

К. О. Беліков¹
 О. С. Ганпанцурова¹
 О. П. Губарев¹

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛООВОГО ГІДРОПРИВОДУ В СИСТЕМІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ГЕЛІОСТАНЦІЇ

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Розглянуто схеми та принципи роботи теплових об'ємних приводів. Запропоновано використання температурного розширення рідини, як принципу роботи теплового гідроприводу. Сформульовані вимоги до робочих рідин теплового гідроприводу. Обґрунтовано можливість використання теплового гідроприводу, як приводу позиціонування приймача геліостанції. Розроблені схеми теплового гідроприводу та основні залежності.

Ключові слова: об'ємний привод, тепловий гідропривод, схеми теплового гідроприводу.

Вступ

Широке розповсюдження в техніці отримали гідроприводи об'ємної дії. Принцип роботи об'ємних гідроприводів ґрунтується на переміщенні вихідної ланки під дією тиску, внаслідок зміни об'єму робочого тіла в камері. Як робоче тіло використовуються рідини, гази та їх суміші. Зміна об'єму робочого тіла в камері може здійснюватися за різними схемами (рис.1). Гідравлічні та пневматичні приводи (рис. 1а) використовуються в системах циклової автоматики, системах позиціонування, як слідкувальні приводи. [1]. Робоча рідина, яка використовується в гідроприводі, має

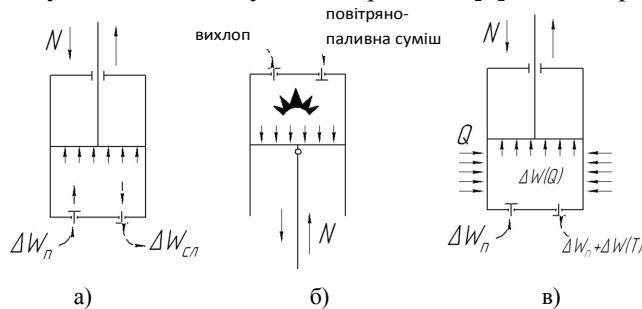


Рис. 1. Принципові схеми роботи об'ємних приводів:
 а — гідравлічний/пневматичний привід; б — двигун внутрішнього згоряння; в — тепловий привід

забезпечувати змащення рухомих ланок, характеризуватися мінімальною залежністю в'язкості від температури для експлуатаційного діапазону температур, високим об'ємним модулем пружності, високими коефіцієнтами теплопровідності і питомою теплоємністю, малим коефіцієнтом теплового розширення [2].

Вимога до коефіцієнта теплового розширення пов'язана з впливом температури на витратні характеристики гідроприводів (гідроапаратів) [3]:

$$Q = \mu f \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}; \quad \rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta \Delta T},$$

де μ — коефіцієнт витрати; f — площа перерізу; ρ — щільність робочої рідини; Δp — різниця тисків на вході і виході з гідроапарата; β — коефіцієнт об'ємного розширення рідини; ΔT — величина зміни температури робочої рідини, ρ — густина при 20 °С.

В теплових двигунах зміна об'єму робочого тіла може відбуватися безпосередньо в робочій камері вихідної ланки (двигун внутрішнього згоряння) (рис. 1б), або за рахунок підведення теплової енергії ззовні (рис. 1в). Для теплового приводу, що працює за рахунок температурного розширення робочого тіла, коефіцієнт об'ємного розширення має бути високим, а коефіцієнти теплопровідності і теплоємності — низькими.

Метою роботи є обґрунтування можливості використання теплового гідроприводу в системі позиціонування приймача геліостанції.

Результати дослідження

Більшість теплових двигунів працюють за циклом Карно, де процес охолодження замінений відведенням робочого тіла з робочої камери і здійснюється поза неї. Це пов'язано з тим, що процес

нагріву-охолодження в самій камері є дуже енергоємним і малоефективним.

Схема роботи теплового приводу, у якому нагрівання та охолодження робочого тіла відбувається в робочій камері, може використовуватися в слідкувальних системах для компенсації зміни температури навколишнього середовища та зменшення впливу температури робочої рідини на витратні характеристики пристроїв. Також, такий привід може використовуватися у випадку, коли необхідно проводити стеження за переміщенням джерела теплової енергії. Наприклад, геліостанція, оснащена приводом позиціонування (трекером). Для підвищення ефективності відбору сонячної енергії необхідно забезпечувати падіння сонячних променів на поверхню сонячної панелі під прямим кутом. Це дозволяє підвищити випромінювання на поверхню приймача геліостанції до 50 % [4].

Позиціонування приймача геліостанції проводиться протягом світлового дня, при цьому кут повороту складає менше 180° в горизонтальній площині. Позиціонування проводиться згідно з показаннями диференціального датчика освітленості.

З використанням рідини з високим коефіцієнтом об'ємного розширення (робоче тіло) можна побудувати пасивний тепловий гідропривод позиціонування (рис. 2). Такий привід складається з окремих модулів, заповнених робочою рідиною. Нагрівання робочої рідини здійснюється за рахунок підведення сонячної енергії до теплового вікна камер приводу, в залежності від положення сонця. Позиціонування приймача геліостанції відбувається за найбільш нагрітим модулем.

Модуль приводу складається з камери розширення і пружного елемента типу сильфон (рис. 3).

Камера розширення призначена для зберігання основного об'єму робочої рідини. Одна із стінок камери містить теплопровідний елемент (теплове вікно), який виконано з матеріалу з високим коефіцієнтом теплопровідності. На поверхні теплопровідного елемента відбувається фокусування сонячного випромінювання. Теплова енергія передається робочій рідині. Підведена енергія змінює об'єм рідини. Надлишковий об'єм сприймається пружним елементом і перетворюється в лінійне переміщення штовхача. Вибір сильфона обумовлений вимогами до герметичності модуля і відсутності витоків, які присутні за наявності пар тертя «поршень—гільза».

Як робоче тіло можуть бути використані рідини з високим коефіцієнтом теплового розширення. Вибір робочої рідини виконується з урахуванням коефіцієнта об'ємного розширення, критичних температур і допустимих тисків. Більше значення коефіцієнта об'ємного розширення дозволяє отримати більше значення ходу штовхача за того ж об'єму робочої рідини (тих самих розмірів модуля) [5].

Величина переміщення вихідної ланки, хід штовхача, залежить від об'єму робочої рідини, коефіцієнта теплового розширення і величини зміни температури

$$h = \frac{\beta W_0 \Delta T}{F_{\text{эф.с}}},$$

де W_0 — початковий об'єм робочої рідини в модулі; ΔT — зміна температури рідини внаслідок

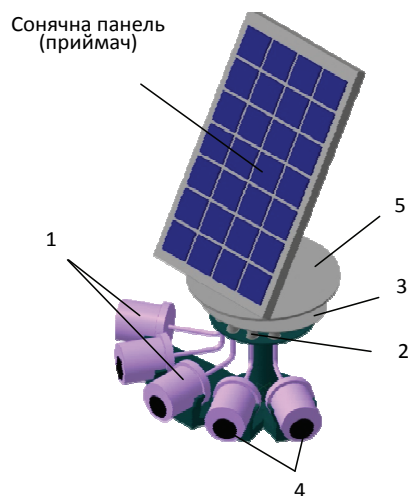


Рис. 2. Конструктивна схема теплогідралічного приводу позиціонування приймача геліостанції аксіального типу: 1 — камера розширення; 2 — блок штовхачів; 3 — похилий диск; 4 — теплове вікно; 5 — обертова платформа приймача

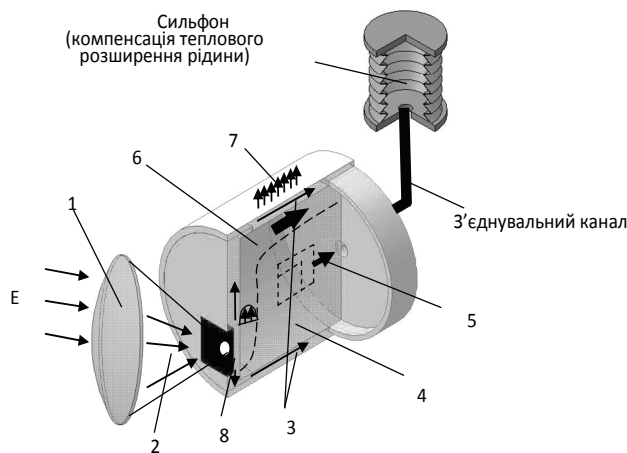


Рис. 3. Схема теплових і енергетичних потоків в модулі теплового гідроприводу:

Е — сонячне випромінювання; 1 — фокусуюча лінза; 2 — променевий потік, який підводиться до теплового вікна; 3 — тепловий потік через гільзу; 4 — рідина з високим коефіцієнтом теплового розширення; 5 — переміщення надлишкового об'єму рідини через канал до компенсатора; 6 — переміщення нагрітої рідини від теплопровідного елемента (теплового вікна 8); 7 — втрати теплоти у зовнішнє середовище

нагрівання; $F_{\text{эф. с.}}$ — ефективна площа сільфона.

Через особливості модульної конструкції, привід являє собою кроковий двигун і здійснює позиціонування на основі алгоритму, закладеного в конструкцію.

Перетворення на кожному кроці лінійного переміщення штовхача в поворот приймача відбувається через взаємодію з похилим диском (рис. 4).

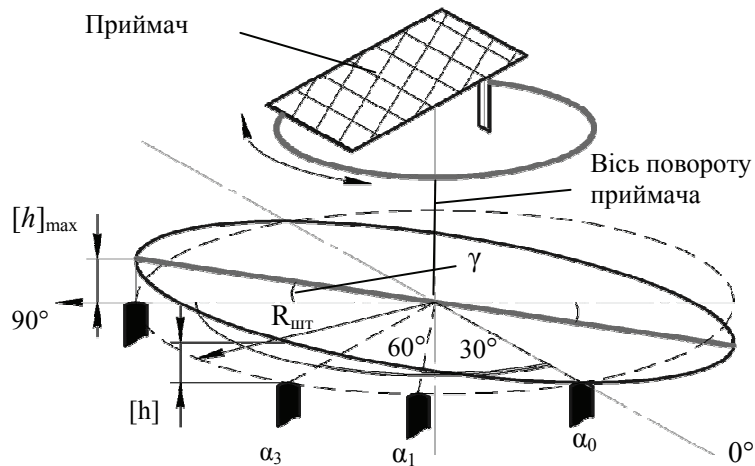


Рис. 4. Принципова схема теплового гідроприводу позиціонування приймача: α_n — кут розташування модуля; $[h]$ — запас ходу штовхача; $[h]_{\text{max}}$ — максимальний запас ходу штовхачів; $R_{\text{шт}}$ — радіус розташування штовхачів; γ — кут нахилу диску

Кут повороту диска, здійснюваний одним модулем, визначається як:

$$\Delta\phi_i = -\frac{h_i - [h]_i}{[h]_{\text{max}} - [h]_i} (\phi_i - \alpha_i); \quad h_i > [h]_i;$$

$$[h]_i = R \cdot \text{tg } \gamma \cdot \sin(90 - |\alpha_i - \phi_i|),$$

де ϕ_i — поточний кут орієнтації приймача; α_i — кут розташування штовхача.

Розроблено декілька варіантів кінематичних схем модульного приводу [6, 7]. Для дослідження їх основних характеристик побудовано узагальнену структурну схему процесу роботи приводу, покладену в основу математичної моделі, що об'єднує моделі елементарних процесів і перетворень в алгоритм функціонування теплового гідроприводу (рис. 5).

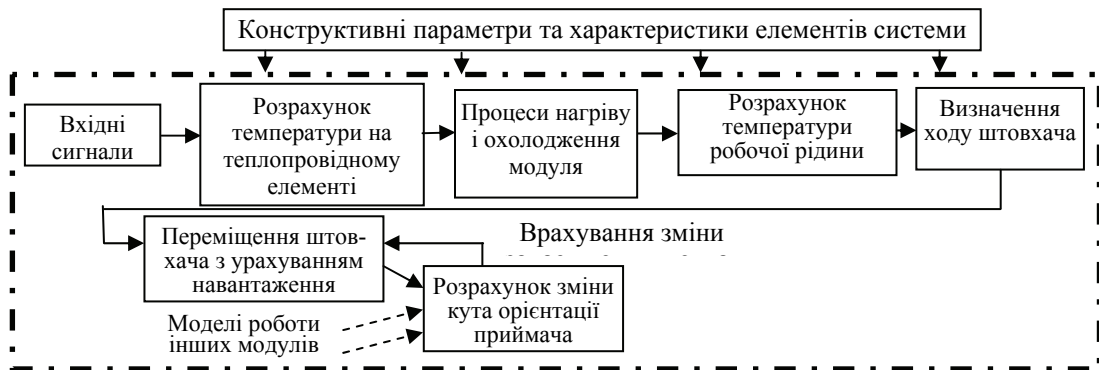


Рис. 5. Структура математичної моделі теплового гідроприводу позиціонування приймача

Відповідно до структурної схеми створено спрощену математичну модель теплового гідроприводу позиціонування приймача геліостанції, яка враховує теплові і енергетичні потоки згідно з рис. 3. Модель реалізовано в середовищі Simulink пакету Matlab. Особливістю моделі є об'єднання кінематичних і теплових процесів за умов моделювання тривалого проміжку часу. За результатами модельного дослідження отримано характеристики зміни кута положення приймача протягом виділеного періоду експлуатації.

Моделювання роботи приводу відбувалось відповідно до схеми (рис. 4). Перший і останній штовхачі розміщено на кутах 30° і 120° , відповідно. Кут між проміжними штовхачами складає 30° .

Об'єм камери розширення складає $0,5 \text{ дм}^3$. За робочу рідину використовувався метиловий спирт ($\beta = 0,00124 \text{ К}^{-1}$). Моделювання роботи приводу (рис. 6) проводилось для різних співвідношень ефективної площі сільфону до об'єму камери та різних кутів нахилу похилого диску.

Отримані залежності підтвердили кроковий характер дії приводу, спричинений періодами «конкуренції» між суміжними штовхачами приводу. За рахунок інерційності нагріву рідини, з одного боку, та часу теплообміну в рідині, з іншого боку, помічено певне відставання в залежності від ходу кожного модуля по відношенню до динаміки змін отримуваного теплового потоку.

За результатами моделювання роботи теплового гідроприводу встановлено похибку позиціонування приймача, яка складає менше 15° . Така похибка позиціонування відповідає енергетичним втратам променевого потоку на поверхню приймача, що не перевищують $5 \dots 10 \%$.

Встановлено, що точність позиціонування залежить від кількості модулів, кутів розташування штовхачів і орієнтації теплового вікна відносно штовхача та джерела випромінювання. Також, на точність позиціонування впливає час підведення та рівень потужності випромінювання. За відсутності підведення променевого потоку до модулів приводу, орієнтація приймача відповідає останньому штовхачу, що спрацював. Але, за конструктивною схемою, за умов поновлення променевого потоку, позиціонування відбувається за модулем, на який діє вхідний тепловий потік.

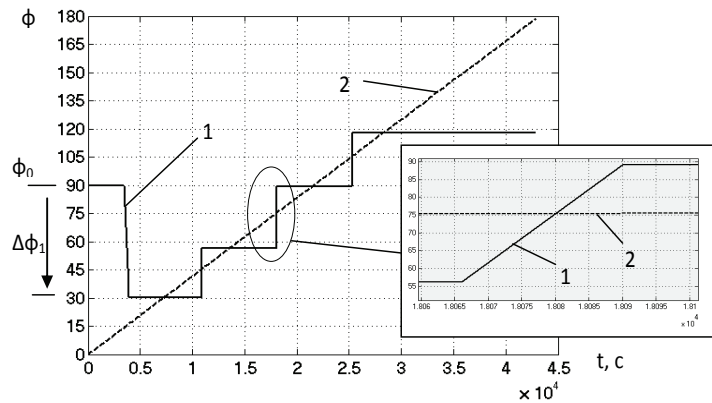


Рис. 6. Результати моделювання роботи теплогідравлічного приводу позиціонування приймача геліостанції (1) відносно зміни положення сонця (2): ϕ_0 — початкове положення приймача; $\Delta\phi_1$ — поворот приймача відповідно до спрацювання першого модуля

Висновки

За результатами аналізу встановлено, що привід, який використовує об'ємне розширення робочої рідини, спричинене нагріванням, може застосовуватися в системах позиціонування. На відміну від вимог до робочої рідини гідроприводів, рідина в теплому гідроприводі повинна мати високий коефіцієнт об'ємного розширення, а камера має бути майже недеформованою з узгодженими вхідним та вихідним тепловими потоками. За отриманими прогнозованими даними щодо характеристик, привод можна використовувати в системах позиціонування сонячних панелей за діапазоном зусиль та точністю позиціонування. Запропонований теплогідравлічний привод не потребує додаткових джерел енергії, систем керування та засобів контролю напряму і потужності сонячного випромінювання. Одним з недоліків запропонованої системи є велика інерційність і низька швидкодія. Це пов'язано з великими значеннями коефіцієнтів теплоємності і теплопровідності робочих рідин і елементів конструкції. Цей недолік можна компенсувати за рахунок раціональної конструкції та вибору параметрів, що уточнюють алгоритм роботи приводу. За попередніми розрахунками середня помилка позиціонування приймача щодо сонця, з використанням запропонованої схеми теплового гідроприводу з об'ємом камери ($0,5 \dots 0,8$) дм^3 , не перевищує 15° (50 % модульного кроку). Для отримання силових та динамічних характеристик приводу необхідне проведення додаткового експериментального дослідження з визначенням впливу конструктивних параметрів камери та її матеріалу на динаміку процесів теплообміну в робочій рідині.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Башта Т. М. Гідроприводи и гидро- пневмоавтоматика / Т. М. Башта. — М. : Машиностроение, 1972. — 320 с.
2. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика / Т. М. Башта. — М. : Машиностроение, 1971. — 672 с.
3. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления / А. Д. Альтшуль — М. : Стройиздат, 1973. — 224 с.
4. Pattanasethanon S. The Solar Tracking System by Using Digital Solar Position Sensor / S. Pattanasethanon // American J. of Engineering and Applied Sciences : Science Publications. — 2010. — № 3 (4). — P. 678—682.
5. Губарев О. П. Thermal hydraulic actuator (Тепловий гідравлічний привод) / О. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова, К. О. Беліков // Вісник машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». — НТУУ «КПІ», Київ. — 2013. — № 67. — С. 115—121.
6. Патент на корисну модель № 58269 МПК51, F01C 1/067, F01C 1/113. Тепловий гідромотор / К. О. Беліков, О. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова. — № u201010557 ; заяв. 31.08.2010 ; опубл. 11.04.2011, Бюл.

7. Патент на корисну модель № 85038 МПК51, F01C 5/00. Тепловий аксіальний гідромотор / К. О. Беліков, О. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова . — № u201305183; заяв. 22.04.2013 ; опубл. 11.11.2013, Бюл. 21.

Рекомендована кафедрою металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 19.01. 2015

Губарев Олександр Павлович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки, e-mail: gubarev@i.ua;

Ганпанцурова Оксана Сергіївна — канд. техн. наук, доцент кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки;

Беліков Костянтин Олександрович — асистент кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

К. О. Bielikov¹
О. S. Ganpanturova¹
О. P. Gubarev¹

Using thermal hydraulic actuator in heliostation

¹National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

Charts and principles of work of thermal volume drives are considered. Requirements to the working liquids of thermal hydraulic drive are formulated. The use of temperature expansion of liquid and the principle of work of thermal hydraulic drive are offered. Possibility of the use of thermal hydraulic drive is substantiated, as a drive of positioning of receiver of heliostation. The charts of thermal hydraulic drive and basic dependences are developed.

Keywords: volumetric drive, thermal hydraulic drive.

Gubarev Oleksandr P. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Applied Fluid Mechanics and Mechanotronics, e-mail: gubarev@i.ua;

Ganpanturova Oksana S. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Applied Fluid Mechanics and Mechanotronics;

Bielikov Kostiantyn O. — Assistant of the Chair of Applied Fluid Mechanics and Mechanotronics

К. А. Беликов¹
О. С. Ганпанцурова¹
А. П. Губарев¹

Использование теплового гидропривода в системе позиционирования гелиостанции

¹ Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Рассмотрено схемы и принципы работы тепловых объемных приводов. Предложено использование температурного расширения жидкости, как принципа работы теплового гидропривода. Сформулированы требования к рабочим жидкостям теплового гидропривода. Обоснована возможность использования теплового гидропривода, как привода позиционирования приемника гелиостанции. Разработаны схемы теплового гидропривода и основные зависимости.

Ключевые слова: объемный привод, тепловой гидропривод.

Губарев Александр Павлович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры прикладной гидроаэромеханики и механотроніки, e-mail: gubarev@i.ua;

Ганпанцурова Оксана Сергеевна — канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной гидроаэромеханики и механотроніки;

Беликов Константин Александрович — ассистент кафедры прикладной гидроаэромеханики и механотроніки