

UNELE ASPECTE PRIVIND SISTEMELE SOLARE PARABOLOIDALE CU MOTOR STIRLING

V. Dulgheru

Universitatea Tehnică a Moldovei

“Secolul al XIX^{-lea} a fost al aburilor, secolul al XX^{-lea} – al electricității, iar secolul al XXI^{-lea} va fi al energiilor regenerabile sau nu va fi deloc”

INTRODUCERE

Privind vizionar în viitor, Freeman Dyson de la Universitatea din Oxford argumentează că schimburile tehnologice alterează fundamental aranjamentele noastre etice și sociale și că trei tehnologii noi, care se dezvoltă rapid – energiile regenerabile, ingineria genetică și comunicarea globală, astăzi au potențialul de a crea o distribuție mai uniformă a sănătății globale. Sectorul energetic tradițional se confruntă cu două probleme majore - criza energetică și impactul asupra mediului. Aceste două aspecte grave reprezintă problemele globale ale Omenirii, soluționarea cărora cade pe umerii inginerilor. Dat fiind faptul că producerea energiei din surse fosile provoacă poluarea mediului, creșterea pericolului pentru sănătate, schimbarea climei, etc. conceptul de dezvoltare durabilă a fost acceptat și concretizat la Conferința Cadru a ONU privind Schimbarea Climei, care a avut loc în anul 1992 la Rio de Janeiro, în primul rând, în contextul dezvoltării sectorului energetic. Republica Moldova a accesat protocolul de la Kyoto la 22 aprilie 2003, de asemenea, este semnatară a 18 convenții internaționale de mediu. Deoarece lumea este atât de dependentă de energie, deoarece majoritatea populației Terrei folosește combustibili fosili pentru a-și satisface necesitățile energetice, fapt ce provoacă un grad înalt de poluare a mediului, apare stricta necesitate de a căuta surse noi de energie durabile și prietenoase mediului. Vor trebui găsite surse de energie care produc cea mai mică poluare posibilă. Deoarece toate sursele tradiționale de energie utilizate poluează mediul ambiant, energiile regenerabile, practic, sunt lipsite de acest efect negativ de poluare a mediului.

Importanța deosebită pentru Republica Moldova constă, în primul rând, în argumentele economice și ecologice. Republica Moldova este practic lipsită de combustibili fosili cum ar fi cărbunele, petrolul, gazul natural. Conform datelor preliminare publicate de Agenția Națională pentru Reglementare în Energetică (ANRE) necesitățile de energie electrică ale Republicii Moldova în anul 2007 au fost satisfăcute din doar două surse: prin

import din Ucraina – 76,4 % și de la centralele electrice locale – 23,6 %, fapt ce afectează grav securitatea asigurării cu energie electrică [1]. În acest scop Guvernul Republicii Moldova a lansat *“Strategia Energetică a Republicii Moldova până în anul 2020”*, Legea Energiei Regenerabile nr. 160 – XVI din 11 iulie 2007, care au stabilit obiectivul majorării cotei (SRE) în bilanțul energetic până la 6 % în 2010 și 20 % în 2020. Prin dispoziția Prim-ministrului nr. 0919 din 04.01.2006 a fost creat Consiliul Coordonator pentru utilizarea resurselor energetice regenerabile. Aceste tendințe sunt în deplină concordanță cu strategia Uniunii Europene, membru al căreia tinde a fi și Republica Moldova.

Republica Moldova posedă câteva tipuri de energii regenerabile tehnic explorabile, exploatarea eficientă a cărora ar putea rezolva în mare măsură problemele energetice cu care se confruntă: energiile solară, eoliană, hidrolică și a biomasei. Implementarea SRE în Republica Moldova va fi posibilă numai prin stimularea instituțională, legislativă, financiară și educațională.

2. POTENȚIALUL ENERGETIC SOLAR GLOBAL

Utilizarea energiei solare este poate cea mai veche din energiile regenerabile. Cel mai mare potențial teoretic de energie regenerabilă reprezintă energia solară (cca 89000 TW, v. fig. 1). De fapt toate energiile regenerabile (cu excepția celei hidrolice) sunt derivate ale energiei solare. Mai mult decât atât și combustibilii fosili reprezintă prin sine aceeași energie solară înmagazinată de milioane de ani. O primă experimentare a efectului de concentrare a razelor solare a fost făcută de marele savant, inginer și inventator din perioada Greciei antice Arhimede. În timpul asediului cetății Siracuză de către romani Arhimede ia pus pe mai mulți apărători ai cetății să-și lustruiască scuturile și să concentreze cu ajutorul lor razele solare pe pânzele corăbiilor de lemn romane. Pentru a demonstra că acest lucru nu a fost un mit un grup din 50 de ingineri greci au repetat acest experiment

incendiind la Atena în 1974 o corabie din lemn de la distanța de 50 de m.

Proiectarea unui sistem de conversie a energiei solare în energie termică sau electrică se

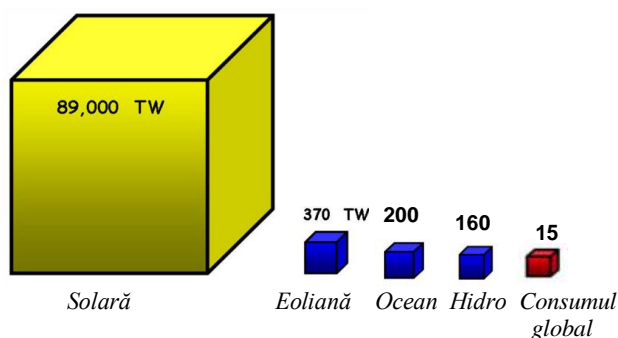


Figura 1. Potențialul energetic regenerabil.

bazează pe evaluarea corectă a radiației solare în amplasamentul dat și pe cunoștințe privind proprietățile radiației solare. Soarele este cea mai aproape stea de Pământ și se află la distanța medie de $1,5 \times 10^{11} m$. Soarele este principala sursă de energie, care determină clima pe pământ. Fiecare metru pătrat al învelișului exterior al atmosferei primește $342 W$, din care 31% sau $106 W$ sunt imediat reflectați în spațiu de către nori, atmosferă și suprafața terestră. Restul, adică $236 W/m^2$, este absorbită de suprafața solului, apa oceanului planetar și, parțial, de atmosferă, încălzindu-le. Suprafața pământului cedează în spațiu aceeași cantitate de energie ($236 W/m^2$), dar deja în banda de undă infraroșie: parțial învelișul atmosferic, parțial norii și vaporii de apă, care, condensându-se, se răcesc și transmit căldura atmosferei. Datorită schimbului de energie dintre suprafața pământului, atmosferă și spațiul cosmic se menține o temperatură medie globală constantă de circa $15^{\circ}C$ la nivelul mării și care scade rapid cu creșterea înălțimii, atingând $-58^{\circ}C$ în straturile superioare ale troposferei. Apare o întrebare firească: căror fenomene fizice se datorează acest echilibru și poate fi el deteriorat? Răspunsul îl găsim, apelând iarăși la teoria corpului absolut negru, care modelează fie soarele cu temperatura efectivă de $5777^{\circ}C$, fie pământul cu temperatura efectivă egală cu T_e .

Printre componentele energiei solare radiația normală directă este cea mai importantă din punct de vedere al conversiei energetice. Radiația directă normală este afectată atât de condițiile climaterice, cât și de distanța parcursă de razele solare prin atmosferă. În fig. 2 este prezentată o diagramă tipică a distribuției diurne și sezoniere a radiației directe normale (RDN) în deșertul Mojave, California, SUA [2]. Potențialul energetic teoretic solar global este foarte mare, însă diverși factori, cum ar fi zonele cu soare limitate, condițiile climaterice și

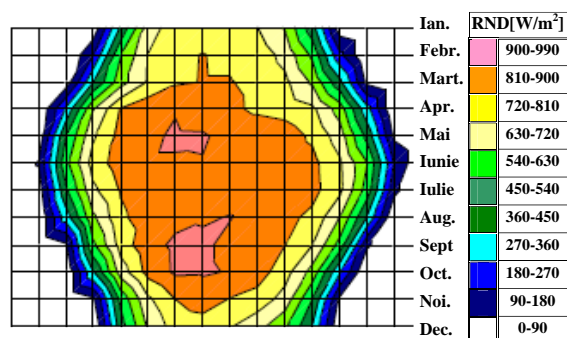


Figura 2. Distribuția tipică diurnă și sezonieră a radiației directe normale în deșertul Mojave, California, SUA.

performanțele sistemelor de conversie reduc simțitor potențialul energetic explorabil. Totuși potențialul energetic explorabil rămâne deosebit de mare, fiind comparabil cu producția globală de energie (Tabelul 1). Zonele cele mai favorabile, din

Tabelul 1. Potențialul de generare a energiei electrice solare prin utilizarea conversiei termodinamice.

| Caracteristici | Cantitatea de energie, TWh/an |
|--|-------------------------------|
| Radiația solară globală pe suprafața Planetei | 240×10^6 |
| Suprafețele de deșert ocupă 7% din suprafața totală a Planetei | $17,0 \times 10^6$ |
| Fracțiunea directă disponibilă a radiației (aproximativ 70%) | $11,2 \times 10^6$ |
| Eficiența medie anuală de conversiune a energiei solare în energie electrică (cca 15%) | $11,2 \times 10^6$ |
| Partea locațiilor semiaride și aride pentru stații solare în spațiul habitabil și cu acces la infrastructură (1% din suprafața deșertului) | $16,8 \times 10^3$ |
| Producerea globală de energie electrică în a. 2000 | 15×10^3 |

punct de vedere al conversiei energiei solare, sunt cele de la ecuator, și, în special, cele de deșert, unde un astfel de efect negativ (pentru conversia energiei solare) cum sunt ploile este foarte rar. De asemenea, unele sisteme de conversie a energiei solare necesită suprafețe mari, care, în cazul zonelor cu agricultură dezvoltată, sunt scoase din circuitul agricol. Din acest punct de vedere, cele mai mari sisteme de conversie a energiei solare sunt amplasate în deșerturile din SUA, Australia, zone aride din Spania ș.a. În Republica Moldova durata posibilă (teoretică) de strălucire a soarelui este de 4445 –

4452 h/an. Durata reală constituie 47–52% sau 2100 – 2300 h din cea posibilă. Radiația globală (suma radiației directe și difuze) pe o suprafață orizontală în condiții de nebulozitate medie constituie $1280 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ în zona de nord și $1370 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ – în zona de sud. Peste 75 % din această radiație revine lunilor Aprilie – Septembrie [1].

3. SISTEME DE CONVERSIE A ENERGIEI SOLARE

3.1. Aspecte generale

Tehnologiile pentru utilizarea pe scară largă a energiilor regenerabile trebuie să fie simple și fiabile, accesibile țărilor în curs de dezvoltare cu dezvoltare tehnologică redusă, care posedă potențial solar tehnic explorabil, însă resursele de bogății materiale sunt limitate. Ele trebuie să: producă mai multă energie pe durata existenței lor; să nu epuizeze resursele naturale; să nu creeze produse, care au un efect negativ asupra societății sau mediului.

Energia solară poate fi convertită pe două căi:

- prin conversia termică (energia solară este transformată în energie termică, utilizată pentru încălzirea încăperilor, apei menajere sau la producerea energiei electrice);
- prin utilizarea efectului fotovoltaic (conversia directă a energiei solare în energie electrică).

Există o varietate largă de mijloace tehnice pentru conversia termică a energiei solare, care pot fi divizate în două grupe:

1. Sisteme solare pentru conversia energiei atât directe, cât și difuze în energie termică la temperaturi joase. Acestea nu necesită urmărirea soarelui și au o construcție simplă. Din acest grup fac parte:

- colectorul plan solar pentru încălzirea apei și aerului;
- sistemul colector plan solar – turbină de flux (turnuri solare);
- sistemul colector plan solar de energie termică acumulată – turbină de flux (turnuri solare).

Ultimele două sisteme se utilizează pentru producerea energiei electrice.

2. Sisteme cu concentrarea razelor solare, care transformă componenta directă a radiației solare în energie termică la temperaturi medii și mari (de la câteva sute până la câteva mii de grade). Din acest grup fac parte:

- sisteme cilindro-parabolice (cu jgheab);
- sisteme paraboloidale cu diferite tipuri de motoare (turbină cu abur, motor Stirling etc.);

– sisteme cu heliostate.

În cele mai multe cazuri sistemele cu concentrare se folosesc pentru producerea energiei electrice. Sistemele cilindro-parabolice urmăresc soarele după o singură coordonată. O caracteristică distinctă a sistemelor solare electrice (SSE) constă în conversia multiplă a energiei: radiația solară se transformă în energie termică, apoi, folosind ciclul termodinamic Carnot sau altele, energia termică se transformă în energie mecanică. În sfârșit, prin conversia electromecanică se obține energie electrică. Din acest punct de vedere, conversia fotovoltaică este net superioară față de SSE – radiația solară este transformată direct în energie solară.

Actualmente Sistemele cu Concentrarea Energiei Solare (SCES) sunt căile cele mai eficiente și efective ca cost de generare a energiei electrice din energia solară. Totodată, sute de megavați de capacități generatoare SSE vor fi date în exploatare în următorii câțiva ani și vor avea o contribuție importantă în satisfacerea necesităților energetice. Care ar fi dezvoltarea pe viitor a acestor sisteme deosebit de avantajoase sub aspect economic, ecologic și social? În fig. 3 se prezintă două scenarii posibile de dezvoltare a SSE până în a. 2020. Conform ambelor scenarii, capacitatea cumulativă instalată a SSE va crește substanțial: în a. 2020 ar putea atinge ratele de 2100 MW (conform scenariului 1) și, respectiv, 4000 MW (conform scenariului 2).

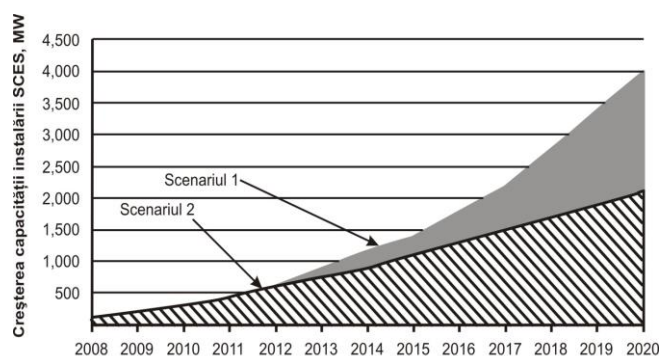


Figura 3. Scenarii de dezvoltare a SCES până în a. 2020.

3.2. Sisteme electrice termice solare paraboloidale cu motor Stirling

Tehnologiile solare paraboloidale cu motor Stirling se află în centrul atenției cercetătorilor mai mult de 20 de ani. În fig.4,a se prezintă schema structurală a unui sistem termic solar cu concentrator paraboloidal (taler) și motor Stirling. Sistemul include un concentrator paraboloid (taler)

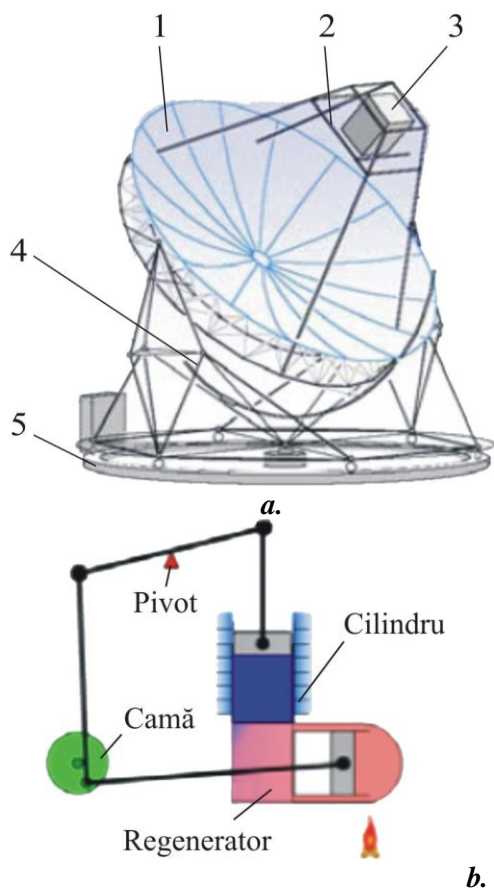


Figura 4. Principiul de funcționare a instalației solare cu motor Stirling.

1, un receptor termic 2 și un motor/generator termic 3, care sunt instalate pe un suport 4 cu mecanism de orientare a concentratorului față de soare 5 (fig. 4,a). În calitate de motor/generator termic este utilizat motorul Stirling. În fig. 4,b se prezintă principiul de funcționare a motorului Stirling. Principiul de funcționare a sistemului solar paraboloidal cu motor Stirling și al motorului Stirling este prezentat în fig. 5). Concentratorul

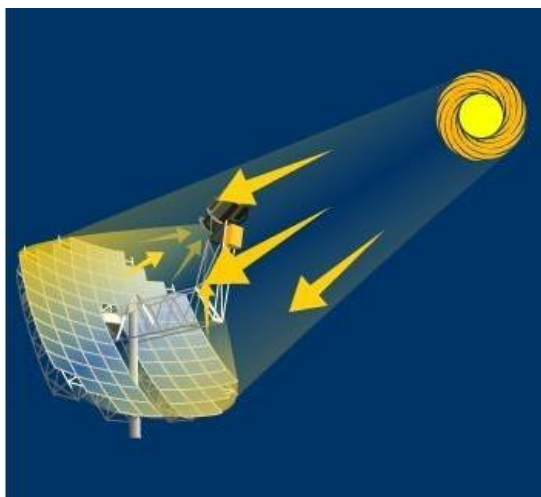


Figura 5. Principiul de concentrare a razelor solare în instalația cu motor Stirling.

paraboloidal reflectă radiația solară primită în cavitatea receptorului, care este localizat în punctul focal al concentratorului. Temperatura generată încălzește agentul de lucru al motorului Stirling și îl pune în funcționare. Pentru o mai bună înțelegere a problemei, în continuare se prezintă un scurt istoric, construcția și principiul de funcționare a motorului Stirling.

La 27 septembrie 1816 Robert Stirling obține brevet pentru Economizorul său în Edinburg, Marea Britanie (fig. 6). Pe atunci Robert Stirling era

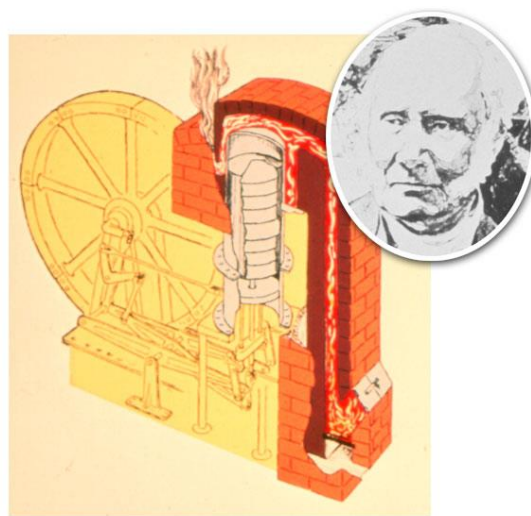


Figura 6. Primul motor Stirling.

ministru în Biserică din Scoția, unde a continuat să lucreze până la vârsta de 80 de ani. În acest timp, a construit motorul său de căldură în condiții casnice. Lordul Kelvin a folosit unul din modelele sale pentru demonstrații la cursuri universitare. Dinamica simplă și elegantă a motorului a fost explicată pentru prima oară în a. 1850 de către profesorul McQuorne Rankine. Aproximativ 100 de ani mai târziu termenul de „*Motor Stirling*” a fost utilizat de Rolf Meijer, pentru a descrie toate tipurile de motoare regenerative cu ciclul închis. Acest motor reprezintă un motor termic unic, deoarece randamentul teoretic este aproape egal cu randamentul teoretic maxim, cunoscut ca randament al ciclului Carnot. Motorul Stirling este acționat de expansiunea gazului care este încălzit, urmată de compresia lui când este răcit. Motorul Stirling conține o cantitate fixă de gaz, care este transferat înapoi prin zonele caldă și rece. Pistonul de repartizare mișcă gazul între ambele capete ale cilindrului, iar pistonul de putere schimbă volumul intern al gazului prin comprimare și dilatare. Gazele utilizate în interiorul motorului Stirling nu părăsesc motorul în timpul funcționării. Spre deosebire de motoarele diesel și cu benzină, motorul Stirling nu conține valve, nu are loc

explozie. Ciclul Stirling folosește sursă exterioară de căldură, care poate fi oricare – de la gazolină până la energia solară. Nu are loc procesul de combustie în motorul Stirling. Radiația solară este absorbită de un schimbător de căldură (receptor) și acesta încălzește gazul de lucru (heliu sau hidrogen) al motorului Stirling până la temperatura de aproximativ 650°C. Această căldură este convertită în energie mecanică de motorul Stirling. Un generator electric conectat direct la arborele motorului Stirling transformă energia mecanică în energie electrică. Randamentul teoretic posibil al motorului termic Stirling este de cca 60%, comparativ cu 45% pentru motorul diesel și nu mai mult de 30% pentru motorul standard Otto. Modulele paraboloidale cu motor Stirling pot produce între 5 și 40 kW. O rețea de module pot fi utilizate în cazul producerii energiei electrice în cantități mari.

Tehnologiile solare paraboloidale cu motor Stirling au fost demonstrate într-o varietate de sisteme complete pe parcursul ultimelor două decenii și pot să se miște spre aplicații comerciale ulterioare în următorii cinci ani. Mai multe proiecte americane și europene sunt orientate spre exploatarea energiei solare pe această cale. Instalațiile paraboloidale cu motor Stirling au mai multe caracteristici comune cu turbinele de vânt. Ca și turbinele de vânt, instalațiile solare paraboloidale Stirling sunt o sursă intermitentă de energie, includ un pedestal care poate fi construit în câteva zile, reprezintă instalații energetice de putere mică și sunt unități modulare.

În fig. 2.67 este prezentat un sistem



Figura 7. Sistem paraboloidal Stirling SES.

paraboloidal Stirling, care include un sistem de încălzire cu aer și un mecanism de rotire a concentratorului cu oglindă paraboloidală în jurul a două axe. Aceasta îi permite colectorului să fie orientat permanent la soare. Sistemul a fost elaborat și construit de Compania SES (Stirling Energy Systems), care, împreună cu compania STM, la ziua de astăzi sunt cele mai agresive în implementarea sistemelor paraboloidale Stirling pe piață. Ele sunt angajate în dezvoltarea și construirea unor noi instalații paraboloidale Stirling. Modificările motorului și ale sistemului colector în viziunea SES va majora randamentul de vârf al următoarelor instalații cu 10 %. Acesta este un nou record mondial al randamentului pentru orice tehnologie solară de generare a energiei electrice și va conduce la creșterea anuală a producerii energiei electrice cu 6,3 %. Terenuri relativ netede sunt preferabile pentru construirea și mentenanța acestor sisteme. Totodată cerințele față de teren sunt mai puțin importante decât pentru sistemele solare cilindro-parabolice sau turnurile solare. O instalație paraboloidală Stirling individuală produce de la 10 până la 25 kW. Având randament înalt și construcție modulară, costul acestor sisteme se așteaptă să fie competitiv pe piață. Conform estimărilor SES, elaboratorul principal al sistemelor paraboloidale Stirling, costurile concentratoarelor paraboloidale se va reduce dramatic de sute de ori la stațiile de puteri mari (de ordinul MW) sau la conectarea în rețea. Deocamdată instalațiile paraboloidale Stirling nu sunt comercializate, aflându-se în stadiu de experimentare. Recent la Sandia National Laboratories (SNL) în Albuquerque (SUA) a fost testată o instalație cu 6 oglinzi paraboloidale. În august 2005, compania Southern California Edison a anunțat public finalizarea negocierilor complete cu SES pentru dreptul de utilizare a instalațiilor paraboloidale Stirling cu capacitatea între 500 și 850 MW (producerea anuală între 1182 și 2010 GWh/an) pe o perioadă de 20 de ani. În septembrie 2005 SES a anunțat un contract cu San Diego Gas&Electric pentru a elabora instalații solare cu capacități între 300 și 900 MW. Prețul pentru cumpărarea acestor drepturi rămâne o informație confidențială. Dezvoltarea pe scară largă a sistemelor paraboloidale Stirling va conduce la reducerea drastică a capitalului și costurilor de deservire și mentenanță și va rezulta într-un sistem de fiabilitate majorată.

În continuare, în fig. 8,a,b se prezintă un sistem paraboloidal Stirling, elaborat și brevetat de autori [3]. În soluțiile examinate se propune simplificarea mecanismului de transformare a mișcării alternative a pistoanelor motorului Stirling

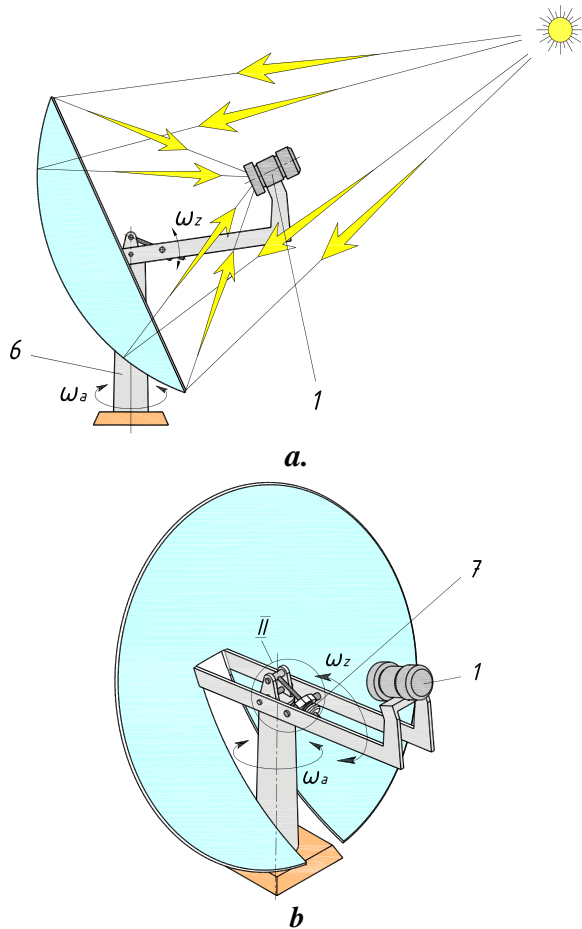


Figura 8. Sistem solar paraboloidal Stirling, elaborare de autor [3].

în mișcare de rotație. Mecanismul bielă-manivelă și cu came (v. fig. 6) al motorului Stirling 1 este înlocuit cu o transmisie planetară precesională 2, care efectuează reducerea turațiilor arborelui de ieșire 3 al motorului Stirling (fig. 9,a). Blocul satelit 4 (fig. 9,b) al transmisiei precesionale este legat cinematic direct cu tijele 5 ale pistoanelor motorului Stirling, fapt ce permite transformarea directă (fără utilizarea unor elemente suplimentare) a mișcării alternative de translație a pistoanelor în mișcare de rotație redusă a generatorului electric. Pentru realizarea rotirilor concentratorului paraboloidal împreună cu motorul Stirling în plan azimutal și zenital se folosesc mecanismele de acționare precesionale 6 și 7 (fig. 8,a,b) care, datorită raportului de transmitere foarte mare (până la 3600 într-o treaptă, asigură realizarea unor mișcări de rotație foarte lente (practic, o rotație în jurul axei turnului timp de 24 de ore), necesare pentru orientarea permanentă a Sistemului Paraboloidal Stirling în direcția soarelui. Mecanismele de acționare precesionale elaborate sunt compacte și fiabile, conțin un număr redus de elemente comparativ cu alte transmisii, fapt ce asigură cost redus.

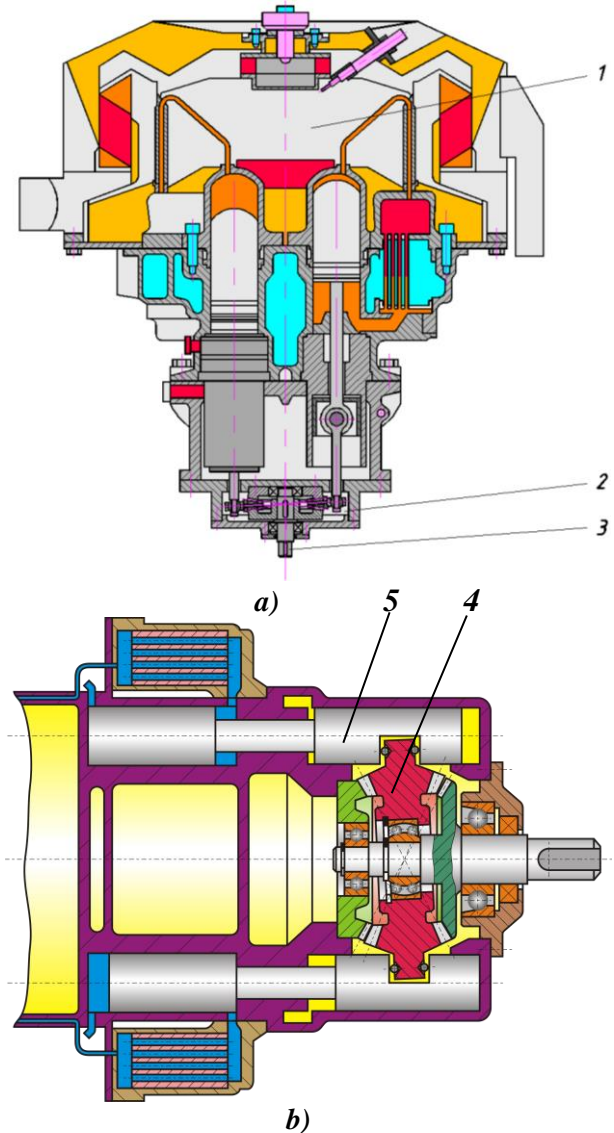


Figura 9. Motor Stirling, în care tijele pistoanelor sunt legate cinematic cu satelitul transmisiei precesionale [4].

Bibliografie

1. **Bostan I., Dulgheru V., Sobor I., Bostan V., Sochirean A.** Sisteme de conversie a energiilor regenerabile. Univ.Tehn. a Moldovei.- Ch.: Ed. „Tehnica-Info” SRL,(Tipografia BONS Offices). 2007.- 592 p. ISBN 978-9975-63-076-4.
2. **Flavin Ch., Lenssen N.** Valul energetic. Ghid pentru iminenta revoluție energetică. Editura Tehnică, București, 1996.
3. **Bostan I., Dulgheru V., Dicusară I.** Brevet nr. 3348MD. Instalație solară cu motor Stirling. BOPI nr. 10/2007.
4. **Bostan I., Dulgheru V., Tudor N., Ciupercă R.** Brevet nr. 2679. Motor cu ardere externă. Publ. BOPI nr. 1/2005.

Recomandat spre publicare:22.05.2008.