

УДК 621.941.08

С.В. Струтинський, канд. техн. наук  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

## КОНСТРУКТИВНА РЕАЛІЗАЦІЯ СФЕРИЧНИХ ОПОР РІДИННОГО ТЕРТЯ ДЛЯ ПРОСТОРОВОЇ СИСТЕМИ ПРИВОДІВ

*Разработаны конструктивные предложения сферических опор жидкостного трения для пространственной системы приводов. Предложена компактная конструкция опор с коммуникациями, расположенными внутри сфер. Обоснована оптимальная форма карманов опор. Даны предложения по конструктивной реализации компактных узлов пространственной системы приводов.*

*Structural suggestions of spherical supports of liquid friction are developed for the spatial system of drives. The compact construction of supports is offered with communications, located into spheres. The optimum form of pockets of supports is grounded. Gives of suggestion on structural realization of compact knots of the spatial system of drives.*

### Вступ

Створення нового технологічного обладнання на основі просторової системи приводів потребує розробки його елементної бази. Тому розробка конструкцій сферичних опор, які є основою просторових механізмів, являє собою актуальну науково-технічну проблему.

Одним із напрямів вдосконалення просторової системи приводів є використання сферичних опор рідинного тертя. Проблема в загальному вигляді полягає у розробці оптимальних конструкцій сферичних опор.

Конструктивна реалізація сферичних опор рідинного тертя дає можливість розв'язати наукові і практичні завдання створення ефективних конструкцій просторових систем приводів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В останніх дослідженнях і публікаціях [1, 2] наведено ряд схемних і конструктивних рішень сферичних опор рідинного тертя. Їх недоліком є складність конструкцій, значна маса і габарити [3]. Пропозицій по конструктивній реалізації компактних сферичних опор в літературних джерелах не виявлено.

До невирішених раніше частин загальної проблеми відноситься розробка компактних сферичних опор, гідравлічні комунікації яких розміщені в сфері, а проточна частина забезпечує безвідливну течію рідини із мінімальними об'ємами порожнин.

### Мета і задачі дослідження

Метою досліджень, наведених в даній статті, поставлено розроблення конструктивних схем сферичних опор рідинного тертя для просторової системи приводів. Для досягнення мети поставлені і вирішено наступні задачі: розроблення сферичних опор традиційної схеми, опорні елементи яких розміщені в корпусі, та конструкцій опор із комунікаціями, розміщеними всередині сфери; розроб-

лення раціональних конструкцій проточної частини опори та схемних рішень просторової системи приводів із сферичними опорами.

### Виклад основного матеріалу досліджень

Конструкція опор повинна бути компактною та мати мінімальну масу та габарити. Запропоноване традиційне конструктивне рішення сферичної опори включає точну сферу 1 навколо якої розташовані гідростатичні або аеростатичні опорні елементи (рисунк 1а).

Опорні елементи мають магістраль живлення 2, підключену через дроселі 3 до карманів опорних елементів. Опорні елементи виконані у вигляді окремих деталей 4, які з'єднані між собою трубопроводами 5.

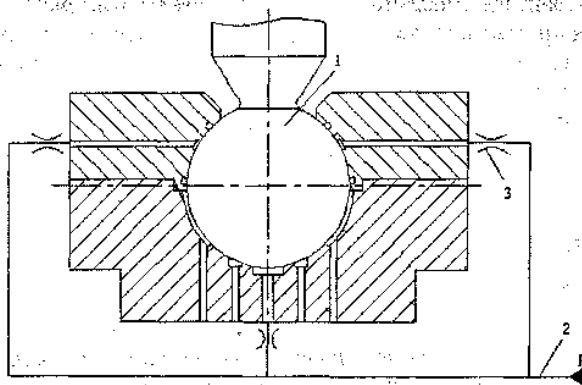
Розглянуте конструктивне рішення не є раціональним. Воно потребує розгалуженої системи комунікацій, має складну конструкцію, значну масу і габарити.

Сферичні опори просторових систем приводів встановлюються на кінцях рухомих штанг постійної або змінної довжини. Тому важливою науково-технічною проблемою є підвід робочого середовища до опори.

Суттєве зниження маси і габаритів опори досягається шляхом виконання гідравлічних комунікацій безпосередньо в сфері. Опори мають сфери 1 і 2, всередині яких виконано комунікації для подачі і відводу стисненого рідкого робочого середовища (рисунк 2).

Робоче середовище до рухомої штанги підводиться по магістралі 3, а відводиться по магістралі 4. Усередині сфери 1 знаходиться карман 5 для підводу робочого середовища та з'єднані з ним через дроселі 6 кармани 7. Сфера 2 додатково має дросель 8 та карман 9 у своїй верхній частині. У кожній сфері знаходяться дренажні порожнини 10, з'єднані комунікаціями 11 з порожнинами ущільнюючих сальників 12.

Конструкція має дроселі гідростатичних або аеростатичних опорних елементів, розташованих безпосередньо у сфері.



а



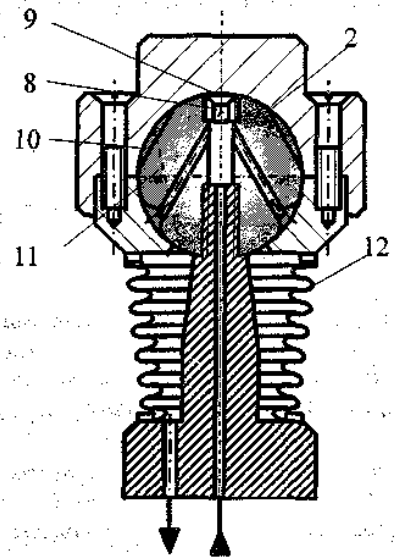
б

Рисунок 1 — Схемне рішення (а) та конструктивна реалізація у вигляді дослідного зразка (б) сферичної опори із розташуванням гідростатичних опорних елементів навколо рухомої сфери.

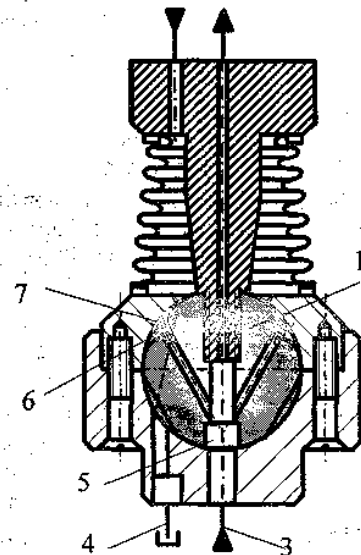
Для макетного зразка сферичної опори застосовано регульовані дроселі голчастого типу [4] (рисунок 3).

Конструктивне виконання дроселя, вісь якого розташовано під кутом до радіуса сфери, є більш зручним, воно дозволяє виконати регулювання пристрою в зібраному стані (рисунок 4).

Висхідні та зсідні дроселі, що мають різні діаметри, дозволяють регулювати тиск у сферичній камері, що забезпечує необхідну жорсткість опори.



а



б

Рисунок 2 — Конструктивне рішення сферичних опор із комунікаціями, виконаними безпосередньо в сфері: а — верхня опора штанги; б — нижня опора з підводом і відводом робочого середовища.

Висхідні та зсідні дроселі, що мають різні діаметри, дозволяють регулювати тиск у сферичній камері, що забезпечує необхідну жорсткість опори.

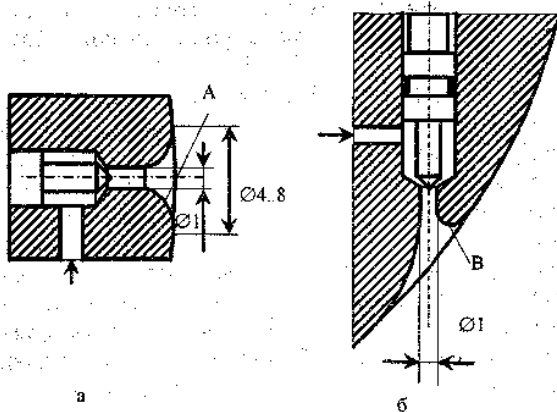


Рисунок 3 — Конструктивні схеми регульованих дроселів голчастого типу для підводу середовища до карманів сферичних опор: а — карман, вісь якого орієнтована по радіусу сфери; б — карман, вісь якого розташована під кутом до радіуса сфери.

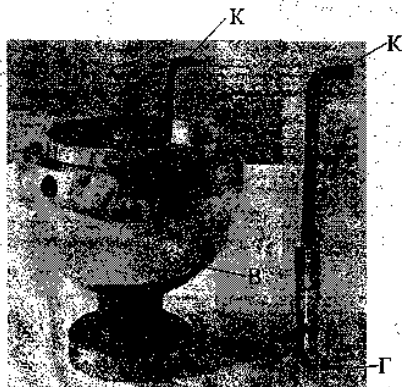


Рисунок 4 — Фото макетного зразка сфери сферичної опори із регульованими дроселями: а — сфера в зібраному стані з регульовальним ключем (К), що переміщує голку дроселя, змінюючи площу поперечного перетину магістралі підводу робочого середовища до кармана В; б — сфера із знятою кришкою та рухомий еле-

мент дроселя (Г).

Розташування отвору дроселя безпосередньо біля сферичної поверхні потребує кармана спеціального профілю. Це може бути досягнуто використанням каналу з твірною у вигляді лемніскати або каналу типу «риб'ячий хвіст».

Важливим є проектування форми проточної частини кармана на поверхні сфери.

Для забезпечення високих показників динамічної якості при використанні робочого середовища у вигляді газу (повітря), об'єм порожнини опори на ділянці від дроселів до щілини повинен бути мінімальним.

В літературних джерелах [5] наявні рекомендації по виконанню кармана у вигляді конічної або сегментної заглибини. Таке рішення не є раціональним. Воно не забезпечує безвідривної течії рідини в кармані. Для формування безвідривної течії запропоновано виконати карман у формі криволінійного дифузора. Якщо вісь кармана перпендикулярна осі сфери, то дифузор віссиметричний з криволінійною твірною А (рисунок 5а). Якщо вісь кармана розташована під кутом до радіуса сфери, дифузор є фасонною криволінійною поверхнею В (рисунок 5б).

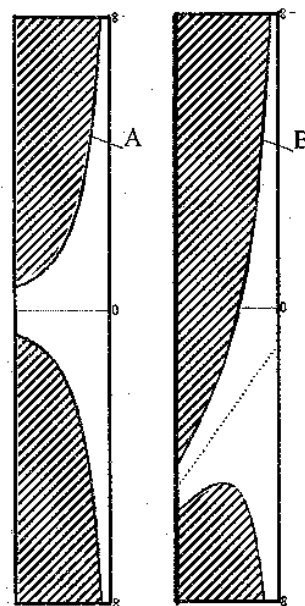


Рисунок 5 — Запропоновані форми криволінійних дифузорних карманів, які виконуються на поверхні сфери: а) віссиметричний канал; б) криволінійний дифузорний канал з плавними обводами

Дана конструкція дифузора відповідає трубіці течії ідеальної рідини [6], в якій проекції швидкості  $V_z$ ,  $V_r$  та функція течії  $\psi$  визначаються залежностями

$$V_z = -az, V_r = \frac{ar}{2}, \psi = \frac{-a}{2} zr^2,$$

де  $a$  — константа, що конкретизує картину течії;  $r, z$  — координати, визначені відносно вісі дифузора. Твірна дифузора визначається з умови  $\psi = \text{const} = c$  і описана залежностями

$$r = \sqrt{\frac{2c}{az}}, \text{ або } z = \frac{2c}{ar^2}, \quad (1)$$

де  $c$  — константа, що залежить від витрати рідини через дросель.

Для даного кармана швидкість на його вісі падає лінійно від максимального значення (в перетині дросельного отвору) до нуля (на стінці щілини).

При цьому швидкість частинок рідини на стінці збільшується по лінійному закону починаючи із критичної точки. Поле статичного тиску визначено із інтеграла Бернуллі і описана залежністю

$$p = p_0 - \frac{\rho a}{2} \sqrt{z^2 + \frac{r^2}{4}}, \quad (2)$$

де  $\rho$  — густина робочого середовища.

Розраховані по формулі (2) значення статичного тиску на вісі дифузора та на стінці є суттєво нелінійними (рисунок 6).

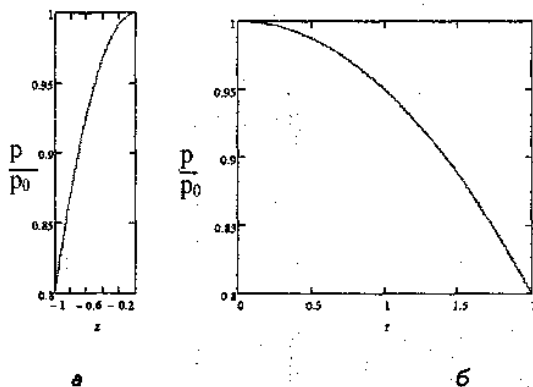


Рисунок 6 — Відносні значення статичного тиску на вісі каналу (а) та на стінці опори (б).

Виконання криволінійного каналу на поверхні сфери має певні технологічні труднощі. Запропоновано спеціальний інструмент (перову розвертку) для обробки поверхні каналу. Чистова обробка поверхні дифузора здійснюється гнучким притиром (мідний дріт), який переміщується зворотньо-поступально і обертається. При доводці почергово застосовуються грубі та тонкі алмазні пласти.

Виконання гідравлічних комунікацій безпосередньо в сфері дає можливість розробити раціональну компактну конструкцію штанг змінної довжини. Штанга має дві сферичні опори рідинного тертя 1 і 2 (рисунок 7).

Опора 1 встановлюється на нерухомій платформі і має магістралі підводу 3 та відводу 4 робочого середовища. Штанга має привод швидких переміщень який виконано у вигляді цифрового привода 5 (рисунок 7а) або привода з

тандем циліндрами 6 (рисунок 7б). Штанга має систему індикаторів 7, які реєструють фіксовані положення поршнів приводів.

Привод точних переміщень забезпечує точну відстань між сферами. Фактичне переміщення привода визначається вимірювачем 9 який разом із сигналами індикаторів 7 подається в ланцюги зворотнього зв'язку мехатронної системи керування довжиною штанги. Для керування приводами служать направляючі розподільники 10. Керування приводом точних переміщень здійснюється пропорційними розподільниками 11. З метою поліпшення показників динамічної якості штанга змінної довжини має пружно дисипативний демпфер 12 у вигляді кільцевої пружини з еластичною вставкою в середній частині кільцевої пружини.

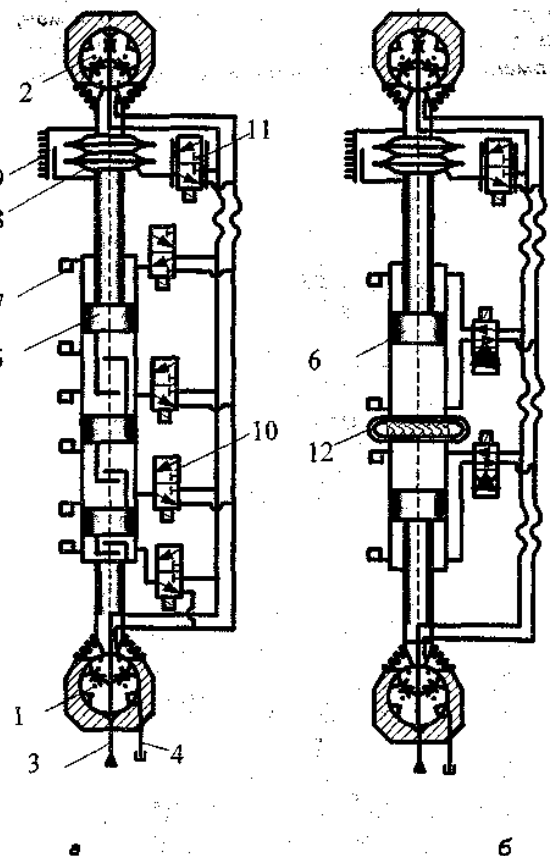


Рисунок 7 — Схемні реалізації штанг змінної довжини із сферичними опорами рідинного тертя: а — штанга із дискретним кроковим приводом швидких переміщень; б — штанга із приводом швидких переміщень у вигляді тандем циліндра.

Розроблені схемні рішення реалізовано у вигляді дослідного зразка просторової системи приводів (рисунок 8).

Просторову систему приводів виконано за схемою механізму трипода. Він має основу, яку виконано із окремих елементів 1. На основі встановлено стійку 2, на кінці

якої розміщено сферичний шарнір, на ньому встановлено рухому платформу 3. Платформа переміщується штангами змінної довжини у вигляді з'єднаних між собою тандем-циліндрів 4,5. Кожна штанга має пружно-дисипативний демпфер 6.

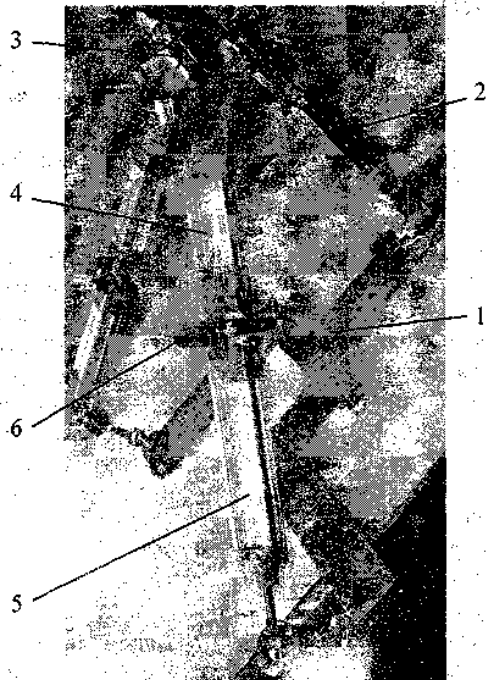


Рисунок 8 — Встановлення тандем-циліндрів у просторовій системі приводів.

#### Висновки

1. Виконання гідравлічних комунікацій в середині сфери зменшує масу і габарити сферичної опори в 3-4 рази. При цьому значно спрощується гідросхема опор.

2. Для забезпечення мінімальних втрат енергії та мінімального об'єму кармана рекомендовано виконання кармана у вигляді криволінійного дифузора.

3. Рациональним схемним рішенням штанги змінної довжини є об'єднання двох сферичних опор рідинного тертя з приводами точних переміщень та приводами швидких переміщень у вигляді цифрових пневмоприводів або приводів у вигляді тандем-циліндрів, з'єднаних між собою через пружно-дисипативний демпфер.

4. Як напрямок подальших досліджень рекомендується розробка мехатронної системи керування приводами штанг змінної довжини.

#### Література

1. Струтинський, С.В. Прецизійний поворотний вузол просторового механізму / С.В. Струтинський // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 17 — Кіровоград. — КНТУ, 2006. — С. 100—107.

2. Патент України на корисну модель №43729, МПК F16D3/16. Шарнір для просторового механізму / Струтинський С.В. — u200903735, заявл. 16.04.2009, опубл. 25.08.2009, Бюл. №16. — 3 с.

3. Strutinsky S. Technological provision of controlling the spherical aerostatic supporting knots of spatial mechanism in the quality mechatronic systems / S. Strutinsky, O. Jachno // Stowarzyszenia Inzynierow i Technikow Mechanikow Polskich, Wroclaw / Hydraulika i Pneumatyka. — № 6/2009, p.p. 19 — 23.

4. Струтинський, С.В. Наукові основи розробки регульованих сферичних опор рідинного тертя для просторових механізмів: Дис. канд.техн. наук. — Київ. — 2011. — 212 с.

5. Шиманович, М.А. Бесконтактные опоры с внешним источником давления смазочной среды // Станки и инструмент. — 1987. — № 6. — С.16—18.

6. Емцев, Б.Т. Техническая гидромеханика: Учебник для ВУЗов. — М.: Машиностроение, 1978. — 463 с.

Надійшла 08.09.2011 р.