

ELEMENT ABSORBANT PENTRU COLECTOARE SOLARE TERMICE

Andrei CUCOȘ, Vladimir BERZAN, Serghei CABAC

Institutul de Energetică al AȘM

Rezumat: În lucrare se examinează o nouă soluție tehnică de realizare a elementului absorbant pentru colectoarele solare termice planșinând cont de restricțiile impuse de standardele în vigoare privind volumul agentului termic ce revine la unu metru pătrat a colectoarelor plane solare. Esența soluției constă în modalitatea de realizare constructivă a elementului absorbant din jgheaburi cilindrice, care se montează din trei jgheaburi, iar suprafețele lor convexe formează canalul de circulație a agentului termic. Soluția constructivă propusă permite o captare mai uniformă a radiației solare pe parcursul zilei urmare a acesteia majorarea indicilor de performanță energetică atât a elementului absorbant, cât și a colectorului solar plan în care se utilizează aceste elemente constructive.

Cuvinte cheie: Colector solar, jgheab cilindric, nervuri longitudinale.

1. Introducere

Regimurile de funcționare a colectoarelor solare sunt influențate atât de regimul tehnologic de funcționare a instalației [1], cât și de calitatea și performanța executării elementelor constructive ale colectorului solar [2-4]. Colectoarele solare termice trebuie să corespundă cerințelor tehnice privind indicatorii de funcționare și indicii tehnici de realizare constructivă [5]. Astfel pentru colectoarele plane volumul canalelor cu agent termic nu trebuie să depășească $1,8 \text{ l/m}^2$, iar pentru alte tipuri - valoarea de 4 l/m^2 . [5]. Suprafața lucrativă de absorbție a fluxului incident a radiației solare a elementului absorbant determină în mare măsură performanța colectorului solar [6]. În colectoarele solare plane elementul absorbant cel mai frecvent este de tipul „placa + tub” [6].

Soluțiile propuse pentru sporirea eficienței transformării energiei radiației solare în căldură și ridicarea randamentului de funcționare a colectoarelor solare au ca urmare creșterea costurilor de confecționare și creșterea masei acestor echipamente.

1. Formularea problemei.

În lucrare se propune o soluție originală de confecționare a elementului absorbant a colectoarelor solare, care se caracterizează de un raport bun a suprafeței de absorbție către volumul agentului termic încălzit și de cerințe reduse către parametrii de absorbție și de reflexie a suprafețelor captatoare, dar care asigură concomitent și posibilitatea utilizării unei tehnologii simple de confecționare a elementului absorbant.

2. Numărul de tuburi ale unui colector termic solar plan

Colectoarele solare termice plane trebuie să aibă un volum anumit de agent termic încălzit care nu trebuie să depășească $1,8 \text{ l/m}^2$ [5]. Considerând, că elementul absorbant al colectorului cu tuburi de circulație în harpă are suprafața de absorbție de forma unui dreptunghi cu lățime de 10-15 cm [7], se poate estima numărul de tuburi în harpă. Numărul de elemente absorbante la un metru pătrat pentru aceste condiții poate fi egal cu $N_C = [100/(15-10)] = 7-10$ tuburi, iar diametrului interior D_i al tubului se poate calcula din relația:

$$D_i = \sqrt{4bV_{l.sp.} / N_C \pi}, \quad (1)$$

în care: $V_{l.sp.}$ – volumul agentului termic la unitate de suprafață a colectorului; S_{Di} - secțiunea interioară a tubului cu lichid încălzit, m^2 ; b – parametrul caracteristic al elementului absorbant al colectorului, care depinde de amplasarea tuburilor pe placa absorbantă și considerăm că $b=1 \text{ m}$. În schema harpă mărimea b prezintă lățimea plăcii, iar în schema serpentină - înălțimea plăcii absorbante. N_C -numărul de tuburi unitare montate pe suprafața absorbantă a colectorului în schema harpă sau serpentină.

Diametrul interior D_i al tubului elementului absorbant al colectorului solar plan depinde de numărul de tuburi montate în schema harpă. Astfel în tabelul 1 sunt prezentate informații privind dimensiunile tubului de circulație în funcție de numărul lor pe unitatea de suprafață a colectorului termic solar.

Tabelul 1

Dimensiunile calculate și standarde lea tuburilor din alamă rezonabil de utilizat în colectoarele plane

Numărul de tuburi, N_C	3	5	7	9	10	12	15
Diametrul interior calculat, D_i , mm	27,65	21,41	18,1	15,96	15,14	13,82	12,36
Diametrul exterior calculat, D_{ex} , mm	29,65	23,41	20,1	17,96	17,14	15,82	13,36
Dimensiuni standarde, $D_{ex} \times \delta$, mm*)	30x1	23x1	20x1	18x1	17x1	16x1	14x1
Aria secțiunii transversale a tubului standard, S_{Di} , mm ²	615	346	254	201	177	153	113

*) dimensiunea tuburilor din alama pentru aparatele termotehnice conform GOST 21646-2003

Pentru a analiza particularitățile elementelor absorbante vom defini două mărimi dimensionate $K_1 = S_{Di}/V_{Di}$ și $K_2 = S_A/V_{Di}$, în care S_{Di} - suprafața de cedare a căldurii agentului termic încălzit; S_A - suprafața de captare (absorbție) a radiației solare și V_{Di} - volumul lichidului încălzit în tubul de circulație. Raportul coeficienților K_1 și K_2 prezintă o mărime nedimensională – relativă, care se determină din relația $K_3 = b/N_C \pi D_i$. Valorile coeficientului K_3 , considerând că N_C este variabila independentă, iar $b = 1000$ mm și $V_{l.sp} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2 = \text{constant}$ sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2

Evoluția valorii parametrului K_3 în funcție de variabila independentă N_C a plăcii tubulare

Număr tuburi, N_C	3	5	7	9	10	15	20	30	50	60	90
Diametrul D_b , 10^{-3} , m	28	21	18	16	15	12	11	8,4	6,4	6,0	5,0
Parametrul K_3	3,79	3,03	2,54	2,21	2,12	1,77	1,45	1,26	0,99	0,88	0,71

Ridicarea densității tuburilor cu lichid încălzit pe suprafața absorbantă a colectorului solar plan și majorarea suprafeței de cedare a căldurii lichidului nu poate fi majorată la infinit. Ne confruntăm cu situația, că suprafața elementului absorbant devine mai mică ca suprafața zonei de contact a lichidului cu tubul (a vedea tabelul 2). Se poate lansa ipoteza, că există o realizare constructivă optimală a colectorului solar privind numărul preferabil de tuburi plasate în harpă. Urmare a acestora poate fi formularea următoarei problemă. Este necesar de propus soluția constructivă a elementului absorbant, care asigură volumul minimal al materialului consumabil la confecționarea acestui element. Totodată elementul trebuie să aibă un raport ridicat a suprafeței de captare a radiației solare și un raportului ridicat a suprafeței de cedare a căldurii către volumul agentului termic încălzit.

4. Determinarea parametrilor elementului absorbant

Fie că colectorul prezintă o harpă din tuburi cu diametru exterior D . Densitatea amplasării lor este maximală, deci tuburile cu agent termic în palanul de amplasare contactează unul cu altul. Pe stratul format din tuburile de circulație vom plasa stratul al doilea astfel că tuburile din stratul va contacta cu două tuburi din primul strat. În figura 1, în secțiune transversală, sunt prezentate particularitățile principale ale modalității de obținere a soluției de optimizare a realizării constructive a elementului absorbant. Considerăm,

că pentru circumferințe este veridică condiția $R_1 = R_2 = R_3 \cdot S_{AO_2B} = \frac{\pi D^2}{4} \frac{\alpha}{360^\circ}$

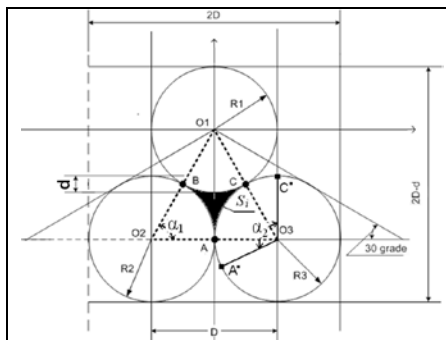


Fig.1. Schema de formare a elementului absorbant din jgheaburi de profil cilindric

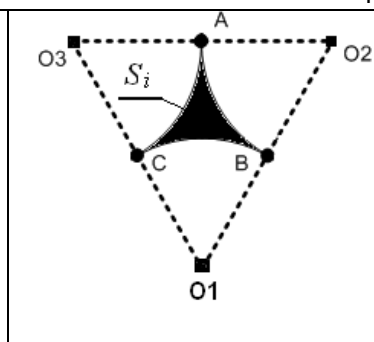


Fig.2. Varianta constructivă a elementului absorbant format din jgheaburi cilindrice

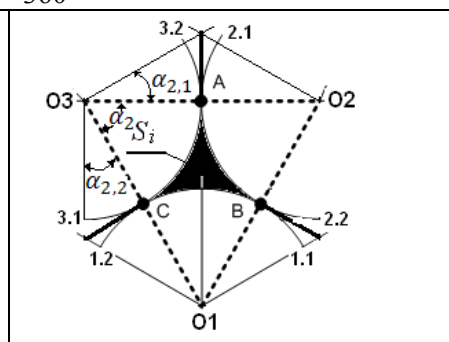


Fig.3. Modalitatea de majorarea a suprafeței absorbante prin formarea de lamele

În figura 1 evidențiem zona formată de arcurile \overline{AB} , \overline{BC} , \overline{CA} , care prezintă un triunghi curbilinear cu aria S_i . Aria S_i a triunghiului ABC prezintă aria canal de circulație a lichidului format de porțiuni laterale ale cilindrelor cu lungimea arcurilor $l_{AB} = l_{BC} = l_{CA} = 2R \frac{\alpha}{360^\circ}$, unde α -unghiul sectorului de cerc. Suprafețele concave ale laturilor triunghiului ABC prezintă jgheaburi a căror linii focale este poziționată pe axa cilindrilor cu raza R. Jgheaburile din care se confecționează elementul absorbant se obțin prin tăierea țevilor, de exemplu pe liniile de contact A-B-C ce corespund unghiului central $\alpha_1 = 60^\circ$ sau după liniile notate cu A^* și C^* , poziția cărora este determinată de unghiul central $\alpha_2 > 60^\circ$ (a vedea fig.1). La tăierea din țevă a jgheaburilor cu unghiul central a sectorului de cerc sectorului de $\alpha_1 = 60^\circ$ se obțin 6 jgheaburi din care se pot confecționa 2 elemente absorbante cu geometria prezentată în fig.2, iar pentru $\alpha_2 > 60^\circ$, de exemplu $\alpha_2 > 120^\circ$ sau $\alpha_2 > 180^\circ$ se obțin respectiv 3 sau 2 jgheaburi cu obținerea elementului absorbant, care are nervuri longitudinale apte de a mări suprafața de captare a radiației solare (a vedea fig.3). Vom menționa, că pentru valoarea dată a diametrului D a țevii aria suprafeței canalului prin care circulă agentul termic încălzit este determinată de unghiul central $\alpha_1 = 60^\circ$ și nu depinde de valoarea unghiului $\alpha_2 > 60^\circ$. Canalul cu lichid se poate forma prin sudarea sau lipirea jgheaburilor tăiate din țevă pe linia de contact a suprafeței cilindrice exterioare sau pe linia care se va afla în spațiul nervurilor longitudinale (a vedea fig.3). Nervurile longitudinale amplasate sub unghiul de 120° în spațiu asigură sporirea rigidității mecanice a elementului absorbant și a suprafeței de captare a radiației solare.

Estimarea dimensiunilor elementului absorbant cu geometria propusă se poate face luând ca criteriu asigurarea volumului de lichid la un metru pătrat a colectorului solar confecționat din aceste elemente absorbante egal cu $V_{l.sp} = 1,8 \cdot 10^{-3} m^3 / m^2$. Aria triunghiului curbilinear format din porțiunile convexe ale trei jgheaburi (fig.1-3) se poate calcula cu ajutorul relației:

$$S_i = S_\Delta - 3S_{AO_2B}, \quad (2)$$

în care: $S_\Delta = (\sqrt{3}D^2)/4$ - aria triunghiului echilateral; D - diametrul țevii din care se taie jgheaburi;

$S_{AO_2B} = \frac{\pi D^2}{4} \frac{\alpha_1}{360^\circ}$ - aria sectorului de cerc; α_1 - unghiul sectorului de cerc, grade.

Din relația (2) se obține expresia de calcul a diametrului D a tubului echivalent, ce determină curbura suprafeței ce cedează căldura agentului termic încălzit în canalul cu aria suprafeței transversale S_i :

$$D = \sqrt{4S_i / \left(\sqrt{3} - 3\pi \frac{\alpha_1}{360^\circ} \right)} \quad (3)$$

Vom considera, că pe dimensiunea caracteristică a colectorului (în cazul examinat lățimea) sunt montate N_C elemente absorbante care au aria secțiunii canalului prin care circulă lichidul egală cu aria secțiunii canalului elementului absorbant de tipul placă tubulară. Deoarece unghiul $\alpha_1 = 60^\circ$ relația (3) se simplifică, deci $D \cong 5\sqrt{S_i}$. Valoarea maximă a suprafeței efective absorbante pentru profilul dat este proporțională lungimii coardei $L_{CC,\alpha_2} = (D - 2\delta)\sin(\alpha_1/2)$, în care δ - grosimea peretelui țevii sau a tablei din care se confecționează elementul absorbant. Perimetrul P_{ABC} al triunghiului curbilinear ABC se calculează cu expresia $P_{ABC} = 3\pi Dh \frac{\alpha_1}{360^\circ}$. În caz general unghiul $\alpha_2 \geq \alpha_1$, iar pentru $\alpha_2 = \alpha_1 = 60^\circ$ elementul absorbant va avea profilul din fig.2. Pentru condiția $\alpha_2 > \alpha_1$ profilul din fig.3. În varianta constructivă propusă unghiul α_2 poate avea și valoarea de 360° .

Suprafața efectivă de captare a energiei solare a elementului absorbant propus se determină de coarda pe care se sprijină arcul cu lungimea L_{\cup} și lungimea elementului absorbant h . Pentru valorile unghiului $\alpha_2 = 60^\circ \div 360^\circ$ coarda arcului prezintă o funcție neliniară a variabilei independente α_2 .

Pentru $\alpha_2 > 60^\circ$ profilul jgheabului este format din trei porțiuni. Partea centrală este determinat de unghiul $\alpha_2 = 60^\circ$ și de două arcuri de cerc $\alpha_{2,1} = \alpha_{2,2}$ amplasate în stânga și dreapta arcului poziționat în centrul figurii geometrice examinate.

Pentru triunghiul echilateral ABC cu laturile $L_{CC,\alpha_2} = (D - 2\delta)\sin(\alpha_1 / 2)$ lungimea segmentului dintre punctul de intersecție a medianelor (bisectoarelor, înălțimilor) și vârfurilor triunghiului se determină de expresia $h_{0A} = h_{0B} = h_{0C} = \frac{D - 2\delta}{\sqrt{3}} \sin \frac{\alpha}{2}$. Pentru $\alpha_1 = 60^\circ$ obținem expresia $h_{0A} = 0,289(D - 2\delta)$. La echivalarea lungimii arcului alăturat cu un segment de linie dreaptă, lungimea acestei linii se calculează cu

relația $L_{\cup,\alpha_{2,1}} = L_{\cup,\alpha_{2,2}} = \pi(D - 2\delta) \frac{\alpha_{2,1}}{360^\circ}$, iar distanța din centru canalului până la marginea nervurii este

determinată de segmentul de linie $c H_{0A} = h_{0A} + h_{\cup,\alpha_{2,1}} = (D - 2\delta) \left[\frac{1}{\sqrt{3}} \sin \frac{\alpha_1}{2} + \pi \frac{\alpha_{2,1}}{360^\circ} \right]$. Pentru $\alpha_{2,1} = 30^\circ$ și

$\alpha_{2,1} = 60^\circ$ lungimea segmentelor liniarizate va fi: $H_{0A,30^\circ} = 0,55(D - 2\delta)$ și $H_{0A,60^\circ} = 0,812(D - 2\delta)$. Aceste relații ne permit să determinăm aria suprafeței efective de absorbție a energiei solare a elementului de construcția propusă. Această suprafață este proporțională laturii triunghiului echilateral circumscris lungimea căreia se calculează cu relația $l_{CB} = \sqrt{3}H_{0A}$. Pentru unghiurile $\alpha_{2,1} = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ valoarea mărimii l_{CB} va fi respectiv: $l_{CB,0} = 0,5(D - 2\delta)$, $l_{CB,30} = 0,952(D - 2\delta)$ și $l_{CB,60} = 1,405(D - 2\delta)$.

Concluzii

1. S-a propus o soluție nouă de realizare constructivă a elementului absorbant, care poate fi utilizat în colectoarele solare plane.
2. Elementul absorbant asigură o rigiditate mecanică sporită în comparare cu realizarea lui în formă de țevă, deoarece are trei nervuri longitudinale amplasate sub unghiul de 120° .
3. S-a propus algoritmul de calcul al geometriei elementului absorbant reieșind din criteriul asigurării volumului de lichid la un metrul pătrat recomandat de standardele în vigoare pentru colectoare solare termice plane.

Bibliografia.

- [1] DOMBI Veronica-Elvira. Teza de doctorat "Optimizarea orientării colectoarelor solar termice plane funcție de necesarul energetic al unei clădiri". Sc. Doct. Interdisciplinară, Univ. Transilvania din Brașov, BRAȘOV, 2011
- [2] ПЛЕШКА М.С. Система кондиционирования микроклимата здания с использованием солнечной энергии. Дисс. на соис. уч. степ. к.т.н. по специальности 05.23.03 –Теплоснабжение, вентиляция кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Моск. Гос. Строительный Университет. Москва 205-05.-288с.
- [3] ШТЫМ А.С.,ЖУРМИЛОВ А.А. Научно-исследовательская установка на базе солнечных коллекторов и теплового насоса. «Вест. Дальневосточного государственного технического университета», 2010 год № 2 (4)
- [4] ЛОСЮК Ю.А.,КУЗЬМИЧ В.П. Нетрадиционные источники энергии. Учебное пособие. Мн.: УП ТЕХНОПРИНТ-2005. -234 с. ISBN -985-464-542-8.
- [5] ГОСТ 28310-89. Солнечные коллектора. Общие технические условия (Solar collectors. General specifications)
- [6] ДУДАРЕВ Н.В.,КУРАНОВ Е.Г.,НИКИТИН В.И.,РЕШ Г.Ф. Солнечный абсорбер. Патент RU 2197687 С2.
- [7] Colector solar. http://ro.wikipedia.org/wiki/Colector_solar.