

CARACTERISTICILE RADIAȚIEI SOLARE PE TERITORIUL REPUBLICII MOLDOVA

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

THE SOLAR RADIATION CHARACTERISTICS ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

Corina Guțu

Rezumat: În lucrare sunt prezentate un șir de caracteristici ale radiației solare, necesare pentru calculele de dimensionare și economice ale instalațiilor destinate valorificării acestei forme de energie: intensitatea globală a fluxului de radiație, unghiul optim de înclinare a suprafeței captatoare și cantitatea disponibilă de energie pentru suprafețe fixe și mobile, care urmăresc soarele după una și după două coordonate.

Cuvinte cheie: intensitatea radiației solare, unghi optim de înclinare.

Аннотация: В работе приведены ряд характеристик солнечной радиации, необходимых для технических и экономических расчетов установок, предназначенных для использования энергии солнца: интенсивность суммарного потока радиации, оптимальный угол наклона лучевоспринимающей поверхности и располагаемое количество энергии для неподвижной поверхности и подвижных по одной и по двум координатах поверхностях.

Ключевые слова: интенсивность солнечной радиации, оптимальный угол наклона.

Abstract: In work are given the necessary for technical and economic accounts of solar energy using installations characteristics of solar radiation: the total radiation flow intensity, the optimum inclination angle of the receiving surface and the available energy quantity for a fixed surface and mobile on one and after two coordinates surfaces.

Keywords: solar radiation intensity, optimum inclination angle.

1. INTRODUCERE

Cantitatea de energie solară incidentă pe suprafața unui captator E_s , se determină cu formula:

$$E_u = S_c I_{gl} \tau_z z \quad (1)$$

în care S_c este aria captatorului;

I_{gl} - intensitatea fluxului global al radiației solare incident pe suprafața captatoare;

τ_z - durata zilnică de funcționare a instalației;

z - numărul zilelor de funcționare.

Pentru dimensionarea și calculele economice ale instalațiilor de valorificare sunt necesare valorile:

- fluxului global de radiație,
- duratei de funcționare a instalației în timpul zilei,
- unghiului optim de înclinare a suprafeței captatoare.

În practica mondială, pentru diverse localități sunt elaborate programe de calcul și prezentate date referitor la fluxul de radiație în fiecare oră a zilei, peste fiecare jumătate de oră, sau pentru perioade și mai scurte [1, 2, ș.a.].

Fluxul global de radiație, I_{gl} , solară care nimereste pe o suprafață amplasată arbitrar reprezintă suma a două componente:

$$I_{gl} = I_s \cos \theta + I_d, \quad (2)$$

Aici I_d este fluxul de radiație difuză - rezultatul difuziei, difracției și reflecției atmosferice a razelor solare;

I_s - radiația directă (care a păstrat direcția razei solare),

θ - unghiul de incidență a razei pe suprafața în cauză.

Intensitatea radiației globale pe o suprafață concretă este influențată de mai mulți factori, o parte din care sunt incluși în valoare unghiului θ (latitudine, longitudine, unghi orar, declinație anotimpală), alți factori meteorologici (transparența atmosferei, nebulozitate, temperatura și umiditatea aerului) incluși în valorile I_d și I_s , apreciate în rezultatul observărilor multianuale organizate și efectuate de către stațiile meteorologice [3].

Conform datelor climatologice, Republica Moldova poate fi împărțită în trei zone climaterice [4, 5]:

- zona de nord cu centrul în Briceni,
- zona centrală cu centrul în Chișinău,
- zona de sud cu centrul în Cahul.

Valorile globale anuale ale radiației solare pentru zona de sud sunt cu 3,5 % mai mari, iar pentru cea de nord – cu 5,0 % mai mici decât cele din zona Chișinăului.

Au fost studiate caracteristicile pentru zona centrală a Republicii Moldova, pentru care s-au determinat caracteristicile radiației solare incidente pe suprafețe:

- orientate în timpul zilei perpendicular razei solare,
- orientată în plan vertical după unghiul orar,
- amplasată fix sub un unghi optim.

2. ENERGIA DISPONIBILĂ SUPRAFETEI ORIENTATE PERPENDICULAR RAZEI SOLARE

În tot timpul zilei sunt orientate perpendicular razei solare heliostatele, cu care sunt dotate Centralele Electrice Solare cu ciclul clasic Rankin. În acest caz energia disponibilă va avea valoarea maxim posibilă. Radiația difuză constituie 35 % din cea globală. Variația

fluxurilor de radiație în timpul anului este prezentată pe fig.1. Curbele au un caracter întrucâtva ne regular, de oarece radiația este influențată nu numai de poziția soarelui dar și de

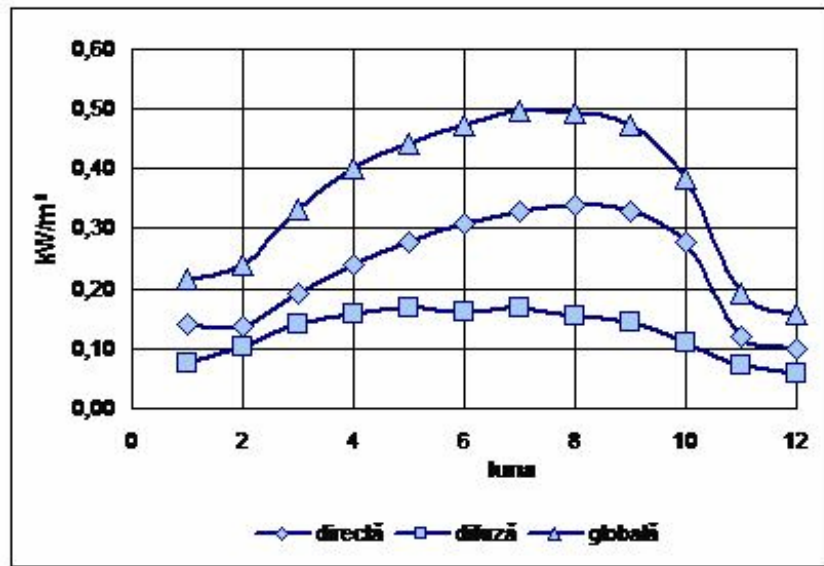


Fig. 1. Variația radiației solare în timpul anului.

starea atmosferei: nebulozitate, umiditatea aerului ș.a. Maximumul radiației are loc în lunile iulie august și nu coincide cu durata maximă a zilei și înălțimea maximă a soarelui, care au loc în iunie.

Cantitatea anuală disponibilă de energie constituie 6230 MJ. Pentru o Centrală Termoelectrică Solară cu ciclu clasic cu puterea maximă de 1,0 MW în condițiile Republicii Moldova ar fi necesare heliostate cu suprafața totală de 6580 m². Producția anuală de energie electrică a acestei CTES, la randamentul de 12...20 %, ar fi de 1,3...2,2 GWh/an, ceea ce ar permite substituirea a 360...600 mil. m³ de gaz natural pe an și ar reduce emisiile de gaze cu efect de seră cu 0,7...1,2 kt/an.

3. ENERGIA INCIDENTĂ PE O SUPRAFAȚĂ ORIENTATĂ ÎN PLAN VERTICAL DUPĂ UNGHIUL ORAR

În unele construcții tehnice este posibilă variația în timpul zilei a unghiului de înclinare față de planul orizontal. În acest caz, unghiul de înclinare se va schimba în funcție de unghiul orar al soarelui. Pentru zona centrală a Moldovei, în baza datelor din [3], au fost obținute formulele de calcul ale înălțimii soarelui în funcție de ora zilei (vezi tab.1). Eroarea în limitele indicate de timp nu depășește 2,5⁰. Unghiul de înclinare al captatorului pentru fiecare oră poate fi determinat scăzând valoarea obținută după formula pentru luna respectivă din 90⁰. Începând cu unghiul de incidență $\theta = 35^{\circ}$, valorile fluxului util de radiație sunt

reduse de influența acestuia asupra absorbției suprafeței captatoare [6]. De aceea în formula (2) s-a introdus corecția respectivă c_{θ} :

$$I_{gl} = I_s c_{\theta} \cos \theta + I_b. \quad (3)$$

Tabelul 1. Formule de calcul al înălțimii soarelui, în grade, pentru orașul Chișinău

Luna	Limita de ore	Formula
I	9...16	$\alpha = -1,2222 \tau^2 + 29,422 \tau - 155,41$
II	9...16	$\alpha = -1,3444 \tau^2 + 32378 \tau - 164,85$
III	6...16	$\alpha = -0,0574 \tau^3 + 0,6472 \tau^2 + 9,8958 \tau - 72,403$
IV	6...19	$\alpha = 0,0175 \tau^4 - 0,851 \tau^3 + 13,637 \tau^2 - 80,33 \tau + 160,56$
V	6...19	$\alpha = 0,0232 \tau^4 - 1,1325 \tau^3 + 18,566 \tau^2 - 116,35 \tau + 260,08$
VI	6...19	$\alpha = 0,0262 \tau^4 - 1,2798 \tau^3 + 21,156 \tau^2 - 135,4 \tau + 312,67$
VII	6...19	$\alpha = 0,0225 \tau^4 - 1,0947 \tau^3 + 17,85 \tau^2 - 110,63 \tau + 245,89$
VIII	6...18	$\alpha = 0,02 \tau^4 - 0,972 \tau^3 + 15,737 \tau^2 - 95,496 \tau + 202,43$
IX	6...17	$\alpha = 0,0175 \tau^4 - 0,8391 \tau^3 + 13,263 \tau^2 - 77,04 \tau + 146,81$
X	6...16	$\alpha = -0,0605 \tau^3 + 0,8685 \tau^2 + 5,9213 \tau - 57,47$
XI	9...16	$\alpha = -1,2556 \tau^2 + 30,222 \tau - 157,4$
XII	9...16	$\alpha = -1,1889 \tau^2 + 28,622 \tau - 152,71$

La valorile unghiului de incidență $\theta \geq |90^\circ|$ captatorul practic nu funcționează soarele va fi „în spatele” captatorului. În afara acestor limite pe suprafața captatoare nimereste numai radiația difuză, care este ne însemnată. În tab.2 sunt prezentate durata de funcționare a captatorului, orientat strict spre sud, pentru fiecare lună, valoarea medie diurnă pe această perioadă a fluxului global și cantitatea de energie disponibilă lunar. Durata de funcționare pentru lunile calde ale anului – aprilie-septembrie este de 12 ore pe zi. În aceste luni și intensitatea fluxului disponibil este de 2...3 ori mai mare.

Tabelul 2. Caracteristicile radiației solare pe o suprafață orientată după soare în plan vertical pentru condițiile mun. Chișinău

Luna	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Durată de funcționare, h/zi	8,8	10,2	11,8	12	12	12	12	12	12	10,9	9,3	8,4
Valoare medie I_{gl} , kW/m ²	0,199	0,218	0,284	0,374	0,421	0,469	0,477	0,451	0,388	0,332	0,178	0,153
Energie disponibilă, MJ/(m ² .lună)	194,9	223,8	374,4	471,8	563,5	607,5	639,4	603,9	502,6	404,4	178,9	143,2

Caracteristicile anuale și repartizarea lor pe diferite perioade ale anului sunt prezentate în tab.3. După cum se vede din tabel, energia disponibilă în perioada caldă a anului

constituie peste 70 % din total. În perioada de vară sunt disponibile aproape de 40 %, pe când iarna – ceva mai mult de 10 %.

Tabelul 3. Repartizarea energiei solare pe perioadele anului

Perioada	Intensitatea medie, kW/m ²	Durata, h	Energie disponibilă,	
			MJ/m ²	%
Anual	0,341	3998	4908	100
Aprilie-septembrie	0,43	2196	3399	69,3
Vara	0,47	1104	1851	37,7
Iarna	0,19	819	560	11,4

Producția anuală de energie electrică de către o baterie de elemente fotovoltaice cu randamentul electric 0,15 va fi de peste 200 kWh/m². Producția anuală a unui captator helioteermic cu randamentul mediu anual 0,4 va fi de cca. 2,0 GJ/m². Producția unui captator helioteermic în perioada caldă a anului cu randamentul 0,6 va fi de 1,2 GJ/m².

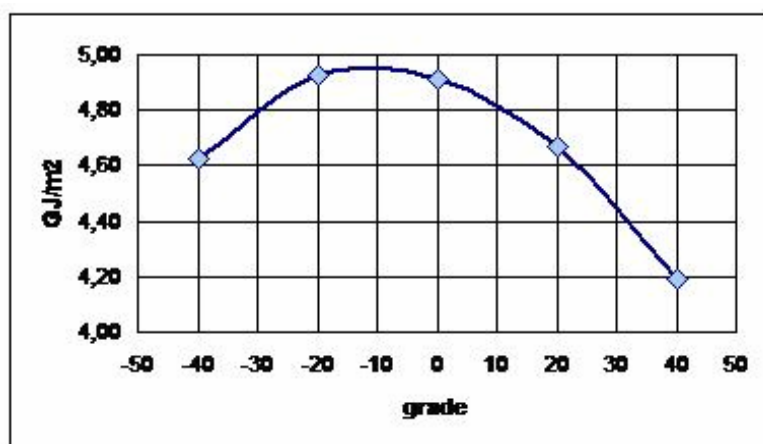


Fig. 2. Influența deviației suprafeței de la direcția sud.

Pentru a determina influența unghiului azimutal asupra intensității radiației valoarea acestuia s-a schimbat în limitele (- 40 °)...(+40 °). Influența deviației suprafeței de la direcția sud este prezentată pe fig.2. După cum se vede din desen, deviația spre est cu 20 de grade practic nu influențează cantitatea de energie disponibilă, pe când aceeași deviație spre vest reduce cantitatea anuală de energie cu peste 6 %, iar deviația la 40 ° – cu 16 %. Aceasta se lămurește prin valorile mai mari ale fluxului direct de radiație în prima jumătate a zilei și prin întârzierea timpului local față de cel standard pentru localitate.

4. ENERGIA INCIDENTĂ PE O SUPRAFAȚĂ FIXĂ

CU AMPLASARE OPTIMĂ

Amplasarea optimă a suprafeței de captare va fi cea care în ora cu intensitatea maximă a radiației directe va fi maximă valoarea lui $\cos\theta$ calculată cu formula [6]:

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos i - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin i \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos i \cdot \cos H \\ & + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin i \cdot \cos H \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \sin i \cdot \sin\gamma \cdot \sin H, \end{aligned} \quad (4)$$

în care:

φ este latitudinea locului;

δ - declinația soarelui;

H - unghiul orar al soarelui;

i - înclinarea planului (unghiul dintre plan și orizontul locului);

γ - unghiul azimutal al planului (deviația normalei la plan față de direcția sud a meridianului locului, pozitivă către vest și negativă către est).

Formula de calcul a valorii maxime a unghiului optim de înclinare a fost primită prin egalarea cu 0 a derivatei de la formula (4). Rezultatele obținute în funcție de luna anului sunt prezentate pe fig.3. Unghiul de înclinare optim variază între 24° în lunile de vară și 70° în lunile de iarnă.

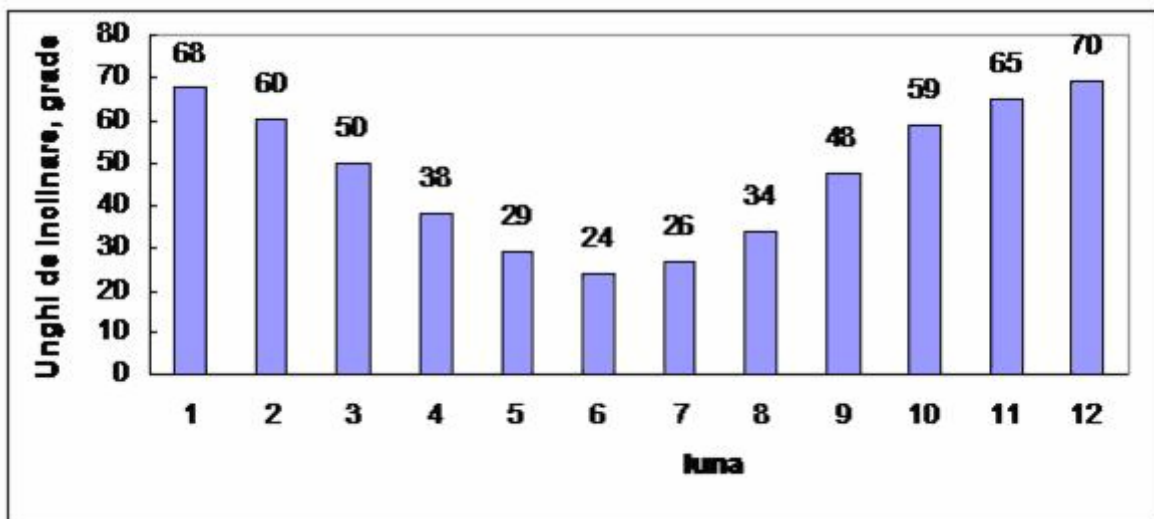


Fig. 3. Valoarea unghiului optim de înclinare a captatoarelor solare.

Dependența cantității de energie, în $GJ/(m^2 \cdot an)$, de unghiul de înclinare a suprafeței de captare față de planul orizontal este prezentată pe fig.4. Valoarea maximă corespunde unghiului de 37° . Față de această valoare scăderea cantității de energie, atât la

micșorarea cât și la mărirea unghiului, este simetrică. În practică însă, în majoritatea cazurilor factorul decisiv în dimensionarea unghiului de înclinare nu est cantitatea maximă totală de energie, dar cantitatea ei în unele perioade ale duratei de funcționare, de altfel se poate obține energie excesivă în lunile calde, când ea nu este necesară în așa cantități, și insuficientă în perioada rece.

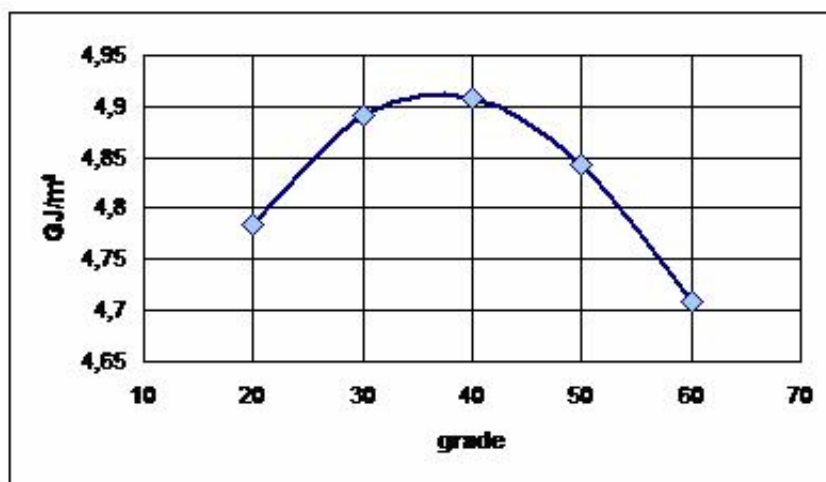


Fig. 4. Variația cantității anuale de energie incidentă pe o suprafață în funcție de unghiul de înclinare.

În „Normele de construcție a instalațiilor solare” [7], introduse în anul 1986 și ne schimbate oficial până în prezent, se recomandă următoarele valori ale unghiului de înclinare ale suprafețelor de captare a radiației:

- pentru instalațiile care funcționează anul întreg – egal cu latitudinea locală,
- pentru instalațiile de vară – cu 15° mai mic decât latitudinea locală,
- pentru instalațiile de iarnă – cu 15° mai mare decât latitudinea locală.

Tabelul 4. Valorile recomandate ale unghiului optim, în grade, pentru diferite perioade de funcționare a captatoarelor

Perioada de funcționare	Luna													
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II		
Anual	47													
Sezonul cald		40												
Vară, iarnă,					32								62	

Unghiurile pentru latitudinea Chișinăului de 47°, determinate după metodica relatată, sunt prezentate în tab. 4. Pentru perioada caldă a anului: aprilie-septembrie s-a luat valoarea medie între cea anuală și cea de vară. La determinarea valorilor pentru instalații concrete se

vor lua în considerație și particularitățile tehnologice ale acestora. Astfel, captatoarele instalațiilor de uscare preponderent a vișinilor și caiselor, care se coc în luna iunie, pot fi amplasate cu unghiul de înclinare $24...25^{\circ}$.

În tab.5. sunt prezentate valorile intensității globale medii ale fluxului de radiație pe suprafețele amplasate sub unghiurile de înclinare indicate în tab.4. În calcule s-a luat în considerație și influența unghiului de incidență asupra absorbției suprafeței.

Tabelul 5. Valorile intensității globale medii ale fluxului de radiație, în kW/m^2 , pentru diferite perioade de funcționare a captatoarelor amplasate sub unghi de înclinare optim

Perioada de funcționare	Luna												
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	
Anual	0,325												
Sezonul cald		0,446											
Vară, iarnă,					0,501						0,189		

Intensitatea globală maximă este în luna iulie și are valoarea de $0,633 \text{ kW/m}^2$. Valoarea medie anuală este de aproape două ori mai mică, pe când cea pentru sezonul cald – numai cu 28 %, iar cea de vară cu 22 %, mai mică. Pentru lunile de iarnă ea este însă de peste 3 ori mai mică de cât cea maximă.

Producția anuală a unei baterii fotovoltaice cu randamentul de 15 % va fi de peste 200 kWh/m^2 , producția pentru perioada caldă – 125 kWh/m^2 , iar la instalarea ei într-un lagăr de vară cu perioada de funcționare iunie-august – peste 80 kWh/m^2 .

5. ANALIZA COMPARATIVĂ A RADIAȚIEI PE SUPRAFEȚE CU DIFERITE MODURI DE AMPLASARE

Caracteristicile radiației disponibile pe suprafețe cu diverse tipuri de amplasare sunt prezentate în tab.6. După cum se vede din tabel, un efect considerabil îl are urmărirea soarelui pe două coordonate – la heliostate. Cantitatea anuală de căldură în acest caz este cu 28 % mai mare de cât la amplasarea fixă cu unghiul optim de înclinare. Variația unghiului de înclinare după o singură coordonată – pe verticală, are un efect neînsemnat, cantitatea disponibilă de căldură mărindu-se cu mai puțin de 1 %.

Tabelul 6. Caracteristicile radiației solare în condițiile Chișinăului pe diverse suprafețe

Înclinare	Unghi optim		Unghi variabil pe verticală		Heliostat	
	Energie disponibilă, MJ/m ²	Intensitate medie, kW/m ²	Energie disponibilă, MJ/m ²	Intensitate medie, kW/m ²	Energie disponibilă, MJ/m ²	Intensitate medie, kW/m ²
I	187	0,188	190	0,199	213	0,215
II	219	0,213	222	0,218	275	0,240
III	374	0,280	375	0,284	436	0,331
IV	472	0,364	477	0,368	604	0,400
V	562	0,420	564	0,421	727	0,433
VI	587	0,461	618	0,469	841	0,475
VII	622	0,472	649	0,477	848	0,489
VIII	604	0,451	617	0,453	788	0,494
IX	503	0,394	510	0,388	666	0,473
X	399	0,327	404	0,332	471	0,385
XI	171	0,170	179	0,178	201	0,192
XII	135	0,144	143	0,153	152	0,159
Anual	4871	0,313	4908	0,324	6230	0,357

Acest factor se vede și pe fig.5, unde curbele primelor două amplasări aproape că coincid. Din acest grafic se vede că în orele amiezii intensitățile fluxului de radiație pentru

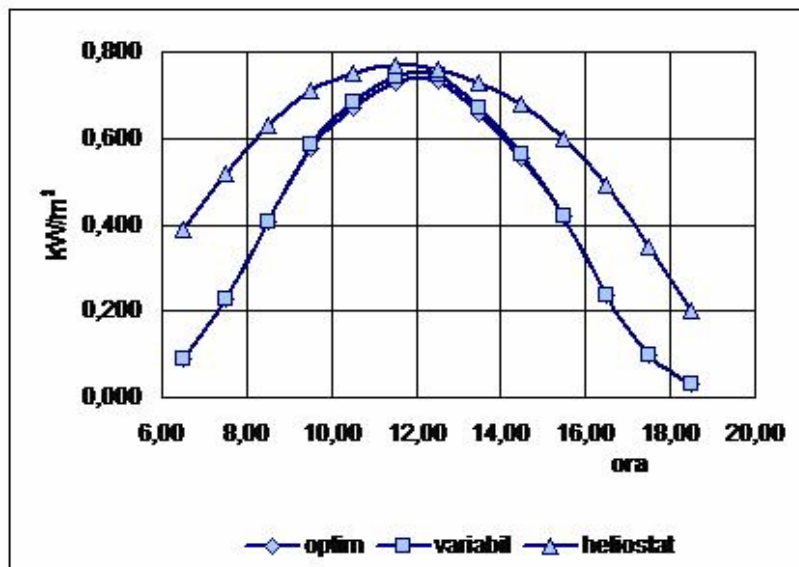


Fig. 5. Variația intensității fluxului disponibil de radiație în timpul zilei (luna iulie).

toate trei amplasări aproape că coincid. La heliostate câștigul este pe contul orelor de până și de după amiază, pe când la celelalte două variante, dimpotrivă – o coincidență totală se observă în orele de dimineață și seară, ceea ce se lămurește prin influența asupra fluxului de radiație a unghiului orar al soarelui.

În varianta cu variabilitatea unghiului pe verticală în perioada caldă a anului se observă o deosebire mai pronunțată față de cea cu amplasare fixă. Astfel, în perioada mai-septembrie câștigul de energie prin variația înclinării este de cca. 6 %, iar în lunile iunie-august - peste 8 %. Prin urmare, această variantă poate fi recomandată pentru instalațiile de uscare.

CONCLUZII

1. Variația fluxului global al radiației solare față de zona centrală a Republicii Moldova este de 3,5...5,0 %.
2. Pentru zona centrală a Republicii Moldova au fost determinate și prezentate sub formă de tabele valorile fluxurilor globale de energie necesare pentru calcularea heliostatelor, captatoarelor solare fixe, amplasate sub un unghi optim de înclinare și a captatoarelor cu unghi de înclinare variabil în timpul zilei.
3. Pentru zona de centru a Republicii Moldova au fost determinate și prezentate în formă grafică valorile unghiului optim de înclinare a captatoarelor în funcție de luna anului.
4. Cantitatea anuală de căldură disponibilă suprafeței heliostatelor este cu 28 % mai mare de cât suprafețelor amplasate fix, sub un unghi optim de înclinare.
5. Variația unghiului de înclinare după o singură coordonată – pe verticală, are un efect neînsemnat, cantitatea disponibilă de căldură mărindu-se doar cu cca. 1 %, în lunile de vară câștigul de energie însă constituie peste 8,5 %; prin urmare, această variantă poate fi recomandată pentru instalațiile de uscare.

REFERINȚE

- [1]. Puri V.M. *Estimation of hale-hour solar radiation values from hourly values*. "Solar Energy", 1978, 21, nr. 5, –p. 409-414.
- [2]. Garg H.P, Dayal M., FurlanG., Saiygh A.A.M. *A program for calculation solar radiation in tropical climates on small computers*. Physics and Technology of Solar Energy, Vol.1. 609 p.
- [3]. *Научно-прикладной справочник по климату СССР*. Серия 3. Части 1 – 6, вып. 11. Гидрометеоиздат, Ленинград. 1990. –с.192.
- [4]. Лассе Г.Ф. *Климат Молдавской ССР*. Гидрометеоиздат, Ленинград. 1990. –с.375.
- [5]. Борзунов Л.В., Болога М.К., Коротун В.Н. *Энергетические характеристики солнечного режима Молдавии*. «Штиинца». Кишинев. 1962. –с. 46.
- [6]. Duffie J.A., Весман W.A. *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1991, p.920.
- [7]. Ведомственные строительные нормы. *Установки солнечного горячего водоснабжения*. Нормы проектирования. ВСН 52-86.

Guțu Corina, a absolvit Facultatea Energetică a UTM în a.2000, calificarea - inginer-manager. Activează din a.2000 până în prezent în funcție de inginer la ICS "RE Chisinau" SA Grupul Union Fenosa. În anii 2000-2003 a lucrat prin cumul ca lector-asistent la catedra IME a UTM. Din anul 2002 este doctorand la Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Republicii Moldova. Autor a 12 publicații. E-mail: corina1478@yahoo.com