

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

კონსტანტინე კობახიძე

მზის ენერჯის მცირე სიმძლავრის ნახევარგამტარული  
ფოტოელექტრული სისტემების პროექტირება, მათი დამზადება  
და გამოყენება საქართველოში

დოქტორის აკადემიური

ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2012 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური  
უნივერსიტეტის, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების  
ფაკულტეტის, ფიზიკის დეპარტამენტის, მიკროელექტრონიკისა  
და ნახევარგამტარული ხელსაწყოების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი, ტექნიკის  
მეცნიერებათა დოქტორი რაფიელ ჩიქოვანი

რეცენზენტები: სრული პროფესორი, ტექნიკის  
მეცნიერებათა კანდიდატი გელა გოდერძიშვილი  
აკადემიური დოქტორი, ტექნიკის  
მეცნიერებათა კანდიდატი რევაზ მელქაძე

დაცვა შედგება 2012 წლის 14 მაისს, 15 საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ინფორმატიკისა და  
მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს  
კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი-----, აუდიტორია-----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო  
ავტორეფერატისა – სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი-----

**თემის აქტუალობა:** დღესდღეობით საზოგადოებრივ ცნობიერებაში მყარდება აზრი, რომ მომავლის ენერგეტიკა უნდა ეყრდნობოდეს მზის ენერჯის ფართომასშტაბიან გამოყენებას.

მზე – ეს არის უზარმაზარი, უშრეტი, აბსოლუტურად უვნებელი ენერჯის წყარო, რომელიც ეკუთვნის ყველას და ყველასთვის ხელმისაწვდომია.

მზის ენერგეტიკა ამჟამად განიხილება არა მარტო როგორც მომგებიანი დარგი, არამედ, როგორც გრძელვადიან პერსპექტივაში კაცობრიობისათვის უალტერნატივო ენერჯის წყარო.

მსოფლიო ინდუსტრიაში, თანამედროვე ეტაპზე იგი ითვლება ერთ–ერთ სწრაფად და დინამიურად განვითარებად მიმართულებად.

საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს (IEA) პროგნოზით, 2050 წლისთვის მზის ფოტოენერგეტიკამ უნდა უზრუნველყოს ელექტრულ ენერჯიაზე მსოფლიო მოთხოვნილების 20–25%.

საერთოდ, საკმარისია დედამიწის ზედაპირის 0,7% დაიფაროს მზის მოდულებით, რომ მათ მიერ გამოძეუშავებულმა ენერჯიამ სრულად დააკმაყოფილოს კაცობრიობის მოთხოვნები ელექტრული ენერჯიაზე.

ყოველივე ზემოთქმულს თუ დაუემატებთ იმ ფაქტს, რომ მზიდან დედამიწაზე ერთი კვირის განმავლობაში მოსული ენერჯია აჭარბებს ნახშირის, ნავთობის, ბუნებრივი აირის და ურანის მსოფლიო მარაგებს ერთად აღებულს, მაშინ მზის ფოტოენერგეტიკის სტრატეგიული როლი მომავალში ეჭვგარეშეა.

პრაქტიკაში არსებობენ ძირითადად ორი ტიპის მზის ფოტოელექტრული სისტემები (ფეს): საერთო ქსელში ჩართული და ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე. ქსელში ჩართულ (მიერთებულ) სისტემაში მზის ფოტოელექტრული გენერატორის (ფეგ) მიერ გამოძეუშავებული ენერჯია (მუდმივი ძაბვის მქონე) სპეციალური, მრავალფუნქციური ინვერტორის საშუალებით გარდაიქმნება ცვლად ძაბვად და პირდაპირ მიეწოდება ცენტრალურ ქსელს. ასეთი ტიპის სისტემების ფუნქციაა მზის ენერჯიიდან გენერირებული ელექტროენერჯით ქსელის მომარაგება.

ქსელში ჩართული მზის ფეს-ები, ჩვეულებრივ, დიდი სიმძლავრეებით გამოირჩევიან – ათეული კილოვატიდან გეგავატამდე, მაშინ, როდესაც, მზის ავტონომიური ფეს-ების სიმძლავრე ერთეული ვატიდან ათეულ კილოვატამდე შეიძლება იყოს.

საქართველოში ქსელში ჩართული ფეს-ები არ არსებობს, ხოლო რაც შეეხება მზის ავტონომიურ ფეს-ებს, მათი რაოდენობა სამ ასეულზე მეტია. ამდენად, საქართველოში, დღესდღეობით, აქტუალურია მზის მცირე სიმძლავრის ავტონომიური ფეს-ების პროექტირების, ინსტალაციის და მომსახურების პრობლემების გადაჭრა.

მზის მცირე სიმძლავრის ავტონომიური ფეს-ის პროექტირება გულისხმობს: მზის ფეგ-ის – იგივე მზის მოდულის პიკური სიმძლავრის, აკუმულატორული ბატარეის ენერგოტევადობის, მზის დამუხტვის კონტროლერის და ინვერტორის სიმძლავრის განსაზღვრას ისეთი სიზუსტით, რომ ერთის მხრივ, გარანტირებული იყოს დატვირთვის უწყვეტი კვება, ხოლო მეორეს მხრივ, მეტობით გათვლილმა პარამეტრებმა არ გამოიწვიოს მთლიანად სისტემის ღირებულების ზრდა.

საქართველოში ბოლო პერიოდამდე, არ არსებობდა მზის ფეს-ების პროექტირებისათვის შესაბამისი ელექტროპარამეტრების გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფდა სისტემის ზუსტ და საიმედო გათვლას.

მზის ენერჯის დანადგარების პარამეტრების დადგენისა და მუშაობის რეჟიმების დასაბუთებისთვის წარმოებს ჰელიოენერგეტიკული გათვლები, რომელშიც გამოიყენება მზის ენერჯის რესურსების ე.წ. საბაზო ინფორმაცია.

მზის ფეს-ების პროექტირებისას უტყუარი ინფორმაციის გამოყენება იძლევა მისი პარამეტრების ზუსტი და საიმედო გათვლის გარანტიას.

მზის რადიაციული და მზის ნათების რეჟიმები, ანუ მზის გამოსხივების სივრცობრივ-დროითი დინამიკის თავისებურებანი და მეტეოროლოგიური ფაქტორები ყველაზე უკეთ განზოგადებული და ასახულია ევრეთ წოდებულ მზის კადასტრში.

მზის რადიაციის კადასტრი გულისხმობს მზის გამოსხივებაზე სისტემატიზირებულ მონაცემებს რაღაც პუნქტისთვის ან ტერიტორიისთვის, რომელიც აუცილებელია მზის ენერჯის პოტენციური რესურსების შესაფასებლად, მზის ფეს-ების პარამეტრების და რეჟიმების გასაანგარიშებლად და დასაპროექტებლად.

**ნაშრომის მიზანი:** სადოქტორო ნაშრომის მთავარ მიზანს წარმოადგენს საქართველოს პირობებისათვის მზის ფოტოელექტრული სისტემების პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდის შემუშავება. ამ მეთოდის გამოყენებით მათი პროექტირება, დამზადება, ინსტალაცია და დანერგვა.

**ნაშრომის შედეგები და მეცნიერული სიახლე:**

1. განისაზღვრა ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტები დახრილი ზედაპირებისათვის. ეს კოეფიციენტები აუცილებელია კლიმატის ცნობარებში შესული მზის ჯამური რადიაციის მონაცემების პრაქტიკული გამოყენებისათვის მზის ფეს-ების პროექტირებისას.

2. კლიმატის ცნობარებში და შესაბამის სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებულ მონაცემებზე, მზის ჯამური რადიაციის პრაქტიკული გაზომვების და მზის ფოტოელექტრულ სისტემებზე მრავალწლიანი მონიტორინგის შედეგებზე დაყრდნობით შემოთავაზებულია საქართველოს მზის კადასტრი, რომლის გამოყენება შესაძლებელია მზის ნახევარგამტარული მცირე სიმძლავრის ფოტოელექტრული სისტემების პროექტირებისათვის, როგორც საწყისი ინფორმაციის წყარო.

3. მზის ნახევარგამტარული ფეს-ების პროექტირების გამარტივების მიზნით შემოღებულია, სპეციალური კოეფიციენტები (ფეგ-ის და ბატარეის) და მოცემულია მათი მნიშვნელობები თბილისისა და საქართველოს ტერიტორიის რადიაციული ზონებისათვის.

4. დამუშავდა, აიწყო და გამოიცადა მზის ნახევარგამტარული ფეს-ების შემადგენელი კომპონენტები: კონსტრუქცია, მზის ტრაექტორიის თანმდევი სისტემის მართვის ბლოკი, სინუსოიდალური ინვერტორი, მზის

ენერჯის მრიცხველი (მათი ელექტრული მახასიათებლები უცხოურ ანალოგებს არ ჩამოუვარდებიან, ხოლო ღირებულებით ნაკლები არიან).

5. შემუშავებული მეთოდის გამოყენებით დაპროექტდა, დამზადდა და პრაქტიკულ პირობებში გამოიცადა სხვადასხვა დანიშნულების და სიმძლავრის ათეულობით მზის ნახევარგამტარული ავტონომიური ფეს-ი.

6. გაკეთდა მზის ნახევარგამტარული მცირე სიმძლავრის ფოტოელექტრული სისტემების საქართველოში გამოყენების და მათი განვითარების პერსპექტივების ანალიზი.

**შედეგების გამოყენების სფერო:** ნაშრომში შემოთავაზებული მზის რადიაციის კადასტრის მონაცემები წარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული მზის ნახევარგამტარული ფეს-ების პროექტირებისას, როგორც საიმედო საწყისი, საბაზო ინფორმაციის წყარო. ნაშრომში დამუშავებული მზის ფეს-ების პარამეტრების – ფეს-ის პიკური სიმძლავრის და აკუმულატორული ბატარეის ენერგოტევადობის განსაზღვრის მარტივი მეთოდიკა შეიძლება წარმატებით გამოყენებულ იქნას საქართველოში სხვადასხვა დანიშნულების, მცირე სიმძლავრის ავტონომიური მზის ფეს-ების პროექტირებისას.

ნაშრომში მიღებული შედეგები აგრეთვე შეიძლება მომავალში წარმატებით გამოყენებულ იქნას ქსელში ჩართული დიდი სიმძლავრის ფეს-ების პროექტირებისას. კერძოდ, მათ მიერ დამუშავებული ელექტროენერჯიების მნიშვნელობების გაანგარიშებისათვის.

წლების განმავლობაში დამუშავებულმა მზის ფეს-ისთვის სხვადასხვა დანიშნულების სამაგრმა კონსტრუქციებმა და ელექტრონულმა ბლოკებმა მრავალჯერ წარმატებით გაიარეს გამოცდა რთულ მეტეოროლოგიურ და კლიმატურ პირობებში. აქედან გამომდინარე, მომავალშიც, მათი გამოყენება მზის ფეს-ების საიმედო ფუნქციონირების გარანტიას იძლევა.

**კვლევის ობიექტი:** კვლევის ობიექტს ზოგადად წარმოადგენდა მზის ენერჯის მცირე სიმძლავრის ნახევარგამტარული ავტონომიური ფეს-ი. საქართველოში მისი დაპროექტების, დამზადების და გამოყენების პრობლემების შესწავლა.

დისერტაცია შედგება: შესავლისაგან, თერთმეტი თავისგან, დასკვნის, დანართის და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისგან.

დისერტაციის მოცულობა შეადგენს 137 გვერდს, ნახაზების რაოდენობა – 49, ცხრილების რაოდენობა – 16 და გამოყენებული ლიტერატურის წყარო – 40.

**დისერტაციის პირველ თავში** მოცემულია დედამიწის ზედაპირზე მზის რადიაციის შესახებ ზოგადი ინფორმაცია, ძირითადი მცნებები და განსაზღვრებები. სხვადასხვა ფაქტორების გავლენა მზის რადიაციის სიდიდეზე სხვადასხვა ორიენტაციის მიმღებ ზედაპირზე. განმარტებული არის მზის ჯამური რადიაციის მდგენელების – პირდაპირი, დიფუზური ანუ გაბნეული და არეკლილი რადიაციების წარმოქმნის მექანიზმები; მათი წვლილი საერთო ჯამურ რადიაციაში. მოცემულია თითოეული მდგენელისთვის თეორიული ფორმულები. განხილულია მზის ჯამური რადიაციის დამოკიდებულება სიმაღლეზე ზღვის დონიდან.

**მეორე თავში** განხილულია ჰელიოენერგეტიკული გამოთვლების ინფორმაციული უზრუნველყოფის თავისებურებები. მითითებულია ჰელიოენერგეტიკული გამოთვლებისათვის საჭირო საწყისი ინფორმაციის წყაროები.

დაწვრილებით არის დახასიათებული საქართველოს ტერიტორიაზე მზის რადიაციული და მზის ნათების რეჟიმები. მოცემულია ლიტერატურაში არსებული საქართველოს ჰელიოენერგეტიკული რესურსების განაწილების რუკა. დასაბუთებულია მასში მოყვანილი მონაცემების მიუღებლობა მზის ნახევარგამტარული ფეს-ების დაპროექტებისას, როგორც საწყისი ინფორმაციის წყარო.

**მესამე თავში** განხილულია მზის ნახევარგამტარული ფოტოენერგეტიკის ფიზიკური საფუძვლები. ფოტოელემენტის ელექტრო მამოძრავებელი ძალის და ფოტოდენის წარმოქმნის მექანიზმები. მზის ელემენტის ენერგეტიკული მახასიათებლების თავისებურებების ანალიზისათვის მოცემულია ექვივალენტური სქემა, მუშა დენის და ძაბვის ფორმულები.

განხილულია მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული და ენერგეტიკული მახასიათებლები: უქმი სვლის-  $U_0 = U_0(R)$ , როცა  $I = 0$ ,  $T = \text{const}$ ; დატვირთვის-  $U_{\text{დატვ}} = U_{\text{დატვ}}(R)$ ,  $I = \text{const}$ ; სიმძლავრის-  $N(U_{\text{დატვ}}, R)$ ;  $N(U_{\text{დატვ}}, t^{\circ}C)$ , როცა  $R = \text{const}$ ; მარგი ქმედების კოეფიციენტის-  $\eta(U_{\text{დატვ}})$ ;

ნაშრომში განხილულია მზის ფეს-ის შემადგენელი ძირითადი კომპონენტები: მზის მოდული, მზის დამუხტვის კონტროლერი, აკუმულატორული ბატარეა და ინვერტორი და მათი მოკლე დახასიათება.

ასევე განხილულია მზის ენერგეტიკის ეკონომიკური და ეკოლოგიური ასპექტები.

**მეთოხე თაგში** განხილულია ექსპერიმენტული მეთოდიკა, გამოყენებული ხელსაწყოები და მათი მახასიათებლები.

ნაშრომში განხორციელებული ექსპერიმენტები: მიმღები ზედაპირის ოპტიმალური დახრის კუთხის, მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტების და მზის ფეგ-ის მიერ გამომუშავებული ენერგიების მნიშვნელობების გაზომვა-განსაზღვრა განხორციელდა მზის მოდულის უშუალო გამოყენებით.

ექსპერიმენტებში გამოყენებული იყო წინასწარ დაკალიბრებული მონოკრისტალური სილიციუმის მზის მოდული, რომლის პიკური სიმძლავრე (სტანდარტულ პირობებში –  $1000\text{ვტ/მ}^2$  სინათლის ინტენსიობის დასხივებისას, და  $25^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის დროს) იყო  $17,5$  ვატი.

ექსპერიმენტებში აგრეთვე იყო გამოყენებული თანამედროვე მოწყობილობები “ონსეტ კორპორეიშენის” ჰობო-ს ტიპის (Onset corporation-HOBO) ხელსაწყოები, რომლითაც ხდებოდა მზის ჯამური რადიაციების გაზომვა უწყვეტ რეჟიმში, ორ წუთიანი ინტერვალებით.

**მეხუთე თაგში** განხილულია ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დაცემული, მზის ჯამური რადიაციის დახრილი ზედაპირისათვის გადასაყვანი კოეფიციენტების განსაზღვრა.

კლიმატის ცნობარებში მზის რადიაციის შესახებ არსებული მონაცემები შეესაბამება ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსულ რადიაციას. ფეგ-ი კი, როგორც წესი, ჰორიზონტისადმი გარკვეული კუთხით არის



ფიქსირებული, ამიტომ მათ მიერ, წლის სხვადასხვა პერიოდში გამომუშავებული ენერჯის შესაფასებლად, ზემოთ აღნიშნული მონაცემების უშუალო გამოყენება შეუძლებელია. აქედან გამომდინარე, საჭიროა ჰორიზონტალურ და დახრილ ზედაპირზე დაცემულ რადიაციათა შორის დამოკიდებულების განსაზღვრა, რაც შესაძლებელს გახდის გამოყენებულ იქნეს ათეული წლების განმავლობაში დაგროვილი სტატისტიკური მონაცემები.

მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტი ჰორიზონტალური ზედაპირიდან დახრილი ზედაპირისთვის შემდეგნაირად გამოითვლებოდა:

დღის განმავლობაში თითოეული ოპტიმალური კუთხით დაფიქსირებული და აგრეთვე ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში მყოფი ფეგ–იდან ხდებოდა მოკლე ჩართვის დენების გაზომვა. მიღებული მონაცემებიდან თითოეული კუთხისთვის ხდებოდა დღის განმავლობაში სიმძლავრეთა ცვლილების გრაფიკის აგება. გრაფიკების მიერ შემოწერილი ფართობების მიხედვით გამოითვლებოდა ფეგ–ის მიერ დღიურად გამომუშავებული ენერჯია. თითოეული ოპტიმალური კუთხისთვის გამოთვლილი ენერჯის მნიშვნელობის შეფარდება ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში მყოფ ფეგ–ის მიერ გამომუშავებული ენერჯის მნიშვნელობასთან წარმოადგენს მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტების მნიშვნელობებს.

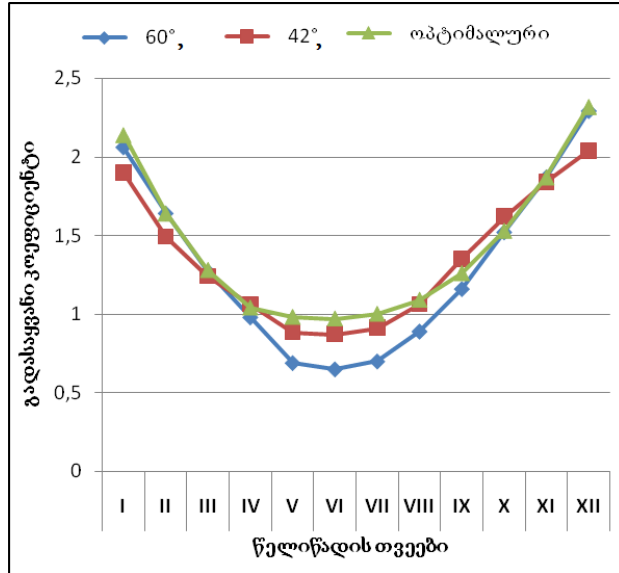
გაზომვები ტარდებოდა და შესაბამისად კოეფიციენტები გამოითვლებოდა მოწმენდილი და ღრუბლიანი ცის პირობებისთვის ცალცალკე. შემდგომ მოხდა მიღებული მონაცემების გასაშუალება ამინდის რეალური პირობებისათვის შემდეგი ფორმულით:

$$K_Q = \frac{10t \cdot K_{Q1} + (1-t) K_{Q2}}{10t + (1-t)}$$

სადაც

t – მზის ნათების რეალური ხანგრძლივობის შესაძლოსთან ფარდობის თვიური მნიშვნელობაა;

$K_{Q1}$ ,  $K_{Q2}$  – მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტებია მოწმენდილი და ღრუბლიანი ამინდის პირობებისათვის შესაბამისად. ამ ფორმულით გამოთვლილი გასაშუალოებული კოეფიციენტების მნიშვნელობების მიხედვით აგებული გრაფიკები მოცემულია ნახ. 1.



**ნახ.1.** მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტები რეალური ამინდის პირობებისათვის.

მიღებული კოეფიციენტების საშუალებით გამოითვალა სამხრეთის აზიმუტის კორიზონტისადმი 42°-ით, 60°-ით და თვეების მიხედვით ოპტიმალური კუთხეებით დახრილ ზედაპირზე მოსული მზის ჯამური რადიაციის მნიშვნელობები, რომლებიც მოყვანილია ცხრილში 1.

**ცხრილი 1**

მზის ჯამური რადიაციის საშუალო თვიური მონაცემები ქ. თბილისისათვის, კვტ·სთ/მ<sup>2</sup>

დასრ. კუთხე	თ ვ ე ბ ი												საშ.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
პორ.	49.9	65.0	106.7	134.6	169.4	190.2	192.6	176.3	127.6	94.0	51.0	42.9	116.7
60°	102.8	106.6	135.5	99.6	116.9	123.6	134.8	156.9	148.0	142.9	95.4	98.2	121.8
42°	94.8	96.9	132.3	119.8	149.1	165.5	175.3	186.9	172.3	152.3	93.8	87.5	135.5
ოპტ.	106.8	106.6	136.6	134.8	169.4	190.1	192.5	185.1	160.8	143.8	95.4	99.5	143.2

ცხრილიდან ჩანს, რომ თვეების მიხედვით მიმდები ზედაპირის ოპტიმალური კუთხით დახრის შემთხვევაში, მასზე დაახლოებით მზის რადიაციის იგივე მნიშვნელობები მოდის აპრილი- ივლისის თვეებში, როგორც ჰორიზონტალურ ზედაპირზე, ხოლო წლის დანარჩენ თვეებში დახრილ ზედაპირზე მოსული მზის ჯამური რადიაცია ერთმნიშვნელოვნად აჭარბებს (დაახლოებით 1,5–2-ჯერ) ჰორიზონტალურზე მოსულს.

მზის რადიაციის მნიშვნელობების ასეთი განსხვავება აიხსნება იმ ფაქტით, რომ თბილ პერიოდებში მიმდები ზედაპირის დახრის კუთხეები მიახლოებულია ჰორიზონტალურთან. მაშინ როდესაც, ზამთრის პერიოდში დახრის კუთხეთა მნიშვნელობა გაცილებით დიდია  $50^{\circ}\pm 78^{\circ}$ -ია. ანუ მზის რადიაციის მნიშვნელობების ასეთი ცვლილება საბოლოო ჯამში განპირობებულია ჰორიზონტზე მზის სიმაღლის ცვლილებით.

ანალოგიურად, საქართველოს სხვა პუნქტებისთვისაც (მზის რადიაციული ზონისთვის), შეიძლება მოხდეს კლიმატის ცნობარებში არსებული, ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დაცემული, მზის ჯამური რადიაციის მნიშვნელობების გადაყვანა დახრილი ზედაპირისათვის (დისერტაციის დანართი, ცხრილი 2,3,4).

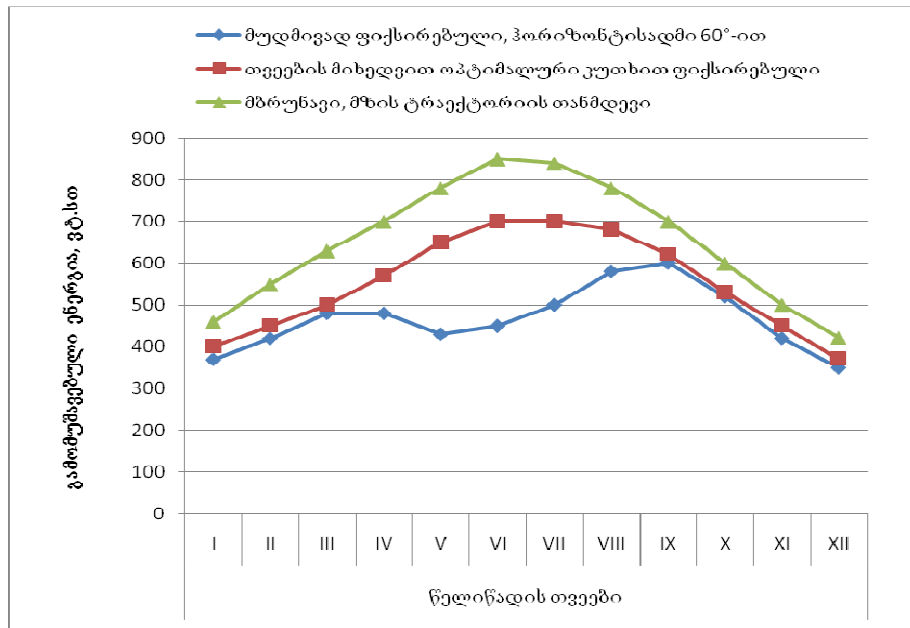
**მექვეთა თაგში** განხილულია მზისადმი სხვადასხვა ორიენტაციის ფოტოელექტრული გენერატორის მიერ ამინდის სხვადასხვა პირობებში გამომუშავებული ენერჯია.

ამინდის სხვადასხვა პირობებში გამომუშავებული ენერჯიის შესაფასებლად თბილისის პირობებში ჩატარდა კვლევები. დაკვირვებები გაზომვები მიმდინარეობდა სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილ და აგრეთვე, დღის განმავლობაში მზის სხივებისადმი მართებულად მიმართულ – მზის ტრაექტორიისადმი თანმდევ ფეგ–ზე.

ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ ქვედა იარუსის 8–10 ბალიანი დრუბლიანობის დროს (2000 მეტრამდე), როდესაც სინათლის ინტენსივობა  $0.01$  კვტ/მ<sup>2</sup>-ზე ნაკლებია ფეგ–ი პრაქტიკულად სასარგებლო ენერჯიას ვერ

გამომუშავებს. ეს ძირითადად ხდება წვიმიანი, თოვლიანი და ნისლიანი ამინდის დროს.

სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ-ის მიერ საშუალოდ, დღიურად გამოიმუშავებული ენერჯის მნიშვნელობები მოცემულია გრაფიკზე (ნახ.2.)



**ნახ.2.** სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ-ის მიერ საშუალოდ, დღიურად გამოიმუშავებული ენერჯის მნიშვნელობები.

გრაფიკიდან გამომდინარე, ოპტიმალური კუთხეებით დაფიქსირებული ფეგ-ის შემთხვევაში, დღიურად მინიმალური ენერჯის (305 ვტ·სთ) გენერაცია ხდება დეკემბერში, ხოლო მაქსიმალურის (615 ვტ·სთ) ივლისში.

უძრავად, ჰორიზონტისადმი 42°-ით დაფიქსირებული ფეგ-ის მიერ საშუალოდ, დღიურად გენერირებული ენერჯია, დეკემბერში ტოლია 265 ვტ·სთ, ხოლო მაქსიმუმი (600 ვტ·სთ) მიიღწევა აგვისტოში.

ჰორიზონტისადმი 60°-იანი დაფიქსირებული ფეგ-ის მიერ დღიურად გენერირებული ენერჯია წელიწადის “ცივ” პერიოდში (ოქტომბრიდან–მარტამდე) იცვლება 400-დან 500 ვტ·სთ-მდე.

ცხადია, მაქსიმალური ენერჯის მიღების თვალსაზრისით უმჯობესია ფეგ-ი ყოველთვიურად ოპტიმალური კუთხით განთავსდეს მზის მიმართ, მაგრამ პრაქტიკაში არის შემთხვევები, როდესაც ფეგ-ი დაყენებულია ცენტრიდან მოშორებულ და ძნელად მისასვლელ ადგილებში, მაგალითად, მთის მწვერვალზე განლაგებულ ტელე-საკომუნიკაციო ანძებზე. ამიტომ დახრის კუთხეების ცვლა სეზონურად შეუძლებელია. ასეთ შემთხვევებში ფეგ-ი უმჯობესია დაფიქსირდეს ზამთრის თვის ოპტიმალური - 60°-იანი კუთხით., რადგან ამ დროს მიიღწევა ზამთრის პერიოდისთვის შესაძლო ენერჯის მაქსიმუმის გამოიმუშავება. ზაფხულის პერიოდში მზისადმი ფეგ-ის ასეთი “წამგებიანი” განლაგება კომპენსირდება ამ დროს ფეგ-ის მიმღებ ზედაპირზე მოსული ჭარბი მზის ჯამური რადიაციით. ისეთი ამოცანის გადაწყვეტის დროს, როდესაც წლის განმავლობაში ფეგ-ის უცვლელი ორიენტაციის პირობებში საჭიროა მიღებულ იქნას წლის განმავლობაში მაქსიმალური ენერჯია, ფეგ-ს აფიქსირებენ მოცემული ადგილის განედის შესაბამისი კუთხით, რომელიც საქართველოსთვის დაახლოებით 42°-ია. ასეთი დამაგრებისას მხედველობაშია მისაღები ზამთრის თვეებში შესაძლო გამოსამუშავებელი ენერჯის 10-15%-ანი დანაკარგი.

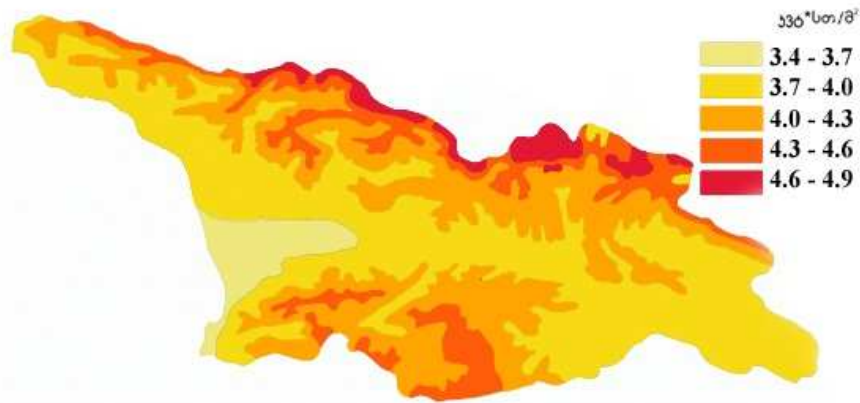
**მეშვიდე თავში** შეფასებულია საქართველოს ტერიტორიაზე მზის ჯამური რადიაციის განაწილების თავისებურებები. შემოთავაზებულია საქართველოს მზის კადასტრის ახალი ვერსია.

გასული საუკუნის 60-80-იანი წლებში მეცნიერებმა შეისწავლეს საქართველოს ტერიტორიაზე მზის რადიაციის განაწილება და შეადგინეს საქართველოს ჰელიოენერგეტიკული რესურსების რუკა – მზის კადასტრი.

აღნიშნული კადასტრი, როგორც ერთი შეხედვითაც ჩანს, გამოდგება მზის თბური ენერგოდანადგარების (მზის წყალგამაცხელებელი კოლექტორი, მზის საშრობი) ეფექტური ფუნქციონირების შეფასებისათვის, ამ დანადგარებს უპირატესად იყენებენ ბარში – დასახლებულ პუნქტებში, წელიწადის თბილ პერიოდში. კადასტრში ნაკლებად არის გათვალისწინებული ის ფაქტი, რომ ზღვის დონიდან სიმაღლის მატებასთან ერთად, მზის ჯამური რადიაცია პროპორციულად იზრდება.

კერძოდ, საქართველოს ტერიტორიაზე მზის ჯამური რადიაციის საშუალო გრადიენტი წლის განმავლობაში იცვლება 5,8-დან 17,4 კვტ·სთ/მ<sup>2</sup>-მდე ყოველ 100 მეტრზე.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ამ კადასტრის გამოყენება, მზის ნახევარგამტარული ფოტოენერგეტიკის თვალსაზრისით, მიზანშეწონილი არ არის. ამიტომ დღის წესრიგში დადგა მზის ისეთი კადასტრის შედგენა, რომელიც გაითვალისწინებდა ძველი კადასტრის ნაკლოვანებებს და უფრო მისადაგებული იქნებოდა მზის ნახევარგამტარული ფოტოენერგეტიკისადმი. მოცემული ნაშრომის ერთერთ მიზანს, სწორედ წარმოადგენს მზის ახალი კადასტრის შექმნის მცდელობა, რომელიც ბოლომდე შეიძლება ვერ იქნება სრულყოფილი, მაგრამ მიახლოებულია რეალობას.



**ნახ. 3.** საქართველოს ახალი მზის კადასტრი

ახალი კადასტრის შედგენისას გათვალისწინებულია საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის პროექტის (გრანტი № GNSF/ST06/7-026) ფარგლებში შესრულებული სამუშაოს შედეგები. კერძოდ, ფშაგ-ხევსურეთისა და ხევის თვრამეტ არაელექტროფიცირებულ სოფელში შესწავლილი მზის ჯამური რადიაციის მონაცემები.

გარდა ამისა, გათვალისწინებულია ბოლო 15 წლის პრაქტიკული გამოცდილება: საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული 100-ზე მეტი მზის ფოტოელექტრული სისტემების ფუნქციონირებაზე მონიტორინგის შედეგები.

ზემოთ თქმულის შეჯერებით, საქართველოს მზის რადიაციის რუქა-კადასტრი, ზონების მიხედვით დაყოფილი, შეიძლება შემდგენაირად წარმოვადგინოთ (ნახ. 3.).

უნდა აღინიშნოს, რომ კადასტრით განსაზღვრულ ზონაში მზის რადიაციის მნიშვნელობები შეიძლება გავრცელდეს მხოლოდ სამხრეთის ორიენტაციის ფერდობებისთვის, ქედების თხემებისთვის, სადაც პორიზონტის დახურულობა არ აღემატება 10-15%-ს.

**მერვე თავში** განხილულია მზის ფოტოელექტრული სისტემების ელექტრული პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდის შემუშავება.

გამოთვლების გამარტივების მიზნით შემოტანილია კოეფიციენტი, პირობითი სახელწოდებით “ფეგ-ის კოეფიციენტი”, რომელიც რიცხობრივად ტოლია შეფარდებისა ფეგ-ის პიკურ სიმძლავრესა და მის მიერ, დროის გარკვეულ პერიოდში (თვე, კვარტალი, წელიწადი) გამომუშავებულ საშუალო დღიური მინიმალურ სასარგებლო ენერგიასთან.

**ცხრილი 2.**

სამხრეთის ორიენტაციის, პორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის მზის ფეგ-ის მიერ გამომუშავებული ენერგიების საშუალო დღიური მონაცემები ქ. თბილისში, ვტ.სთ

კუთხ.	თვეები												საშ. წლ.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
60°	331,6	377,3	437,1	332,0	377,1	412,1	434,9	506,2	493,4	460,9	317,9	316,9	39978
42°	305,8	342,8	426,8	399,3	480,9	551,6	565,4	602,8	574,2	491,2	312,8	282,3	44467
ოპტიმ.	344,5	377,3	440,6	444,2	535,5	615,0	621,3	619,9	535,9	463,9	317,9	321,1	46976

ცხრილში მოცემული (ცხრ.2.) ენერგიის რაოდენობები არ შეიძლება ჩაითვალოს საბოლოოდ სასარგებლო ენერგიად, რომელიც ელექტრო დატვირთვამ უნდა მოიხმაროს. ენერგიის შემდეგი დანაკარგები წარმოიქმნება: აკუმულატორის დამუხტვა-განმუხტვის პროცესში (≈20%) და ფეს-ის შემადგენელ ელექტრონულ ბლოკებში – კონტროლერში, ინვერტორში და სხვა (≈10%). საბოლოო ჯამში ელექტრული

მომხმარებელამდე აღწევს ფეგ-ის მიერ გამომუშავებული ელექტრული ენერჯის  $\approx 70-75\%$ .

ცხრილების (სადისერტაციო ნაშრომის დანართი) მონაცემების გამოყენებით, თუ წინასწარ გამოვიანგარიშებთ ფეგ-ის კოეფიციენტს სხვადასხვა დახრილობის ფეგ-ისათვის, მაშინ მარტივადაა შესაძლებელი მზის ფეგ-ის პიკური სიმძლავრის განსაზღვრა, რომელიც გარანტირებულად უზრუნველყოფს ელექტრული დატვირთვის კვებას ამინდის ყველაზე მკაცრი პირობების დროსაც კი.

თბილისისთვის სამხრეთი აზიმუტის ჰორიზონტისადმი  $60^\circ$ -ით დაფიქსირებული მზის ფეგ-ისთვის ეს კოეფიციენტი ტოლია

$$K_0 = 100/221 \approx 0.45.$$

სადა  $K_0$  – ფეგ-ის კოეფიციენტია თბილისისათვის, მოცემული დახრის კუთხისთვის.

ცხრილის (ცხრ. 2) მონაცემების გამოყენებით შეიძლება გამოითვალოს ეს კოეფიციენტი ფეგ-ის დახრის სხვა კუთხეებისათვის. მაგალითად, ჰორიზონტისადმი  $42^\circ$ -ით დახრილი ფეგ-ისთვის  $K_0 = 100/198 \approx 0.5$ .

თბილისისთვის მიღებული შედეგები, ანალოგიურად, შეიძლება განვავრცოთ საქართველოს სხვა პუნქტებისა და ზოგადად, რადიაციული ზონებისთვის.

ფეგ-ის კოეფიციენტი კონკრეტული პუნქტისთვის და ზოგადად მზის რადიაციული ზონისთვის, შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით

$$K_{\text{გ}} = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot K_0 \quad (1)$$

სადაც,  $K_{\text{გ}}$  არის ფეგ-ის კოეფიციენტი, კონკრეტულ პუნქტში ან ზოგადად მზის რადიაციულ ზონაში

$Q_1$  – არის მზის ჯამური რადიაციის საშუალო დღიური მნიშვნელობა თბილისში;

$Q_2$  არის მზის ჯამური რადიაციის საშუალო დღიური მნიშვნელობა კონკრეტულ პუნქტში ან ზოგადად მზის რადიაციულ ზონაში;



$K_0$ - არის ფეგ-ის კოეფიციენტი თბილისისათვის.

ცნობილია რა, ფეგ-ის კოეფიციენტი და დატვირთვის მიერ დღე-ღამეში მოხმარებული რაოდენობა, შეგვიძლია მარტივად გამოვთვალოთ ფეგ-ის პიკური სიმძლავრე, რომელიც გარანტირებულად უზრუნველყოფს დატვირთვის ელექტრულ კვებას.

$$W_3 = K_{ფ} \cdot P \quad (2)$$

სადაც,  $W_3$  – არის ფეგ-ის პიკური სიმძლავრე (ვატი);

$K_{ფ}$  – ფეგ-ის კოეფიციენტი იმ რადიაციული ზონის ან პუნქტისა, სადაც უნდა დაიდგას ფეს-ი;

$P$  – არის ენერგია, რომელსაც მოიხმარს დატვირთვა დღე-ღამის განმავლობაში (ვტ·სთ).

მზის ფეს-ის მეორე ძირითადი კომპონენტის – აკუმულატორული ბატარეის ტევადობის განსაზღვრისათვის, დატვირთვის მიერ მოხმარებულ ენერგიასთან ერთად გადამწვევებია უმზეო დღეების რაოდენობის სტატისტიკა იმ პუნქტისა ან ზოგადად ზონისა, სადაც ზოგადად უნდა იფუნქციონიროს მზის ფეს-მა.

აკუმულატორული ბატარეის სარეზერვო ელექტრო ტევადობის განსაზღვრისათვის, დღე-ღამეში დატვირთვის მიერ მოხმარებულ ენერგიასთან ერთად, მნიშვნელოვანია, მიყოლებითი უმზეო დღეების რაოდენობა მოცემული ადგილისათვის, სადაც გათვალისწინებულია სისტემის მონტაჟი.

აკუმულატორის ელექტროტევადობის გამოთვლისას ყველაზე მკაცრი ტექნიკური პირობებისთვის უნდა დაგუშვათ, რომ თვის განმავლობაში უმზეო დღეების რაოდენობა, უარეს შემთხვევაში (რისი ალბათობა ძალიან მცირეა) მიყოლებითია. აქედან გამომდინარე, აკუმულატორის ელექტროტევადობა უნდა იყოს დატვირთვის მიერ დღე-ღამის განმავლობაში მოხმარებულ ენერგიაზე (ამპერ·სთ) იმდენჯერ მეტი, რამდენი უმზეო დღეც არის თვეში.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, მზის ფეს-ში შემაჯავლი აკუმულატორული ბატარეის ელექტროტევადობა შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით

$$C = K_b \cdot \frac{P}{V} \quad (3)$$

სადაც,

$C$  – არის აკუმულატორის ტევადობა (ამპ·სთ);

$K_b$  – ე.წ. ბატარეული კოეფიციენტი, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა ტოლია მიყოლებითი უმზეო რაოდენობისა თვეში, იმ პუნქტში, სადაც უნდა იფუნქციონიროს მზის ფეს-მა;

$P$  – არის ენერგია, რომელსაც მოიხმარს დატვირთვა დღე-ღამის განმავლობაში (ვტ·სთ);

$V$  – არის აკუმულატორული ბატარეის მუშა ძაბვა (ვოლტი).

### ცხრილი 3.

ფეგ-ის და ბატარეის კოეფიციენტების საშუალო წლიური მნიშვნელობები მკაცრი ტექნიკური პირობებისთვის, ზამთრის კუთხით დახრილი ფეგ-ისთვის

მზის რადიაციული ზონა		კოეფიციენტები	
№	საშ. დღიური რადიაცია, კვტ·სთ/მ <sup>2</sup>	ზონალური	ბატარეული
I	3,55 (3,4 ÷ 3,7)	0,48	10÷2
II	3,85 (3,7 ÷ 4,0)	0,45	8÷10
III	4,15 (4,0 ÷ 4,3)	0,42	7÷8
IV	4,45 (4,3 ÷ 4,6)	0,39	6÷7
V	4,75 (4,6 ÷ 4,9)	0,36	5÷6

ფეგ-ის და ბატარეის კოეფიციენტების განზოგადებული და გასაშუალოებული გამოთვლილი მნიშვნელობები, მკაცრი ტექნიკური პირობებისთვის, ზამთრის კუთხით დახრილი ფეგ-ისთვის, მზის რადიაციული ზონებისათვის, მოცემულია ცხრილში 3.

უნდა აღინიშნოს, რომ ცხრილში მოცემული ფეგ-ის და ბატარეის ზონალური კოეფიციენტების პირდაპირი გამოყენება მზის ფეს-ის ელექტრული პარამეტრების (ფეგ-ის პიკური სიმძლავრე და აკუმულატორის

ენერგოტევადობა) გათვლისას არ შეიძლება, თუ არ ვფლობთ ინფორმაციას იმ კონკრეტული ადგილის ოროგრაფიაზე, სადაც უნდა დამონტაჟდეს სისტემა. კოეფიციენტის გამოყენება მხოლოდ იმ შემთხვევაში არის მართებული, თუ ფეგ-ის დასამონტაჟებელ ადგილზე, ჰორიზონტის დახურულობა არ აღემატება 10°-15°-ს. სხვა შემთხვევებში, საჭიროა კოეფიციენტის მნიშვნელობებში კორექტირების შეტანა.

**მეცხრე თავში** შემოთავაზებულია მზის ენერჯის მცირე სიმძლავრის ნახევარგამტარული, ფოტოელექტრული სისტემების კლასიფიკაცია და გამოყენების სფეროების და მოთხოვნების მოცულობის განსაზღვრა საქართველოში.

მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული სისტემები მათი სიმძლავრის და პრაქტიკული შესაძლებლობების მიხედვით, პირობითად, შეიძლება დაიყოს ხუთ კატეგორიად: ნანო (ჯუჯა), პიკო, მიკრო, მცირე და დიდი სიმძლავრის.

ნანო – სისტემებია, რომელთა პიკური სიმძლავრე ათეული მილივატებიდან ერთ ვატამდეა. ისინი პორტატულია და გამოიყენება მობილური მოწყობილობების, ციფრული ფოტოაპარატის, ვიდეო კამერის, ტელეფონის და აგრეთვე მცირე ელექტრო ტევადობის AA/ AAA ტიპის აკუმულატორების დასამუხტავად და სხვა.

პიკო – სისტემებია, რომელთა პიკური სიმძლავრეა რამოდენიმე ათეული ვატი. მათ (ნანოსგან) დამატებით შეუძლიათ მცირე სიმძლავრის მუსიკალური ცენტრის, LCD ტელევიზორის, ენერგოდამზოვი – ლუმენსენციური და შუქდიოდური (LED) ნათურების ელექტრული კვება

მიკრო – სისტემებია, რომელთა პიკური სიმძლავრეა რამოდენიმე ასეული ვატი. მათ მიერ გამოიმუშავებული ენერჯია საკმარისია 220 ვოლტიანი ტექნიკის: აუდიო–ვიდეო მოწყობილობების, განათების სისტემის და სხვა ელექტროკვებისათვის.

მცირე – სისტემებია სიმძლავრით დაახლოებით კილოვატის რიგის. მათ მიკროსთან შედარებით დამატებით შეუძლია უთოს, მაცივრის,

სარეცხი მანქანის, სამზარეულო ტექნიკის (გამათბობლების გარდა) ელექტროკვება.

დიდი – სისტემები რამოდენიმე კილოვატი სიმძლავრით, მათ სრულად შეუძლიათ უზრუნველყონ ბინა მზიდან გამომჟღავნებული ელექტროენერგიით, გათბობის გარდა.

საქართველოს რთული რელიეფიდან გამომდინარე მისი ტერიტორია ელექტრული ხაზებით არათანაბრად არის დაქსელილი. ბევრი დასახლებული ადგილი, ძირითადად, მაღალმთიანი, მცირეკომლიანი სოფლები, მონასტრები, სასაზღვრო საგუშაგოები, მეცხვარეთა სადგომები, საველე ფერმები და სხვ. დღემდე არაელექტროფიცირებულია. ამის ძირითად მიზეზად ობიექტების სიშორე, ძნელად მისადგომლობა, ელექტროენერგიაზე რაოდენობრივად ნაკლები მოთხოვნილება და აქედან გამომდინარე ეკონომიური მიზანშეუწონლობა ითვლება.

**ცხრილი 4.**

საქართველოში მზის ფეს-ების გამოყენების სფეროები და მოთხოვნების მოცულობა

№	გამოყენების სფეროები	ფეს-ების რაოდენობა	
		ინსტალირებული	ახლო პესპექტივაში
1	მაღალმთიანი სოფლების კომლექსები	150	500
2	სასაზღვრო პოლიციის საგუშაგოები	50	100
3	მონასტრები	40	100
4	გარემოსდაცვითი ობიექტები	20	100
5	ტელე-კომუნიკაციები	20	50
6	სატრანსპორტო მაგისტრალები	30	50
7	მწყემსების სადგომები	20	50
8	კერძო სექტორი (აგარაკები)	10	10
9	კვლევის ობიექტები	10	10
10	საგანმანათლებლო დაწესებულებები	5	–

დღეისათვის საქართველოში 200-ზე მეტი არაელექტროფიცირებული სოფელია, რომელშიც დაახლოებით 1000–მდე კომლი ცხოვრობს; საპატრიარქოს ასზე მეტი დიდი და პატარა არაელექტროფიცირებული

მონასტერია; საქართველოს ორმოცდაათზე მეტ სასაზღვრო საგუშაგოებზე ცენტრალური ელექტრო მომარაგება არ არსებობს.

ცხრილში (ცხრ.4.) მოცემულია საქართველოში მზის ფეს-ების გამოყენების სფეროები. ინსტალირებული და ახლო პერსპექტივაში დასაინსტალირებელი სისტემების რაოდენობა.

ამჟამინდელი მონაცემებით საქართველოში სულ ინსტალირებულია 300-ზე მეტი მზის ფეს-ი, დაახლოებით 100 კვტ ჯამური პიკური სიმძლავრით.

საქართველოში მზის ფეს-ებზე არსებული მოთხოვნების ანალიზის საფუძველზე, უახლოესი ხუთი წლის პერიოდისათვის, შეიძლება გაკეთდეს განვითარების პროგნოზი: მზის სხვადასხვა სიმძლავრის ავტონომიური ფეს-ების დაყენებულმა ჯამურმა სიმძლავრემ შეიძლება შეადგინოს 100 კილოვატი.

**მეათე თავში** განხილულია საქართველოს მოთხოვნების შესაბამისი მზის ფოტოელექტრული სისტემებისთვის ელექტრონული ბლოკების, კონსტრუქციების დამუშავება, დამზადება და გამოყენება.

მზის ფეს-ის პროექტირებისას დატვირთვის შესაბამისი ელექტრული პარამეტრების გაანგარიშების გარდა, აგრეთვე მნიშვნელოვანია კონსტრუქციულად ფეგ-ის მისადაგება ობიექტსა და გარემოსადმი.

ზოგადად მზის ფეგ-ი, კონკრეტული გარემოებებიდან გამომდინარე შეიძლება სხვადასხვანაირად დამაგრდეს. ნაშრომში მოცემულია სხვადასხვა კონსტრუქციების ტიპები და მათი ფოტოები.

მოთხოვნილებიდან გამომდინარე დამუშავდა სხვადასხვა სიმძლავრის დასაკეც-გადასატანი მობილური, ელასტიური, ამორფული კაუბადის მზის ფეგ-ის ტიპები

რაც შეეხება ელექტრონული ბლოკების: დამუხტვის კონტროლერის, AC-DC ინვერტორის, DC-DC კონვერტორის, მზის ენერჯის მრიცხველის და მზის ტრაექტორიის თანმდევის ელექტრონული სისტემის ელექტროსქემები, საქართველოშია დამუშავებული და აწეობილი: სინუსოიდალური PWM ტიპის AC-DC ინვერტორი, მზის ტრაექტორიის

თანმდები ელექტრონული სისტემა, მზის ენერჯის მრიცხველი (ამპერ-საათების მოვლელი).

**მეთერთმეტე თავში** განხილულია საქართველოში მზის ფოტოელექტრული სისტემების გამოყენების ეკონომიკური ასპექტები.

მზის ფეს-ის შემადგენელი კომპონენტების შედარებით მაღალი ღირებულების გამო, მათ მიერ გამოიმუშავებული ელექტრული ენერჯია, 5 – 10-ჯერ უფრო ძვირია, ვიდრე ტრადიციული ენერგოწყაროებიდან მიღებული ელექტროენერჯია. ამ ფაქტორის გამო, მზის ფეს-ის გამოყენების შემთხვევაში, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, მზის სხივური ენერჯიიდან მაქსიმალური ელექტროენერჯის მიღების და მიღებული ენერჯის რაციონალურად, ეფექტურად გამოყენება.

მზის ენერჯიიდან ერთი და იგივე სიმძლავრის ფეგ-ის შემთხვევაში მაქსიმალური რაოდენობის ელექტროენერჯის მიღება, შესაძლებელია შემდეგი მარტივი ხერხებით:

1. მზის ფეგ-ის მიმღები ზედაპირის კორიზონტისადმი ოპტიმალური დახრის კუთხის ცვლილებით, რაც იძლევა საშუალებას მივიღოთ წლის განმავლობაში გამოიმუშავებული ენერჯის დაახლოებით 40%-ანი ნამატი, უძრავად ფიქსირებულ ფეგ-თან შედარებით.

2. მზის ტრაექტორიის თანმდები ელექტრონული სისტემის გამოყენება ენერჯის დაახლოებით 60%-იან ნამატს იძლევა მზიანი დღის განმავლობაში.

რაც შეეხება მზის ენერჯიიდან მიღებულ ელექტროენერჯის რაციონალურ და ეფექტურ ხარჯვა-გამოყენებას, ყოველწლიურად სამომხმარებლო ბაზარზე ჩნდება მაღალეფექტური, ენერგო დამზოგი საყოფაცხოვრებო ელექტრომოწყობილობები: განათების სისტემები, ტელევიზორები, მაცივრები, სარეცხი მანქანები და სხვა.

ეს ენერგოდამზოგი მოწყობილობები დაახლოებით სამჯერ ნაკლებ ენერჯიას მოიხმარენ დღე-ღამეში. ენერჯის ამ რაოდენობის დაზოგვა საშუალებას იძლევა მზის ფეგ-ის პიკური სიმძლავრის დაახლოებით 2 კვტ-ით შემცირებას, ანუ ფინანსების სახით დაახლოებით 20.000 დოლარის დაზოგვას.

მზის ფოტოელექტრული გარამქმნელების მიერ გამომუშავებული ენერჯის დაახლოებით 30%-ით გაზრდა, დამატებით კიდევ შესაძლებელია ელექტრონული მოწყობილობის ე.წ. MPP (მაქსიმალური სიმძლავრის წერტილი) გამოყენებით.

ნაშრომში ოთხი პრაქტიკული პროექტის მაგალითზე დამტკიცებულია მზის ფეს-ების გამოყენების ეკონომიური მიზანშეწონილობა და კონკურენტუნარიანობა ტრადიციულ დენის წყაროებთან შედარებით.

აგრეთვე უნდა აღინიშნოს, რომ ეკონომიკური კონკურენტუნარიანობის გარდა, არანაკლებ მნიშვნელოვანია ეკოლოგიური და ესთეტიკური ფაქტორები. მთიან და ტყიან ადგილებში ელექტრული ხაზების გაყვანა მოითხოვს გზების გაჭრას, რაც თვისთავად იწვევს ტყეების გაჩეხვას. ასეთ ადგილებში ელექტრული ხაზები ვიზიალურადაც ამახინჯებს გარემოს. რთული რელიეფური და კლიმატური პირობების (დიდთოვლობის, ზვავების, მეწყერების) გამო ელექტრული ხაზები ხშირად დიდი ხნით გამოდიან მწყობრიდან. ანუ მზის ფეს-ებთან შედარებით ელექტრო მომხმარებლების გარანტირებული ენერჯო უზრუნველყოფა ნაკლებ საიმედოა.

ოპერატიული თვალსაზრისითაც, მზის ფეს-ების მონტაჟი გაცილებით ნაკლებ დროში – დღეებში და თვეებში ხორციელდება, როდესაც ელექტრო ხაზების გაყვანას სჭირდება თვეები და წლები.

## **დასკვნები**

1. მზის ნახევარგამტარული კაუბადის ფოტოელექტრული მოდულის უშუალო გამოყენებით განისაზღვრა:
  - ა) ჰორიზონტისადმი ოპტიმალური დახრის კუთხეები, რომლის დროსაც მიიღწევა მოდულის მიერ მაქსიმალური რაოდენობის ენერჯიების გამომუშავება. დადგინდა, რომ ოპტიმალური დახრის კუთხე მინიმალურია ივნისში და შეადგენს  $10^{\circ}$ -ს, ხოლო მაქსიმალურია დეკემბერში -  $68^{\circ}$ . აგრეთვე დადგინდა, რომ ფოტოელექტრული მოდულის ოპტიმალური დახრის კუთხის  $1^{\circ}\pm 2^{\circ}$ -ით ცვლილება მის მიერ

გამომუშავებული ენერგიების მნიშვნელობებს პრაქტიკულად არ ცვლის.

- ბ) მოწმენდილი და ღრუბლიანი ცის პირობებში ჩატარებული გაზომვების შედეგად განისაზღვრა – ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული მზის ჯამური რადიაციის დახრილი ზედაპირებისათვის გადასაყვანი კოეფიციენტების მნიშვნელობები თვეების მიხედვით: მოწმენდილი ცის პირობებისათვის კოეფიციენტებს მინიმალური მნიშვნელობები  $0,7 \pm 1$  აქვთ ივნისში, ხოლო მაქსიმალური მნიშვნელობები  $2,25 \pm 2,70$  იანვარ-დეკემბერში. მაშინ, როდესაც, ღრუბლიანი ცის პირობებისათვის კოეფიციენტის მნიშვნელობები მთელი წლის განმავლობაში მცირედ იცვლებიან  $0,70 \pm 0,97$  ინტერვალში. მოწმენდილი და ღრუბლიანი ცის პირობებისათვის კოეფიციენტების მნიშვნელობების გასაშუალოებით განისაზღვრა ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტები ამინდის რეალური პირობებისათვის, რომლისთვისაც კოეფიციენტების მნიშვნელობები ზაფხულისათვის დაახლოებით ანალოგიურია მოწმენდილი ამინდის პირობებში მიღებული მნიშვნელობებისა. ხოლო მაქსიმალური მნიშვნელობები მასთან შედარებით შემცირებულია და იანვარ-დეკემბერში იცვლება  $1,8 \pm 2,3$  ინტერვალში;

2. ექსპერიმენტულად განისაზღვრა სამხრეთის აზიმუტის ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა დახრის კუთხეებისთვის 100 ვატი პიკური სიმძლავრის მზის ფოტოელექტრული გენერატორის მიერ, ამინდის სხვადასხვა პირობებში გამომუშავებული ენერგიები. კერძოდ, დადგინდა რომ:

- ა) 8–10 ბალიანი ზედა იარუსის ღრუბლიანობის შემთხვევაში (8-10 ბალი ნიშნავს, რომ ცის კამარა დაფარულია ღრუბლებით 80-100%-ით). მზის ფეგ-ის მიერ დღის განმავლობაში გამომუშავებული ენერგია ნაკლებად არის დამოკიდებული სეზონურობაზე. მისი მნიშვნელობა დაახლოებით 4–5-ჯერ ნაკლებია მზიანი ამინდის დროს



გამომუშავებულ ენერგიაზე. ქვედა იარუსის 8–10 ბალიანი ღრუბლიანობის დროს (2000 მეტრამდე), როდესაც სინათლის ინტენსივობა 0.01 კვტ/მ<sup>2</sup>-ზე ნაკლებია ფეგ-ი პრაქტიკულად სასარგებლო ენერგიას ვერ გამოიმუშავებს. ეს ძირითადად ხდება წვიმიანი, თოვლიანი და ნისლიანი ამინდის პირობების დროს;

ბ) სინათლის ინტენსივობა 0.01 კვტ/მ<sup>2</sup> წარმოადგენს ფეგ-ის ფუნქციონირების ქვედა ზღვარს და მას შეესაბამება 10/10 ბალი ქვედა იარუსის ღრუბლიანობის (მიწისპირა ძლიერი ნისლი, კოკისპირული წვიმა და ძლიერი თოვლი) პირობები;

გ) მზის ტრანექტორიის თანმდევი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ-ი დღის განმავლობაში გამოიმუშავებს 685 ვტ·სთ ენერგიას, ხოლო ფიქსირებულად, ჰორიზონტისადმი 68° კუთხით დახრილი კი 570 კვტ·სთ. მათ მიერ გამომუშავებულ ენერგიათა სხვაობა შეადგენს დაახლოებით 20%-ს;

დ) სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ-ის მიერ საშუალოდ, დღიურად მაქსიმალური ენერგია გამომუშავდება მზის ტრანექტორიის თანმდევი სისტემის მიერ და იგი შეადგენს 850 ვტ·სთ-ს, ხოლო მინიმალური ენერგია გამომუშავდება დეკემბერში, ზამთრის კუთხით ფიქსირებული ფეგ-ის მიერ და იგი შეადგენს 350 ვტ·სთ-ს.

3. კლიმატის ცნობარებში არსებულ მონაცემებზე დაყრდნობით, საქართველოს მთიანი რეგიონის თვრამეტ სოფელში წარმოებული მზის ჯამური რადიაციის გაზომვების შედეგების საფუძველზე და ასევე მეტ მზის ფოტოელექტრულ სისტემაზე მრავალწლიანი მონიტორინგის მონაცემების გათვალისწინებით შემოთავაზებულ იქნა საქართველოს მზის რადიაციის ახალი კადასტრი. კადასტრის მონაცემების გამოყენება შესაძლებელია ნახევარგამტარულ ფოტოენერგეტიკაში, მზის ფოტოელექტრული სისტემების პროექტირებისას;

4. შემოთავაზებულია მზის ფოტოელექტრული სისტემების ელექტროპარამეტრების გაანგარიშების ახალი მეთოდიკა. სპეციალურად შემოღებული ე.წ. ფეგ-ის და ბატარეული კოეფიციენტის საშუალებით, კონკრეტული ტექნიკური პირობებისათვის მარტივად არის შესაძლებელი სისტემაში მზის ფეგ-ის პიკური სიმძლავრის და აკუმულატორული ბატარეის ენერგოტევადობის განსაზღვრა;
5. შესწავლილ იქნა საქართველოში მზის ფოტოელექტრული სისტემების გამოყენების ძირითადი სფეროები, როგორებიცაა: მაღალმთიანი, არაელექტროფიცირებული სოფლები, სასაზღვრო პოლიციის საგუშაგოები, საპატრიარქოს მონასტრები, საქართველოს დაცულ ტერიტორიებზე გარემოსდაცვითი ობიექტები, ტელესაკომუნიკაციო ობიექტები, მომთაბარე მწყემსების სადგომები, სატრანსპორტო მაგისტრალები და სხვა. ანალიზის საფუძველზე გაკეთებულ იქნა პროგნოზი, რომლის მიხედვით უახლოეს ხუთ წელიწადში, სხვადასხვა სიმძლავრის მზის ფოტოელექტრულ სისტემებზე მოთხოვნა, დღევანდელთან შედარებით, შეიძლება დაახლოებით ორჯერ გაიზარდოს და ამ პერიოდში დაყენებულმა ჯამურმა სიმძლავრემ გადააჭარბოს 100 კილოვატს;
6. საქართველოში მზის ფოტოელექტრულ სისტემებზე მოთხოვნილებებიდან და პრაქტიკული შესაძლებლობებიდან გამომდინარე მოხდა მათი კლასიფიცირება. კერძოდ, სიმძლავრის მიხედვით ფოტოელექტრული სისტემები დაიყო: ნანო (ჯუჯა) – ერთ ვატამდე; პიკო – რამოდენიმე ათეული ვატი; მიკრო – რამოდენიმე ასეული ვატი; მცირე – დაახლოებით კილოვატი და დიდი – რამოდენიმე კილოვატი სიმძლავრის სისტემებად. განსაზღვრულია თითოეული ზემოთ ჩამოთვლილი ფოტოელექტრული სისტემის კონკრეტული პრაქტიკული შესაძლებლობები;

7. პრაქტიკული პროექტების მაგალითზე, დასაბუთდა, ტრადიციულ წყაროებთან შედარებით მზის ფოტოელექტრულ სისტემების გამოყენების ეკონომიკური უპირატესობა;
8. დამზადდა და დაინერგა საქართველოსთვის შესაბამისი მოთხოვნილების (ელექტროპარამეტრების და კონსტრუქციების) მზის ფეს-ები, რომელთა ფოტოები მოცემულია სადისერტაციო ნაშრომში.

### **Abstract**

Power engineering which is based on solar semiconductive photovoltaic transformation is one of the most dynamically developing directions in the world.

Judging according to the existing small scale solar photovoltaic installations in Georgia solar power engineering is on its initial stage of development. Therefore issues related with design, installation and follow-up maintenance of solar semiconductive photovoltaic systems play an important role. System design firstly implies definition of parameters for solar semiconductive photovoltaic generator (module). For this reason it is essential to have reliable base information for solar lighting and radiation.

The given work analyzes and displays deficiency of the base information. It also underlines that the existing solar cadastre of Georgia is useless for solar semiconductive photovoltaic system design.

This scientific work analyzes data from climate workbooks and special literature, practical measurements in eighteen alpine villages and long-term monitoring of several photovoltaic installations on the territory of Georgia.

Based on analyze results a new variant of solar cadastre of Georgia is proposed, which is one of the sources of information for design of solar semiconductive photovoltaic systems.

Based on practical experiments total solar horizontal radiation conversion coefficients were defined for different angles of south azimuth to a horizon, according to months of the year. Based on these coefficients total radiation values were defined for a south

azimuth faced receiving surfaces inclined with 60 and 42 degree angle to horizon, according to optimal monthly angles.

Within this work monthly measurement of average output values for 100 Watt peak power solar photovoltaic generator were conducted in different weather conditions and different surface inclination angles of south azimuth to a horizon.

Based on analyzes, coefficients for photovoltaic generator and battery were included in the work, which allow for an easy and exact calculation of parameters for photovoltaic generator and battery.

The work gives an overview of different construction types for solar photovoltaic systems and block-schemes for the following electrical parts: inverter, solar tracking control unit, solar energy counter.

The work shows practical examples for solar photovoltaic system parameter calculation. The work researches demand for solar photovoltaic systems and potential fields of their usage.

The work analyzes technical, economical and ecological aspects of solar photovoltaic system usage in Georgia, including perspectives of solar power engineering development.

### ლიტერატურა

1. Planning & Installing Photovoltaic Systems, 2008, UK and USA, Earthscan, p. 384.
2. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., Солнечная энергетика, Москва, Издательский дом МЭИ, 2011, с. 276.
3. Гвасалия Н.В., Тепловой баланс Грузии, Тбилиси, Мецниереба, 1986, с. 116.
4. Борзенкова И.И., О некоторых закономерностях изменения составляющих радиационного и теплового баланса в горных районах. 1965, Труды ГГО, вып. 179.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР, Ленинград, Гидрометео издат, 1990, серия 3, часть 1-6, выпуск 14, с. 345.
6. Справочник по климату СССР, Ленинград, Гидрометео издат, 1968, выпуск 14, с. 72.

7. Сванидзе Г.Г., Гагуа В.П., Сухишвили Э.В., Возобновляемые энергоресурсы Грузии, Ленинград, Гидрометео издат, 1987, с. 173.
8. Цуцкиридзе Я.А., Солнечный кадастр Грузии, 1963, Труды ЗакНИГМИ, вып. 12, с. 54-83.
9. Андерсон Б., Солнечная энергия, Москва Стройиздат 1982, с. 350.
10. Алферов Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д., Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики, 2004, Физика и техника полупроводников, т.38, вып.8, с. 937-947.
11. Коутса Т., Микина Дж., Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики, Москва, Мир, 1988, с. 307.
12. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д., Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения, Ленинград, Наука, 1989, с. 308.
13. M.E. Green, K. Emery, D.L. King, S. Igary, W. Warta. Progr. Photovolt.:Res. Appl., #10, 2002, p. 335.
14. S.G. Bailey, D.F. Flood. Progr. Photovolt., #6, 1998.
15. V.D. Rumyantsev, V.M. Andreev, N.A. Sadchikov, A.W. Bett, F. Dimroth, G. Lange. Proc. Conf. "PV in Europe", Rome, 2002.
16. M. Yamaguchi. Workshop Proc. "The path to ultra-high effecient photovoltaics" , Ispra, Italy, 2002, p. 15.
17. M.J. O'neil, M.F. Piszczor, M.I. Eskenazi, M.M. Botke, H.W. Brandhorst, D.L. Edwards, P.A. Jaster. Proc. 29<sup>th</sup> IEEE photovolt. Specialists Conf. New Orleans, 2002. p. 916.

**დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:**

- 1 სალუქვაძე რ., დგებუაძე გ., კაშია ვ., კობახიძე კ., კობახიძე კ.ზ., შვანგირაძე რ., ჩხენკელი ნ., მზის ნახევარგამტარული ენერგოსისტემის დაპროექტების საკითხისათვის. 1997, მეცნიერება და ტექნოლოგიები, #6, გვ. 36-40.

- 2 სალუქვაძე რ., დგებუაძე გ., კაშია ვ., კობახიძე კ., ჩხენკელი ნ., დენის ავტონომიური წყაროების პრაქტიკული გამოყენების შესახებ, 1998, ენერჯია, #3(7), გვ. 88-92.
- 3 კაშია ვ., კობახიძე კ., ჩხენკელი ნ., მზის ფოტოელექტრო გენერატორის მახასიათებლების დამოკიდებულება ორიენტაციასა და ამინდის პირობებზე, 1999, ენერჯია, #4(12), გვ. 62-67.
- 4 სურგულაძე დ., კობახიძე ლ., დავითური ა., კობახიძე კ., მზის ფოტოელექტრო ენერჯიის მრიცხველი, 2000, ენერჯია, #3(15), გვ. 90-91.
- 5 კაშია ვ., კობახიძე კ., კობახიძე ლ., ჩხენკელი ნ., საქართველოს მონაკვეთზე ბაქო-სუფსის მილსადენის კოროზიის კათოდური დაცვის სისტემებში მზის ენერჯიის შესაძლო გამოყენების შესახებ, 2001, მეცნიერება და ტექნოლოგიები, #10-12, გვ. 6-10.
- 6 კობახიძე კ., ჩხენკელი ნ., ფოტოელექტრო სისტემების გაანგარიშება საქართველოს პირობებში, 2001, თბილისი, განახლებადი ენერჯიის წყაროები, საერთაშორისო სემინარის თეზისები, გვ. 24-27.
- 7 Кобахидзе К.А., Чхенкели Н.С., Кобахидзе Л.К., Эффективность работы солнечного фотоэлектро генератора в условиях г. Тбилиси, 2001, Санкт-Петербург, Возобновляемые источники энергии, сборник тезисов международной конференции, с. 8-9.
- 8 Кобахидзе К.А., Чхенкели Н.С., Кобахидзе Л.К., Кашиа В.Г., Перспективы использования солнечной энергии в системах катодной защиты трубопровода баку-Тбилиси-Джеихан, 2002, Баку, Тезисы международной конференции, с. 101-103.
- 9 Кобахидзе К.А., Чхенкели Н.С., Кобахидзе Л.К., Устойчивое энергоразвитие высокогорных общин, 2003, Сборник докладов третьей международной конференции РЭЦ Кавказ, с. 96-98.

- 10 Кобахидзе К.А., Чхенкели Н.С., Кобахидзе Л.К., Кашиа В.Г., Перспектива использования солнечных фотоэлектронных систем для высокогорных селений, 2005, Международный научный журнал, Альтернативная энергия и экология, №12. с. 73-75.
- 11 Kobakhidze K., Kobakhidze L., Chkhenkeli N., Bokuchava G., Renewable Energy Supply of Mountainous Villages in Georgia, 2008, Scotland - Glasgow, Renewable Energy World Congress.
- 12 Kobakhidze K., Kobakhidze L., Chkhenkeli N., Bokuchava G., Peculiarities of Evaluating and Using the Renewable Energy Resources in High Mountainous Regions, 2008, Georgian Engineering News #3, pp. 157-159.
- 13 Кобахидзе К.А., Чхенкели Н.С., Кобахидзе Л.К., Бокучава Г.В., Преимущество использования возобновляемых источников энергии в труднодоступных малонаселённых деревнях, 2009, Киев, Международная конференция по альтернативной энергии.
- 14 კობახიძე კ., ჩხენკელი ნ., კობახიძე ლ., ბოკუჩავა გ., მზის ენერჯის გამოყენება მაღალმთიანი სოფლის ლოკალური ენერჯომომარაგებისათვის, 2009, ენერჯია, #3(51), გვ. 134-135.
- 15 კობახიძე კ., ჩხენკელი ნ., კობახიძე ლ., ბოკუჩავა გ., ფშავ-ხევსურეთისა და ხევის არაელექტროფიცირებად სოფლებში განახლებადი ენერჯორესურსების კვლევის შედეგები, 2009, ენერჯია, #4(52)-1, გვ. 127-130.
- 16 Кобахидзе К.А., Чхенкели Н.С., Кобахидзе Л.К., Использование солнечных энергосистем на охраняемых территориях Грузии, 2011, ენერჯია, #3(59), გვ. 88-89.
- 17 კობახიძე კ., მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრონიკის სისტემების კლასიფიკაცია და გამოყენების მიმართულებები საქართველოში, 2011, თბილისი, გამოყენებითი ფიზიკის აქტუალური

საკითხები, საერთაშორისო კონფერენციის შრომები, სტუ, გვ. 382-384.

## აპრობაცია

### დისერტაციის მასალები მოხსენიებული იყო შემდეგ კონფერენციებსა და სემინარებზე:

1. საერთაშორისო სემინარი “განახლებადი ენერჯის წყაროები”, 2001, თბილისი.
2. Международная конференция по возобновляемым источникам энергии, Санкт-Петербург, 2001г.
3. Международная конференция, Баку, 2002г.
4. Третья международная конференция РЭЦ Кавказ, Тбилиси 11-12 Июля 2003г .
5. Renewable Energy World Congress, Scotland – Glasgow, 19-25 July 2008.
6. Международная конференция по альтернативной энергии , Киев, 3-5 ноябрь 2009 г.
7. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “გამოყენებითი ფიზიკის აქტუალური საკითხები”, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 30 მარტი 2011 წელი.
8. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის, ფიზიკის დეპარტამენტი. სემინარი I.
9. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის, ფიზიკის დეპარტამენტი. სემინარი II.