які описують роботу гідравлічного розподільника 12 (1.1), регульованого дроселя 13 (1.2), гідроциліндра подачі 14 (1.3) та пружини 16 (1.4).

$$m_p \frac{d^2 h}{dt^2} = F_m - c_p (H_p + h_p) - b_p \frac{dh_p}{dt}; \tag{1.1}$$

$$\mu \pi d_p h_p \sqrt{\frac{2|p_n - p_d|}{\rho}} \text{sign}(p_n - p_d) = \mu f_d \sqrt{\frac{2|p_d - p_c|}{\rho}} \text{sign}(p_d - p_c) + \beta w_d \frac{dp_d}{dt}; \tag{1.2}$$

$$\mu f_d \sqrt{\frac{2|p_d - p_c|}{\rho}} \text{sign}(p_d - p_c) = S_c \frac{dy_c}{dt} + \beta w_c \frac{dp_c}{dt}; \tag{1.3}$$

$$p_c S_c = c_c (H_c + y_c) + b_c \frac{dy_c}{dt} + (m_c + m_k) \frac{d^2 y_c}{dt^2}. \tag{1.4}$$

де m_p – маса золотника розподільника 12; F_m – зусилля електромагніта розподільника 12; h_p – хід золотника розподільника 12; b_p – коефіцієнт в'язкого тертя розподільника; c_p – жорсткість пружини розподільника; H_p – попереднє стиснення пружини розподільника 12; μ – коефіцієнт витрат; d_p – діаметр перерізу розподільника 12; p_n – номінальний (вхідний) тиск; p_d – тиск на вході дроселя; ρ – густина робочої рідини; f_d – площа робочого вікна дроселя; p_c – тиск на гідроциліндрі; β – коефіцієнт податливості робочої рідини; w_d – об'єм гнучкого рукава; y_c – хід гідроциліндра подачі; S_c – площа гідроциліндра подачі; w_c – об'єм камери гідроциліндра подачі; H_c – попереднє стиснення пружини; c_c – жорсткість пружини; m_c – маса гідроциліндра подачі; m_k – маса каретки; b_c – коефіцієнт в'язкого тертя гідроциліндра подачі.

Дослідження моделі виконувалось в середовищі MATLAB Simulink. Так як, розроблена система нелінійних диференціальних рівнянь є жорсткою – для її вирішення було використано метод Розенброка. Блок-схема розв'язання рівняння роботи гідроциліндра подачі показано на рис. 2.

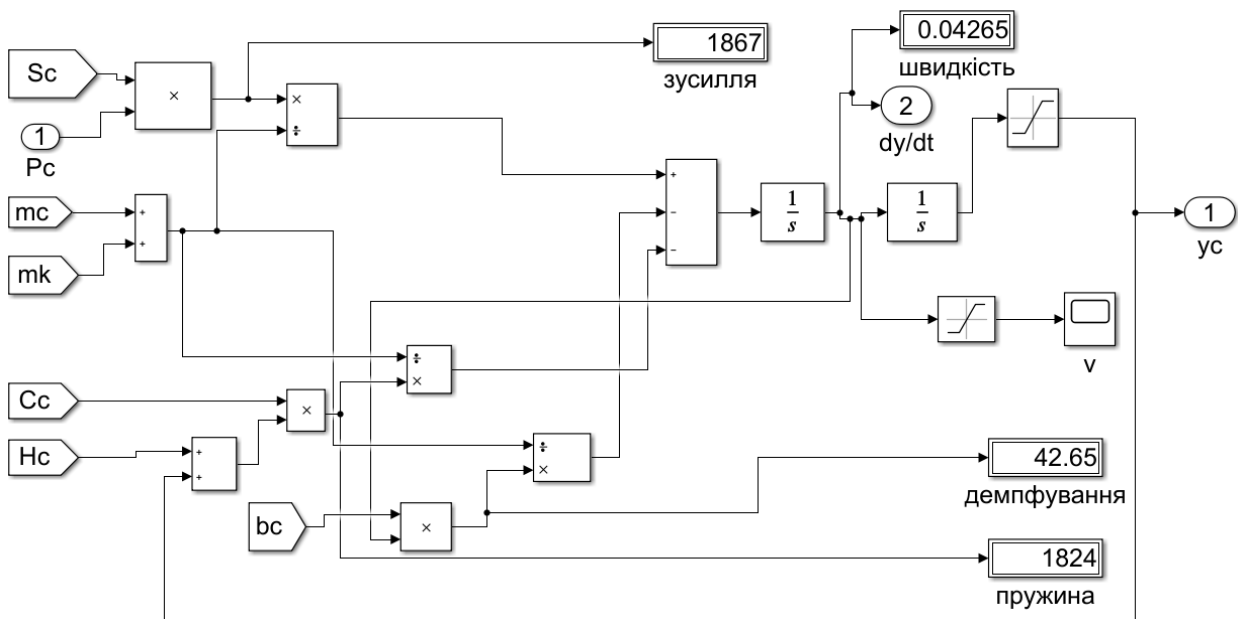


Рис. 2. Блок-схема розв'язання рівняння роботи гідроциліндра подачі

Для дослідження динаміки руху каретки було складено математичну модель при наступних припущеннях та вимогах: максимально допустимий час на рух каретки не повинен перевищувати 1 секунду; швидкість подачі глиняного бруса приймається за постійну величину; різання бруса починається в момент

часу $t_0=0,1$ с.; температуру та в'язкість робочої рідини приймаємо як постійну величину; тиск рідини в зливних гідролініях – постійна величина; втрати тиску в гідролініях не враховувалися; дію тиску зливу не враховуємо; дію сили тертя не враховуємо, перетікання робочої рідини в щілинах насоса та гідроциліндра не враховувалися.

При розв'язанні системи диференціальних рівнянь відносно швидкості подачі глиняного бруса, було отримано залежність швидкості та часу руху каретки від зміни параметрів установки. Розглянуто вплив наступних параметрів: площа робочого вікна дроселя f_d (рис. 3), площі гідроциліндра подачі S_c (рис. 4) та жорсткості пружини c_c (рис. 5).

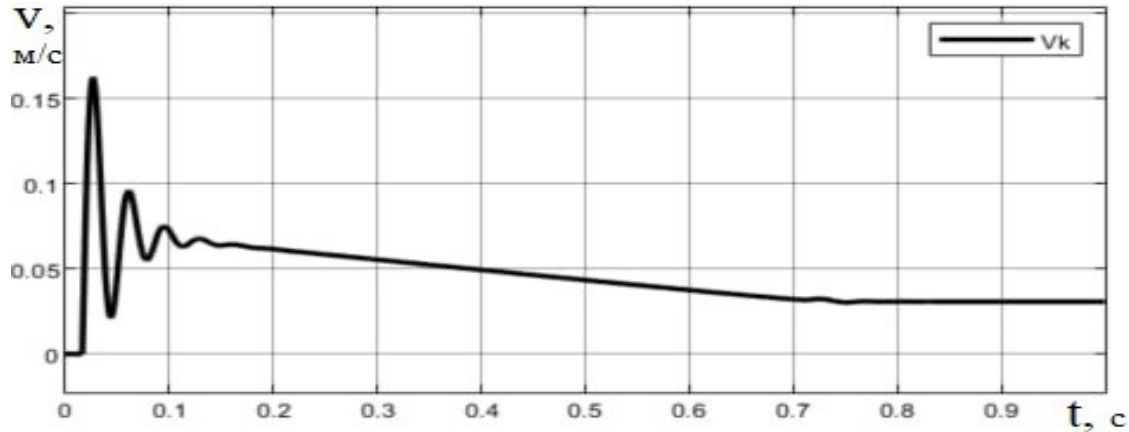


Рис. 3. Залежність швидкості від часу переміщення каретки при зміні площі дроселя f_d

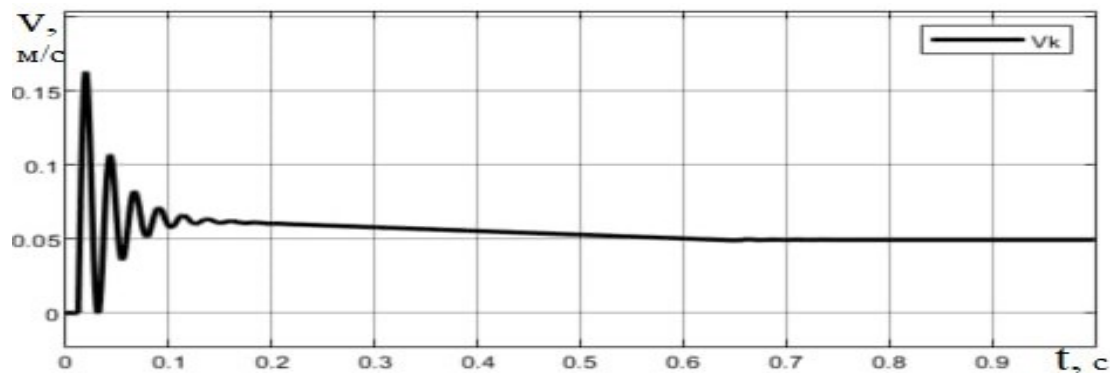


Рис. 4. Залежність швидкості від часу переміщення каретки при зміні площі гідроциліндра подачі S_c

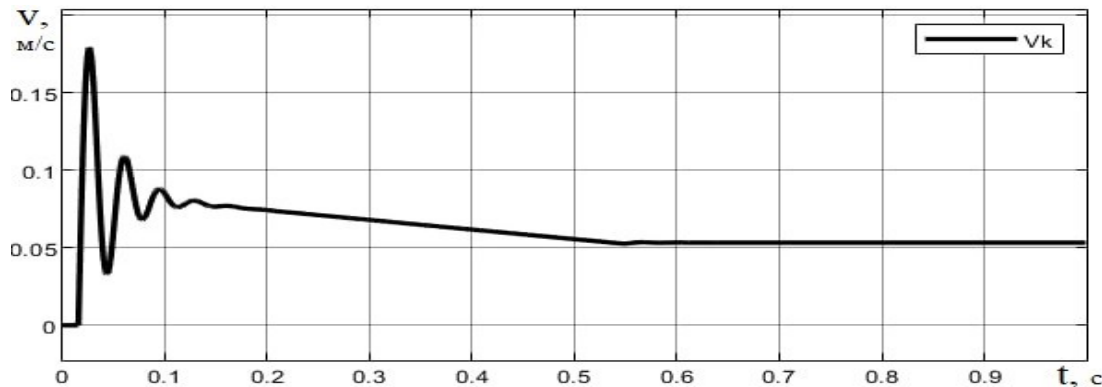


Рис. 5. Залежність швидкості від часу переміщення каретки при зміні жорсткості пружини c_c

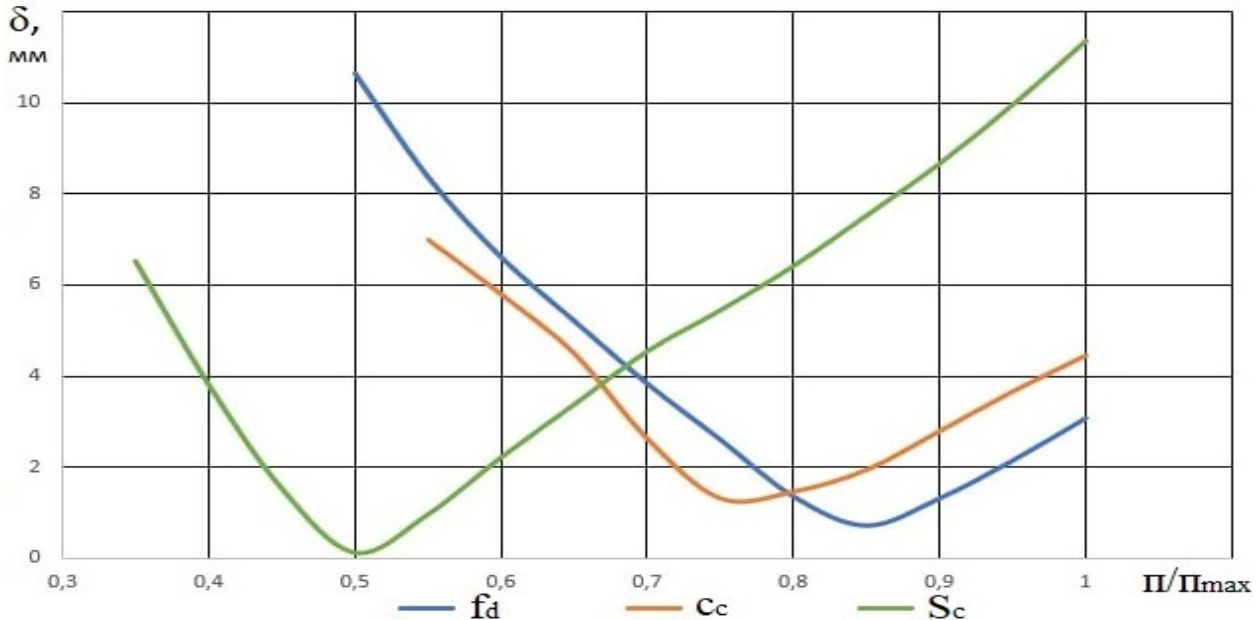
Початкові значення змінних: $v_0=0$ м/с, $t_0=0,1$ с, $v_b=0,06$ м/с, $h_0=0$ м, $p_a(0)=0$ Па.

Показані залежності отримані при наступних величинах: $m_p=1,45 \cdot 10^{-3}$ кг; $h_p=3,5 \cdot 10^{-3}$ м; $c_p=240$ Н/м; $y_c=3,6 \cdot 10^{-2}$ м; $H_p=1,6 \cdot 10^{-2}$ м; $\beta=8 \cdot 10^{-9}$ Н·с/м; $F_m=50$ Н; $p_n=2,6$ МПа; $S_c=1,1 \cdot 10^{-3}$ м²; $w_c=1,8 \cdot 10^{-4}$ м³; $\mu=0,64$ м/с; $f_d=3,14 \cdot 10^{-6}$ м²; $\rho=900$ кг/м³; $w_d=9,45 \cdot 10^{-3}$ м³; $v_b=0,06$ м/с; $c_c=24 \cdot 10^3$ Н/м; $H_c=0,04$ м; $F_c=200$ Н; $d_p=7,8 \cdot 10^{-3}$ м; $m_c=6$ кг; $m_k=32$ кг; $b_c=1 \cdot 10^3$ Н·с/м²; $b_p=10$ Н·с/м².

Залежності похибки переміщення каретки (δ) від зміни параметрів установки для формування цегли показано на рис. 7. По осі абсцис відкладено значення безрозмірних параметрів Π/Π_{\max} , де Π – дійсні поточні значення параметрів, а Π_{\max} – максимальні значення параметрів [11]. Діапазон зміни Π і Π_{\max} наведено в таб. 1.

Діапазон зміни розглянутих параметрів

Параметри установки	Одиниці вимірювання	Значення (діапазон зміни параметрів)
f_d (площа дроселя)	м ²	$(2...4) \cdot 10^{-6}$
S_c (площа гідроциліндра подачі)	м ²	$(1...3,1) \cdot 10^{-3}$
c_c (жорсткість пружини)	Н/м	$(1,5...3) \cdot 10^4$

Рис. 7. Залежність похибки переміщення каретки δ від зміни площі дроселя f_d , площі гідроциліндра подачі S_c та жорсткості пружини c_c

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В процесі дослідження виявлено, що найбільш вагомими параметрами, які впливають на динаміку руху каретки установки для формування заготовок цегли є:

- площа робочого вікна дроселя f_d ,
- площа гідроциліндра подачі S_c ,
- жорсткість пружини c_c .

Рекомендовані значення параметрів, при яких похибка переміщення каретки відносно глиняного бруса буде мінімальною: $f_d=3,5 \cdot 10^{-6}$ м², $c_c=2,2 \cdot 10^4$ Н/м, $S_c=1,6 \cdot 10^{-3}$ м².

Література

1. Ильевич А. П., Машины и оборудование для заводов по производству керамики и огнеупоров, издание 2-е, переработанное, Москва "Высшая школа" 1979, 343 с.
2. Шлегель, И. Ф. Новый автомат для резания пластикового бруса / И. Ф. Шлегель, Г. Я. Шаевич, С. Г. Макаров, Н. И. Шкуркин // Строительные материалы. — 2011. — № 2. — С. 16, 17.
3. Попов Д.Н. Механика гидро- и пневмоприводов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.
4. Усовершенствование технологии и оборудования машин непрерывного литья заготовок / [М. Бровман, И. Марченко, Ю. Кан, В. Иванов]. — К. : Техника, 1976. — 165 с.
5. Al-Baldawi, R. A., Faraj, Y. A. (2014). Theoretical and Experimental Study of Hydraulic Actuators Synchronization by Using Flow Divider Valve. Journal of Engineering and Development, 18 (5), 282–293.
6. Kassem, S., El-Din, T. S., Helduser, S. (2012). Motion Synchronization Enhancement of Hydraulic Servo Cylinders for Mould Oscillation. International Journal of Fluid Power, 13 (1), 51–60. doi: <https://doi.org/10.1080/14399776.2012.10781046>
7. Стабилизаторы расхода для синхронизации перемещения исполнительных органов систем летательных аппаратов / Г.А. Копков, А.П. Кучин, А.Е. Новиков, М.Ю. Иванов, Г.Ф. Реш, Д.С. Антонов // Научно-технический юбилейный сборник АО «КБ химавтоматики». Воронеж. 2012. Т. 1. С. 219–223.
8. Travis K., "An Adjustable-Ratio Flow Dividing Hydraulic Valve", MSc. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, (2004)
9. Minter Ching, "Modeling and Analysis of A Flow Divider Valve" Proceedings of the ASME 2009 Fluids Engineering Division Summer Meeting, FEDSM 2009.
10. A Yu Bushuev *et al*, Minimization of a mismatch time of movement of actuators of a throttle synchronization system 2018 *J. Phys.: Conf. Ser.* 1141 012090

11. Козлов Л. Г. Дослідження характеристик мультирежимного клапана розподільника для гідроприводів мобільних робочих машин / Л. Г. Козлов, О. Л. Гайдамак, О. В. Петров. – Вінниця: Промислова гідравліка і пневматика, 2008. – №1. – с. 85 – 88.

References

1. Ylevych A. P., Mashyny y oborudovanye dlia zavodov po proyzvodstvu keramyky y ohneuporov, yzdanye 2-e, pererabotannoe, Moskva "Vysshaya shkola" 1979, 343 s.
2. Shlehel, Y. F. Novyi avtomat dlia rezanya plastychnoho brusa / Y. F. Shlehel, H. Ya. Shaevych, S. H. Makarov, N. Y. Shkurkyn // Stroytelnye materiyaly. — 2011. — № 2. — S. 16, 17.
3. Popov D.N. Mekhanyka hydro- y pnevmopryvodov. M.: Yzd-vo MHTU ym. N.Э. Baumana, 2002. 320 s.
4. Usovershenstvovanye tekhnolohyy y oborudovanyia mashyn nepreryvnoho lytia zahotovok / [M. Brovman, Y. Marchenko, Yu. Kan, V. Yvanov]. — K. : Tekhnika, 1976. — 165 s.
5. Al-Baldawi, R. A., Faraj, Y. A. (2014). Theoretical and Experimental Study of Hydraulic Actuators Synchronization by Using Flow Divider Valve. Journal of Engineering and Development, 18 (5), 282–293.
6. Kassem, S., El-Din, T. S., Helduser, S. (2012). Motion Synchronization Enhancement of Hydraulic Servo Cylinders for Mould Oscillation. International Journal of Fluid Power, 13 (1), 51–60. doi: <https://doi.org/10.1080/14399776.2012.10781046>
7. Stabylyzatoryi raskhoda dlia synkhronyzatsyy peremeshcheniya uspolnytelnykh orhanov system letatelnykh apparatov / H.A. Koptov, A.P. Kuchyn, A.E. Novykov, M.Iu. Yvanov, H.F. Resh, D.S. Antonov // Nauchno-tekhnicheskyy yubileinyi sbornyk AO «KB khymavtomatyky». Voronezh. 2012. T. 1. S. 219–223.
8. Travis K., "An Adjustable-Ratio Flow Dividing Hydraulic Valve", MSc. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, (2004)
9. Minter Ching, "Modeling and Analysis of A Flow Divider Valve" Proceedings of the ASME 2009 Fluids Engineering Division Summer Meeting, FEDSM 2009.
10. A Yu Bushuev et al, Minimization of a mismatch time of movement of actuators of a throttle synchronization system 2018 J. Phys.: Conf. Ser. 1141 012090
11. Kozlov L. H. Doslidzhennia kharakterystyk multyrezhymnoho klapanu rozpodilnyka dlia hidropriyvodiv mobilnykh robochykh mashyn / L. H. Kozlov, O. L. Haidamak, O. V. Petrov. – Vinnytsia: Promyslova hidravlika i pnevmatyka, 2008. – №1. – s. 85 – 88.

Рецензія/Peer review : 19.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.