

3. Майдан П.С. Вибір системи відліку координат деталей при складанні плоских виробів виготовлених з матеріалів, що легко деформуються : Праці Міжнар. конф [“Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины”], (Херсон, 27–28 жовтня 2009 р.) / П.С. Майдан, Г.М. Драпак // М-во освіти і науки України, Херсон. націон. техн. ун-т. – Херсон : ХНТУ АН України, – 2009. – С. 51–52.

4. Пат. 44619 України, МКВ<sup>7</sup> А 43 D 111/00. Палета для складання багатошарових плоских виробів / Майдан П. С.; Драпак Г. М.; Горященко С. Л.; заявник та власник Хмельницький нац. ун-т. – № 200904066 ; заявл. 27.04.2009 ; опубл. 12.10.2009, бюл. № 19.

5. Майдан П.С. Аналіз точності процесу базування деталей при складанні заготовок верху взуття / П.С. Майдан, Г.М. Драпак // Вісник КНУТД. – 2010. – № 5, том 1. – С. 84–89

6. Майдан П.С. Проектирование и разработка приспособления для автоматизировании процесса сборки деталей верха обуви : Труды Междунар. конф [“Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности”], (Витебск, 18 ноября 2009 р.) / П.С. Майдан, Г.М. Драпак // М-во образования и науки Беларуси, Витебский гос. техн. ун-т – Часть 2 – Витебск : ВГТУ АН Беларуси, – 2009. – С. 110–113.

Надійшла 9.1.2011 р.

УДК 685.31.02

Т.П. РОМАНЕЦЬ

Хмельницький національний університет

## МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ВАКУУМНИХ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ

*В статті розглянуто найбільш важливі експлуатаційні показники вакуумних захватних пристроїв. Запропоновано методику розрахунку технологічних та геометричних параметрів пристроїв. Розроблено алгоритм прийняття рішень й проведення розрахунків.*

*The most important operating indexes of vacuum gripping devices are considered in the article. The methods of calculation of technological and geometrical parameters of devices are offered. There have been elaborated the algorithm of making decision and realization of calculations.*

Ключові слова: маніпулятор, захватний пристрій, вакуумний присос, методика проектування.

Переважає більшість операцій обробки та складання у взуттєвому виробництві є монотонними і протікають у шкідливому середовищі. Кількість типових допоміжних прийомів в одному технологічному процесі може досягати кількох десятків [1], що викликає потребу в їх автоматизації.

На відміну від захватних пристроїв, призначених для роботи з деталями одного-двох найменувань, до складальних схватів пред'являються вимоги високої універсальності, оскільки в цьому випадку необхідно маніпулювати усіма деталями складання, як базовими, так і кріпильними. Для складання вузлів, що мають п'ять-шість деталей, можливе використання одного універсального схвата. У випадку більшого числа типорозмірів деталей і комплектуючих частин, що входять у вузол, доцільно передбачити змінні схвати [2].

Одна з важливих особливостей взаємодії схвата, деталі й оснащення – необхідність компенсації неточностей їхнього взаємного розташування. У випадку наявності похибок взаємного розташування деталей, що з'єднуються, виникають небажані, а іноді й небезпечні навантаження, які сприймаються елементами маніпулятора деталлю й оснащенням. Зменшити ці навантаження й компенсувати похибку положення руки маніпулятора найбільш просто введенням у конструкцію пружних елементів. Їх можна встановити у місці кріплення схвата до руки маніпулятора, у механізмі приводу робочих органів та в робочих органах. В останньому випадку забезпечуються необхідна піддатливість і пристосовуваність до похибок форми деталі, тобто досягається рівномірний розподіл зусилля взаємодії по поверхні деталі.

Різноманітність принципів дії й велика кількість конструктивно-технологічних особливостей утрудняють чітку класифікацію захватних пристроїв за окремими ознаками в ієрархічній послідовності.

Для захватних пристроїв, як і для будь-яких інших, найбільш важливими є їх вихідні параметри (експлуатаційні показники). До них можна віднести наступні:

- номінальна сила захоплення – визначається як сила, з якою робочі органи взаємодіють з поверхнею об'єкта маніпулювання. Визначається, як правило, розрахунковим шляхом з урахуванням маси, прискорення, характеру взаємодії контактних поверхонь робочих органів з об'єктом маніпулювання;
- маса захватного пристрою, визначає інерційні сили, що діють на механізми маніпулятора, а також максимальну корисну масу об'єкта маніпулювання;
- час захоплення – час від подачі сигналу пристроєм керування на захоплення до моменту завершення процесу, тобто коли зусилля захоплення досягає сталого значення;
- час відпускання – час від подачі команди пристроєм керування на відпускання до моменту завершення процесу, тобто звільнення об'єкта від дії схвата. Час захоплення й час відпускання звичайно визначаються експериментально, їхній розрахунок дає, як правило, недостовірні результати, але ці показники важливі для побудови циклограми й визначення продуктивності робототехнологічного комплексу;
- середнє напруження на відмову й середній час відновлення після відмови, що характеризують надійність роботи захватного пристрою. Середнє напруження на відмову при нормальних експлуатаційних умовах має бути не меншим 2000 годин;

- габаритні розміри захватного пристрою;
- кількість використовуваних робочих органів;
- діапазон зміни характерних розмірів об'єктів маніпулювання, на які розрахований схват;
- умови експлуатації – температура, стан навколишнього середовища;
- вид привода;
- енергетичні показники – напруга, сила струму, тиск робочого тіла;
- максимальна маса об'єкта маніпулювання.

До захватних пристроїв пред'являються вимоги загального характеру й спеціальні, пов'язані з конкретними умовами. До обов'язкових вимог відносяться наступні: надійність захоплення й утримання об'єкта маніпулювання за умови дотримання необхідних швидкісних характеристик маніпулятора; стабільність базування виробу в схваті; міцність захватного пристрою при малих габаритах і масі; необхідна відповідність із технологічним устаткуванням по точності позиціонування; простота керування й малий час спрацювання; висока надійність в експлуатації, простота конструкції.

До спеціальних вимог відносяться: широкодіапазонність, тобто можливість захоплення й базування деталей у широкому діапазоні маси, форми й розмірів; легкість і швидкість зміни захватного пристрою; можливість зміни зусилля утримання об'єкта маніпулювання. Крім того, при проектуванні захватних пристроїв необхідно враховувати загальні вимоги безпеки, що ставляться до маніпуляторів, робототехнологічних комплексів і дільниць. У кожному конкретному випадку вибір конструкції захватного пристрою залежить від цілого ряду факторів, основними з яких є наступні:

- Форма, характеристики й взаємне положення поверхонь об'єкта маніпулювання. Для захвату не можуть бути використані ділянки поверхонь, по яких здійснюється фіксація об'єкта в технологічному устаткуванні й на які він встановлюється перед захопленням. Доцільно здійснювати захват об'єкта маніпулювання за попередньо оброблені поверхні, що зменшує похибки його фіксування в схваті. З метою забезпечення необхідного запасу надійності утримання об'єкта доцільно здійснювати захват таким чином, щоб зменшити сили інерції при маніпулюванні;

- Технічні характеристики основного й допоміжного технологічного устаткування, які визначають вимоги до напрямку руху схвата при захопленні й відпусканні об'єкта маніпулювання, напрямку введення об'єкта на позицію складання, до забезпечення вільного переміщення об'єкта по окремих координатах у захватному пристрої, реалізації пошукових рухів;

- Умови збереженості об'єкта маніпулювання, до яких відносяться умови неущодження поверхонь захвата, міцності, збереження форми;

- Положення й рух об'єкта маніпулювання в момент захоплення визначають вимоги до точності позиціонування й орієнтування об'єкта перед захопленням, а також до способу подачі об'єкта перед захватом;

- Необхідність інформаційного забезпечення процесів захоплення й відпускання. Крім того, окремим завданням є проблема уніфікації схватів та їхніх елементів.

В загальному випадку проектування захватного пристрою включає два основних етапи: перший – вибір типу, компонування й структурної схеми схвата, його якісних показників; другий – розрахунок основних параметрів обраної системи.

Розрахунок основних параметрів обраної схеми схвата включає:

- геометричний синтез – вибір типу й довжин ланок механізму, геометричних параметрів робочих органів, визначення діапазону переміщення робочих органів в схваті, його компоновочних розмірів, проведення розрахунків на точність;

- статичний силовий аналіз – розрахунок зусилля, що розвивається приводом, зусилля захоплення, сил і моментів, що діють у шарнірах, визначення умов жорсткого фіксування об'єктів у схваті;

- динамічний силовий аналіз – визначення сил і моментів, що діють на об'єкт маніпулювання у динамічних режимах, рішення задач динаміки схват – об'єкт;

- перевірочні розрахунки на міцність і жорсткість – вибір перерізів ланок, розв'язання контактних задач, розрахунок пружних елементів та інші розрахунки.

Укрупнений алгоритм проектування захватного пристрою показаний на рис. 1.

Цьому алгоритму відповідає наступна послідовність прийняття рішень і проведення розрахунків:

1. Визначають можливі напрямки підведення схвата до деталі (або заготовки) з урахуванням взаємного розташування маніпулятора й допоміжного технологічного устаткування.

2. Визначають конфігурацію, положення й розміри поверхонь деталі, по яких відбувається її захоплення з урахуванням геометричних обмежень, що накладаються контактними поверхнями допоміжного та технологічного устаткування, а також властивості поверхонь деталі.

3. Вибирають число, форму, діапазон та кінематику переміщень робочих органів схвата.

4. Визначають положення деталі в схваті, з огляду на зміщення центра маси деталі відносно геометричного центра схвата.

5. Розраховують сили й моменти, що діють на деталь на всіх етапах маніпулювання відповідно до програми роботи маніпулятора.

6. Розраховують необхідне зусилля захоплення. Визначають граничні значення складових сил і моментів по осях системи координат схвата. Визначають вісь найменшого запасу несучої здатності схвата. За коефіцієнтом несучої здатності визначають зусилля захвата, що забезпечує жорстке фіксування деталі

при діючих динамічних навантаженнях.

7. Вибирають тип приводу й параметри двигуна. Параметри приводу вибирають із урахуванням необхідної швидкодії та силових характеристик. У випадку фіксування деталі в схваті лише за рахунок сили тертя основною умовою є забезпечення заданого зусилля захоплення, що гарантує необхідні сили тертя.

8. Визначають вид і параметри передаточного механізму, що реалізує необхідне передаточне число, можливий вид залежності зусилля захоплення від величини переміщення робочих органів схвата, необхідну кінематику переміщення робочих органів.

9. Проводиться серія перевірочних розрахунків і при потребі – коректування параметрів схвата.

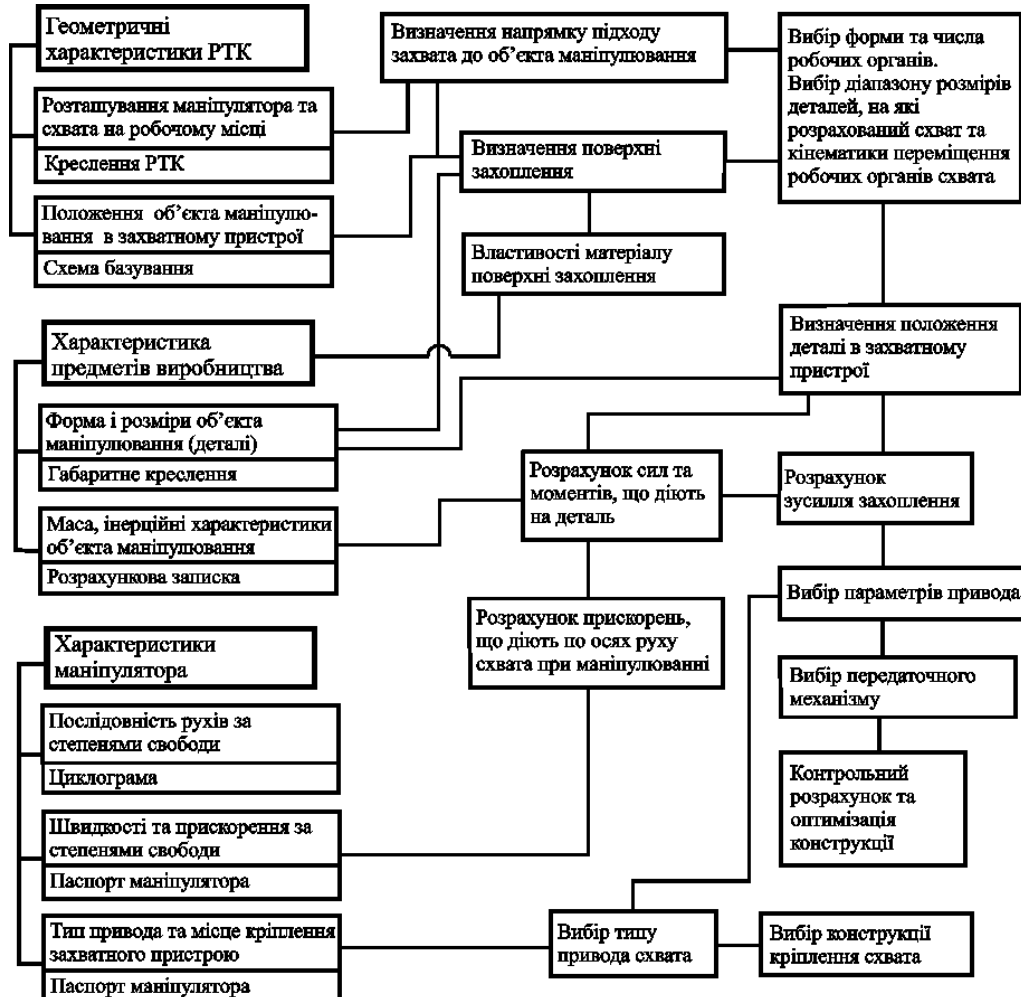


Рис. 1. Алгоритм прийняття рішень і проведення розрахунків

Пневматичні захватні пристрої мають особливі переваги, які полягають в тому, що сила захоплення й утримання розподіляється на значну поверхню, завдяки чому з їхньою допомогою можна захоплювати й переміщати деталі малої жорсткості та міцності. За допомогою вакуумних захватних пристроїв можна захоплювати й утримувати вироби значної ваги з досить складною поверхнею незалежно від матеріалу, з якого вони виготовлені. Недоліком є необхідність вживання спеціальних заходів для забезпечення надійної підтримки сталого вакууму.

Основою роботи вакуумних захватних пристроїв служить явище вакуумного ефекту, суть якого полягає у створенні зниженого тиску на певній ділянці виробу. Головна деталь – вакуумна порожнина або присос, що при накладенні на виріб утворює між його поверхнею й своїми стінками замкнутий простір – камеру. При створенні розрідження в цій камері на площі, обмеженій стінками присоса, можна одержати позитивну різницю тисків, добуток якої на площу дії дає силу, здатну утримати виріб на захваті.

Утримуюче зусилля, що розвивається вакуумним захватом, розраховується за формулою:

$$F_{\text{упр}} = SK_{\text{зм}}(p_a K_a - p_b), \quad (1)$$

де  $S$  – геометрична площа проекції присоса, обмежена внутрішнім контуром, м<sup>2</sup>;

$K_{\text{зм}}$  – коефіцієнт зменшення площі присоски внаслідок її деформації.

На практиці для присосів з пористих (губчатих) гум можна прийняти  $K_{\text{зм}} = 0,95 \dots 1,0$ ;  $p_a$  й  $p_b$  – відповідно атмосферний і залишковий тиск всередині камери, Па;  $K_a$  – коефіцієнт, що враховує зміну атмосферного тиску в порівнянні з нормальним  $p_a \approx 100$  кПа.

Для практичних розрахунків досить враховувати мінімальний атмосферний тиск. Для України його приймають рівним 93 кПа (700 мм рт. ст.). У цьому випадку можна приймати  $K_a \approx 0,9$ ;  $K_{зб}$  – коефіцієнт збільшення сили вакуумного притягання в результаті плинучості повітря, що просочується в зазор між контактною поверхнею присоса та поверхнею деталі (приймають рівним 1,1 – 1,05). При цьому більші значення беруть для присосів з меншою робочою площею, а менші – для присосів з більшою робочою площею.

Якщо вакуумний захватний пристрій розраховується не для захоплення й переносу конкретних деталей у конкретних умовах, то значення перерахованих вище коефіцієнтів приймають для найгірших умов роботи, і їх можна замінити загальним коефіцієнтом фактичної сили вакуумного присмоктування  $K_p = 0,8 \dots 0,85$ . У цьому випадку для попередніх розрахунків можна приймати  $(p_a - p_e) = 0,030 \dots 0,035$  МПа.

В процесі захвату, підйому й переміщення деталі вантажопідйомність вакуумного схвата не постійна й залежить від співвідношення сил, що утримують деталь, та тих, які намагаються відірвати й зрушити її. Максимальне значення результуючих зовнішніх навантажень є одним з вихідних даних для визначення умов рівноваги деталі в захваті. Рівнодіючу від зовнішніх навантажень  $F$  можна розкласти на дотичну  $T$  та нормальну  $N$  складові:

$$T = G_x + Fi_x + Fo_x, \quad (2)$$

$$N = G_y + Fi_y + Fo_y. \quad (3)$$

Тут  $G$ ,  $Fi$ ,  $Fo$  – проекції, відповідно сил ваги деталі, інерції й опору зовнішнього середовища на осі координат  $X$  і  $Y$ .

Є два найбільш типові випадки транспортування деталей, коли напрямки сил ваги, інерції й опору зовнішнього середовища збігаються з осями координат (рис. 2, а, б):

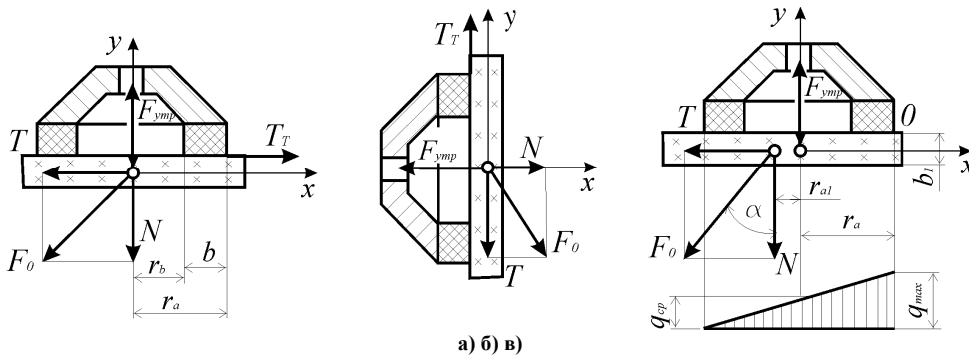


Рис. 2. Сили, що діють на деталь при її транспортуванні

1. Захват деталі "зверху" (рис. 2, а):

а) переміщення у вертикальному напрямку:

$$T = 0, \quad T = G + Fi + Fo; \quad (4)$$

б) переміщення в горизонтальному напрямку:

$$T = Fi + Fo, \quad N = G; \quad (5)$$

2. Захват деталі "збоку" (рис. 2, б):

а) переміщення у вертикальному напрямку:

$$T = G_x + Fi_x + Fo_x, \quad N = 0. \quad (6)$$

У ряді випадків, наприклад при транспортуванні деталей несиметричної форми, вісь симетрії захватного пристрою може не проходити через центр ваги деталі (див. рис. 2, в).

Збільшення результуючих зовнішніх навантажень  $Fo$  при нецентровому захваті деталі може бути визначене за формулою:

$$\varepsilon = 1 + 2(N r_{a_1} / r_a + T b_1 / r_a) / (N + T / f), \quad (7)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт збільшення зовнішніх навантажень  $Fo$ ;

$r_{a_1}$ ,  $r_a$ ,  $b_1$  – геометричні розміри (див. рис. 2, в);

$f$  – коефіцієнт тертя.

Часто необхідно розрахувати граничне значення сили  $N$  відриву об'єкта маніпулювання від захватного пристрою. Ця сила залежить не тільки від активної площі присоса й розрідження повітря в ньому, але й від питомого тиску присоса, що забезпечує необхідну герметичність стику деталі з захватним пристроєм. Між цими параметрами існує залежність

$$N / F_{ymp} = (F_{ymp} - S_k q) / (S p_0) = \xi, \quad (8)$$

де  $F_{ymp}$  – сила утримання деталі, створювана схватом;  
 $q$  – мінімально необхідний питомий тиск на площі  $S_k$  контакту присоса з деталлю;  
 $S$  – площа присоса;  
 $p_0$  – розрідження повітря в схваті;  
 $\xi$  – коефіцієнт зниження вантажопідйомності схвата.  
 Для круглих камер

$$\xi = 1 - 4 \left( \frac{B}{D} - \frac{B^2}{D^2} \right) \frac{q}{p_0}, \quad (9)$$

де  $B$  – ширина ущільнювальної юбки присоса;  
 $D$  – діаметр присоса.

При невеликій активній площі присоса та грубій поверхні деталі коефіцієнт (може наближатися до нуля, і захват стає непрацездатним. Залежність  $q$  і  $\xi$  від діаметра присосів показує переваги тих, що мають більшу площу. Значення питомих тисків  $q$  залежать від якості поверхні деталі, розмірів і матеріалу контактної поверхні присоса і можуть бути встановлені експериментально. Наприклад, для виробів із гладкою поверхнею (скло, пластик)  $q = 30 \dots 90$  кПа, а із грубою поверхнею  $q = 300$  кПа та більше. При роботі вакуумних захватних пристроїв у типових умовах  $\xi = 0,6 \dots 0,9$ .

Для надійної роботи вакуумного захвата необхідні наступні умови:

$$F_{ymp} = NK_N / \xi, \text{ або } F_{ymp} = N + K_T / f, \quad (10)$$

де  $K_N$  і  $K_T$  – відповідно коефіцієнти запасу під силу відриву та зсуву деталі.

Для вакуумного схвата, не призначеного для особливих умов роботи, з деяким припущенням у бік збільшення сили можна прийняти

$$F_{ymp} = (N/\xi + T/f)K, \quad (11)$$

де  $K = K_T = K_N = 2$ .

При сполученні трьох рухів (підйому руки маніпулятора, повороту руки в горизонтальній площині й висуванні руки) для розрахунку допустимої маси переміщуваного об'єкта можна скористатися залежністю:

$$m \leq \frac{n\pi d^2(p_a - p_b)}{4K \left[ 1 + \frac{a_n}{g} + \frac{1}{\mu g} \sqrt{(\varepsilon r^2) + (a_{вис} + r\omega^2)^2} \right]}, \quad (12)$$

де  $d$  – діаметр вхідного отвору присоса;  
 $K$  – коефіцієнт надійності утримання ( $K = 1,5 \dots 2,0$ );  
 $a_n$  – прискорення підйому деталі;  
 $g$  – прискорення вільного падіння;  
 $r$  – відстань від осі обертання руки до центра ваги деталі;  
 $\varepsilon$  – кутове прискорення руки маніпулятора;  
 $\omega$  – кутова швидкість руки;  
 $a_{вис}$  – прискорення висування руки;  
 $\mu$  – коефіцієнт тертя.

Площу присосів визначають з рівняння:

$$S = \frac{(N/\varepsilon + T/f) K}{(p_a - p_b)n K_p}, \quad (13)$$

де  $p_a$  – атмосферний тиск;  
 $p_b$  – тиск розрідження;  
 $n$  – число присосів у захватному пристрої.  
 Час спрацьовування вакуумного захвата визначається залежністю:

$$t \approx 2,3(V_0/S_0) \lg \frac{p_a}{p_b}, \quad (14)$$

де  $V_0$  – сумарний об'єм вакуумної системи, м<sup>3</sup>;  
 $S_0$  – швидкість відкачки повітря з камери.

При з'єднанні вакуумного захвата з вакуумним ресивером за допомогою клапана

$V_0 = V_m + V_k + V_n$ , де  $V_m$  – об'єм трубопроводу між захватом і ресивером;  $V_k$  – об'єм захвата з урахуванням деформації ущільнення,  $V_n$  – об'єм присосів.

На основі приведеної методики та результатів досліджень автора викладених в роботі [3] розроблено комп'ютерну програму для автоматизованого проектування вакуумних захватних пристроїв.

### Література

1. Тонковид Л.А. Автоматические манипуляторы в обувном производстве / Тонковид Л.А. – М.: Легпромбытиздат, 1987, – 176 с.
2. Андреев А.Ф. Грузозахватные устройства с автоматическим и дистанционным управлением / Андреев А.Ф. – М.: Стройиздат, 1979. – 173 с.
3. Романець Т.П. Розрахунок параметрів робочих органів пасивного вакуумного захвата / Романець Т.П. // Вісник ХНУ. 2008. – № 1. – С. 28-31.

Надійшла 15.1.2011 р.

УДК 685.34.054

Д.М. ЯКИМЧУК

Хмельницький національний університет

## 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: електрогідравлічне пресове обладнання, вирубувальний прес, маховик, електродвигун.

### Постановка проблеми

На сьогодні актуальним постає завдання підвищення ефективності роботи вже існуючого обладнання. Електрогідравлічні 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 електрогідравлічного 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 електрогідравлічного 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 запасє 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 сталевих 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).