

УДК 685.054

# МЕТОДИКА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРО- ГІДРАВЛІЧНОГО ПРЕСОВОГО ОБЛАДНАННЯ

**А.К. Кармаліта**

Кандидат технічних наук, доцент, викладач\*

**Д.М. Якимчук**

Аспірант\*

Контактний тел.: 097-239-35-87

E-mail: starcon-1@mail.ru

\*Кафедра машин та апаратів

Хмельницький національний університет

вул. Інститутська, 7, к. 818(2), м. Хмельницький, 29016

*Розроблено методику вибору оптимальних енергетичних параметрів електрогідравлічних вирубувальних пресів легкої промисловості, що дозволяє підвищувати енергоефективність і надійність роботи пресового обладнання*

*Ключові слова: електрогідравлічне пресове обладнання, вирубувальні преси, енергетичні параметри*

*Разработана методика выбора оптимальных энергетических параметров электрогидравлических вырубных прессов легкой промышленности, что позволяет увеличивать энергоэффективность и надежность работы прессового оборудования*

*Ключевые слова: электрогидравлическое пресовое оборудование, вырубные прессы, энергетические параметры*

*The methods of choice of optimal energetic parameters of electro-hydraulic cutting presses of light industry are developed, what allows promoting energoefficiency and reliable work of press equipment.*

*Key words: electro-hydraulic press equipment, cutting presses, energetic parameters*

## 1. Вступ

На сьогодні для вирубування деталей взуття в легкій промисловості використовується різноманітне обладнання, найпоширенішим серед якого є електрогідравлічні преси. Однак, конструкція такого обладнання не відповідає сучасним вимогам до надійності роботи і споживання електроенергії з мережі. Особливо ця проблема стоїть гостро в наші дні – нове обладнання дороге коштує, а існує фактично не вдосконалюється.

## 2. Постановка проблеми

Основними енергетичними параметрами вирубувальних пресів є: потужність електродвигуна, потужність гідравлічного насоса, а також накопичена кінетична енергія маховика.

Вказані показники впливають на надійність і ефективність роботи пресового обладнання. Комплексне узгодження даних параметрів сприятиме кращому використанню преса по потужності.

## 3. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Відомі різні способи визначення оптимальних енергетичних показників пресового обладнання [1-3].

Однак всі вони відрізняються між собою. Одна частина робіт присвячена підбору пари електродвигун-маховик, а інша – узгодженню вибору електродвигуна і гідравлічного насоса привода. Також, існують взаємнозаперечні твердження, які ґрунтуються на певному положенні одного із авторів. При цьому деякі з них не відповідають конкретним умовам надійності роботи привода в цілому.

Тому потрібно узгодити енергетичні параметри електрогідравлічного пресового обладнання легкої промисловості для покращення його роботи.

## 4. Формулювання мети

Для підвищення енергоефективності пресового обладнання легкої промисловості потрібно розробити методику вибору оптимальних енергетичних параметрів електрогідравлічного пресового обладнання.

## 5. Виклад основного матеріалу

На основі проведених теоретичних і аналітичних досліджень розроблено методику вибору оптимальних енергетичних параметрів електрогідравлічного пресового обладнання, яка складається з наступних етапів:

1. Вибір електродвигуна і маховика

Від правильного підбору пари електродвигун-маховик залежить надійна робота преса в цілому. Вибір електродвигуна здійснюється з каталогів [6, 7]. На практиці для приводів більшості вирубувальних пресів, які працюють в легкій промисловості номінальну потужність електродвигуна вибирають не меншою ніж 0,75-1,1 кВт. Це пояснюється тим, що зі зменшенням встановленої потужності електродвигуна збільшується навантаження на його вал, перегрів обмоток та, як наслідок, – вихід із ладу. Також, дана потужність є мінімально необхідною для виконання вирубування, так як ще менші її значення не забезпечуватимуть надійної роботи вирубувального преса.

Після вибору електродвигуна здійснюється підбір маховика. Маховик вибирається в залежності від його розташування в пресі, виду з'єднання з електродвигуном (передачі), а також від конструктивних особливостей. За відомими рівняннями [3] і конструктивними параметрами розраховуються основні робочі характеристики маховиків. Для попередніх розрахунків доцільно вибирати маховик, частка віддачі накопиченої кінетичної енергії якого дорівнює потужності електродвигуна за умови дотримання енергетичного балансу (рівняння (4)). Невеликі за розмірами та з недостатнім запасом кінетичної енергії маховики мало-ефективні, так як вони не згладжують в достатній мірі пікові стрибки по потужності і підвищують навантаження на вал електродвигуна.

Так як вплив інерційних мас привода на роботу преса здійснюється не тільки маховиком, але й інерційністю ротора електродвигуна і муфти, тому при розрахунках доцільно враховувати сумарний момент оберткових мас привода  $J_{\Sigma}$ :

$$J_{\Sigma} = J_m + J_{дв} + J_{мф}, \quad (1)$$

де  $J_m$  – момент інерції маховика;  
 $J_{дв}$  – момент інерції ротора електродвигуна;  
 $J_{мф}$  – момент інерції муфти.

Для зменшення перевантажень двигуна і підвищення його терміну експлуатації використовується пасова передача.

За умов з'єднання вала електродвигуна з гідравлічним насосом через пасову передачу рівняння (1) отримає наступний вигляд:

$$J_{\Sigma} = J_m + J_{дв}. \quad (2)$$

Після підбору пари електродвигун-маховик потрібно перевірити енергетичний баланс привода.

### 2. Перевірка енергетичного балансу привода

Для виконання необхідних умов проходження операції вирубування з каталогів підбирається гідравлічний насос за максимальною потужністю, яку створює прес, що визначається граничним зусиллям і заданою швидкістю руху поршня. За таких умов номінальна потужність насоса під час робочого ходу обчислюється за наступною формулою [3]:

$$N_{н.н} = k \cdot Q \cdot p, \quad (3)$$

де  $N_{н.н}$  – номінальна потужність гідравлічного насоса;  
 $k$  – коефіцієнт, який залежить від розмірностей  $N_{н.н}$ ,  $Q$  і  $p$ ;  
 $Q$  – подача насоса;  
 $p$  – тиск, який створює насос.

Як відомо [4], на досліджуваному пресовому обладнанні використовується насосний привод, для якого характерний повторно-короткочасний режим роботи. Двигун для роботи в повторно-короткочасному режимі не достатньо вибирати тільки за гідравлічною потужністю, так як він не повністю завантажений за нагрівом і перевантажувальною здатністю.

Тому енергетичний баланс привода повинен враховувати не тільки потужності електродвигуна і насоса, а й накопиченої енергії маховика. Рівняння енергетичного балансу електрогідравлічного привода запишеться наступним чином:

$$E_{дв.н} + E_m = E_{н.н}, \quad (4)$$

де  $E_{дв.н}$  – номінальна енергія електродвигуна;  
 $E_m$  – накопичена кінетична енергія маховика;  
 $E_{н.н}$  – номінальна енергія гідронасоса.

З рівняння (4) випливає, що потужність електродвигунів може бути зменшена в 2-3 рази і більше та залежить від характеру навантаження преса, а також відношення часу робочого ходу до часу циклу. Час роботи електродвигуна на повній потужності в маховиковому приводі може перевищувати час робочого ходу, що свідчить про перевантаження електродвигуна [4]. Тому, для врахування всіх описаних вище факторів потрібно провести попередній розрахунок маховикового привода.

### 3. Попередній розрахунок маховикового привода

Внаслідок значних похибок в розрахунках існуючих маховикових приводів в промисловості використовують більш точні методи аналітичного розрахунку.

Повна робота привода під час вирубування  $A_{оп}$  визначається за наступною залежністю [4]:

$$A_{оп} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M \cdot d\varphi + \frac{1}{2} \cdot J_{\Sigma} (\omega_{max}^2 - \omega_{min}^2), \quad (5)$$

де  $M$  – обертовий момент вала електродвигуна;  
 $\varphi$  – кут повороту вала електродвигуна;  
 $\omega_1$  – максимальна кутова швидкість під час вирубування;  
 $\omega_2$  – мінімальна кутова швидкість під час вирубування.

Величини  $\omega_{max}$  і  $\omega_{min}$  запишемо наступним чином [4]:

$$\omega_{max} = \omega_0 \cdot (1 - s_{min}), \quad \omega_{min} = \omega_0 \cdot (1 - s_{max}), \quad (6, 7)$$

де  $\omega_0$  – синхронна кутова швидкість вала електродвигуна:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}, \quad (8)$$

де  $n_0$  – синхронна швидкість обертання вала двигуна.

$s_{min}$  – мінімальне ковзання вала електродвигуна (вибирається з умови не перевищення максимальної частоти обертання вала двигуна більш ніж на 20%);

$s_{max}$  – максимальне ковзання вала електродвигуна:

$$s_{max} = s_k = s_n \cdot (\lambda_k + \sqrt{\lambda_k^2 - 1}), \quad (9)$$

де  $s_n$  – номінальне ковзання вала електродвигуна;

$s_k$  – критичне ковзання вала електродвигуна;

$\lambda_k$  – коефіцієнт перевантаження.

Попередньо визначивши  $\omega_0$ ,  $s_{max}$ ,  $s_{min}$  і також знаючи  $J$ ,  $n_0$  підставимо рівняння (6) і (7) в (5), а також

враховуючи рівняння (2) дістанемо умову, необхідну для визначення корисної роботи під час вирубування:

$$A_n = \frac{1}{2} \cdot J_{\Sigma} \cdot \omega_0^2 (s_{\max} - s_{\min}) \cdot (2 - s_{\min} - s_{\max}) . \quad (10)$$

З рівняння (10) випливає, що найбільший момент навантаження долається сумою моментів електродвигуна і маховика.

Після визначення корисної роботи привода розраховується час, необхідний для виконання технологічної операції вирубування [5]:

$$t_{ц} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_0}{4 \cdot M_k \cdot s_k} \cdot \left[ (s_{\max}^2 - s_{\min}^2) + 2 \cdot s_k^2 \cdot \ln \frac{s_{\max}}{s_{\min}} \right] , \quad (11)$$

де  $M_k$  – критичний момент вала електродвигуна:

$$M_k = M_k = \lambda_k \cdot M_n , \quad (12)$$

де  $M_n$  – номінальний момент вала електродвигуна:

$$M_n = \frac{N_{дв.н} \cdot 10^4}{n_n} , \quad (13)$$

де  $n_n$  – номінальна швидкість обертання вала двигуна.

Рівняння (11) визначає умову забезпечення заданої продуктивності електрогідравлічного вирубувального преса.

Для забезпечення виконання необхідної роботи вирубувального преса електродвигун повинен виконувати наступні умови [4-6]: долати найбільше можливе навантаження; не перегріватись вище норми під час роботи.

Електродвигун, який забезпечує виконання робочої операції (вирубування) з заданою енергією  $A_{он}$  і тривалістю циклу  $t_{ц}$  повинен при такій роботі нагріватись так, як при постійному навантаженні з номінальною потужністю. Ця умова нормального нагрівання електродвигуна визначається наступною рівністю [5]:

$$\frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_0}{2} \cdot (s_{\max}^2 - s_{\min}^2) = M_n \cdot s_n \cdot t_{ц} . \quad (14)$$

В рівнянні (14) ліва частина являє собою втрати енергії на нагрів ротора під час роботи електродвигуна на протязі циклу роботи вирубувального преса, а права частина – втрати енергії під час роботи двигуна з номінальним навантаженням на протязі того ж періоду часу.

Коли після виконаних розрахунків рівність (14) не виконується потрібно змінити маховик чи електродвигун і повторити проведені розрахунки починаючи з рівняння (1). Якщо умова (14) виконується – підбір і попередній розрахунок привода виконано вірно і енергетичний баланс дотримується.

#### 4. Уточнений розрахунок маховикового привода

В реальних умовах під час використання маховика навантаження на валу електродвигуна привода повністю не вирівнюється. В цьому випадку потрібно будувати наближені графічні залежності зміни потужності, яку споживає електрогідравлічне пресове обладнання від часу роботи під час виконання вирубування. Однак, використання розробленого вимірювального обладнання [8] дає змогу з достатньою точністю визначити

графічну залежність зміни спожитої потужності в часі із врахуванням всіх можливих пікових стрибків.

Тому, для врахування дійсного значення потужності, яка споживається пресом з мережі, потрібно провести дослідження за методиками [8]. Після визначення необхідних даних з врахування специфіки виконання вирубування на пресовому обладнанні вводиться поправка в рівняння (4) – номінальна енергія електродвигуна замінюється на середню енергію, спожиту з мережі  $E_{дв.ср}$  :

$$E_{дв.ср} = \frac{\sum E_{n_i}}{n_i} , \quad (15)$$

$\sum E_{n_i}$  – сумарна енергія, спожита під час кожного з циклів вирубування;

$n_i$  – кількість циклів вирубування.

Також, проводиться перевірка правильності вибору момента інерції маховика з поправкою, яка враховує характерні особливості реального навантаження [6]:

$$J_m^n = \frac{A_{он}}{j \cdot \omega_{ср}^2} , \quad (16)$$

де  $\omega_{ср}$  – середня кутова швидкість маховика за час циклу:

$$\omega_{ср} = \frac{\omega_{\max} + \omega_{\min}}{2} ; \quad (17)$$

$j$  – сумарний коефіцієнт втрат:

$$j = 2 \cdot k \cdot s_n \cdot \xi , \quad (18)$$

де  $k$  – коефіцієнт запаса, який враховує неточності розрахунку ( $k = 1,2 - 1,5$ );

$\xi$  – коефіцієнт втрат ( $\xi = 0,85 - 0,95$ ).

В приводах з клинопасовою передачею потрібно враховувати ковзання пасів  $s_p$  [4, 7]. Для електродвигунів з невеликим номінальним ковзанням вплив ковзання пасів досить суттєвий. Тому, при визначенні сумарного коефіцієнта втрат  $j$  рекомендовано збільшувати номінальне ковзання  $s_n$  на величину  $s_p = 0,01$ . В результаті рівняння (18) запишеться наступним чином:

$$j = 2 \cdot \xi \cdot k \cdot (s_n + s_p) . \quad (19)$$

Із збільшенням коефіцієнта  $k$  і номінальної потужності електродвигуна зменшується момент інерції маховика і навпаки.

Звісно, оптимальним варіантом при виборі системи електродвигун-маховик-гідронасос є такий, при якому затрати за термін рентабельності будуть найменшими.

## 6. Висновки

Розроблено методику вибору оптимальних енергетичних параметрів пресового обладнання. Дана методика може бути використана на виробництві – дозволить зменшити часові витрати на вибір оптимальних енергетичних показників електрогідравлічних вирубувальних пресів з одночасним підвищенням якості виконання вирубування за рахунок оптимального співвідношення основних робочих характеристик.

Література

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: учеб. для вузов. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576с.
2. Бочаров Ю.А., Прокофьев В.Н. Гидропривод кузнечно-прессовых машин. – М.: Высшая школа, 1969. – 248с.
3. Добринский Н.С. Гидравлический привод прессов. – М.: Машиностроение, 1975. – 222с.
4. Живов Л.И. Насосно-маховичный привод к гидравлическим прессам / Л.И. Живов, В.В. Щербина, В.М. Новак // Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – № 1. – С. 19–22.
5. Баширин А.В. Управление электроприводами : [учеб. пособие для вузов] / Баширин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 392 с.
6. Вольдек А.И. Электрические машины : [учеб. для студ. высш. техн. учебн. Заведений] / Вольдек А.И. – [3-е изд., перераб.]. – Л. : Энергоиздат, 1978. – 832 с.
7. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. Т. 2 / [под общ. ред. Копылова И.П., Клокова Б.К.]. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.
8. Karmalita A.K., Yakymchuk D.M. Investigation of energetic parameters of electro-hydraulic press equipment // Вісник Чернігівського Державного технологічного університету. – Чернігів: ЧДТУ, 2010. – № 42 – С.265–269.

УДК 629.7.054

# ДВУХКАНАЛЬНА АВТОКОМПЕНСАЦІЯ ВЛИЯНИЯ ПОМЕХ НА ДВУХСТЕПЕННОЙ ГИРОСКОП

**О.Я. Ковалец**

Ассистент

Кафедра биотехники и инженерии  
 Национальный технический университет Украины  
 «Киевский политехнический институт»  
 пр-т Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056  
 Контактный тел.: (044) 454-94-51  
 E-mail: karachun1@gala.net

*Проводиться оцінка ефективності методу двохканальності для зменшення похибок двохступеневих гіроскопів, суть реалізації якого полягає у використанні двох електрично зв'язаних гіроскопів. Здійснюється якісний та кількісний аналіз впливу гармонічної хитавиці об'єкту на похибку вимірювань*

*Ключові слова: автокомпенсація, датчик кутової швидкості, гармонічні коливання*

*Проводится оценка эффективности метода двухканальности для уменьшения погрешностей двухступенных гироскопов, суть реализации которого заключается в использовании двух электрически связанных гироскопов. Осуществляется качественный и количественный анализ влияния гармонической качки объекта на погрешность измерений*

*Ключевые слова: автокомпенсация, датчик угловой скорости, гармонические колебания*

*The estimation of efficiency of method of twochannel is conducted for diminishing of errors of двухступенных gyroscopes, essence of realization of which consists in the use of two electrically connected gyroscopes. The high-quality and quantitative analysis of influence of the harmonic tossing of object is carried out on the error of measurings*

*Keywords: autoindemnification, sensor of angulator, harmonic vibrations*

## 1. Введение

Исследования относятся к области прикладной гироскопии и посвящены анализу уменьшения по-

грешностей двухступенных гироскопов путем автокомпенсации влияния внешних механических возмущений. Суть технической реализации заключается в использовании вместо одного – двух электрически