

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВИРУБУВАЛЬНИХ ПРЕСІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

*В статті запропоновано спосіб підвищення ефективності роботи вирубувальних пресів легкої промисловості. Проаналізовано основні конструктивні особливості маховиків і їх вплив на динаміку роботи пресового обладнання. На основі експериментальних досліджень встановлено оптимальні параметри пари електродвигун-маховик, що дозволило підвищити надійність роботи електродвигуна і преса в цілому.*

*The method of increase of efficiency work of cutting presses of light industry is offered in the article. The basic structural features of fly-wheels and their influence on the dynamics of work of press equipment are analysed. On the basis of experimental researches the optimal parameters of pair motor-fly-wheel are set, which allowed promoting reliability of work of electric motor and press on the whole.*

**Ключові слова:** електрогідрравлічне пресове обладнання, вирубувальний прес, маховик, електродвигун.

### Постановка проблеми

На сьогодні актуальним постає завдання підвищення ефективності роботи вже існуючого обладнання. Електрогідрравлічні вирубувальні преси консольного типу поширені на підприємствах легкої промисловості, однак їхні конструкції не відповідають сучасним вимогам по енергоефективності і надійності роботи. Тому вдосконалення вказаного обладнання з цієї точки зору є актуальним завданням.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

В попередніх дослідженнях [1, 2] розглянуто можливі шляхи вдосконалення електрогідрравлічного пресового обладнання легкої промисловості. Однак не враховано можливість підвищення ефективності вирубувальних пресів за рахунок встановлення оптимальних співвідношень пари електродвигун-маховик.

Сучасні методи вимірювання, а також існуюче обладнання [2] дозволяють з високою точністю отримувати відповідні вимірювальні характеристики, які дають змогу судити про динаміку роботи вирубувальних пресів.

### Формулювання мети

Метою роботи є підвищення ефективності роботи електрогідрравлічного пресового обладнання легкої промисловості за рахунок оптимізації пари електродвигун-маховик.

### Виклад основного матеріалу

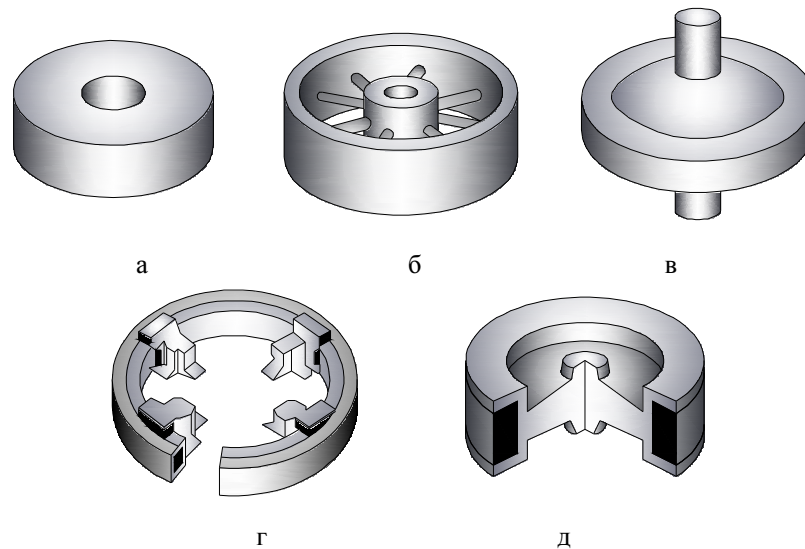
Невід'ємною складовою ефективності роботи вирубувальних пресів легкої промисловості є узгодження роботи системи електродвигун-маховик. Як відомо [3-5], маховик використовується для згладження пікових навантажень під час виконання операції вирубування. Існують різні конструкції маховиків. Енергія, яку запасе і віддає маховик залежить від його форми, матеріалу, міцності.

Найпростіша конструкція маховика – диск з отвором в середині (рис. 1, а). Як правило такі маховики виготовляють з сталених поковок чи відливок, міцність матеріалу яких не досить висока. Великі відливки навіть з найкращих сталей не відповідають умовам міцності на розрив. Специфіка виготовлення вказаних маховиків не забезпечує усунення дефектів, що значно зменшують міцність маховика в цілому. Чим більш міцніший литий чи кований маховик, тим небезпечніший його розрив і виникає більша необхідність для забезпечення відповідної міцності маховика.

Маховик в формі обода зі спицями (рис. 1, б) ефективніший за описаний вище в 1,5 рази. Як показали розрахунки [6-7], за рахунок збільшення діаметра і відцентрових сил вдається покращити використання маховика за енергією. Подальші дослідження показали, що ефективніше таке конструктивне виконання маховика, при якому його маса розташовується як найближче до центра обертання (рис.1, в). Такі маховики накопичують в два рази більше енергії ніж обід зі спицями і в три рази більше ніж диск з отвором при однаковій масі маховиків.

В якості матеріалу в маховиках може також використовуватись сталений дріт. Під час обертання вала з оправою і дротом в ній останній буде як звичайний маховик накопичувати кінетичну енергію [6]. При цьому частинки дроту, рухаючись за інерцією, намагатимуться все сильніше розтягувати маховик до повного розриву. Найбільше навантаження в такому випадку приходиться на середину дроту. При збільшенні швидкості обертання дріт почне рватись, але рватись частинками, які не здатні пробити захисний кожух, тобто розрив маховика відбуватиметься безпечно.

Так як міцність дроту більша міцності монолітного куска металу в 3-5 разів, то маховик з дроту накопичить в стільки ж разів більше енергії, ніж звичайний дисковий маховик такої ж маси. Завдяки появі “надлишкового” запасу міцності виникає можливість його зменшення в 2 рази. Тому маховик з дроту накопичує в 10 разів більше кінетичної енергії в порівнянні із звичайним маховиком [7].



**Рис. 1. Основні види конструктивного виконання маховиків: а - диск з отвором; б – обід зі спицями; в – диск рівної міцності; г – кільцевий маховик; д – супермаховик**

Досить перспективні кільцеві маховики (рис. 1, г). Такий маховик являє собою кільце, намоте з високоміцного волокна і поміщене в вакуумну камеру в формі тора. Оскільки кільцевий маховик не має центра, то в ньому найбільш повно реалізуються властивості міцності волокон [7]. Кільцевий маховик утримується в камері в підвішеному стані за допомогою магнітних опор, які розташовані в декількох місцях по колу. Саме кільце служить ротором мотор-генератора, а ті місця, в яких стоять обмотки магнітів – статором. Це спрощує відбір енергії і зарядку маховика.

Кільцевий маховик за щільністю енергії в 2-3 рази ефективніший ніж звичайний дисковий сталевий маховик і досягає 0,5 МДж на кілограм маси. Втрати на обертання в такого маховика в 50-100 разів менші ніж в дискового через відсутність втрат на тертя в підшипниках.

Однак такі маховики мають ряд недоліків: складність підвісної системи, складність налагодження енергопередачі, висока вартість виготовлення.

Існують маховики, корпус яких виконаний з надміцних сплавів з намотаним ободом з скловолокна, вугільних волокон, борних волокон та інших (рис. 1, д). Такі маховики в поєднанні з високою міцністю і розривною здатністю (границею міцності) володіють високою щільністю накопиченої енергії, що значно перевищує такі показники в звичайних маховиках. Одним з прикладів таких сучасних маховиків може бути система KERS (Kinetic Energy Recovery System), яка використовується в автомобільному спорті (Формула 1). Вона дозволяє за рахунок використання маховика під час кожного гальмування автомобіля накопичувати кінетичну енергію до 400 кДж і запасти її в акумулятори, при загальній потужності системи не більше 60 кВт. Ця система дозволяє отримати додатково 80 кінських сил на протязі 6,7 секунд на кожному колі [8-9]. Однак через недоліки в роботі і високу вартість не отримала широкого розповсюдження в автоспорті.

Важливим фактором, який впливає на доцільність використання маховика в приводі є його маса. Чим менша маса маховика, тим він ефективніший і тим менше перевантаження сприймає електродвигун. Також, за рахунок зменшення перевантаження двигуна підвищується його надійність і довговічність роботи, через зменшення перегріву обмоток [4].

Враховуючи складність виготовлення більшості розглянутих маховиків для досліджень використано дископодібну конструкцію маховика з отвором. Хоч таке конструктивне виконання маховика найменш ефективно по кількості енергії, що запасується, однак воно найпростіше у виготовленні і має найменшу вартість.

Для проведення досліджень оптимізації пари електродвигун-маховик використано електрогідравлічний прес консольного типу ПВГ-8-2-0, який призначений для вирубання деталей взуття із штучних і натуральних матеріалів.

В основу експериментальних досліджень покладено завдання визначення впливу маховика на динаміку роботи електрогідравлічного пресового обладнання, а також на його енергоспоживання. Для цього проаналізовано можливість встановлення різнотипних маховиків в досліджуваному обладнанні і визначено їх конструктивні особливості.

На основі проведеного аналізу виготовлено 5 маховиків з різними конструктивними параметрами (табл. 1).

Таблиця 1

Конструктивні параметри маховиків			
№ маховика	$R$ , м	$r$ , м	$H$ , м
Маховик №1	0,14	0,025	0,04
Маховик №2	0,14	0,025	0,06
Маховик №3	0,14	0,025	0,08
Маховик №4	0,15	0,025	0,08
Маховик №5	0,16	0,025	0,08

За відомими залежностями [10-11] розраховано основні робочі характеристики маховиків:

– момент інерції маховика  $J$  :

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 - r^2), \quad (1)$$

$m$  – маса маховика;

$R$  – зовнішній діаметр маховика;

$r$  – внутрішній діаметр маховика;

– накопичена кінетична енергія маховика  $E_k$  :

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \left( \frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2, \quad (2)$$

$n$  – частота обертання вала електродвигуна.

– корисна кінетична енергія маховика  $E_{кор}$  [12]:

$$E_{кор} = E_k \cdot 0,2. \quad (3)$$

Основні робочі характеристики виготовлених маховиків наведено в табл. 2.

Для проведення досліджень використано гострий різак середнього периметру  $L=0,6$ м із двостороннім симетричним загостренням з кутом загострення, який становить  $\alpha=25^\circ$ , а також вирубувальну плиту з полівінілхлориду (ПВХ).

В якості матеріалу використано наступні види шкір: м'яка шкіра верху (натуральна) товщиною  $\Delta=1$ мм; штучна шкіра верху товщиною  $\Delta=1,2$ мм; картон взуттєвий товщиною  $\Delta=1,5$ мм.

Таблиця 2

Основні робочі характеристики маховиків			
№ маховика	Момент інерції $J$ , кг·м <sup>2</sup>	Накопичена кінетична енергія $E_k$ , кДж	Максимальна корисна енергія $E_{кор}$ , кДж
1	0,180	3,68	0,74
2	0,260	5,44	1,1
3	0,351	7,18	1,44
4	0,446	9,65	1,93
5	0,621	12,55	2,51

Для гарантованого вирубання технологічний контакт налаштовувався на величину входження в

вирубувальну плиту на величину 0,5мм. Підключалось вимірювальне обладнання [2] і фіксувались дійсні значення досліджуваних величин. При цьому проводилась відеофіксація величини переміщення ударника.

Вимірювальне обладнання [2] працює за принципом аналогово-цифрового перетворення струмового сигналу в відповідні числові значення вимірювальних характеристик. При цьому шукані значення струму і напруги, яку споживає пресове обладнання з мережі через вимірювальний блок, аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) і блок гальванічної розв'язки передавались на комп'ютер.

Експериментальні дослідження проводились за методиками, описаними в [2]. Отримані дані фіксувались на комп'ютері і далі опрацьовувались у відповідних програмних середовищах.

На основі проведених досліджень побудовано графічні залежності зміни потужності  $N$ , яку споживає електрогідрравлічне пресове обладнання від моментів інерції маховиків  $J$  для різних матеріалів (рис. 2).

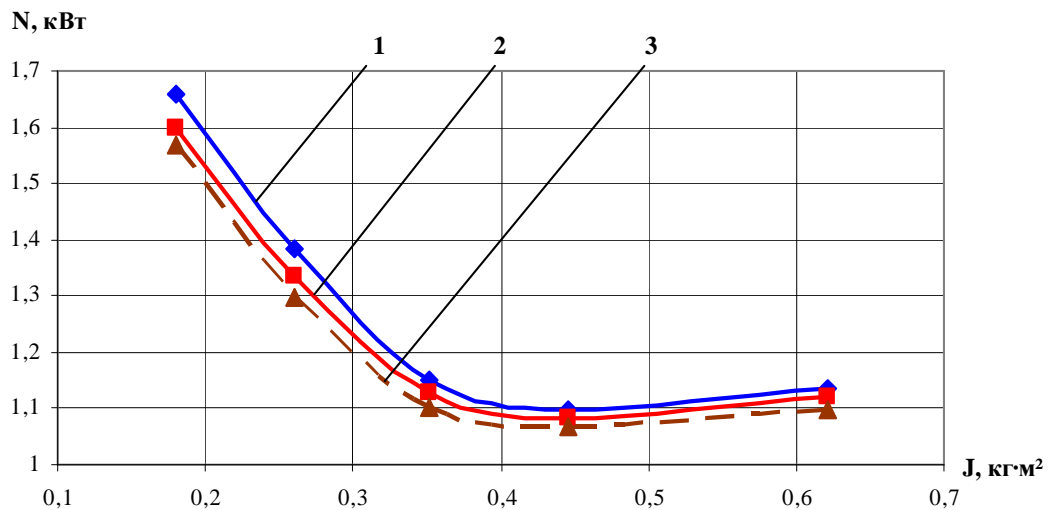


Рис. 2. Залежність спожитої потужності від моменту інерції маховика для різних матеріалів:  
1 – натуральна шкіра верху; 2 – штучна шкіра верху; 3 – картон взуттєвий

Аналіз отриманих графічних залежностей показав, що для використання в пресовому обладнанні найбільш оптимальним є маховик №4 з моментом інерції  $J=0,446\text{кг}\cdot\text{м}^2$ . За умови встановлення цього маховика спостерігається найменше споживання потужності, яка становить  $N=1,05-1,1\text{кВт}$ . При цьому коливання тиску масла в системі знаходяться в межах допустимих норм. Маховик №3, який встановлений на серійних пресах ПВГ-8-2-0 не відповідає умовам енергоефективності.

Найменш ефективними є маховики №1 і №2 з моментами інерції  $J=0,180\text{кг}\cdot\text{м}^2$  і  $J=0,260\text{кг}\cdot\text{м}^2$  відповідно. За умови їх використання потужність, яка споживається з мережі становить  $N=1,56-1,67\text{кВт}$  і  $N=1,03-1,4\text{кВт}$  відповідно. Це пояснюється тим, що коли ресурсу накопиченої енергії маховика недостатнього – відбувається значний стрибок по потужності в моменти найбільших динамічних етапів роботи преса. Це призводить до перевантаження пресового обладнання і погіршення якості виконання операції.

За результатами отриманих графічних залежностей встановлено, що існує можливість вдосконалення досліджуваного пресового обладнання без кардинальних змін в конструкції з точки зору підвищення енергоефективності і надійності роботи, а саме – за рахунок встановлення оптимальних співвідношень пари електродвигун-маховик з врахуванням перевантаження пресового обладнання по тиску та дотримання технології.

Цей комплекс заходів дозволив зменшити споживання енергії преса з мережі на 15% порівняно з існуючими пресами ПВГ-8-2-0 без погіршення якості виконання операції вирубування з одночасним підвищенням надійності і довговічності роботи електродвигуна.

**Висновки:** на основі проведених теоретичних і аналітичних досліджень запропоновано спосіб підвищення ефективності роботи вирубувальних пресів легкої промисловості. Експериментальні дослідження дозволили визначити оптимальні параметри пари електродвигун-маховик і підвищити надійність роботи електродвигуна і преса в цілому.

#### Література

1. Якимчук Д.М. Перспективи вдосконалення електрогідрравлічних пресів в легкій промисловості / Д.М. Якимчук, А.К. Кармаліта, Д.В. Прибега // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 2. – С. 105–107.
2. Karmalita A.K. Investigation of energetic parameters of electro-hydraulic press equipment / A.K.

Karmalita, D.M. Yakumchuk // Вісник Чернігівського Державного технологічного університету. – Чернігів : ЧДТУ, 2010. – № 42. – С. 265–269.

3. Харизоменов И.В. Электрооборудование кузнечно-штамповочных машин : [учебник для вузов] / Харизоменов И.В. – М. : Высшая школа, 1970. – 185 с.

4. Живов Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование / Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 560 с.

5. Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование : [учебник для студ. высш. учеб. Заведений] / Бочаров Ю.А. – М. : Издательский центр “Академия”, 2008. – 480 с.

6. Гулиа Н. В. Маховичные двигатели. – М. : Машиностроение, 1976. – 276 с.

7. Гулиа Н.В. Накопители энергии. – М. : Наука, 1980. – 312 с.

8. <http://formula1ru.livejournal.com/937.html>

9. [http://www.formula1.com/inside\\_f1/understanding\\_the\\_sport/8763.html](http://www.formula1.com/inside_f1/understanding_the_sport/8763.html)

10. Справочник по физике / [под ред. Б.М. Яворского. и А.А. Детлафа]. – М. : Наука, 1964. – 847 с.

11. Павловський М.А. Теоретична механіка : [підручник] / Павловський М.А. – К. : Техніка, 2002. – 512 с.

12. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. Т. 2 / [под общ. ред. Копылова И.П., Клокова Б.К.]. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.