

РОЗДІЛ IV ОБЛАДНАННЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ОБРОБКИ ТИСКОМ

УДК 621.73.043; 621.979.15

DOI: 10.37142/2076-2151/2024-1(53)152

Обдул В. Д.
Матюхін А. Ю.
Широкобоков В. В.
Бень А. М.
Ленок А. А.
Єпішкін О. В.

СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ УДАРІВ НА ГВИНТОВИХ ПРЕСАХ

Розроблена конструкція гвинтового преса з муфтою включення з регулюванням енергії ударів як в серії так і при переходах. Аналіз існуючих способів регулювання показує, що не завжди задовольняються технологічні вимоги до вказаних систем. В свою чергу, аналіз конструкцій гвинтових пресів, їх технологічного застосування показує, що проблему регульованості вихідних параметрів необхідно вирішувати одночасно з конструктивними удосконаленнями самих пресів. Запропонована конструкція преса з регулюванням енергії ударів практично усуває вказані недоліки, оскільки представляє собою замкнуту, з жорстким зворотнім зв'язком по кутовій швидкості махових мас з використанням привода «тиристор-двигун». Показано, що визначення встановленої потужності електродвигуна залежить від відношення максимального значення енергії, накопичуваної в головному приводі преса, до мінімального значення і відношення моментів інерції ведучих і ведомих махових мас та частоти ходів преса. Встановлена потужність головного електродвигуна буде визначатись найбільш важким режимом роботи в період відпрацювання задаючого сигналу при переході з мінімальної енергії, накопиченої маховими масами на максимальну, або ж в період включення фрикційної муфти на робочий хід преса, тобто цей режим визначається діапазоном регулювання енергії ударів, числом ходів повзуна преса і співвідношенням моментів інерції ведучих і ведомих махових мас, встановлених на гвинтовому шпинделі. Застосування жорсткого зворотнього зв'язку по кутовій швидкості махових мас дає можливість скоротити тривалість перехідного процесу а, отже, і тривалість прямого ходу повзуна преса. Проведено аналіз існуючих способів регулювання енергії ударів на гвинтових пресах.

Ключові слова: регулювання енергії удару, кутова швидкість, момент інерції, махова маса, гвинтовий прес, маса повзуна, лінійна швидкість повзуна.

Правильний вибір енергії ударів і швидкості деформування мають важливе значення при об'ємному штампуванні деталей, особливо з дорогих металів і сплавів. У випадку багатоперехідного штампування також необхідно на кожному з переходів прикладати енергію певної величини, оскільки нанесення удару з енергією, меншою за необхідну приводить до недоштампування заготовлі та необхідності нанесення повторного удару. У випадку перевищення енергії удару виникають перевантаження преса та передчасне зношування штампового оснащення [1–4].

На довговічність й надійність роботи гвинтових пресів основний вплив здійснюють технологічні фактори, які приводять до систематичних перевантажень внаслідок недовикористання накопиченої енергії. Ці перевантаження в першу чергу і приводять до виходу з ладу гвинтових пресів. Найбільш слабкою ланкою являється передача гвинтовий шпиндель-гайка і з'єднання гвинтовий шпиндель-маховик. Аналіз поломок гвинтових пресів [5–7] свідчить, що поломка виникає в місцях найбільшої концентрації напружень: різьби, шліцевих з'єднаннях хвостовика шпинделя, шпоночних пазах. Досвід експлуатації гвинтових пресів на деяких підприємствах показує, що названі вище вузли являються найслабшими. При цьому слід зауважити, що ці поломки відбувались на операціях типу карбування, калібрування або штампування низьких поковок, згідно з джерелами [5–7] (перо лопатки газових турбін, гайкові ключі, тощо).

Середній ресурс роботи гвинтових пресів, які експлуатуються, визначений за фактичною довговічністю ланки гвинтовий шпindel гайка, значно нижче передбаченого стандартами. Якщо врахувати тенденцію створення пресів з підвищеною частотою ходів, то проблема підвищення фактичного ресурсу є однією з найактуальніших, а здійснення заходів в цьому напрямку – невідкладними. Серед цих заходів найбільш важливими є конструктивні, в тому числі і направлені як на створення пресів нової конструкції, так і на вдосконалення існуючих та створення систем регулювання енергії ударів, які б забезпечували надійне і високоточне дозування останньої [8].

Метою роботи є розробка і впровадження системи регулювання енергії ударів у гвинтових пресах, яка б повністю відповідала технологічним вимогам, наприклад, при прецизійному штампуванні виробів з спеціальних сплавів.

Як відомо, енергія ударів, яка накопичується ведомими частинами визначається наступним чином:

$$L = 1/2(I_{\text{вм}} \cdot \omega_{\text{вм}}^2 + m_n \cdot v_n^2), \quad (1)$$

де

$I_{\text{вм}}$ – момент інерції відомих частин;

$\omega_{\text{вм}}$ - кутова швидкість ведомих махових мас;

m_n – маса повзуна + верхня частина штампа;

v_n - лінійна швидкість повзуна + верхня частина штампа.

З цієї залежності випливає, що енергію удару можна регулювати зміною моменту інерції ведомих мас, зміною маси частин, які рухаються поступально або регулюванням кутової швидкості гвинтового шпindеля з маховиком. Це регулювання може здійснюватись дискретно або плавно. Дискретне регулювання моменту інерції, наприклад, реалізоване в гвинтових пресах типу LVH, Ждяерського машинобудівного заводу (Чехія) [9], за рахунок закріплення на основному маховику додаткового. Відоме також технічне рішення, яке дозволяє регулювати енергію удару шляхом плавної зміни моменту інерції махових мас [10].

Регулювання енергії удару шляхом зміни маси повзуна недоцільне, оскільки в ньому накопичується, як правило, не більше 10 % всієї накопиченої енергії [9].

Найбільш доцільним і розповсюдженим є регулювання за рахунок зміни кутової швидкості ведомих махових мас (гвинтовий шпindel + маховик). Цей спосіб дозволяє регулювати кутову швидкість як дискретно, так і плавно. В ряді конструкцій гвинтових пресів [9] дозування енергії ударів здійснюється по ходу повзуна (контролюється не кутова швидкість махових мас, а величина ходу розгону останніх - гвинтові преси з дуговим, а також круговим стартором, або преси з лінійним гідроприводом типу LVH [9]).

Останній оснащено програмним пристроєм, який дозволяє здійснювати:

одиначні удари з однаковою або різною енергією ударів;

безперервні удари з однаковою енергією ударів;

безперервні удари з різною енергією;

групу ходів з однаковою або різною енергією ударів.

Недоліком таких систем регулювання енергії ударів є відсутність врахування факторів, які так чи інакше впливають на величину енергії удару – умови тертя в гвинтовій парі, направляючих повзуна, зміна параметрів енергоносія, зміна маси або температури поковки. Відносно низька точність регулювання також є суттєвим недоліком такого способу регулювання.

Більш доцільним є регулювання енергії удару з використанням датчиків кутової швидкості махових мас. Це може бути або відцентрований регулятор кутової швидкості або тахогенератор. Використання останнього є більш доцільним, оскільки процес регулювання може бути здійснено електричною схемою управління приводом преса. В цьому випадку з'являється можливість введення крім жорсткого зворотнього зв'язку по кутовій швидкості махових мас, гнучких зворотніх зв'язків для врахування факторів, які впливають на процес регулювання, а також коливання маси заготовки або її температури.

Аналіз конструкцій гвинтових пресів, їх технологічного застосування показує, що проблему регульованості вихідних параметрів необхідно вирішувати одночасно з конструктивними удосконаленнями самих пресів.

Однією з перспективних є замкнута система регулювання кутової швидкості, яка може бути виконана шляхом використання системи «тиристор-двигун». Кінематична схема головного привода гвинтового преса з замкнутою системою регулювання енергії ударів з муфтою вклучення представлена на рис. 1. Особливістю цієї системи є контроль кутової швидкості всієї замкнутої муфти аж до її виключення. Момент виключення муфти відбувається відповідним датчиком який спрацьовує при наближенні верхньої частини штампа до 20–50 мм від торкання по заготовці. В такому разі відхилення від заданої кутової швидкості не спостерігається.

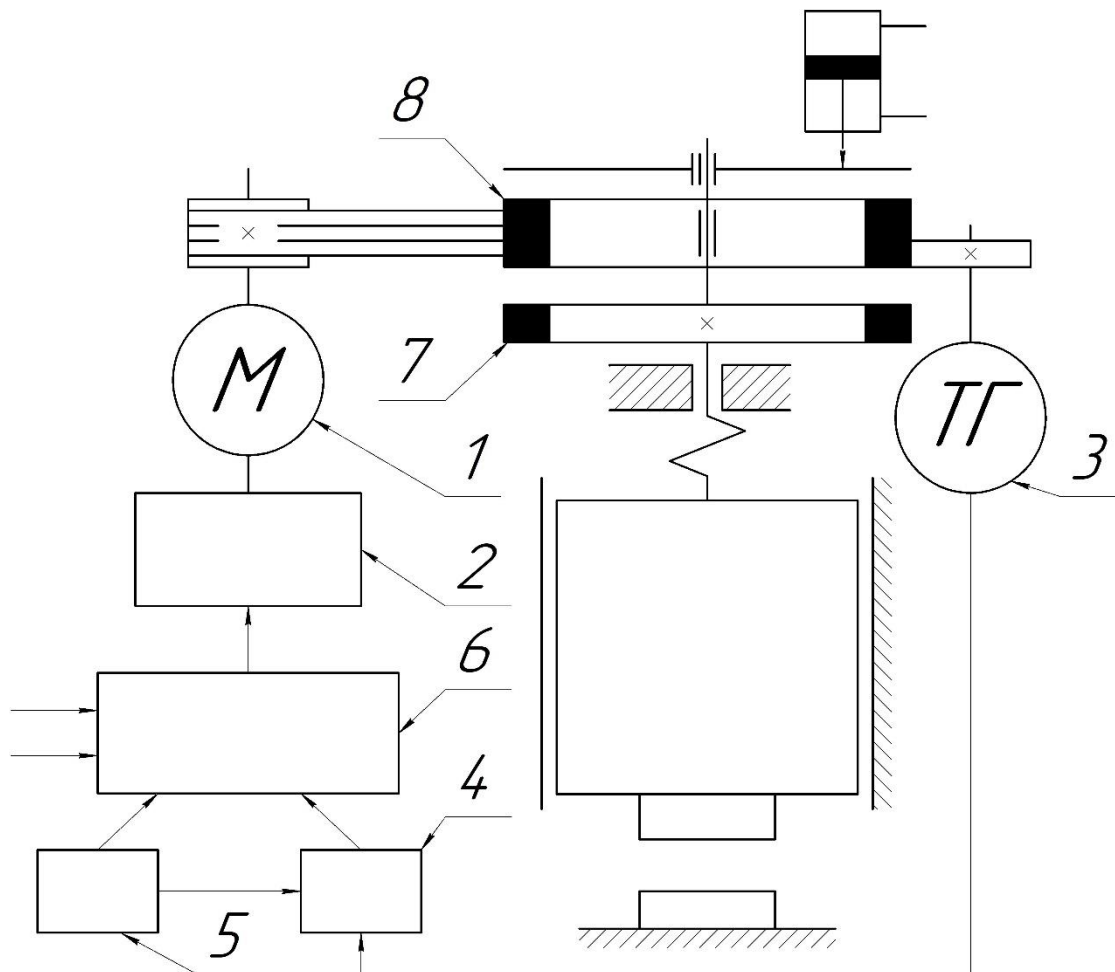


Рис. 1. Кінематична схема головного привода преса (1 – двигун; 2 – блок живлення; 3 – датчик – накопиченої енергії; 4 – блок порівняння; 5 – програмно-задаючий блок; 6 – підсилювач; 7 – введомий маховик; 8 – ведучий маховик)

Система регулювання енергії ударів відповідає наступним вимогам:

забезпечення необхідної точності регулювання енергії удару в межах $\pm 4\%$;

встановлення енергії удару необхідної величини здійснюється, швидко при наявності контролю на протязі зворотнього або холостого ходу вниз;

функціонування на всіх режимах роботи преса, а саме одиночних, автоматичних, серією ударів;

забезпечення роботи преса по наперед заданій програмі с регулюванням енергії кожного наступного удару;

можливість зміни кількості ударів в серії;

в системі регулювання повинні бути використанні елементи, блоки, модулі, які серійно випускаються;

датчик накопиченої енергії повинен бути високоточним і мати відповідну швидкодію; система регулювання повинна мати, крім головного зворотнього зв'язку, відповідні гнучкі зв'язки во вхідному сигналу моменту (струму) двигуна і інших похідних для формування відповідної характеристики двигуна і для регулювання його ковзання.

Система повинна відповідати вимогам техніки безпеки.

Порівняння сигналу U_3 , який задається в програмному блоці 5 і сигналу головного зворотнього зв'язку U_{33} відбувається в блоці порівняння 4. Алгебраїчна сума цих сигналів дорівнює:

$$\Delta U = U_3 - U_{33} \quad (2)$$

і поступає на один із входів підсилювача 6, в якому відбувається підсилення і складання його з сигналами гнучких зворотніх зв'язків та сигналами, які поступають від датчиків контролю ваги заготовки, її температури і ін. Застосування гнучких зворотніх зв'язків по виходу підсилювача 6, параметрів силового блоку 2 сприяють стійкій роботі головного привода 1 преса та системи регулювання і отриманню необхідної якості перехідних процесів.

Встановлена потужність головного електродвигуна буде визначатись найбільш важким режимом роботи в період відпрацювання задаючого сигналу при переході з мінімальної енергії, накопиченої маховими масами на максимальну, або ж в період включення фрикційної муфти на робочий хід преса, тобто цей режим визначається діапазоном регулювання енергії ударів, числом ходів повзуна преса і співвідношенням моментів інерції ведучих і ведомих махових мас, встановлених на гвинтовому шпинделі.

Здійснення робочого ходу з нанесенням удару максимальної енергії. Розгін ведомих мас здійснюється за рахунок ковзання S_a ведучого маховика від усталеної кутової швидкості ω до точки де ведуча і ведома махові маси починають рухатись як одне ціле – $\omega_1 = \omega_0(1 - S_1)$ до моменту коли швидкість кутова обох мас досягне заданої ω_0 .

При відпрацюванні сигналу переходу від нанесення удару до нанесення удару з максимальною енергією удару якісна картина розгону мас буде мати однаковий характер на ділянках t_2^2 і t_2^1 (рис. 2). Очевидно, ці два режими будуть в себе включати всі можливі режими роботи преса і будуть визначальними при виборі головного електродвигуна.

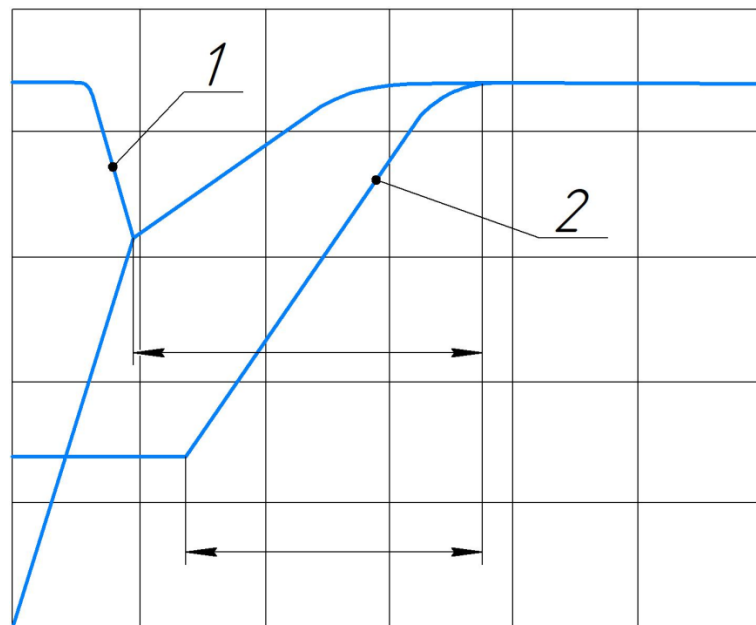


Рис. 2. Графік перехідних процесів головного приводу (якісна картина)

1 – при включенні фрикційної муфти, 2 – при відпрацюванні сигналу на перехід роботи з мінімальною енергією удару на режим роботи з максимальною енергією удару

Вважаючи коефіцієнт використання ходів рівним одиниці, визначимо середнє значення потужності електродвигуна, яка розвивається при цих двох режимах роботи.

При числі ходів повзуна на хвилину - n , тривалість циклу буде складати

$$t_{\text{ц}} = \frac{60}{n}.$$

Причому тривалість прямого ходу повзуна буде дорівнювати

$$t_{\text{пр.х}} = \alpha \cdot t_{\text{ц}}.$$

А тривалість зворотнього ходу:

$$t_{\text{зв.х}} = \beta \cdot t_{\text{ц}}.$$

Очевидно, що долеві частки ходу

$$\alpha + \beta = 1.$$

Потужність, яку розвиває електродвигун при включенні муфти буде дорівнювати:

$$P_{1\text{м}} = \frac{\Delta A_{\text{м1}}}{\Delta t_1} = 0,5 I_{\text{мс}} (\omega_0^2 - \omega_1^2) / \Delta t_1,$$

а при переході з роботи з мінімальною енергією на роботу з максимальною буде дорівнювати

$$P_{2\text{м}} = \frac{\Delta A_{\text{м2}}}{\Delta t_2} = 0,5 I_{\text{вщ}} (\omega_{\text{max}}^2 - \omega_2^2) / \Delta t_2$$

де $\Delta A_{\text{м}}$ – робота, яка виконується при розгоні махових мас $I_{\text{мс}}$ і $I_{\text{вщ}}$,

$I_{\text{мс}}$ – сумарний момент інерції ($I_{\text{мс}} + I_{\text{вщ}}$) муфти включення, гвинтового шпинделя і повзуна,

$I_{\text{вщ}}$ – момент інерції ведучих мас,

$\Delta t_1, \Delta t_2$ - тривалість розгону махових мас $I_{\text{мс}}$ і $I_{\text{вщ}}$, відповідно,

ω_1, ω_2 - кутові швидкості на початок розгону махових мас $I_{\text{мс}}$ і $I_{\text{вщ}}$, відповідно якщо

позначити, що $\frac{I_{\text{вщ}}}{I_{\text{вм}}} = \gamma$, тоді

$$I_{\text{мс}} = (1 + \gamma) I_{\text{вм}},$$

$$I_{\text{вщ}} = \gamma \cdot I_{\text{вм}},$$

а відновлення максимально можливої енергії удару до мінімально можливої як $D = T_{\text{max}} / T_{\text{min}}$ - діапазон регулювання енергії ударів і розділити значення $P_{1\text{м}}$ на $P_{2\text{м}}$ будемо мати:

$$\bar{P}_1 = \frac{P_{1\text{м}}}{P_{2\text{м}}} = \frac{(1+\gamma)[1-(1-S_1)^2] \cdot \beta \cdot D}{\gamma \cdot (1-\beta)(D-1)}.$$

З цієї залежності витікає, що при відомих значеннях γ, S, β, D можна визначити найбільш енергомісткий режим роботи головного двигуна преси. Так при $\bar{P} > 1$ вибір встановленої потужності електродвигуна визначається режимом включення муфти, а при $\bar{P} < 1$, вибір потужності електродвигуна проводять за режимом переходу з роботи з мінімальною енергією удару на режим роботи з максимальною енергією удару.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз існуючих способів регулювання енергії ударів на гвинтових пресах, до яких пред'являються наступні вимоги – простота конструкції, врахування технологічних факторів, таких як коливання ваги та температури заготовки, наприклад, та інших факторів, в тому числі і стану преси.

Запропоновано систему з жорстким зворотнім зв'язком по кутовій швидкості махових мас, яка дозволяє регулювати накопичену енергію з високою точністю і по програмі, необхідній при розробці технології штампування, особливо прецизійного, необхідного для виготовлення, наприклад, пера лопатки турбін. Застосування жорсткого зворотнього зв'язку по кутовій швидкості махових мас дає можливість скоротити тривалість перехідного процесу а, отже, і тривалість прямого ходу повзуна преса.

Показано, що визначення встановленої потужності електродвигуна залежить від відношення максимального значення енергії, накопичуваної в головному приводі преса, до мінімального значення і відношення моментів інерції ведучих і ведомих махових мас та частоти ходів преса. Встановлена потужність головного електродвигуна буде визначатись найбільш важким режимом роботи в період відпрацювання задаючого сигналу при переході з мінімальної енергії, накопиченої маховими масами на максимальну, або ж в період включення фрикційної муфти на робочий хід преса.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Pajak M. Machine elements. To innovative production presses via roller screw planetary drives. *Konstruktion*. 2010. 1-2, pp. 24 – 25.
2. Pennington J.N. High-energy process cuts long products. *Modern Metals*. 2003. 59(5), pp. 21 – 25.
3. Zheng K., He Z., Qu H., Chen F., Han Y., Zheng J.-H., Li N. A novel quench-form and in-die creep age process for hot forming of 2219 thin aluminum sheets with high precision and efficiency. *Journal of Materials Processing Technology*. 2023. 315. art. no. 117931.
4. Askarov E., Zhankeldi A., Absadykov B., Smailova G. Design features of a cam-screw press with a large effort. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2018. 5(431), pp. 192 – 200.
5. Landgrebe D., Rautenstrauch A., Kunke A., Polster S., Kriechebauer S., Mauermann R. The effect of cushion-ram pulsation on hot stamping. *AIP Conference Proceedings*. 2016. 1769. art. no. 070014.
6. Kriechebauer S., Mauermann R., Muller P. Deep drawing with superimposed low-frequency vibrations on servo-screw presses. *Procedia Engineering*. 2014. 81, pp. 905 – 913.
7. Endou J., Murata C. New forming technologies using screw type servo press. *Excellent Inventions in Metal Forming*. 2015. 60, pp. 127 – 133.
8. Скорняков Ю.Н. Исследование процесса горячего прессования металлокерамических сплавов медь – нитрид бора. автореферат канд. техн. наук. Харьков. 1970. 20с.
9. Бочаров Ю.А. Винтовые прессы. Москва: Машиностроение. 1976. 276 с.
10. А.с. СССР № 399387 В30 В1/18 Винтовой пресс. Л.И. Живов, В.Д. Обдул, М.Ф. Новиков. Открытия. Изобретения. 1973. №39.

REFERENCES

1. Pajak M. Machine elements. To innovative production presses via roller screw planetary drives. *Konstruktion*. 2010. 1-2, pp. 24 – 25.
2. Pennington J.N. High-energy process cuts long products. *Modern Metals*. 2003. 59(5). pp. 21 – 25.
3. Zheng K., He Z., Qu H., Chen F., Han Y., Zheng J.-H., Li N. A novel quench-form and in-die creep age process for hot forming of 2219 thin aluminum sheets with high precision and efficiency. *Journal of Materials Processing Technology*. 2023. 315. art. no. 117931.
4. Askarov E., Zhankeldi A., Absadykov B., Smailova G. Design features of a cam-screw press with a large effort. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2018. 5(431). pp. 192 – 200.
5. Landgrebe D., Rautenstrauch A., Kunke A., Polster S., Kriechebauer S., Mauermann R. The effect of cushion-ram pulsation on hot stamping. *AIP Conference Proceedings*. 2016. 1769. art. no. 070014.
6. Kriechebauer S., Mauermann R., Muller P. Deep drawing with superimposed low-frequency vibrations on servo-screw presses. *Procedia Engineering*. 2014. 81. pp. 905 – 913.
7. Endou J., Murata C. New forming technologies using screw type servo press. *Excellent Inventions in Metal Forming*. 2015. 60. pp. 127 – 133.
8. Skorniakov Yu.N. Investigation of the process of hot pressing of copper-boron nitride metal-ceramic alloys. – abstract PhD, Kharkov, 1970 – 20p. (*in Russian*).
9. Bocharov Yu.A. Screw presses. – Moscow.: Mechanical engineering. 1976, 276 p. (*in Russian*).
10. L.Y. Zhyvov, V.D. Obdul, M.F. Novykov. Copyright certificate SSSR № 399387 B30 B 1/18. Screw press. Discoveries. Inventions. 1973. № 39. (*in Russian*).

Obdul V., Matiukhin A., Shirokobokov V., Ben A., Lenok A., Epishkin O. Methods of impact energy control in screw presses.

The design of a screw press with a clutch with the control of impact energy both in a series and during transitions is developed. Analysis of existing control methods shows that the technological requirements for these systems are not always met. In turn, the analysis of screw press designs and their technological application shows that the problem of output parameter adjustability must be solved simultaneously with the design improvements of the presses themselves. The proposed design of the press with impact energy control practically eliminates these shortcomings, since it is a closed-loop system with rigid feedback on the angular velocity of the flywheel masses using a thyristor-motor drive. It is

shown that the determination of the installed power of the electric motor depends on the ratio of the maximum value of the energy stored in the main drive of the press to the minimum value and the ratio of the moments of inertia of the driving and driven masses and the frequency of the press strokes. The installed power of the main electric motor will be determined by the most severe mode of operation during the period of signal development when switching from the minimum energy accumulated by the masses to the maximum, or during the period of switching on the friction clutch for the working stroke of the press, i.e. this mode is determined by the range of impact energy control, the number of strokes of the press slider and the ratio of the moments of inertia of the driving and driven masses mounted on the screw spindle. The use of rigid feedback on the angular velocity of the masses makes it possible to reduce the duration of the transient process and, consequently, the duration of the straight stroke of the press slider. The existing methods of impact energy control on screw presses are analyzed.

Keywords: impact energy control, angular velocity, moment of inertia, mass, screw press, slider mass, linear speed of the slider.

Обдун Василь Дмитрович – канд. техн. наук, доцент НУ «Запорізька політехніка»
Obdul Vasyl – Candidate of Technical Science, Associate Professor National University Zaporizhzhia Polytechnic
E-mail: obdul@zp.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6490-8884>

Матюхін Антон Юрійович – канд. техн. наук, доцент, зав. каф. ОМТ НУ «Запорізька політехніка»
Matiukhin Anton – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Head of Metal Forming Department National University Zaporizhzhia Polytechnic
E-mail: matiukhin85@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2261-0577>

Широкобоків Віталій Володимирович - канд. техн. наук, доцент НУ «Запорізька політехніка»
Shyrokobokov Vitalii – Candidate of Technical Science, Associate Professor National University Zaporizhzhia Polytechnic
E-mail: shyrokobokov@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4294-7406>

Бень Анна Миколаївна – старший викладач НУ «Запорізька політехніка»
Ben Anna – Senior Lecturer of National University Zaporizhzhia Polytechnic
E-mail: benanna1985@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9765-8030>

Ленок Анастасія Анатоліївна – старший викладач НУ «Запорізька політехніка»
Lenok Anastasiia – Senior Lecturer of National University Zaporizhzhia Polytechnic
E-mail: anastasion4@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4219-2106>

Єпішкін Олександр Вячеславович – аспірант НУ «Запорізька політехніка»
Yepishkin Oleksandr – Graduate student of National University Zaporizhzhia Polytechnic
E-mail: dodgevipercoupe00@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1447-9473>

Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя
National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia

Стаття надійшла до редакції 12.07.24 р.