

О.П. Губарев, д-р техн. наук,
О.С. Ганпанцурова, канд. техн. наук,
К.О. Беліков

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, г. Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА КОМПОНОВКИ ВУЗЛІВ ТЕПЛООВОГО ГІДРОПРИВОДА ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПРИЙМАЧА ГЕЛІОСТАНЦІЇ

Рассмотрены типовые конструктивные схемы гидравлических приводов вращения. Определены преимущества и недостатки применения их в тепловом гидроприводе. Рассмотрены конструкции модулей теплового гидропривода и факторы, влияющие на работу привода и точность позиционирования приемника гелиостанции.

Have been considered typical design of the hydraulic drive of rotation. Advantages and disadvantages of using these constructions in heat hydrodrive are defined. Considered design of the modules of the heat hydrodrive and factors which take influence to the work and accuracy of positioning the solar receiver of heliostation.

Вступ

Тепловий гідропривод, що використовує теплове розширення рідини, можна віднести до пасивних трекерів для позиціонування приймачів геліостанцій. Трекер працює без джерела струму та контрольних пристроїв. Для систем без електричного живлення та управління алгоритм позиціонування визначається конструкцією привода та впливом оточуючого середовища [1]. При такому підході виникає ряд проблем, пов'язаних з конструктивною схемою привода та його елементів. Конструкція повинна забезпечувати тривалу автономну експлуатацію, підведення теплової енергії до робочих камер, необхідну точність позиціонування.

Підведення теплової енергії до трекера, отриманої від сонця, забезпечується за допомогою збиральних лінз або фокусуючих дзеркал, які концентрують тепловий потік на теплопровідному елементі (ТЕ). Ефективне охолодження при зворотному ході, забезпечується за рахунок обтікання поверхні гільзи потоками повітря, для чого теплопровідні елементи розміщені зовні привода.

Мета дослідження

Основним завданням дослідження є обґрунтування раціональної компоновки теплового гідропривода та визначення основних параметрів його елементів.

Для ефективного підводу сонячної енергії теплосприймаючі елементи камер необхідно розміщувати зовні привода. Позиціонування ведеться по азимуту, і аналогом виконання трекера може бути конструкція радіального гідромотора. Вимога тривалої автономної експлуатації передбачає мінімізацію внутрішніх витрат (перетоків рідини між порожнинами високого та низького тиску). Для цього запропоновано привод з окремими робочими камерами кожного штовхача (рисунк 1, а) [2].

Для мінімізації витоків рідини в зовнішнє середовище в якості робочих камер привода вирішено використовувати сильфони. Відсутність рухомих ущільнень має забез-

печити тривале та багатократне перетворення теплового розширення робочої рідин (РР) в переміщення робочого органу привода (штовхача). Сильфони, вибрано з міркувань герметичності, забезпечуватимуть часткову компенсацію коливань початкового об'єму при зміні температури оточуючого середовища протягом строку експлуатації.

Обґрунтування вибору схеми виконання привода

Принцип роботи трекера, побудованого на базі теплового радіального гідропривода, полягає в наступному. Окремі модулі привода (штовхач–сильфон– камера розширення) розміщені по колу на кутах, які відповідають положенню сонця на небосхилі у певні проміжки часу. Тепловий потік від сонця концентрується на поверхні камери розширення і через теплопровідний елемент енергія передається до РР. Збільшення температури РР призводить до її об'ємного розширення та переміщення робочого органу на відповідну величину. Ця величина повинна відповідати прийнятому куту повороту приймача, швидкість його повороту — швидкості переміщення сонця небосхилом.

У початковий момент часу кут розташування приймача повинен відповідати положенню сонця на небосхилі у відповідний момент часу. У цей час відбувається спрацювання першого модуля, який повертає приймач на заданий кут з певною швидкістю. Через деякий час положення сонця на небосхилі співпадає з кутом розташування наступного модуля, який при нагріванні РР повертає приймач у наступне положення. Позиціонування приймача ведеться на вибраному діапазоні азимутальних положень сонця, які відповідають періоду в часи найбільш ефективної роботи приймача, як правило цей кут складає менше 180° [3].

При відсутності підведення теплової енергії до модулів привода, виконаного за схемою радіального гідромотору, протягом тривалого часу, який відповідає часу роботи

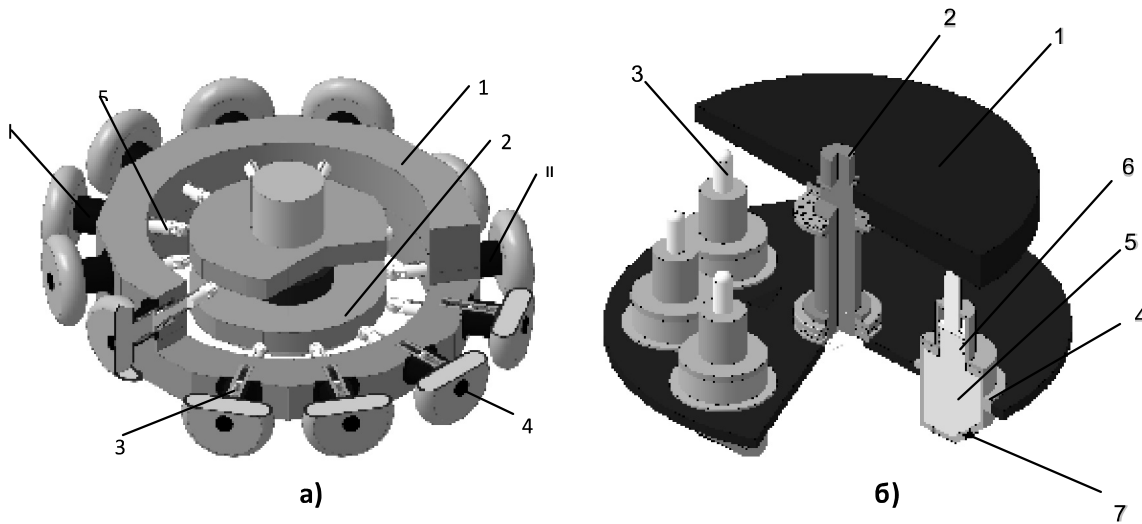


Рисунок 1 — Конструктивна схема приводу з радіальним розташуванням штовхачів (а) і аксіальним розташуванням штовхачів (б):

а): 1 – корпус; 2 – профільований кулачок; 3 – сиффон; 4 – теплопровідний елемент; 5 – штовхач; I – перший ряд штовхачів; II – другий ряд штовхачів; б): 1 – похилий диск; 2 – вихідний вал; 3 – штовхач; 4 – камера розширення; 5 – робоча рідина; 6 – сиффон

одного-двох штовхачів, подальше позиціонування не буде відбуватися так як кожен штовхач при спрацюванні підводить робочу ділянку профілю кулачка до наступного модуля. Через це при недостатньому переміщенні штовхача, недогріві робочої рідини в одному із модулей, не буде підведено робочу ділянку профілю до наступного штовхача. Також для повтору роботи модулів необхідно забезпечити встановлення приймача у початкове положення, що відповідає спрацюванню першого модуля. Забезпечення цієї дії при радіальному розміщенні штовхачів потребує додаткового механізму повернення у вихідне положення.

Одним з недоліків виконання трекера за схемою радіального гідропривода є алгоритм послідовної роботи модулів, який закладено в конструкцію. Також відсутність регулювання швидкості переміщення впливає на точність позиціонування та залежить від перебігу термодинамічних процесів при нагріванні робочої рідини. Тому необхідно також конструктивно забезпечити постійну швидкість позиціонування приймача, що відповідає швидкості переміщення сонця.

При виконанні трекера за схемою аксіально-поршневого мотора (рисунок 1, б) відсутній алгоритм послідовної роботи модулів та необхідність в додатковому механізмі встановлення у вихідне положення приймача. Модулі, як і при радіальній схемі, розташуванні на кутах, які відповідають положенням сонця на небосхилі у певні проміжки часу. У залежності від кута розміщення модуля та поточного положення сонця через теплопровідні елементи проходить певна кількість теплової енергії. Модуль, кут розташування якого відповідає поточному положенню сонця, отримає більшу кількість теплової енергії, ніж інші та матиме найбільше розширення рідини. При розширенні рідини в камері зростає тиск до тих пір, поки не подолає сили протидії і не

відбудеться переміщення штовхача, яке компенсує розширення рідини збільшенням робочого об'єму модуля. Швидкість розширення рідини залежатиме від швидкості перебігу термодинамічних процесів при її нагріві, тоді як швидкість повороту приймача залежатиме від швидкості охолодження попереднього модуля. Відтак, позиціонування приймача відбуватиметься за напрямком рівнодіючої сил штовхачів.

Визначення основних силових залежностей та характеристик трекера. Точність позиціонування приймача відносно положення сонця, в обох випадках, залежить від кількості штовхачів, яка зумовлена геометричними розмірами модуля та привода в цілому. Похибка позиціонування приймача, в діапазоні роботи одного модуля, залежить від швидкості протікання термодинамічних і гідромеханічних процесів в модулі і лежить в межах його робочого кута

$$\phi = 2k \arcsin\left(\frac{D}{2R}\right), k > 1, \quad (1)$$

$$k = \frac{\text{PR} \cdot \alpha_{\text{повн}}}{D \cdot n \cdot 180^\circ},$$

де n — кількість штовхачів; R — відстань від осі обертання похилого диску до штовхача; $\alpha_{\text{повн}}$ — кут між крайніми штовхачами; D — зовнішній діаметр корпусу штовхача.

Оскільки привод складається з окремих модулів, то додатковим завданням є побудова їх раціональної конструкції. Побудова привода з прямим з'єднанням сиффону-штовхача з камерою розширення — моноблок (рисунок 2, а) збільшує габарити та матеріаломісткість привода. Це частково вирішується відділенням сиффону від камери за допомогою трубопроводу (рисунок 2, б).

Як видно з (1), підвищити точність позиціонування приймача можна збільшенням кількості штовхачів. При виконанні модулів у вигляді моноблоку їх кількість зале-

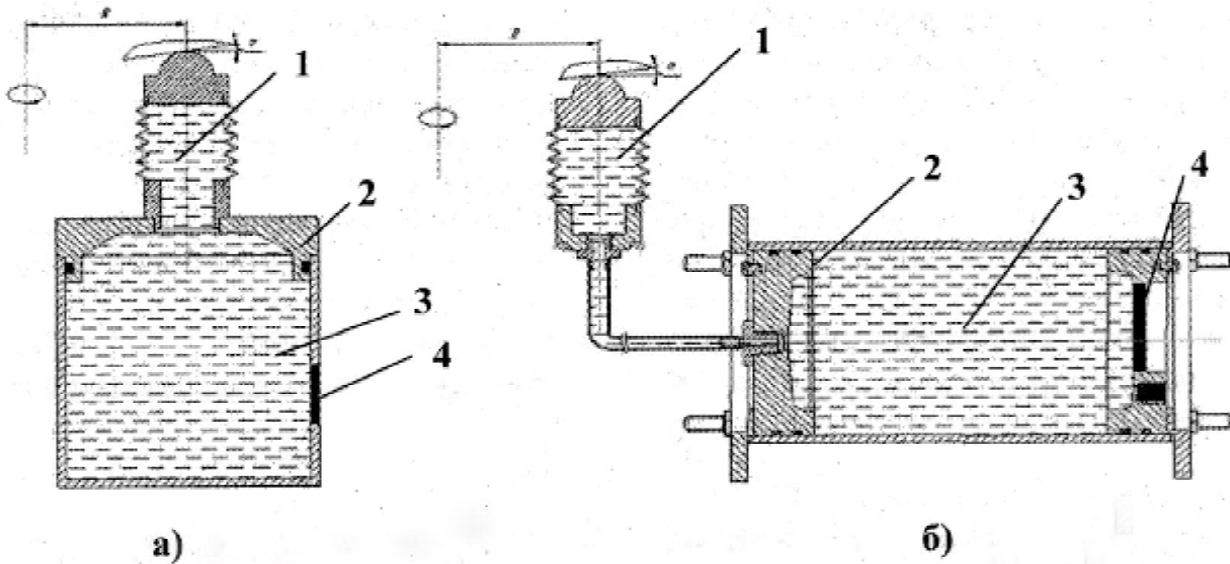


Рисунок 2 — Конструкція модуля теплового гідроприводу з прямим з'єднанням штовхача і камери розширення (а) та через трубопровід (б): 1 – сиффон; 2 – камера розширення; 3 – робоча рідина; 4 – теплопровідний елемент

Таблиця 1 — Обмеження кількості штовхачів їх геометричними розмірами та радіусом розташування

R, мм	100	150	200	250	300	100	150	200	250	300	100	150	200	250	300
$d_{шт}(d_c)$, мм/Пшт	30 (20)/6	30 (20)/8	30 (20)/11	30 (20)/13	30 (20)/16	45 (30)/4	45 (30)/6	45 (30)/7	45 (30)/9	45 (30)/11	60 (40)/3	60 (40)/4	60 (40)/5	60 (40)/7	60 (40)/8
$D_{кр}$, мм/Пшт	80/2	80/3	80/4	80/5	80/6	100/2	100/3	100/3	100/4	100/5	120/1	120/2	120/3	120/3	120/4

Таблиця 2 — Запас ходу штовхача та величина стиснення сиффону (кут нахилу похилого диску $\beta = 5^\circ$)

$x(\alpha)$, мм	R = 100 мм	R = 150 мм	R = 200 мм	R = 250 мм	R = 300 мм
0°	0	0	0	0	0
±15°	2,3	3,4	4,5	5,7	6,8
±30°	4,4	6,6	8,8	10,9	13,1
±40°	5,6	8,4	11,3	14,1	16,9
±50°	6,7	10,1	13,4	16,8	20,1
±60°	7,6	11,4	15,2	18,9	22,7
±70°	8,2	12,3	16,4	20,6	24,7
±80°	8,6	12,9	17,2	21,5	25,9
±90°	8,8	13,1	17,5	21,9	26,3

жатиме від розмірів камери розширення ($D_{кр}$), тоді як при відокремленні сільфону – від розмірів корпусу штовхача $d_{шт}$ (таблиця 1).

Водночас кількість штовхачів, їх розміри та побудова модуля впливають на розміри привода. Від радіуса розміщення штовхачів та кута нахилу похилого диску залежить запас ходу штовхача та величина стиснення сільфону похилим диском (таблиця 2)

$$x = R \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \alpha,$$

де γ — кут між поверхнею похилого диску та горизонтальною площиною; α — кут повороту диска відносно штовхача.

Зміна температури оточуючого середовища протягом експлуатації привода викликати змїну об'єму рідини в модулі. Розширення рідини у камері за відсутності об'ємної компенсації викликати зростання тиску. Перевищення критичного рівня тиску в камері розширення (для метилового спирту $p_{кр} = 5-8 \text{ МПа}$) [4, 5] є недопустимим. Додатковий приріст тиску в камерах розширення (без врахування жорсткості сільфонів) буде виникати за рахунок стиснення сільфонів штовхачів направляючою поверхнею похилого диску при його повороті:

$$\Delta p = \frac{E \cdot (\Delta W_0(T_{oc}) + |F_{ef} \cdot R \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \alpha|)}{W_{кр} + W_c}, \quad (2)$$

де Δp — приріст тиску; $\Delta W_0(T_{oc})$ — змїна об'єму рідини від змїни температури оточуючого середовища; E — модуль пружності рідини; F_{ef} — ефективна площа сільфону; $W_{кр}$ — об'єм РР у камері розширення; W_c — об'єм РР у сільфоні.

За попередніми підрахунками підвищення тиску в камерах розширення при підвищенні температури оточуючого середовища з $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+40 \text{ }^\circ\text{C}$, за відсутності компенсації переміщення штовхача, складає 30 МПа ($W_0 = 500 \text{ мл}$

при $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Підвищення тиску, викликане дією на штовхач поворотного диску (рисунок 3), може призвести до заклинювання привода при виконанні умови:

$$\Delta p(\alpha_i) F_{ef} + N \geq \Delta p(T) F_{ef}, \quad (3)$$

де $\Delta p(\alpha_i)$ — збільшення тиску в камері розширення викликане поворотом похилого диску; N — навантаження на штовхач при повороті приймача; $\Delta p(T)$ — збільшення тиску викликане розширенням РР.

Аналіз впливу температурних та механічних факторів свідчить, що змїна температури оточуючого середовища у бік її підвищення викликає зростання тиску в камерах розширення. Це зумовлює збільшення ступеня стиснення штовхачів похилим диском та зменшує величину корисного навантаження на привід.

Одним із шляхів вирішення проблеми додаткового приросту тиску є компенсація ходу штовхача чи об'єму камери розширення за допомогою пружного елемента. У випадку компенсації ходу штовхача пружиною (рисунок 4, а) надлишок переміщення штовхача передається пружині. При стисненні штовхача похилим диском в сільфоні виникати зростання тиску, яке компенсуватиметься стисненням пружини. При встановленні пружини в камері розширення (рисунок 4, б) зростання тиску компенсуватиметься змїною її об'єму.

Необхідно враховувати як вплив геометричних параметрів привода, так і поточне переміщення штовхача кожного з модулів під впливом температури. Різниця між запасом хода та переміщенням штовхача дасть величину стиснення пружини.

Приймаючи максимально допустиме значення тиску в камері розширення та сільфоні $p_{дон} = 4 \text{ МПа}$, розрахунок корисного навантаження на штовхач та вибір пружин для компенсації переміщення штовхача здійснюється із

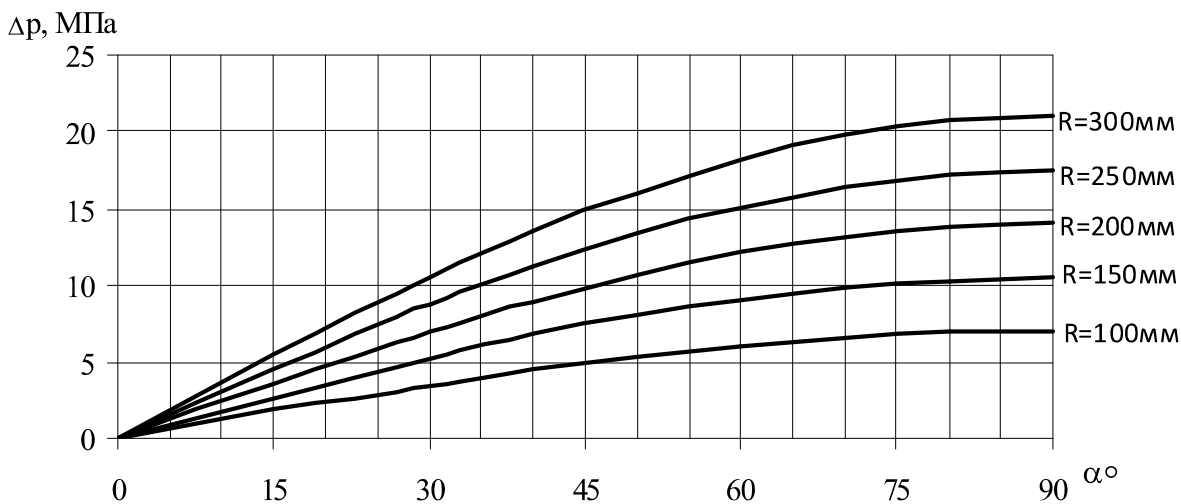


Рисунок 3 — Залежність збільшення тиску в камері розширення від кута повороту похилого диску відносно його початкового положення ($\Delta T = 0^\circ$, $W_0 = 500 \text{ мл}$, $\gamma = 5^\circ$)

Рисунок 4 — Компенсація ходу штоvwхача (а) та об'єму камери розширення (б):

а): 1 – штоvwхач; 2 – компенсуюча пружина; 3 – приєднувальний отвір; б): 1 – гільза; 4 – шайба; 5 – кришка

системи рівнянь:

(4)

де N - корисне навантаження на штоvwхач, яке визначається з суми моментів тертя в підшипниках $M_{тр}$ та моментом інерції M_i платформи; c - жорсткість пружини; x_0 - величина попереднього стиснення пружини; φ_i - значення кута повороту похилого диску для кожного з штоvwхачів; n - кількість штоvwхачів.

При компенсації тиску за рахунок збільшення об'єму камери розширення стиснення пружини відбувається лише під дією сили тиску:

(5)

де $D_{вн}$ - внутрішній діаметр камери розширення.

В такому разі величина x компенсує перевищення запасу ходу штоvwхача, що викликає зростання тиску в камері, збільшуючи об'єм самої камери. Величина попереднього стиснення пружини x_0 обирається для компенсації зміни початкового об'єму рідини при зміні температури оточуючого середовища.

Висновки

Аналіз типових конструкцій теплового гідропривода показав, що можна отримати більшу точність та зменшити матеріаломісткість для типу аксіально-поршневого мотору. Виконання модулів з відділенням штоvwхачів від камер розширення зменшує матеріаломісткість, спрощує їх розміщення та дозволяє отримати вищу точність позиціонування приймача, за рахунок збільшення кількості штоvwхачів.

Переміщення штоvwхача при початковому об'ємі робочої рідини $W_0=500$ мл, нагріві робочої рідини від 20о до 60 оС та ефективній площі сильфону $F_{ef}=7,1 \cdot 10^{-4}$ м² становить 0,034 м, що відповідає повороту приймача на кут $\varphi=15о$ ($\varphi=5о$). Похибка позиціонування приймача одним модулем, при діапазоні позиціонування 160о, радіусі розташування штоvwхачів $R=200$ мм та їх кількості $n=7$, лежить в межах 0–22°. При збільшенні кількості штоvwхачів до $n=11$ похибка позиціонування лежатиме в межах 0–14°, (якщо врахувати взаємодію двох модулів, які знаходяться в зоні

позитивних значень запасу ходу). Визначення похибки позиціонування під час роботи модуля потребує уточнення.

Підвищення тиску при нагріві робочої рідини і відсутності об'ємної компенсації, за рахунок підвищення температури оточуючого середовища з 20о до 40оС, за розрахунками, досягає значення 30 МПа. Запропоновано використання пружних елементів для об'ємної компенсації зростання тиску.

Література

1. Design and construction of a one-axis sun-tracking system / S.A.Kalogirou // - Solar Energy : Elsevier, №57 (6) - P.465-469.
2. Pattanasethanon S. The Solar Tracking System by Using Digital Solar Position Sensor / Pattanasethanon S. // American J. of Engineering and Applied Sciences : Science Publications. - 2010. - №3 (4). - P. 678-682.
3. Башта Г.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. - М: Машиностроение, 1974.
3. Справочник химика т.3, Л.-М.: Химия, 1965.
4. Рабинович В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин - Л.: Химия, 1977 - с. 161.

Надійшла 22.10.2012 року