

УДК 62-11

О.П. ГУБАРЕВ, д-р техн. наук; проф. НТУУ «КПІ»; Київ;
О.С. ГАНПАНЦУРОВА, канд. техн. наук; доц. НТУУ «КПІ»; Київ;
К.О. БЕЛІКОВ, асистент НТУУ «КПІ»; Київ

ВРАХУВАННЯ ХОДУ ШТОВХАЧА В МЕТОДИЦІ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПРИЙМАЧА ГЕЛІОСТАНЦІЇ

Запропоновано використання теплогідролічного багатомодульного приводу для позиціонування приймача геліостанції. Розглянуто принцип роботи теплогідролічного модуля та основні фактори впливу на вихідну характеристику модуля. Представлено результати математичного моделювання теплогідролічного модуля.

Запропоновано методику врахування закону зміни ходу штовхача в період роботи модуля при уточненні конструктивних параметрів приводу та його характеристик.

Ключові слова: тепловий гідропровід, теплогідролічний модуль, трекер геліостанції, сонячна енергія, позиціонування.

Вступ

Одним із засобів підвищення ефективності роботи геліостанції є збільшення об'єму сонячної енергії (інсоляції), яка поступає на приймач протягом дня. Для цього використовуються слідкуючі системи позиціонування – трекари. В якості трекарів використовують електромеханічні та гідролічні приводи. Також, в якості трекара можна використовувати тепловий гідропровід (рис. 1), який відноситься до пасивних трекарів [1, 2].

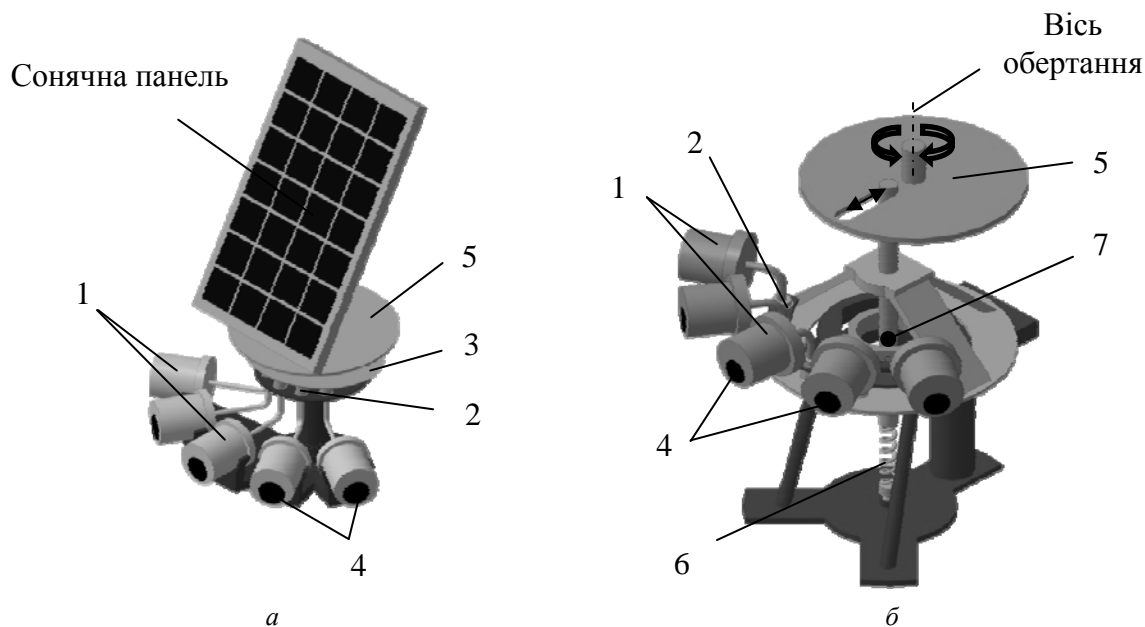


Рис. 1 – Конструкція теплогідролічного приводу позиціонування приймача:
 а – аксіального типу: 1 – камера розширення, 2 – блок штовхачів, 3 – похилий диск, 4 – теплове вікно, 5 – обертова платформа приймача; б – з кулісним механізмом (7): 6 – механізм повернення у вихідне положення

© О.П. Губарев, О.С. Ганпанцурова, К.О. Беліков, 2015

Принцип дії теплового гідроприводу полягає в перетворенні випромінювання сонячної енергії за допомогою теплового розширення рідини і кінематичної системи з гнучкими та умовно абсолютно пружними елементами, в роботу позиціонування приймача геліостанції. Тепловий гідропривод має модульну структуру. Кожен модуль складається із штовхача та камери розширення, що з'єднані між собою [3].

Задачі дослідження

Визначення основних факторів впливу на роботу теплогідролічного модуля та способу врахування характеристики ходу штовхача при уточненні конструктивних параметрів приводу.

Принцип роботи теплового гідроприводу позиціонування

Схема виконання приводу та його конструктивні параметри обумовлюють взаємодію штовхачів із вихідною ланкою – приймачем, величину навантаження на штовхач та точність позиціонування. Оскільки модуль виконує роль приймача та перетворювача вхідної енергії, то для визначення характеристик приводу ключову роль відіграє характеристика зміни ходу штовхача (швидкість прямого ходу під час підведення теплової енергії та зворотного ходу – при охолодженні рідини).

На характеристики штовхача впливає ряд конструктивних параметрів, що обумовлюють час підведення променевої енергії до теплового вікна модуля, інтенсивність нагріву та охолодження рідини в камері розширення та значення зменшення ходу штовхача під дією навантаження.

В основу роботи модуля покладено температурне розширення рідини, яке сприймається сильфоном. Сильфон (штовхач), в залежності від ефективної площі та значення температурної зміни об'єму рідини, виконує роботу по зміні положення передатної ланки приводу. Зміна положення передатної ланки приводу сприймається приймачем, який займає наперед задане положення.

Принцип роботи теплогідролічного модуля

Сонячне випромінювання, за допомогою збиральної лінзи, концентрується на поверхні теплопровідного елемента і призводить до його нагріву. При цьому в модулі відбувається ряд термодинамічних процесів: теплопередача до складових камери розширення, нагрів рідини біля внутрішньої стінки теплопровідного елемента, що супроводжуються втратами теплоти у зовнішнє середовище. Передача теплоти від внутрішньої стінки теплопровідного елемента до рідини відбувається за рахунок вільної конвекції. Це супроводжується відмежуванням нагрітої рідини від основного об'єму та її взаємодією із зовнішнім середовищем через гільзу. При нагріванні рідина розширюється, зміна об'єму через з'єднуючий канал передається до сильфону (рис. 2).

Кількість теплоти, яка передається теплопровідному елементу залежить від рівня інсоляції та часу концентрації променевого потоку на теплому вікні модуля:

$$Q = f(E, t) , t = \frac{\Psi}{\omega} ,$$

де E – значення рівня інсоляції; Ψ – азимутальний кут чутливості модуля; $\omega = 7,269 \cdot 10^{-5}$ рад/с – кутова швидкість переміщення сонця.

Значення інсоляції та час підведення сонячної енергії, насамперед, обумовлюються погодними умовами. Азимутальний кут чутливості модуля визначає максимальний час, протягом якого може відбуватися концентрація сонячної енергії на поверхні теплопровідного елемента. Це, разом із параметрами збиральної лінзи, обумовлює розміри теплового вікна (рис. 3). Значення азимутального кута не повинно перевищувати 30° .

Ширина теплового вікна розраховується як:

$$L_{TE} = 2 \cdot f \cdot \tan(\Psi/2),$$

де f – відстань між фокусувальною лінзою та теплопровідним елементом (фокусна відстань).

Розмір теплового вікна по вертикалі:

$$H_{TE} = 4 \cdot f \cdot \tan \frac{\Delta\theta}{2},$$

де $\Delta\theta = |\theta_1 - \theta_2|$ – зміна кута склони́ння сонця при проходженні кута чутливості модуля.

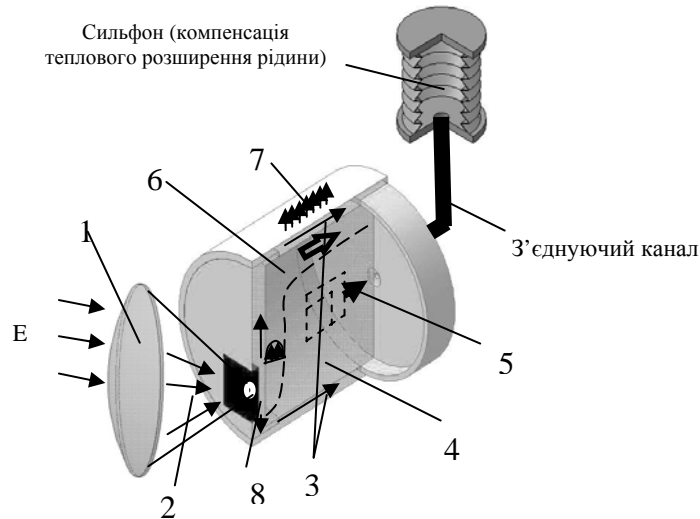


Рис. 2 – Схема роботи модуля теплового гідроприводу:

E – сонячне випромінювання; 1 – фокусувальна лінза; 2 – променевий потік, який підводиться до теплового вікна; 3 – теплопровідність 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

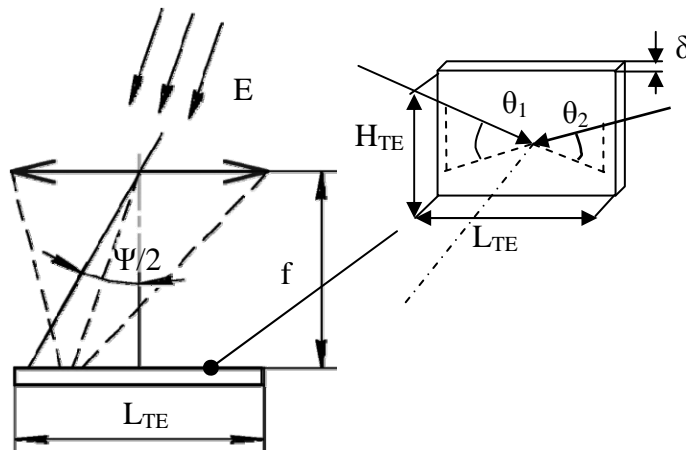


Рис. 3 – Схема розрахунку параметрів теплового вікна

Розрахунок кількості теплоти, який передано рідині є складним. Тому розрахунок переміщення штовхача в залежності від потужності та часу підведення теплового потоку до модуля, з врахуванням впливу теплофізичних властивостей і конструктивних параметрів елементів модуля виконується шляхом математичного

моделювання. Відповідно до кількості теплоти, що передана до рідини, розраховується значення середньоінтегральної температури рідини, за яким визначається зміна її об'єму:

$$\Delta W = \beta_t \cdot W_0 \cdot (\overline{T_{RR}} - T_0) ,$$

де β_t – температурний коефіцієнт об'ємного розширення рідини; $W_0 = W_{к.р.}$ – початковий об'єм рідини (об'єм камери розширення); $(\overline{T_{RR}} - T_0)$ – зміна температури рідини.

Відповідно зміні об'єму визначається переміщення штовхача:

$$h = \frac{\Delta W}{F_{еф}} = \frac{\beta_t \cdot W_0 \cdot (\overline{T_{RR}} - T_0)}{F_{еф}} ,$$

де $F_{еф}$ – ефективна площа сильфону.

Було проведено модельні експерименти по визначенню ходу штовхача в залежності від потужності та часу підведення теплового потоку до модуля (рис. 4).

За отриманими результатами видно, що більший вплив на швидкість штовхача та амплітуду ходу має значення потужності теплового потоку. При збільшенні часу підведення енергії збільшується кількість теплоти, що передається до модуля, але також зростають втрати у оточуюче середовище та зменшується різниця температур між внутрішньою стінкою теплопровідного елемента і рідиною. Тобто зменшується теплопередача до рідини, при цьому втрати теплоти зростають.

Також, на величину ходу штовхача впливає значення навантаження $N_{ум}$, яке залежить від маси приймача, передатної функції та параметрів приводу. Зменшення ходу штовхача залежить від величини навантаження на штовхач, ефективної площі сильфону і її відношення до об'єму камери, модуля пружності рідини та кількості розчиненого та нерозчиненого повітря (рис. 5):

$$\Delta h = k_a \cdot \frac{N_{ум} \cdot W_{к.р.}}{F_{еф}^2 \cdot \frac{1}{\beta_p}} ,$$

де β_p – коефіцієнт об'ємного стиснення рідини ($1/\beta_p$ – модуль пружності); k_a – комплексний коефіцієнт, що враховує вплив змісту повітря в камері розширення на модуль пружності. При відношеннях ефективної площі сильфону до об'єму камери розширення $F_{еф}/W_{к.р.} < 0,5$ спостерігається значний вплив навантаження на хід штовхача. При цих же відношеннях хід, який розвиває штовхач, є найбільшим.

Визначення раціональних кутів розміщення модулів теплогідралічного приводу. Вихідні характеристики приводу обумовлені характеристиками модуля, тому для уточнення ряду параметрів приводу і окремих модулів на стадії проектування, необхідно накласти вихідні характеристики ходу штовхачів, отримані за результатами математичного моделювання роботи модуля, у часовому проміжку експлуатації приводу (рис. 6).

Однією з особливостей теплогідралічного приводу позиціонування є те, що кут, в межах якого можуть розташовуватись штовхачі, має обмеження 90° . Цей кут може бути збільшено за рахунок попереднього віддалення штовхачів від поверхні диску, однак при цьому необхідно збільшувати хід штовхача.

Діапазон позиціонування приймача Φ може складати до 180° , при цьому кут повороту вихідної ланки приводу може складати не більше 45° в одну сторону. Передатне число між вихідною ланкою приводу і платформою приймача визначається як:

$$i = \frac{\Phi}{90^\circ} = \frac{\Delta\varphi_{1(n)}}{|\alpha_{umi} - \alpha_{um1(n)}|},$$

де $\Delta\varphi_{1(n)}$ – максимальний кут повороту приймача відносно початкової орієнтації; $\alpha_{шт i}$, $\alpha_{шт 1(n)}$ – кути розташування центрального штовхача (відповідає початковій орієнтації приймача) та першого (останнього) штовхача, різниця між якими відповідає куту повороту вихідної ланки приводу в одну сторону.

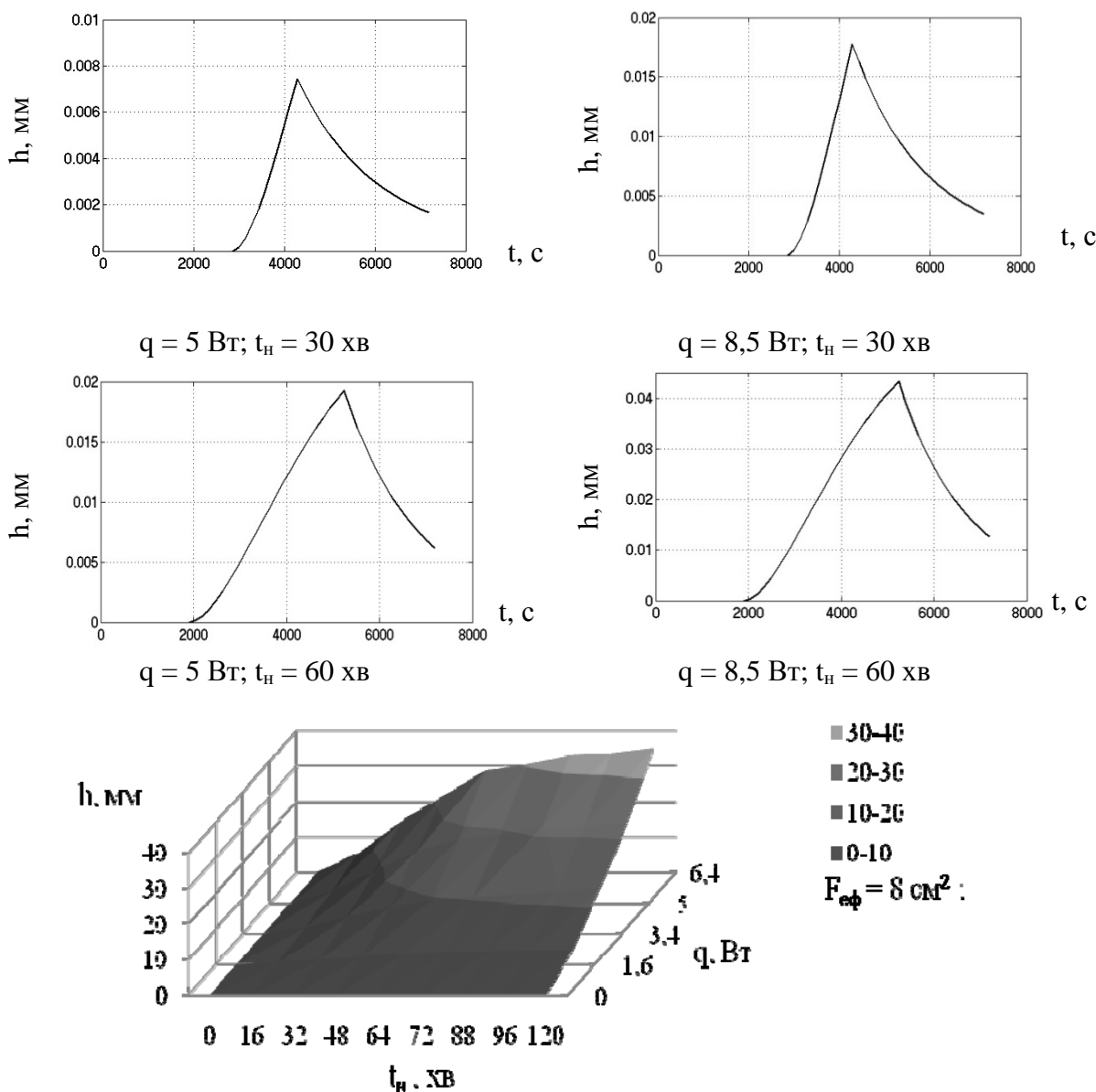


Рис. 4 – Залежність ходу штовхача теплогідравлічного модуля від часу підведення теплового потоку постійної потужності

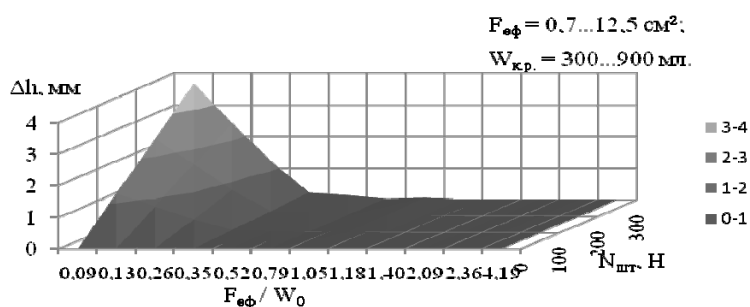


Рис. 5 – Вплив навантаження та конструктивних параметрів модуля на зменшення ходу штовхача (для дегазованої рідини)

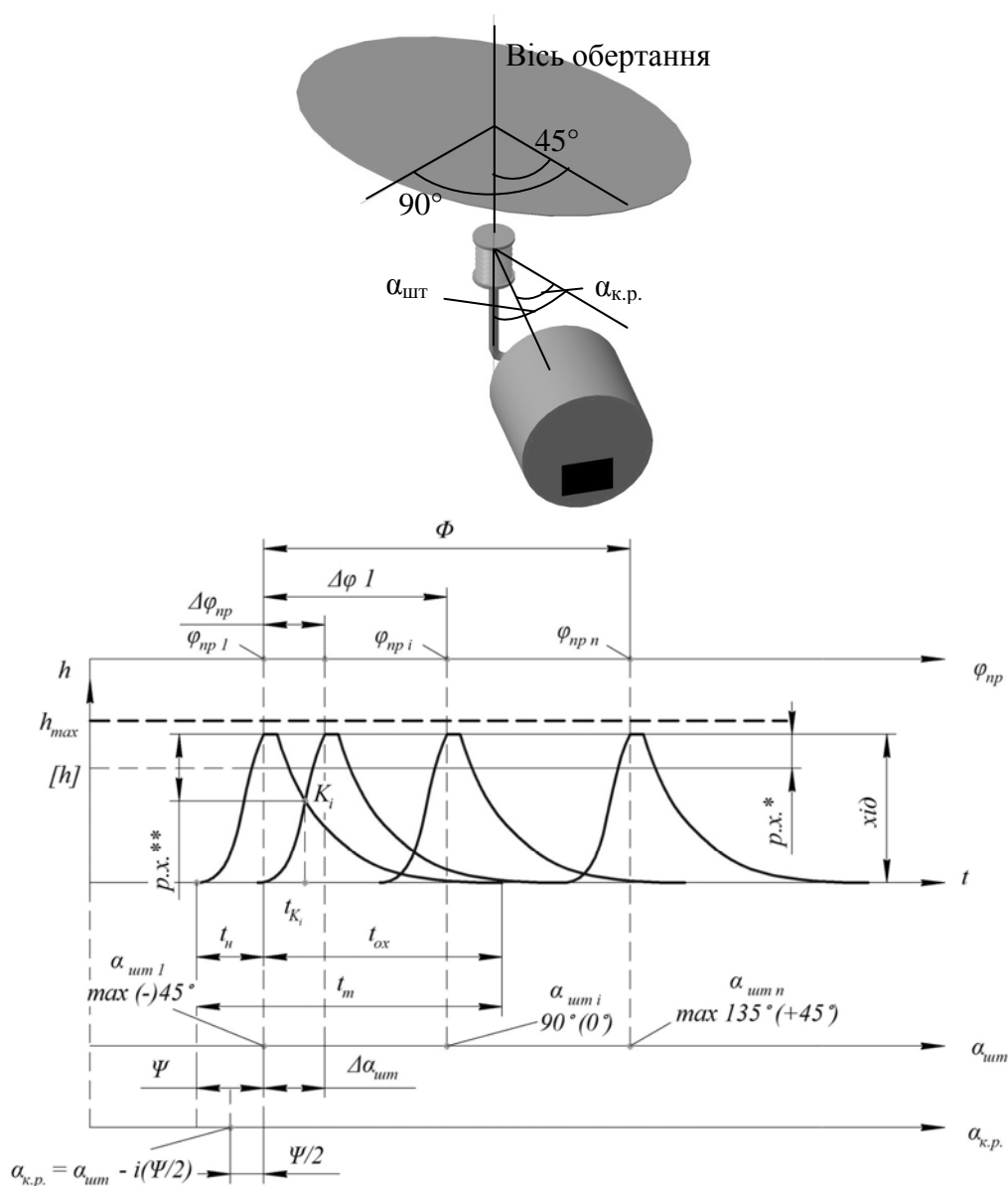


Рис. 6 – Схема визначення раціональних кутів розміщення складових модуля: h_{max} – максимальний хід штовхача, обмежений конструктивно; $[h]$ – запас ходу штовхача, (залежить від геометричних параметрів передатної ланки приводу та кутового кроку між сусідніми штовхачами); р.х.* - робочий хід штовхача для аксіальної схеми приводу; р.х.** - робочий хід для приводу з кулісним механізмом; t_n – час підведення теплової енергії до модуля; t_{ox} – час охолодження модуля (зворотній хід); t_m – період функціонування модуля; K_i – точка перетину кривих охолодження і нагріву сусідніх модулів

Уточнення кутів розташування проміжних штовхачів обумовлені вимогами до точності позиціонування та визначаються кроком повороту приймача при послідовній роботі штовхачів:

$$\Delta\alpha_{шт} = \frac{\Delta\varphi_{пр}}{i},$$

де $\Delta\varphi_{пр}$ – прийнятий крок повороту приймача; $\Delta\alpha_{шт}$ – кут між розташуванням сусідніх штовхачів.

Кутовий крок приймача може прийматись в межах до $15\div 30^\circ$, що відповідає зменшенню інсоляції для приймача на $5\div 15\%$ відповідно.

Інерційність модуля, час розвинення максимального ходу штовхачем можна компенсувати кутовим зміщенням камери розширення $\alpha_{к.р.}$ на величину половини кута чутливості модуля, з врахуванням передатного числа.

При послідовній роботі штовхачів необхідно враховувати швидкість нагріву та охолодження сусідніх модулів. Точка перетину кривих зворотного та прямого ходу сусідніх штовхачів K_i має знаходитись нижче лінії запасу ходу [h]. Це запобігає заклинюванню при аксіальному виконанні приводу, а також обмежує значення кутового кроку між штовхачами. На відміну від аксіальної схеми, для приводу з кулісним механізмом не має обмежень відносно точки K_i .

Висновки

Було розглянуто принцип роботи теплогідравлічного модуля, процеси та фактори, які впливають на характеристику ходу штовхача.

За результатами математичного моделювання роботи модуля встановлено, що збільшення амплітуди ходу штовхача прямо пропорційно збільшенню часу підведення та потужності теплового потоку. Зменшення ходу штовхача від рівня, при умові повної дегазації рідини в модулі, складає менше 5% при відношенні $F_{еф}/W_{к.р.} > 0,5$. За результатами попереднього аналізу, зміщення орієнтації камери розширення відносно положення штовхача дозволить зменшити максимальну похибку позиціонування приймача на 50%.

Список літератури: 1. Магомедов, А. М. Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. М. Магомедов. – Махачкала, 2004. – 360 с. 2. Kalogirou, S. A. Design and construction of a one-axis sun-tracking system [Text] / S. A. Kalogirou // Solar Energy : Elsevier. – 1996. – №57 (6) – Р. 465–469. 3. Губарев, О. П. Тепловий гідравлічний привод [Текст] / О. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова, К. О. Беліков // Вісник машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – №67.

Bibliography (transliterated): 1. Magomedov, A. M. *Teoreticheskie osnovy netradicionnoj i vozobnovljaemoj energetiki*. Mahachkala, 2004. Print. 2. Kalogirou, S. A. "Design and construction of a one-axis sun-tracking system." *Solar Energy: Elsevier* 57 (6) (1996): 465–469. Print. 3. Hubarev, O. P., O. S. Hanpanturova and K. O. Byelikov. "Teplovyu hidravlichnyu pryvod." *Journal of Mechanical Engineering National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*. Ser.: *Mashynobuduvannya*. No. 67. Kyiv: NTUU "KPI", 2013. Print.

Надійшла (received) 30.12.2014