

УДК 621.865.8

О.Данилюк, канд.техн.наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

## БЕЗКОНТАКТНІ СТРУМЕНЕВІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ЗАХОПЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ “ДИСКИ”

Запропоновано безконтактні пристрої для захоплення циліндричних деталей типу “диски”, що забезпечують повну відсутність контактів з поверхнями об’єктів, а використання комбінації двох конічних щілин дозволить підвищити силові і динамічні характеристики. Вони мають високу точність базування і центрування, а також дозволяють здійснити в процесі транспортування інші технологічні операції, як от: покраска, сушіння, підігрівання та охолодження об’єктів.

### Умовні позначення

$F_1$	- сила, викликана розрідженням $P_a - P_{m1}$ на торці конічної вставки 2;
$F_2$	- сила, викликана розрідженням на торці вставки 5;
$G_{ц1}, G_{ц2}$	- масові витрати повітря, яке витікає зі щілин 3 і 4;
$P_{m2}$ і $P_{m1}$	- абсолютні тиски на зрізі конічних щілин 3 і 4;
$V_{ц2}, V_{ц1}$	- швидкість повітря, яке витікає зі щілин 3 і 4;
$P_a, P_r$	- атмосферний і абсолютний тиски повітря;
$\rho$	- щільність газу;
$\kappa$	- показник адиабати;
$r_v$	- радіус конічної вставки;
$h_{рк}, h_{рв}$	- радіальні зазори у зоні торця корпусу й у зоні торця конічної вставки;
$\mu_0$	- коефіцієнт динамічної в’язкості повітря;
$t$	- температура повітря, °С;
$R$	- газова стала для повітря;
$T_a$	- абсолютна температура атмосферного повітря;
$V$	- швидкість потоку повітря;
$\varphi_{ц}$	- коефіцієнт швидкості, який враховує втрати питомої енергії потоку в кільцевій конічній щілині;
$K=1,4$	- показник адиабати для повітря;
$P_{\kappa}$	- абсолютний тиск живлення струменевого захоплювача;
$\mu_{ц} = \varphi_{ц} \varepsilon$	- коефіцієнт витрати повітря через щілину;
$\varepsilon$	- коефіцієнт стиснення струменя повітря в щілині;
$R_n$	- радіус камери захоплювача;
$H_{ц}$	- висота кільцевої конічної щілини струменевого захоплювача, вимірювана в нормальному до її стінок напрямку;
$\lambda_{cp}$	- середнє значення коефіцієнта в’язкого тертя потоку повітря до торцевих поверхонь корпусу захоплювача і заготовки;
$F_{mp1}$	- сила тертя потоку до внутрішньої поверхні захоплювача і бічної поверхні заготовок;
$P_r$	- розподіл тиску в радіальному зазорі $h_{рк}$ ;
$\tau_{cp}$	- середнє напруження тертя, що діє на циліндричні поверхні захоплювача та заготовки.

Вперше для автоматизації завантаження запропоновано безконтактні струменеві пристрої для маніпулювання циліндричними об’єктами типу “диски” (кільця підшипників, шайб та ін.). В основу розроблених конструкцій безконтактних захоплювачів покладений відомий ефект виникнення аеродинамічної сили, який полягає у взаємодії витікаючого із щілини струменя стиснутого повітря із плоскою, циліндричною або сферичною поверхнею об’єкту [1, 2]. Останні дослідження в даному напрямку [1, 2] показали, що відомі пристрої не забезпечують захоплення об’єктів

різної маси, а також не здійснюють центрування потоком повітря в період притягування.

З метою вдосконалення відомих методів безконтактного захоплення і утримування об'єктів маніпулювання за рахунок фізичного ефекту від дії струменевих сил проведені додаткові теоретичні та експериментальні дослідження, на основі яких і створено безконтактні струменеві захоплюючі пристрої для об'єктів типу "диски".

Для безконтактного захоплення циліндричних деталей типу "диски" подається струменевий захоплювач з двома або більше струменевими елементами на власному торці (рис.1). Розміщення конічних щілин 1 і 4 на різних радіусах і під різними кутами нахилу до торця захоплювача забезпечує захоплення деталей різних форм, розмірів, маси. Наявність на торці вставки 7 із внутрішньою циліндричною, конічною, або сферичною поверхнями забезпечує напрям потоку вздовж бічної поверхні об'єкта, який дозволяє здійснювати операцію захоплення та центрування в період притягування циліндричних заготовок різної конфігурації до торця захоплювача.

Принцип роботи захоплювача полягає в наступному. При подачі повітря постійного тиску в камеру 3 і витіканні його почергово через одну щілину 1 або 4 чи обома одночасно в атмосферу, в зоні між внутрішньою циліндричною поверхнею вставки 7 та зовнішньою – заготовки формується циліндричний потік повітря. В результаті на торці захоплювача (зона торця вставки 2) створюється розрідження, яке сприяє появі сили притягування. Під її дією заготовка захоплюється, притягується до торця з утворенням зазору  $h_{pk}$ , рівного товщині повітряної подушки. В процесі притягування вона центрується відносно власної осі, причому процес центрування може здійснюватися як по зовнішній, так і по внутрішній циліндричній поверхні.

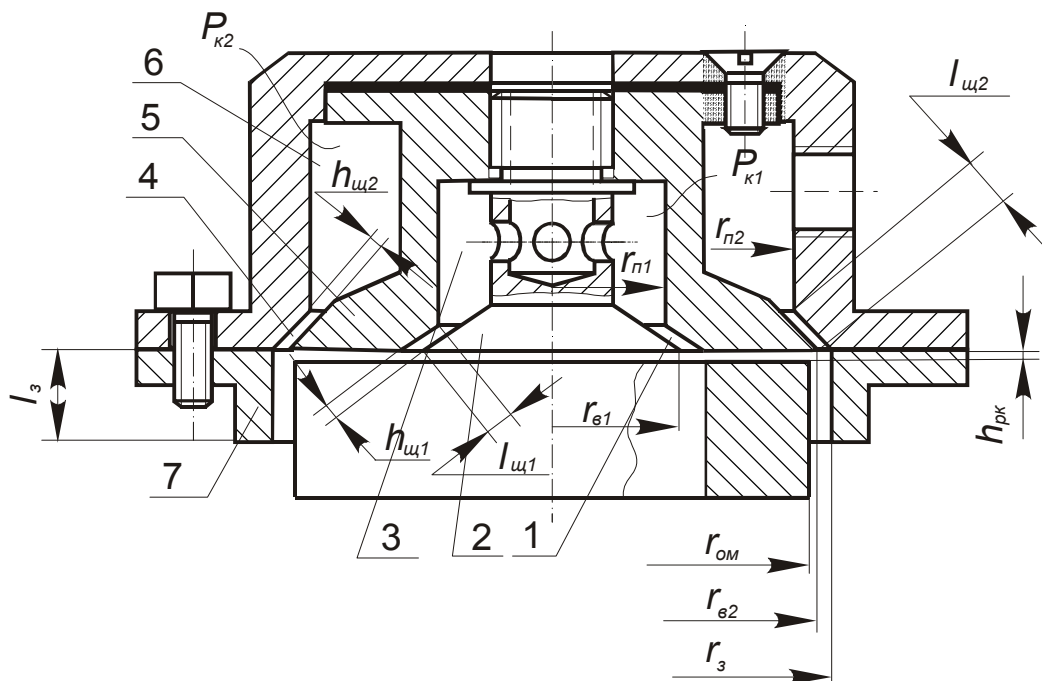


Рис. 1 Схема безконтактного струменевого захоплювача об'єктів типу "диски"

Характерними геометричними параметрами таких струменевих пристроїв є: радіус циліндричної або конічної вставки  $r_0$ , радіус захоплювача  $r_2$ , радіус камери  $r_k$ , висота щілини  $h_1$ , виміряна в нормальному до її стінок напрямі, кут нахилу щілини  $\alpha$ . Відмінною рисою такого руху є те, що в результаті сформованого щілиною і витікаючого в атмосферу кільцевого суцільного потоку газу на захопленій ним площині торця, тобто торця вставки 2, за рахунок ежекції утворюється понижений тиск, розрідження  $P_p$ .

Вертикальний напрям кільцевого потоку відрізняється наявністю реактивної

сили струменя  $R_{стр}$ , який із збільшенням кута  $\alpha$  до  $180^\circ$  наближається і стає рівним нулю. При розподілі швидкостей в зазорі слід розрізняти дві ділянки руху повітря: ділянка формування профілю швидкостей на виході зі щілини і ділянка руху плоского радіального потоку з усталеним профілем швидкостей.

Характер формування профілю швидкостей на початковій ділянці залежить від геометричних параметрів кільцевої щілини. Вхід струменя повітря в зазор повинен відбуватися по плавно змінюючому профілю щілини, тоді швидкість цього струменя у всіх точках його перерізу буде однакою. Для цього конічну периферію вставок, які утворюють щілину, слід виконувати криволінійними за максимальним радіусом з великим кутом нахилу, чим забезпечується напрям струменя. Інший бік щілини, тобто фаску "в" центрального отвору корпусу і яка суттєво впливає на характеристики, слід виконувати у вигляді обтікаючого профілю, або доцільно приймати її рівною  $\epsilon=0$ , що підтверджується експериментальними дослідженнями [2].

На основі газодинамічного аналізу і аналітичного розв'язання вихідних рівнянь газових потоків знайдені розрахункові формули для визначення силових характеристик даних захоплювачів. Для струменевого захоплювача, показаного на рис.1, розрахункове значення сили притягування запишеться як

$$F=F_1+F_2, \quad (1)$$

де  $F_1$  – сила, викликана розрідженням  $P_a-P_{m1}$  на торці конічної вставки 2;

$F_2$  – сила, викликана розрідженням на торці вставки 5;

Сила  $F_1$  виразиться формулою

$$F_1 = \pi (P_a - P_{m1}) r_{\epsilon 1}^2, \quad (2)$$

а силу  $F_2$  знайдемо:

$$F_2 = \pi (r_{\epsilon 2}^2 - r_{\epsilon 1}^2) (P_a - P_{m2}) + \frac{G_{у1}^2 RT_a}{8\pi P_{m2} h_{рк}^2 r_{\epsilon 2}^2} \times \left( 2r_{\epsilon 2}^2 \ln \frac{r_{\epsilon 2}}{r_{\epsilon 1}} + r_{\epsilon 1}^2 - r_{\epsilon 2}^2 - \frac{\lambda_{сп1}}{2h_{рс}} (r_{\epsilon 2} (r_{\epsilon 2} - r_{\epsilon 1})^2) \right). \quad (3)$$

Використовуючи основні закони газової динаміки, отримаємо рівняння для визначення абсолютних тисків  $P_{m2}$  і  $P_{m1}$ :

$$G_{у2} V_{у2} + \frac{G_{у2}^2 RT_a}{\pi (r_3^2 - r_{ом}^2) P_{m2}} - (P_a - P_{m2}) S_3 - \frac{(G_{у1} + G_{у2})^2}{S_3 \rho_a} \left( 1 + \frac{\pi l_3 \lambda_{сп2} r_{ом}}{2S_3} \right) = 0, \quad (4)$$

$$P_{\kappa 1} = \left[ \frac{(P_{m2} - P_{m1}) h_{рк} (k-1)}{2k \varphi_{у1}^2 h_{у1} \left[ 1 - \frac{h_{у1}}{2h_{рк}} \left( 1 + \frac{r_{\epsilon 1}^2}{r_{\epsilon 2}^2} + \frac{\lambda_{сп1} (r_{\epsilon 1} - r_{\epsilon 1}^2 / r_{\epsilon 2})}{2h_{рк}} \right) \right]} + P_{m1} \right] P_{m1}^{\frac{1}{k}}, \quad (5)$$

де  $G_{у1}$ ,  $G_{у2}$ ,  $V_{у2}$  – масові витрати та швидкість повітря, яке витікає зі щілини 4.

Теоретичні дослідження безконтактних захоплювачів для об'єктів типу диски показали, що максимальна сила притягування забезпечується при тиску живлення повітря в інтервалі 40–80 кПа від мережі (рис.2).

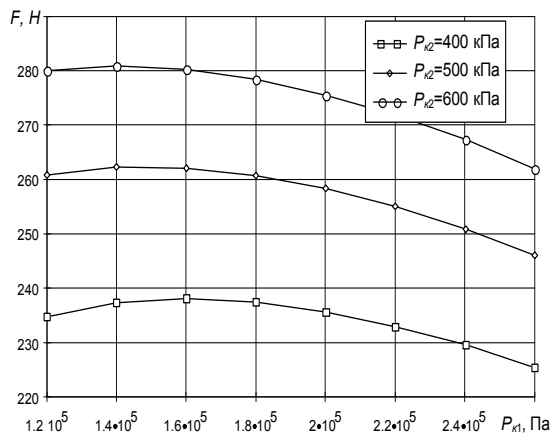


Рис.2. Залежність притягуючої сили  $F$  від абсолютного тиску  $P_{k1}$

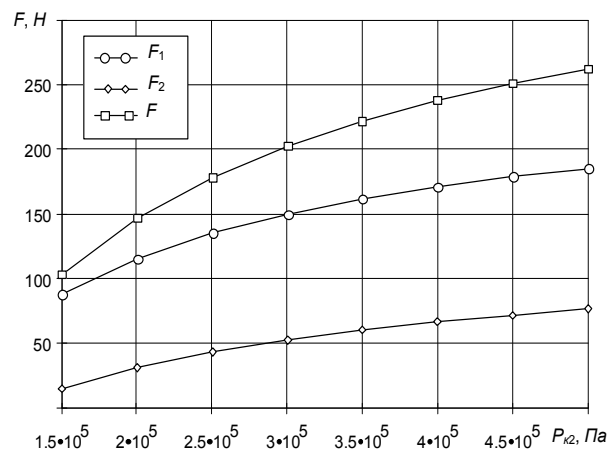


Рис.3. Залежність притягуючих сил від абсолютного тиску  $P_{k2}$

Із рис.3 видно, що максимальна притягуюча сила даного типу захоплювачів забезпечується в інтервалі від 150Н до 250Н.

З метою визначення оптимального значення надлишкового тиску  $P_{k1н}$ , при якому сила притягування досягає максимуму, проводились відповідні експериментальні дослідження на дослідній установці.

Із залежності сили притягування від радіуса (рис.4) випливає, що оптимальне значення кільцевого радіального зазору між циліндричною поверхнею захоплювача і заготовки повинно бути 0,5–0,6 мм.

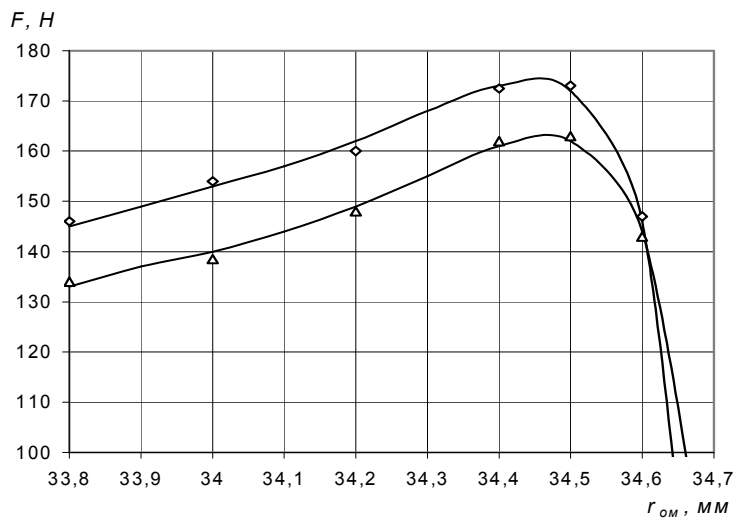


Рис.4 Залежність сили притягування  $F$  від радіусу  $r_{om}$

Для безконтактних струменевих захоплювачів об'єктів типу "диски" відхилення розрахункових даних від експериментальних не перевищує 12%.

### Висновок

В результаті проведених досліджень встановлено, що область використання даних захоплювачів визначається вантажопідйомністю, яка залежить від максимальної сили притягування. Силкові характеристики регулюються зміною параметрів джерел живлення або конструктивних параметрів захоплювачів, а продуктивність – періодичною подачею стисненого повітря, циклічно до роботи обладнання.

Проведено економічний аналіз і розраховано економічний ефект запропонованих струменевих захоплювачів для деталей типу "диски". Річний економічний ефект складає 31 тис. 836 грн. в цінах 2002 року, що зумовлюється внаслідок збільшення продуктивності і зменшення собівартості продукції. Дані захоплюючі пристрої впроваджені у відкритому акціонерному товаристві

“Тернопільський комбайновий завод” для завантаження та розвантаження комплектуючих деталей до комбайна “Дон”.

*High-production and safety non-contact jet gripping devices for the object manipulation disk-type object. Developed grippers with low cost price provide high accuracy of basing and centering, reliability and durability.*

*Theoretical and experimental dependence's for calculation of static and dynamic characteristics of non-contact grippers are determined. The optimal construction parameters of grippers are defined, and the method for their design is suggested.*

### **Література**

1. Козловский М.А., Проць Я.И. Струйный захватный орган // Гидроприводы и гидропневмо-автоматика. – 1976. – №12. – С. 93-96.
2. Проць Я., Савків В., Данилюк О. Дослідження витратних і динамічних характеристик струменевих захоплювачів автоматичних пристроїв завантаження // Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. – 2000. – Том 6. - Число 4. – С. 55-62.

*Одержано 16.12.2003 р.*