

О.П. ГУБАРЕВ, док. техн. наук, Ю.О. ПИЖИКОВ, К.О.БЄЛКОВ.

ТЕПЛОВИЙ ГІДРОСТАТИЧНИЙ СЛІДКУЮЧИЙ ПРИВОД ГЕЛІОСТАНЦІЇ

Розглянуто вимоги до приводу позиціонування приймача геліостанції відносно сонця. Запропоновано використання ефекту теплового розширення рідини, під впливом збільшення її температури, і створення на його основі теплового гідроприводу позиціонування приймача, який працює від теплового потоку сонячного світла. Сформульовано вимоги до коефіцієнту теплового розширення та до модуля пружності робочих рідин. Визначено основні геометричні параметри приводних елементів та їх характеристики, що забезпечують працездатність теплового гідроприводу.

Рассмотрены требования к приводу позиционирования приемника гелиостанции относительно солнца. Предложено использование эффекта теплового расширения жидкости, под действием увеличения её температуры, и создание на его основе теплового гидропривода позиционирования приемника, который работает от теплового потока солнечного света. Сформулированы требования к коэффициенту теплового расширения и к модулю упругости рабочих жидкостей. Определены основные геометрические параметры приводных элементов, а также, их характеристики, которые обеспечивают работоспособность теплового гидропривода.

Considered requirements to drive the positioning receiver sun power relative to the sun. Proposed use of the effect of thermal expansion of the liquid under the effect of increasing its temperature, and creation on this basis the thermal hydraulic positioning receiver which operates on the heat flux of sunlight. Formulated requirements for coefficient of thermal expansion and modulus of elasticity of fluids. Identified basic geometrical parameters of the drive elements, as well as their characteristics, which provide the thermal hydraulic performance.

Геліостанції, що видобувають енергію за допомогою фотогальванічних елементів, при фіксованому положенні приймача є малоефективними, через низький рівень і непостійність сонячного освітлення. Для підвищення їх ефективності (до 40% влітку; до 20% взимку) використовують слідкуючий привід – трекер [1]. Але з огляду на те, що трекари, в своїй більшості, споживають електроенергію [2, 3], знижуючи ефективність геліостанції, з'являється можливість розробки трекеру, що не споживав би електроенергію. Одним з варіантів такого слідкуючого приводу, може бути трекер на базі теплового двигуна, що працює на тепловій енергії сонця.

До такого типу теплових двигунів відноситься двигун Стірлінга, що перетворює теплову енергію в механічну за рахунок нагрівання та охолодження повітря [4]. Через низьку потужність, складність конструкції та неможливість регулювання швидкості його застосування є малоефективним і недоцільним в слідкуючій системі. Більш доцільним може бути тепловий гідравлічний двигун [5], що має кращі силові характеристики, через значно більший модуль пружності рідини відносно повітря [6], але також не має можливості регулювання швидкості.

Ціль роботи

Основною задачею роботи є дослідження можливості використання теплового гідроприводу, який використовує властивість об'ємного розширення рідини при збільшенні її температури, позиціонування приймача геліостанції баштового типу.

Задачами роботи є:

аналіз принципу роботи відомих приводів позиціонування приймача геліостанції, визначення їх переваг та недоліків;

розробка схеми теплового приводу, що працює за рахунок розширення рідини;

вибір робочої рідини та визначення параметрів приводу.

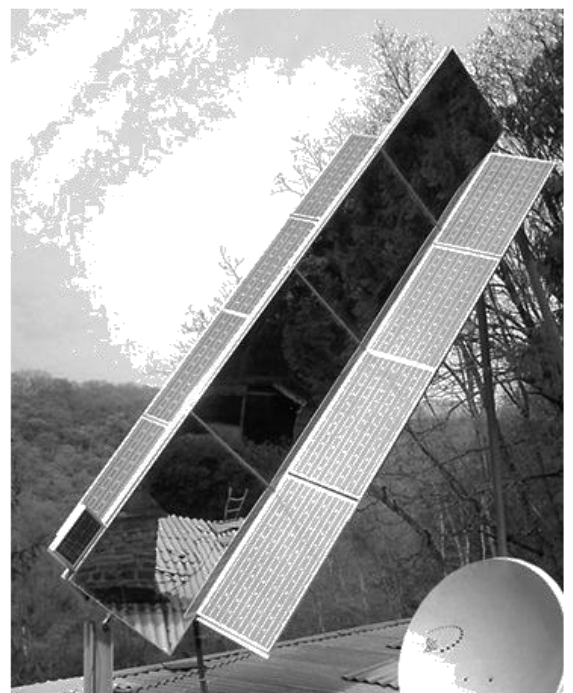


Рис.1. Принципова конструкція двовісного трекеру (а) та приклад геліостанції з похилим розташуванням сонячних панелей і одновісним трекером (б)

Аналіз принципу роботи приводів позиціонування.

Трекери діляться на одно- та двовісні [1, 3]. Одновісні трекери відслідковують положення сонця по горизонталі при його русі зі сходу на захід, двовісні відслідковують ще й амплітуду (вертикальну зміну положення) сонця. Діапазон регулювання положення приймача по вертикалі складає від 10° до 85° , а слідкування по азимуту складає до 300° або повний оберт навколо вертикальної вісі, в залежності від конструкції та видів приводів трекеру [2,3].

Більшість трекерів представляють собою силові приводи, як обертові так і лінійні, з електронним керуванням та зворотнім зв'язком, обладнані датчиками,

що сприймають світловий потік від сонця, та контролером, що порівнює дані з датчиків та передає керуючий сигнал на привід [2]. Вага поворотної конструкції із встановленими сонячними панелями може досягати 1000 кг і вище. Максимальна швидкість обертових електромеханічних приводів складає 10 об/хв, лінійних до 1 м/с. Регулювання швидкості виконується за допомогою контроллера та системи регулювання [3].

Переваги та недоліки

Трекери такого типу мають широкий діапазон швидкостей позиціонування приймача геліостанції, мають можливість програмування на виконання певних задач та високу точність позиціонування приймача. До недоліків таких приводів позиціонування можна віднести високу вартість обладнання та зниження ефективності видобування енергії внаслідок споживання електроенергії при перемінній хмарності або роботі в режимі очікування підчас відсутності сонячного дня. При використанні трекеру ST2/8000 (EGE, Чехія), що має два електромотори потужністю 80 Вт [3], слідкуюча система споживає більше 6 кВт*год енергії на добу (без врахування витрат енергії системою в режимі очікування). Також трекери мають досить складні конструкцію та алгоритм керування, що знижує їх надійність, а підвищення надійності веде до здорожчання системи.

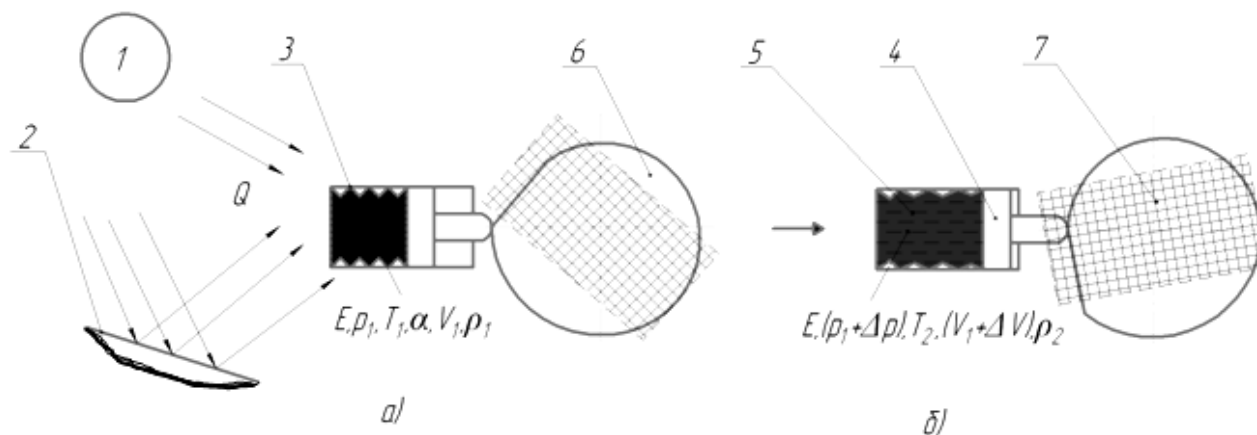


Рис. 2. Схема перетворення сонячної енергії: а) – вихідний стан штовхача; б) – після розширення рідини. 1) – сонце; 2) – концентратор; 3) – циліндр; 4) – поршень; 5) – герметична камера з робочою рідиною; 6 – профільований кулачок; 7 - приймач

Принцип роботи теплового гідроприводу

Принцип роботи теплового гідроприводу ґрунтується на перетворенні теплової енергії сонця, підведеної до ємності з робочою рідиною, в механічну. Кількість теплоти, що надходить від сонця, складає (1...1,3) кВт/м² [7]. Температура, яку можна отримати на поверхні за допомогою фокусуючого дзеркала може перевищувати 300 °С .

Процес перетворення сонячної енергії в гідравлічну, відбувається за рахунок розширення рідини в герметичній камері при нагріві (рис.2). Величина

розширення залежить від початкового об'єму рідини в камері, від коефіцієнту теплового розширення рідини, а також від діапазону змін температури.

$$Q = \Delta U + A; Q = \lambda \frac{\Delta T}{h} Ft; \Delta p = f(N); A = \Delta p F_{ef} \Delta L; \lambda \frac{\Delta T}{F} st = \Delta p \Delta W, \quad (1)$$

де Q – кількість теплоти підведеної до рідини; ΔU – зміна внутрішньої енергії рідини; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу; $\Delta T = T_2 - T_1$ – перепад температур рідини; h – товщина матеріалу; F – площа поверхні нагріву; t – час нагрівання; A – робота що виконується силою тиску.

На поверхню ємності (циліндра 3), що має високу теплопровідність, за допомогою фокусуєного дзеркала 2 концентрується потік сонячної енергії, що передається через поверхню ємності до рідині, тим самим збільшуючи температуру самої рідини.

При нагріванні робочої рідини, що міститься в замкнутому об'ємі, відбувається її розширення, яке викликає зростання тиску всередині камери. Отриманий тиск створює силу, що деформує саму камеру, долає сили тертя, що виникають у системі, і виконує корисну роботу:

$$A = (pF_{ef} - \Sigma c - \Sigma F_{тер}) \Delta L, \quad (2)$$

де A – робота; p – тиск в камері; F_{ef} – ефективна площа; Σc – сумарна жорсткість пружних елементів; $\Sigma F_{тер}$ – сумарна сила тертя; ΔL – хід штовхача (розширення камери в повздовжньому напрямі).

Зміна об'єму дає переміщення поршня, яке, в свою чергу, залежить від початкового об'єму рідини в камері. Визначення величини переміщення, робочого об'єму та впливу навантаження на переміщення є одним з основних питань в дослідженні можливості теплового гідроприводу, що є питанням даної роботи.

Схема приводу

Основною частиною теплового приводу є тепловий гідромотор (рис.3), що може бути виконаний у вигляді дворядного кулачкового мотору. В корпус 7, по периметру, встановлені напрямляючі 6 та штовхачі зі зворотними пружинами 3. Зовні корпуса кріпляться циліндри 2 із герметичними камерами 4, заповненими робочою рідиною. Штовхачі 3 відведені углиб циліндру за допомогою пружин, що в той самий час підтискують і сильфон 4.

Поворот валу при роботі одного штовхача залежить від кута нахилу похилої ділянки профілю, довжини цієї ділянки, більшого діаметру профілю та переміщення поршня (зміни об'єму рідини під впливом теплової енергії):

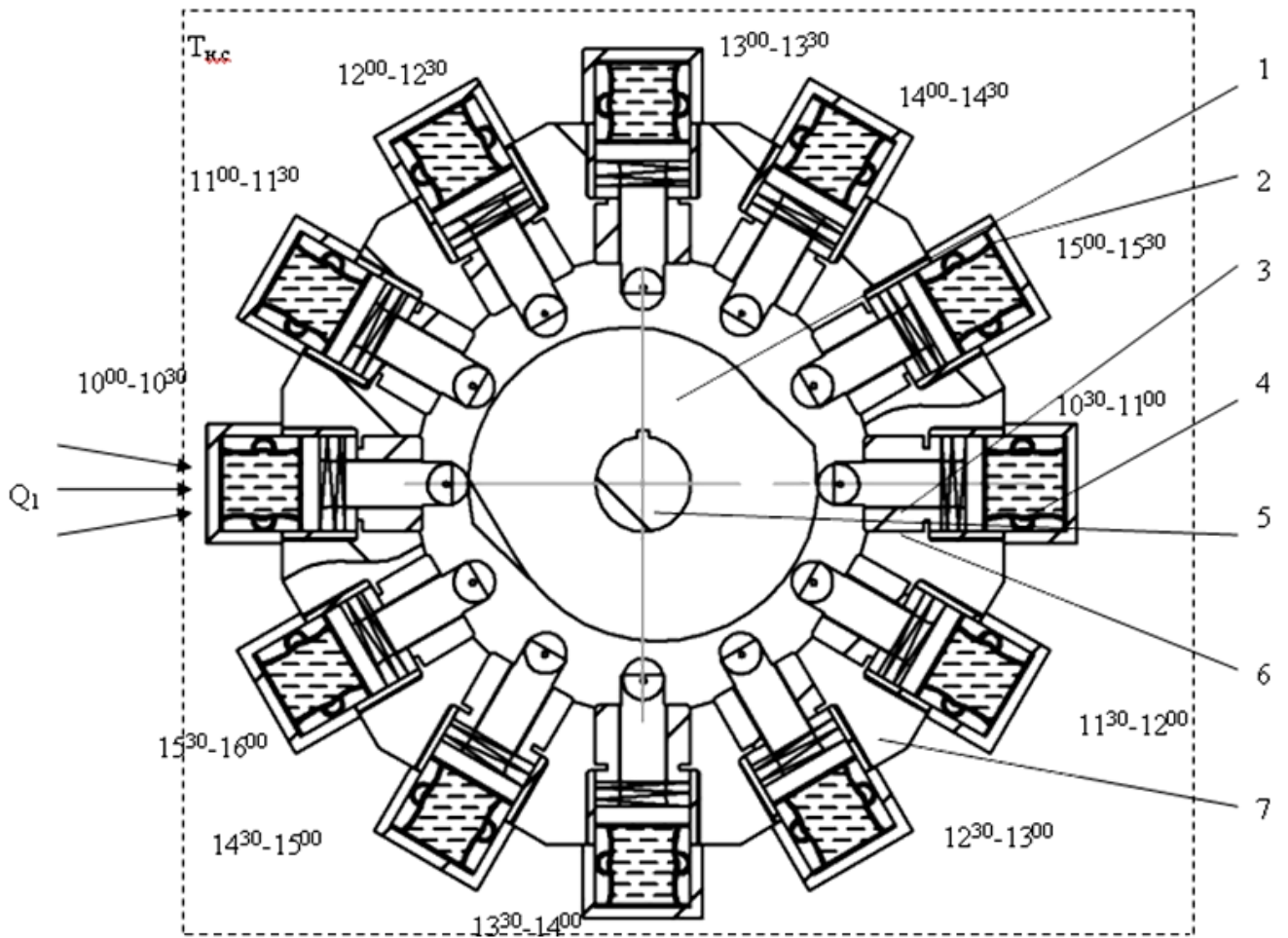


Рис. 3. Конструктивна схема теплового гідроприводу: 1 – профільований кулачок; 2 – циліндр; 3 – штовхач; 4 – герметична камера з робочою рідиною; 5 – вихідний вал; 6 – направляюча штовхача; 7 – корпус.

$$\cos \phi = \frac{l^2 - (R^2 - r^2)}{-2Rr}; \quad l = \frac{\Delta L}{\sin \gamma}, \quad (3)$$

де ϕ – кут повороту вихідного валу; ΔL – хід штовхача; R – більший радіус кулачка; r – менший радіус кулачка; γ – кут нахилу похилої ділянки відносно дотичної до кола зовнішнього радіуса; l – довжина похилої ділянки.

Для концентрування сонячного світла на поверхні циліндрів та керування приводом, навколо башти розташовуються фокусуючі дзеркала, так, щоб кожне з них у певний час відбивало сонячне проміння на поверхню відповідного циліндру, наприклад перший циліндр повинен спрацьовувати в проміжку часу між 10^{00} та 10^{30} , а другий з 10^{30} до 11^{00} (рис.4). Це реалізується за рахунок вибору кута положення фокусуючого дзеркала так, щоб в потрібний проміжок часу воно передавало потік сонячної енергії на поверхню циліндра. В часовий період з 10^{00} до 10^{30} , до першого циліндру підводиться потік теплоти Q_1 , що передається через фокусуючи дзеркало від сонця. Кожне фокусуюче дзеркало розміщуються так, щоб торцюва поверхня циліндру, на який воно

спрямовує сонячний потік, знаходилась у фокусі. Тому при певному розташуванні дзеркал та правильному підборі об'єму робочої камери та її типу (рис.4) можна виконувати достатньо точно позиціонування приймача відносно положення сонця в межах відхилення до ($5^{\circ} \dots 15^{\circ}$) по горизонталі.

При застосуванні циліндрів з сифонною камерою (рис. 4.а.) початковий об'єм буде збільшуватися за рахунок подовження сифону (при збільшенні діаметру буде знижуватись величина переміщення штовхача), тобто збільшення габаритів як кожного циліндру, так і приводу взагалі. При використанні сифонних камер з додатковим об'ємом (рис.4.б.), збільшення початкового об'єму менш впливає на габарити приводу.

Такий тип слідкуючого приводу відноситься до пасивних одновісних трекерів. До його переваг можна віднести точність позиціонування приймача геліостанції, роботу за рахунок оновлюваного джерела енергії, без споживання електроенергії, що зустрічається в інших трекерах пасивного типу, але такий привод залежить від інтенсивності сонячного потоку, займає більшу площу, за рахунок встановлення фокусуєчих дзеркал навколо башти геліостанції, та не має можливості проскакування заданих положень.

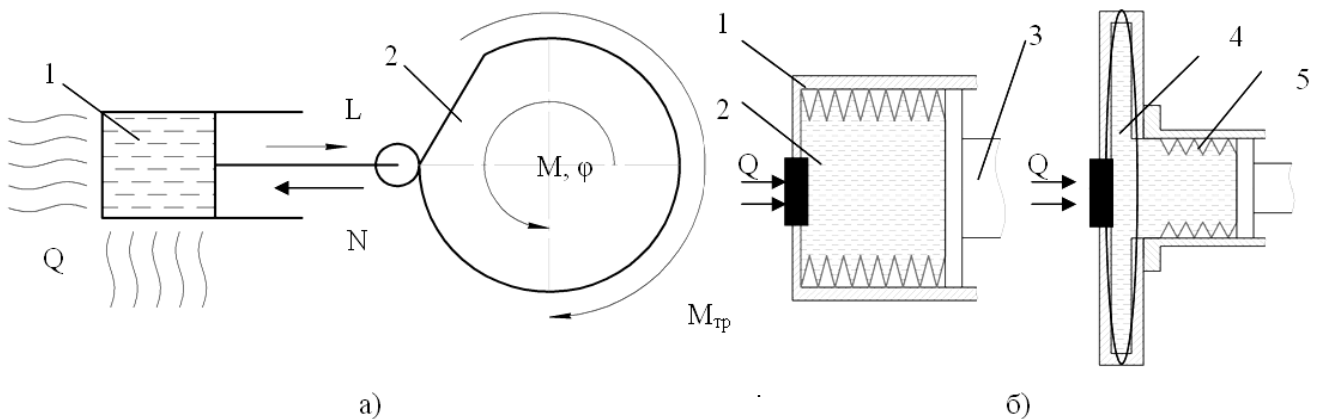


Рис. 4. Розрахункова схема приводу (а): 1- робоча рідина; 2 – профільований кулачок; Q – теплота, що підводиться до циліндру; N – навантаження; L – переміщення штовхача; M – момент, що створюється на кулачку; M_{тр} – момент тертя опору; та типи виконання робочих камер (б): сифонна та з додатковим об'ємом
1 – циліндр; 2 – сифонна камера з робочою рідиною; 3 – штовхач; 4 – додатковий об'єм; 5 – сифон.

Визначення характеристик приводу

Для даного приводу одним з основних параметрів є величина переміщення штовхача. На рис. 5 зображено розрахункову схему для визначення переміщення штовхача та його залежності від навантаження.

Зміну об'єму рідини можна виразити через коефіцієнт об'ємного розширення:

$$\beta = \frac{W_0 + \Delta W}{W_0 \cdot (T_2 - T_1)}; \quad \Delta W = \beta \cdot W(T_2 - T_1); \quad \Delta W = \int_{T_1}^{T_2} \beta \cdot W dT, \quad (4)$$

де W_0 – початковий об’єм рідини; T_1, T_2 – початкова і кінцева температури відповідно; β – коефіцієнт теплового розширення рідини; ΔW – зміна об’єму рідини.

Початковий об’єм для сільфону визначається, як добуток ефективної площі сільфону до його початкової довжини:

$$W_0 = F_{ef} \cdot L_0; W_0 = F_{ef} \cdot L_0 + W_+, \quad (5)$$

де F_{ef} – ефективна площа сільфону; L_0 – початкова довжина сільфону; W_+ - додатковий об’єм.

Для попереднього розрахунку переміщення штовхача – приймаємо діапазон ефективних площ сільфону, як найбільш вірогідних для застосування в приводі, що еквівалентні площам круглих перерізів діаметрами $D=0,02\dots 0,1$ м та початкових об’ємів W до $0,002$ м³. Вважаємо, що вся зміна об’єму відбувається в осьовому напрямі:

$$\Delta L = \frac{\Delta W}{F_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}}}. \quad (6)$$

Визначення впливу навантаження на хід штовхача є одним з важливих питань, так як зменшення величини осьового розширення рідини, з огляду на невеликі його значення та вплив на параметри привода, є негативним ефектом:

$$\Delta p = \frac{4 \cdot N}{\pi \cdot D^2} = \frac{E \cdot \Delta W}{W_0 + \Delta W}; \quad (7)$$

$$\Delta L(N) = \frac{\Delta p \cdot (W_0 + \Delta W)}{EF_{ef}}$$

де E – модуль пружності рідини; Δp – величина збільшення тиску камері, D – діаметр сільфону, N – навантаження.

Вибір робочої рідини виконується з огляду на коефіцієнт розширення, критичні температури (табл.2) та тиск. Коефіцієнт теплового розширення робочої рідини має бути якомога найбільшим для збільшення переміщення штовхача і зменшення початкового об’єму. З поміж ряду рідин було обрано три види спиртів, які мають одні з найбільших коефіцієнтів теплового розширення та воду, для порівняння (табл.1).

Таблиця 1 Коефіцієнти теплового розширення

Речовина	$\beta \cdot 10^{-3}$ при температурі ($^{\circ}\text{C}$)							
	-20	0	20	40	60	80	100	120
Вода	–	-0,06	0,21	0,39	0,53	0,63	0,75	0,86
Ізопропиловий спирт	0,98	1,01	1,05	1,08	1,12	1,16	1,2	1,27
Метиловий спирт	1,09	1,14	1,19	1,27	1,3	1,42	1,61	1,81
Етиловий спирт	1,18	1,05	1,08	1,13	1,22	1,33	1,44	1,87

Таблиця 2 Критичні температури та модуль пружності

Речовина	Температура кипіння, $^{\circ}\text{C}$	Температура застигання, $^{\circ}\text{C}$	Ізотермічний модуль пружності E , МПа
Вода	100	0	2060
Метиловий спирт	64,7	- 97,78	1275
Етиловий спирт	78,3	- 114,65	1275

Результати розрахунків

Для чотирьох рідин було проведено розрахунки ходу сильфона для діапазону температур від 293 К до 393 К, з огляду на максимальну температуру, та за різних умов навантаження, а також проведено їх порівняльний аналіз.

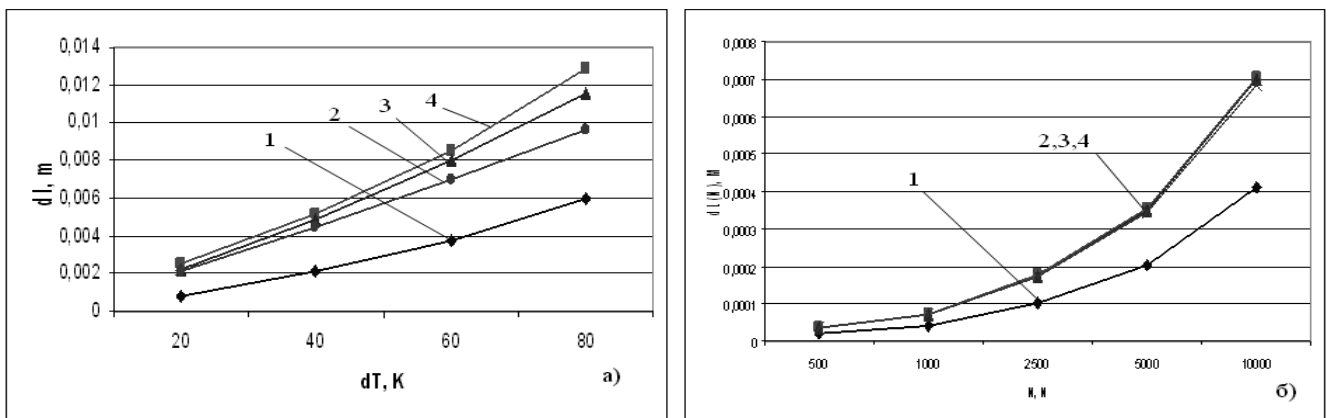


Рис.5 Графіки залежності ходу сильфону ($D=40\text{мм}$) від температури (а) та впливу навантаження на хід сильфону (б) для різних рідин (1 – вода; 2 – ізопропиловий; 3 – етиловий; 4 – метиловий спирти)

Як було вище згадано, хід штовхача залежить від коефіцієнту теплового розширення рідини та її початкового об'єму. Найбільший хід штовхача (для сильфону діаметром $D=40 \text{ мм}$) розвивається при використанні метилового

спирту, який має найбільший, з поміж інших, коефіцієнт теплового розширення.

З огляду на температуру кипіння 64,7 °С, потребують уточнення з врахуванням впливу фазового переходу на зміну об'єму та впливу тиску на температуру кипіння. Вплив навантаження на хід є дуже незначним через високий коефіцієнт їх пружності, тому їм можна знехтувати (рис. 6.б.).

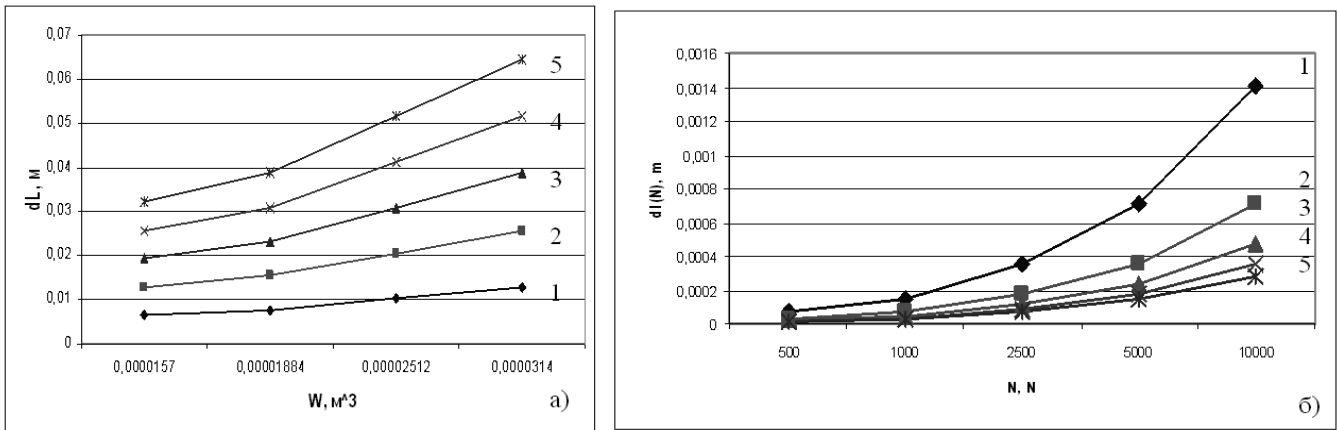


Рис.6 Графіки залежностей ходу сільфону при використанні метилового спирту а) – залежність ходу сільфону від діаметру при різних початкових об'ємах ($\Delta T = 80 K$); б) – вплив навантаження на хід сільфону ($\Delta T = 80 K$) (1 – $D = 20$ мм; 2 – $D = 40$ мм; 3 – $D = 60$ мм; 4 – $D = 80$ мм; 5 – $D = 100$ мм)

Окремо для метилового спирту, так як при його використанні сільфон показав найбільше переміщення, було розглянуто залежність ходу сільфона, при різних діаметрах та різних початкових об'ємах робочої рідини (рис. 7.а.), та вплив навантаження на хід сільфона (рис. 7.б).

З графіку залежності ходу штовхача від величини початкового об'єму (рис. 7.а.) випливає, що величина ходу прямопропорційна до величини початкового об'єму рідини та обернено пропорційна діаметру сільфона. Тому більш доцільно мінімізувати діаметр сільфону та збільшувати об'єм камери. При виконанні камери у вигляді сільфону з резервною ємністю збільшення об'єму рідини приводить до збільшення розмірів резервної камери. Збільшення об'єму при сільфонному виконанні камери призводить до збільшення довжини сільфону та менше впливає на величину площі нагріву.

За результатами розрахунків, випливає, що величина переміщення штовхача залежить від величини зміни температури рідини та відношення ефективної площі сільфону до початкового об'єму, що лежить в межах:

$$k_w = \frac{F_{\dot{a}\dot{o}}}{W_0} = (10 \dots 30). \quad (8)$$

Коефіцієнт k_w вибирається в залежності від вимог до габаритів привода та потрібного ходу штовхача. Чим більшим він приймається, тим більшим буде початковий об'єм.

Висновки

Згідно результатів, розглянутий принцип роботи теплового гідроприводу може бути використаний в системах позиціонування приймачів геліостанцій.

Запропоновано схему теплового приводу позиціонування, що працює на сонячній енергії. Тепловий привод може забезпечити позиціонування приймача в межах відхилення 5° - 15° . При цьому електроенергія не буде використовуватись на підтримання функціонування системи позиціонування. Так як, алгоритм керування закладено в конструкцію теплового гідроприводу і розташування системи фокусуючих дзеркал, то дана система стеження не потребує створення зовнішнього алгоритму роботи.

Згідно результатів, в якості робочих рідин можуть бути використані рідини з високими коефіцієнтами теплового розширення, такі як одно- та багататомні спирти. Результати розрахунків переміщення штовхачів під впливом навантажень показали, що для метилового спирту, при збільшенні його температури на величину $\Delta T=60^\circ$, відношенні ефективної площі сильфону до початкового об'єму $k_w=0,1$ та ефективній площі сильфону $F_{\text{ef}}=0,0013 \text{ м}^2$, становило $0,09\text{м}$.

Перелік посилань

1. <http://www.elemo.ru> – Электротехнический портал.
2. SIMPLIFIED SOLAR TRACKING PROTOTYPE Nader Barsoum, Pandian Vasant. ISSN: 1985-9406 Online Publication, June 2010, www.pcoglobal.com/gjto, ES-E11/GJTO.
3. <http://www.ege.cz> - EGE, spol. s r.o. - SPOLEHLIVÝ PARTNER PRO ENERGETIKU.
4. <http://www.stirlingengine.com> - Stirling Engine or Sterling Engine by American Stirling Company.
5. Патент Російської Федерації № 2022166, МПК F03G7/06, 07.10.1992.
6. Законы, формулы, задачи физики. Справочник. Гофман Ю.В. К., «Наук. Думка», 1977, 576с.
7. Магомедов А.М. Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики: Учебное пособие для вузов. Махачкала – 2004г. – 360с.