

## ტემპერატურის სტაბილიზაცია მზის ენერჯის მიმღები მრავალკასკადიანი ფოტოელექტრული გარდამქმნელების გაცივებისას

თენგიზ ხაჩიძე<sup>1,2</sup>, ნიკოლოზ ხაჩიძე<sup>1</sup>, ინგა კაპანაძე<sup>1</sup>

<sup>1</sup>სსიპ ინსტიტუტი „ოპტიკა“

<sup>2</sup>საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### აბსტრაქტი

სტატიაში წარმოდგენილია კვლევები, რომლებიც ეხება მზის ელემენტებისათვის გაცივების თერმოსიფონური სისტემის დამუშავებას. ავტორების მიერ შემუშავებული და გამოკვლეული იქნა თერმოსიფონის პრინციპზე დაფუძნებული მზის ფოტოელექტრული გარდამქმნელების ეფექტური გაცივების სისტემა. შერჩეული იქნა თბომატარებელი სითხე კონკრეტული დუდილის ტემპერატურით.

კვლევებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ფოტოელექტრული გარდამქმნელების გასაცივებლად, სხვა მეთოდებთან შედარებით თერმოსიფონური სისტემა გაცილებით ეფექტურია, განსაკუთრებით მზის ენერჯის მაღალი კონცენტრაციისას. ამავე დროს ის უზრუნველყოფს ელემენტების საკმაოდ კარგ ტემპერატურულ სტაბილიზაციას.

**საკვანძო სიტყვები:** გაცივების თერმოსიფონური სისტემა, მზის ენერჯია, ფოტოელექტრული გარდამქმნელი.

როგორც ცნობილია ფოტოელექტრონული გარდამქმნელების (მზის ელემენტების) მახასიათებლები საგრძნობლად არის დამოკიდებული, მუშაობის პროცესში მის ტემპერატურაზე. ტემპერატურაზე ასევე დამოკიდებული P-N სტრუქტურაზე შექმნილი ნებისმიერი ნახევარგამტარული მასალისაგან დამზადებული ერთკასკადიანი თუ მრავალკასკადიანი მზის ენერჯის ფოტოელექტრონული გარდამქმნელის მარგი ქმედების კოეფიციენტიც (მქკ). ეს ძირითადად განპირობებულია დატვირთვაზე გამომავალი ძაბვის (უქმი სვლის ძაბვისაც) ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით. კერძოდ, ტემპერატურის ზრდით მცირდება გამომავალი ძაბვა, ეს კი თავის მხრივ იწვევს გამომავალი სიმძლავრის შემცირებას და შესაბამისად მქკ-ს შემცირებასაც. გარდა ამისა ტემპერატურის მატებით მცირდება ფოტოელემენტის მდგრადობა. მისი მუშაობა ამ რეჟიმში ხდება არა სტაბილური და გარკვეულ ტემპერატურაზე ის შეიძლება მწყობრიდანაც გამოვიდეს [1].

ამის თავიდან ასაცილებლად გამოიყენება ფოტოელემენტის გაცივების სხვადასხვა მეთოდები და სისტემები. ერთერთი ყველაზე გავრცელებული მეთოდია მაღალი თბოგამტარობის ლითონის (ალუმინი, სპილენძი) რადიატორით ელემენტიდან სითბოს ართმევა. მაგრამ მხოლოდ რადიატორით გაცივება ვერ უზრუნველყოფს მაღალი კონცენტრაციისას კრისტალზე გამოყოფილი სითბოს ართმევას, რის გამოც საჭირო ხდება დამატებით აირის ან სითხის ნაკადით გაცივება, რაც საგრძნობლად ართულებს გარდამქმნელის კონსტრუქციას და ზრდის მის ფასს. გვარდა ამისა აღნიშნული მეთოდები ვერ უზრუნველყოფენ ფოტოელემენტის სტაბილურ ტემპერატურას, რომელიც შეიძლება მუდმივად იცვლებოდეს მზის გამოსხივების ინტენსივობის ცვლილებისას. ტემპერატურის მუდმივი რყევა კი უარყოფითად აისახება ფოტოელემენტის მდგრადობაზე. გაცივების აღნიშნულ სისტემებში სტაბილური ტემპერატურის უზრუნველყოფა შესაძლებელი იქნება თუ გამოყენებთ ტემპერატურის სენსორებზე დაფუძნებულ ავტომატურ რეგულატორს. რაც თავის მხრივ კიდევ უფრო გაართულებს კონცენტრირებული მზის ენერჯის ფოტოელექტრული გარდამქმნელის სრულ კონსტრუქციას და გაზრდის მის ფასს.

თანამედროვე ელექტრონულ და კომპიუტერულ მოწყობილობებში მიკროპროცესორებისა და სხვადასხვა ელემენტებიდან სითბოს ართმევა ხშირ შემთხვევაში ხორციელდება ეგრეთწოდებული თბური მილების საშუალებით. თბური მილებით პროცესორების გაცივება ფართოდ გამოიყენება პორტაბელურ ეგრეთწოდებულ „ლეპტოპის“ ტიპის კომპიუტერებში. ამ შემთხვევაში სავალდებულოა, რომ თბური მილის ნებისმიერ მდგომარეობაში კონდენსირებული თბომატარებელი აგენტი დაბრუნდეს საწყის მდგომარეობაში. ამიტომ ასეთი ტიპის თბურ მილებში იყენებენ სპეციალურ ფითილებს, რომლებიც კაპილარული ეფექტიდან გამომდინარე უკან აბრუნებს კონდენსირებულ თბომატარებელ აგენტს.

ყველაზე მარტივი კონსტრუქციის თბურ მილებშიც კი თბოგადაცემის სიჩქარე და სიმძლავრე რამდენიმე ათეულჯერ მეტია ვიდრე იგივე დიამეტრის სპილენძის ძელაკით თბოგადაცემისას.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე ჩვენ მივედით იმ დასკვნამდე, რომ მზის ენერჯის მაღალი კონცენტრაციისას ფოტოელემენტზე, მასზე გამოყოფილი სითბოს ასართმევად ერთერთ საუკეთესო ვარიანტს შეიძლება წარმოადგენდეს თერმოსიფონური თბური მილების გამოყენება. რადგან მზის სხივური ენერჯის გარდაქმნისას ფოტოელემენტის მდგომარეობა განსაზღვრულია და ის მუდმივად დახრილია, შესაბამისად დახრილი იქნება თერმოსიფონური გამაცივებელი სისტემაც და გამაცივებელი აგენტი საწყის მდგომარეობას მუდმივად დაუბრუნდება სიმძიმის ძალის მოქმედებით. გამომდინარე აქედან, კაპილარულ ეფექტზე დაფუძნებული ფიტილის გამოყენება არ იქნება საჭირო.

ასეთი ტიპის თერმოსიფონური გამაცივებლის კონსტრუქციისას პირველ რიგში გათვალისწინებული უნდა იყოს თბური დატვირთვები. ანუ სითბური სიმძლავრე რომლის არინებაცაა საჭირო. უკვე არსებული მონაცემებით ეს პარამეტრი ძირითადად დამოკიდებულია თბური მილის შიდა დიამეტრზე. ცხრილში-1 მოცემულია

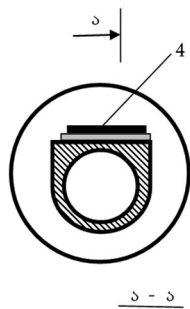
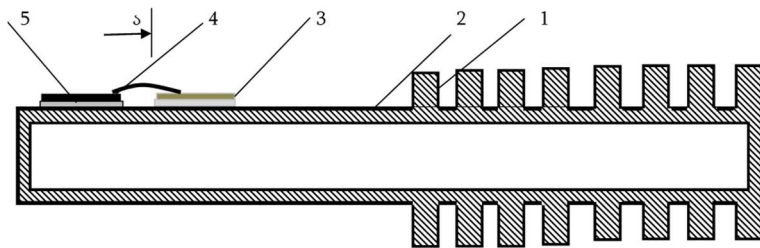
თერმოსიფონური მილის მიერ წართმეული სითბოს რაოდენობასა მილის შიდა დიამეტრს შორის დამოკიდებულება [2].

მილის დიამეტრი, მმ	წართმეული სითბური სიმძლავრე, ვტ (არა ნაკლებ)
3	5
6	12
8	25
10	35
12	50
16	70

**ცხრილი-1.** ნებისმიერ დახრილ მდგომარეობაში სითბური მილის მიერ ართმეული სითბური სიმძლავრის დამოკიდებულება მილის დიამეტრზე.

მილის ვერტიკალურ მდგომარეობაში ართმეული სითბური სიმძლავრე გაცილებით მეტია ცხრილში მოცემულ მონაცემებზე (შეიძლება ორჯერ მეტიც იყოს).

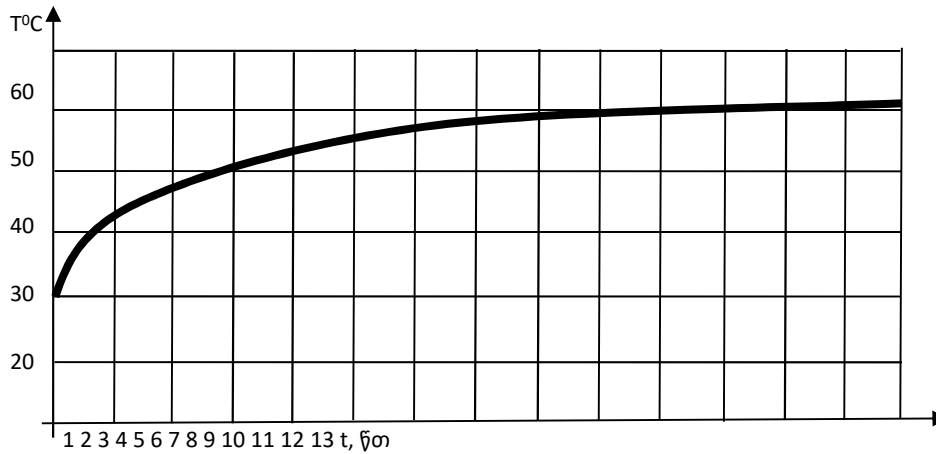
იმ შემთხვევაში, როდესაც მზის ენერგიის ფოტოელექტრული გარდამქმნელის ზედაპირის ფართობია 1სმ<sup>2</sup>, მზის გამოსხივების ინტენსივობა 800ვტ/მ<sup>2</sup>, ხოლო სხივური ენერგიის კონცენტრაციის ხარისხი არის 500, მზის ენერგიის სრული სიმძლავრე, რომელიც გამოიყოფა ასეთ ფოტოელემენტზე შეადგენს 40ვატს. იმის გათვალისწინებით, რომ თანამედროვე მრავალკასკადიანი ფოტოელემენტების მარგი ქმედების კოეფიციენტი მაღალია მათზე გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე არ იქნება 25 ვატზე მეტი. აღნიშნული მსჯელობიდან და ცხრილის მონაცემებზე დაყრდნობით თბური მილის შიდა დიამეტრის ოპტიმალური ზომა უნდა შეირჩეს 8-10მმ-ის ფარგლებში.



## ნახ.1. მზის ენერჯის ფოტოელექტრული გარდამქმნელის თერმოსიფონური გამაცივებლის კონსტრუქცია

ჩვენს მიერ დამუშავებული მზის ენერჯის ფოტოელექტრული გარდამქმნელის თერმოსიფონური გამაცივებელი (ნახ.1.) წარმოადგენს სპილენძის (ალუმინის) მილს-1, რომლის ერთი მხარეც ბრტყელია. ბრტყელი მხარე განკუთვნილია ფოტოელემენტის კრისტალის-4 დასამაგრებლად. ფოტოელემენტსა და მილს შორის კარგი სითბური კონტაქტის უზრუნველსაყოფად მოთავსებულია 150 მკმ სისქის ინდიუმის კილიტაში-5. თხელი და რბილი ინდიუმის კილიტა ავსებს იმ ღრეჭოებს რომლებიც შეიძლება წარმოიშვას ფოტოელემენტსა და მილს შორის. ფოტოელემენტიდან ემმ-ს მოხსნა ხორციელდება 3-კრისტალის დამჭერი-გამომყვანი-3, რომელიც თავის მხრივ უერთდება ფოლგირებულ მინატექსტოლიტს-2. თერმოსიფონის ქვედა მხარე დახურულია, ხოლო ზედა უერთდება კონდენსატორს, რომელიც მოთავსებული წყლის ავზში. წყალი ართმევს კონდენსატორს ენერჯას და აცივებს მას.

მრავალკასკადიანი ფოტოელექტრული გარდამქმნელის თერმოსიფონური გამაცივებლის შემუშავებისას ფოტოელემენტიდან სითბოს ასართმევად ჩვენს მიერ შერჩეული იქნა თბომატარებელი სითხე. ამ სითხის შერჩევისას პირველ რიგში გავითვალისწინეთ მისი დუდილის ტემპერატურა. ეს პარამეტრი უნდა იყოს ფოტოელემენტის მუშაობისათვის ოპტიმალურ ტემპერატურაზე ნაკლები ან ტოლი. ამ მოსაზრებიდან გამომდინარე ჩვენ ერთერთ საუკეთესო ვარიანტად განვიხილავთ აცეტონს, რომლის დუდილის ტემპერატურა დაახლოებით  $56^{\circ}\text{C}$ -ია. თერმოსიფონში განსათავსებული აცეტონის რაოდენობა შეირჩა იმდენი, რომ მას მთლიანად შეეგოს ფოტოელემენტის გაცხელების ზონა ანუ უნდა შეექმნა აორთქლების ზონა. როდესაც ფოტოელემენტი მზის ენერჯის ზემოქმედებით ცხელდება ისე, რომ მისი ტემპერატურა და მისი განთავსების ზონის ტემპერატურა გადააჭარბებს  $56^{\circ}\text{C}$  მაშინ აცეტონი იწყებს დუდილს და შესაბამისად ინტენსიურ აორთქლებას. აორთქლებისას აცეტონი ართმევს სითბურ ენერჯას ფოტოელემენტის კრისტალს და გადააქვს კონდენსატორისაკენ, რომელიც განთავსებულია წყლის ავზში და ცივდება წყლით. კონდენსატორში ცივდება აცეტონის ორთქლი და გადასცემს საკმაოდ დიდ სითბურ ენერჯას წყალს, რომელიც თავის მხრივ თბება. გაცივებული აცეტონი კვლავ გადადის თხევად მდგომარეობაში და სიმძიმის ძალის ზეგავლენით კვლავ ჩამოედინება აორთქლების ზონაში. ეს პროცესი უწყვეტად მეორდება მანამდე სანამ მზის ენერჯია მოქმედებს ფოტოელემენტზე. აღნიშნული მეთოდი იმითაცაა კარგი, რომ ის უზრუნველყოფს ფოტოელემენტის ტემპერატურის სტაბილიზაციასაც გარკვეულ დიაპაზონში, რადგან აცეტონის აორთქლების ინტენსივობა იმატებს ტემპერატურის ზრდის პროპორციულად, შესაბამისად იმატებს ფოტოელემენტიდან სითბოს გადატანის ინტენსივობა, რითაც ხდება ფოტოელემენტის ტემპერატურის შენარჩუნება, იზრდება მხოლოდ გაცხელებული წყლის ტემპერატურა.



**ნახ.2.** ფოტოელემენტის ტემპერატურის დამოკიდებულები მზის ენერგიით გაცხელების დროზე.

აღნიშნული თერმოსიფონი გამოიყენება მზის ენერგიის სხვადასხვა კონცენტრაციის ხარისხისას, კონცენტრაციის ზრდისას იზრდებოდა, როგორც ფოტოელემენტის მიერ გამომუშავებული ელექტრული სიმძლავრე ასევე მისი ტემპერატურაც. გარკვეულ მომენტში ტემპერატურის ზრდა შეწყდა (ნახ.2) გადავიდა გაჯერების რეჟიმში. ეს იმით აიხსნება, რომ თერმოსიფონში დაიწყო აცეტონის დუღილი და მისი ინტენსიური აორთქლება შესაბამისად ინტენსიურად დაიწყო ფოტოელემენტის გაცივებაც. ამ დროს ვზომავდით ტემპერატურებს აორთქლების ზონის დასაწყისსა და ბოლოში. გაზომვებმა გვიჩვენა, რომ ტემპერატურათა სხვაობა არ აღემატება 3°C. ეს იმაზე მიუთითებს, რომ ფოტოელემენტზე ტემპერატურა პრაქტიკულად თანაბრადაა გადანაწილებული, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია მისი სტაბილური და ეფექტური მუშაობისათვის.

შეიძლება დავასკვნათ, რომ თერმოსიფონური გამაცივებელი უზრუნველყოფს არა მარტო სითბოს ეფექტურ ართმევას მრავალკასკადიანი მზის ფოტოელექტრული გარდამქმნელებიდან მზის სხივური ენერგიის მაღალი კონცენტრაციისას, არამედ ფოტოელემენტის ტემპერატურულ სტაბილიზაციასაც. შესაბამისად აღნიშნული ტიპის გამაცივებლები უზრუნველყოფენ ფოტოელექტრული გარდამქმნელების სტაბილურ და ხანგრძლივ მუშაობას.

### გამოყენებული ლიტერატურა

1. Avaliani J. J., Kordzakhia I. I., Avaliani I.M., Chikovan R. I. , Khachidze T. I. Investigation of solar cell temperature for different cooling systems and concentration degrees. GEORGIAN ENGINEERING NEWS. 2012, No.1 (vol.61), pp. 66-69.
2. Т.Ю. Салова. Основы теории и расчета тепловых труб, Учебное пособие, Санкт-Петербург, 2018, 68стр.

# Temperature stabilization during cooling of multi-cascade photovoltaic converters receiving solar energy

Tengiz Khachidze<sup>1,2</sup>, Nikoloz Khachidze<sup>1</sup>, Inga Kapanadze<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LEPL Institute "Optica"

<sup>2</sup> Georgian Technical University

## abstract

The article presents studies related to the development of a thermosiphon cooling system for solar cells.

An efficient cooling system of solar photovoltaic converters based on the thermosiphon principle was developed and investigated by the authors. A heat transfer fluid with a specific boiling point was selected. It can be concluded from the research that for cooling of photovoltaic converters, compared to other methods, the thermosiphon cooling system is much more effective, especially at high concentration of solar energy. At the same time, it provides quite good temperature stabilization of the elements.

**Keywords:** thermosiphon cooling system, solar energy, photoelectric converter.