

Д.О. ЛОЗІНСЬКИЙ, І.О. СИВАК, Є.І. ШЕВЧУК, В.Г. ПИЛЯВЕЦЬ  
Вінницький національний технічний університет

## РОТАЦІЙНА ВИТЯЖКА ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОПОРЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ

*В роботі розглянуті методи та верстатне обладнання для виконання процесу ротаційної витяжки.*

*Запропоновано застосувати для виконання процесу ротаційної витяжки електрогідрравлічний привод зі стежною системою, що дає можливість виготовляти деталі на різних верстатах токарно-фрезерної групи, включаючи верстати з ЧПК. Розроблено розрахункову схему та математичну модель електрогідрравлічного приводу та проведені порівняльні дослідження його роботи зі стежною системою та без неї.*

*Ключові слова: ротаційна витяжка, деформація, електрогідрравлічний привод зі стежною системою, математична модель.*

D.O. LOZINSKYI, I.O. SYVAK, Y.I. SHEVCHUK, V.G. PYLYAVETS  
Vinnitsia National Technical University

## METAL SPINNING OF AXIALLY SYMMETRIC PARTS USING PROPORTIONAL ELECTRO-HYDRAULIC DRIVE WITH TRACKING SYSTEM

*The paper discusses methods and machine equipment for metal spinning process. It is proposed to apply for performing of metal spinning process electro-hydraulic drive with a tracking system that allows to produce parts by different machines such as turning, milling including CNC machines. The design scheme and a mathematical model of the electro-hydraulic drive are developed. Comparative researches of electro-hydraulic drive work with a tracking system and without it are carried out.*

*Keywords: metal spinning, deformation, electro-hydraulic drive with a tracking system, mathematical model.*

### Вступ

Ротаційна витяжка – це процес локального циклічного деформування плоскої або порожнистої заготовки, що обертається, деформуючим інструментом у вигляді одного або декількох роликів. Інструменти при ротаційній витяжці найчастіше не прив'язані до геометрії деталей, тому даний спосіб має високу формоутворювальну гнучкість не тільки в сфері серійного виробництва, а й при виготовленні обмеженої кількості деталей і виготовлення одиничних прототипів і є реальною альтернативою звичайному листовому штампуванню при виготовленні осесиметричних деталей [1, 2].

### Постановка завдання

Найпоширенішого використання для процесу ротаційної витяжки набули верстати токарної, рідше фрезерної груп, а також спеціалізовані автоматизовані ротаційні верстати з давильними роликами. З точки зору формоутворення процес ротаційної витяжки досить не простий і якість та швидкодія його виконання на універсальних токарно-гвинторізних верстатах, суттєво залежить від кваліфікації робітника, а процес отримання деталей складної форми досить ускладнюється [3].

Використання верстатів з ЧПК дозволяє усунути ряд вищевказаних недоліків, проте потребує більших капіталовкладень та не дозволяє проконтролювати рух робочого органу, що може призвести до нечіткого робочого процесу та погіршення якості отримуваних деталей. Додатковою проблемою виконання процесу ротаційної витяжки на верстатах з ЧПК та з ручним керуванням, є відсутність можливості контролювати зміну зусилля в часі під час виконання робочих рухів. Частково дану проблему можна вирішити застосувавши гідрокопіювальний привод, оскільки тиск в гідроприводі, а отже і зусилля на робочому органі можна регулювати в процесі роботи [4]. Проте швидке переналадження такої системи ускладнене і потребує виготовлення зразків для копіювання.

В роботі для виконання процесу ротаційної витяжки запропоновано застосувати електрогідрравлічний привод зі стежною системою, що дає можливість виготовляти деталі на різних верстатах токарно-фрезерної групи включаючи верстати з ЧПК, забезпечуючи можливість регулювання зусилля та встановлення необхідного закону руху робочого органу.

### Викладання основного матеріалу

Для забезпечення автоматизованої ротаційної витяжки розроблено технологічний комплекс на базі токарного верстату 16К20 та однокоординатного електрогідрравлічного приводу зі стежною системою, який керується контролером та забезпечує автоматизований цикл обробки та дозволяє програмувати рух інструмента за відповідним законом.

Контролер перетворює інформацію з ПК на сигнал керування основним золотником електрогідрравлічного розподільника, який, в свою чергу, керує переміщенням гідроциліндра з інструментом.

Структурний комплекс наведений на рис. 1.

При ротаційній витяжці осесиметричну листову заготовку 4 з товщиною стінки  $t_0$  встановлюють на оправку 5 діаметром  $d_0$  і притискають до неї піноль задньої бабки 1 через центр, що обертається 2 та притиск 3.

Переміщення робочого інструменту 6 керується пропорційним електрогідрравлічним розподільником 10, а контролювання виконується датчиком переміщення 8, який передає сигнал до контролера 9, а той в свою

чергу може змінювати керуючий сигнал для електрогідравлічного розподільника 10, при відповідній необхідності. Після чого подається сигнал від контролера на магніти гідророзподільника 10.

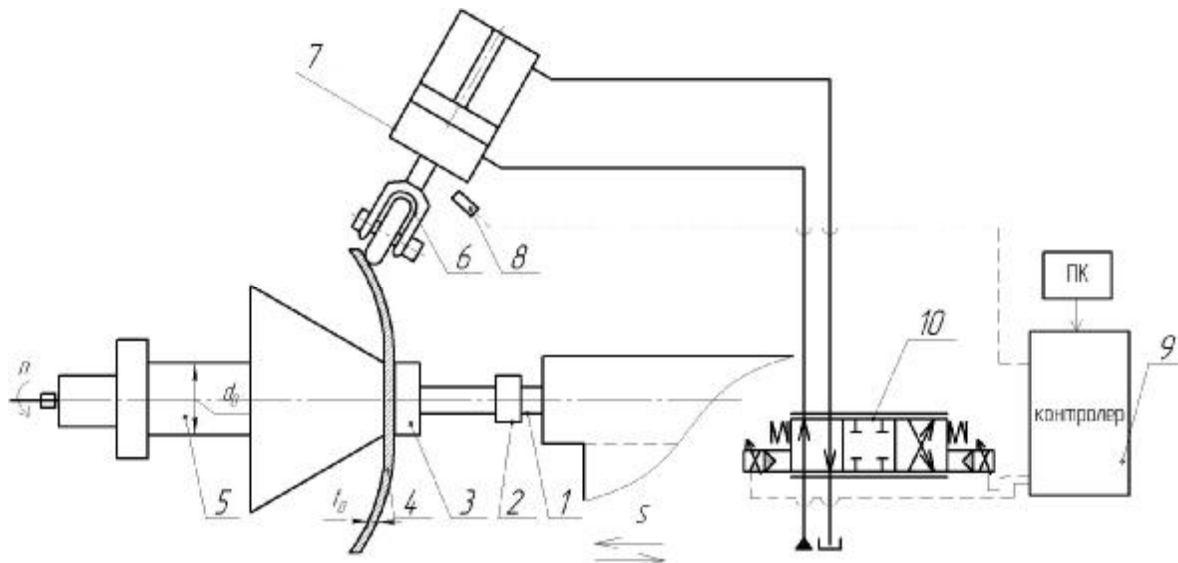


Рис. 1. Структурний комплекс з електрогідравлічним приводом зі стежною системою

Для дослідження роботи запропонованого комплексу було розроблено розрахункову схему (рис. 2) та на її основі, математичну модель (1) – (6). На розрахунковій схемі електрогідравлічний розподільник, для спрощення, зображено у вигляді регульованого дроселя 3.

Дослідження роботи розробленого ГП виконані на основі математичної моделі, що включає рівняння нерозривності потоків (1), (2), рівняння сил, що діють на гідроциліндр 4 та переливний клапан 2 – (3), (4), а також рівняння, що визначають корегування керуючого сигналу за допомогою зворотного зв'язку (5), (6) [5].

Математична модель розподільника розроблена за таких припущень: величина потоку на вході є постійна (пульсацію витрати в гідролініях не враховано); вважалось, що параметри системи зосереджені; довжини каналів зливних та напірних магістралей відносно малі, тому хвильових процесів не враховували; коефіцієнти витрати через дросельні та золотникові елементи – постійні; гідродинамічні сили не враховувались; об'єми гідроліній за час перехідного процесу не змінювались; втрати тиску в гідролініях не враховувались, оскільки вони незначні у порівнянні з втратами на місцевих опорах; коефіцієнт податливості робочої рідини враховувався як величина, залежна від тиску.

В математичній моделі позначено:  $P_N$  – зусилля навантаження, що розраховане за емпіричною формулою  $P_N = 75 - 2t$  [6];  $Q_N$  – витрата в лінії нагнітання розподільника;  $p_N, p_C$  – тиски в лінії нагнітання 1 та в порожнині гідроциліндра 4;  $x, z, y$  – координати переміщення рухомих елементів розподільника 3, клапана 2 та гідроциліндра 4 відповідно;  $W_N, W_C$  – об'єми гідроліній у відповідних частинах розподільника;  $\alpha, \beta_1$  – кути нахилу робочих кромek золотника розподільника 3 та золотника 5 клапана 2; площі робочих вікон;  $c_Z$  – жорсткість пружини 6;  $m_Z, m_c$  – маси рухомих елементів: золотника 5, клапана 2 та гідроциліндра;  $T_C, T_Z$  – сили сухого тертя, що діють на елементи розподільника 3 та клапана 2;  $b, b_Z$  – коефіцієнти в'язкого тертя, що діють на елементи 4, 5;  $\rho$  – густина робочої рідини;  $\mu$  – коефіцієнт витрати;  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує сумарну деформацію робочої рідини та гумометалевиx рукавиx;  $f_{x0}(t)$  – функція керуючого вхідного сигналу, що задається контролером для розподільника 3;  $y(t)$  – залежність координати переміщення штока розподільника від часу;  $f_y(t)$  – залежність координати переміщення штока розподільника від часу, яка має бути отримана;  $\Delta$  – різниця між бажаними та реальними координатами переміщення штока розподільника від часу;  $k$  – коефіцієнт підсилення.

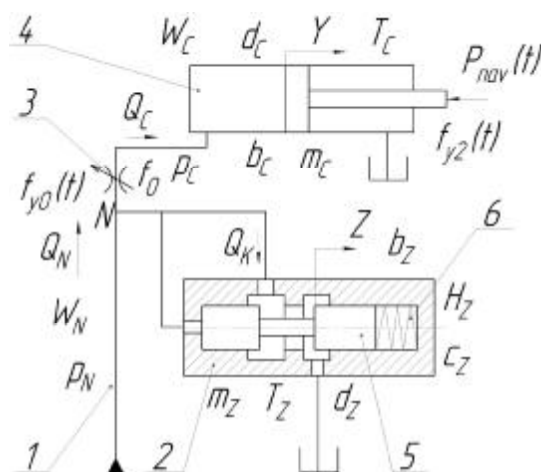


Рис. 2. Розрахункова схема приводу

$$Q_N = m \cdot p \cdot d_Z \cdot z \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_N}{r}} + m \cdot p \cdot d_X \cdot x \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_N - p_C|}{r}} \cdot \text{sgn}(p_N - p_C) + b \cdot W_A \cdot \frac{dp_N}{dt}; \quad (1)$$

$$m \cdot p \cdot d_X \cdot x \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_N - p_C|}{r}} \cdot \text{sgn}(p_N - p_C) = F_C \cdot \frac{dy}{dt} + b \cdot W_C \cdot \frac{dp_C}{dt}; \quad (2)$$

$$m_C \frac{d^2 y}{dt^2} = p_C \cdot F_C - b_C \frac{dy}{dt} - T_y \cdot \operatorname{sgn} \frac{dy}{dt} - p_{NAV}; \quad (3)$$

$$m_Z \frac{dV_Z}{dt} = p_N \cdot F_Z - c_Z \cdot (H_Z + z) - b_Z \frac{dz}{dt} - T_Z \cdot \operatorname{sgn} \frac{dz}{dt}; \quad (4)$$

$$x = f_{x0}(t) - k\Delta; \quad (5)$$

$$\Delta = y(t) - f_{y0}(t). \quad (6)$$

Стежна система, блок-схема якої наведена на рис. 3, працює наступним чином. Для забезпечення певного закону руху  $f_{y0}(t)$  робочого органу до керуючих електромагнітів електрогідравлічного розподільника ЕГР подається певний сигнал керування, що формує залежність переміщення його основного золотника  $f_{x0}(t) = k_1 \cdot f_{y0}(t)$ , з певним перетворюючим коефіцієнтом  $k_1$ . Відхилення  $\Delta$  закону гідроциліндра ГЦ  $y(t)$  з робочим органом від заданого  $f_{y0}(t)$  фіксується датчиком переміщення ДП, та, з певним коефіцієнтом підсилення  $k$ , надходить до системи керування, яка корегує залежність переміщення основного золотника електрогідравлічного розподільника в сигнал  $x(t)$ .

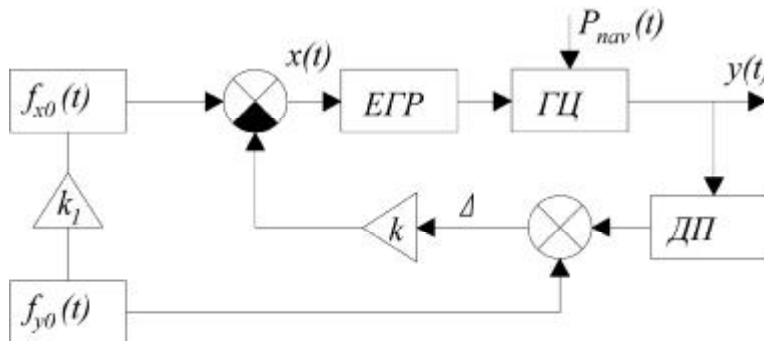


Рис. 3. Структурна схема слідуючої системи

Розв’язок системи рівнянь виконано за допомогою пакету MatLAB Simulink [7].

Основну блок-схему розв’язання системи диференціальних рівнянь зображено на рис. 4.

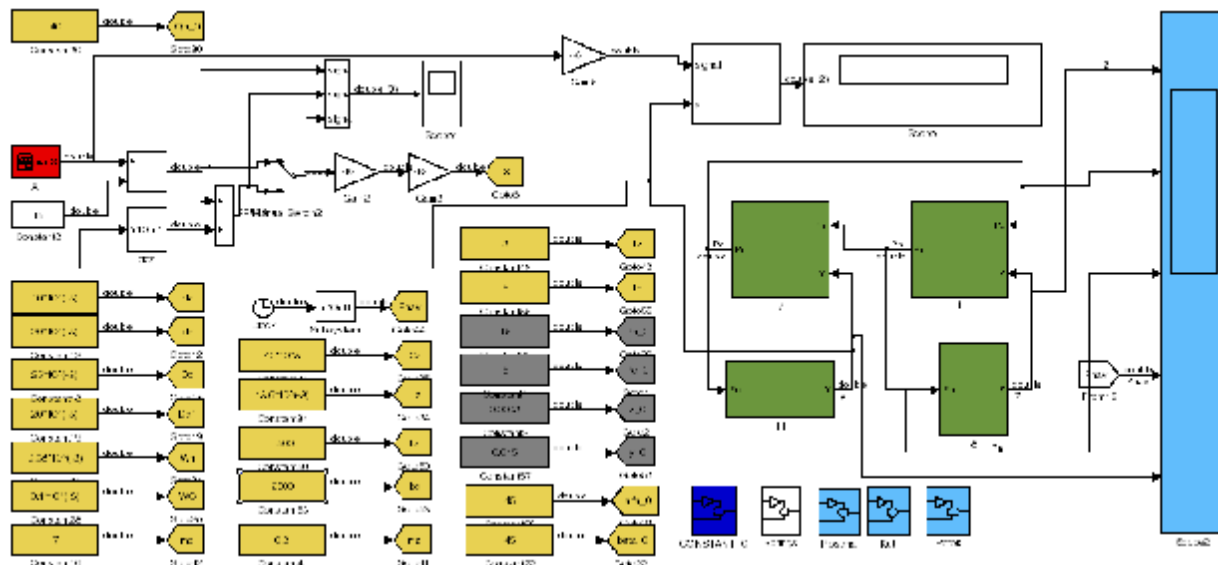


Рис. 4. Блок-схема розв’язання системи диференціальних рівнянь

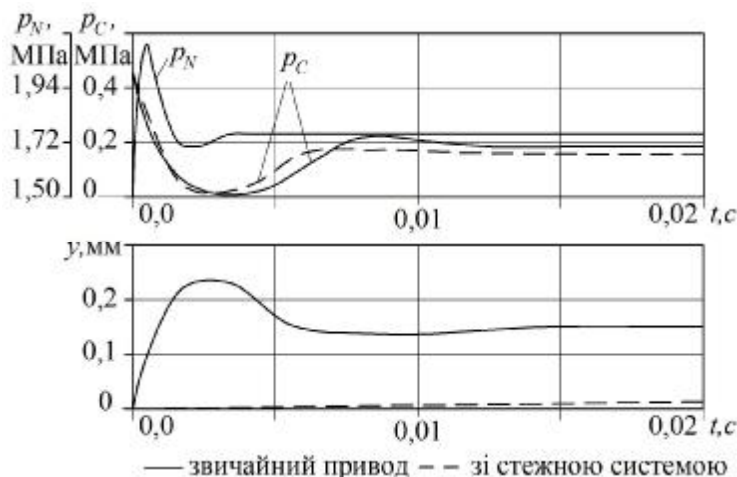


Рис. 5. Залежності зміни тисків та переміщення робочого органу від часу для звичайного приводу та зі стежною системою

Проаналізувавши та порівнявши перехідні процеси, можна побачити, що застосування стежної системи не має визначального впливу на перехідні процеси в системі (рис. 5), проте супроводжується зменшенням коливань руху робочого органу у.

Основною перевагою застосування стежної системи є забезпечення мінімізації відхилення закону переміщення робочого органу від бажаного, навіть на початкових стадіях роботи системи до моменту усталеного режиму роботи (рис. 5, 6).

Отже, розроблений електрогідравлічний привод зі стежною системою дозволяє забезпечити досить високу відповідність залежності руху робочого органу від часу (в нашому випадку відхилення не перевищувало 0,002 мм), що дозволяє чітко виконувати формоутворюючі рухи інструменту по траєкторіях різного виду, забезпечуючи якісний процес локального циклічного деформування плоскої або порожнистої заготовки, що обертається, деформуючим інструментом у вигляді одного або декількох роликів.

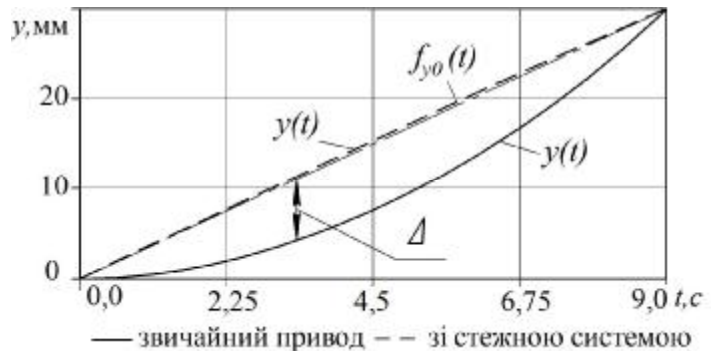


Рис. 6. Відхилення залежності переміщення робочого органу від часу  $y(t)$  від заданого  $f_{yo}(t)$  для звичайного приводу та зі стежною системою

### Висновки

Запропоновано застосувати електрогідравлічний привод зі стежною системою для виконання процесу ротаційної витяжки. Розроблено математичну модель електрогідравлічного приводу та проведені порівняльні дослідження його роботи зі стежною системою та без неї. Застосування стежної системи не має негативного впливу на перехідні процеси в системі та супроводжується зменшенням коливань руху робочого органу. Визначено, що застосування стежної системи забезпечує мінімізацію відхилення закону переміщення робочого органу від бажаного, навіть на початкових стадіях роботи до моменту усталеного режиму роботи.

### Література

1. Могильный Н. И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках / Могильный Н. И. – М. : Машиностроение, 1983. – 190 с.
2. Сивак І.О. Розподіл внутрішніх силових факторів в перерізі циліндричної заготовки при локальному навантаженні / І.О. Сивак, О.М. Мироненко, Є.І. Шевчук // Вісник Хмельницького національного університету. 2013. – № 1. – С. 32 – 36.
3. Дудка Д. В. Ротационное формоизменение конических деталей из анизотропных материалов / Д. В. Дудка, С. С. Яковлев // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула, 2010. Вып. 3. – С. 3 – 11. – ISSN 2071-6168.
4. Конский А.П. Ротационная многопроходная вытяжка оболочковых изделий [Электронный ресурс] / Конский А.П., Плахотник В.А., Бурлаков Е.И., Сыстєрова А.Ф. – Луганськ : СУНУ ім. В. Даля, 2011. – Вып. 2. – С. 5. – Режим доступа : [http://www.nbu.gov.ua/portal/soc\\_gum/vsunu/2011\\_2\\_2/Konskij.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/vsunu/2011_2_2/Konskij.pdf).
5. Лозінський Д.О. Пропорційний електрогідравлічний розподільник з незалежним керуванням потоків для мобільних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Машинознавство” / Д.О. Лозінський. – Вінниця, 2010. – 20 с.
6. Шевчук Є.І. Переміщення при ротаційній витяжці листової заготовки / Є.І. Шевчук, І.О. Сивак, О.М. Мироненко // Збірник наукових праць. ВНАУ. Секція: Технічні науки. – Вінниця, 2015. – № 1 (85). – С. 38 – 42. – ISSN 2306-756X.
7. Черных И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. – Диалог-МИФИ, 2004. – 496 с.

### References

1. Mogil'nyy N.I. Rotatsionnaya vytyazhka obolochovykh detaley na stankakh. Moskva. Mashinostroyeniye, 1983, 192 p.
2. Syvak I.O., Myronenko O.M., Shevchuk Ye.I. Rozpodil vnutrishnikh sylovykh faktoriv v pererizi tsylindrychnoi zahotovky pry lokalnomu navantazheni, Herald of Khmelnytskyi National University, 2013, Issue 1, pp. 32–36.
3. Dudka D. V., Yakovlev S. S. Rotatsionnoe formoizmenenie konicheskikh detaley iz anizotropnykh materialov, Tula. Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki. 2010, No. 3, pp. 3–11.
4. Kon'skiy A.P., Plahotnik V.A., Burlakov E.I., Systerova A.F. Rotatsionnaya mnogoprohodnaya vytyazhka obolonkovykh izdeliy, Lugansk, SUNU Im. V. Dalya, 2011, No. 2, pp. 1-5.
5. Lozinskiy D.O. Proportsiyni elektrohivdravlichnyi rozpodilnyk z nezalezhnym keruvanniam potokiv dlia mobilnykh mashyn, avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk, spets. 05.02.08 “Mashynoznavstvo”, Vinnytsia, 2010, 20 p.
6. Shevchuk Ye.I., Syvak I.O., Myronenko O.M. Peremishchennia pry rotatsiyni vytyazhtsi lystovoi zahotovky, Vinnytsia. Zbirnyk naukovykh prats. VNAU. Sektsiia: Tekhnichni nauky, 2015. No. 1 (85), pp. 38 – 42.
7. Chernykh I. V. Simulink: sreda sozdaniya inzhenernykh prilozheniy. Dialog-MIFI, 2004, 496 p.