ФОТОЕЛЕКТРИЧНИ МОДУЛИ С КОНЦЕНТРАТОРИМА СУНЧЕВОГ ЗРАЧЕЊА

Димитриј С. Стребков, Е. В. Твсрьянович,
Петар Ракин, Ања Јокић, Горан Вулићевић, Дејан П. Ракин ♣

Кључне речи: *концентратор, соларни елемент (СЕ), фотоелектрични модул (ФЕМ), соларне фотоелектричне станице (СФЕС)*

САЖЕТАК:
Употреба концентратора је најбржи пут снижења цене фотоелектричних модула. Коришћење концентратора дозвољава замену скупих површина СЕ јефтинијим површинама концентратора као оптичких уређаја који сакупљају сунчеве зраке са улазне површине на мању излазну површину концентратора, где су монтирани СЕ. Коришћење концентратора даје следећа преимућства: смањује број СЕ на јединицу одређене снаге, снижава цену ФЕМ, увећава ефикасност СЕ услед ефекта повећања напона при концентрисаном зрачењу, увећава η ФЕМ услед истовременог коришћења електрицитета и топлоте, која се одводи из расхлађених СЕ, отвара могућност наглог повећања производње СФЕС без додатног повећања производње СЕ.

1. УВОД

Релативно ниска густина сунчевог зрачења на површину земље. која је максимално реда величине 1000 W/m^2. изискује због увећања степена корисног дејства η – ефикасност директног претварања енергије помоћу соларних елемената (СЕ):

- неопходност повећања те густине помоћу оптичких апарата - концентратора соларног зрачења;
- извођење високотемпературских истраживања (с температурама вишим од 3000 °C);
- изградњу соларних станица с топлотним измењивачима.

♣ Академик Димитриј С. Стребков, РАСХН, Москва, Русија.
Е. В. Твсрјанович, канд. тех. наука, ВИЕСХ, Москва, Русија.
Др Петар Ракин, др Ања Јокић, асистент, Горан Вулићевић, дипл. инг, Дејан Ракин, ИХИС, Батајнички пут 23, 11080 Земун.

2. КОНЦЕНТРАТОРИ СУНЧЕВОГ ЗРАЧЕЊА

Конкретни задаци предодређују избор типа концентратора. степен концентрације зрачења. конструкцију концентратора. тип пријемника зрачења итд. У овом раду су разматрани аспекти коришћења концентратора на основу огледа аутора овог рада као и принципијелна питања нових типова концентратора за фотоелектричну и топлотну трансформацију сунчеве енергије .

Фотоелектрични системи електроснабдевања добили су опште признање као извори енергије за удаљене аутономне потрошаче, којих у Русији, по подацима Министарства Енергетике РФ, има око 10 милиона. Соларне фотоелектричне станице (СФЕС) поседују многа преимућства: еколошки су чисте , бешумне , раде по аутоматском режиму, захтевају периодично одржавање. СФЕС су нашле велико признање у земљама у развоју, за које је коришћење фотоелектрицитета најбржи и најбољи начин за електрификацију многобројних удаљених сеоских места. Висока цена фотоелектричних модула (ФЕМ) у садашње време 5-6 $/W и цена станице 10-20 $/W отежава развој тржишта фотоелектрицитета.

Цене СФЕС у првом реду зависе од скупих соларних елемената (СЕ) и високе цене полупроводничког силицијума. Снижење цене СФЕС може се постићи на следећи начин: умањењем цене силицијума. увећањем ефикасности СЕ. аутоматизацијом процеса монтаже фотоелектричних модула. применом концентратора сунчевог зрачења. На развоју еколошки чистије технологије производње јефтинијег силицијума интензивно раде многе водеће земље. али због сложености проблема и неопходности високих инвестиција још нису добијени коначни резултати. Аутоматизација монтаже не утиче битно на снижење цене. ефикасност СЕ се постепено увећава. за соларне елементе без концентратора достигнуто је η приближно 21%.мада се масовна производња СЕ још налази на нивоу 12-15 %. Најбољи резултати по η СЕ су добијени за концентрисано зрачење и достижу вредност од 30 % [1].

Употреба концентратора је најбржи пут снижења цене фотоелектричних модула. Коришћење концентратора дозвољава замену скупих површина СЕ јефтинијим површинама концентратора, као оптичких уређаја који сакупљају сунчеве зраке са улазне површине на мању излазну површину концентратора. где су монтирани СЕ. Коришћење концентратора даје следећа преимућства: смањује број СЕ на јединицу одређене снаге. снижава цену ФЕМ. увећава ефикасност СЕ услед ефекта повећања напона при концентрисаном зрачењу. увећава η ФЕМ услед истовременог коришћења електрицитета и топлоте. која се одводи из расхлађених СЕ. отвара могућност наглог повећања производње СФЕС без додатног повећања производње СЕ. Водеће земље у области фотоенергетике приступиле су интензивним разрадама ФЕМ са концентраторима. У прилог томе. више је од 12 фирми које производе ФЕМ у САД.

У садашње време разрађен је и испитан велики број различитих типова концентратора. На слици 1 дате су схеме основних типова концентратора за ФЕМ са силицијумским површинама СЕ. разрађених и испитаних на основу огледа.

Највиши степени концентрације до 10^4 могу бити добијени у параболоидним концентраторима (сл.1а). али за силицијумске СЕ довољне су концентрције од 30-100 X (X - означава неименовани степен концентрације). Испитиване су СФЕС максималне електричне снаге 1кW са параболичним стакленим концентраторима [2]. при чему су били решени многи конструкциони и технолошки проблеми. Показало се да параболоиди нису оптимални концентратори за фотоелектричну конверзију услед: незгодне конструкције модула. великог габарита. строго дефинисаног фокусног растојања параболоида. што компликује монтажу модула и задаје неприлике током транспорта. сложености монтаже у саставу станице (потребна је иста оријентација њихових оптичких оса). неопходности тачног праћења по две обртне осе носећег повратног механизма: великог броја површина склоних прљању. тешкоћа приликом њиховог чишћења. тешкоћа у сервисирању СФЕС. посебно при замени модула и томе слично. У садашње време параболоидни концентратори се не примењују за фотоелектричне модуле.

Радови за изградњу СФЕС на основу коцентричних равних пластичних сочива Френела (сл. 1 б) максималне снаге 250W. величине 280 x 280 x 3 мм. фокусним растојањем 320 мм. концентрацијом 25X. дају основу за тврђење да модули у овом случају имају једноставнију монтажу у односу на параболоидне концентраторе: СЕ су смештени иза концентратора по путу сунчевих зрака. на СЕ се може добити неопходан распоред енергије за већи број одговарајућих радних профила сочива: хлађење СЕ може се остварити пасивним ваздушним радијаторима до концентрације 25X [3]. Сочива Френела у улози концентратора су нашла примену у производњи за продају ФЕМ у САД са концентрацијама од 15X до 250X. Недостаци датог типа концентратора су: велики број површина склоних прљању. релативно висока тачност праћења. велике димензије модула. неопходност интензивног расхлађивања СЕ при концентрацијама већим од 25X.

Принципијелно различити од параболоида и сочива Френела су сложени параболни концентратори (фокони и фоклини). чија је схема рада дата на сл. 1в [4]. Принцип њиховог рада састоји се у томе што све зрачење. које је дошло на улазну површину у област параметарског угла γ. пролази кроз излазну површину. где је уграђен СЕ. Овакви концентратори допуштају рад ФЕМ у непокретном стању у области двоструког параметарског угла. На пример. ако се угао фоклина подеси са параметарским углом ±23.5° и постави улазна површина под углом ширине места у односу на хоризонталну површину. овакав модул ће радити целу годину у непокретном положају. али при овим условима концентрација СЕ биће свега 2.5X. Фокон (одбојна површина има обртно тело) с таквим параметарским углом (± 23.5°) имаће концентрацију 6X. али при овим условима захтева дискретно праћење са интервалом од 3 часа [5]. Примену је нашао соларни уређај са фоконим модулима максималне снаге 200W са стакленим фоконима (γ=25°. концентрација 5X).

Фокони и фоклини у саставу ФЕМ имају недостатак у облику оштре промене осветљености СЕ при различитим вредностима датог угла γ. што негативно утиче на рад СЕ. прорачунатих за рад при одређеној средњој концентрацији.

Поред разматраних основних типова концентратора. предложено је много других типова. који користе друге физичке принципе. поред ефекта одбијања. али технологија таквих концентратора је врло мало развијена.

Анализа наведених концентратора дозвољава да се изведу закључци да је један од најперспективнијих типова концентратора за фотоелектрицитет призмакон (призматични концентратор), чија схема рада је дата на слици 1г. Призмакони [6] представљају призму која се шири ка једном крају, сунчеви зраци долазе на целу површину бочне стране, затим се зраци одбијају од задње стране (на којој је рефлектујући слој) и долазе на површину улаза под угловима потпуне унутрашње рефлексије, за шта се, одговарајућим начином, бира угао при врху (α). Оваквим поступком зраци се "закључавају" у призми и распростиру се ка површини излаза, где су инсталирани СЕ. Преимућства призмакона су: велика компактност, лакоћа монтаже модула и станице, рад у дискретном или непокретном режиму, могућност искоришћења не само директних сунчевих зрака него и део расејаних зрака, неопходност подвргавања чишћењу само једне површине улаза зрака. Призмакони могу обезбедити концентрацију од 2X до неколико десетина X [7]. Направљен је ФЕМ на основу призмакона с концентрацијом 2, са искоришћењем 80% дифузног зрачења, који ради без система праћења целу годину.

Разрађено је још неколико нових типова призмакона, при томе је разрађен модул с линеарним сочивом Френела и рефлектором, чија је концентрација 7X с димензијама 2000 x 750 x 100 мм. Цена ових призмакона је врло ниска за постигнуту снагу (2 – 2,5 $/W), зато што је повољна цена производње линеарних стаклених сочива.

Цена ФЕМ ($Ц_M$) је дата следећим изразом:

$$Ц_M = Ц_{CE} + Ц_{CM} + Ц_K \qquad (1)$$

где је $Ц_{CE}$, $Ц_{CM}$, $Ц_K$ – цена СЕ, монтаже модула и концентратора појединачно.

Снага ФЕМ се израчунава по формули :

$$N_M = E_0\, \eta_{CE}\, \eta_{OП}\, S_K = E_0\, \eta_{CE}\, \eta_{OП}\, S_{CE}\, K \qquad (2)$$

где је E_0 – интензитет сунчеве радијације (W/m^2),

η_{CE} – ефикасност (степен корисног дејства) СЕ,

$\eta_{OП}$ – оптички степен корисног дејства концентратора,

S_K , S_{CE} – површине улаза концентратора и СЕ (m^2).

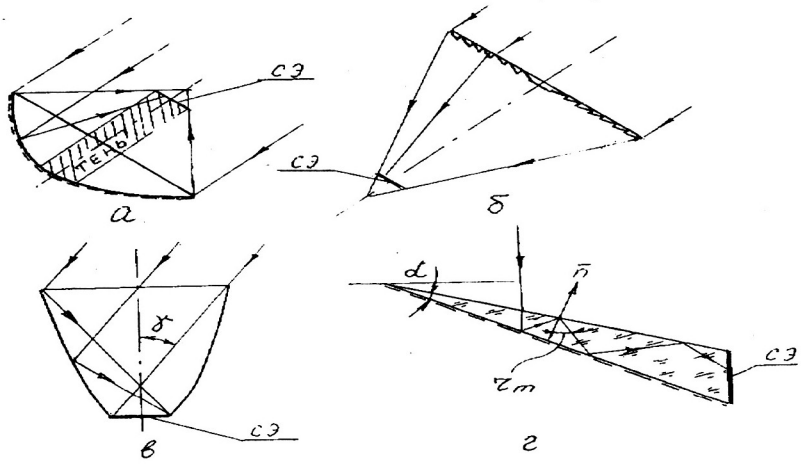
Ако се прихвати да је цена јединице површине СЕ једнака $У_{CE}$, концентратора $У_K$, након трансформације једначине (1) и (2) добија се:

$$Ц_M / N = (1 + a)\, У_{CE} / \eta_{CE}\, \eta_{OП}\, K + У_K / \eta_{CE}\, \eta_K, \qquad (3)$$

где је a коефицијент, који одређује трошкове монтаже модула као део вредности СЕ.

3. ЗАКЉУЧАК

Анализа (израз 3) показује да концентратори утичу на цену СЕ у саставу ФЕМ, као што и степен корисног дејства модула утиче на вредност свих делова. Ако се по аналогији са планарним модулима без концентрације прихвати да је цена монтаже модула 50 % од цене СЕ, при концентрацији 2X добија се снижење цене за 25 %, при концентрацији 5X – 40 % , при концентрацији 10X – за 45 % .Из овога следи да је, користећи концентрацију 5X, могуће добити цену за одређену снагу, на нивоу 3 $/W за ФЕМ и 6 $/W за соларне станице без система праћења.



Слика 1: Концентратори

ЛИТЕРАТУРА

[1] Д.С. Стребков. Н.Л. Кошкон: "О развитии фотоэлектрической энергетики в России". *Теплоэнергетика,* но. 5, 1996, 23-26.

[2] А.К.Алимов. А.И. Кулагин. И.К. Кивалов. Д.С. Стребков. Э.В.Тверьянович: "Модуль фотоэлектрической установки на кремшевых фотоэлементах с концентратором". *Гелоитехника,* 1996. Но 4. 74-75.

[3] Э.В.Тверьянович. К.В.Жуков. Е.А.Красина. А.М.Фарберов: "Оптико-энергетические характеристики линз Френеля". *Сб.Концентраторы солнечного излучения для фотоэлектрических энергоустановок, Л., Энергоатомиздат,* 1986, 9.

[4] В.К.Баранов: "Новые концентраторы излучения и перспективы их применения в оптике и гелиотехнике". *Труды ГОИ,* том 45. 179. 57-70.

[5] М.Е. Бугулов. А.Б.Пипов. Э.В.Тверьянович: "Оптико - энергетические характеристики стеклянных фоконов". *Гелиотехника,* 1982. но. 4. 18-20.

[6] D.R. Mills, J.E. Giutronich Idial Prism Solal Concentrator, *Solar Energy*, 1978, 21, 423-430.

[7] К.В.Жуков. Д.С. Стребков. Э.В.Тверьянович: "патент РФ Концентратор солнечного излучения", но. 1089365 от 25.03.1994.

FOTOELECTRIC MODULS WITH SUN RADIATION CONCENTRATOR

ABSTRACT:
The fastest way to decrease the cost of the photoelectrical modules is to apply the concentrators. This enables replacement of the expensive SE with the cheaper concentrator surfaces as optical devices which collect solar rays from inlet surface to smaller outlet surface, where SE are placed. The usage of the concentrators brings the following advantages: decrease of the SE number per defined power unit, decrease of the FEM cost, increase in the SE efficiency due to the effect of the voltage increase with concentrate irradiation, FEM efficiency (η) increase due to the simultaneous usage of the electricity and the heat that is drained from cooling SE; possibility to increase SFES production without the increase in SE production .