

УДК 621.83

О.М. Яхно д-р техн.наук, проф., С.В. Струтинський, асп.
НТУ України «Київський політехнічний інститут», м.Київ, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛЬОВАНОГО АЕРОСТАТИЧНОГО СФЕРИЧНОГО ШАРНІРА

Приведена конструкція установки для експериментальних досліджень характеристик аеростатичного сферичного шарніра. Изложены результаты измерений регулировочной и силовой характеристик шарнира. Экспериментальные данные аппроксимированы соответствующими аналитическими зависимостями. Получена обобщенная силовая характеристика шарнира, дан ее анализ и указаны рациональные диапазоны изменения параметров шарнира.

The construction of fluidizer experimental researches of descriptions of aerostatics spherical hinge is resulted. The results of measurings of regulation and power descriptions of hinge are expounded. Experimental information is approximated the proper analytical dependences. The generalized power description of hinge is got, its analysis is given and rational turn-downs parameters of hinge are indicated.

Вступ Перспективним видом сучасного технологічного обладнання є системи на основі просторових механізмів із приводами зміни розмірів окремих ланок механізмів. Реалізовані вимірювальні машини, промислові роботи, маніпулятори, сенсори та інше прогресивне технологічне обладнання.

В точних просторових механізмах використовуються сферичні шарніри рідинного тертя. Тому розробка і дослідження сферичних шарнірів просторових механізмів є актуальним питанням.

Дослідження характеристик сферичних шарнірів є частиною загальної проблеми розробки сферичних шарнірів. Сферичні опори рідинного тертя широко застосовуються в гідроприводі, зокрема в гідромашинах. В основному використовуються гідродинамічні сферичні шарніри із гідростатичним розвантаженням. Розроблено ряд конструкцій шарнірів, досліджені їх характеристики, вирішені задачі виготовлення і експлуатації [1]. Основною особливістю аеростатичного сферичного шарніра є складність робочих процесів, пов'язана із рухом стисненого повітря. Велика кількість факторів визначає закономірності роботи шарніра. Для дослідження характеристик аеростатичного шарніра застосовують теоретичні та експериментальні методи.

Проблема дослідження аеростатичного шарніра пов'язана із важливими науковими та практичними завданнями. Розробка аеростатичних сферичних шарнірів є основою розв'язання наукових та практичних завдань розробки прогресивного технологічного обладнання. Використання сферичних шарнірів дає можливість створити принципово нові системи маніпулювання об'єктами.

В останніх дослідженнях і публікаціях [2-4] наведено ряд конструкцій шарнірів аеростатичного типу. Розглянуто особливості проектування шарнірів та їх систем керування. Значну увагу приділено математичному моделюванню шарнірів.

В останніх публікаціях не виявлено результатів експериментальних досліджень характеристик аеростатичних сферичних шарнірів. Відсутні дані по методиці визначення характеристик.

До невирішеної раніше частини загальної проблеми відноситься розробка систем регулювання положення сфери аеростатичного шарніра, а також методики експериментальних досліджень характеристик шарнірів. Проведення експериментальних вимірів потребує розробки спеціального обладнання.

Метою досліджень, викладених в статті, є розробка обладнання, методики і експериментальні виміри статичних характеристик регульованого аеростатичного шарніра.

Основними завданнями досліджень поставлена розробка спеціальної установки, виміри регульованих характеристик шарніра та визначення їх особливостей.

Виклад основного матеріалу досліджень. Експериментальні дослідження характеристик регульованого аеростатичного сферичного шарніра проведені на спеціально розробленій установці. Установка включає сферичний шарнір, загальну пневмосистему та навантажувальний пристрій (рис. 1.).

Аеростатичний сферичний шарнір має точну сферу 1. В корпусі 2 і кришці 3 шарніра виконано ділянки внутрішніх сферичних поверхонь, що утворюють аеростатичні опори. Корпус і кришка шарніра мають пристрої для взаємного відносного переміщення та індикатори для виміру положення сфери відносно корпусу шарніра. Шарнір має пневмосистему живлення аеростатичних опор із контрольно регулюючою та вимірюючою апаратурою.

Шарнір включає струменевий блок керування, та контрольно-регульовальну і вимірювальну апаратуру. Блок керування має три регульовані дроселі D1C, D2C, D3C підключені до загальної пневмосистеми Соплові пристрої (всього 27 сопел) розміщені в спеціальному колекторі і згруповані в три групи C1, C2, C3 по 9 сопел на кожен аеростатичну опору. До кожної групи сопел повітря підводиться через дроселі D1C, D2C, D3C відповідно. Тиск в магістралі на вході в кожну групу сопел вимірюється манометрами M1C, M2C, M3C. Дані дроселі D1C, D2C, D3C регулюють подачу повітря окремо в кожну групу сопел, а манометри вимірюють поточне значення тиску на вході в групу сопел. Дроселі мають мікрометричні гвинти які забезпечують їх точне регулювання. Тиск в магістралях підводу

повітря до блоків сопел залежить лише від опору дроселів. Тому при регулюванні встановлюється лише фіксоване значення тиску 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 МПа.

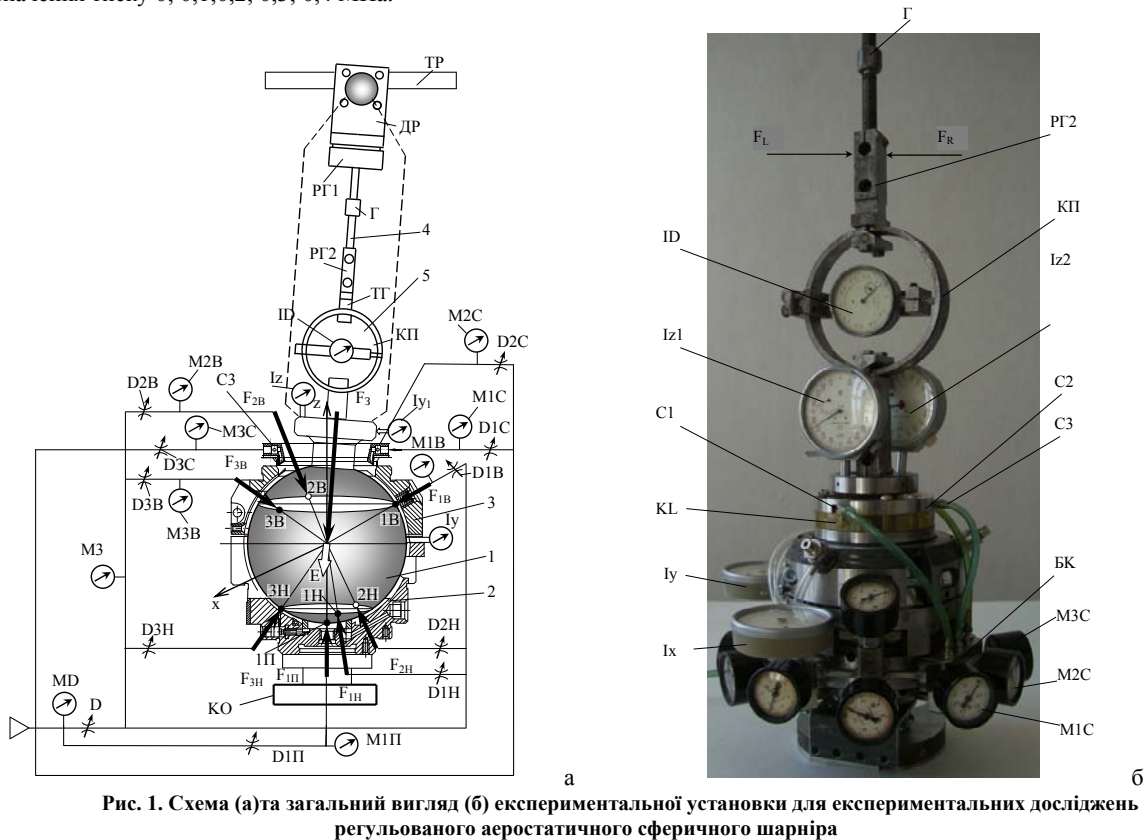


Рис. 1. Схема (а) та загальний вигляд (б) експериментальної установки для експериментальних досліджень регульованого аеростатичного сферичного шарніра

Для навантаження сферичного шарніра використано безлюфтовий гвинтовий пристрій 4 в комплекті із двостороннім кільцевим динамометром 5. Переміщення сфери реєструється індикаторами з точністю $\pm 0,5$ мкм. Навантаження сфери здійснюється в межах конуса з кутом при вершині 45° при вертикальному розташуванні вісі конуса.

Установка для експериментальних досліджень встановлювалась на силовому столі, а навантажувальний пристрій закріплювався на траверсі.

Переміщення сфери вимірювалось індикаторами. Виміри переміщення сфери в горизонтальній площині здійснено індикаторами I_x та I_y . Для визначення вертикального переміщення сфери застосовано два паралельно встановлених індикатори $Iz1$ та $Iz2$. Вертикальне переміщення сфери визначено як середньоарифметичне значення виміряне обома індикаторами. При цьому виключається вплив поперечно-кутових переміщень сфери на точність вимірів.

Експериментальні дослідження характеристик регульованого аеростатичного шарніра проведені по спеціальній методиці.

Методика експериментальних досліджень включає різні схеми навантаження та різні варіанти струменевого керування шарніра. Проведені виміри регульованих характеристик шарніра при нульовому навантаженні згідно розробленої методики. Також проведено послідовне знакомінне навантаження сфери радіальним навантаженням в межах ± 1000 Н ступенями по 100 Н. При цьому реєструвалось переміщення сфери відносно її номінального положення і вимірювались силові характеристики шарніра.

В процесі досліджень також здійснено виміри набору регульованих характеристик сферичного шарніра при різних значеннях корисного навантаження.

Регульовальні характеристики визначають вплив тиску регулювання p_y на переміщення сфери. При цьому використані різні схеми підключення блоків керуючих сопел.

Для сферичного шарніра без навантаження ($F=0$) виміряно переміщення сфери у вертикальному напрямку в залежності від зміни тиску керування p_y одночасно у всіх соплах. Виміри проведені для тиску живлення аеростатичних опор $p_n=0,2$ МПа. Всього проведено 5 циклів вимірів. Одержані результати вимірів переміщень сфери осереднені. В результаті визначені точкові значення регульовальної характеристики шарніра без навантаження (рис.2.а.).

Для згладження одержаних точкових значень регульовальної характеристики, запропонована аналітична залежність виду

$$e_z(p_y) = e_{mz} \left(1 - \frac{1}{1 + \alpha_z p_y^3} \right) \quad (1)$$

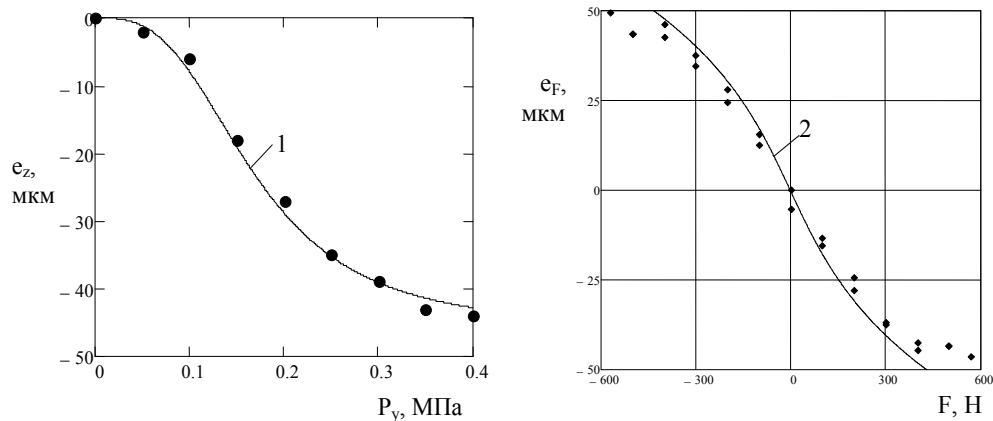


Рис. 2. Експериментально визначені регулювальна (а) та силова (б) характеристики регульованого аеростатичного шарніра: крива 1 – розрахунок по формулі (1), крива 2 – розрахунок по формулі (2)

Параметри e_{mz} , α_z визначені згідно методу найменших квадратів із умови найкращого наближення розрахункових по даній формулі та точкових експериментальних даних. При виборі значень коефіцієнтів $e_{mz} = -46 \text{ мкм}$, $\alpha_z = 210 \text{ МПа}^{-3}$ відхилення розрахункових і експериментальних даних не перевищує 5%. Одержана характеристика описує переміщення сфери в залежності від тиску регулювання при відсутності корисного навантаження.

Регулювальна характеристика має ділянку, близьку до лінійної в діапазоні зміни тиску керування 0.07..0.25 МПа.

Силова характеристика визначає переміщення сфери в залежності від діючого навантаження F при відсутності керуючої дії ($p_y = 0$). Експериментально визначена силова характеристика (рис. 2.б.) має ділянку, близьку до лінійної в околиці незначних навантажень. При значних навантаженнях $|F| \geq 400 \text{ Н}$ силова характеристика має насичення по переміщенню сфери.

Для аналітичного опису силової характеристики запропонована аналітична залежність у вигляді полінома третього степеня

$$F = -a_{e_F} \cdot e_F - b_{e_F} \cdot e_F^3 \quad (2)$$

Для тиску живлення $p_n = 0.2 \text{ МПа}$ коефіцієнти даної залежності складають $a_{e_F} = 6.7 \text{ Н} \cdot \text{мкм}^{-1}$, $b_{e_F} = 0.0015 \text{ Н} \cdot \text{мкм}^{-3}$.

Відхилення розрахованих за формулою (2) і експериментальних даних не перевищує 5% в діапазоні навантажень на сферу $|F| \leq 300 \text{ Н}$.

Із формули (2) знайдено явну залежність переміщення сфери від діючого на неї навантаження. Для вказаних значень констант переміщення знайдено як розв'язок неповного кубічного рівняння (2) і складає

$$e_F = \sqrt[3]{\sqrt{f} - k_1 F} - \frac{k^2}{\sqrt[3]{\sqrt{f} - k_1 F}}, \quad (3)$$

де $f = -k_3 F^2 + k_4$, а значення констант складають $k_3 = 2.5 \cdot 10^5$; $k_4 = 8 \cdot 10^9$; $k_1 = 500$; $k_2 = 2000$ (розмірності в системі СІ).

Узагальнена силова характеристика аеростатичного шарніра являє собою залежність переміщення сфери від корисного навантаження із врахуванням струменевого керування. В першому наближенні узагальнену силову характеристику можна одержати на основі принципу суперпозиції переміщень. При цьому переміщення сфери e в напрямку вісі z буде визначатись сумою переміщення e_F від дії навантаження F та переміщення e_{z_0} обумовленого процесом струменевого керування

$$e = e_F + e_{z_0} \quad (4)$$

Підставивши значення переміщень згідно залежностей (1) і (3) одержимо

$$e = \sqrt[3]{\sqrt{k^3 F^2 + k_4} - k_1 F} - \frac{k_2}{\sqrt[3]{\sqrt{k^3 F^2 + k_4} - k_1 F}} - e_{mz} \left[1 - \frac{1}{1 + \alpha_z p_y^3} \right], \quad (5)$$

Розрахунок за формулою (5) визначає переміщення сфери в напрямку вісі oz як функцію двох змінних: корисного навантаження F та тиску p_y . Дана залежність є узагальненою силовою характеристикою опори із

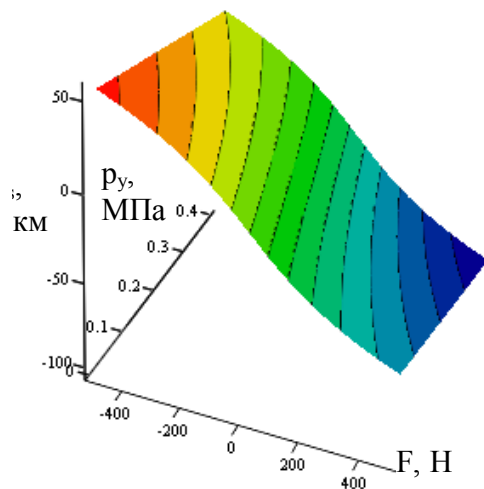


Рис. 3. Узагальнена силова характеристика аеростатичного сферичного шарніра

врахуванням струменевого керування одночасно всіма блоками сопл. Силова характеристика утворює просторову поверхню (рис. 3).

В результаті порівняння розрахункових і експериментальних значень характеристики можна зробити висновок, що залежність (5) достатньо точно описує узагальнену силову характеристику регульованого аеростатичного шарніра. Тому наближена залежність (5) використана для аналізу узагальненої силової характеристики. Для цього розглянуті перетини характеристики при постійних значеннях одного із аргументів (рис. 4).

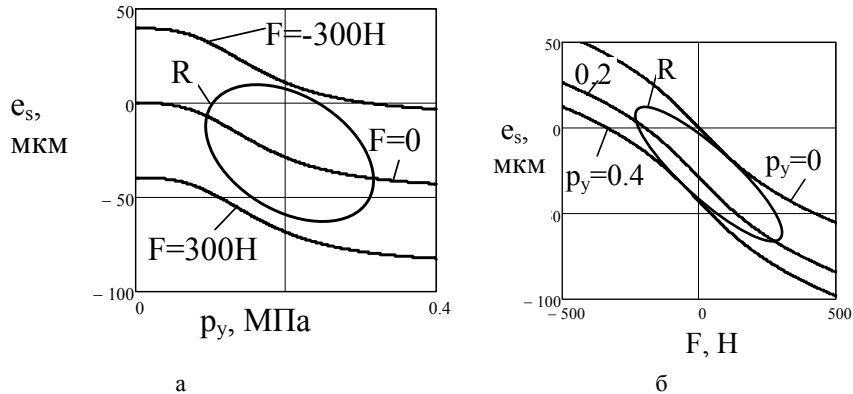


Рис. 4. Перетини узагальненої силової характеристики при $F=\text{const}$ (а) та $p_y=\text{const}$ (б)

Із аналізу графіків випливає, що максимальні діапазони регулювання положення сфери складають 40..50 мкм.

Використовуючи дані характеристики можна вибрати раціональну область зміни параметрів R яка забезпечує закон регулювання близький до лінійного при практично лінійній силовій характеристиці. Дана область характеризується діапазоном зміни тиску керування $p_y=0.1\dots0.3$ МПа при корисних навантаженнях на сферу - 250...+250Н.

Висновки.

1. Розроблена установка дозволяє здійснити експериментальні виміри регульовальних та силових характеристик аеростатичного сферичного шарніра в діапазоні зміни тиску живлення до 0.4 МПа і тиску регулювання до 0.3 МПа.
2. Регульовальна характеристика сферичного шарніра при відсутності корисного навантаження має лінійну ділянку при тиску керування 0.07..0.25 МПа.
3. Силова характеристика шарніра при відсутності керування близька до лінійної в діапазоні навантажень ± 250 Н.
4. Узагальнена силова характеристика шарніра з достатньою для практики точністю може бути подана як суперпозиція регульовальної та силової характеристики.
5. Як напрямок подальших досліджень рекомендується визначити параметри стабільності характеристик регульованого аеростатичного сферичного шарніра.

Список літератури

1. Воробьев Е.И., Диментберг Ф.М. Пространственные шарнирные механизмы.-М.:Наука, 1991.-264с.
2. Крайнев А.Ф. Идеология конструирования. – М.: Машиностроение, 2003. – 385с.
3. Воскресенский В.А., Дьяков В.И., Зиле А.З. Расчет и проектирование опор жидкостного трения. – М.: Машиностроение, 1983. – 232с.
4. Войтов В.А., Яхно О.М., Аби Сааб Ф.Х. Принципы конструктивной износостойкости узлов трения гидромашин. – К.: Техніка, 1999. – 192с.
5. Шиманович М.А. Безконтактные опоры с внешним источником давления смазочной среды. – Станки и инструменты № 6, 1987, с. 16 – 18.
6. Струтинський С.В. Прецизійний поворотний вузол просторового механізму // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 17 – Кіровоград. – КНТУ, 2006. – С. 100-107. - Бібліогр.: с. 107.
7. Струтинський С.В., Яхно О.М. Визначення статичних і динамічних характеристик гідростатичного сферичного опорного вузла // Промислова гідравліка і пневматика. – 2007. – №2 (16). – С.85-90. – Бібліогр.: С. 90. ISSN 1994-4691. Фахове видання.