



ENERGIA SOLARĂ ȘI SISTEMELE FOTOVOLTAICE DE CONVERSIE CU EFICIENȚĂ SPORITĂ

Bostan Ion, Dulgheru Valeriu, Dicusară Ion, Cozma Ion
Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat – Aproximativ cu 50 milioane de oameni în fiecare an crește populația mondială, iar acest fapt conduce la o creștere a necesarului și, implicit, a consumului mondial de energie. Principalele surse de energie valorificate și utilizate la nivel mondial sunt reprezentate de combustibilii fosili, în proporție de aproximativ 78% din totalul energiei produse. Acest consum de combustibili fosili degradează atât mediul înconjurător cât și calitatea vieții umane, în toate implicațiile administrative, sociale, politice, economice și culturale ale acesteia. Soluția, regăsită în prezent pe axele prioritare de cercetare și dezvoltare ale oricărui proiect național și internațional, este creșterea gradului de utilizare a surselor de energii regenerabile și maximizarea eficienței de conversie a acestor energii.

Cuvinte cheie – energii regenerabile, sistem de orientare, energia solară, panou fotovoltaic.

SOLAR ENERGY AND PHOTOVOLTAIC CONVERSION SYSTEMS WITH HIGH EFFICIENCY

Bostan Ion, Dulgheru Valeriu, Dicusară Ion, Cozma Ion
Technical University of Moldova

Abstract – Approximately 50 million people each year world population increases, and this leads to an increase in demand and hence of world energy consumption. The main sources of energy harnessed and used worldwide are represented by fossil fuels at a rate of about 78% of total generation and consumption of fossil fuels that degrade the environment and the quality of human life in all administrative implications, sociological, political, economic and cultural aspects of it. The solution currently found on the priorities for research and development of any national and international project is increasing the use of renewable energy sources and maximize conversion efficiency of these energies.

Keywords – renewable energy, solar trackind sistems, solar energy, photovoltaic panel.

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ И ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНВЕРСИИ С ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ

Bostan Ion, Dulgheru Valeriu, Dicusară Ion, Cozma Ion
Технический университет Молдовы

Реферат – Каждый год населения мира увеличивается приблизительно на 50 миллионов человек и это приводит к увеличению спроса и, следовательно, мирового потребления энергии. Основные источники энергии, используемые в мире, являются ископаемые виды топлива которые составляют около 78% от общего количество. Потребление ископаемых видов топлив разрушают окружающую среду и снижают качество жизни человека во всех ее аспектах: административных, социальных, политических, экономических, культурных. Решение найдено в настоящее время в приоритетных направлениях исследования и разработки проектов на национальном и международном уровне является рост использования возобновляемых источников энергии и увеличение эффективности конверсии этих энергий.

Ключевые слова – возобновляемые источники энергии, система ориентирования, солнечная энергия, фотovoltaические панели.

1. INTRODUCERE

Rezolvarea problemelor globale ale omenirii – criza energetică, legată de epuizarea resurselor naturale de combustibili fosili și compromiterea serioasă a mediului ambiant (în primul rând de complexul energetic), cade, în primul rând, pe umerii inginerilor.

Recentul dezastru nuclear de la centrala atomoelectrică din Fukushima, Japonia a demonstrat o dată în plus necesitatea stringentă de reorientare spre sursele regenerabile de energie, care sunt nonpoluante,

inepuizabile și au devenit deja economic avantajoase.

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. Sursele

regenerabile de energie pot fi utilizate atât drept surse centralizate de energie, cât și, în mare parte, descentralizate, deosebit de avantajoase, în special, pentru consumatorii rurali sau izolați.

Sectorul energetic al Republicii Moldova se află într-o stare mult mai gravă. Dependența totală a Republicii Moldova de importul de resurse energetice afectează grav securitatea energetică. Peste 94,5 % din sursele primare de energie sunt importate [1]. Conform datelor preliminare ale ANRE, numai 23,6 % din energia electrică consumată în anul 2007, a fost produsă în partea dreaptă a Nistrului, iar 76,5% - importate din Ucraina. În acest scop Guvernul Republicii Moldova a lansat "Strategia energetică a Republicii Moldova până în anul 2010", care planifică creșterea cotei energiilor regenerabile în bilanțul energetic până la 10 % în anul 2010 și 20 % în 2020 [1]. De asemenea, clima relativ secetoasă (în special în zona de sud a Republicii) necesită irigarea terenurilor agricole.

Republica Moldova posedă câteva tipuri de energii regenerabile tehnice explorabile, exploatarea eficientă a cărora ar putea rezolva în mare măsură problemele energetice cu care se confruntă: energiile solară, eoliană, hidrolică și a biomasei. Conform statisticii oficiale în anul 2007, consumul total de resurse primare de energie a constituit 2146x103 tep, din care doar circa 4,5 % sunt de origine regenerabilă și, totodată, de origine autohtonă. Republica Moldova, care dorește să se integreze cât mai rapid în structurile europene, trebuie să se racordeze la strategiile energetice ale țărilor avansate, cu urmare a avantajelor naționale pe termen lung. Energetica regenerabilă este unul din domeniile, în care interesele naționale se pot îmbina cu tendințele internaționale.

2. POTENȚIALUL RADIAȚIEI SOLARE PE TERITORIUL REPUBLICII MOLDOVA

Radiația solară este principala sursă de energie pe pământ. Cu excepția a două tipuri – energia geotermală și a mareelor, celelalte energii regenerabile sunt derivate din radiația solară: termică, fotovoltaică (PV), eoliană, hidrolică, energia biomasei, valurilor marine și ale Oceanului Planetar.

Pentru a elabora un sistem de conversie a energiei solare trebuie să cunoaștem potențialul disponibil al acesteia pe teritoriul țării. În literatura de specialitate pot fi întâlnite diferite date referitoare la potențialul SRE al unei țări sau regiuni. Diversitatea are loc din cauza utilizării diferitelor noțiuni, definiții privind la potențialul unui sau altui tip de SRE. Trebuie să diferențiem noțiunile de potențial teoretic, potențial tehnic și potențial economic.

Potențialul teoretic sau posibil: Este potențialul total generat de o anumită sursă pe o perioadă de un an. De exemplu, potențialul teoretic al radiației solare pe teritoriul Republicii Moldova va fi ca produsul dintre suprafața teritoriului, în m^2 , și cantitatea medie de energie a radiației solare incidente pe o suprafață orizontală într-un an. Conform [1], radiația solară medie anuală pe teritoriul Republicii Moldova, în condiții de nebulozitate medie, este egală cu 4567 MJ/m². Potențialul teoretic al energiei solare: $EST = 33,8 \times 10^9 \times 4567 = 154,4 \times 10^3$ PJ și este de peste 2000 de ori mai mare decât consumul

prezent al energiei din resurse fosile.

Potențial tehnic: Este evident că potențialul teoretic nu poate fi utilizat integral, ci doar parțial. Mărimea acestei părți depinde de performanțele tehnologiei aplicate și constrângerile întâlnite, cum ar fi în cazul energiei solare – prezența terenurilor agricole, drumurilor, parcurilor naționale, edificiilor etc. care nu pot fi atrase la instalarea colectoarelor solare termice sau modulelor PV. În ipoteza folosirii a 0,1 % din teritoriul Republicii Moldova pentru instalarea colectoarelor solare (inclusiv acoperișurile caselor) pentru încălzirea apei sau a aerului cu un randament mediu anual de 30 %, poate fi obținută o cantitate de energie termică egală cu 46,3 PJ.

Potențialul economic, prezintă o parte a potențialului tehnic, exploatarea căruia este rentabilă din punct de vedere economic. Perfecționarea tehnologiilor de conversie a energiilor regenerabile contribuie la creșterea atât a potențialului tehnic cât și a celui economic.

Datele cu privire la radiația solară sunt disponibile în diferite forme. O descriere sistematică a climei Republicii Moldova este prezentată în monografia [1] bazată pe datele măsurărilor meteorologice în perioada 1886-1975. Sunt prezentate componentele radiației solare – directă, difuză și globală - pe o suprafață orizontală sau perpendiculară pe direcția razelor solare și durata de strălucire a soarelui. În cele mai multe cazuri informația este prezentată în următoarele forme:

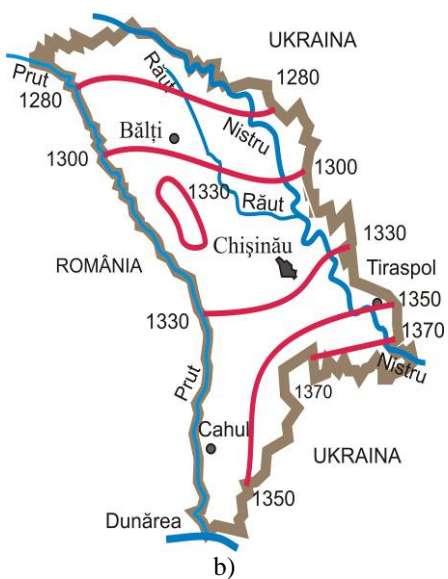
- Radiația solară pe o suprafață orizontală sau perpendiculară în kWh/m² sau MJ/m² pentru o perioadă de timp – o oră, o zi sau o lună;
- Radiația solară instantanee sau densitatea de putere în W/m² măsurată de 5 ori pe zi: respectiv la orele 630, 930, 1230, 1530 și 1830 , în conformitate cu timpul mediu de strălucire solar.
- Durata de strălucire a soarelui în ore sau valori relative ca raportul dintre durata reală de strălucire a soarelui și cea teoretică sau posibilă.

Informația cu privire la radiația solară este disponibilă pentru două cazuri de transparență a atmosferei: în condiții de cer senin (nebulozitatea 0-3 grade), care caracterizează radiația solară maximă posibilă și în condiții de nebulozitate medie.

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 (fig. 1, a). Variația cu circa 5 % se datorează diferenței de latitudine dintre zona de nord și cea de sud, care este de circa 2,50. O parte considerabilă a orelor de strălucire a soarelui revine lunilor aprilie – septembrie și constituie 1500 – 1650 de ore. Radiația globală (suma radiației directe și a celei difuze) pe o suprafață orizontală în condiții de nebulozitate medie constituie 1280 kWh/m².an în zona de nord și 1370 kWh/m².an – în zona de sud (fig. 1,b). Peste 75 % din această radiație revine lunilor aprilie – septembrie. Radiația globală în zona de nord este mai mică cu 3,5 % decât în zona de centru și mai mare cu 2,6 % - în zona de sud. Diferența mică dintre aceste valori permit să utilizăm în calcule datele cu privire la radiația solară pentru zona de centru a Republicii Moldova.



Fig. 1. Durata de strălucire a soarelui, h/an (a) și iradierea anuală (expunerea) solară, kWh/m²



3. CALCULUL RADIAȚIEI SOLARE POSIBILE PE UN PLAN ÎNCLINAT

Pentru proiectarea unei instalații de conversie a energiei solare în energie termică sau electrică este necesar să cunoaștem radiația solară posibilă pe suprafața captatoare fie a colectorului solar, fie a modulului (panoului) fotovoltaic. Totodată, radiația solară este o funcție variabilă ce depinde de mai mulți factori: latitudinea și altitudinea locului, anotimpul, ziua, ora, gradul de nebulozitate, conținutul de praf, vapori de apă și de aerosoli în atmosferă. Este evident că nu poate exista una sau mai multe expresii matematice care ar permite

calculul radiației solare, luând în considerație toți acești factori, în particular, cei cu caracter aleatoriu – nebulozitatea, conținutul de praf, aerosoli etc.

Proiectarea unei instalații solare și prevederea productivității acesteia în viitor se face în baza măsurărilor sistematice ale componentelor radiației solare înregistrate în trecut și disponibile în publicațiile Serviciului de Stat „Hidrometeo”.

În cele mai multe cazuri dispunem de date cu privire la radiația solară pe un plan orizontal. În același timp, avem nevoie de componentele directă și difuză ale radiației pe planul unui colector solar sau panou fotovoltaic. În figura 2 se prezintă radiația solară directă, B , pe planul orizontal (a) și $B\beta$, pe un plan înclinat față de orizont cu unghiul β (b). Radiația perpendiculară pe suprafața planului este notată cu B_n . Este necesar să determinăm raportul dintre $B\beta$ și B .

Notăm raportul dintre radiația directă pe un plan înclinat și unul orizontal, prin R_b . Astfel, $R_b = B\beta / B$. Din figura 2 rezultă:

$$B = B_n \cos \theta_z ; B_\beta = B_n \cos \theta \quad (1)$$

și raportul R_b :

$$R_b = \frac{B_n \cos \theta}{B_n \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2)$$

unde θ este unghiul de incidență a razei solare - unghiul dintre perpendiculara pe planul în cauză și direcția razei solare.

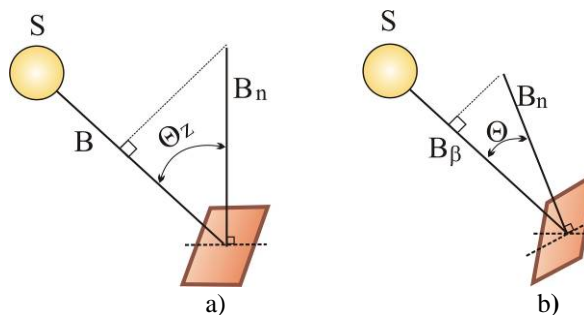


Fig. 2. Radiația solară directă pe un plan orizontal (a) și un plan înclinat (b).

Autorii lucrării au procesat datele măsurărilor radiației solare la Stația meteorologică Chișinău și datele raportului R_b la nivel global, publicate în [5]. Au fost calculate valorile raportului R_b , în funcție de diferența unghiurilor (la fiecare 50) și latitudinea locului (peste fiecare 50) pentru Republica Moldova, teritoriul fiind împărțit în trei zone – sud (latitudinea 460), centru - (latitudinea 470) și nord - (latitudinea 480). S-a utilizat interpolarea liniară, diferența unghiurilor variază de la 0 până la ± 200 cu un pas de 50.

Valoarea raportului R_b calculată determină componenta directă a radiației solare pe un plan înclinat:

$$B_\beta = R_b \cdot B \quad (3)$$

Celelalte componente ale radiației solare – difuză și reflectată - se determină din modelul izotrop a bolții cerești propus de Liu și Jordan în anul 1961 și modificat de Klein în 1977. Radiația difuză pe un plan înclinat, D_β , se calculează prin formula:

$$D_\beta = \frac{1}{2}(1 + \cos \beta)D \quad (4)$$

unde D este radiația difuză pe un plan orizontal. Radiația reflectată pe un plan înclinat, R_{β} , se calculează prin formula:

$$R_{\beta} = \frac{1}{2}(1 - \cos\beta)\rho G \quad (5)$$

unde ρ este coeficientul de reflecție a suprafeței Pământului; G – radiația globală pe o suprafață orizontală. În consecință, radiația globală pe un plan înclinat este egală cu suma celor trei componente-direcție, difuză și reflectată pe același plan:

$$G_{\beta} = R_b B + \frac{1}{2}(1 + \cos\beta)D + \frac{1}{2}(1 - \cos\beta)\rho G \quad (6)$$

Valorile raportului R_b au fost calculate pentru cel mai răspândit caz: suprafața colectorului solar sau a modului PV este amplasată spre sud cu o abatere de la linia nord – sud nu mai mare de ± 150 . Din formula (6) putem determina valoarea optimă a unghiului de înclinare β pentru care radiația globală incidentă pe suprafața colectorului solar va avea valori maxime.

4. SISTEM DE ORIENTARE A PANOURILOR FOTOVOLTAICE

Conform celor expuse mai sus constatăm faptul că randamentul unui sistem fotovoltaic depinde în mare măsură de orientarea permanentă a panourilor solare spre soare atât în plan azimutal, cât și zenital. În acest scop, se utilizează diverse mecanisme de acționare. Datorită faptului că mișcările de rotație în jurul celor două axe trebuie să fie foarte lente (în plan azimutal instalația trebuie să efectueze $\frac{1}{2}$ turații timp de 10–16 ore), raportul de transmitere al acestor mecanisme (dacă sunt realizate în baza angrenajelor) trebuie să fie foarte mare. Angrenajele planetare (cele mai răspândite pentru asemenea cazuri) trebuie să includă 3–4 trepte, fapt ce mărește considerabil numărul elementelor și, implicit, costul lor.

Orientarea panourilor fotovoltaice la soare se efectuează pe 2 axe: pe orizontală - cu extensiunea unghiulară de 95° prin intermediul modului constituit dintr-un servomotor solar Sun Tracer+ operat de un Sistem Astronomic de Poziționare în funcție de timp (TdAPS) și pe azimut - cu extensiunea unghiulară de 75° prin intermediul altui modul constituit dintr-un motor pas cu pas asamblat axial cu un reductor precesional 2K-H.

Orientarea la soare se efectuează prin acționarea simultană a motorului pas cu pas a modului și servomotorului solar al modului său. Astfel, panourile fotovoltaice se orientează la soare prin re poziționarea acestora cu mișcare plano-paralelă. Acționarea în ansamblu a panourilor fotovoltaice este ireversibilă, fapt ce asigură imobilitatea acestora la acțiunea vântului.



Fig. 4. Sistem autonom fotovoltaic cu orientare automatizată (SFVI).

8. CONCLUZII

Republica Moldova posedă potențial tehnic de energie explorabil din punct de vedere economic.

Prin utilizarea sistemului de orientare la soare eficiența panoului fotovoltaic crește substanțial deoarece radiația solară acționează perpendicular pe suprafața celulelor pe parcursul întregii zile.

Orientarea panourilor fotovoltaice la soare asigură majorarea eficienței de conversie cu aproximativ $40 \div 50$ %.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bostan I., Gheorghe A., Dulgheru V., Sobor Ion, Bostan V., Sochirean A., (2012), *Resilient Energy Systems for Renewables: Wind, Solar, Hydro*, Ed.: Springer, 507pp.
- [2] Bostan I., Dulgheru V., Sobor Ion, Bostan V., Sochirean A., (2007), *Sisteme de Conversie a Energiilor Regenerabile*, Ed.: "Bons Offices" SRL, 592pp.
- [3] Bostan I., Dulgheru V., Bostan V., Ciupercă R., (2009), *Antologia Invențiilor: sisteme de conversie a energiilor regenerabile*, vol. III, Ed.: "Bons Offices" SRL, 458pp.
- [4] Cozma I., Dicusară I., (2010), Unele aspecte ale sistemelor de orientare Conferința Tehnico – Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, 17-19 noiembrie 2010 culegeri de lucrări, vol.II, pp141.
- [4] www.zonnepanelen.wouterlood.com.
- [5] http://www.lpelectric.ro/en/products/solar/panels_solara_en.html.



Ion BOSTAN, PhD, Dr.Sc. professor, academician. Mechanical engineer, graduate of the Technical University of Moldova, Mechanical faculty (1971). Rector of the Technical University of Moldova (1992 - present). PhD thesis was supported in 1977 at the Polytechnique Institute of Saratov (Russia), thesis Dr.Sc. - in 1989 at the State Technical University "Bauman (Russia). Publications: all-over 600, including books and monographs - 14, and patents -207. e-mail: bostan@adm.utm.md



Valeriu DULGHERU, PhD, Dr.Sc. professor. Mechanical engineer, graduate of the Technical University of Moldova, Mechanical faculty (1978). Head of Department "*Fundamentals of Machine Design*" (1995 - present). PhD thesis was supported in 1987 at the Polytechnique Institute of Vladimir (Russia), thesis Dr.Sc. - in 1995 at the Technical University of Moldova. Publications: all-over 500, including books and monographs - 24, and patents -165 e-mail: dulgheru@mail.utm.md



Ion DICUSARĂ, PhD, lecturer. Mechanical engineer, graduate Machine tools (2002) in Technical University of Moldova, faculty Engineering and Management in Machine Building. Nominated "Youth laureate in science and technology", 2008. Publications: all-over 46 including books - 2, and patents - 19. e-mail: ion_dicusara@mail.utm.md



Ion COZMA, master student. Mechanical engineer, graduate Innovational Engineering and Technological Transfer in Machine Building in Technical University of Moldova (2012), faculty Engineering and Management in Machine Building, laborant at laboratory „Renewable Energies Development Center”, UTM. Nominated „Merit Scholarships” - best student of 2011. Publications: all-over 21. e-mail: cozmaion@mail.ru