

## ГІДРОСТАТИЧНИЙ СФЕРИЧНИЙ ОПОРНИЙ ВУЗОЛ ПОВОРОТНОГО СТОЛА ІЗ СТРУМЕНЕВИМ ПРИВОДОМ МІКРОПЕРЕМІЩЕНЬ

Розроблено схемне і конструктивне рішення опорного вузла поворотного стола, обґрунтовано метод струменевого регулювання положення сфери, проведені дослідження гідродинамічних процесів у гідростатичних опорах із струменевим регулюванням. Визначено силові характеристики регульованого сферичного опорного вузла в цілому. Підтверджена можливість конструктивної реалізації регульованого сферичного гідростатичного опорного вузла, який забезпечує сприйняття статичних зусиль до 5кН при стабільності положення сфери в межах 0,1...0,4 мкм та регулювання положення сфери в межах  $\pm 0,1$  мкм.

**Ключові слова:** сфера, вузол, гідростатика, регулювання, струмінь, характеристика

**Вступ.** Розробка систем приводів високої точності є актуальною науковою проблемою. Проблема в загальному вигляді полягає у розробці конструктивних заходів по підвищенню точності просторової системи приводів. Проблема пов'язана із важливими науковими і практичними завданнями створення прогресивного технологічного обладнання.

В останніх дослідженнях і публікаціях наведено результати розробки прогресивного обладнання на основі просторових систем приводів з паралельними кінематичними зв'язками [1]. В публікаціях наведені схемні рішення та описана елементна база просторових систем приводів [2]. Вказано, що основним вузлом просторових систем приводів є сферичні шарніри [3]. Наведені в літературних джерелах дані [4,5] підтверджують ефективність використання гідростатичних опор в просторових системах приводів.

Із аналізу літературних джерел випливає, що невирішеною раніше частиною загальної проблеми є розробка регульованого сферичного гідростатичного опорного вузла.

**Мета роботи.** Метою досліджень викладених в даній статті є розробка регульованого сферичного гідростатичного опорного вузла на якому встановлено стіл технологічного обладнання

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Гідростатичний сферичний опорний вузол поворотного стола використано у верстаті з паралельними кінематичними зв'язками. Верстат має високо обертовий шпиндель 1 встановлений на платформі 2, яка має шість штанг 3 змінної довжини (рис. 1).

Поворотний стіл 4 встановлений на сферичному опорному вузлі 5 і має просторову систему приводів 6.

Сферичний опорний вузол призначено для повороту стола в просторі в кутовому діапазоні  $\pm 22,5^\circ$ . Конструкція регульованого опорного вузла забезпечує мікропереміщення стола в діапазоні  $\pm 0,1$  мм. Це дозволяє суттєвим чином підвищити точність позиціонування інструменту відносно стола.

Розроблений регульований сферичний опорний вузол має нерухомий корпус 1 (рис. 2). З корпусом з'єднана кришка 2, яка має гвинтові приводи 3,4 для її установочного просторового переміщення відносно корпусу Корпус і кришка

мають порожнину у вигляді ділянок точних сферичних поверхонь, які охоплюють рухому сферу 5.

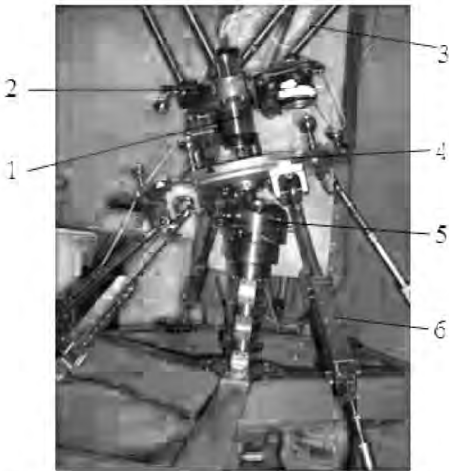


Рис. 1 – Верстат паралельної кінематики з поворотним столом встановленим на сферичному гідростатичному опорному вузлі

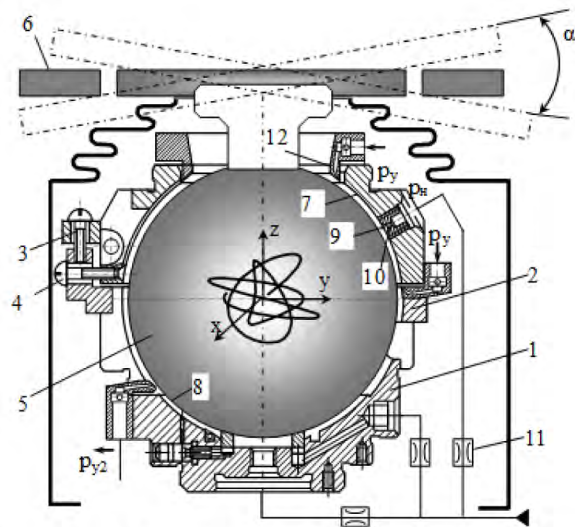


Рис. 2 – Принципова схема сферичного гідростатичного опорного вузла, який забезпечує додаткові мікропереміщення стола

Рухома сфера з'єднана із столом 6, який має зовнішні приводи для зміни його просторового положення. Рухома сфера встановлена в корпусі і кришці на гідростатичних опорах. Опори 7, 8 розташовані регулярним чином навколо рухомої сфери. Опори мають кармани 9, в які через дроселі 10, 11 подається робоче середовище.

Опори мають по своїй периферії систему соплових пристроїв, які виконані в колекторі 12, які служать для гідродинамічного запирання щілини на виході гідростатичної опори [7]. Сферичний опорний вузол реалізовано з використанням сучасних методів технології машинобудування. Корпус 1 і кришка 2 мають ділянки сферичних поверхонь у вигляді сферичного пояса 3 та трьох сферичних секторів 4 (рис. 3).

Рухома сфера 5 опорного вузла виконана збіркою. Вона має дві окремі деталі із точними сферичними поверхнями 6 і 7. Дані сферичні поверхні виконані на верхній і нижній половинах рухомої сфери та узгоджені між собою при збиранні, утворюючи одну точну сферичну поверхню. Забезпечення точності даної поверхні здійснюється підгонкою базуючих і центруючих поверхонь в з'єднанні верхньої і нижньої половин рухомої сфери.

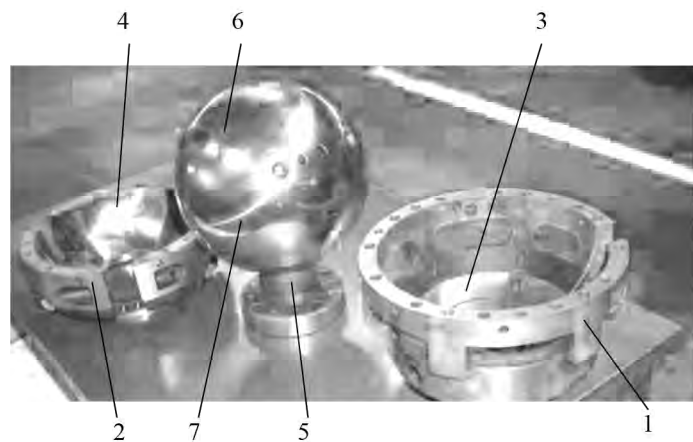


Рис. 3 – Основні деталі виготовленого опорного вузла та ділянки точних сферичних поверхонь деталей

Сопла для струменевого регулювання положення сфери та комунікації виконані в спеціальному колекторі виготовленому методом лазерної стереолітографії (рис. 4, а, б, в).

Сопла мають криволінійні канали, а вісі вихідних отворів розташовані під гострим кутом  $\gamma$  до поверхні сфери (рис. 4, б).

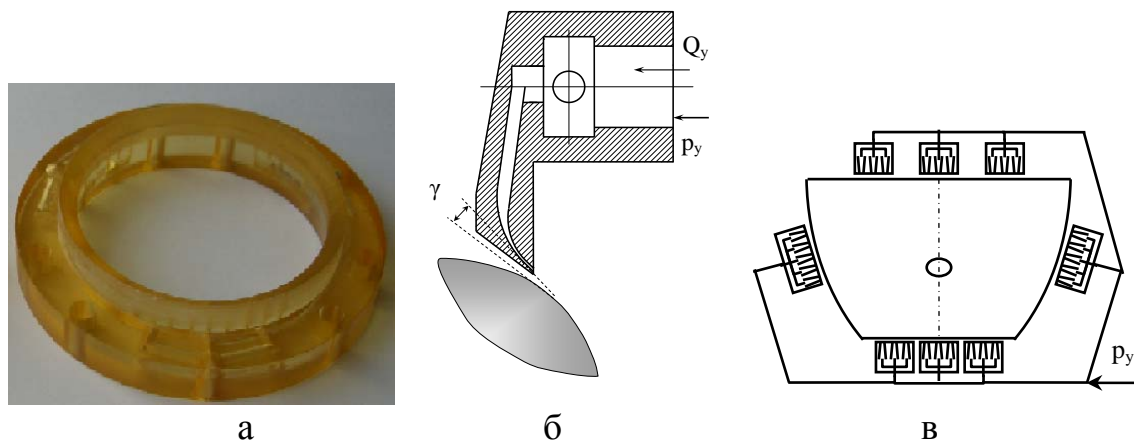


Рис. 4 – Струменева система регулювання реакції гідростатичної опори: а – колектор, в якому виконана система комунікацій, б - конфігурація соплового пристрою; в - схема розташування сопел по периферії сферичного сектора

При підводі рідини під тиском  $p_H$  з витратою  $Q$  до опори в щілині утвореній сферичним сектором та сферою на ділянці АВ формується трапецієвидна [б] епюра тиску  $p_{S0}$  (рис. 5, а).

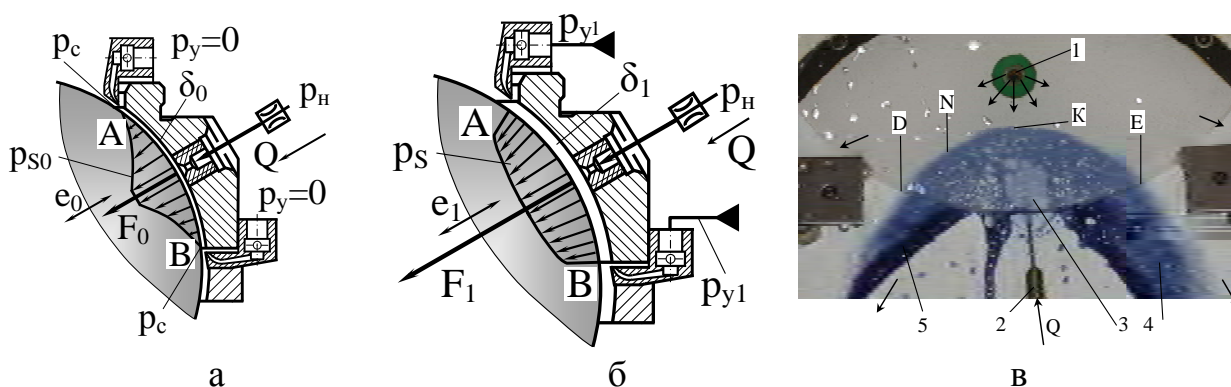


Рис. 5 – Зміна епюр тиску та навантаження в перетині щілини опори при попаданні в щілину струменів робочого середовища: а – епюра тиску при відсутності керуючих струменів; б – епюра тиску при гідродинамічному запиранні щілини; в - фото візуалізованої течії в щілині макета гідростатичної опори

При цьому встановлюється деякий рівноважний зазор  $\delta_0$  та сумарне зусилля тиску в опорі  $F_0$ . При подачі робочого середовища під тиском  $p_{y1}$  в соплові пристрої в перерізі щілини (точки А, В) формується область підвищеного тиску (рис. 5, б). Епюра тиску в щілині буде залежати від тиску на виході щілини. Гідродинамічне запирання виходу щілини підвищує тиск  $p_c$  на ділянках А і В та робить епюру тиску  $p_S$  більш опуклою. При цьому збільшується опорна реакція  $F_1$  та величина зазору  $\delta_1$ .

Для встановлення особливостей гідродинамічних процесів у щілині гідростатичної опори проведені спеціальні теоретичні та експериментальні дослідження. Експериментальні дослідження проведені на прозорому макеті гідростатичної опори виконаному в масштабі 10:1. При цьому рідина, яка витікає із сопла і попадає в щілину була підфарбована. В результаті досліджена форма і глибина проникнення струменя в щілину (рис. 5, в).

Рідина до щілини в макеті опори підводиться через отвір 1. Керуючий струмінь формується в соплі 2 і натікає на поверхню опори утворюючи вхідний потік 3. Рідина, що підводиться до сопла підфарбована тому вхідний потік 3 і вихідні потоки 4, 5 мають інший колір ніж прозора рідина, що витікає із отвору 1. Форма області яку займає керуючий струмінь (лінія DKE) в щілині опори відповідає параболі, форма якої залежить від витрати рідини Q в сопловому пристрої.

Теоретичні дослідження течії рідини в щілині, в яку втікає пристінний струмінь рідини, проведені методом ламінарної аналогії [8]. Згідно даного методу лінії течії повільного руху в'язкої течії в щілині співпадають із лініями течії плоскої потенціальної течії ідеальної рідини.

Рідина до щілини гідростатичної опори підводиться через отвір. В опорі наявний ряд керуючих струменів розташованих по периферії щілини. Тому течія рідини в щілині визначена як суперпозиція n+1 джерел з витратами  $Q_k$ , де n – загальне число керуючих струменів. При цьому функція течії буде визначена залежністю [9]:

$$\psi_3 = \sum_{k=0}^n \frac{Q_k}{2\pi} \operatorname{arctg} \left( \frac{y - y_k}{x - x_k} \right). \quad (1)$$

Контур L периферії щілини обмежує область W. Координати отвору підводу рідини  $x_0, y_0$  знаходиться в центральній частині області W, а точки розташування джерел  $(x_k, y_k)$   $k=1,2,..n$  знаходяться на контурі L.

Проекції середніх швидкостей частинок рідини визначені шляхом диференціювання функції течії [9] визначеній формулою (1) і складають:

$$V_x = \sum_{k=0}^n \frac{Q_k}{2\pi} \cdot \frac{(x - x_k)}{\left[ (x - x_k)^2 + (y - y_k)^2 \right]}, \quad V_y = \sum_{k=0}^n \frac{Q_k}{2\pi} \cdot \frac{(y - y_k)}{\left[ (x - x_k)^2 + (y - y_k)^2 \right]}. \quad (2)$$

Одержані залежності (2) визначають поле середніх швидкостей в щілині гідростатичної опори. Характерною областю течії в щілині є критична точка взаємодії струменя із основним потоком. Розрахункові профілі проекцій швидкостей в околиці критичної точки мають особливість (рис. 6, а, б).

Струмені формуються в соплах M. На виході сопел формуються круглі струмені, які під гострим кутом попадають на рухому поверхню s сфери (рис. 6). При взаємодії круглого струменя із плоскою поверхнею утворюється струмінь C прямокутного перетину (перетини П1, П2). В прямокутному перетині профіль швидкостей струменя близький до рівномірного із утворенням граничного шару на стінці s. При розповсюдженні прямокутного струменя вздовж стінки сфери він деформується і товщина граничного шару біля стінки збільшується. Тому в перетині П2 прямокутний струмінь має згладжений профіль швидкостей.

Взаємодія пристінного струменя із входом в щілину супроводжується

утворенням витікаючого потоку  $V$ . Звичайно він розповсюджується вздовж торця щілини  $T$ . Якщо розмір щілини  $\delta$  більше розміру струменя  $C$  в 1.5 і більше разів, витікаючий потік буде направлений протилежно пристінному струменю [6].

На деякій відстані від торця (перетин  $\Pi_3$ ) у щілині встановлюється течія рідини з асиметричним розподілом швидкостей. При подальшому розповсюдженні струменя в щілині профіль швидкостей вирівнюється і в деякому перетині (перетин  $\Pi_4$ ) профіль швидкостей становиться близьким до параболічного. Далі вниз по течії параболічний профіль зберігається, але значення швидкостей зменшуються і в деякому перетині набувають значень, близьких до нуля (перетин  $\Pi_5$ ). Лінія розмежування течії (перетин  $\Pi_5$ ) може набувати криволінійної форми або пульсувати.

В щілині регульованої опори формується течія рідини із прямими і зворотніми потоками. Прямі потоки  $B_1$ ,  $B_2$  (рис. 6, б) виникають при витіканні робочої рідини із щілини опори. Керуючий струмінь формує зворотній потік  $B_0$ . Лінія течії  $N$  розмежує прямі і зворотні потоки. Фактично зворотній потік  $B_0$  закриває вихідний перетин частини щілини.

При відсутності струменевого керування опори (рис. 5, а) характеристики опори визначаються параметрами руху рідини в щілині та підвідних каналах. Перепад тиску по довжині щілини описується залежністю [10]:

$$p = \frac{12\mu L}{b\delta^3} Q + p_c, \quad (3)$$

де  $p$  – тиск в кармані;  $\mu$  – динамічна в'язкість робочого середовища;  $L$  – середня довжина щілини;  $b$  – довжина периметра опорного елемента;  $\delta$  – зазор між рухомими деталями опори;  $Q$  – загальна витрата робочого середовища;  $p_c$  – тиск на виході щілини. При відсутності керування  $p_c=0$ .

Характеристика течії рідини через дросель прийнята лінійною

$$p_H - p = RQ, \quad (4)$$

де  $p_H$  – тиск рідини на вході в дросель;  $R$  – гідравлічний опір дроселя.

Об'єднуючи (3) і (4), визначимо тиск в кармані опори:

$$p = p_H / \left( 1 + \frac{b\delta^3 R}{12\mu L} \right). \quad (5)$$

Рівняння рівноваги сил в гідростатичній опорі запишемо у вигляді:

$$F = p \cdot S_k + S_s / 2 \cdot p, \quad (6)$$

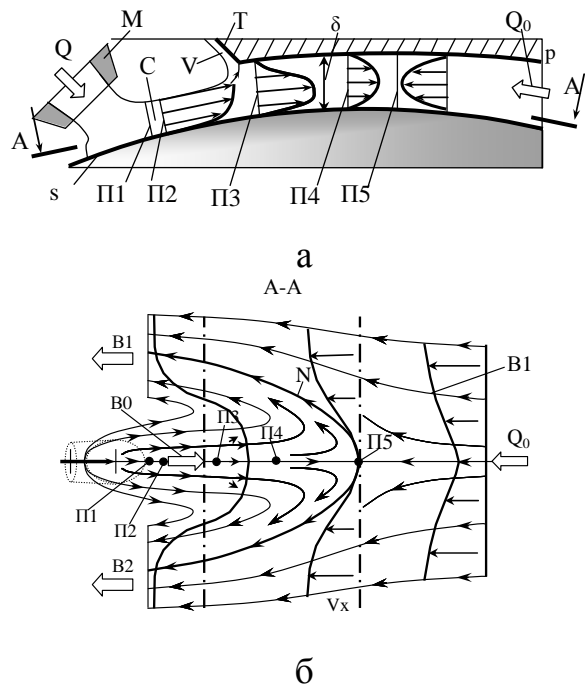


Рис. 6 – Схема течії в щілині гідростатичної опори: а – схема течії в повздовжньому перетині щілини; б – схема течії в середині щілини

де  $S_k$  - площа кармана;  $S_3$  - площа поверхонь, які утворюють щілину.

Підставивши в формулу (6) значення тиску (5), одержимо силову характеристику гідростатичної опори без керування у вигляді:

$$F = p_H \left( S_k + \frac{1}{2} S_3 \right) / \left( 1 + \frac{b\delta^3 R}{12\mu L} \right). \quad (7)$$

Коли керуючий струмінь рідини проникає в щілину, в ній формується течія рідини із критичною точкою К (рис. 7). Положення критичної точки залежить від співвідношення тисків  $p$  і  $p_y$ . Введено припущення, що глибина проникнення струменя в щілину  $L_c$  є малою у порівнянні з довжиною ( $L$ ) щілини.

Рівняння імпульсів для контрольного об'єму, обмеженого поверхнями  $\sigma_1$  та  $\sigma_2$  в проекціях на вісь струменя має вигляд [9]:

$$p_c \cdot \sigma_1 + \rho V_1^2 \sigma_1 = \sum_{i=1}^n (J_{yi} + J_{yi} \sin \alpha_i) + \rho V_2^2 \sigma_2 + 2\tau \cdot S_p, \quad (8)$$

де  $p_c$  - тиск в першому перетині;  $\sigma_1, \sigma_2$  - площі першого та другого перетинів;  $\rho$  - густина середовища;  $V_1, V_2$  - швидкості в перетинах;  $J_{yi}$  - імпульс  $i$ -го струменя;  $n$  - число струменів;  $\alpha$  - кут зворотнього потоку;  $\tau$  - дотичне напруження на стінках щілини;  $S_p$  - площа поверхонь щілини

Із рівняння нерозривності в першому наближенні випливає:

$$V_1^2 \sigma_1 \approx V_2^2 \sigma_2.$$

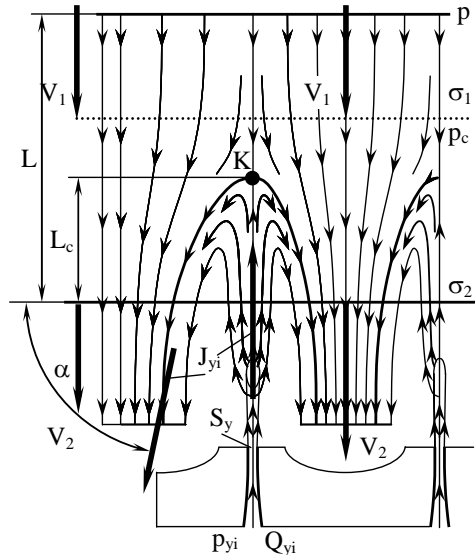


Рис. 7 – Схема течії рідини в щілині при струменевому регулюванні

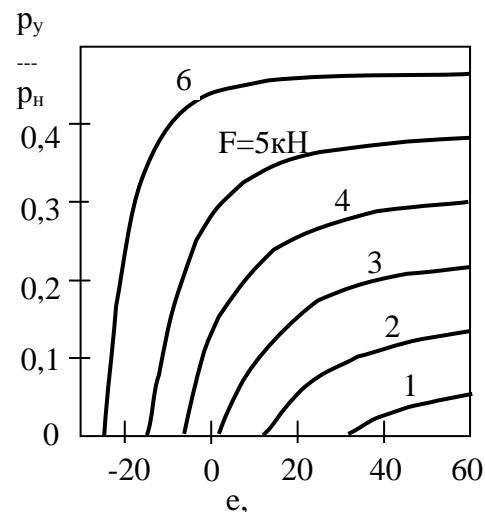


Рис. 8 – Регульовальна характеристика опори

Зворотня течія, що формується при розповсюдженні струменя в зустрічному потоці, як правило, має кут розповсюдження  $\alpha \approx \pi/2$ . Не враховуючи дії сил тертя, із рівняння імпульсів (8) одержимо

$$p_c = 2 \sum_{i=1}^n J_{yi} / \sigma_1.$$

Імпульс струменя визначиться через значення тиску на вході в сопло:

$$J_{yi} = \rho S_y V_{yi}^2 \cos \gamma = \rho \frac{Q_{yi}^2 \cos \gamma}{S_y} = \rho \frac{\mu_c^2}{S_y} \cdot \frac{2}{\rho} \cdot S_y^2 p_{yi} \cos \gamma = 2\mu_c^2 S_y p_{yi} \cos \gamma, \quad (9)$$

де  $\mu_c$  - коефіцієнт витрати сопла;  $S_y$  - площа перетину сопла;  $p_{yi}$  - тиск на вході в сопло з номером  $i$ ;  $\gamma$  – кут між площиною опори і віссю сопла.

Враховуючи, що площа перетину щілини  $\sigma_1 = b \cdot \delta$ , із (8) і (9) держимо значення тиску у вихідному перерізі щілини у вигляді:

$$p_c = \frac{4 \sum_{i=1}^n \mu_c^2 S_y p_{yi} \cos \gamma}{b \delta}. \quad (10)$$

Відповідно тиск в кармані гідростатичної опори визначиться із формули (3) при підстановці значення тиску  $p_c$  на виході щілини із формули (10). Остаточного тиску:

$$p = \frac{12\mu L Q}{b \delta^3} + \frac{4 \sum_{i=1}^n \mu_c^2 S_y p_{yi} \cos \gamma}{b \delta}. \quad (11)$$

Об'єднуючи дану залежність із характеристикою дроселя (4) та рівнянням рівноваги сил (8), знайдемо силову характеристику опори:

$$F = \left( S_k + \frac{1}{2} S_s \right) \left( p_H + 4 \sum_{i=1}^n \mu_c^2 S_y p_{yi} \cos \gamma \cdot \frac{\delta^2 R}{12\mu L} \right) / \left( 1 + \frac{b \delta^3 R}{12\mu L} \right). \quad (12)$$

Характеристика (12) є суттєво нелінійною (рис. 8). Раціональні значення тиску керування складають  $p_y \approx 0.2 \dots 0.4 p_H$ . Одержана характеристика є основою для визначення характеристик регульованого сферичного опорного вузла в цілому (рис. 9).

Всього гідростатичний сферичний опорний вузол має шість регульованих і одну нерегульовану (1П) гідростатичну опору. Три з регульованих опори 1В, 2В, 3В утворюють верхній несучий пояс, а три регульовані опори 1Н, 2Н і 3Н – нижній несучий пояс.

Для малих зміщень сфери зміна зазору в кожній точці сфери в радіальному напрямку залежить лише від одного параметра (кута  $\theta_e$ ) і визначається залежністю:

$$\delta = \delta_0 - \left| \vec{E} \right| \cdot \cos \theta_e, \quad (13)$$

де  $\delta_0$  - початковий зазор;  $\vec{E}$  - вектор переміщення сфери;  $\theta_e$  – кут між віссю  $z$  і точками на сфері, де визначається зазор.

В проєкціях на осі координат  $x, y, z$  рівняння рівноваги

$$F_{3x} + \sum_{i=1}^N F_{ix} = 0, F_{3y} + \sum_{i=1}^N F_{iy} = 0, F_{3z} + \sum_{i=1}^N F_{iz} = 0. \quad (14)$$

де  $F_{ix}, F_{iy}, F_{iz}$  - проєкції зусиль  $i$ -ї гідростатичної опори;  $N=7$  – число опор.

Зусилля в кожній опорі відповідно формули (12) залежить від величини зазору, який в свою чергу визначається через вектор переміщень згідно формули (13). Відповідно зусилля в кожній гідростатичній опорі:

$$\vec{F}_i = \vec{F}_i(\delta_i), \quad \delta_i = \delta_i(e_x, e_y, e_z), \quad (15)$$

де  $e_x, e_y, e_z$  - проєкції вектора переміщень  $\vec{E}$ .

Підставляючи в систему рівнянь (14) значення силових характеристик кожної опоривідповідних формулі (12) для зазору (13) визначимо зусилля  $\vec{F}_3$ , яке відповідає вектору переміщення сфери  $\vec{E}$  (рис.10).

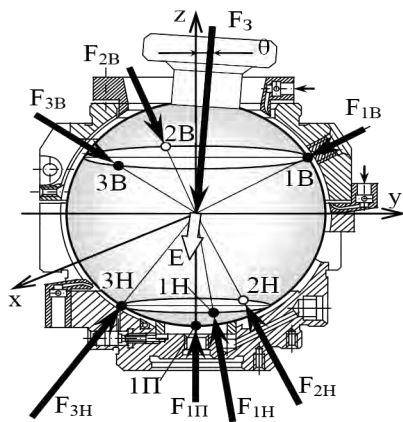


Рис. 9 — Схема дії реакції окремих гідростатичних опор у сферичному опорному вузлі

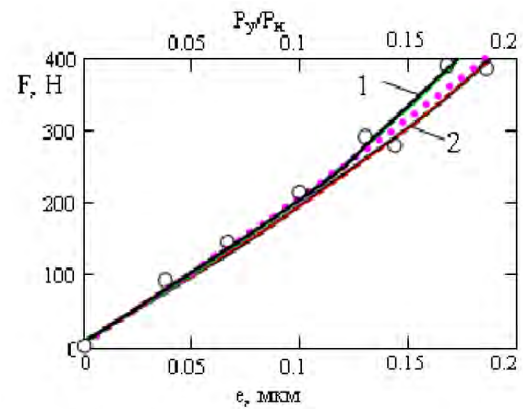


Рис. 10 – Залежність опорної реакції від переміщення сфери: крива 1 -  $\theta=10^\circ$ , крива 2 -  $\theta=20^\circ$ ; точки експеримент

**Висновки.** Підтверджена можливість конструктивної реалізації регульованого сферичного гідростатичного опорного вузла, який забезпечує сприйняття статичних зусиль до 5кН при стабільності положення сфери в межах 0,1...0,4 мкм та регулювання положення сфери в межах  $\pm 0,1$  мкм.

Як напрямок подальших досліджень рекомендується дослідити динамічні характеристики регульованого сферичного гідростатичного опорного вузла та розробити спеціальну мехатронну систему його керування.

**Список літератури:** 1. Рыбак, Л. А. Эффективные методы решения задач кинематики и динамики робота-станка параллельной структуры [Текст] / Рыбак, Л. А., Ержуков, В. В., Чичварин, А. В. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 148 с. 2. Merlet, J. P. Parallel Robots. Solid Mechanics and Applications [Text] / J. P. Merlet. – Berlin: Springer, 2006. – 394 p. 3. Крижанівський, В. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: навчальний посібник для ВНЗ [Текст] / Крижанівський, В. А., Кузнєцов, Ю. М., Валявський, І. А., Склярів, Р. А. – Кіровоград, 2004. – 449 с. 4. Струтинський, В. Б. Математичне моделювання стохастичних процесів у системах приводів: Монографія [Текст] / Струтинський, В. Б., Колот, О. В. – Краматорськ: ЗАТ “Тираж-51”, 2005. – 530 с. 5. Яхно, О. М. Система визначення точного положення регульованої гідростатичної сферичної опори [Текст] / Яхно, О. М., Струтинський, С. В. – К.: Вістник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія Машинобудування. – №52. – Київ, 2008. – С. 26-34. 6. Струтинський, С. В. Просторові системи приводів: монографія [Текст] / Струтинський, С. В., Гуржій, А. А. – К.: Педагогічна думка, 2013. – 492 с. 7. Патент України на корисну модель. МПК №31194 (2006) F16C32 / Гідростатично-аеростатичний опорний вузол [Текст] / Яхно, О. М., Струтинський, С. В. – №u200714415; заявл.20.12.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл. №6. – 3 с. 8. Повх, И. Л. Техническая гидромеханика [Текст] / И. Л. Повх. – Л.: Машиностроение, 1969. – 524 с. 9. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Л. Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1973. – 847 с. 10. Баишта, Т. М. Машиностроительная гидравлика [Текст] / Т. М. Баишта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с. 11. Сигорский, В. П. Математический аппарат инженера [Текст] / В. П. Сигорский. – К.: Техніка, 1975. – 768 с.



**Bibliography (transliterated):** 1. Rybak, L. A., Erzhukov, V. V., Chichvarkin, A. V. (2011). Effective methods for solving problems of kinematics and dynamics of robot-machine parallel structure. Moscow : Fizmathlit, P. 148 c. ISBN978-5-9221-1296-3. 2. Merlet, J. P. (2006). Parallel Robots. Solid mechanics and applications., Berlin: Springer, 394. 3. Krizhanivskij, V. A., Kuznecov, Y. M., Valyavskij, I. A., Sklyarov, R. A. (2004). Technological equipment with parallel kinematics: textbook for universities. Edited by Kuznetsov, Y. M., Kirovograd, 449. 4. Strutynskiy, V. B., Kolot, O. V (2005). Mathematical modeling of stochastic processes in systems of drives. Monograph. Kramatorsk: "Tirazh -51", 530 5. Jachno, O. M., Strutynskiy, S. V. (2008). The system for determining the exact position of the adjustable hydrostatic spherical bearing. Bulletin of National technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", a series of Engineering, Kiev, 52, 26-34. 6. Strutynskiy, S. V. (2013). Spatial drive systems: Monograph. Strytynskij S.V. Gourzhiy A. A., Kiev: Pedagogical thought, 492. 7. Patent of Ukraine for useful model (2006). MPK No 31194 F16C32. Tostation-aerostation anchor node. Jachno, O. M., Strutynskiy, S. V. No. u200714415; Appl.20.12.2007; publ. 25.03.2008, 6, 3. 8. Povkh, I. L. (1969). Technical hydromechanics. Lviv: Engineering, 524. 9. Loitsyansky, L. (1973). Mechanics of liquid and gas. Moscow: Nauka, 847. 10. Basta, T. M. (1971). Engineering hydraulics. Moscow: Mashinostroenie, 672. 11. Sigorskij, B. N. (1975). Mathematical apparatus engineer. Kiev: Machinery, 768.

Надійшла (received) 17.12.2014

## УДК 666.1.031

**В. С. ЦАПАР**, ст. викл., НТУУ «КПІ» Київ

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРІОДІВ ПЕРЕКЛЮЧЕННЯ ПАЛЬНИКІВ НА ОДНОРІДНІСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

Проведено дослідження залежності температурного розподілу у скловарній регенеративній печі від величини періодів роботи пальників, визначено вплив періодів переключення пальників на однорідність температурного поля у печі. Отримано значення температур у контрольних точках скловарної печі при періодах переключення пальників 20, 30 та 45 хвилин. Визначено необхідність формування критерію оптимальності переключення пальників, котрий визначатиме час переключення в залежності від значень поточних параметрів у печі та навколишнього впливу.

**Ключові слова:** період переключення пальників, скловарна піч, скляна тара, температурні поля.

**Вступ.** Велика увага на сучасному етапі розвитку промислових технологій приділяється якості готової продукції. Оптимізація витрат, вдосконалення технологій ставить все вищі і вищі вимоги до якості виробів. Зокрема, дуже чутливі до якості склотари сучасні автоматичні лінії пакування та розливу.

Значну питому вагу в товарообігу пакувальної продукції займає скляна тара. Скляною тарою називають групу скляного посуду, яка призначена для фасування, транспортування, зберігання і використання при споживанні різних продуктів. Скляна тара є незамінною для упакування багатьох харчових продуктів і напоїв.

Скло, в якості пакувальної продукції, має свої переваги:

- хімічна нейтральність забезпечує збереження харчових продуктів без суттєвих змін;
- прозорість;
- міцність та стійкість до навантажень;
- стійкість до внутрішнього тиску дає змогу випускати газовані напої та аерозольні товари;