

**Б.Гевко, докт. техн. наук; О.Кочубинська; А.Дячун**

*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **РОЗРАХУНОК ЗАТИСКНИХ ОПРАВОК ВЕРСТАТІВ З ГВИНТОВИМИ ГОФРОВАНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ**

*Виведені аналітичні залежності для визначення сили тяги штока затискного гвинтового патрона з пневматичним приводом, а також радіальної сили затиску циліндричних заготовок по зовнішньому діаметрі гвинтовими гофрованими елементами від конструктивних і технологічних факторів. Встановлені залежності нормальної сили деформації гофр гвинтових гофрованих елементів від товщини матеріалу спіралі і радіуса гофра при затиску циліндричних заготовок по зовнішньому діаметру, які дали можливість здійснювати вибір затискних патронів в залежності від потреб виробництва.*

**B.Gevko, O.Kochybunska, A.Dyachun**

## **CALCULATION OF CLAMPING DEVICE MACHINE-TOOLS WITH THE SPIRAL CORRUGATED ELEMENTS**

*Shown analytical dependences out for determination of tractive force of clamping spiral patron with a pneumatic occasion, and also radial force of clamp of cylinder semiss on an external diameter by the spiral corrugated elements from structural and technological factors. Set dependences of normal force of deformation of flutes of the spiral corrugated elements on the thickness of material of spiral and radius of the clamp of cylinder semiss on an external diameter, which enabled to carry out the choice of clamping patrons depending on the necessities of production.*

### **Умовні позначення**

- $F_1$  – сила тертя між конічною тягою і кулачком, Н;
- $P$  – радіальна сила закріплення заготовки, Н;
- $P_1$  – сила деформації гофрованої спіралі, Н;
- $F_2$  – сила тертя між кулачком і корпусом, Н;
- $P_3$  – нормальна сила деформації гофра, Н;
- $\alpha$  – кут нахилу кулачка, град;
- $\gamma_1$  – кут тертя між кулачком і тягою, град;
- $\gamma_2$  – кут тертя між кулачком і корпусом, град;
- $m$  – кількість витків спіралі;
- $n$  – кількість кулачків;
- $M_p$  – момент різання, Н·м;
- $r$  – радіус обробки заготовки, м;
- $P_2$  – осьова сила зсуву заготовки, Н;
- $K_1$  – коефіцієнт запасу;
- $\delta$  – зближення кромки гофра під час деформації, мм;
- $\delta_e$  – зближення кромки гофра по внутрішньому радіусу затискної спіралі, мм;
- $f_1$  – коефіцієнт тертя між заготовкою і гофрованою спіраллю;
- $R_1$  – зовнішній радіус гофрованої спіралі до деформації, м;
- $R_2$  – зовнішній радіус гофрованої спіралі після деформації, м;
- $n$  – кількість гофр на одному витку спіралі;
- $\beta_2$  – кут частини спіралі, яка не деформується, град;
- $M$  – згинний момент, Н·м;
- $M_1$  – згинний момент від одиничної сили, прикладеної до напрямку переміщення, Н·м;
- $ds$  – елемент дуги;
- $E$  – модуль пружності першого роду, Н/мм<sup>2</sup>;
- $S$  – довжина дуги, м;
- $I$  – осьовий момент інерції січеного гофра, мм<sup>4</sup>;
- $R_e$  – радіус гофри на внутрішньому радіусі спіралі, мм;
- $R_3$  – радіус гофри на зовнішньому радіусі спіралі, мм;
- $B$  – ширина спіралі, мм;
- $Z$  – поточна координата по осі  $Z$ ;
- $h$  – товщина матеріалу, мм.

**Постановка проблеми.** Завдання підвищення технічного рівня технологічного оснащення і обладнання при виготовленні і ремонті деталей типу “втулка” вимагає покращення характеристик їх основних механізмів і стендового обладнання для їх дослідження при забезпеченні надійності технологічних процесів.

Використання високоточних, самоналагоджувальних широкодіапазонних затискних пристроїв (ЗП) забезпечує покращення якості і продуктивності праці для оброблення і відновлення втулок та інших деталей, базування яких здійснюється по зовнішньому діаметрі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями дослідження затискних оправок верстатів і визначенням їх конструктивних параметрів і силових характеристик займалися багато вчених [1,2,3] професор Кузнецов Ю.М. – цанговими затискними оправками, проф. Корсаков В.С. – конусними затискними оправками, а доц. Генік І.С. – гвинтовими затискними оправками, однак невирішеним залишається питання дослідження характеристик затискних оправок на основі гвинтових гофрованих стрічок.

Дослідження виконувалися в рамках постанови Кабінету Міністрів України про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки “Новітні та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі” на 2003-2008 роки.

**Мета роботи.** Метою роботи є виведення аналітичних залежностей для визначення сили тяги штока затискного патрона з гвинтовим гофрованим затискним елементом і радіальної сили затиску циліндричних заготовок по зовнішньому діаметру.

**Виклад основного матеріалу.** Для виведення аналітичних залежностей вищевказаних сил розглянемо розрахункову схему, яка представлена на рис. 1.

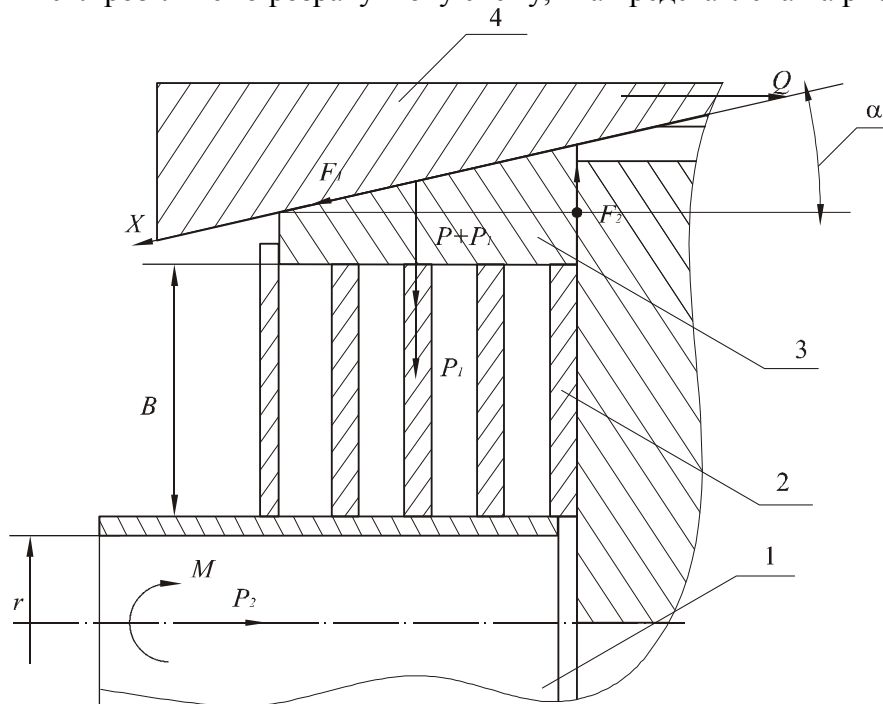


Рисунок 1 – Розрахункова схема визначення сили тяги штока затискної оправки з гвинтовими елементами: 1 – заготовка; 2 – затискна гофрована спіраль; 3 – кулачок; 4 – конічна тяга

Згідно рисунка 1 для визначення сили тяги  $Q$  на штоці пневмопривода складемо рівняння рівноваги, спроектувавши усі сили на вісь  $x$ :

$$m \cdot n \cdot [F_1 + (P + P_1) \cdot \sin \alpha + F_2 \cdot \sin \alpha] - Q \cdot \cos \alpha = 0. \quad (1)$$

Сили тертя  $F_1$  і  $F_2$  визначають з залежностей:

$$F_1 = (P + P_1) \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma_1; \quad (2)$$

$$F_2 = Q \cdot \operatorname{tg} \gamma_2.$$

Підставляючи значення формули (2) у вираз (1), після відповідних перетворень, одержимо значення сили тяги штока пневмоциліндра:

$$Q = \frac{(P + P_1) \cdot (\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma_1 + \sin \alpha) \cdot m \cdot n}{\cos \alpha - \operatorname{tg} \gamma_2} \quad (3)$$

Радіальну силу  $P$  закріплення заготовки визначаємо із залежності:

$$P = \frac{K_1 \cdot \sqrt{\frac{M_p^2}{r^2} + P_2^2}}{f_1} \quad (4)$$

Для визначення сили деформації  $P_1$  гофрованої спіралі розглянемо рисунок 2.

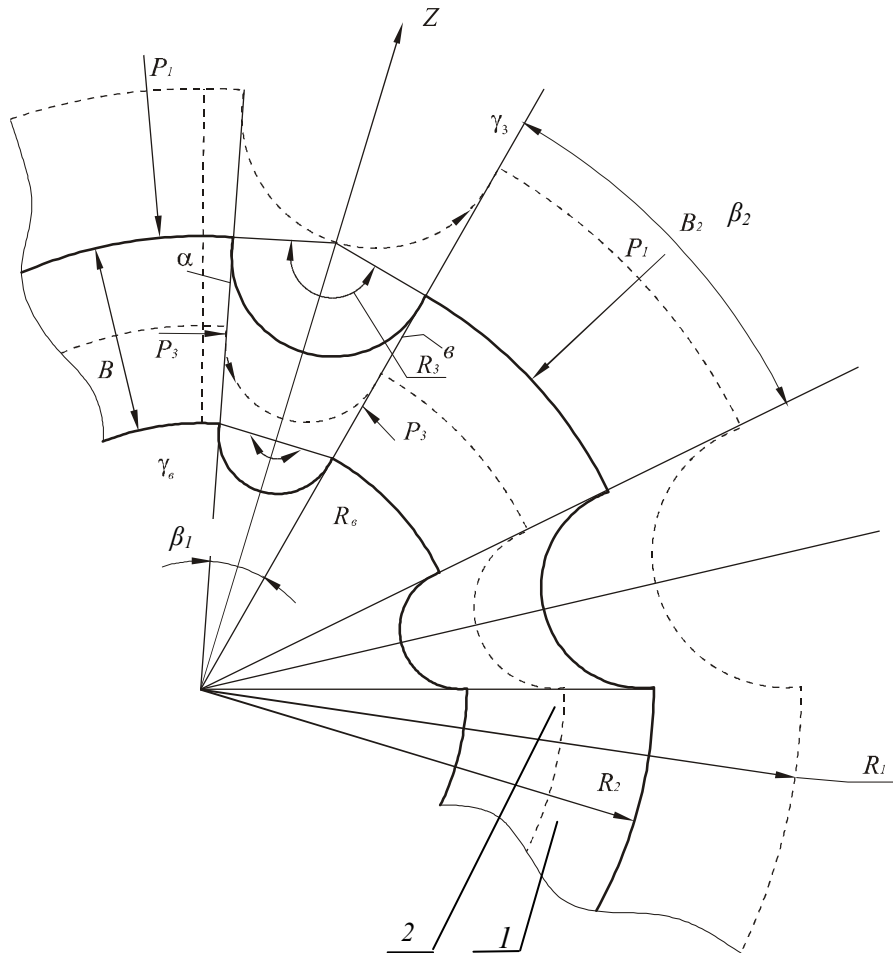


Рисунок 2 – Розрахункова схема дії сил деформації гофрованої затискної спіралі:  
1 – гвинтова затискно спіраль; 2 – гофр гвинтової спіралі

Штихова лінія – спіраль до деформації, основна лінія – спіраль після деформації. Деформація спіралі відбувається тільки за рахунок гофрованих частин, внаслідок чого відбувається зближення крамок гофрів на величину  $\delta$ :

$$\delta = \frac{2\pi(R_1 - R_2)}{n} \quad (5)$$

Зближення крамок гофр на величину  $\delta$  відбувається внаслідок дії нормальних сил деформації  $P_3$ , що визначається за формулою:

$$P_3 = \frac{P_1}{2 \cdot \sin\left(\frac{\beta_2}{2}\right)} \quad (6)$$

Переміщення  $\delta_6$  для внутрішнього радіуса  $R_6$  гофра спіралі знаходимо за допомогою інтеграла Мора:

$$\delta_a = \int_s \frac{M \cdot M_1 \cdot ds}{EI} \quad (7)$$

Щоб знайти моменти  $M$  і  $M_1$  розглянемо рисунок 3.

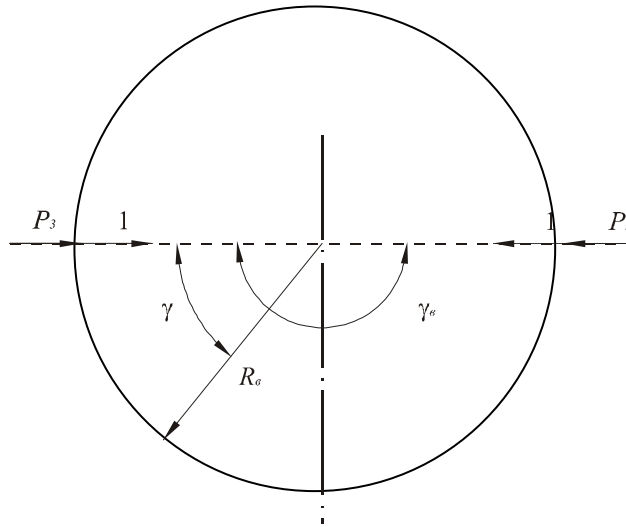


Рисунок 3 – Розрахункова схема деформації гофра гвинтової спіралі

Із рисунку 3 знаходимо залежності для визначення моментів  $M$  і  $M_1$ :

$$M = 2 \cdot P_3 \cdot R_g \cdot \sin \gamma, \quad (8)$$

$$M_1 = 2 \cdot l \cdot R_g \cdot \sin \gamma$$

Приймаючи до уваги, те що  $ds = R_g \cdot d\gamma$ , і підставляючи значення рівняння (8) у рівняння (7) одержимо залежності для визначення величини деформації гофр спіралі:

$$\delta_g = \frac{4P_3 \cdot R_g^2}{EI} \int_0^{\gamma_g} \sin^2 \gamma \cdot d\gamma$$

Звідки

$$\delta_g = \frac{4 \cdot R_g^2 \cdot P_3}{EI} \cdot \left( \frac{1}{2} \gamma_g - \frac{1}{2} \sin(2\gamma_g) \right) \quad (9)$$

Проте радіус гофра не є постійним по всій ширині спіралі, а описується функціональною залежністю:

$$R(Z) = R_g + \frac{R_3 - R_g}{B} \cdot Z \quad (10)$$

Так само змінюється і кут  $\gamma$  гофра, згідно закону збереження об'єму:

$$\gamma(Z) = \frac{R_g \cdot \varphi_g}{R(Z)} \quad (11)$$

Підставляючи значення формулу (11) у формулу (10) одержимо:

$$\gamma(Z) = \frac{R_g \cdot \varphi_g}{R_g + K \cdot Z}, \quad (12)$$

$$K = \frac{R_3 - R_g}{B}.$$

Тоді інтеграл Мора запишеться наступним чином:

$$\delta = \frac{1}{EI} \int_0^Z \int_0^{\varphi(Z)} 4 \cdot P_3 \cdot R^2(Z) \cdot \sin^2 \varphi \cdot dx \cdot dz, \quad (13)$$

звідки:

$$\delta = \frac{4 \cdot P_3}{EI} \int_0^Z (R_g^2 + 2R_g \cdot K \cdot Z + K^2 \cdot Z^2) \cdot \left( \frac{R_g \cdot \varphi_g}{2(R_g + K \cdot Z)} - \frac{1}{4} \sin \left( \frac{2R_g \cdot \varphi_g}{R_g + K \cdot Z} \right) \right) dZ. \quad (14)$$

Розв'язок інтегральної функції є надто громіздким і потребує використання інтегральних синусів і косинусів, тому розв'язок доцільно вести числовим методом.

При цьому для прямокутного поперечного січення витка спіралі момент інерції є рівний:

$$I = \frac{B \cdot h^3}{12} \quad (15)$$

Із формули (14), враховуючи вираз (15) знаходимо нормальну силу деформації:

$$P_3 = \frac{\delta \cdot E \cdot B \cdot h^3}{48 \cdot f(z)}, \quad (16)$$

$$f(Z) = \int_0^B (R_g + K \cdot Z)^2 \cdot \left( \frac{R_g \cdot \varphi_g}{2(R_g \cdot K \cdot Z)} - \frac{1}{4} \sin \left( \frac{2R_g \cdot \varphi_g}{R_g + KZ} \right) \right) dZ \quad (17)$$

Розрахунок формули (16) провели числовим методом з використанням ЕОМ. На основі чого побудували графіки, які зображені на рисунку 4, 5 на яких показано залежність величини нормальної сили деформації від величини зближення кромки гофра, товщини матеріалу і радіуса гофр  $R$ , при  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $B = 20$  мм.

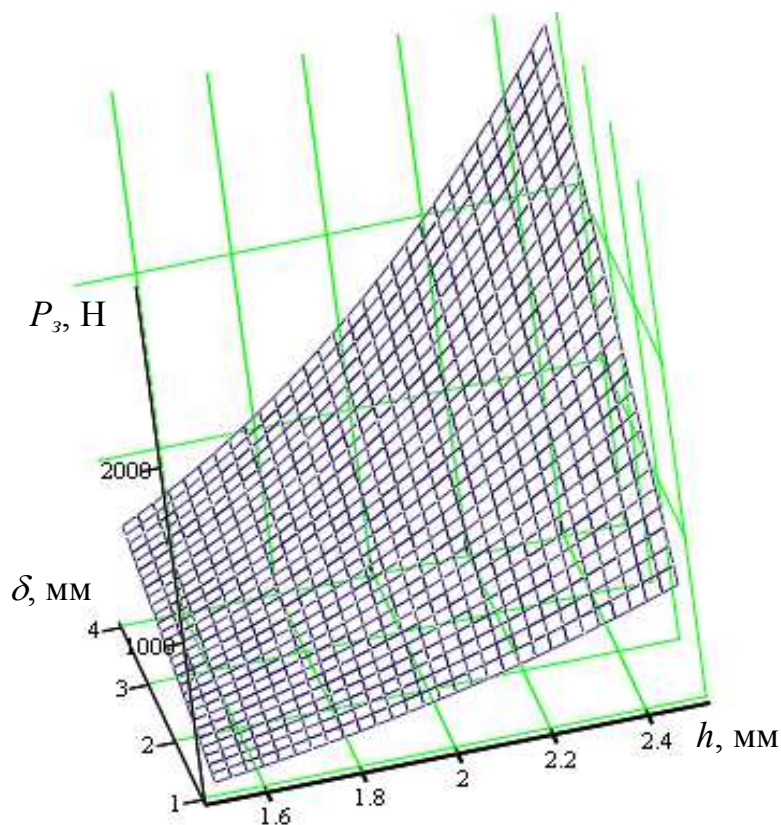


Рисунок 4 – Графік залежності нормальної сили деформації гофра гвинтової затискної спіралі від товщини матеріалу  $h$  та величини зближення кромки  $\delta$  гофр

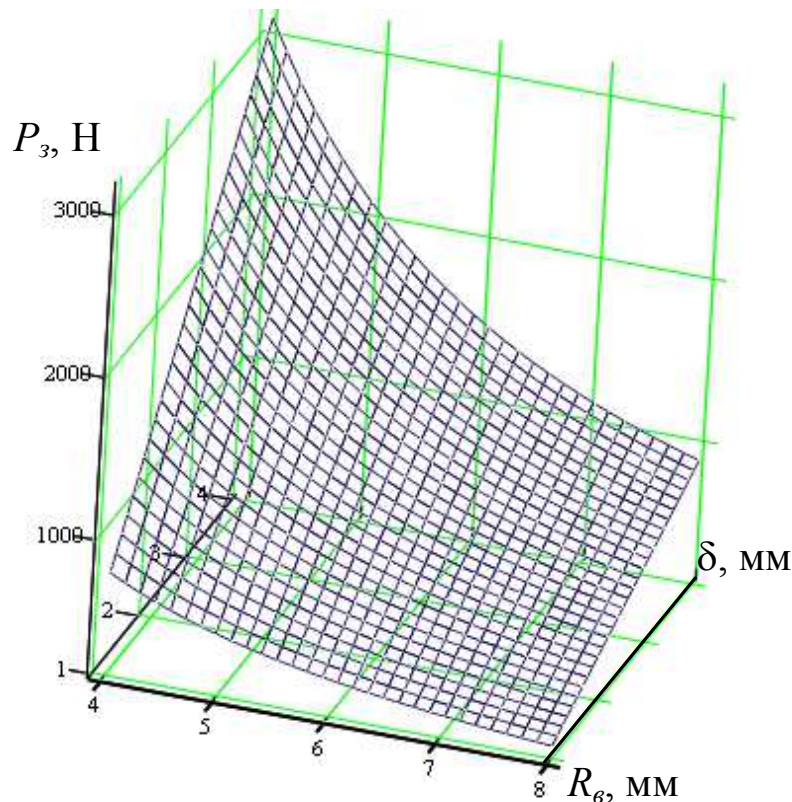


Рисунок 5 – Графік залежності нормальної сили деформації гофрів гвинтової спіралі від внутрішнього радіуса гофра  $R_0$  та величини зближення кромок  $\delta$

Як видно з графіків для зменшення сили тяги на штоці пневмоприводу затискної оправи необхідно проектувати спіраль мінімальної ширини і товщини, а в місцях виникнення гофр необхідно зменшувати товщину стрічки до 0,5...0,8мм. Крім цього доцільно зменшувати кут нахилу затискних кулачків, але при цьому необхідно збільшувати хід штока пневмоциліндра.

Підставляючи значення формули (16) у формулу (6) одержимо:

$$P_1 = \frac{\delta \cdot E \cdot B \cdot h^3 \cdot \sin\left(\frac{\beta_2}{2}\right)}{24 \cdot f(Z)} \quad (18)$$

Остаточне значення сили тяги на штоці патрона визначаємо за формулою:

$$Q = \frac{\left(P + 2P_3 \cdot \sin\left(\frac{\beta_2}{2}\right)\right) \cdot (\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + \sin \alpha) \cdot m \cdot n}{\cos \alpha - \operatorname{tg} \varphi_2} \quad (19)$$

На основі формули (19) побудовані графічні залежності зміни величини осьової сили  $Q$  від величини кута нахилу кулачків і радіальної сили затиску заготовки, які представлені на рис. 6 і 7.

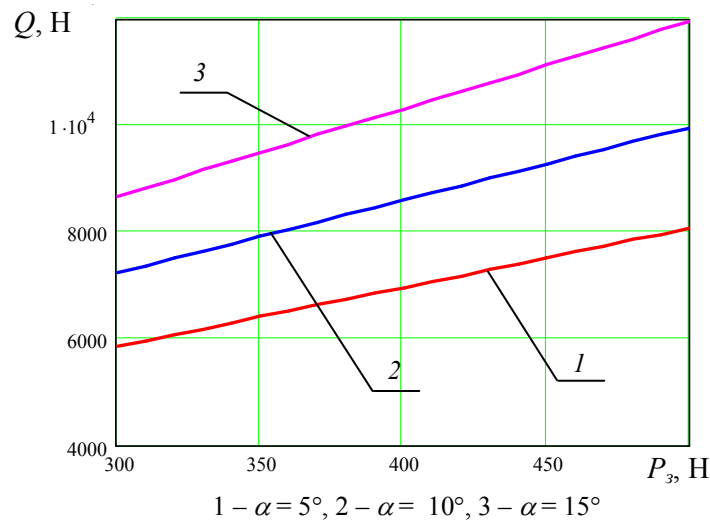


Рисунок 6 – Графік залежності сили тяги на штоці гвинтової затискної спіралі від сили затиску заготовки

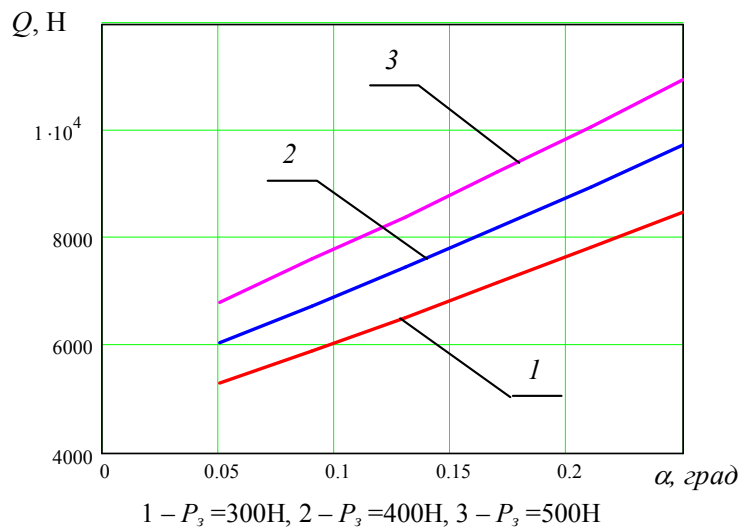


Рисунок 7 – Графік залежності сили тяги на штоці гвинтової затискної оправки від кута нахилу кулачків

З графіків видно, що сила тяги на штоці пневмоциліндра збільшується із збільшенням кута нахилу кулачка і величини радіальної сили.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні **висновки**:

1. Виведені аналітичні залежності для визначення величини сили тяги штока гвинтової затискної оправки від конструктивних і силових параметрів, які дали можливість вибирати затискні патрони з врахуванням потреб виробництва.

2. Виведено аналітичні залежності для визначення радіальної затискної сили циліндричної заготовки по зовнішньому діаметру від параметрів гвинтового гофрованого затискного елемента.

#### Література

1. Ю.Н. Кузнецов и др. “Самонастраивающиеся зажимные механизмы” София: Изд. “Техника”, 1988, – 222с.
2. Корсаков В.С. Основы проектирования приспособлений. М.: Машиностроение, 1983, – 324с.
3. Генік І.С. Теоретичне обґрунтування параметрів гвинтових затискних пристроїв металорізальних верстатів. Автореферат дис. канд. техн. наук. – Тернопіль, 2006. – 21с.
4. Патент №15685 Україна, Патрон з шнековим затиском. Гевко І.Б., Кочубинська О.П., Бюл.№7, 2006.

Одержано 29.02.2008 р.