

კობახიძე კონსტანტინე

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

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური
ხარისხის მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
აპრილი, 2012

საავტორო უფლება © 2012 წელი, კობახიძე კონსტანტინე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით კონსტანტინე კობახიძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “მზის ენერჯის მცირე სიმძლავრის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული სისტემების პროექტირება, მათი დამზადება და გამოყენება საქართველოში” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი:

ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი, ტექნიკის
მეცნიერებათა დოქტორი, რაფიელ ჩიქოვანი -----
რეცენზენტი: სრული პროფესორი, ტექნიკის
მეცნიერებათა კანდიდატი, გელა გოდერძიშვილი -----
რეცენზენტი: აკადემიური დოქტორი, ტექნიკის
მეცნიერებათა კანდიდატი, რევაზ მელქაძე -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
2012 წელი

ავტორი: კობახიძე კონსტანტინე

დასახელება: “მზის ენერჯის მცირე სიმძლავრის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული სისტემების პროექტირება, მათი დამზადება და გამოყენება საქართველოში”

ფაკულტეტი: ინფორმატიკის და მართვის სისტემები

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ მოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობით მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

მიძღვნა

ნაშრომი ეძღვნება ჩემი ოჯახის თითოეულ წევრს პროფესიულ საქმიანობაში მხარდაჭერის ნიშნად.

რ ე ზ ი უ მ ე

მზის ნახევარგამტარულ ფოტოელექტრულ გარდაქმნაზე დამყარებული ენერგეტიკა ითვლება ერთერთ, დინამიურად განვითარებად, მიმართულებად მსოფლიოში.

საქართველოში მზის ფოტოენერგეტიკა, თუ ჩავთვლით უკვე ინსტალირებულ, მცირე სიმძლავრის სისტემებს, განვითარების საწყის სტადიაზე იმყოფება. ამიტომ, ამ ეტაპზე, საქართველოში მეტად აქტუალურია მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული სისტემების პროექტირების, ინსტალაციის და შემდგომი მომსახურების პრობლემები. სისტემის პროექტირება, უპირველეს ყოვლისა, გულისხმობს მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული გენერატორის (მოდულის) პარამეტრების განსაზღვრას. ამისთვის საჭიროა მზის ნათების და რადიაციული რეჟიმების მნიშვნელობების საიმედო და სანდო საწყისი საბაზო ინფორმაციის ფლობა.

ნაშრომში გაანალიზებულია და ნაჩვენებია აღნიშნული საბაზო ინფორმაციის სიმწირე საქართველოში. აგრეთვე ის, რომ დღემდე არსებული საქართველოს მზის კადასტრი გამოუსადეგარია მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული სისტემების პროექტირებისას.

ნაშრომში გაანალიზებულია კლიმატის ცნობარებში და სპეციალურ ლიტერატურაში არსებული მონაცემები, თვრამეტ მაღალმთიან სოფელში ჩატარებული პრაქტიკული გაზომვების და საქართველოს ტერიტორიაზე განთავსებული, მზის ავტონომიურ ფოტოელექტრო სისტემებზე მრავალწლიანი მონიტორინგის მონაცემები.

ანალიზის შედეგებზე დაყრდნობით შემოთავაზებულია საქართველოს ახალი მზის კადასტრის ვარიანტი, რომელიც წარმოადგენს საწყისი საბაზო ინფორმაციის ერთერთ წყაროს მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული სისტემების პროექტირებისას.

ნაშრომში, პრაქტიკული ექსპერიმენტების საფუძველზე, განისაზღვრა ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტები სამხრეთის აზიმუტის ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა დახრის კუთხეებისათვის, წელიწადის თვეების მიხედვით. აღნიშნული კოეფიციენტის საშუალებით გამოითვალა სამხრეთის აზიმუტის ჰორიზონტისადმი 60°-ით, 42°-ით და თვეების მიხედვით, ოპტიმალური დახრის კუთხეებით მდებარე, მიმდებ ზედაპირზე დაცემული ჯამური რადიაციის მნიშვნელობები.

ნაშრომში გაზომილ იქნა სამხრეთის აზიმუტის ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა დახრის კუთხით დაფიქსირებული 100 ვატი პიკური სიმძლავრის მზის ფოტოელექტრული გენერატორის მიერ გამომუშავებული

ენერჯიების საშუალო მნიშვნელობები, ამინდის სხვადასხვა პირობებში, წელიწადის თვეების მიხედვით.

ანალიზის საფუძველზე, ნაშრომში შემოტანილ იქნა, ეგრეთ წოდებული, ფეგ-ის და ბატარეის კოეფიციენტები, რომელთა საშუალებით ზუსტად და მარტივად არის შესაძლებელი მზის ფოტოელექტრული გენერატორის და აკუმულატორული ბატარეის პარამეტრების გაანგარიშება.

ნაშრომში მოცემულია მზის ფოტოელექტრული სისტემის დამუშავებული სხვადასხვა კონსტრუქცია, ელექტრონული მოწყობილობების: ინვერტორის, მზის ტრაექტორიის თანმდევ ელექტრონული მართვის ბლოკის, მზის ენერჯიის მრიცხველის პრინციპული ბლოკ-სქემები.

ნაშრომში ნაჩვენებია მზის ფოტოელექტრული სისტემის პარამეტრების გაანგარიშების პრაქტიკული მაგალითები.

ნაშრომში გამოკვლეულია საქართველოში მზის ფოტოელექტრული სისტემების გამოყენების სფეროები და მოთხოვნების მოცულობა.

ნაშრომში გაანალიზებულია საქართველოში მზის ფოტოელექტრული სისტემების გამოყენების ტექნიკურ-ეკონომიკური და ეკოლოგიური ასპექტები, აგრეთვე ჰელიოენერჯეტიკის განვითარების პერსპექტივები.

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.

შინაარსი

ბ3

შესავალი.....	16
1. ლიტერატურის მიმოხილვა.....	21
1.1. მზის გამოსხივების რადიაცია დედამიწაზე.....	21
1.1.1. ძირითადი მცნებები და განსაზღვრებები.....	21
1.1.2. ძირითადი და დამატებითი ფაქტორების გავლენა, დედამიწაზე მზის რადიაციის სიდიდეზე, სხვადასხვა ორიენტაციის მიმღებ ზედაპირზე.....	27
1.1.3. მზის პირდაპირი რადიაციის განსაზღვრა სხვადასხვა დახრილობის მიმღებ ზედაპირისთვის.....	31
1.1.4. მზის ჯამური რადიაციის დამოკიდებულება სიმაღლეზე ზღვის დონიდან.....	32
1.2. ჰელიოენერგეტიკული გამოთვლების ინფორმაციული უზრუნველყოფა და მისი თავისებურებანი.....	34
1.2.1 ჰელიოენერგეტიკული გამოთვლებისთვის საჭირო საწყისი ინფორმაციის წყაროები.....	34
1.2.2 საქართველოს ტერიტორიაზე მზის რადიაციული და მზის ნათების რეჟიმების დახასიათება.....	37
1.2.3 მზის ენერჯის კადასტრი და მისი თავისებურებანი.....	41
1.3. მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული სისტემები და მათი ენერგეტიკული, ეკონომიკური და ეკოლოგიური მახასიათებლები.....	44
1.3.1. მზის ფოტოენერგეტიკის ფიზიკური საფუძვლები.....	44
1.3.2. მზის ფოტოელექტრული ელემენტის (გენერატორის) ენერგეტიკული მახასიათებლები.....	47
1.3.3 მზის ფოტოელექტრული სისტემების შემადგენელი კომპონენტები და მათი მოკლე დახასიათება.....	51
1.3.4 მზის ენერგეტიკის ეკონომიკური და ეკოლოგიური ასპექტები.....	53

2. შედეგები და მათი განსჯა	57
2.1 ექსპერიმენტების მეთოდთა, გამოყენებული ხელსაწყოები და მათი მახასიათებლები	57
2.2 ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დაცემული მზის ჯამური რადიაციის დახრილი ზედაპირისათვის გადასაყვანი კოეფიციენტების დადგენა.....	62
2.3 მზისადმი სხვადასხვა ორიენტაციით ფიქსირებული მზის ფოტოელექტრული გენერატორის მიერ ამინდის სხვადასხვა პირობებში გამოიმუშავებული ენერჯია	69
2.4 საქართველოს ტერიტორიაზე მზის ჯამური რადიაციის განაწილების შეფასება. საქართველოს მზის ახალი კადასტრის შედგენა და მისი გამოყენება ნახევარგამტარულ ფოტოენერგეტიკაში.....	79
2.5 მზის ფოტოელექტრული სისტემების პროექტირების. ელექტრული პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდის შემუშავება.....	86
2.6 მზის ენერჯიის მცირე სიმძლავრის ფოტოელექტრული სისტემების კლასიფიკაცია. გამოყენების სფეროების და მოთხოვნების მოცულობის განსაზღვრა საქართველოში.....	97
2.7 მზის ფოტოელექტრული სისტემებისთვის ელექტრონული ბლოკების და კონსტრუქციების დამუშავება, მათი დამზადება და გამოყენება საქართველოში.....	104
2.8 საქართველოში მზის ფოტოელექტრული სისტემების გამოყენების ეკონომიკური ასპექტები.....	116
დასკვნები.....	125
დანართი.....	129
ბიბლიოგრაფია.....	135

ცხრილების ნუსხა

გვ

ცხრილი 1. სამხრეთის აზიმუტის ფეგ-ის ჰორიზონტისადმი ოპტიმალური დახრის კუთხეები.....	63
ცხრილი 2. მზის ჯამური რადიაციის საშუალო თვიური მონაცემები თბილისისათვის.....	68
ცხრილი 3. ფეგ-ის მიმღებ ზედაპირზე დაცემული სინათლის სხვადასხვა ინტენსიობის დროს, მზის ჯამური რადიაციის და 100ვტ პიკური სიმძლავრის ფეგ-ის მიერ გამომუშავებული ენერგია.....	70
ცხრილი 4. დღის განმავლობაში 1 მ ² ფართზე 0.01 კვტ/მ ² და ნაკლები სინათლის ინტენსიობაზე მოსული მზის ჯამური რადიაცია.....	70
ცხრილი 5. ფშავ-ხევსურეთის და ხევის 18 სოფლის მზის ჯამური რადიაციის მონაცემები.....	84
ცხრილი 6. სამხრეთის ორიენტაციის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის მზის ფეგ-ის მიერ გამომუშავებული ენერგიების საშუალო დღიური მონაცემები თბილისში..90	
ცხრილი 7. მზის ჯამური რადიაციის საშუალო დღიური მონაცემები სამხრეთის ორიენტაციის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი ზედაპირებისათვის, თბილისში.....	90
ცხრილი 8. ფეგ-ის და ბატარეის კოეფიციენტების მნიშვნელობები მკაცრი ტექნიკური პირობებისთვის, ზამთრის კუთხით დახრილი ფეგ-ისთვის.....	93
ცხრილი 9. საქართველოში მზის ფეგ-ების გამოყენების სფეროები და მოთხოვნების მოცულობა.....	102
ცხრილი 10. ელასტიური მზის ფეგ-ების პარამეტრები.....	107
ცხრილი 11. საყოფაცხ. ტექნიკის სიმძლავრეები და ენერგიის ხარჯი.....	119
დანართის ცხრილების ნუსხა	
ცხრილი 1. მზის ჯამური რადიაცია ჰორიზონტალურ ზედაპირზე.....	130
ცხრილი 2. მზის ჯამური რადიაცია ჰორიზონტისადმი 60°-ით დახრილ ზედაპირზე.....	131
ცხრილი 3. მზის ჯამური რადიაცია ჰორიზონტისადმი 42°-ით დახრილ ზედაპირზე.....	132
ცხრილი 4. მზის ჯამური რადიაცია ჰორიზონტისადმი თვეების მიხედვით ოპტიმალური დახრის კუთხით მდებარე ზედაპირზე.....	133
ცხრილი 5. უმზეო დღეების რაოდენობა.....	134

ნახაზების ნუსხა

88

ნახ.1. დედამიწაზე არსებული და წლიურად მოხმარებული ენერჯიების წყაროების ფარდობითი სიდიდეები მზის ენერჯიასთან შედარებით.....	22
ნახ.2. სპექტრული განაწილების მრუდები.....	23
ნახ.3. დედამიწის ატმოსფეროში გამავალი მზის გამოსხივების მდგენელები.....	25
ნახ.4. მზის ჯამური რადიაციის განაწილება დედამიწის ზედაპირზე.....	26
ნახ.5. მზის ენერჯიის მიმღები ზედაპირის გეომეტრია დედამიწაზე.....	28
ნახ.6. θ -სა და θ_z -ის შეფარდება ჰორიზონტალური (ა) დახრილი (ბ) მიმღები ზედაპირისთვის.....	29
ნახ.7. მზის რადიაციის გასაზომი ხელსაწყოების პრინციპული სქემა.....	35
ნახ.8. საქართველოს ჰელიოენერჯეტიკული რესურსების რუკა.....	42
ნახ.9. ფოტოელემენტის პრინციპული სქემა.....	44
ნახ.10. მზის ელემენტის საწყისი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები.....	46
ნახ.11. მზის ელემენტის ექვივალენტური ელექტროსქემა.....	47
ნახ.12. მზის ელემენტის მახასიათებლები.....	48
ნახ.13. მზის მოდულის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები ტემპერატურის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს.....	49
ნახ.14. მზის მოდულის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები მზის გამოსხივების სხვადასხვა ინტენსიობის დროს.....	49
ნახ.15. მზის ელემენტის ენერჯეტიკული მახასიათებლები.....	50
ნახ.16. მზის ავტონომიური ფოტოელექტროსისტემის ბლოკ-სქემა.....	51
ნახ.17. მზის ფოტოელექტრო სისტემების განვითარების ზრდის დინამიკა ქვეყნების მიხედვით 2000 წლიდან.....	56
ნახ.18. ექსპერიმენტებში გამოყენებული ფოტოელექტროსისტემის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი 1000ვტ/მ^2 სინათლის ინტენსიობის დასხივებისას, და 25°C ტემპერატურის დროს.....	57
ნახ.19. ექსპერიმენტებში გამოყენებული მოდულის, მუშა დენის (ა) და მუშა სიმძლავრის (ბ) დამოკიდებულება მოკლე ჩართვის დენისგან.....	58

ნახ.20. მონაცემთა ლოგერი – პარამეტრების გამზომი და ჩამწერი მოწყობილობა, მონაცემთა გადმომწერი მოწყობილობა და მზის რადიაციის სენსორი.....	59
ნახ.21. მზის ჯამური რადიაციის ორ თვიანი მონაცემების ტიპიური შემჭიდროებული დიაგრამა.	61
ნახ.22. მზის ჯამური რადიაციის ერთ დღიანი მონაცემების ტიპიური დიაგრამები მზიანი (ა) და ღრუბლიანი (ბ) ამინდის პირობებისათვის.....	61
ნახ.23. მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტები ჰორიზონტისადმი 60°, 42° და ოპტიმალური კუთხეებით დახრილი ზედაპირისთვის (მოწმენდილი ცის პირობები).....	64
ნახ.24. მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტები ღრუბლიანი ცის პირობებისათვის.....	66
ნახ.25. მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტები რეალური ამინდის პირობებისათვის.....	67
ნახ.26. სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი ფიქსირებულად დამაგრებული 68° კუთხით დახრილი და მზის ტრაექტორიის თანმდევი 100 ვატიანი ფეგ–ის სიმძლავრის დღიური ცვლილება, დეკემბერში მოწმენდილი ცის პირობებში.....	72
ნახ.27. სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი ფიქსირებულად დამაგრებული 60°, 10° კუთხით დახრილი და მზის ტრაექტორიის თანმდევი 100 ვატიანი ფეგ–ის სიმძლავრის დღიური ცვლილება, ივნისში მოწმენდილი ცის პირობებში.	73
ნახ.28. სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი ფიქსირებულად დამაგრებული 45°-ით დახრილი, 100 ვატიანი ფეგ–ის სიმძლავრის დღიური ცვლილება, მარტში მოწმენდილი ცის და 10/0 ბალი შუა და მაღალი იარუსის ღრუბლიანობის დროს.....	74
ნახ.29. სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის მიერ საშუალოდ, დღიურად გამომუშავებული ენერგიები.	76
ნახ.30. სამხრეთის აზიმუტის, ფეგ–ის მიერ გამომუშავებულ ენერგიათა ნამეტი (დანაკლისი) % ფიქსირებულ ჰორიზონტისადმი 60°-ით ფეგ–თან შედარებით.....	77
ნახ.31. მთა ცივზე და თბილისში, სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი 60°-ით კუთხით დახრილი 50 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ–ზე მიერ გენერირებული დენები.....	78
ნახ.32. საქართველოს ჰელიო-რესურსების რუკა (ფერადი ვერსია).....	82

ნახ.33. საქართველოს ახალი მზის კადასტრი.....	82
ნახ.34. მზის ნანო (მობილურთან ერთად) და პიკო ფეს-ები.....	98
ნახ.35. მზის მიკრო (მარცხნივ) და მცირე (მარჯვნივ) ფეს-ები.....	98
ნახ.36. მზის დიდი ფეს-ი სოფელ ომალოში.....	99
ნახ.37. მზის დიდი ფეს-ი ფოთში კოლხეთის ეროვნული პარკის ვიზიტორთა ცენტრის შენობაზე.....	99
ნახ.38. მზის ნახევარგამტარული მცირე ფოტონერგეტიკის განვითარების დინამიკა საქართველოში.	103
ნახ.39. კომპანია "მზის სახლის" მიერ ინსტალირებული მზის ფესების რუქა.....	103
ნახ.40. დამრეც სახურავზე უშუალოდ დამაგრებული ფეგ-ები სოფელ ომალოში.....	104
ნახ.41. ერთმალიან (ვაშლოვანის ნაკრძალი) და მრავალმალიან (ციფ-გომბორის ქედი) ანძაზე დამაგრებული ფეგ-ი.....	104
ნახ.42. უშუალოდ მიწაზე დამაგრებული ფეგ-ები დაბა გუდაურში და სოფ. ომალოში.....	105
ნახ.43. 32 ვატი პიკური სიმძლავრის ელასტიური, დასაკეც-გადასატანი მზის ფეგ-ი.....	105
ნახ.44. მუდმივი ძაბვის სინუსოიდალური PWM ინვერტორის ბლოკ-სქემა..	109
ნახ.45. მუდმივი ძაბვის სინუსოიდალური PWM ინვერტორის ბლოკ-სქემა სისწრის ადაპტური მართვით.....	111
ნახ.46. ძაბვის დიაგრამები შესაბამისი ბლოკების გამოსასვლელზე.....	112
ნახ.47. მზის ტრაექტორიის თანმდევი ელექტრონული სისტემის სტრუქტურული სქემა.....	113
ნახ.48. მზის ბატარეების ორიენტაციის მართვის რეალური ნაბეჭდი დაფა.....	114
ნახ.49. მრიცხველის ბლოკ-სქემა.....	115

მადლიერება

დიდ მადლობას ვუხდით ჩემს ხელმძღვანელს პროფესორ რაფიელ ჩიქოვანს გულისხმიერებისათვის, ღირებულ რჩევებისათვის და ყოველმხრივი მხარდაჭერისათვის.

შესავალი

მზის ნახევარგამტარული ფოტოენერგეტიკა გულისხმობს მზის გამოსხივების ენერჯის უშუალოდ, პირდაპირ ელექტროენერჯიაში გარდაქმნას და გამოყენებას.

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

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

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

ყოველივე ზემოთ თქმულს თუ დავუმატებთ 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 გამოძუშეგებული 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 პროექტირების – 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.

ასეთ ინფორმაციას, კონკრეტული პუნქტისთვის, სადაც განზრახულია დაიდგას მზის ფეს-ი, წარმოადგენს: მზის რადიაციის ძირითად მაჩვენებლებზე ხანგრძლივი დაკვირვებების შედეგები, მზის ნათების ხანგრძლიობისა და უღრუბლო დღეების მონაცემები თვეების მიხედვით. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სხვადასხვა ორიენტაციის მიმღებ ზედაპირზე მოსული მზის რადიაციის მონაცემების ცოდნა.

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

მზის რადიაციული და მზის ნათების რეჟიმები, ანუ მზის გამოსხივების მოსვლის სივრცობრივ-დროითი დინამიკის თავისებურებანი

და მეტეოროლოგიური ფაქტორები, ყველაზე უკეთ განზოგადებული და ასახულია ეგრეთ 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 გასანგარიშებლად და დასაპროექტებლად.

აღნიშნულმა ინფორმაციამ უნდა ასახოს დედამიწაზე მზის გამოსხივების სივრცობრივ-დროითი დინამიკის თავისებურებანი და მეტეოროლოგიური ფაქტორები, რომლებიც მოქმედებენ მზის რადიაციის მნიშვნელობებზე.

საქართველოს მზის რადიაციის კადასტრს, რომელიც გასული საუკუნის 80–იან წლებში გამოქვეყნდა, საფუძვლად დაედო ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მზის ჯამური რადიაციის ივლისის თვის საშუალო დღიური და თვიური მონაცემები, აგრეთვე თბილი პერიოდის (მაისი – სექტემბერი) მონაცემები.

მზის ფეს-ის პარამეტრების გაანგარიშებისათვის აღნიშნული კადასტრის მონაცემების გამოყენება პრინციპულად მიუღებელია, რადგან აღნიშნული სისტემები მთელი წლის განმავლობაში ფუნქციონირებენ. უფრო მეტიც, ზამთრის ცივ-თოვლიან- მზიან ამინდებში მათი ეფექტურობა უფრო მაღალია, ვიდრე თბილ-მზიან პერიოდებში. გარდა ამისა, მზის ფეს-ებისთვის ენერგეტიკულად კრიზისული პერიოდი ემთხვევა იანვარ-დეკემბერს. ამ პერიოდის მონაცემები, კი, ნაკლებად ან სულაც არ არის ასახული ზემოთ აღნიშნულ კადასტრში. ამ კადასტრში ნაკლებად არის გათვალისწინებული მზის რადიაციის, ზღვის დონიდან სიმაღლის მატების დამოკიდებულების კანონზომიერებანი.

წინამდებარე სადისერტაციო ნაშრომის ერთერთ მიზანს წარმოადგენს საქართველოს მზის კადასტრის იმ მიმართულებით დახვეწა, რომ შესაძლებელი იყოს მისი პრაქტიკული გამოყენება მზის ნახევარგამტარულ ფოტოენერგეტიკაში.

სამეცნიერო-პრაქტიკულ ცნობარებში შესულია ათეული წლების პერიოდის დაკვირვებების შედეგები, რომლებიც წარმოებდა საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებულ რვა აქტიონომეტრიულ და ორას მეტეოსადგურში.

კლიმატის ცნობარებში მზის რადიაციის შესახებ არსებული მონაცემები შეესაბამება ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსულ მზის რადიაციას. ფეგ–ი კი, როგორც წესი, ჰორიზონტისადმი გარკვეული კუთხით არის დაფიქსირებული. მის მიერ გამომუშავებული ენერჯის შესაფასებლად, წლის სხვადასხვა პერიოდში, ზემოთ აღნიშნული მონაცემების უშუალო გამოყენება შეუძლებელია. აქედან გამომდინარე, საჭიროა ჰორიზონტალურ და დახრილ ზედაპირზე დაცემულ რადიაციათა შორის დამოკიდებულების განსაზღვრა, რაც შესაძლებელს გახდის გამოყენებულ იქნას ათეული წლების განმავლობაში დაგროვილი სტატისტიკური მონაცემები.

საქართველოს პირობებისათვის, დახრილ ზედაპირებზე მზის რადიაციის გაზომვები არ წარმოებდა და შესაბამისი მონაცემებიც არ არსებობს.

აგრეთვე შესწავლილი არ არის საქართველოში გარკვეული სიმძლავრის მზის ფოტოელექტრული გენერატორის მუშაობის ეფექტურობა, მისი მიმღები ზედაპირის სხვადასხვა ორიენტაციის და ამინდის სხვადასხვა პირობებში.

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

სადოქტორო ნაშრომში ამ მთავარი მიზნის მისაღწევად, ზემოთ აღწერილი პრობლემებიდან გამომდინარე, საჭირო შეიქნა შემდეგი პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტა:

1. კლიმატის ცნობარებში და შესაბამის სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებულ მონაცემებზე, მზის ჯამური რადიაციის პრაქტიკული გაზომვების და მზის ფოტოელექტრულ სისტემებზე მრავალწლიანი

მონიტორინგის შედეგებზე დაყრდნობით, საქართველოს ტერიტორიისათვის მზის კადასტრის შექმნა, რომელიც გამოდგებოდა მზის ნახევარგამტარული მცირე სიმძლავრის ფოტოელექტრული სისტემების პროექტირებისათვის, როგორც საწყისი ინფორმაციის საიმედო წყარო.

2. მზის ნახევარგამტარული ფეს-ების პროექტირებისას, ცნობარებში არსებული, ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული, მზის ჯამური რადიაციის მონაცემების პრაქტიკული გამოყენების მიზნით, დახრილი ზედაპირებისათვის გადასაცემი კოეფიციენტების განსაზღვრა.
3. სამხრეთის ორიენტაციის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი, გარკვეული პიკური სიმძლავრის ფეგ-ის მიერ, ამინდის სხვადასხვა პირობებში მზის ჯამური რადიაციის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს გამომუშავებული ენერგიების გაზომვა და შეფასება.
4. მზის ნახევარგამტარული ფეს-ების პროექტირების გამარტივების მიზნით, სპეციალური კოეფიციენტების (ფეგ-ის და ბატარეის) შემოღება ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი მიმღები ზედაპირისთვის, მზის რადიაციული ზონებისა და პუნქტებისათვის.
5. მზის ნახევარგამტარული ფეს-ების შემადგენელი კომპონენტების: კონსტრუქციის, მზის ტრაექტორიის თანმდევით სისტემის მართვის ბლოკის, სინუსოიდალური ინვერტორის, მზის ენერჯის მრიცხველის შექმნა, რომლებიც ელექტრომახასიათებლებით უცხოურ ანალოგებს არ ჩამოუვარდებიან, ხოლო ღირებულებით ნაკლები იქნებიან.
6. შემუშავებული მეთოდის საშუალებით ტიპური მზის ნახევარგამტარული ავტონომიური ფეს-ების პროექტირება, დამზადება, ინსტალაცია და პრაქტიკულ პირობებში გამოცდა.
7. მზის ნახევარგამტარული მცირე სიმძლავრის ფოტოელექტრული სისტემების საქართველოში გამოყენების და მათი განვითარების პერსპექტივების ანალიზი.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

მზის გამოსხივების რადიაცია დედამიწაზე

1.1.1. ძირითადი მცნებები და განსაზღვრებები

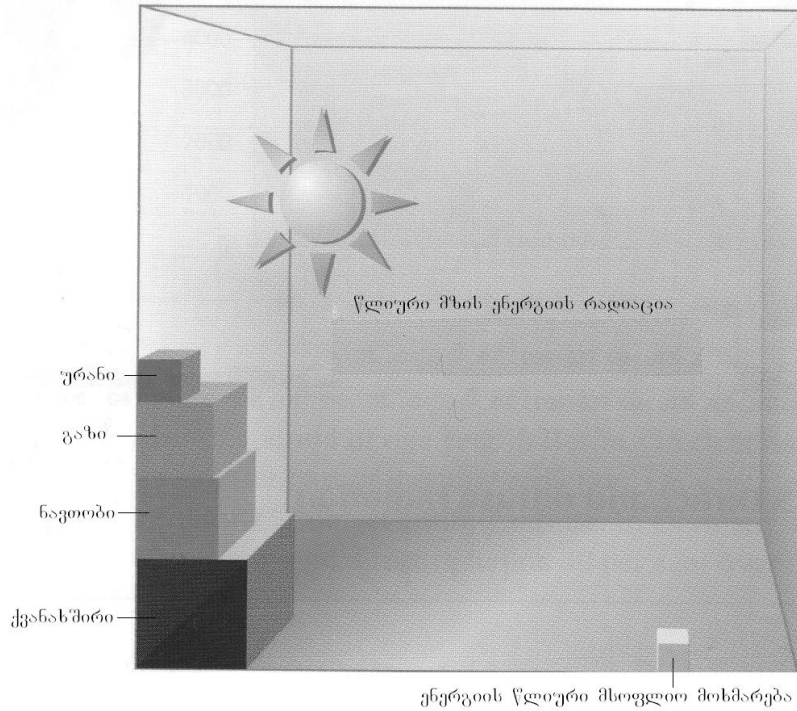
მზის ენერგეტიკა – არის მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგი, რომელიც შეიმუშავებს მეცნიერულ საფუძვლებს, მეთოდებსა და ტექნიკურ საშუალებებს, მზის გამოსხივების ენერგიების გამოსაყენებლად ელექტრული, თბური, ასევე სხვა სახის ენერგიების მისაღებად და განსაზღვრავს მზის ენერგიების ეფექტური გამოყენების სფეროებს და მასშტაბებს, ქვეყნის ეკონომიკაში.

მზე წარმოადგენს გიგანტურ თერმობირთვულ რეაქტორს, რომელიც ასხივებს ენერგიას მსგავსად აბსოლუტურად შავი სხეულისა, $6\ 000^{\circ}\text{K}$ ტემპერატურის დროს, ენერგია გამოიყოფა უმთავრესად ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ფორმით, სპექტრულ დიაპაზონში 30 მეტრ სიგრძის მოკლე რადიოტალღებიდან 10^{-10} მ სიგრძის რენტგენის სხივებამდე. ენერგიის უმეტესი ნაწილი თავმოყრილია სპექტრის ხილულ და ინფრაწითელ არეში.

დედამიწა მზის ირგვლივ მოძრაობს ელიპტიკურ ორბიტაზე, ორბიტის მცირე გაჭიმულობა განაპირობებს დედამიწამდე მომავალი მზის გამოსხივების ინტენსიობის წლიურ რხევებს. დედამიწის საკუთარი ბრუნვის დერძის დახრილობა, მიახლოებულია $23,5^{\circ}$, რაც განაპირობებს დედამიწის ჰორიზონტისადმი მზის სიმაღლის სეზონურ ცვლილებებს.

მზე, დროის ყოველ მომენტში, კოსმოსში გამოასხივებს 4×10^{23} კვტ. ენერგიას, რომელთაგან დედამიწაზე მოდის მთელი გამოსხივების ნაწილი, დაახლოებით $(0,85 \pm 1,2) \cdot 10^{14}$ კვტ. ერთი კვირის განმავლობაში დედამიწაზე მოსული მზის ენერგია აჭარბებს ნავთობის, გაზის, ნახშირის და ურანის მსოფლიო მარაგებს ერთად აღებულს. რაც დედამიწაზე მზის ენერგიის უზარმაზარ შესაძლებლობებზე მეტყველებს [1].

თუ ვივარაუდებთ, რომ დედამიწაზე ყველა სახის ენერგოდანადგარის სიმძლავრე დღესდღეობით შეადგენს მიახლოებით $10 \cdot 10^9$ კვტ, მაშინ მზის გამოსხივების სიმძლავრე კაცობრიობის თანამედროვე მოთხოვნილებებს აღემატება ათასჯერ.



ნახ. 1. დედამიწაზე არსებული და წლიურად მოხმარებული ენერჯიების წყაროების ფარდობითი სიდიდეები მზის ენერჯიასთან შედარებით

კოსმოსში ერთ კვადრატულ მეტრში ერთ წამში გადის $4 \cdot 10^{21}$ ფოტონი, რომელთა ენერჯია შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

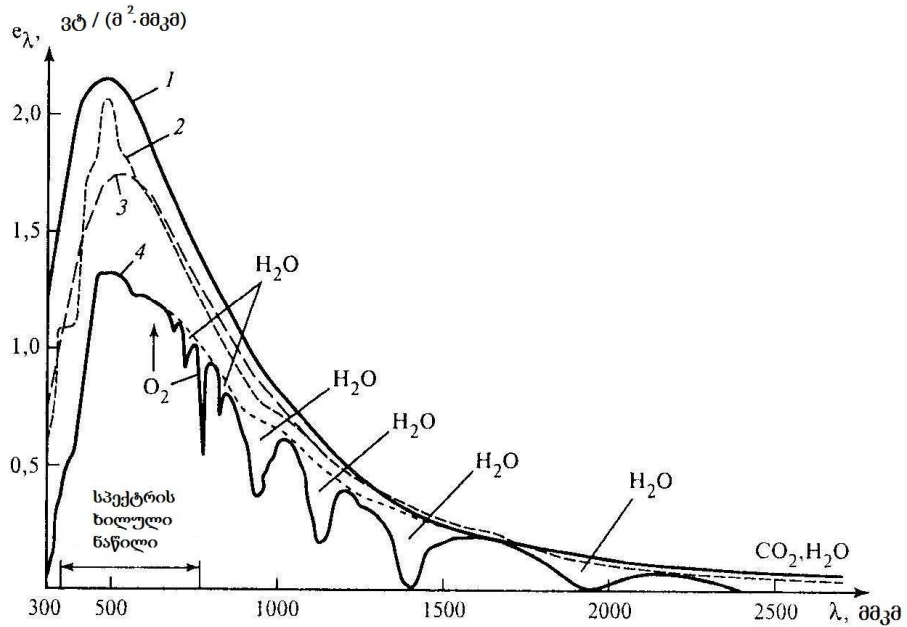
$$E_{\text{ფ}} = h\nu,$$

სადაც, $h = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ჯ} \cdot \text{წმ}$ – პლანკის მუდმივაა,

ν – ელექტრომაგნიტური ტალღის სიხშირეა, რომელიც ტალღის სიგრძის უკუპროპორციულია.

მზის გამოსხივების სპექტრი კოსმოსში, ატმოსფეროს მიღმა, რომელიც მოდის მზის გამოსხივების პერპენდიკულარული, მიმდები ზედაპირის ერთ კვადრატულ მეტრზე, გამოსახულია ნახ. 2-ზე

წირის ϵ_{λ} , ქვემოთ მოვლი ფართობი წარმოადგენს მზის მუდმივას ϵ_0 , რომელიც უდრის 1370 ვტ/მ^2 .



ნახ. 2. სპექტრული განაწილების მრუდები

- 1 – შავი სხეულის გამოსხივება 6000 K დროს;
- 2 – მზის გამოსხივების სპექტრი კოსმოსში;
- 3 – შავი სხეულის გამოსხივება 5630,7 K დროს;
- 4 – მზის პირდაპირი რადიაცია შედარებით სუფთა ატმოსფეროში.

მზის გამოსხივება დედამიწის ზედაპირზე მნიშვნელოვნად განსხვავდება (ნაკლებობით) ნახ.2-ზე მოყვანილისგან და დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე.

მზის მუდმივას ϵ_0 -ის მნიშვნელობა სინამდვილეში იცვლება: $\pm 1,5\%$ -ით დროში მზის გამოსხივების ნაკადის ცვლილების გამო და $\pm 4\%$ -ით დედამიწასა და მზეს შორის მანძილის ცვალებადობის გამო წლის განმავლობაში.

გარდა ამისა, მზის გამოსხივება იცვლება წლების მიხედვითაც, მზის გამოსხივების ინტენსიობის ცვალებადობის გამო, ე.წ. მზის აქტივობის მრავალწლიანი წლიური ციკლების მიხედვით. მათ შორის ყველაზე ცნობილია 11 წლიანი ვოლფის ციკლი. ყველაფერი ზემოთქმული მეტყველებს იმაზე, რომ ჰელიოენერგეტიკული გათვლების საიმედო შედეგების მისაღებად, საჭიროა მზის გამოსხივებაზე მრავალწლიანი დაკვირვება - არანაკლები 25-50 წლისა.

მზის გამოსხივების სპექტრი ელექტრომაგნიტური ტალღების სიგრძის მიხედვით შეიძლება გაიყოს სამ ძირითად არედ ანუ ზონად:

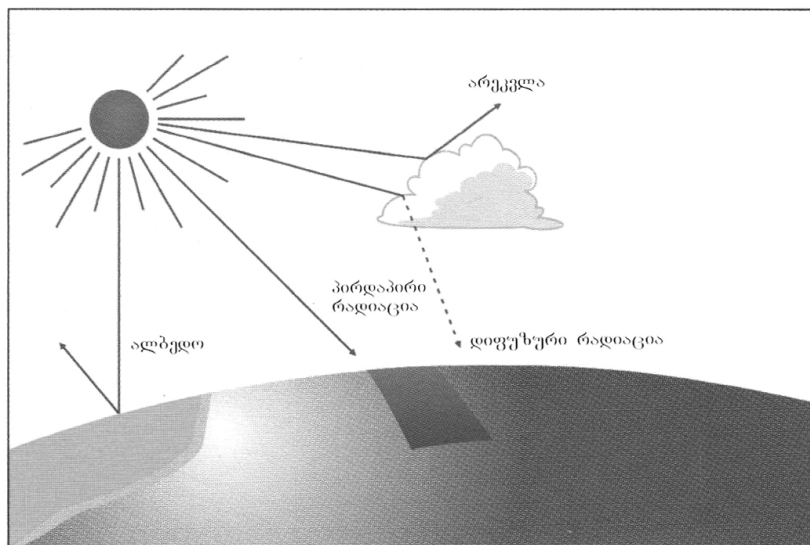
- მზის გამოსხივების ულტრაიისფერი არე, სადაც $0 < \lambda < 0,4$ მკმ, იკავებს მთელი e_0 -ის 9%-მდე;
- მზის გამოსხივების ხილული არე, სადაც $0,4 < \lambda < 0,7$ მკმ, იკავებს მთელი e_0 -ის 45%-მდე;
- ინფრაწითელი თბური გამოსხივების არე, სადაც $\lambda > 0,7$ მკმ, იკავებს მთელი e_0 -ის 46%-მდე;

ამასთან, მზის გამოსხივების წილი, $\lambda > 2,5$ მკმ-სთვის, პრაქტიკულად მცირეა. ითვლება, რომ მზის ენერგეტიკაში ჩვეულებრივად გამოყენებადი ზონა e_0 შემოიფარგლება ტალღების სიგრძით $\lambda \leq 2,4$ მკმ-მდე (95% e_0).

მზის ენერგეტიკაში გამოყოფენ სამ მთავარ ცნებას ანუ მაჩვენებელს:

- მზის გამოსხივების ნაკადი, ანუ ენერგია დროის მოცემულ ინტერვალში;
- მზის გამოსხივების ნაკადის სიმძლავრე ანუ ინტენსიობა;
- მზის ნათების ხანგრძლიობა დროის მოცემულ ინტერვალში.

მზის გამოსხივების გასვლისას დედამიწის ატმოსფეროში ერთდროულად ადგილი აქვს სამ პროცესს: (ნახ. 3)

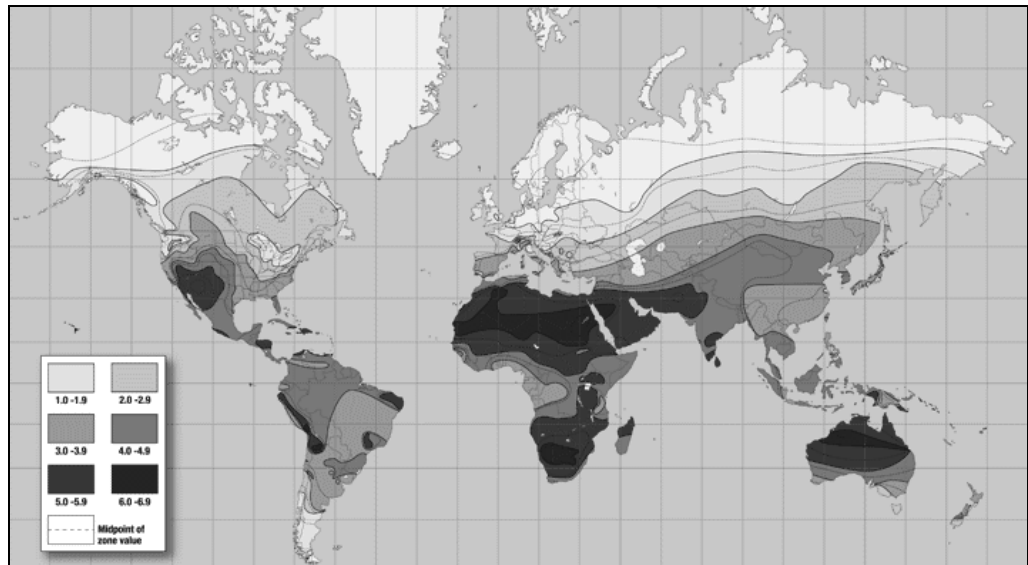


ნახ. 3. დედამიწის ატმოსფეროში გამავალი მზის გამოსხივების მდგენელები

- მზის გამოსხივების დიდი ნაწილი აირეკლება ღრუბლების და დედამიწის ატმოსფეროს მიერ ისევე კოსმოსში (34%), იგი არ არის დამოკიდებული მზის გამოსხივების ტალღის სიგრძეზე.
- მზის გამოსხივების 19% შთანთქმება ატმოსფეროს მიერ, გადადის სითბოში (ინფრაწითელი გამოსხივება) და გასხივდება ისევე კოსმოსში;
- მზის გამოსხივების $\approx 47\%$ აღწევს დედამიწის ზედაპირს და აქედან 20% ისევე აირეკლება და ინფრაწითელი გამოსხივების სახით ბრუნდება ისევე კოსმოსში.

კოსმოსიდან დედამიწაზე მოსული მთლიანი მზის გამოსხივების მხოლოდ 27% გარდაიქმნება ენერჯიაში, რომელიც იხარჯება წყლის გათბობასა და აორთქლებაზე, ატმოსფეროს გათბობაზე, ქარების, ტალღების, დინებების წარმოქმნაზე და სხვა.

მზის რადიაცია დედამიწაზე არათანაბრადაა განაწილებული (ნახ 4). იგი მაქსიმალურია დედამიწის ეკვატორის ზოლში, ხოლო პოლუსებისაკენ თანდათან მცირდება.



ნახ. 4. მზის ჯამური რადიაციის განაწილება დედამიწის ზედაპირზე

მზის რადიაციას დედამიწაზე ახასიათებს მთელი რიგი თავისებურებანი:

1. მზის რადიაცია – ეს არის პრაქტიკულად უშრეტი, განახლებადი ენერჯის წყარო, რომელიც მრავალჯერ აღემატება დედამიწაზე არსებულ ყველა სხვა ენერჯის წყაროების რესურსებს. (ნახ.1). საკმარისია დედამიწის ზედაპირის 0,7% დავფაროთ მზის ფოტოელექტრული მოდულებით, რათა მივიღოთ ელექტროენერჯიაზე კაცობრიობის დღევანდელი მოთხოვნილება.
2. მზის რადიაცია დედამიწაზე საკმაოდ კარგად არის შესწავლილი კლიმატოლოგიური გამოთვლებისათვის, მაგრამ არასაკმარისადაა – სხვადასხვა ენერჯეტიკული გამოთვლებისათვის. განსაკუთრებით ეს პრობლემატურია მზის ავტონომიური ფოტოელექტრული სისტემების (ფეს-ების) პროექტირებისას.

3. მზის რადიაცია შედარებით უსაფრთხოდ გარდაიქმნება სხვა სახის ენერგიებში.
4. მზის რადიაციის ინტენსიობის ცვლილების პროცესში შეიმჩნევა კანონზომიერი და შემთხვევითი მდგენელები, რაც მნიშვნელოვნად აძნელებს საიმედო მონაცემების მიღებას ენერგეტიკული გამოთვლებისათვის, რომელიც გამოწვეულია შედარებით მოკლევადიანი დაკვირვებით.
5. დედამიწაზე მოსულ მზის რადიაციაზე მოქმედებს ბევრი სხვადასხვა ფაქტორი, რაც აძნელებს საიმედო ინფორმაციის მიღებას მზის ენერჯის სისტემების გათვლებისათვის. ამ ფაქტორებს მიეკუთვნებიან გარემოს ტემპერატურა, ღრუბლები, აეროზოლები, ოზონი, წყლის ორთქლი, მტვერი ჰაერში და სხვა.

ზემოთ თქმულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ენერგეტიკული გათვლებისათვის საჭიროა მზეზე ხანგრძლივი დაკვირვებები, აგრეთვე ინფორმაცია დედამიწის ატმოსფეროს აგებულებაზე და თავისებურებებზე.

1.1.2. ძირითადი და დამატებითი ფაქტორების გავლენა, დედამიწაზე მზის რადიაციის სიდიდეზე, სხვადასხვა ორიენტაციის მიმღებ ზედაპირზე

მზის ენერჯია კოსმოსში ვრცელდება პირდაპირ მიმართული მზის გამოსხივების ნაკადის სახით.. ატმოსფეროს და დედამიწის ქვეფენილი ზედაპირის არსებობის გამო, მიმღებ ზედაპირზე, მზის რადიაცია ეცემა სამი შემადგენელის სახით: პირდაპირი $R_3(t)$, დიფუზური ანუ გაბნეული $R_{\rho}(t)$ და დედამიწის ზედაპირიდან არეკლილი $R_s(t)$.

ე.ი. მზის რადიაციის ჯამური ნაკადი მიმღებ ფართობზე $R_{\Sigma}(t)$ ტოლია:

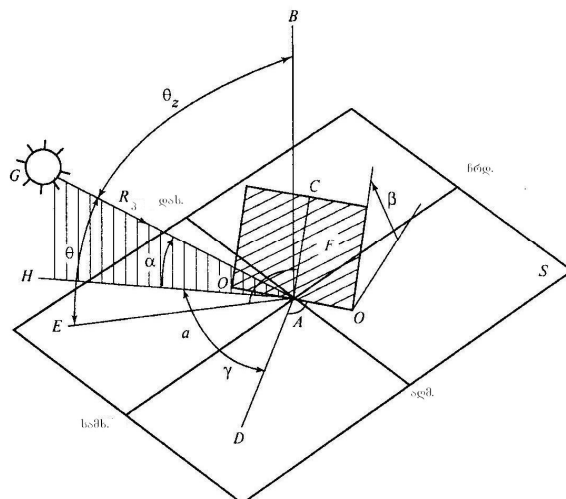
$$R_{\Sigma}(t) = R_3(t) + R_{\rho}(t) + R_s(t)$$

სადაც, $R_3(t)$ – მზის პირდაპირი რადიაციაა, რომელიც წარმოადგენს მზის გამოსხივების მიმართულ ნაკადს, უშუალოდ მზის დისკიდან მიმღებ ზედაპირამდე;

- $R_{\text{ღ}}(t)$ - მზის დიფუზური რადიაციაა, რომელიც წარმოიქმნება მიმართული მზის გამოსხივების გაბნევისას დედამიწის ატმოსფეროში დრუბლებზე, აეროზოლებზე, მტვერზე და სხვა;

- $R_{\text{ვ}}(t)$ - დედამიწის ზედაპირიდან არეკლილი მიმართული მზის რადიაციის ნაწილი.

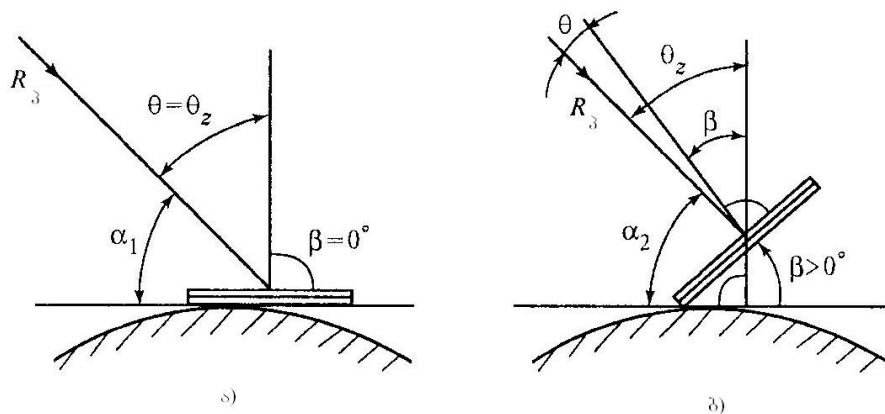
დედამიწის ზედაპირზე მოსული მზის ჯამური რადიაცია $R_{\Sigma}(t)$ დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე და პირველ რიგში მიმდები ზედაპირის გეომეტრიულ განლაგებაზე მზის მიმართ. ნათქვამის განმარტებისთვის ნახ.5-ზე მოყვანილია სხვადასხვაგვარად ორიენტირებული სამხრეთისადმი დახრილი ბრტყელი მიმდები ზედაპირი, განლაგებული დედამიწის ზედაპირზე A წერტილში, კოორდინატით φ , გრადუსი ჩრდილოეთ განივისა და ψ , გრადუსი სამხრეთ გრძივისა. ნახაზზე მიღებულია შემდეგი ძირითადი აღნიშვნები: S - ჰორიზონტალური ფართობი დედამიწაზე წერტილით A (φ, ψ), სადაც განლაგებულია ბრტყელი მიმდები ზედაპირი F , დახრილი სამხრეთისადმი β კუთხით; OO - F და S სიბრტყეების გადაკვეთის ხაზი; $AD \in S$ და $AD \perp OO$; $AC \in F$ და $AC \perp OO$; $AE \perp F$; $AB \in S$; G - მზე; $AH \in S$ და AH არის AG -ს პროექცია S -ზე.



ნახ. 5. მზის ენერგიის მიმდები ზედაპირის გეომეტრია დედამიწაზე

შესაბამისად, განისაზღვრა შემდეგი მახასიათებელი კუთხეები მიმღები F ზედაპირისათვის $R_3(t)$ -ს მიმართ: θ - მზის დაცემის კუთხეა, რომელიც ტოლია კუთხისა GA -სა F -ისადმი პერპენდიკულარს შორის, ე.ი. კუთხე სამხრეთის მიმართულებას და AD პერპენდიკულარს - OO -ს მიმართ. ($\gamma=0^\circ$ ზედაპირისათვის, რომელიც ორიენტირებულია მკაცრად სამხრეთისაკენ; $\gamma<0^\circ$, ე.ი. $-90^\circ < \gamma < 0^\circ$) ფართობისათვის, რომელიც ორიენტირებულია დასავლეთისკენ; α - მზის სიმაღლეა ჰორიზონტის მიმართ, ანუ კუთხე GA მიმართულებას და მის პროექციას სიბრტყეზე (ე.ი. HA); a - მზის აზიმუტია, ანუ კუთხე სამხრეთის მიმართულებასა და GA პროექციას და S სიბრტყისა (ე.ი. HA); ნიშნები a და γ - ემთხვევა ერთმანეთს.

ფარდობა θ -სა და θ_z -ს შორის ჰორიზონტალური ($\beta=0^\circ$) და დახრილი მიმღები ზედაპირისათვის ($\beta > 0^\circ$) ნაჩვენებია ნახ. 6-ზე.



ნახ. 6. θ -სა და θ_z -ის შეფარდება ჰორიზონტალური (ა) დახრილი (ბ) მიმღები ზედაპირისთვის

ცხადია, რომ შემთხვევისთვის. როდესაც $\beta=0^\circ$ კუთხეები θ და θ_z ემთხვევა ერთმანეთს, ე.ი. $\theta = \theta_z$, მიღებულია, რომ მზის სიმაღლე ა) და ბ)

შემთხვევებში ერთნაირია, ე.ი. $\alpha_1 = \alpha_2$, თუმცა მზის ენერჯიის რაოდენობა, მოსული, მიმდებ ზედაპირზე $R(t)$, განსაზღვრული ფარდობით

$$R(t) = R_3(t) \cos \theta(t)$$

იქნება სხვადასხვა. ცხადია, რომ შემთხვევისთვის, ნახ. 5. ბ $R(t)$ მნიშვნელობა მეტია, ვიდრე შემთხვევისათვის წარმოდგენილი ნახ. 5. ა. მთლიანობაში შეიძლება კონსტატაცია, იმისა, რომ პირდაპირი მზის გამოსხივების მოსვლა მიმდებ ზედაპირზე, ძირითადად, განისაზღვრება სიდიდით, θ -ს მნიშვნელობა t დროის ნებისმიერი მომენტისთვის თეორიულად შეიძლება განისაზღვროს დედამიწის თანაბარი მოძრაობის პირობისთვის მზის ორბიტაზე და დედამიწის ღერძის ირგვლივ, მიმდებ ზედაპირზე წერტილში $A(\varphi, \psi)$, როცა $\beta \neq 0^\circ$ და $\gamma \neq 0^\circ$, მუდმივებია დროის მოცემულ მომენტში და საანგარიშო პერიოდში

$$T = t - t_0 \quad (\text{ე.ი. } \beta(t) = \beta; \gamma(t) = \gamma)$$

ზოგიერთი კერძო შემთხვევისთვის $\cos \theta(t)$ შემდეგი ფორმულებით გამოისახება:

ჰორიზონტალური მიმდებ ზედაპირისთვის:

$$\cos \theta(t) = \cos \theta_Z(t) = \cos \omega(t) \cos \varphi(t) \cos \delta(t) + \sin \varphi \sin \delta(t)$$

მკაცრად სამხრეთით დახრილი მიმდებ ზედაპირისთვის, ე.ი. $\beta > 0$ და $\gamma = 0$:

$$\cos \theta(t) = \sin(\varphi\beta) \sin \delta(t) + \cos(\varphi\beta) \cos \delta(t) \cos \omega(t)$$

$\theta(t)$ მოცემულ ფორმულებში ფიგურირებს კიდევ ორი მახასიათებელი პარამეტრი: $\delta(t)$ მზის დახრის კუთხე და $\omega(t)$ მზის საათის კუთხე. ამ პარამეტრების ემპირიული მნიშვნელობები შესაბამის ცნობარებშია მოცემული. [2]

ზემოთქმულის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული მზის რადიაცია, t დროის მომენტში R^3_{Σ} არის მრავალი უცნობის ფუნქცია,

$$R^3_{\Sigma}(t) = R^3_{\Sigma}[\delta(t), \varphi(t), \omega(t), \theta(t), \alpha(t), a(t)]$$

სადაც,

δ - მზის ღერძის დახრის კუთხეა;

φ - განედის კუთხის მნიშვნელობა;

ω - მზის საათის კუთხე;

θ - მზის სხივების დაცემის კუთხე;

α - მზის სიმაღლე პორიზონტზე;

a - მზის აზიმუტი.

R_{Σ} გავლენის ხარისხით δ , φ , ω ითვლებიან ძირითადად, ხოლო θ , α ,

a - დამატებითად.

1.1.3. მზის პირდაპირი რადიაციის განსაზღვრა სხვადასხვა დახრილობის მიმდები ზედაპირისთვის

მზის ჯამური რადიაციის სამი შემადგენლიდან, მზის ენერგეტიკაში ყველაზე დიდი მნიშვნელობა აქვს მზის პირდაპირ რადიაციას, როგორც პორიზონტალურ, ისე სხვადასხვა დახრილობის მიმდები ზედაპირისთვის.

მზის პირდაპირი რადიაციის ნაკადის სიმძლავრე დახრილ ზედაპირზე F , დროის ნებისმიერ მომენტში $R_F(t)$ განისაზღვრება ფორმულით:

$$R_F(t) = R_m(t) \cos u(t)$$

სადაც, $R_m(t)$ - მზის პირდაპირი რადიაციაა, რომელიც ეცემა მართობულად, დედამიწაზე არსებულ მიმდები ზედაპირზე, m - ატმოსფეროს ოპტიკური მასის დროს.

ფორმულა სხვადასხვა დახრილობის მიმდები ზედაპირისთვის მიიღებს სახეს:

$$R_F(t) = R_{\beta}(t) \cos \beta(t) + R_B(t) \sin \beta(t)$$

მკაცრად სამხრეთის ორიენტაციის მიმდები ზედაპირისთვის, ანუ $\gamma(t) = 0^\circ$, $\beta(t) > 0^\circ$, $u \beta(t) = \text{const}$, მიიღებს სახეს:

$$R_{\beta}^l(t) = R_{\beta}(t) \cos \beta + R_B^l(t) \sin \beta$$

1.14. მზის ჯამური რადიაციის დამოკიდებულება სიმაღლეზე ზღვის დონიდან

მზის ჯამური რადიაცია და მისი შემადგენელი ნაწილების არსებული ფაქტიური მასალები არასაკმარისია, ამიტომ უფრო სრული კლიმატური შეფასებისთვის გამოიყენება გათვლების ირიბი მეთოდები, დაფუძნებული ისეთი მეტეოროლოგიური ელემენტების გამოყენებაზე, როგორცაა, დრუბლიანობა, ჰაერის ტემპერატურა და სინოტივე და სხვა.

ჯამური რადიაციის საშუალო თვიური სიდიდეები გამოითვლება ფორმულით (ბერლიანი, 1961)

$$R_{\Sigma} = Q_0 (1 - a_n - b_n^2)$$

სადაც,

R_0 - ჯამური რადიაციაა უღრუბლო ცის დროს;

n - საერთო დრუბლიანობის საშუალო სიდიდეა ერთეულის წილებში

a და b - რიცხობრივი კოეფიციენტებია. [3]

1000მ ზღვის დონიდან ზემოთ, ჯამური რადიაციის გამოსათვლელად გამოიყენება ასევე ფორმულა [4] :

$$R_H = [R_0 - (R_0 - R_{\text{ღ}}) e^{-\frac{H}{E^*}}] \left\{ 1 - \left[1 - \frac{1}{100} (K + 0,05H)n \right] \right\}$$

სადაც, R_H - მზის რადიაციის ნაკადი ნებისმიერ დონეზე;

R_0 - დღე-ღამური ჯამური რადიაცია ატმოსფეროს ზემო საზღვარზე;

$R_{\text{ღ}}$ - შესაძლო რადიაციის დღეღამური ჯამი დედამიწის ზედაპირთან;

H - სიმაღლე ზღვის დონიდან

n - დრუბლიანობა გამოხატული ერთეულის ნაწილებში;

E^* - კოეფიციენტი, დამოკიდებული ატმოსფეროს გამჭვირვალობის პირობებზე;

K - კოეფიციენტი ითვალისწინებს დრუბლიანობის გავლენას.

E^* - კოეფიციენტის გამოსათვლელად იყენებენ მონაცემებს შესაძლებელი რადიაციის არსებობისა შუალედურ დონეებზე. E^* - კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით

$$\lg \frac{R_H - R_\Theta}{R_d - R_\Theta} = -E^* H \lg e$$

საქართველოს ტერიტორიისთვის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა ყველა თვისთვის გამოვიდა ერთნაირი $5,0 \text{ კმ}^{-1}$

K – კოეფიციენტის გამოსათვლელად გამოყენებული იყო რვა აქტინომეტრიული სადგურის ჯამური რადიაციის ფაქტიური მონაცემები. მიღებული მონაცემები ზუსტდებოდა ფორმულით [4]:

$$K_H = \frac{1}{100} (K_0 + 0,05H),$$

სადაც K_0 – K -ს მნიშვნელობაა მეტეოსადგურის დაკვირვებათა მონაცემებით.

შესრულებული გამოთვლების საფუძველზე, მიღებულია K კოეფიციენტის დამოკიდებულება ადგილის სიმაღლეზე.

სიმაღლე, ზღვის დონიდან, მ	0	1000	2000	3000
კოეფიციენტი K	0,30	0,34	0,38	0,42

სიმაღლესთან ერთად კოეფიციენტიც იცვლება, საგარაუდოდ, დრუბლიანობის სტრუქტურის ცვლილებების გამო, რაც დასტურდება კავკასიაში ჩატარებული დაკვირვებებით[4].

ზემოთ მოყვანილი მეთოდიკით გამოთვლილია მზის რადიაციის თვიური და წლიური მონაცემები საქართველოს სხვადასხვა ზონასა და ლანდშაფტის 150 პუნქტისთვის [4]. გამოთვლების შედეგები ძირითადი 24 პუნქტისთვის მოცემულია ცხრილში (დამატებაში ცხრ. 1).

ჰელიოენერგეტიკული გამოთვლების ინფორმაციული

უზრუნველყოფა და მისი თავისებურებანი

1.2.1. ჰელიოენერგეტიკული გამოთვლებისთვის საჭირო საწყისი ინფორმაციის წყაროები

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

ასეთ ინფორმაციას, კონკრეტული პუნქტისთვის, სადაც განზრახულია დაიდგას მზის ფეს-ი, წარმოადგენს: მზის რადიაციის ძირითად მაჩვენებლებზე ხანგრძლივი დაკვირვებების შედეგები, მზის ნათების ხანგრძლიობისა და უღრუბლო დღეების მონაცემები თვეების მიხედვით. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სხვადასხვა ორიენტაციის მიმდებ ზედაპირზე მოსული მზის რადიაციის მონაცემების ცოდნა.

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

ენერგეტიკული მიზნებისთვის მზის ენერჯის გამოყენების მსოფლიო გამოცდილება განასხვავებს მზის ენერგოდანადგარების ფუნქციონირების სამ ძირითად ვარიანტს:

- მზის ენერგოდანადგარის მუშაობა დიდ გაერთიანებულ ენერგოსისტემაში;
- მზის ენერგოდანადგარის მუშაობა ლოკალურ, შედარებით მცირე სიმძლავრის ენერგოსისტემაში;
- მზის ენერგოდანადგარის მუშაობა ავტონომიურ მომხმარებელთან.

წინამდებარე სადისერტაციო ნაშრომის თემატიკიდან და მიზნებიდან გამომდინარე საინტერესოა მესამე შემთხვევა. მზის მცირე სიმძლავრის ენერგეტიკული დანადგარის - ფოტოელექტრული გენერატორის მუშაობა აკუმულატორულ ბატარეასთან – ენერჯის დამაგროვებელთან. მოცემულ შემთხვევაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მომხმარებლის ტიპს, მისი ენერგომომარაგების საიმედოობის მაჩვენებელს და აკუმულატორების

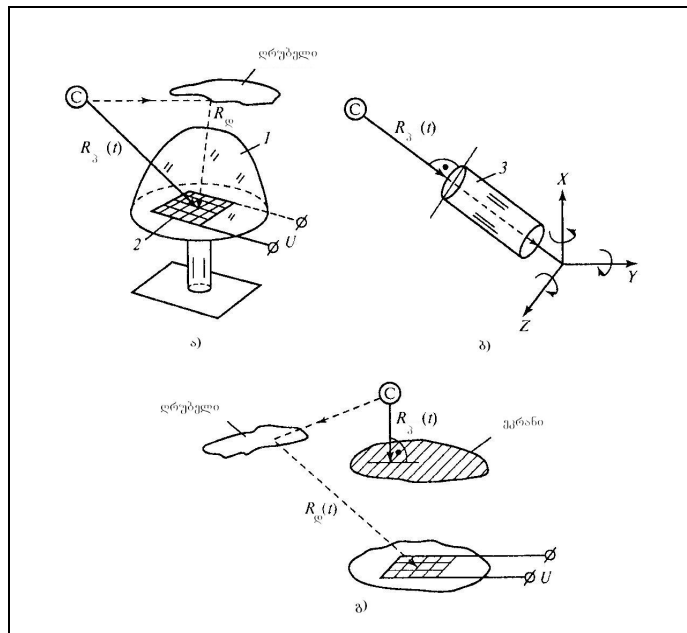
ენერგოტევადობასთან თანაფარდობას. გათვლებისას, დროის მონაკვეთებად, საჭიროა საათობრივი ინტერვალების გამოყენება.

მზის რადიაციის გაზომვები წარმოებს ორი ძირითადი ხელსაწყოთი: აქტინომეტრით (პიროპელიომეტრი) და სოლარიმეტრით (პირანომეტრი).

აქტინომეტრი გამოიყენება პირდაპირი რადიაციის გასაზომად. გაზომვის სიზუსტე 2 – 4%-ია. აქტინომეტრის მოქმედების პრინციპი დაფუძნებულია მზის სხივის შთანთქმავზე, შავი სხეულის თვისების მსგავსი სხეულით და შთანთქმული მზის ენერჯიის გარდაქმნით თბურ ენერჯიად. აქტინომეტრები არსებობენ თერმოელექტრული, თერმობიმეტალური და სხვა. ეს ხელსაწყოები, თავიანთი კონსტრუქციიდან გამომდინარე, საკმაოდ რთული მოსახმარია, რადგან საჭიროებენ გამზომი ცილინდრის მუდმივ მიმართვას მზეზე.

სოლარიმეტრით ანუ პირანომეტრით იზომება როგორც ჯამური, აგრეთვე ცალკე დიფუზური რადიაცია. გაზომვის სიზუსტე 3 – 15%-ია.

მზის რადიაციის სხვადასხვა მდგენელების გასაზომი ხელსაწყოების პრინციპული სქემა მოცემულია ნახ. 7-ზე.



ნახ. 7. მზის რადიაციის გასაზომი ხელსაწყოების პრინციპული სქემა

ა) $R_z(t)$; ბ) $R_3(t)$; გ) $R_w(t)$. გამჭირვალე ნახევარსფერო (1), გამზომი ელემენტი (2), დამცავი გარსი (3).

მზის რადიაციის მდგენელები იზომება დედამიწაზე არსებულ მეტეოსადგურებში და აგრეთვე კოსმოსური სადგურების მეშვეობით. იმისდა მიუხედავად, რომ ბოლო წლებში სულ უფრო იზრდება კოსმოსური სადგურებიდან გარემოზე დაკვირვებები, მაინც, დედამიწაზე არსებული მეტეოსადგურების ქსელიდან მიღებული მეტროლოგიური ინფორმაცია უფრო საიმედოდ მიიჩნევა.

სამეცნიერო-პრაქტიკულ ცნობარებში შესულია ათეული წლების პერიოდის დაკვირვებების შედეგები, რომლებიც წარმოებდა საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებულ რვა აქტიონომეტრიულ და ორას მეტეოსადგურში. [5], [6], [7].

ჰელიოენერგეტიკული გამოთვლებისთვის გამოიყენება შემდეგი მეტეომონაცემები:

- მზის ამოსვლის და ჩასვლის ჰემიარტი (ფაქტიური) დრო;
- მზის პირდაპირი რადიაციის ჯამები მოწმენდილი ცის პირობებში;
- ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მზის პირდაპირი რადიაციის ჯამები მოწმენდილი ცის პირობებში;
- მზის ჯამური რადიაციის ჯამები მოწმენდილი ცის პირობებში;
- ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მზის პირდაპირი რადიაციის ჯამები საშუალო ღრუბლიანობის პირობებში;
- გაბნეული (დიფუზური) მზის რადიაციის ჯამები ჰორიზონტალურ ზედაპირზე საშუალო ღრუბლიანობის პირობებში;
- ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მზის ჯამური რადიაციის ჯამები საშუალო ღრუბლიანობის პირობებში;
- მზის ჯამური რადიაციის დღეღამური ჯამების საშუალო კვადრატული გადახრა და ასიმეტრიის კოეფიციენტი;
- თვითური და წლიური მზის ჯამური რადიაციის, საშუალო კვადრატული გადახრა;
- მზის ნათების ხანგრძლიობის დღეღამური ცვლის მახასიათებელი;
- უმზეო დღეების რაოდენობა თვეში.

1.2.2 საქართველოს ტერიტორიაზე მზის რადიაციული და მზის ნათების რეჟიმების დახასიათება

საქართველოს პირობებისათვის მზის ენერგოდანადგარების – კერძოდ, მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული სისტემების პარამეტრების გაანგარიშებისათვის, საინტერესოა ტერიტორიის რადიაციული რეჟიმის დახასიათება, რათა, ზოგადად წარმოვიდგინოთ მზის რადიაციის სივრცითი და დროითი განაწილების კანონზომიერებები.

საქართველოს უკავია ამიერკავკასიის ცენტრალური და დასავლური ნაწილი, საერთო ფართობით 69,5 ათასი კვადრატული კილომეტრი.

საქართველო გამორჩეულია რთული რელიეფით. მისი ტერიტორიის ზედაპირი წარმოადგენს დაბლობებს, ვაკეებს, ზეგანს, ტერასებს, ხეობებს და მთის ქედებს. მთელი ტერიტორიის 12,8% მდებარეობს 200 მეტრამდე სიმაღლეზე. 33,4% 200-1000 მეტრის ფარგლებში, ხოლო 1000 მეტრი და მეტ სიმაღლეზე მოდის 53,8%. მთის ქედების სიმაღლეები ზოგან აღწევენ 5000 მეტრ სიმაღლეს ზღვის დონიდან.

საქართველოს მდინარეთა ქსელი ხშირია. მდინარეები ეკუთვნიან შავი და კასპიის ზღვის აუზებს.

საქართველოს ნიადაგები გამოირჩევა მრავალფეროვნებით. დასავლეთ საქართველოში არსებობს ჭაობიანი ნიადაგები, უფრო ზემოთ, მონაცრისფრო, წითელმიწა და ყვითელმიწა ნიადაგები.

აღმოსავლეთ საქართველოს დაბლობ ნაწილში გვხვდება მურა, უდაბნო-სტეპური ნიადაგები, უფრო ზემოთ გვხვდება წაბლისფერი და შავმიწა, ყავისფერი და მთის მდელოს ნიადაგები.

საქართველოს ტერიტორიის ერთი მესამედი უკავია ტყეებს. საქართველოს ორივე ნაწილის მაღალმთიანი ზონისთვის დამახასიათებელია ბალახოვანი საფარი; გამოიყოფა ქვეზონები: ქვედა – სუბალპური და ზედა – ალპური. ჯავახეთის ზეგანზე გავრცელებულია მთის სტეპი.

აქტინომეტრიული ქსელი საქართველოში, რომლითაც მოცემულია რადიაციული რეჟიმის დახასიათება, იშვიათია.

რადიაციული რეჟიმის დასახასიათებლად დაბლობ და წინამთიან ზონაში გამოყენებულია შემდეგი მეტეოსადგურების დაკვირვებები: სენაკი, ანასეული, სოხუმი, სკრა, თელავი და თბილისი. მთის და მაღალმთი რადიაციული რეჟიმის დასახასიათებლად გამოყენებულია ორი მეტეოსადგურის დაკვირვებები: წალკა და ყაზბეგი-მ/მთ. ეს უკანასკნელი განლაგებულია კავკასიონის ცენტრალურ ნაწილში, მუდმივი თოვლისა და ყინულის გარემოში.

დედამიწის ზედაპირზე მზის რადიაციის მოსვლა, უპირველეს ყოვლისა, განისაზღვრება ასტრონომიული ფაქტორებით – დღის ხანგრძლიობით და მზის სიმაღლით.

მზის რადიაცია, რომელიც დედამიწის ზედაპირზე მოდის, წარმოადგენს ერთერთ მთავარ, კლიმატის წარმომქნელ ფაქტორს. იგი, თავის მხრივ, მნიშვნელოვან წილად დამოკიდებულია ატმოსფეროს ცირკულაციაზე (რაც გამოიხატება ღრუბლიანობით და ატმოსფეროს გამჭვირვალობით) და ქვეფენილი ზედაპირის განსაკუთრებულობით (ზღვის დონიდან სიმაღლე, ჰორიზონტის დახურულობა, ზედაპირის ალბედო).

საქართველოს ტერიტორიის ცირკულაციური პროცესების საერთო ხასიათი განისაზღვრება გეოგრაფიული მდებარეობით. ჩრდილოეთით კავკასიონის მთავარი ქედის არსებობით, შავი და კასპიის ზღვის სიახლოვეთ.

მზის პირდაპირი რადიაციის მოსვლა ჰორიზონტალურ ზედაპირზე, მოწმენდილი ცის პირობებში, წლის განმავლობაში, შეადგენს 1624 – 1717 კვტ·სთ/მ², ზღვის დონიდან 600 მეტრი სიმაღლის ადგილებისათვის. ადგილის სიმაღლის ზრდასთან ერთად პირდაპირი რადიაციის მოსვლა იზრდება და 1400 მეტრი ზონისთვის შეადგენს 1786 კვტ·სთ/მ². ხოლო დაახლოებით 3650 მეტრ სიმაღლეზე აღწევს 2181 კვტ·სთ/მ².

გაბნეული რადიაციის წლიური ჯამები უღრუბლო ცის პირობებისთვის, დაბლობისა და წინა მთიანეთისთვის შეადგენს 348 – 406 კვტ·სთ/მ² და მცირდება ადგილის სიმაღლის ზრდასთან ერთად.

მზის ჯამური რადიაციის წლიური მნიშვნელობა ღრუბლიანობის რეალურ პირობებში შეადგენს შესაძლოს 65-67 %-ს და იცვლება 1334 – 1624 კვტ·სთ/მ² ფარგლებში, დაბლობის და წინამთიანეთის ზონისათვის. სოლო, მაღალმთიან ზონაში აღწევს 1775 კვტ·სთ/მ².

დიდი ქაალაქის პირობებში (თბილისი) მზის წლიური ჯამური რადიაცია მცირდება ძირითადად, მზის პირდაპირი რადიაციის შემცირების ხარჯზე, რაც თავის მხრივ განპირობებულია ატმოსფეროს ძლიერი დამტვერიანებით.

მზის რადიაცია დედამიწის ზედაპირზე მოსვლის შემდეგ შთაინთქმება მის მიერ სხვადასხვა ხარისხით, რომელიც დედამიწის ალბედოზეა დამოკიდებული. (ალბედო – სიდიდე, რომელიც ახასიათებს ზედაპირის არეკვლის უნარს. განისაზღვრება ზედაპირზე არეკლილი რადიაციის ფარდობით, მასზე დაცემულ ჯამურ რადიაციასთან. გამოისახება პროცენტებით $A = R_{\alpha}/R_{\Sigma} \cdot 100\%$).

საქართველოს ტერიტორიაზე ბუნებრივი ზედაპირების ალბედო იცვლება 15-20%-ის ფარგლებში მთელი წლის განმავლობაში მაღალმთიანი ზონის გაქმოკლებით. საქართველოს დაბლობსა და წინამთიანეთში თოვლის საფარის ძლიერი არამდგრადობის გამო, ზედაპირის ალბედო იცვლება 15-დან 55%-მდე. მთებში თოვლის მდგრადი ალბედო შენარჩუნებულია ნოემბრიდან აპრილამდე და საშუალოდ შეადგენს 65-70 %-ს. მაღალმთიანეთში, სადაც მთელი წლის განმავლობაში თოვლია, ალბედო იცვლება ზამთრიდან ზაფხულამდე შესაბამისად 85-დან 50%-მდე.

არეკლილი რადიაციის წლიური ჯამი დაბლობსა და წინამთიანეთში შეადგენს 55-დან 360-მდე კვტ·სთ/მ². სიმაღლის მატებასთან ერთად, არეკლილი რადიაციის წლიური ჯამები იზრდება.

მზის ნათების დრო ნებისმიერ პუნქტში დამოკიდებულია დღის ხანგრძლიობაზე და ღრუბლიანობაზე. იგი იზრდება ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ. მზის ნათების განედური განაწილება ხშირად ირღვევა ღრუბლიანობის გამო, რაც განპირობებულია ატმოსფეროს ცირკულაციით.

მზის ნათების ხანგრძლიობის შემცირება შეინიშნება, აგრეთვე, დიდ ქალაქებში, ატმოსფეროში მტვრის, ავტომობილებისა და სამრეწველო გამონახობლების გამო.

მზის ნათების საშუალო წლიური ხანგრძლიობა საქართველოს მთელს ტერიტორიაზე აჭარბებს 2000 სთ-ს, აჭარის ტერიტორიის გამოკლებით, სადაც ღრუბლიანობის გაზრდის გამო, იცვლება 1800-დან 2000სთ-მდე.

წლის განმავლობაში ყველაზე დიდი მზის ნათების ხანგრძლიობა შეიმჩნევა აღმოსავლეთ საქართველოს სტეპურ რაიონებში (გარდაბანი 2520 სთ) და ახალქალაქის ზეგანზე (როდიონოვკა 2479 სთ). ეს გამოწვეულია ძირითადად ადგილმდებარეობის გაშლილობით და ღრუბლიანობის შემცირებით.

დიდი კავკასიონის მთებში, მეტეოსადგური ყაზბეგის-მ/მთ გამოკლებით, მზის ნათების ხანგრძლიობა მცირდება 1900-2000სთ-მდე, რომელიც დაკავშირებულია ჰორიზონტის დახურულობასა და ღრუბლიანობის გაზრდით.

ყველაზე მცირე მზის ნათების ხანგრძლიობა (1352 სთ) დაფიქსირებულია კურორტ საირმის მეტეოსადგურში, რომელიც განთავსებულია ძალიან ვიწრო ხეობაში. იგი დაჩრდილულია მაღალი მთებით, განსაკუთრებით სამსრეთის მხრიდან, რის გამოც მზის ნათების ხანგრძლიობა ზამთარში არ აჭარბებს 2-3 სთ-ს, ხოლო საფხულში 5-6 სთ დღეში.

მზის ნათების ხანგრძლიობის წლიური ცვლილება ასეთია: მაქსიმალური საათები მოდის ზაფხულის თვეებზე, განსაკუთრებით ივლისზე, ხოლო მინიმალური შეიმჩნევა ზამთრის პერიოდში, უმეტეს ტერიტორიაზე – დეკემბერში, ალაგალაგ იანვარში.

საქართველოს ტერიტორიაზე უმზეო დღეების რაოდენობის წლიურ ცვლილებას აქვს მაქსიმუმი ზამთრის თვეებში (XII – I) და მინიმუმი ზაფხულის თვეებში (VI – VIII).

უმზეო დღეების ყველაზე დიდი რაოდენობა შეიმჩნევა ზღვისპირა სამხრეთ რაიონში და კოლხეთის დაბლობის შუა ნაწილში – 70-80 დღე წელიწადში.

უმზეო დღეების ყველაზე მცირე რაოდენობა შეიმჩნევა დიდი და მცირე კავკასიის მთიან და მაღალმთიან ქედზე (რადიონოვკა, 24 დღე), აგრეთვე ქართლის დაბლობზე. საქართველოს დანარჩენ ტერიტორიაზე უმზეო დღეების რაოდენობა წელიწადში იცვლება 40-დან 65 დღემდე.

ზამთრის პერიოდში უმზეო დღეების მაქსიმალური რაოდენობა მოდის ზღვისპირა რაიონებზე, კოლხეთის დაბლობსა და ალაზნის ველზე (9-12 დღე), მინიმუმი კი, მთიან და მაღალმთიან რაიონებში (რადიონოვკა, ყაზბეგი-მ/მთ – 5 დღე).

ზაფხულის თვეებში უმზეო დღეების რაოდენობა არ აჭარბებს 2-4 დღეს.

1.2.3 მზის ენერჯის კადასტრი და მისი თავისებურებანი

მზის რადიაციის კადასტრში იგულისხმება მზის გამოსხივებაზე სისტემატიზირებული მონაცემები რაღაც პუნქტისთვის ან ტერიტორიისთვის, რომელიც აუცილებელია მზის ენერჯის პოტენციური რესურსების შესაფასებლად მზის ფეს-ების პარამეტრების და რეჟიმების დასაპროექტებლად-გასანგარიშებლად.

აღნიშნულმა ინფორმაციამ უნდა ასახოს მზის გამოსხივების მოსვლის სივრცობრივ-დროითი დინამიკის თავისებურებანი და მეტეოროლოგიური ფაქტორები, რომლებიც მოქმედებენ მზის რადიაციაზე.

მზის კადასტრში გათვალისწინებულია შემდეგი მახასიათებლები:

- მზის რადიაციის ძირითადი შემადგენლობის საშუალო დღიური მნიშვნელობები, პორიზონტალურ ზედაპირზე საშუალო ღრუბლიანობის პირობებისთვის;
- მზის ნათების ხანგრძლიობის საშუალო თვიური და საშუალო წლიური მონაცემები;
- უმზეო დღეების რაოდენობა და მათი მაქსიმუმი თვეების მიხედვით და სხვა.

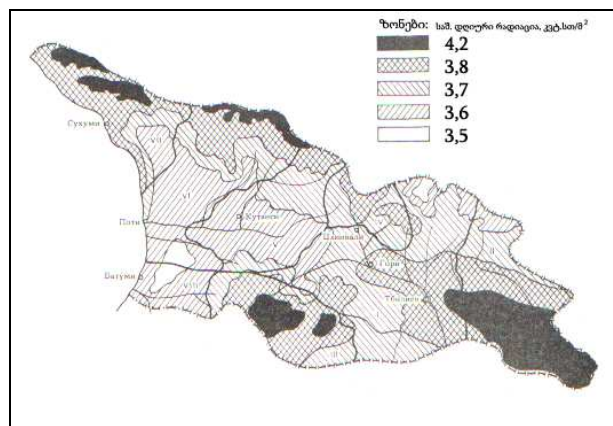
საქართველოში მზის კადასტრის კვლევები მიმდინარეობდა გასული საუკუნის 60-იან წლებში [8] და 80-იან წლებში.

კვლევები ეყრდნობოდა რვა აქტივობითი სადგურის: სოხუმი, სენაკი, თელავი, ანასეული, წალკა, ჯვრის უღელტეხილი, ყაზბეგი-მ/მთ, თბილისი - მრავალწლიანი დაკვირვებების მონაცემებს (მაგ. თბილისში 30-50 წლიანი).

საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებული აქტივობითი სადგურების ქსელის სიმჭირის გამო, კვლევებში აქცენტი უშუალოდ გაკეთდა, იმ პუნქტების მზის კადასტრის შესწავლაზე, სადაც, განლაგებული იყო ზემოთ აღნიშნული სადგურები. ამ პუნქტებისთვის მეცნიერულად დაწვრილებით შესწავლილ იქნა მზის რადიაციის და სხვა მეტეომონაცემების შემდეგი მახასიათებლები:

- მართობულ და კორიზონტალურ ზედაპირებზე პირდაპირი რადიაციის დღიური ჯამების ალბათობა;
- მზის რადიაციის შემადგენელი ნაწილების, თვიური ჯამების ვარიაციის საშუალო კვადრატული გადახრის, ასიმეტრიის და ექსცესის კოეფიციენტების წლიური ცვლილება;
- მზის ნათების ხანგრძლიობის თვიური მნიშვნელობების ალბათობა და ვარიაციის კოეფიციენტის წლიური ცვლილება.

კვლევების შედეგების დაწვრილებითი განვრცობა საქართველოს მთელი ტერიტორიისთვის, გარკვეული მიზეზების გამო არ განხორციელებულა.



ნახ. 8. საქართველოს ჰელიოენერგეტიკული რესურსების რუკა.

რუქაზე მნიშვნელობები შეესაბამება საშუალო დღიურ ჯამურ რადიაციას.

რუქაზე (ნახ. 8) მოცემულია 1987 წელს გამოქვეყნებული საქართველოს ჰელიოენერგეტიკული რესურსების რუქა. [7]

მას საფუძვლად დაედო ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მზის ჯამური რადიაციის ივლისის თვის საშუალო დღიური და თვიური მონაცემები, აგრეთვე თბილი პერიოდის (მაისი – სექტემბერი) მონაცემები.

ჰელიოენერგეტიკული რესურსების განაწილების მიხედვით ტერიტორია რუქაზე დაყოფილია რეგიონებად და ზონებად. პირველი აადვილებს მზის რესურსებით უზრუნველყოფის მდგომარეობის შეფასებას რეგიონებში; მეორე კმნის ზოგად სურათს ტერიტორიის ჰელიოპოტენციალის შესახებ. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, კადასტრი შედგენილია წლის თბილი პერიოდისათვის და შეიძლება წარმატებით იქნას გამოყენებული მზის თბური დანადგარებისათვის, როგორებიცაა, წყალგამაცხელებელი სისტემა, ჰაერგამაცხელებელი კოლექტორი, ხილის (მწვანე მასის) საშრობი და სხვა დანადგარების ენერგეტიკული და საწარმოო პარამეტრების გათვლებისათვის.

მზის ფეს-ის პარამეტრების გაანგარიშებისათვის აღნიშნული კადასტრის მონაცემების გამოყენება პრინციპულად მიუღებელია, რადგან აღნიშნული სისტემები მთელი წლის განმავლობაში ფუნქციონირებენ. უფრო მეტიც, ზამთრის ცივ, თოვლიან, მზიან ამინდებში მათი ეფექტურობა უფრო მაღალია, ვიდრე თბილ, მზიან პერიოდებში. გარდა ამისა, მზის ფეს-ებისთვის ენერგეტიკულად კრიზისული პერიოდი ემთხვევა იანვარ-დეკემბერს. ამ პერიოდის მონაცემები, კი, ნაკლებად ან სულაც არ არის ასახული ჰელიოენერგეტიკული რესურსების რუქაზე. მასში ნაკლებად არის გათვალისწინებული მზის რადიაციის, ზღვის დონიდან სიმაღლის მატების დამოკიდებულების კანონზომიერება.

წინამდებარე სადისერტაციო ნაშრომის ერთერთ მიზანს წარმოადგენს საქართველოს მზის კადასტრის (ჰელიოენერგეტიკული რესურსების რუქის) იმ მიმართულებით დახვეწა, რომ შესაძლებელი იყოს მისი პრაქტიკული გამოყენება მზის ნახევარგამტარულ ფოტოენერგეტიკაში.

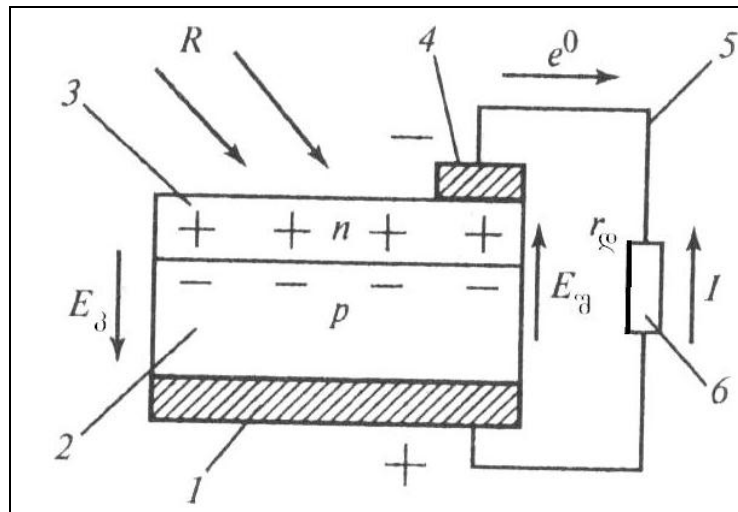
მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული სისტემები და მათი ენერგეტიკული, ეკონომიკური და ეკოლოგიური მახასიათებლები

1.3.1. მზის ფოტონერგეტიკის ფიზიკური საფუძვლები

მზის ფეს-ში მუშაობის პრინციპი დამყარებულია ნახევარგამტარში ფოტოეფექტის მოვლენაზე. ფოტოეფექტის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ სინათლის ფოტონებს შეუძლიათ ამოაგდონ სხეულის ზედაპირიდან (გარე ფოტოეფექტი) ან ნახევარგამტარის კრისტალური მესერიდან (შიდა ფოტოეფექტი) ელექტრონები.

ფრანგმა მეცნიერმა ედმონდ ბეკერელმა 1839 წელს პირველმა აღმოაჩინა ფოტოეფექტი, ხოლო ამერიკელმა შარ ედვარ ფრისტმა 1883 წელს სელენის ბაზაზე შექმნა პირველი მზის ელემენტი.

ფოტოელემენტი, იგივე მზის ელემენტი წარმოადგენს მოწყობილობას ნახევარგამტარულ გადასასვლელზე, რომელშიც მზის ენერგიით დასხივებისას ხდება მუხტების გადანაწილება სივრცეში და წარმოიქმნება ელექტრომამოძრავებელი ძალა (ემძ). ფოტოელემენტის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია ნახაზზე 9.



ნახ. 9. ფოტოელემენტის პრინციპული სქემა:

ელექტროდები (1,4), p და n ტიპის ნახევარგამტარის ფენა (2,3), გამტარი (5), დატვირთვის წინაღობა (6)

მზის ელემენტის (2) და (3) ფენებში სინათლის სხივის მოხვედრის შედეგად წარმოიქმნებიან მუხტის არაძირითადი მატარებლები, რომელნიც ნიშნით საწინააღმდეგოა ძირითადი მატარებლებისადმი p და n ფენაში. წარმოქმნილი ელექტროსტატიკური დაძაბულობის გავლენით ორივე ნიშნის მუხტის თავისუფალი მატარებლები დიფუნდირებენ (2) და (3) ფენის შეხების საზღვარზე და ქმნიან $p-n$ გადასასვლელს, E_j – ელექტრული ველის დაძაბულობას, პოტენციალთა სხვაობით $U_j = S E_j$ (სადაც S - სასაზღვრო ფენის სიგანეა) და პოტენციური ენერგეტიკული ბარიერით $\Phi_j = e U_j$. კონტაქტური პოტენციალთა სხვაობა გამოითვლება ფორმულით:

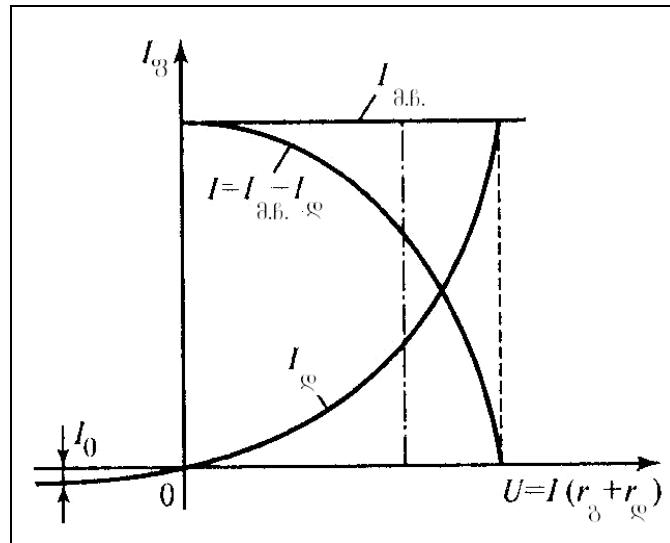
$$U_j = \frac{KT}{e^0} \ln\left(\frac{P_p}{P_n}\right) = \frac{KT}{e^0} \ln\left(\frac{n_p}{n_n}\right),$$

სადაც K - ბოლცმანის მუდმივაა; e^0 ელექტრონის მუხტია; P_p და P_n , n_p და n_n ხვრელების და ელექტრონების კონცენტრაციებია შესაბამის ფენაში.

ამასთან n -არე ღებულობს უარყოფით, ხოლო p -არე დადებით მუხტს. ეს ექვივალენტურია $P-n$ გადასასვლელისთვის E_j -ს შემხვედრი ელექტრული $E_{\text{გ}}$ ველის მოდებისა. (1) და (4) ელექტროდებზე წარმოიქმნება მზის ელემენტის ე.წ. უქმი სვლის ძაბვა – ემძ. თუ მზის ელემენტს ეცემა ფოტონების ნაკადი (სინათლის გამოსხივება), მაშინ ფოტონები კრისტალის ბმულ-ვალენტურ ელექტრონებს ამოაგდებენ (ელექტრონი ტოვებს თავის ენერგეტიკულ დონეს) და წარმოიქმნება კრისტალში “ხვრელი”; $P-n$ გადასასვლელი ანცალკეებს ელექტრონ-ხვრელის წყვილს და იზრდება ძაბვა (1) და (4) ელექტროდებზე. ამის შემდეგ თუ მზის ელემენტის გარე წრედში ჩავრთავთ დატვირთვას $r_{\text{დ}}$ წინააღობით, მაშინ ამ წრედში გაივლის დენი I , რომლის მიმართულება ელექტრონების მოძრაობის შემხვედრია. (ხვრელი გადაადგილდება მხოლოდ ნახევარგამტარში). რაც მეტია მზის გამოსხივების ინტენსიობა, მით მეტი დენი გადის გარე წრედში. მაგრამ მისი მნიშვნელობა არ შეიძლება იყოს

მზის ელემენტის რაღაც ზღვრულ დენზე მეტი, რომელიც განისაზღვრება იმით, რომ ყველა ვალენტური ელექტრონი გადასულია თავისუფალ მდგომარეობაში.

მზის ელემენტის დენის დამოკიდებულებას ძაბვაზე, მოცემული მზის გამოსხივების სიმძლავრის დროს, ეწოდება მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი (ვამ). ტიპური ვამი წარმოდგენილია ნახაზზე 10.



ნახ. 10. მზის ელემენტის საწყისი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები. დენის წყარო $I_{\text{ღ}}$ (U), $R = \text{const}$ დროს

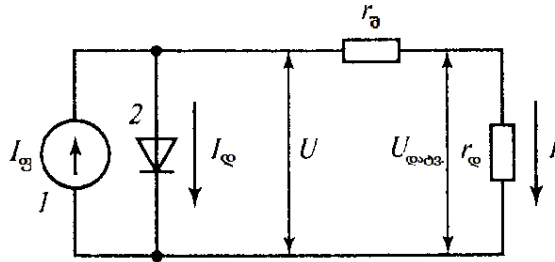
ვამ-დან შეიძლება გამოვყოთ ორი მახასიათებელი წერტილი: უქმი სვლის ძაბვა, როცა $r_{\text{ღ}} \rightarrow \infty$; $U_{\text{ღ}}^{\text{მაქს}} = U_{\text{გ.ს.}}$; $I = 0$ და მეორე, მოკლე ჩართვის დენი, როცა $r_{\text{ღ}} \rightarrow 0$; $I = I_{\text{მაქს}} = I_{\text{მ.წ.}}$; $U_{\text{ღ}} = 0$.

ცხადია მზის ელემენტის სასარგებლო სიმძლავრე ტოლია $U_{\text{ღ}}$ და I -ს ნამრავლისა, $N = U_{\text{ღ}} I$.

მზის ელემენტების და მოდულების ტექნიკური მახასიათებლები (შედარების მიზნით) მოყვანილია: 1000 ვტ/მ² სინათლის ნაკადის ინტენსიობის; $t = 25^{\circ}\text{C}$; 1,5-ატმოსფერული ოპტიკური მასის – AM 1.5 პირობებისთვის.

1.3.2. მზის ფოტოელექტრული ელემენტის (გენერატორის) ენერგეტიკული მახასიათებლები

მზის ელემენტის ენერგეტიკული მახასიათებლების თავისებურებების ანალიზისათვის, მისი ექვივალენტური სქემა შეიძლება ასე წარმოვადგინოთ (ნახ. 11).



ნახ. 11. მზის ელემენტის ექვივალენტური ელექტროსქემა

სადაც მზის ელემენტი პირობითად წარმოდგენილია დენის წყაროს სახით (1), რომელთანაც პარალელურად ჩართულია დიოდი (2), შიგა წინაღობა r_g და მიმდევრობით დატვირთვა r_l .

მზის გამოსხივების ურთიერთქმედების შედეგად, დენის წყარო წარმოშობს დენს I_{ph} , რომელიც ტოლია, I_d დიოდის (ანუ უკუდენის) და დატვირთვის დენის ჯამის.

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{\alpha U}{A}} - 1 \right)$$

სადაც I_0 გაჯერების დენია, რომელიც ტოლია მზის ელემენტის უკუდენის მაქსიმალური მნიშვნელობის (სილიციუმისათვის $I_0 \approx 10^{-7}$ ამპ/მ²);

$A \geq 1$ – კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება მზის ელემენტის მიღების ტექნოლოგიური პროცესით; α – პარამეტრი განისაზღვრება ფორმულით

$$\alpha = \frac{e^0}{KT}$$

სადაც e^0 – ელექტრომუხტია; K – ბოლცმანის მუდმივა; T – ტემპერატურა კელვინებში.

დატვირთვაზე ძაბვა განისაზღვრება ფორმულით:

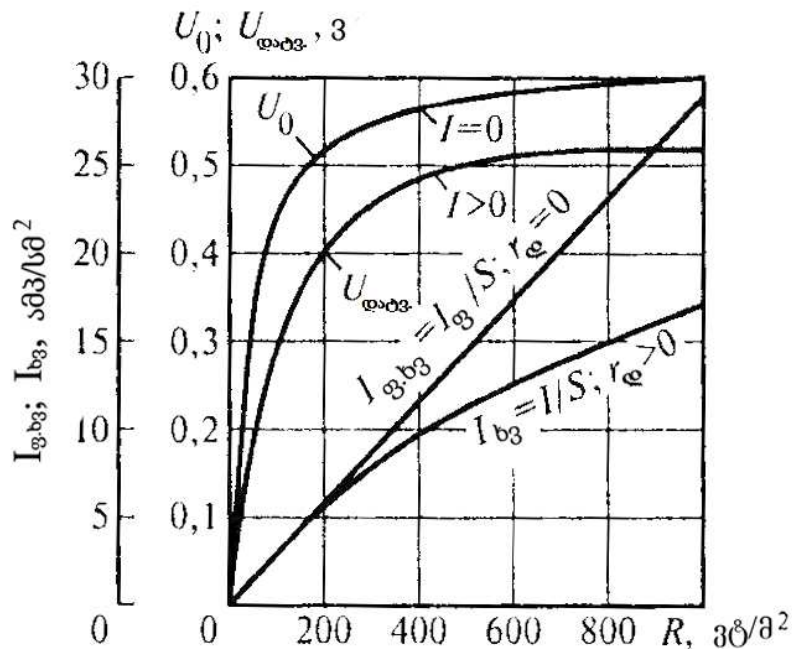
$$U_{\text{დატვ}} = U - I r_{\text{ფ}} = \frac{A}{\alpha} \ln \left(\frac{I_{\text{ph}} - I}{I_0} + 1 \right) - I r_{\text{ფ}}$$

შენიშვნა: ფორმულაში I_{ph} -თი აღნიშნულია $I_{\text{ფ}}$.

მზის გამოსხივების ინტენსიობასთან დამოკიდებულებით მზის ელემენტის ძირითადი ენერგეტიკული მახასიათებლები

$$U_0 = U_0(R), \quad U_{\text{დატვ}} = U_{\text{დატვ}}(R),$$

გამოსახულია ნახაზზე (ნახ. 12):

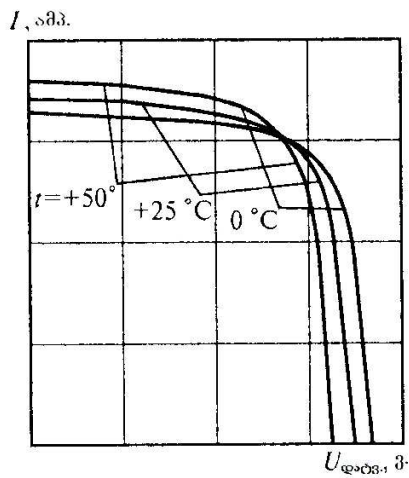


ნახ. 12. მზის ელემენტის მახასიათებლები:

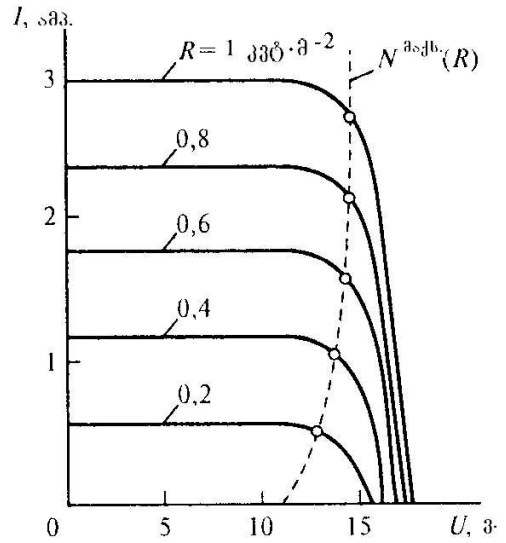
- (1) უქმი სვლის $U_0 = U_0(R)$, როცა $I = 0$, $T = \text{const}$;
- (2) დატვირთვის $U_{\text{დატვ}} = U_{\text{დატვ}}(R)$, $I = \text{const}$;
- (3) ხვედრითი მუშა დენის - $I_{\text{ბვ}} = I_{\text{ბვ}}(R)$ როცა $r_{\text{დ}} = 0$;
- (4) ხვედრითი ფოტოდენის - $I_{\text{გვ}} = I_{\text{გვ}}(R)$ როცა $r_{\text{დ}} > 0$;

სტანდარტული მზის ელემენტი თავისი ზომებით შედარებით მცირეა (1-2 დმ²) ამიტომ მისი სიმძლავრე არაა დიდი (1,5-3 ვატი). დიდი სიმძლავრეების მისაღებად მათ აერთებენ მიმდევრობით და

პარალელურად. ასე შეერთებული მზის ელემენტების ერთობლიობას მზის მოდული ეწოდება. უფრო დიდი სიმძლავრეების მისაღებად მზის მოდულს აერთებენ მიმდევრობით (ძაბვის გაზრდის მიზნით) და პარალელურად (დენის გაზრდის მიზნით). მზის ელემენტის მახასიათებლები ანალოგიურია მზის მოდულის ვოლტამპერული მახასიათებლების. მზის მოდულის ვოლტამპერული მახასიათებლები მოცემულია ნახ.13, ნახ.14):

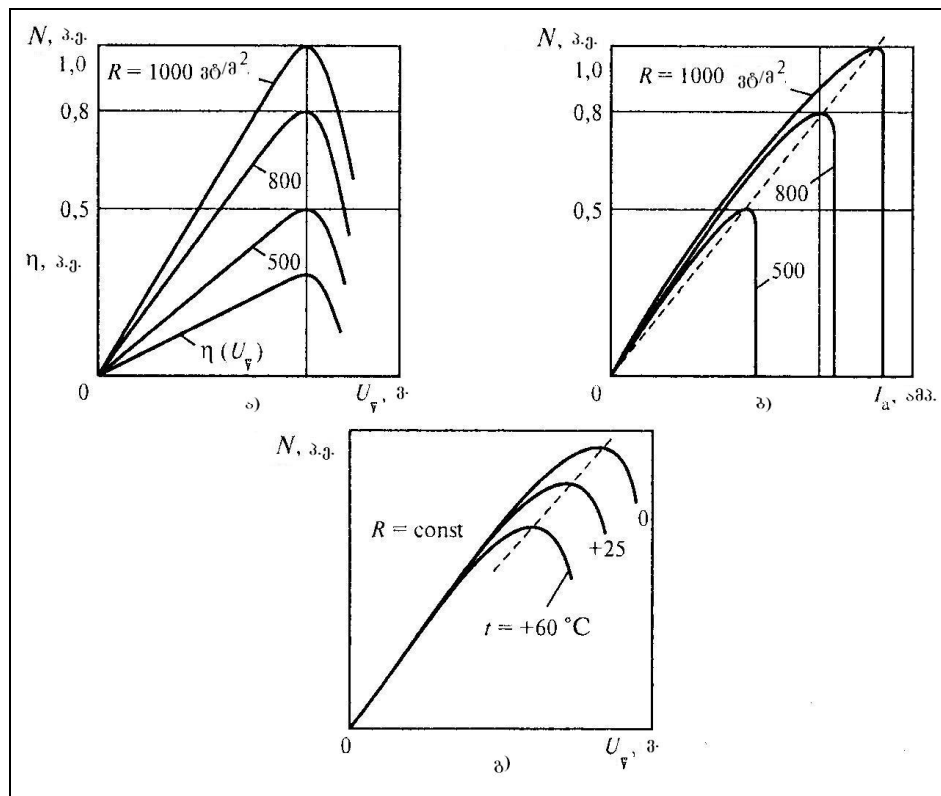


ნახ. 13. მზის მოდულის ვოლტამპერული მახასიათებლები ტემპერატურის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს



ნახ. 14. მზის მოდულის ვოლტამპერული მახასიათებლები მზის გამოსხივების სხვადასხვა ინტენსიობის დროს

მზის ელემენტის მახასიათებლებზე მზის გამოსხივების ინტენსიობის ხარისხობრივი დამოკიდებულება, $t^{\circ}C = \text{const}$ დროს ნახვენებია ნახაზზე (ნახ. 15)



ნახ. 15. მზის ელემენტის ენერგეტიკული მახასიათებლები

ა) $N(U_{\text{დატვ}}, R)$ და $\eta(U_{\text{დატვ}})$

ბ) $N(U_{\text{დატვ}}, R)$

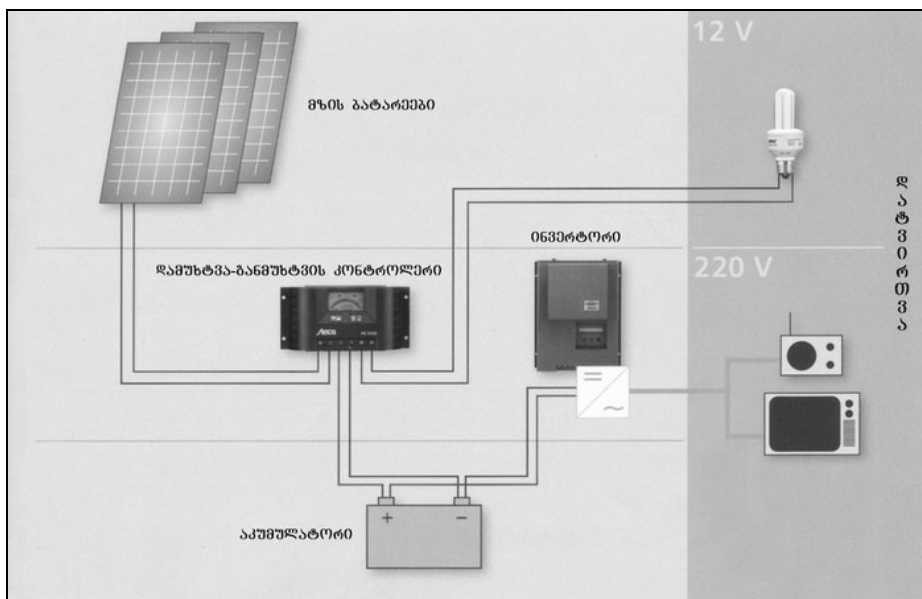
გ) $N(U_{\text{დატვ}}, t^{\circ}\text{C})$, როცა $R = \text{const}$.

ინფორმაციას მზის ელემენტის (მოდულის) ენერგეტიკული მახასიათებლების შესახებ დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მზის ფოტოელექტრული სისტემის პროექტირების დროს.

1.3.3. მზის ფოტოელექტრული სისტემების შემადგენელი კომპონენტები და მათი მოკლე დახასიათება

პრაქტიკაში არსებობენ ძირითადად ორი ტიპის მზის ფეს-ები: საერთო ქსელში ჩართული და ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე. ქსელში ჩართულ (მიერთებულ) სისტემაში მზის ფეს-ის მიერ გამოშვებული ენერჯია (მუდმივი ძაბვის მქონე) სპეციალური, მრავალფუნქციური ინვერტორის (GRID-CONNECTED INVERTERS) საშუალებით გარდაიქმნება ცვლად ძაბვად და პირდაპირ მიეწოდება ცენტრალურ ქსელს. ასეთი ტიპის სისტემების ფუნქციაა მზის ენერჯიიდან გენერირებული ელექტროენერჯიით ქსელის მომარაგება.

მზის ავტონომიური ფეს-ის დანიშნულებაა დატვირთვის ლოკალური უზრუნველყოფა ელექტროენერჯიით. მისი ბლოკ-სქემა მოცემულია ნახაზზე 16.



ნახ. 16. მზის ავტონომიური ფოტოელექტრული სისტემის ბლოკ-სქემა

მზის ფოტოელექტრული სისტემა შედგება შემდეგი ძირითადი ელემენტებისაგან: მზის მოდული, მზის დამუხტვის კონტროლერი, აკუმულატორული ბატარეა და ინვერტორი.

მზის მოდული მასზე დაცემულ სინათლის ენერგიას, უშუალოდ გარდაქმნის ელექტროენერგიად. მზის დამუხტვის კონტროლერი აკონტროლებს აკუმულატორის დამუხტვა-განმუხტვის პროცესს. აკუმულატორში ხდება მზის მოდულების მიერ გარდაქმნილი ენერგიის დაგროვება.

მზის მოდული (იგივე მზის ბატარეა, პანელი, ფოტოელექტრული გენერატორი – ფეგ-ი) წარმოადგენს მიმდევრობით (ზოგჯერ პარალელურადაც) შეერთებულ მზის ელემენტების ერთობლიობას, რომელიც ჰერმეტიზირებულია - ლამინირებულია ორგანულ ფირებს შორის, წინა მხრიდან დაცულია, უმეტესწილად, მინით და ჩასმულია ალუმინის ჩარჩოში.

მზის მოდული არსებობს სხვადასხვა სიმძლავრის - რამოდენიმე ვატიდან 300 ვატამდე. მზის მოდულს (ანუ მასში შემავალ მზის ელემენტებს) ამზადებენ სხვადასხვა ელემენტებისა და ნაერთებისაგან. პრაქტიკაში მზის ელემენტების ორი ძირითადი ტიპი არსებობს: კაუბადის (სილიციუმი) კრისტალური და თხელფირიანი. კაუბადის კრისტალური მზის ელემენტი თავის მხრივ ორი ტიპისაა – მონოკრისტალური და პოლიკრისტალური.

თხელფირიანი მზის ელემენტები არსებობს: ამორფული კაუბადის, სპილენძ-ინდიუმ-სელენიდის (CuInSe_2), კადმიუმ ტელურიდის (CdTe), $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ ბაზაზე შექმნილი ჰეტეროსტრუქტურები და სხვა.

პრაქტიკაში გამოყენებული კრისტალური მზის ელემენტების მარგი ქმედების კოეფიციენტი არის 14-16%. მუშაობის რესურსი 30-50 წელი, ხოლო თხელფირიანის 8-10% და მუშაობის რესურსი 10-15 წელი.

მსოფლიოში ინსტალირებული მზის ფეს-ების 80% კრისტალური მზის მოდულებისგანაა აწყობილი.

მზის დამუხტვის კონტროლერები არსებობენ სხვადასხვა ფუნქციონალური დატვირთვის: ერთ, ორ ან სამ საფეხურიანი დამუხტვის რეჟიმით, მაქსიმალური სიმძლავრის წერტილის ფუნქციით (MPP) და სხვა.

მზის ავტონომიურ ფეს-ებში უმეტესწილად გამოიყენება დახშული ტიპის (VRLA) ტყვია-მჟავიანი აკუმულატორები, როგორებიცაა: ჟელეიანი (Gell), მინერალურ-ბოჭკოვანი აბსორბერით (AGM), სტაციონალური ტიპის (OpZv) და სხვა.

აღნიშნული ტიპის აკუმულატორები არ საჭიროებენ მომსახურებას, არ გამოყოფენ მავნე ნივთიერებებს – გაზებს, გამოირჩევიან მაღალი მუშაობის რესურსით. მაგალითად, AGM -ის მუშაობის ხანგრძლიობა 8-10, Gell -ის 10-12, OpZv - ს 12-15 წელია.

ინვერტორი გამომავალი სიგნალის ფორმის მიხედვით არსებობს ორი ტიპის – კვაზისინუსოიდალური (მართკუთხა ფორმის სიგნალით) და სინუსოიდალური. ამ უკანასკნელის გამოყენება აუცილებელია ელექტროამძრავიანი დატვირთვის (მაცივარი, კონდენციონერი, ელექტროტუმბო და სხვა) კვების დროს. სხვა შემთხვევებში მისაღებია კვაზისინუსოიდალური ინვერტორიც.

რაც შეეხება დატვირთვა-განათებას, ენერჯის დაზოგვის და ეფექტურად გამოყენების მიზნით სასურველია განათების სისტემა მუშაობდეს მუდმივ ძაბვაზე და გამოყენებულ იქნას შუქდიოდური (LED), ფლუორესცენტული, ან უკიდურეს შემთხვევაში ჰალოგენური განათების ნათურები.

1.3.4 მზის ენერგეტიკის ეკონომიკური და ეკოლოგიური ასპექტები

მზის ენერგეტიკა სხვა ტიპის ენერგეტიკებს შორის ეკოლოგიური თვალსაზრისით ითვლება შედარებით ერთერთ ყველაზე სუფთად. მაგრამ თუ გავითვალისწინებთ მთელ ტექნოლოგიურ ციკლს, საწყისი მასალის მიღებიდან ელექტროენერჯის წარმოებამდე მზის ენერგეტიკის ზემოქმედება ადამიანზე და გარემოზე მთლიანად არ გამოირიცხება.

ამ ასპექტში ყველაზე მნიშვნელოვანია ის, რომ თვითონ მზის ფესვები ექსპლოატაციის დროს პრაქტიკულად გარემოზე უარყოფით გავლენას არ ახდენენ. მეორეს მხრივ, ნახევარგამტარული მასალების წარმოება ითვლება ეკოლოგიურად საკმაოდ საფრთხის შემცველად.

ამ მხრივ ყველაზე საშიში, თხელფირიანი მზის ელემენტების წარმოებაში გამოყენებული ნივთიერებებია: კადმიუმი, გალიუმი, დარიშხანი, ტელური და სელენი.

გარდა ამ ნივთიერებებისა, გარემოზე აგრეთვე უარყოფით გავლენას ახდენენ მზის ელემენტების წარმოებაში გამოყენებული ზოგიერთი ქიმიური ნაერთები: მჟავები, ტუტეები, მარილები.

ამის გამო ბევრ ქვეყანაში აშშ-სა და ევროკავშირში არსებობს საკმაოდ მკაცრი მოთხოვნები მზის ელემენტების წარმოების, ეკოლოგიური უსაფრთხოების კუთხით და მიღებულია დაცვის სპეციალური ღონისძიებები. მეორეს მხრივ, ყოველ წელს მსოფლიოში მოიხმარება იმდენი ნავთობი, რამდენიც წარმოიქმნება ბუნებრივ პირობებში ორი მილიონი წლის განმავლობაში. არაგანახლებადი ენერგორესურსების მოხმარების გიგანტური ტემპები, შედარებით დაბალი ფასით, რომელიც არ ასახავს საზოგადოების რეალური დანახარჯების ერთობლიობას, არსებითად ნიშნავს ვალად, კრედიტით ცხოვრებას მომავალი თაობების ხარჯზე. ეს არის დანახარჯების ერთერთი შემადგენელი, რომელსაც საზოგადოება იხდის ენერგიაში.

ენერგიის ღირებულების მეორე შემადგენელი, რომელიც ნაწილდება მთელ საზოგადოებაზე და არ არის გათვალისწინებული ენერგიის ტარიფში, დაკავშირებულია ენერგოდანადგარების მიერ გარემოს დაბინძურებასთან.

თუ გავითვალისწინებთ ამ ამჟამად ფარულ დანახარჯებს ენერგიის ტარიფში, მაშინ განახლებადი ენერგეტიკის უმეტესი ახალი ტექნოლოგიები კონკურენტუნარიანი გახდებიან არსებულთან (არაგანახლებადი) შედარებით.

ახალი, ალტერნატიული, განახლებადი ეკოლოგიურად სუფთა ენერჯეტიკის პროექტების დაფინანსების წყაროს წარმოადგენენ ისეთი "ეკოლოგიური" გადასახადები - ნავთობის ღირებულების 30%-მდე, რომლებიც შემოდებულია შვეციაში, ფინეთში, ჰოლანდიაში და სხვა ქვეყნებში.

მსოფლიოში ნებისმიერი ტიპის ენერგოდანადგარების ეფექტურობის ერთერთი მთავარი ეკონომიკური მაჩვენებელია დაყენებული სიმძლავრის ხვედრითი კაპიტალდაბანდება 1 კვტ-ზე და ელექტროენერჯის ფასი, რომელიც იწარმოება აღნიშნულ დანადგარზე.

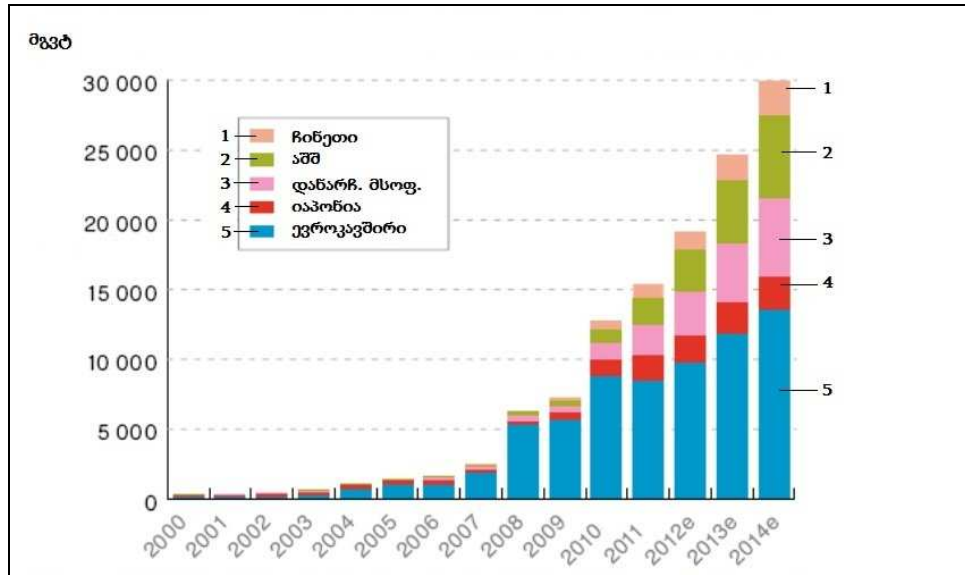
ბოლო 20 წლის განმავლობაში მსოფლიოში მზის ელემენტების ტექნოლოგიების გაუმჯობესების და წარმოების მასშტაბების გაზრდით, აღნიშნული კოეფიციენტები შემცირდა 10-ჯერ. ამასთან, იმავე პერიოდში ეს მაჩვენებელი ტრადიციული ტიპის ელექტროსადგურებში საგრძნობლად გაიზარდა და გააჩნია მდგრადი ტენდენცია ზრდისკენ.

საერთაშორისო ორგანიზაცია EPIA/Greenpeace პროგნოზით აღნიშნული კოეფიციენტი 2010 წლის მაჩვენებელთან შედარებით 2020 წლისთვის ორჯერ შემცირდება. მზის ენერჯეტიკის განვითარების პერსპექტიულობა და აუცილებლობა დასტურდება ეროკავშირის ქვეყნებში (გერმანია, იტალია, ესპანეთი, ჩეხეთი და სხვა) მიღებული სხვადასხვა მასტიმულირებელი ეკონომიკური აქტები და კანონები დარგის სწრაფი განვითარებისათვის.

მთავარი კანონი გულისხმობს მზის ფეს-ებისგან გამომუშავებული ენერჯის შედავათიანი ტარიფით შესყიდვას ათეული წლების განმავლობაში.

ასეთმა მიდგომებმა ეროკავშირში, აშშ-ში, იაპონიაში და სხვა ქვეყნებში გამოიწვია მზის ნახევარგამტარული ფოტოენერჯეტიკის განვითარების არნახული ტემპები, რომელიც ნათლად ჩანს შემდეგი ციფრებიდან 2000 – 2010 წლებში მზის დაყენებული სადგურების ჯამური სიმძლავრე გაიზარდა 10-ჯერ და შეადგინა 15 გეგავატი. 2009-დან 2012

წლამდე მზის სადგურებიდან მიღებული მოგება გაიზარდა 2-ჯერ და შეადგინა 90 მილიონი დოლარი.



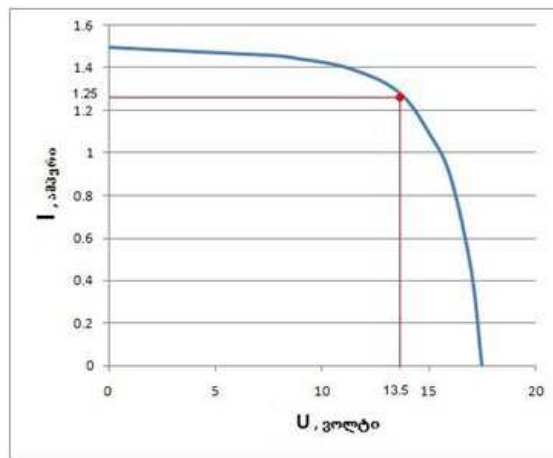
ნახ. 17. მზის ფოტოელექტრული სისტემების განვითარების ზრდის დინამიკა ქვეყნების მიხედვით 2000 წლიდან

2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. ექსპერიმენტების მეთოდика, გამოყენებული ხელსაწყოები და მათი მახასიათებლები

ნაშრომში განხორციელებული ექსპერიმენტები: მიმღები ზედაპირის ოპტიმალური დახრის კუთხის, მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტების და მზის ფოტოელექტრული გენერატორის (ფეგ-ის) მიერ გამოიმუშავებული ენერჯიების მნიშვნელობების გაზომვა-განსაზღვრა განხორციელდა მზის მოდულის უშუალო გამოყენებით.

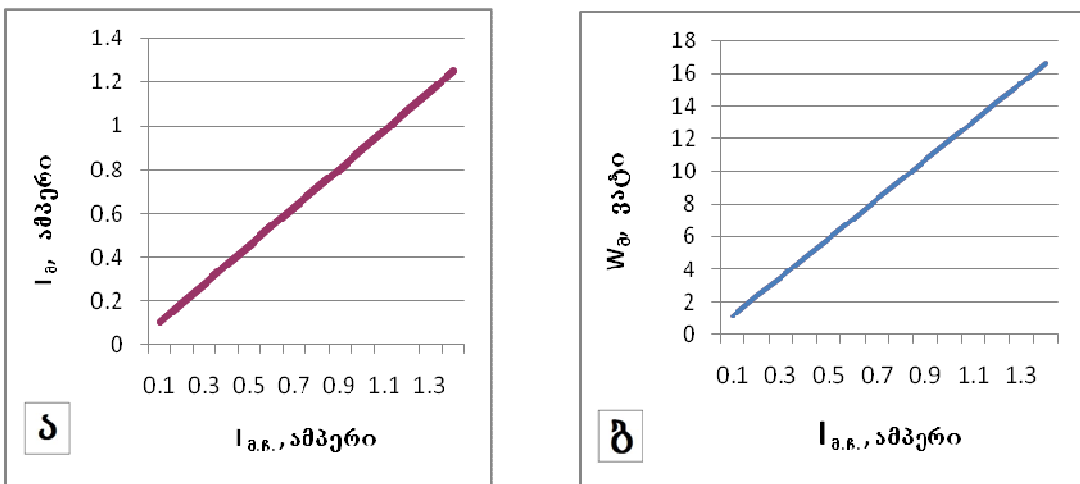
ექსპერიმენტებში გამოყენებული იყო მონოკრისტალური სილიციუმის მზის მოდული, რომლის პიკური სიმძლავრე (სტანდარტულ პირობებში – 1000ვტ/მ² სინათლის ინტენსიობის დასხივებისას, და 25°C ტემპერატურის დროს) იყო 17,5 ვატი. თავდაპირველად განხორციელდა ექსპერიმენტებში გამოყენებული მოდულის დაკალიბრება შემდეგნაერად:



ნახ. 18. ექსპერიმენტებში გამოყენებული ფოტოელექტრული მოდულის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი 1000ვტ/მ² სინათლის ინტენსიობის დასხივებისას, და 25 C° ტემპერატურის დროს

გაიზომა აღნიშნული მზის მოდულის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები სინათლის სხვადასხვა ინტენსიობის პირობებში. აიგო შესაბამისი გრაფიკების ოჯახი, საიდანაც თითოეული მრუდისთვის

განისაზღვრა მუშა დენი, ძაბვა და სიმძლავრე. (ნახაზზე 18 მოცემულია - 1000ვტ/მ2 სინათლის ინტენსიობის დასხივების შესაბამისი, ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის ერთი მრუდი). მიღებული მონაცემებით თითოეული შემთხვევისთვის აიგო მუშა დენის და მუშა სიმძლავრის, მოკლე ჩართვის დენისგან დამოკიდებულების გრაფიკი (ნახ. 19). წრფივი გრაფიკებიდან განისაზღვრა პროპორციულობის გადასაყვანი კოეფიციენტები დენისთვის – 0.86 და სიმძლავრისთვის – 1.106.



ნახ. 19. ექსპერიმენტებში გამოყენებული მოდულის, მუშა დენის (ა) და მუშა სიმძლავრის (ბ) დამოკიდებულება მოკლე ჩართვის დენისგან

შემდგომში, ექსპერიმენტების დროს იზომებოდა მზის მოდულის მიერ გამოძუშავებული მოკლე ჩართვის დენის მნიშვნელობები და ფორმულებით (1) და (2) გამოითვლებოდა მუშა დენი და მუშა სიმძლავრე, შესაბამისად

$$I_{ა} = 0.81 \cdot I_{ა.ჩ} \quad (1)$$

$$W_{ა} = 1.106 \cdot I_{ა.ჩ} \quad (2)$$

სადაც, $I_{ა.ჩ}$ – ექსპერიმენტებში გამოყენებული მოდულის მოკლე ჩართვის დენია;

$I_{ა}$ - ექსპერიმენტებში გამოყენებული მოდულის სამუშაო დენია;

W_a - ექსპერიმენტებში გამოყენებული მოდულის სამუშაო სიმძლავრეა.

ექსპერიმენტებში მიღებული მონაცემების გადაანგარიშება პირობითად 100 ვატი პიკური სიმძლავრის მოდულისათვის წარმოებდა ფორმულით – $I_{100\text{ვტ}} = 5.71 \cdot I_{17,5\text{ვტ}}$ (3)

სადაც, $I_{100\text{ვტ}}$ – 100ვტ პიკური სიმძლავრის მუშა დენი;

$I_{17,5\text{ვტ}}$ – 17,5ვტ პიკური სიმძლავრის მუშა დენი.

ზემოთ მოცემული მეთოდიკით მიღებული შედეგები შემოდგომში გადამოწმდა თანამედროვე მოწყობილობების “ონსეტ კორპორეიშენის” ჰობო-ს ტიპის (Onset corporation- HOBO) ხელსაწყოების გამოყენებით (ნახ. 20).



ნახ. 20. მონაცემთა ლოგერი – პარამეტრების გამზომი და ჩამწერი მოწყობილობა (1), მონაცემთა გადმომწერი მოწყობილობა (2) და მზის რადიაციის სენსორი (3).

აღნიშნულ მოწყობილობებში შემავალ ხელსაწყოებს: მზის რადიაციის სენსორს და მონაცემთა ლოგერს (პარამეტრების გამზომი და ჩამწერი მოწყობილობა) გააჩნია შემდეგი პარამეტრები:

კაუბადის პირომეტრი (Solar Radiation Sensor, Part. No S-LIB-M003)

გაზომვის ინტერვალი 0 ---- 1280 ვტ/მ²;

სპექტრალური ინტერვალი 300 ---- 1100 ნმ;

გაზომვის სიზუსტე ± 10 ვტ/მ² ---- $\pm 5\%$;

სამუშაო ტემპერატურა -40° ---- 75°C

ჰობო – მონაცემთა ლოგერი (HOBO Micro Station Data Logger)

მეხსიერება 512 კბტ;

ლოგიკის ინტერვალი 1წმ----9სთ;

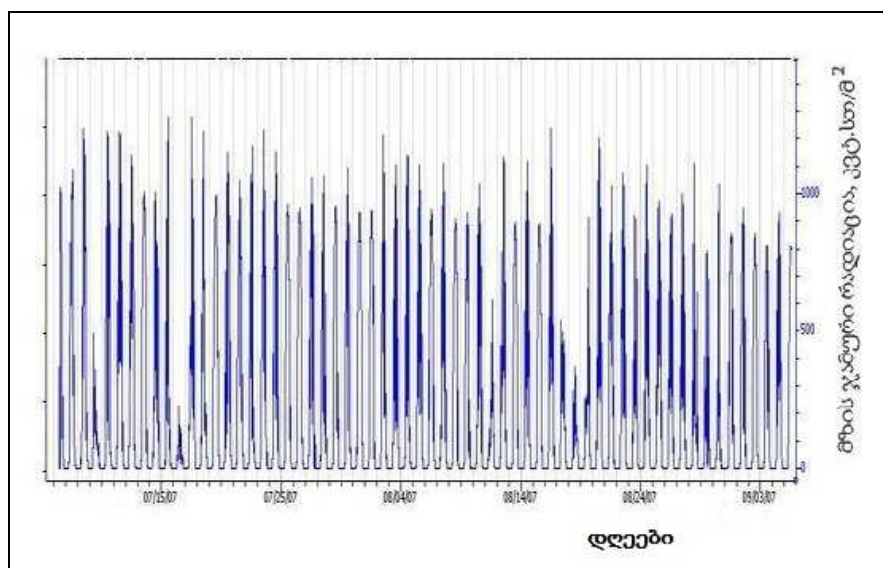
სენსორის შესასვლელი – 4 არხი;

სამუშაო ტემპერატურა -40° ---- -70°C

აღნიშნული მოწყობილობების გამოყენებით სამი წლის განმავლობაში ფშავ-ხევსურეთისა და ხევის მაღალმთიან თვრამეტ სოფელში წარმოებდა მზის ჯამური რადიაციის გაზომვები.

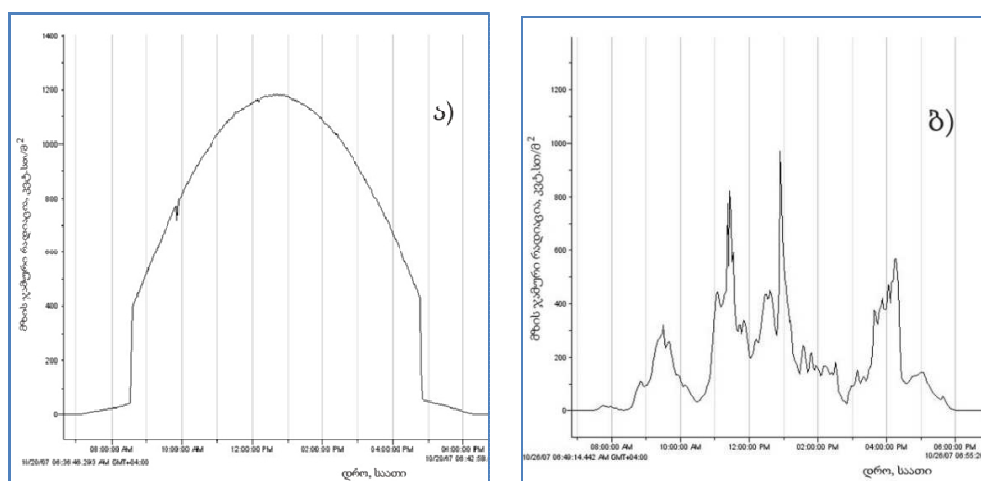
ანალოგიური გაზომვები ტარდებოდა ქალაქ თბილისში. მზის ჯამური რადიაციის მონაცემები იზომებოდა უწყვეტად, ორ წუთიანი ინტერვალებით. პარამეტრების მნიშვნელობების დამახსოვრება ხდებოდა მონაცემთა ლოგერში, საიდანაც პერიოდულად – სამ თვეში ერთხელ გადმოიწერებოდა სპეციალური მოწყობილობის მეშვეობით და ხდებოდა მათი დამუშავება სპეციალური კომპიუტერული პროგრამით.

მზის ჯამური რადიაციის ორ თვიანი მონაცემების ტიპური დიაგრამა მოცემულია ნახაზზე 21., ხოლო, ამ პარამეტრის, ერთი დღის განმავლობაში ცვლილების დიაგრამა მოცემულია ნახაზზე 22.



ნახ. 21. მზის ჯამური რადაციის ორ თვიანი მონაცემების ტიპური შემჭიდროებული დიაგრამა.

გრაფიკის დიაგრამაზე (ნახ. 21) თითოეული პიკიანი მონაკვეთი წარმოადგენს ერთერთ დღის მზის ჯამური რადაციის ცვლილების მრუდს, რომლის გაშლილი ვარიანტებიც მზიანი და ღრუბლიანი ამინდის პირობებისთვის მოცემულია ნახაზზე 22.



ნახ. 22. მზის ჯამური რადაციის ერთ დღიანი მონაცემების ტიპური დიაგრამები მზიანი (ა) და ღრუბლიანი (ბ) ამინდის პირობებისათვის.

2.2. ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დაცემული, მზის ჯამური რადიაციის, დახრილი ზედაპირისათვის გადასაყვანი კოეფიციენტების დადგენა

მზის ფეგ-ის გამომუშავებული ენერჯის რაოდენობის შესაფასებლად მნიშვნელოვანია მიმღები ზედაპირის ორიენტაცია და მასზე მოსული მზის ენერჯის რაოდენობის ცოდნა.

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.

საქართველოს პირობებისათვის, დახრილ ზედაპირებზე მზის რადიაციის გაზომვები არ წარმოებდა. ლიტერატურაში [3] ირიბი შეფასების მეთოდით, ჰორიზონტალური ზედაპირიდან დახრილი ზედაპირისათვის მზის ჯამურ რადიაცია გადაიანგარიშებოდა ფორმულით:

$$Q(\beta, \alpha) = K_d \cdot Q$$

სადაც,

$Q(\beta, \alpha)$ - ჯამური რადიაციაა დახრილ ზედაპირზე, სადაც α არის მიმღები ზედაპირის აზიმუტი, β კი მისი დახრის კუთხე ჰორიზონტისადმი;

Q - ჯამური რადიაციაა ჰორიზონტალურ ზედაპირზე;

K_d - ჰორიზონტალურიდან დახრილ ზედაპირზე გადასაყვანი კოეფიციენტია.

გადასაყვანი კოეფიციენტები, თეორიულად რთული ფორმულებით გამოითვლებოდა.

მზის ჯამური რადიაციის ჰორიზონტალურიდან დახრილ ზედაპირზე გადასაყვანი კოეფიციენტის პრაქტიკული განსაზღვრის მიზნით, წლის განმავლობაში (ძირითადად თვის შუა რიცხვებში) მოწმენდილი და ღრუბლიანი ცის პირობებში, მიმდინარეობდა სისტემეტიური ექსპერიმენტები. დღის განმავლობაში, მზის ამოსვლიდან ჩასვლამდე, გარკვეული ინტერვალით ხდებოდა ფეგ-ის მოკლე ჩართვის დენების გაზომვა, მისი ჰორიზონტისადმი 0-დან 70°-მდე დახრის კუთხის ცვლილებისას. ექსპერიმენტების დროს, თვის შუა რიცხვების მიხედვით დაზუსტდა, სამხრეთის ორიენტაციის (აზიმუტის) ფეგ-ის ოპტიმალური დახრის კუთხეები, რომლის დროსაც მიმღებ ზედაპირზე თვის განმავლობაში ეცემა მზის რადიაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა. ეს კუთხეები საგრძნობლად განსხვავდება ასტრონომიული, ოპტიმალური დახრის კუთხეებისაგან, განსაკუთრებით ზაფხულისა და ზამთრის თვეებისათვის. ოპტიმალური დახრის კუთხის მნიშვნელობები, როგორც ასტრონომიული ისე პრაქტიკული მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილი 1

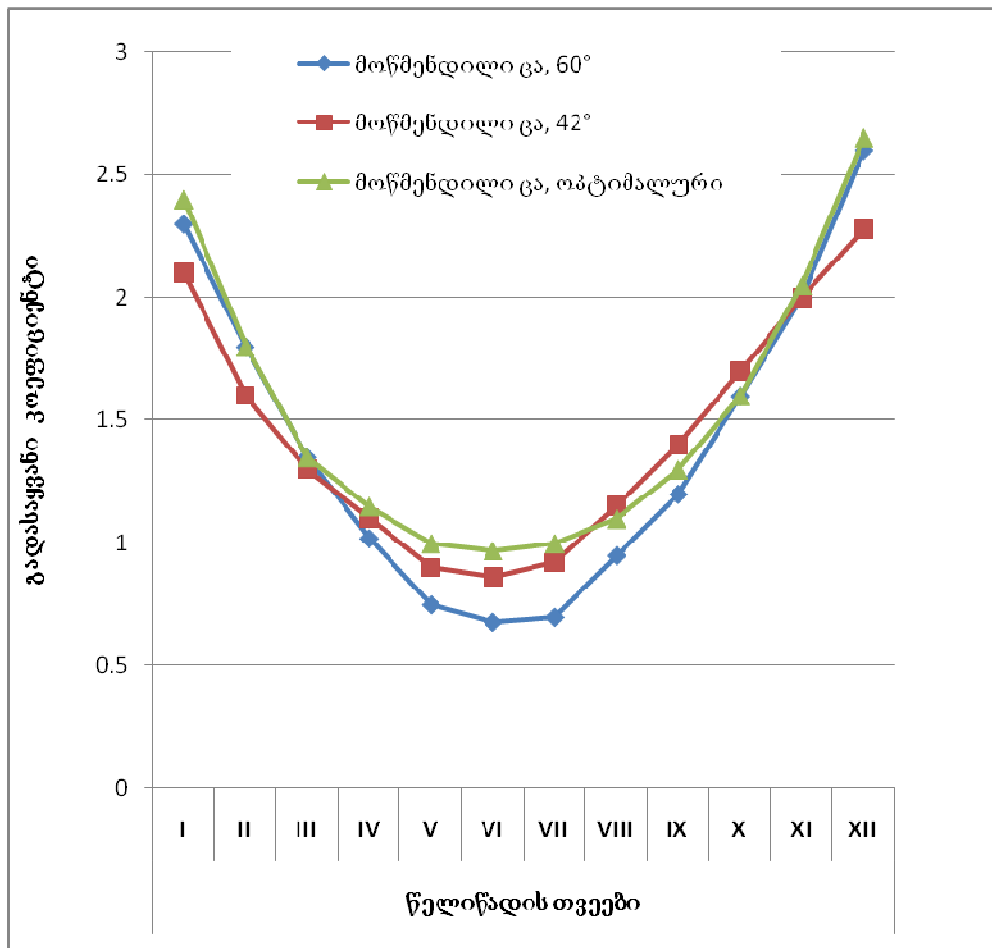
სამხრეთის აზიმუტის ფეგ-ის ჰორიზონტისადმი ოპტიმალური დახრის კუთხეები გრადუსებში.

კუთხეები	თ ვ ე ე ბ ი											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ასტრონომიული	63	55	44	32	23	19	20	28	39	50	60	65
პრაქტიკული	66	58	45	29	16	10	12	22	38	52	64	68

ფეგ-ის დახრის კუთხის და აზიმუტის გაზომვის ცდომილება არ აღემატებოდა 1 %-ს. დახრის კუთხეების ასტრონომიულ და გაზომილ მნიშვნელობებს შორის სხვაობა ზამთარში შეადგენს 3°-ს, ხოლო ზაფხულის თვეებში სხვაობა 5-9°-ია.

ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ ფეგ-ის დახრის ოპტიმალური დახრის კუთხის 1–2°-ით ცვლილება მის მიერ გამოიმუშავებულ ენერჯის მნიშვნელობას პრაქტიკულად არ ცვლის.

ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული მზის ჯამური რადიაციის დახრილი ზადაპირებისათვის გადასაყვანი კოეფიციენტები გაიზომა და გამოითვალა ყოველი თვის ოპტიმალური კუთხისთვის, აგრეთვე 60°-ის (ზამთრის საშუალო ოპტიმალური კუთხე) და 42°-ის (საშუალო წლიური ოპტიმალური კუთხე) კუთხეებისათვის



ნახ. 23. მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტები ჰორიზონტისადმი 60°, 42° და ოპტიმალური კუთხეებით დახრილი ზედაპირისთვის (მოწმენდილი ცის პირობები).

კოეფიციენტს მაღალი მნიშვნელობები გააჩნია ზამთრის თვეებისათვის (1,5 ÷ 2,7), ხოლო მინიმალური ზაფხულში (0,7 ÷ 1). მათ შორის მნიშვნელობების ასეთი სხვაობა განპირობებულია ჰორიზონტზე მზის სიმაღლის მნიშვნელობების დიდი განსხვავებით იმავე პერიოდებში, მაგალითად, ანპირობებულია ჰორიზონტზე მზის სიმაღლის მნიშვნელობა დეკემბერში ტოლია 25°-ის, ხოლო ივნისში – 71°-ის.

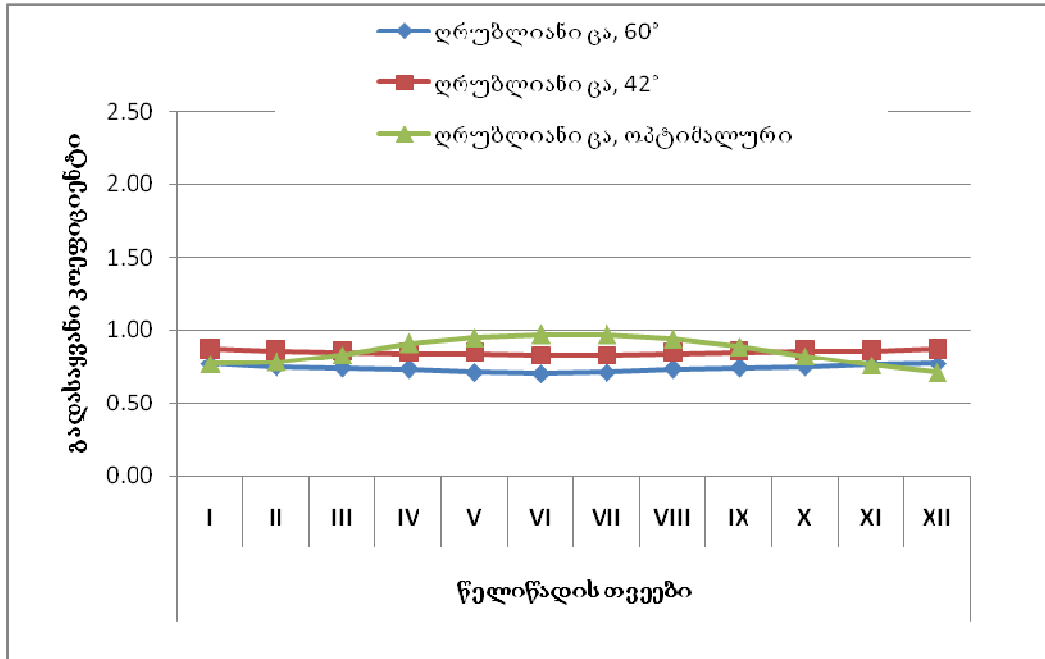
მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტი ჰორიზონტალური ზედაპირიდან დახრილი ზედაპირისთვის შემდგენაერად გამოითვლებოდა:

დღის განმავლობაში თითოეული ოპტიმალური კუთხით დაფიქსირებული და აგრეთვე ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში მყოფი ფეგ–დან 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 გამოშუშავებული ენერგია. თითოეული ოპტიმალური კუთხისთვის გამოთვლილი ენერგიის მნიშვნელობის შეფარდება ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში მყოფ ფეგ–ის მიერ გამოშუშავებულ ენერგიის მნიშვნელობასთან წარმოადგენს მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტების მნიშვნელობებს.

გრაფიკებზე მოცემულია ამ მეთოდით გაზომილი გადასაყვანი კოეფიციენტების მნიშვნელობები, მოწმენდილი ცის (ნახ. 23) და ღრუბლიანი ცის (ნახ. 24) პირობებისათვის.

ღრუბლიან ამინდში მზის ჯამურ რადიაციაში განმსაზღვრელია გაბნეული რადიაციის წილი, ამიტომ, 60° და 42°-ით დახრილი ზედაპირებისთვის კოეფიციენტების მნიშვნელობები 0,7÷0,87-ის ფარგლებშია და წლის განმავლობაში ნაკლებად იცვლებიან. თვეების მიხედვით ოპტიმალურად დახრილი კუთხეებისათვის კოეფიციენტი მაქსიმუმს ივნის-ივლისში აღწევს, რაც აიხსნება იმ ფაქტით, რომ მიმდები

ზედაპირი ამ პერიოდში იმყოფება ჰორიზონტისადმი მინიმალური დახრის კუთხით 10° - 12° -ით. ანუ ამ მდგომარეობაში, მას ცის კამარის მაქსიმალური ნაწილი “დაჰყურებს” და შესაბამისად მზის ზედაპირზე მოდის მზის გაბნეული რადიაციის მაქსიმალური მნიშვნელობები.



ნახ. 24. მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტები დრუბლიანი ცის პირობებისათვის

ამ კოეფიციენტების გამოყენება მართებულია მხოლოდ შესაბამისი (მზიანი ან დრუბლიანი) ამინდის პირობებისთვის. ამინდის რეალური პირობებისთვის საჭიროა მათი გასაშუალება. ამისთვის აუცილებელია მზის ნათების რეალური ხანგრძლივობის შესაძლო ფარდობის თვიური მაჩვენებლით სარგებლობა [5] და იმ ფაქტის გათვალისწინება, რომ მოწმენდილი ამინდის პირობებში დედამიწის ზედაპირზე დაცემული მზის ჯამური რადიაციის მნიშვნელობა, დაახლოებით ერთი რიგით მაღალია, ვიდრე დრუბლიან ამინდში. ამ ფაქტის გათვალისწინებით გადასაყვანი

კოეფიციენტის გასაშუალებელი მნიშვნელობა შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

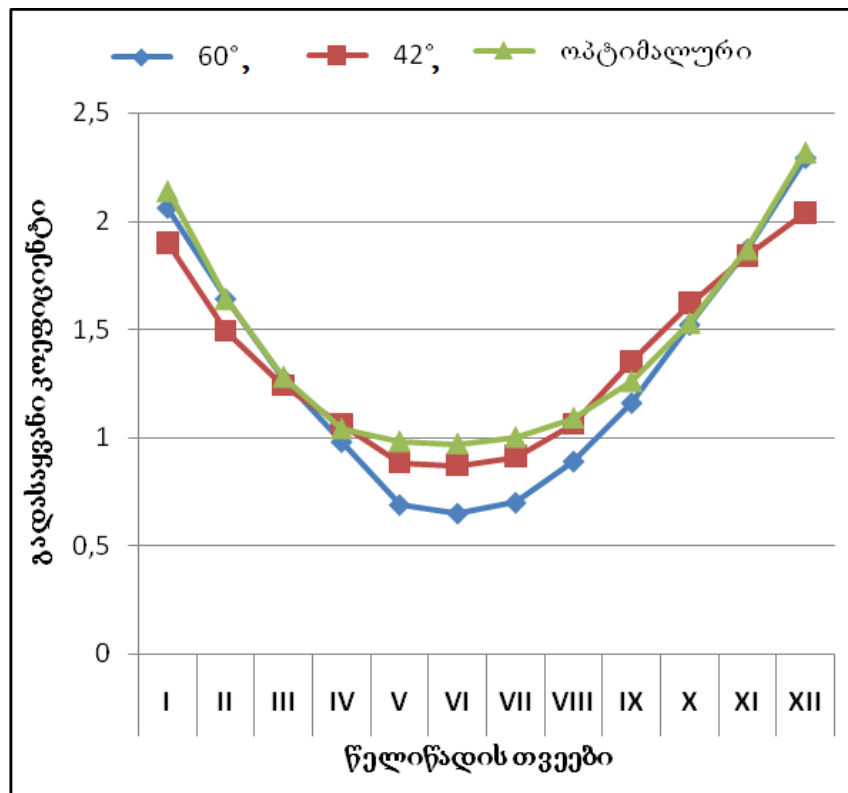
$$K_Q = \frac{10t \cdot K_{Q1} + (1-t) K_{Q2}}{10t + (1-t)} \quad (5)$$

სადაც

t – მზის ნათების რეალური ხანგრძლივობის შესაძლოსთან ფარდობის თვიური მნიშვნელობაა;

K_{Q1} , K_{Q2} – მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტებია მოწმენდილი და დრუბლიანი ამინდის პირობებისათვის.

ფორმულა (5)-ით გამოთვლილი გადასაყვანი კოეფიციენტების მიხედვით აგებული გრაფიკები გამოსახულია ნახაზზე 25.



ნახ. 25. მზის ჯამური რადიაციის გადასაყვანი კოეფიციენტები რეალური ამინდის პირობებისათვის

მიღებული კოეფიციენტების საშუალებით გამოითვალა სამხრეთის აზიმუტის ჰორიზონტისადმი 42°-ით, 60°-ით და თვეების მიხედვით ოპტიმალური კუთხეებით დახრილ ზედაპირზე მოსული მზის ჯამური რადიაციის მნიშვნელობები, რომლებიც მოყვანილია ცხრილში 2.

ცხრილი 2

მზის ჯამური რადიაციის საშუალო თვიური მონაცემები
ქ. თბილისისათვის, კვტ·სთ/მ²

დასრ. კუთხე	თ ვ ე ე ბ ი												საშ.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ჰორ.	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 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°-78°-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.

2.3. მზისადმი სხვადასხვა ორიენტაციის ფოტოელექტრული გენერატორის მიერ ამინდის სხვადასხვა პირობებში გამოიმუშავებული ენერჯია

მზის ფეგ-ის მიერ გამოიმუშავებული ელექტროენერჯიის მნიშვნელობა, პირდაპირპროპორციულია მასზე დაცემული სინათლის ინტენსივობის. რეალურ პირობებში არსებობს სინათლის ინტენსივობის ისეთი ზღვრული მნიშვნელობა, რომლის შემდეგაც ფეგ-ის მიერ გამოიმუშავებული ენერჯია იმდენად მცირეა, რომ მისი პრაქტიკული გამოყენება (მაგ. აკუმულატორის დასამუხტავად) შეუძლებელია.

ამინდის სხვადასხვა პირობებში, წლის სხვადასხვა პერიოდში, მზის ფეგ-ის მუშაობის ეფექტურობის დასადგენად განხორციელდა ექსპერიმენტები. გაზომვებისას მზის ფეგ-ი დამაგრებული იყო სამხრეთის აზიმუტის ოპტიმალური დახრის კუთხეებით. იგივე სიბრტყეებში პარალელურად ხორციელდებოდა მზის ჯამური რადიაციის მნიშვნელობების გაზომვა პირანომეტრის საშუალებით.

ექსპერიმენტების შედეგები მოცემულია ცხრილში (ცხრ. 3)

ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ 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 გამოიმუშავებული ენერჯია ნაკლებად არის დამოკიდებული სეზონურობაზე. მისი მნიშვნელობა დაახლოებით 4–5-ჯერ ნაკლებია ვიდრე მზიანი ამინდის დროს. ქვედა იარუსის 8–10 ბალიანი ღრუბლიანობის დროს (2000 მეტრამდე), როდესაც სინათლის ინტენსივობა 0.01 კვტ/მ²-ზე ნაკლებია ფეგ-ი პრაქტიკულად სასარგებლო ენერჯიას ვერ გამოიმუშავებს. ეს ძირითადად ხდება წვიმიანი, თოვლიანი და ნისლიანი ამინდის პირობების დროს.

ცხრილი 3

ფეგ-ის მიმღებ ზედაპირზე დაცემული სინათლის სხვადასხვა ინტენსიობის დროს, მზის ჯამური რადიაციის და 100ვტ პიკური სიმძლავრის ფეგ-ის მიერ გამოიმუშავებული ენერგია

№	ამინდის პირობები	სინათლის ინტენსიობა, კვტ/მ ²	დღის განმავლობაში ჰორ. ზედაპირზე დაცემული მზის ჯამური რადიაცია, კვტ·სთ/მ ²		100ვტ პიკური სიმძლავრის ფეგ-ის მიერ გამოიმუშავებული ენერგია დღის განმავლობაში, ვტ·სთ	
			ზამთარი	ზაფხული	ზამთარი	ზაფხული
1	მზიანი	1	2.1	8.2	450	650
2	საშუალო დრუბლიანობა, 5-6 ბალი.	0.5	1.3	6.3	280	500
3	ზედა იარუსის დრუბლიანობა, 8-10 ბალი.	0.1	0.8-1	1-1.5	100 - 150	
4	ქვედა იარუსის დრუბლიანობა, 8-10 ბალი, ნალექი.	0.02	0.2-0.5	0.6-1	≤10	

ცხრილი 4.

დღის განმავლობაში 1 მ² ფართზე 0.01 კვტ/მ² და ნაკლები სინათლის ინტენსიობაზე მოსული მზის ჯამური რადიაცია.

№	წლის პერიოდი	დღის განმავლობაში 1 მ ² ფართზე მოსული მზის ჯამური რადიაცია, კვტ·სთ		დღის განმავლობაში 1 მ ² ფართზე მოსული მზის ჯამური რადიაცია, რომელიც ≤0.01 კვტ/მ ² სინათლის ინტენსიობის ენერგიაზე მოდის.	
		ჰორიზონტალური	60°-ით დახრილი	კვტ·სთ	%
1	ზამთარი	1.5	3	0.1	3.3
2	გაზაფხ/შემოდგომა	3	4	0.12	3
3	ზაფხული	6	6	0.15	2.5

სინათლის ინტენსიობის ქვედა ზღვრული მნიშვნელობის გარკვევის შემდეგ, შესაძლებელია გამოვთვალოთ ენერგიის ის რაოდენობა (წილი), რომელიც დღის განმავლობაში ეცემა 1 მ² ფართს, რომლის პრაქტიკული გარდაქმნა ელექტროენერგიად შეუძლებელია ფეგ-ის მიერ. ცხრილში (ცხრ. 4) მოცემულია ამ ენერგიების აბსოლუტური და პროცენტული მნიშვნელობები წლის სეზონების მიხედვით.

ცხრილიდან ჩანს, რომ ფეგ-ის ზედაპირზე დღის განმავლობაში მოსული მზის ჯამური რადიაციის საერთო წილიდან, მხოლოდ 2.5–3.3 %-ის პრაქტიკული გარდაქმნა-გამოყენება ვერ ხერხდება. ეს ენერგიის ის რაოდენობაა, რომელიც წარმოიქმნება დღის განმავლობაში ≤ 0.01 კვტ/ მ² სინათლის ინტენსიობის მიერ.

ზოგადად, ფეგ-ის ზედაპირზე, დროის რაღაც პერიოდში დაცემული მზის რადიაციის სიდიდე დამოკიდებულია მზის მიმართ მიმდები ზედაპირის ორიენტაციაზე, ადგილობრივ კლიმატზე, ადგილის განედზე, კორიზონტის გაშლილობაზე, წელიწადის სეზონზე, ატმოსფეროს მასაზე და ჰაერის დაბინძურების ხარისხზე. როგორც ცნობილია, მიმდებ ზედაპირზე დაცემული მზის რადიაცია წარმოადგენს პირდაპირ, გაბეული და არეკლილ რადიაციათა ჯამს. მოწმენდილი ცის პირობებში პირდაპირი რადიაციის, ანუ უშუალოდ მზიდან მოსული სხივური ენერგიის წილი შეადგენს საერთო ჯამური რადიაციის 80–90%-ს. მოღრუბლული ცის დროს განმსაზღვრელია გაბნეული რადიაცია და იგი შესაძლებელია ჯამურის 60–80%-იც კი იყოს.

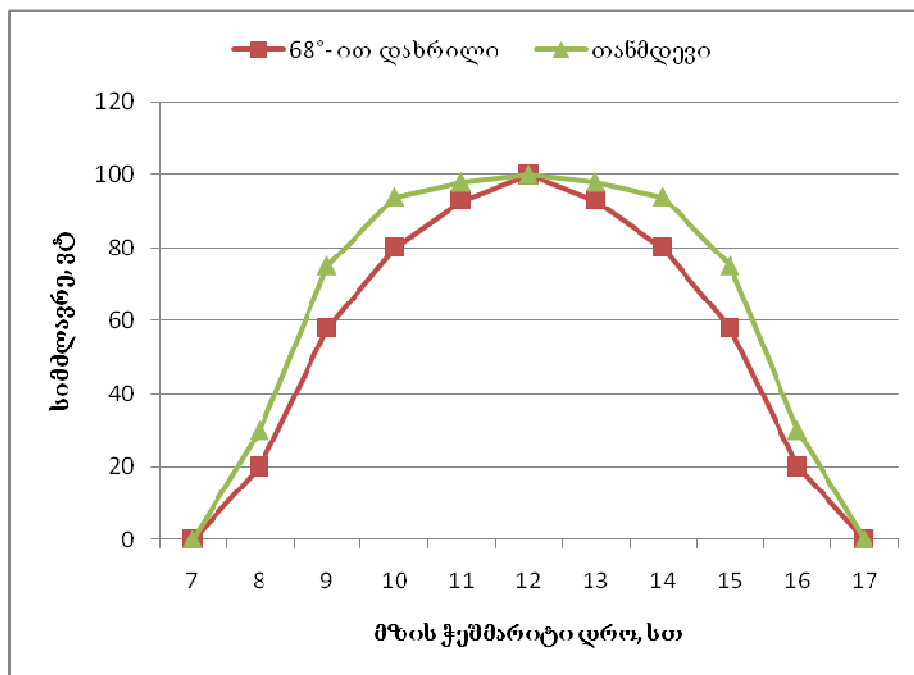
მიღებულია, რომ გაბნეული რადიაცია თანაბრად მოდის ცის კაბადონის ყველა სექტორიდან, ამიტომ მიმდებ ზედაპირზე დაცემული გაბნეული რადიაციის სიდიდე განისაზღვრება ცის კაბადონის იმ ნაწილით, რომელიც მას “დაჰყურებს”.

მიმდებ ზედაპირზე დაცემული არეკლილი რადიაცია დამოკიდებულია კორიზონტისადმი მის დახრაზე, ჯამური რადიაციის დონეზე, გარემოს (გრუნტის, ასფალტის, თოვლის, ბალახის და სხვა)

არეკვლის კოეფიციენტზე და ამრეკლი ზედაპირის ნაწილზე, რომელსაც “დაჰყურებს” იგი.

მაგალითად, არეკვლის კოეფიციენტი 0.87 მაქსიმალურია ახალ თოვლზე და მას შეუძლია გაზარდოს ფეგ-ის სიმძლავრე 15–30%-ით. მინიმალური არეკვლის კოეფიციენტი გააჩნია ასფალტს და შავმიწა ნიადაგს – 0.1–0.2.

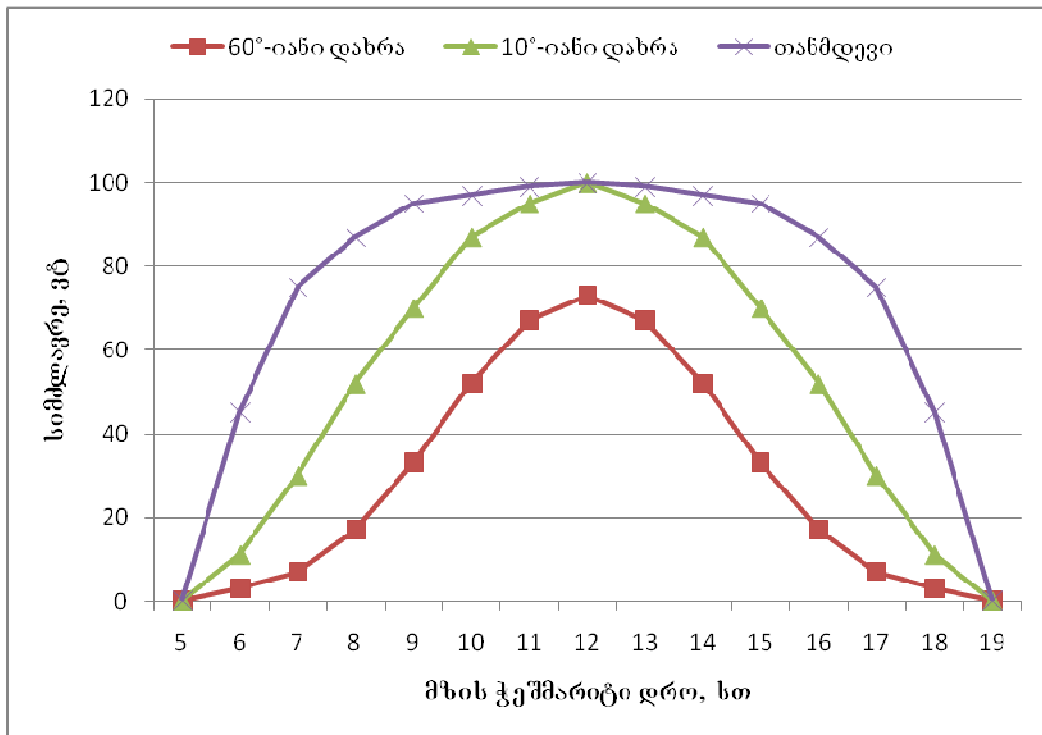
ამინდის სხვადასხვა პირობებში გამომუშავებული ენერგიის შესაფასებლად თბილისის პირობებში ჩატარდა კვლევები. დაკვირვებები და გაზომვები მიმდინარეობდა სამხრეთის მიმართულების აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილ და აგრეთვე, დღის განმავლობაში მზის სხივებისადმი მართებულად მიმართულ – მზის ტრაექტორიისადმი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



ნახ. 26. სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი ფიქსირებულად დამაგრებული 68° კუთხით დახრილი და მზის ტრაექტორიის თანმდევი 100 ვატიანი ფეგ-ის სიმძლავრის დღიური ცვლილება, დეკემბერში მოწმენდილი ცის პირობებში.

დეკემბერში მოწმენდილი მზის პირობებში, ჰორიზონტისადმი 68°-ით (დეკემბრისთვის ოპტიმალური) დახრილი და “თანმდევი” 100 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ-ის სიმძლავრეთა ცვლილება დღის განმავლობაში და გამომუშავებული ენერჯია (მრუდწირთა მიერ შემოწერილი შესაბამისი ფართობები) წარმოდგენილია გრაფიკზე (ნახ. 26).

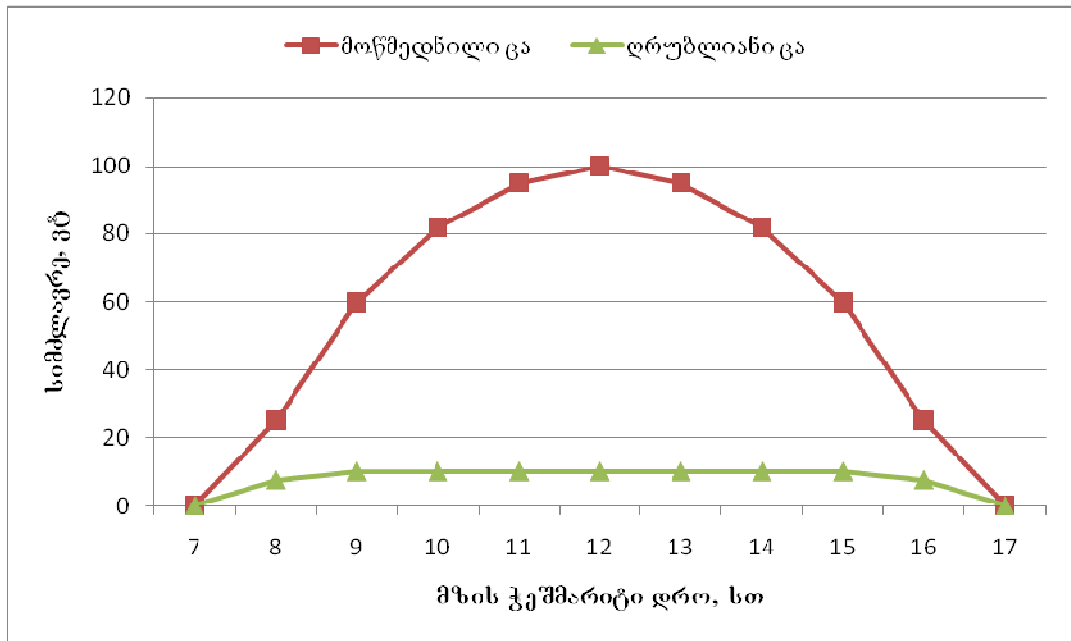
გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ “თანმდევი” ფეგ-ი დღის განმავლობაში გამოიმუშავებს 685 ვტ·სთ ენერჯიას, ხოლო ფიქსირებულად 68°-ით დახრილი კი 570 კვტ·სთ. მათ მიერ გამომუშავებულ ენერჯიათა სხვაობა შეადგენს დაახლოებით 20%-ს.



ნახ. 27. სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი ფიქსირებულად დამაგრებული 60°, 10° კუთხით დახრილი და მზის ტრაექტორიის თანმდევი 100 ვატიანი ფეგ-ის სიმძლავრის დღიური ცვლილება, ივნისში მოწმენდილი ცის პირობებში.

იენისში, იმავე პირობებში, ჰორიზონტისადმი უძრავად 60°-იანი (“ზამთრის საშუალო ოპტიმალური”) კუთხით, იენისისათვის ოპტიმალური 10°-იანი კუთხით დამაგრებული და აგრეთვე “თანმდევ” რეჟიმში მყოფი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ-ის სიმძლავრეთა ცვლილების გრაფიკები და გამომუშავებული ენერჯია დღის განმავლობაში წარმოდგენილია გრაფიკზე (ნახ. 27).

გრაფიკიდან გამომდინარეობს, რომ გამომუშავებული ენერჯიათა მნიშვნელობები ტოლია შესაბამისად 485, 790 და 1100 ვტ·სთ-ისა. ანუ ფეგ-ის ზამთრის კუთხით დამაგრებისას იენისის მზიან ამინდში, შესაძლო გამოსამუშავებელ ენერჯიასთან შედარებით, ვლებულობთ დაახლოებით 60%-ით ნაკლებ ენერჯიას. “თანმდევ” რეჟიმში მომუშავე ფეგ-ი გამოიმუშავებს 30%-ით მეტ ენერჯიას, ვიდრე უძრავად, ოპტიმალური კუთხით 10°-ით დამაგრებული.



ნახ. 28. სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი ფიქსირებულად დამაგრებული 45° -ით დახრილი, 100 ვატიანი ფეგ-ის სიმძლავრის დღიური ცვლილება, მარტში მოწმენდილი ცის და 10/0 ბალი შუა და მაღალი იარუსის დრუბლიანობის დროს.

მარტში, მოწმენდილი ცის და 10/0 ბალი ღრუბლიანობის (ცა მთლიანადაა დაფარული შუა და მაღალი – 2000 მეტრზე ზემოთ მდებარე ღრუბლებით) პირობებში 100 ვატი პიკური სიმძლავრის 45°-ით დახრილი ფეგ–ის სიმძლავრეთა ცვლილების დინამიკა დღის განმავლობაში მოცემულია გრაფიკზე (ნახ. 28).

გრაფიკებიდან ჩანს, რომ მზიანი და ღრუბლიანი ამინდის დროს ფეგ–ის მიერ დღიურად გამომუშავებული ენერჯის მნიშვნელობა შეადგენს 600 ვტ·სთ-ს. 10/0 ბალი ღრუბლიანობისას ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დაცემული სინათლის ინტენსივობა იცვლებოდა 0.05–0.1 კვტ/მ² ფარგლებში. ასეთ პირობებში ფეგ–მა დღის განმავლობაში გამოიმუშავა 150 ვტ·სთ ენერჯია. ექსპერიმენტულად დადგინდა, რომ სინათლის ინტენსივობა 0.01 კვტ/მ² წარმოადგენს ფეგ–ის ფუნქციონირების ქვედა ზღვარს და მას შეესაბამება 10/10 ბალი ქვედა იარუსის ღრუბლიანობის (მიწისპირა ძლიერი ნისლი, კოკისპირული წვიმა და ძლიერი თოვლი) პირობები.

კლიმატური ცნობარების მონაცემებით 0.01 კვტ/მ² ტოლი და მეტი სინათლის ინტენსივობის უზრუნველყოფა ზამთარში – 90, ხოლო ზაფხულში – 98%-ია.

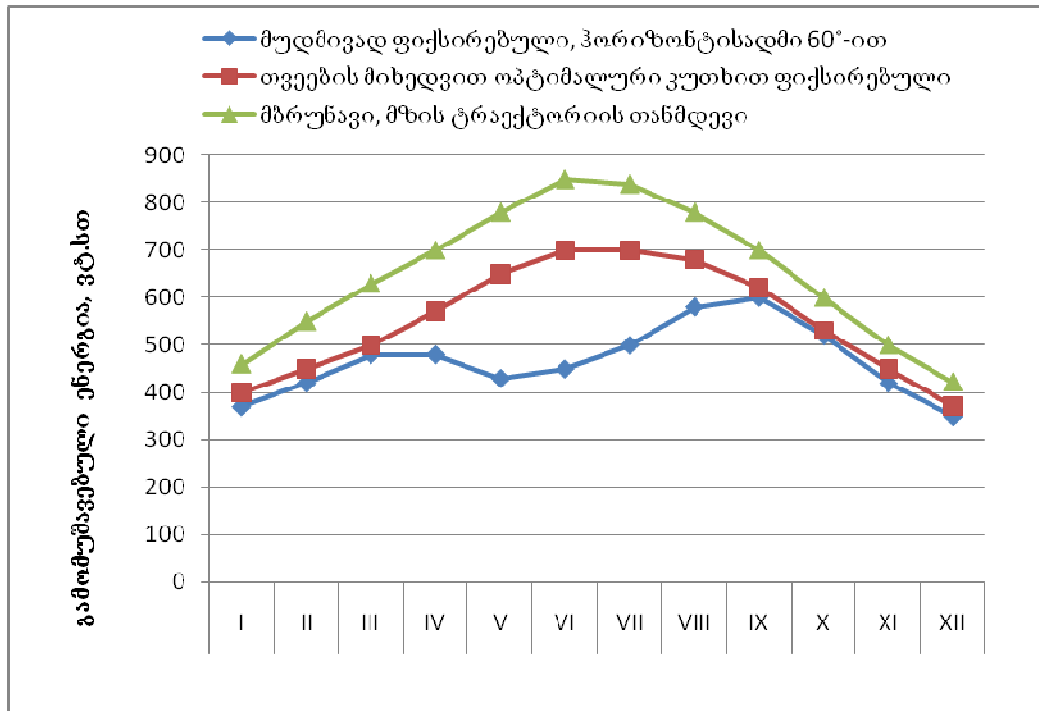
სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის მიერ საშუალოდ, დღიურად გამომუშავებული ენერჯის მნიშვნელობები მოცემულია გრაფიკზე (ნახ.29.)

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) მიიდწვევა აგვისტოში.

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

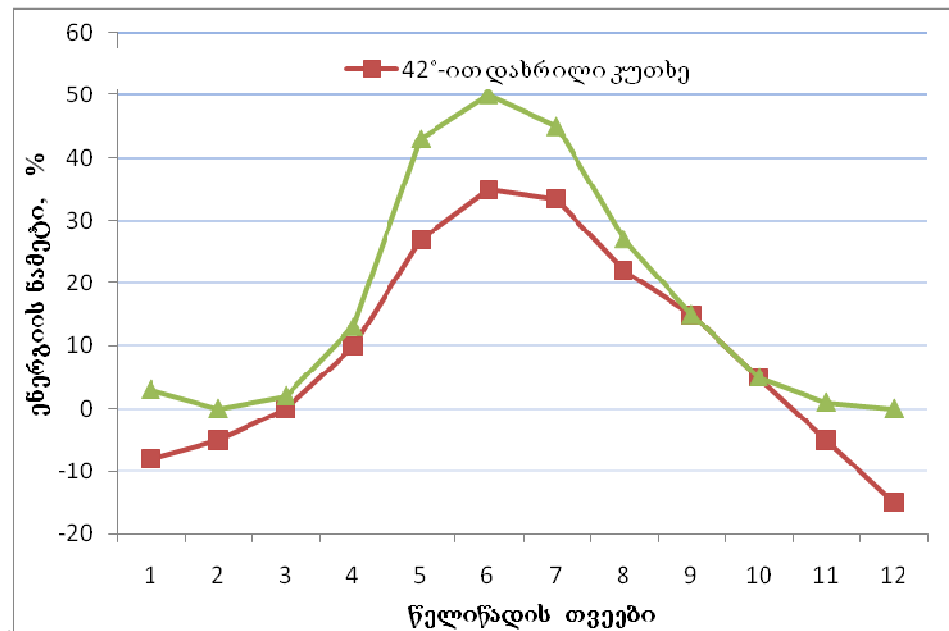
ცხადია, მაქსიმალური ენერჯიის მიღების თვალსაზრისით უმჯობესია ფეგ-ი ყოველთვიურად ოპტიმალური კუთხით განთავსდეს.



ნახ. 29. სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ-ის მიერ საშუალოდ, დღიურად გამომუშავებული ენერჯიები.

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 გამომუშავება. 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%-ით დანაკლისი.

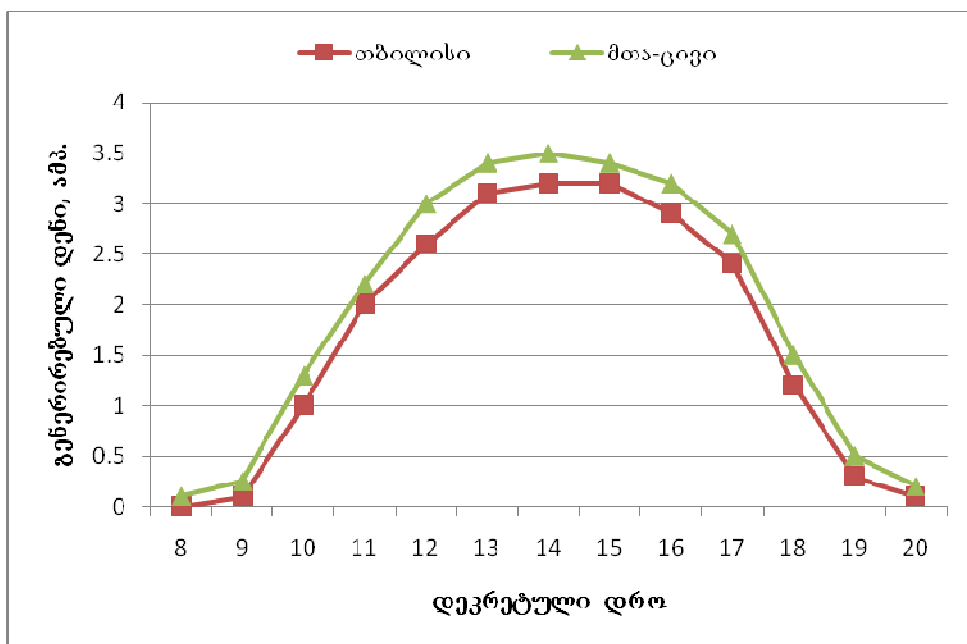


ნახ. 30. სამხრეთის აზიმუტის, ფეგ-ის მიერ გამომუშავებულ ენერჯიათა ნამეტი (დანაკლისი) % ფიქსირებულ პორიზონტისადმი 60°-ით ფეგ-თან შედარებით.

თვეების მიხედვით პორიზონტისადმი 60°-ით დაფიქსირებული ფეგ-ის მიერ გამომუშავებული ენერჯიების ნამეტი (დანაკლისი) სხვადასხვა

მდგომარეობაში დაფიქსირებული იგივე სიმძლავრის ფეგ-თან შედარებით ნაჩვენებია გრაფიკზე (ნახ. 30).

იმ ფაქტის დასადასტურებლად, რომ ზღვის დონიდან სხვადასხვა სიმაღლეზე მზის ჯამური რადიაცია მოწმენდილი ცის პირობებში განსხვავებულია და შესაბამისად ფეგ-ი გამოიმუშავებს განსხვავებულ ენერგიებს ჩატარდა ექსპერიმენტი. თებერვლის თვეში ერთსა და იგივე პირობებში მთა ცივზე და თბილისში ჩატარდა გაზომვები – სამსრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი 60° -ით კუთხით დახრილი 50 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ-ზე. ექსპერიმენტი მიმდინარეობდა ერთსა და იგივე დღეს, მზიან ამინდში. მთა ცივზე იდო თოვლის საფარი, ხოლო თბილისში იყო უთოვლო, მშრალი ამინდი. გაზომვების შედეგები მოცემულია გრაფიკზე (ნახ. 31).



ნახ. 31. მთა ცივზე და თბილისში, სამსრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი 60° -ით კუთხით დახრილი 50 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ-ზე მიერ გენერირებული დენები.

გრაფიკიდან გამომდინარეობს, რომ მთა ცივზე მდებარე ფეგ–ი გამოიმუშავებს 20%-ით მეტ ენერგიას, ვიდრე თბილისში. ენერგიათა ასეთი სხვაობა განპირობებულია იმით, რომ, თბილისსა და მთა ცივს შორის არსებობს სიმაღლეთა სხვაობა, რომელიც შეადგენს დაახლოებით 1500 მეტრს. ამ ფაქტორის გამო, მთა ცივზე მდებარე ფეგ–ის მიმღებ ზედაპირზე ეცემა 10%-ით მეტი მზის ჯამური რადიაცია, რაც განაპირობებს გენერირებული დენის ნამეტის ნახევარს – 10%-ს. დენის ნამეტის მეორე ნახევარი განპირობებულია თოვლიანი ზედაპირიდან არეკლილი და ფეგ–ის მიმღებ ზედაპირზე დაცემული მზის რადიაციით. ამ ფაქტიდან გამომდინარე, ყოველთვის უნდა იყოს გათვალისწინებული ის მომენტი, რომ თოვლიაბ ზამთარში, მზიან ამინდში ფეგ–ი გამოიმუშავებს 20–30%-ით მეტ ენერგიას ვიდრე გამოიმუშავებდა იგივე დროსა და მდგომარეობაში, როდესაც დედამიწის ზედაპირზე თოვლი არ ძეგს.

2.4. საქართველოს ტერიტორიაზე მზის ჯამური რადიაციის განაწილების შეფასება. საქართველოს მზის ახალი კადასტრის შედგენა და მისი გამოყენება ნახევარგამტარულ ფოტოენერგეტიკაში

საქართველოს ტერიტორია გამოირჩევა ბუნებრივ-კლიმატური მრავალფეროვნებით, რომელიც თავის მხრივ განპირობებულია გეოგრაფიული მდებარეობით, რელიეფის პირობებით და ატმოსფეროს ცირკულაციით.

საქართველოს ტერიტორიის ნახევარზე მეტი უჭირავს მთიან რეგიონს – ძლიერ დანაწევრებული რელიეფით, მრავალი სხვადასხვა ორიენტაციის, დახრილობის ქედებით. ამ მრავალფეროვნებიდან გამომდინარე მზის რადიაციის განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე ძლიერ განსხვავებული და არათანაბარია. მზის რადიაციის დონე აღწევს მაქსიმუმს მაღალმთიან ზონაში, სადაც ატმოსფეროში მცირე ტენიანობაა და აქედან გამომდინარე იზრდება ატმოსფეროს გამჭვირვალება.

მთაში, სიმაღლის მატებასთან ერთად, მზის რადიაციის მნიშვნელობათა ზრდა ხშირად კომპენსირდება დანაკარგებით, რომელიც

გამოწვეულია ჰორიზონტის დახურულობით, ფერდობების ორიენტაციითა და დაქანებით.

მთის პირობებში, მზის ჯამურ რადიაციაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს აგრეთვე მთის ფერდობების ყინულოვანი ან თოვლიანი ზედაპირიდან გაბნეული და არეკლილი რადიაცია.

ზაფხულის თვეებში, ჰორიზონტის დახურულობა (იგულისხმება დაბრკოლებები, მაგალითად, რელიეფი, შენობები, ხეები და სხვა, რომლებიც მზის ამოსვლის და ჩასვლის დროის რეჟიმებს ცვლის) იწვევს მზის ექსპოზიციის ხანგრძლივობის შემცირებას დღის განმავლობაში: ყოველი 10 გრადუსის დროს – 0,8-1,2 საათით, 20 გრადუსის დროს – 1-1,5 საათით, ხოლო 30 გრადუსის დროს – 2-2,5 საათით.

ზამთრის თვეებში, ჰორიზონტის დახურულობა იწვევს მზის ექსპოზიციის ხანგრძლივობის შემცირებას დღის განმავლობაში: ყოველი 10 გრადუსის დროს – 1-1,5 საათით, 20 გრადუსის დროს – 3-3,5 საათით, ხოლო 30 გრადუსის დროს მიმდებ ზედაპირს მზის პირდაპირი რადიაცია არ ეცემა.

საქართველოს ტერიტორიაზე ასტრონომიული, მეტეოროლოგიური და ოროგრაფიული (ჰორიზონტის დახურულობა, ზღვის დონიდან სიმაღლე, ფერდობების ორიენტაცია), დამოკიდებულებით იქმნება მზის ნათების ხანგრძლივობის განსაკუთრებული რეჟიმი.

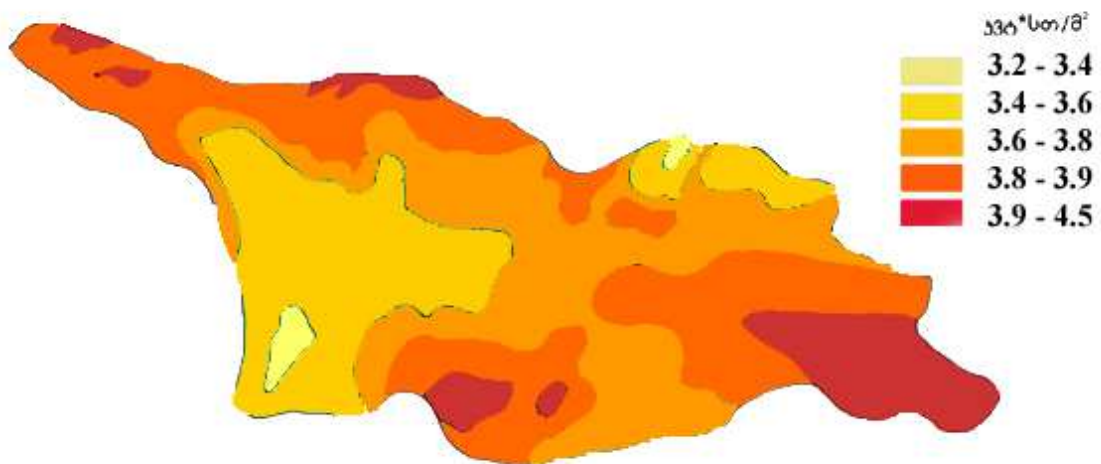
ფაქტიური მონაცემებით, საქართველოს ტერიტორიაზე მზის ნათების ხანგრძლიობა აჭარბებს 1800 – 2400 საათს წელიწადში. მზის ნათების ხანგრძლიობა რეგიონების მიხედვით არათანაბარია, კოლხეთის დაბლობზე კი შეადგენს 1800 – 2000 საათს. მზის ნათების ყველაზე ხანგრძლივი რაოდენობა საათებისა მოდის ქვემო და შიდა ქართლის დაბლობზე – 2000 - 2300 საათი, რაც განპირობებულია, როგორც ოროგრაფიული განსაკუთრებულობით (ჰორიზონტის გაშლილობა), ისე დრუბლიანობის შემცირებით. უნდა აღინიშნოს, რომ მზის ნათების ხანგრძლიობა, წელიწადის თბილ პერიოდში 40-50 პროცენტით მეტია, ვიდრე ცივში.

იგივე შეიძლება ითქვას მზის წლიური ჯამური რადიაციის განაწილების შესახებ. მზის რადიაციის დონე მინიმალურია კოლხეთის დაბლობსა და აჭარის სანაპიროზე: 1250 – 1350 კვტ·სთ/მ²-ზე და მაქსიმალურია მესხეთ-ჯავახეთის ზეგანზე, მთავარი კავკასიონის მაღალმთიანეთში: 1600-1800 კვტ·სთ/მ²-ზე.

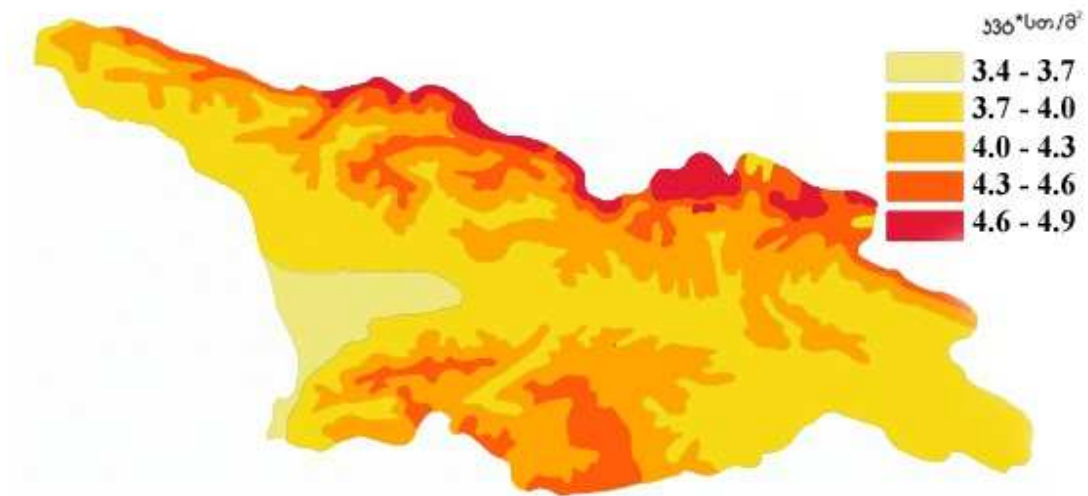
გასული საუკუნის 60-იანი წლების დასაწყისში მეცნიერებმა შეადგინეს საქართველოს პირველი მზის კადასტრი [8] ნახ. 32

აღნიშნული კადასტრი, როგორც ერთი შეხედვით 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/მ²-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. 32 საქართველოს ჰელიო-რესურსების რუკა (ფერადი ვერსია)



ნახ. 33 საქართველოს ახალი მზის კადასტრი

სპეციალურ ლიტერატურაში [3],[4] მოცემულია მზის ჯამური რადიაციის დამოკიდებულება ადგილის სიმაღლეზე დიდი და მცირე კავკასიონისათვის და კოლხეთის დაბლობისათვის. ამ მონაცემებზე დაყრდნობით, შესაძლებელია საქართველოს თითოეული რეგიონისათვის

სიმაღლის განსაზღვრა, რომელზეც გაივლის მზის ჯამური რადიაციის შესაბამისი იზოწირი.

მზის ჯამური რადიაცია საქართველოს ტერიტორიაზე იცვლება 3,4-დან 5,1 კვტ·სთ/მ²-მდე. დიდი კავკასიონის წინა მთიანეთი იღებს დაახლოებით 3,9-დან 4,1 კვტ·სთ/მ²-მდე მზის ენერჯიას დღეში. რადიაციის ყველაზე დიდი მნიშვნელობა 4,7-დან 4,9 კვტ·სთ/მ²-მდე შეიმჩნევა 3000-დან 3500 მეტრ სიმაღლეზე ზღვის დონიდან დიდი კავკასიონის დასავლეთ და ცენტრალური ნაწილის სამხრეთ ფერდობებზე, აგრეთვე ჯავახეთის ზეგანზე. მზის რადიაციის მაქსიმალური მნიშვნელობები 5 კვტ·სთ/მ²-მდე მიიღწევა დიდი კავკასიონის მაღალმთიანეთში ზღვის დონიდან 4000-დან 5000 მეტრამდე.

კოლხეთის დაბლობის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილში ატმოსფერული ცირკულაციის, ღრუბლიანობის რეჟიმის განსაკუთრებულობის გამო, მზის ჯამური რადიაცია დაბალი მნიშვნელობისაა: 3,4-დან 3,8 კვტ·სთ/მ²-მდე დღეში.

საქართველოს მზის კადასტრის დაზუსტებისათვის, ზემოთ მოყვანილი მონაცემების გარდა, გამოყენებულია საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებული რვა აქტინომეტრიული სადგურის: სოხუმი, ანასუელი, სენაკი, წალკა, ყაზბეგი/მ/მთ, რადიონოვკა და ორასი მეტეოსადგურის მონაცემი. ეს მონაცემები განზოგადებულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში (ცხრ. 5).

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

მზის ჯამური რადიაციის გასაზომად გამოყენებული იყო “ონსეტ კომპიუტერ კორპორეიშენის” ხელსაწყოები.

გაზომვები მომდინარეობდა უწყვეტად, თითოეულ პუნქტში, მინიმუმ, ერთი წლის განმავლობაში 2 წუთიანი ინტერვალით. მოკლე ინტერვალებით გაზომვები მაქსიმალურად ზრდის მიღებული მონაცემების სიზუსტეს და შესაბამისად საიმედოობას.

გაზომვების შედეგად მიღებული მონაცემების დამუშავება მოხდა სპეციალური კომპიუტერული პროგრამის მეშვეობით. ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მზის ჯამური რადიაციის საშუალო წლიური მონაცემები 18 სოფლისათვის მოცემულია ცხრილში (ცხრლ. 5) როგორც ცხრილიდან ჩანს, მზის ჯამური რადიაციის საშუალო დღიური მანვენებლები უმეტეს სოფლებში: თოთი, უხათი, ხომი, ღული, აფშო, უკანაფშავი, მათურა, ხოშარა, უკანახო, წინხადუ, არდოტი მაღალი დონისაა (5კვტ.სთ/მ² და მეტი). გამონაკლისს შეადგენენ სოფლები: მუცო, ხახაბო, ხონისჭალა, ზეისტქო, ინო, ჭინო, კაწალხევი. მზის ჯამური რადიაციის ასეთი მნიშვნელობები გამოწვეულია მზის დაბალი ინსოლაციით, რაც თავის მხრივ განპირობებულია ამ სოფლების ოროგრაფიით – ჰორიზონტის დახურულობით.

ცხრილი 5.

ფშავ-ხევსურეთის და ხევის 18 სოფლის მზის ჯამური რადიაციის მონაცემები.

სოფლები	თოთი	უხათი	ინო	ხომი	კაწალხევი	აფშო	უკანაფშავი	მათურა	ხოშარა	ჭინო	ღული	უკანახო	ზეისტქო	წინხადუ	არდოტი	ხონისჭალა	მუცო	ხახაბო
კვტ.სთ/მ ²	5.6	5.5	4.1	4.6	5.1	5.5	5.4	5.4	4.4	4.6	5.0	4.8	5.1	5.0	5.1	4.8	3.1	3.9

კვლევებმა კიდევ ერთხელ დაადასტურეს ვარაუდები მაღალმთიან რეგიონებში მზის ჯამური რადიაციის მაღალი მნიშვნელობების შესახებ.

საქართველოს ტერიტორიაზე მზის ჯამური რადიაციის სივრცობრივი განაწილებისათვის ცხრილში მოცემულ მნიშვნელობებთან ერთად, საჭიროა გამოვიყენოთ საქართველოს გიფსომეტრიული რუკა, სიმაღლეთა შესაბამისი იზოწირებით. გარდა ამისა, ვითვალისწინებთ ბოლო 15 წლის, ჩვენს პრაქტიკულ გამოცდილებას: საქართველოს ტერიტორიის სხვადასხვა ნაწილში არსებული 100-ზე მეტი მზის ფოტოელექტრული სისტემების ფუნქციონირებაზე დაკვირვების მონაცემებს და აგრეთვე 20-ზე მეტ პუნქტში, მზის რადიაციის უშუალო გაზომვის შედეგებს.

ზემოთ თქმულის შეჯერებით, საქართველოს მზის რადიაციის რუკა-კადასტრი ზონების მიხედვით დაყოფილი, შეიძლება შემდგენაირად წარმოვადგინოთ, ნახ. 33.

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

ზონა I. მზის ჯამური რადიაციის საშუალო დღიური მნიშვნელობით 3,4-დან 3,7 კვტ·სთ/მ²-მდე მოიცავს აჭარის ზღვისპირა რაიონებს. აქ მზის ნახევარგამტარული მზის ფოტოელექტრო სისტემების გამოყენება შედარებით ნაკლებეფექტურია.

ზონა II. მზის ჯამური რადიაციის საშუალო დღიური მნიშვნელობით 3,7-დან 4,0 კვტ·სთ/მ²-მდე, მოიცავს შირაქის ზეგანს. კახეთს, ქვემო ქართლს, შიდა ქართლის შუა ნაწილს – ზემო იმერეთს, სამეგრელოს ჩრდილოეთ ნაწილს, აფხაზეთის ზღვისპირეთს და ზემო აჭარას. აქ მზის ნახევარგამტარული მზის ფოტოელექტრული სისტემების გამოყენება შედარებით ეფექტურია.

ზონა III. მზის ჯამური რადიაციის საშუალო დღიური მნიშვნელობით 4,0-დან 4,3 კვტ·სთ/მ²-მდე მოიცავს დიდი და მცირე კავკასიონის წინა მთიანეთს 1000-დან 2000 მეტრს ზღვის დონიდან. აქ მზის

ნახევარგამტარული მზის ფოტოელექტრო სისტემების გამოყენება შედარებით ეფექტურია.

ზონა IV. მზის ჯამური რადიაციის საშუალო დღიური მნიშვნელობით 4,3-დან 4,6 კვტ·სთ/მ²-მდე, მოიცავს დიდი კავკასიონის წინა მთიანეთს 2000-დან 3000 მეტრს ზღვის დონიდან და მესხეთ-ჯავახეთის ზეგანს. აქ მზის ნახევარგამტარული მზის ფოტოელექტრო სისტემების გამოყენება მაღალ ეფექტურია.

ზონა V. მზის ჯამური რადიაციის საშუალო დღიური მნიშვნელობით 4,6-დან 4,9 კვტ·სთ/მ²-მდე, მოიცავს დიდი კავკასიონის ქედის მწვერვალებს 3000-დან 5000 მეტრამდე ზღვის დონიდან. აქ მზის ნახევარგამტარული მზის ფოტოელექტრო სისტემების გამოყენება მაღალ ეფექტურია.

2.5. მზის ფოტოელექტრული სისტემების ელექტრული პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდის შემუშავება

მზის ავტონომიური ფეს-ის ძირითადი დანიშნულებაა არაელექტროფიცირებული ობიექტების ელექტრო მომარაგება. ხშირ შემთხვევებში ამ ობიექტებზე ავტონომიურმა ფეს-მა უნდა უზრუნველყოს ელექტრო დატვირთვის გარანტირებული, უწყვეტი ელექტრო კვება კლიმატის – ამინდის ნებისმიერი პირობების დროს. მკაცრი ტექნიკური ამოცანიდან გამომდინარე, აუცილებელია ფეს-ის კომპონენტების: ფეგ-ის, დამუხტვის კონტროლერის, აკუმულატორის, ინვერტორის და კონვერტორის ელექტრო პარამეტრების ოპტიმალური გაანგარიშება, რომ ერთის მხრივ, უეჭველად განხორციელდეს დატვირთვის უწყვეტი და გარანტირებული კვება, მეორეს მხრივ, ზედმეტი სიმძლავრის გამო არ მოხდეს სისტემის ღირებულების გაზრდა. ანუ სისტემის ღირებულება იყოს შესაძლოდ მინიმალური.

მზის ავტონომიური ფეს-ის ძირითადი ელექტრული პარამეტრებია:

1. ფეგ-ისთვის პიკური სიმძლავრე, ანუ სიმძლავრე, რომელსაც იგი გამოიმუშავებს, როდესაც მის მიმღებ ზედაპირზე

მართებულად ეცემა 1000 ვტ/მ² ინტენსიობის სინათლის ნაკადი 25°C გარემოს ტემპერატურის დროს;

2. აკუმულატორისთვის – ელექტროტევადობა და სამუშაო ძაბვა;
3. კონტროლერისთვის – დამმუხტვის მაქსიმალური დენი;
4. ინვერტორისთვის და კონვერტორისთვის, ნომინალური და მაქსიმალური სიმძლავრე.

მზის ავტონომიური ფეს–ის ელექტრული პარამეტრების გაანგარიშებისათვის საჭიროა ორი ძირითადი მონაცემი: დატვირთვის მიერ, დღე–ღამის განმავლობაში მოხმარებული ენერჯის რაოდენობა და იმ ადგილის გეოგრაფიული კოორდინატები (ადგილმდებარეობა), სადაც უნდა იფუნქციონიროს სისტემა. ეს უკანასკნელი უნდა შეიცავდეს ინფორმაციას – ადგილის ოროგრაფიაზე და ზღვის დონიდან მდებარეობაზე (ანუ რადიაციულ ზონაზე).

მზის ავტონომიური ფეს–ის პროექტირების მკაცრად ჩამოყალიბებული მეთოდика არ არსებობს. ლიტერატურაში მოცემულია ლოგიკურ მსჯელობაზე აგებული ვარაუდები, რომელიც ეფუძნება მზის ინსტალაციის კოეფიციენტს (დღის განმავლობაში მზის სინათლის ნაკადის დასხივების ხანგრძლივობა საათებში) და დატვირთვის მიერ მოხმარებული ენერჯის დღე–ღამურ ხარჯს.

ჩვენი ვარაუდით, მზის ინსოლაციის კოეფიციენტის მიხედვით, მზის ავტონომიური ფეს–ის გაანგარიშება ოპტიმალური არ იქნება, რადგან მიმღებ ზედაპირზე დღის განმავლობაში სხვადასხვა ინტენსიობის სინათლის ნაკადი ეცემა: ღრუბლიანობის, ჰაერის გამჭვირვალობის ხარისხის და ცის კაბადონზე მზის ტრექტორიის გამო. ამიტომ ინსოლაციის კოეფიციენტი რეალურად ვერ გამოდგება დღის განმავლობაში ფეს–ის მიმღებ ზედაპირზე დაცემული მზის ენერჯის და აქედან გამომდინარე მის მიერ გარდაქმნილი ელექტრული ენერჯის რეალური შეფასებისათვის. განსაკუთრებით ეს მიდგომა მიუღებელია საქართველოს პირობებისათვის, რადგან საქართველო გამოირჩევა რთული რელიეფით. ქვეყნის ზედაპირი იცვლება 0-დან 5033 მეტრამდე. სიმაღლის

ცვალებადობიდან გამომდინარე იცვლება ჰაერის გამჭვირვალობა და შესაბამისად, მზის ჯამური რადიაცია, განსაკუთრებით მთაში, როდესაც ფერდობებზე თოვლის საფარია.

პრაქტიკული გამოცდილებიდან გამომდინარე, ჩვენი აზრით უმჯობესია ფეგ-ის მიმღებ ზედაპირზე დაცემული მზის ენერგია შეფასდეს მზის ჯამური რადიაციის მიხედვით, ეს პარამეტრი უფრო უნივერსალურია, ვიდრე ინსოლაციის კოეფიციენტი.

კლიმატის ცნობარებში, მზის ჯამური რადიაციის მნიშვნელობები მოყვანილია ჰორიზონტალური ზედაპირებისათვის.

მზის ფეგ-ის მიმღები ზედაპირი კი პრაქტიკაში უმეტესწილად ჰორიზონტისადმი დახრილია 60° (ზამთრის საშუალო ოპტიმალური კუთხე), 42° (წლის საშუალო ოპტიმალური კუთხე) და თვეების მიხედვით ოპტიმალური კუთხეებით. ამიტომ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე, მზის ჯამური რადიაციის მნიშვნელობებს უშუალოდ ვერ გამოვიყენებთ მზის ფეს-ის ფუნქციონირების შესაფასებლად. ფეს-ის პროექტირებისას, მისი პარამეტრების გამოთვლების გამარტივების მიზნით საჭიროა ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მზის ჯამური რადიაცია გადაანგარიშდეს იმ დახრილი ზედაპირისათვის, როგორცაა დაფიქსირებული ფეგ-ის მიმღები ზედაპირი.

დანართში მოცემულ ცხრილში (ცხრ. 1) შესულია საქართველოს ტერიტორიაზე მდებარე 25 პუნქტისთვის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მზის ჯამური რადიაციის მონაცემები წელიწადის თვეების მიხედვით.

შესაბამისი გადასაყვანი კოეფიციენტების საშუალებით (ნახ. 25) დანართის ცხრილ №1-ში მოცემული ჰორიზონტალურ ზედაპირზე ჯამური რადიაციის მნიშვნელობები, ჩამოთვლილი დახრილი ზედაპირებისათვის ტრანსფორმაციის შედეგად შემდეგ მნიშვნელობებს მიიღებს (დანართი, ცხრილები 2, 3, 4).

ცნობილია, რომ ფეგ-ი მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტიდან (მქკ) გამომდინარე, მასზე დაცემული მზის ენერგიის გარკვეულ ნაწილს გარდაქმნის ელექტრული ენერგიად. მაგალითად, 1 მ^2 აქტიური ფართობის

მქონე ფეგ-ი, თუ მისი მქც 15%-ია, სტანდარტული დასხივების (1000 ვტ/მ² ინტენსიობის სინათლის ენერგია) დროს გამოიმუშავებს 150 ვატ სიმძლავრეს. მაგრამ პრაქტიკაში, ხშირად საჭიროა იმის ცოდნა, თუ ენერჯის რა რაოდენობა შეიძლება გამოიმუშავოს გარკვეული პიკური სიმძლავრის (მაგ, 100 ვატი) ფეგ-მა მისი ზედაპირის სხვადასხვა ორიენტაციის და ამინდის სხვადასხვა პირობებში (ანუ მასზე დაცემული სინათლის ნაკადის სხვადასხვა მიმართულების და ინტენსიობის დროს).

დასმული ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით თბილისში, წლების განმავლობაში ამინდის სხვადასხვა პირობებში და ფეგ-ის მიმღები ზედაპირის სხვადასხვა ორიენტაციის დროს ჩატარდა ექსპერიმენტები, რომლის შედეგები ნაჩვენებია გრაფიკებში (ნახ. 27). ამ გრაფიკის მონაცემებს თუ მივცემთ ცხრილის სახეს (ცხრ. 6) და შევადარებთ კლიმატის ცნობარებიდან [5], [6] აღებულ და შესაბამისი გადასაყვანი კოეფიციენტებით (ნახ. 25) ტრამსფორმირებულ მონაცემებს, (ცხრ. 7) ცხადად დავინახავთ, რომ, ფეგ-ის მიმღებ ზედაპირზე დაცემული მზის ჯამური რადიაციის დაახლოებით მეათედის გარდაქმნა ხდება ელექტროენერგიად. მზის ფეგ-ის მიერ გამოიმუშავებული ენერჯის ეს რაოდენობები არ შეიძლება ჩაითვალოს საბოლოოდ სასარგებლო ენერგიად, რომელიც ელექტრო დატვირთვამ უნდა მოიხმაროს. ენერჯის შემდგომი დანაკარგები წარმოიქმნება: აკუმულატორის დამუხტვა-განმუხტვის პროცესში ($\approx 20\%$) და ფეგ-ის შემადგენელ ელექტრონულ ბლოკებში – კონტროლერს, ინვერტორსა და კონვერტორში ($\approx 10\%$).

საბოლოო ჯამში ელექტრული მომხმარებელი მოიხმარს ფეგ-ის მიერ გამოიმუშავებული ელექტრული ენერჯის დაახლოებით 70-75%.

ცხრილიდან (დანართი, ცხრ. 4) ჩანს, რომ 100 ვტ პიკური სიმძლავრის ფეგ-ი მინიმალურ ენერჯიას გამოიმუშავებს დეკემბერში – დღიურად საშუალოდ 316.9 ვტ·სთ-ს. ამ რაოდენობის ენერჯიიდან სასარგებლოდ - რომელსაც რეალურად დატვირთვა მოიხმარს, იქნება რეალურად 221 ვტ·სთ.

ცხრილი 6.

სამხრეთის ორიენტაციის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის მზის ფეგ-ის მიერ გამოიმუშავებული ენერჯიების 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

ცხრილი 7.

მზის ჯამური რადიაციის საშუალო დღიური მონაცემები სამხრეთის ორიენტაციის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი ზედაპირებისათვის, ქ. თბილისში, კვტ-სთ/მ²

კუთხ.	თვეები												საშ. დღ.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
60°	3,32	3,77	4,37	3,32	3,77	4,12	4,35	5,06	4,93	4,61	3,18	3,17	4,00
42°	3,06	3,43	4,27	3,99	4,81	5,52	5,65	6,03	5,74	4,91	3,13	2,82	4,45
ოპტიმ.	3,44	3,77	4,41	4,44	5,36	6,15	6,21	6,20	5,36	4,64	3,18	3,21	4,70

შემდგომი გამოთვლების გამარტივების მიზნით შემოვიტანოთ კოეფიციენტი, პირობითი სახელწოდებით “ფეგ-ის კოეფიციენტი”, რომელიც რიცხობრივად ტოლი იქნება შეფარდებისა ფეგ-ის პიკურ სიმძლავრესა და მის მიერ, დროის გარკვეულ პერიოდში (თვე, კვარტალი, წელიწადი) გამოიმუშავებულ საშუალო დღიური მინიმალურ სასარგებლო ენერჯიასთან.

დანართში მოყვანილი ცხრილების (ცხრ. 2, 3, 4.) მონაცემების გამოყენებით, თუ წინასწარ გამოვიანგარიშებთ ფეგ-ის კოეფიციენტს პუნქტებისთვის, ან ზოგადად ზონებისთვის, სხვადასხვა დახრილობის ფეგ-ისათვის, მაშინ მარტივადაა შესაძლებელი მზის ფეგ-ის პიკური სიმძლავრის განსაზღვრა, რომელიც გარანტირებულად უზრუნველყოფს

ელექტრული დატვირთვის კვებას მოცემულ პუნქტში (ზონაში) ამინდის ყველაზე მკაცრი პირობების დროსაც კი.

თბილისისთვის სამხრეთი აზიმუტის 60°-ით დაფიქსირებული მზის ფეგ-ისთვის ეს კოეფიციენტი ტოლია

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

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

თბილისისათვის ცხრილის (ცხრ. 6) მონაცემების გამოყენებით შეიძლება გამოითვალოს ეს კოეფიციენტი ფეგ-ის დახრის სხვა კუთხეებისათვის. მაგალითად, ჰორიზონტისადმი 42°-ით დახრილი ფეგ-ისთვის $K_0 = 100/198 \approx 0.5$

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

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

$$K_{ფ} = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot K_0$$

სადაც, $K_{ფ}$ - 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.

ცხრილების მონაცემების (დანართი, ცხრ. 2, 3, 4.) საფუძველზე, ზემოთმოყვანილი ფორმულის საშუალებით, მარტივად შეგვიძლია გამოვთვალოთ ფეგ-ის კოეფიციენტები, ცხრილში ჩამოთვლილი ყველა პუნქტისთვის, აგრეთვე, ზოგადად, მზის რადიაციული ზონისთვის, ფეგ-ის

ჰორიზონტისადმი დახრის სხვადასხვა კუთხისა და წელიწადის თვეებისათვის.

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

$$W_3 = K_{ფ} \cdot P \quad (7)$$

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 ენერჯია, რომელსაც მოიხმარს დატვირთვა დღე-ღამის განმავლობაში (ვტ·სთ).

მზის ფეს-ის მეორე ძირითადი კომპონენტის – აკუმულატორული ბატარეის ტევადობის განსაზღვრისათვის, დატვირთვის მიერ მოხმარებულ ენერჯიასთან ერთად გადამწვევტია უმზეო დღეების რაოდენობის სტატისტიკა იმ პუნქტისა ან ზოგადად ზონისა, სადაც ზოგადად უნდა იფუნქციონიროს მზის ფეს-მა (დანართი, ცხრ. 5).

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

აკუმულატორის ელექტროტევადობის გამოთვლისას ყველაზე მკაცრი ტექნიკური პირობებისთვის უნდა დაუშვათ, 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 ენერჯიაზე (ამპერ·სთ) იმდენჯერ მეტი, რამდენი უმზეო დღეც არის თვეში.

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

$$C = K_b \cdot \frac{P}{V} \quad (8)$$

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 8.

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 ²	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. 8

უნდა აღინიშნოს, რომ ცხრილში (ცხრ.13) მოცემული ფეგ-ის და ბატარეის ზონალური კოეფიციენტების პირდაპირი გამოყენება მზის ფეგ-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.

ცხრილების (ცხრ. 8 და დანართის ცხრილები 2, 3, 4, 5) მონაცემები, დატვირთვის ელექტრო ენერჯის დღე-ღამურ ხარჯთან ერთად საკმარისი მოცემულობაა, მზის ფოტოელექტრო სისტემის პროექტირებისათვის.

მზის ფოტოელექტრული პარამეტრის გაანგარიშება ზოგადად შეიძლება განხორციელდეს მკაცრი, ან ნაკლებად მკაცრი ტექნიკური პირობებისათვის.

მკაცრ ტექნიკურ პირობაში, იგულისხმება, კლიმატის ნებისმიერ ექსტრემალურ პირობებში, დატვირთვის უწყვეტი, გარანტირებული უზრუნველყოფა. ასეთი პირობების უზრუნველყოფა უმეტესწილად საჭიროა ტელესაკომუნიკაციო, ელექტრონული დაცვის და თვალთვალის სისტემებისთვის.

ნაკლებად მკაცრ ტექნიკურ პირობად შეიძლება ჩაითვალოს ისეთი შემთხვევები, როდესაც დატვირთვის ელექტრო კვების წყვეტა ერთეულ ექსტრემალურ შემთხვევებში, მაგ: ხანგრძლივი უამინდობა – დასაშვებია.

პრაქტიკულ მაგალითებზე განვიხილოთ თითოეული ტექნიკური პირობისთვის მზის ფეგ-ის პარამეტრების გაანგარიშება:

I ამოცანა.

მოცემულობა: დავუშვათ, ჯვრის უღელტეხილზე, მთელი წლის განმავლობაში, საჭიროა ტელე-საკომუნიკაციო ანძაზე რეტრანსლატორის უწყვეტი, გარანტირებული ელექტრო კვება. მოწყობილობის სიმძლავრეა –

10 ვატი, სამუშაო ძაბვა – 12 ვოლტი, ჩართვის 24 საათიანი რეჟიმი (მუდმივ ჩართული).

ამოცანის გადაწყვეტა – სისტემის გაანგარიშება:

გამოვთვალეთ მოწყობილობის მიერ დღე-ღამის განმავლობაში მოხმარებული ენერჯია

$$P=10\text{ვტ}\cdot 24\text{სთ}=240\text{ვტ}\cdot\text{სთ}$$

რადგან მოწყობილობა მდებარეობს ანძაზე, მიუვალ ადგილზე, ამიტომ მზის ფეგ-ი საჭიროა დამაგრდეს ფიქსირებულად ჰორიზონტისადმი დახრილად, ზამთრის ოპტიმალური 60°-ანი კუთხით.

ჯვრის უღელტეხილისთვის ცხრილი 7-დან ვიღებთ მონაცემს –ფეგ-ის და ბატარეული კოეფიციენტების მნიშვნელობებს და ფორმულებით, შესაბამისად, გამოვთვლით ფეგ-ის პიკურ სიმძლავრეს და აკუმულატორული ბატარეის ტევადობას.

$$W_3=K_{ფ}\cdot P=0,35\cdot 240\text{ვტ}\cdot\text{სთ}=84\text{ვტ}$$

$$C=K_{ბ}\cdot\frac{P}{V}=11\cdot\frac{240}{12}=220\text{ამპ}\cdot\text{სთ}$$

კონტროლერის ამპერაჟი ტოლი იქნება

$$A=\frac{W}{12}=\frac{84}{12}=7\text{ამპ}$$

რადგან მოწყობილობა მუშაობს 12 ვოლტზე, ინვერტორი და კონვერტორი არ გამოყენება სისტემაში და შესაბამისად მათი გათვლა არ არის საჭირო.

როდესაც მზის ფეგ-ის (მოდულის, აკუმულატორის და კონტროლერის გაანგარიშებული მნიშვნელოები არ ემთხვევა არსებულ სტანდარტულ მონაცემებს, მაშინ საჭიროა გამოვიყენოთ მოწყობილობები, რომელთა პარამეტრები მეტობით მიახლოებულია გაანგარიშებულთან. მაგალითად, მზის ბატარეას ვიღებთ: 85 ვატი სიმძლავრის (და არა 80ვტ), აკუმულატორს 230 ამპ·სთ (და არა 210ამპ·სთ), კონტროლერს 8-10 ამპერის (და არა 5 ამპერის).

II ამოცანა.

მოცემულობა: საყოფაცხოვრებო. ნაკლებად მკაცრი ტექნიკური პირობით.

დავუშვათ, თუშეთში, სოფელ ომალოში, ზაფხულის პერიოდში, გარკვეული დროითი რეჟიმით, საჭიროა შემდეგი ელექტრული მოწყობილობების კვება:

1 – განათება: 10 ვტ-იანი 10 ცალი ნათურა 6 სათით დღე-ღამეში.

2 – ტელევიზორი 100 ვატ-იანი 1 ცალი დღე-ღამეში.

3 – მაცივარი 200 ვტ-იანი სასტარტო სიმძლავრით – 1000ვტ, დღე-ღამური ელექტრო მოხმარებით 800 ვტ·სთ.

4 – სარეცხი მანქანა 200 ვტ-იანი, სასტარტო სიმძლავრით 1000ვტ, ენერჯის დღე-ღამური ხარჯვით 300 ვტ·სთ.

ამოცანის გადაწყვეტა – სისტემის განგარიშება:

ვანგარიშობთ ყველა ელექტრო მოწყობილობის ელექტრო ენერჯის ჯამურ ხარჯს დღე-ღამეში.

$$P=6 \times 10 \text{ ვტ} \times 6 \text{ სთ} + 100 \text{ ვტ} \times 6 \text{ სთ} + 800 \text{ ვტ} \cdot \text{სთ} + 300 \text{ ვტ} \cdot \text{სთ} = 2300 \text{ ვტ} \cdot \text{სთ}$$

ომალოსთვის, ზაფხულის პერიოდისთვის, ცხრილებით (დანართი, ცხრ. 3) ვანგარიშობთ ფეგ-ის კოეფიციენტს, რომელიც $K_{ფ} = 0,29$.

ვანგარიშობთ მზის ფეგ-ის პიკურ სიმძლავრეს:

$$W = K \cdot P = 0,29 \cdot 2300 \text{ ვტ} \cdot \text{სთ} = 667 \text{ ვტ}$$

ვინაიდან ომალოსთვის უმზეო დღეების სტატისტიკა არ არსებობს, მიახლოებით შეგვიძლია ის ჩავთვალოთ 4-ის ტოლად.

ვანგარიშობთ აკუმულატორის ტევადობას

$$C = K \cdot \frac{P}{V} = 4 \cdot \frac{2300}{24} = 383 \text{ ამპ} \cdot \text{სთ}$$

ინვერტორის მაქსიმალური სიმძლავრე იქნება

$$40 + 100 + 1000 + 1000 = 2140 \text{ ვტ}$$

ინვერტორის ნომინალური სიმძლავრე იქნება

$$100 + 100 + 200 + 200 = 600 \text{ ვტ}$$

მონაცემთა დამრგვალების შემდეგ მივიღებთ მზის ფეს-ის შემდეგ ელექტრო პარამეტრებს:

- მზის ფეს-ის პიკური სიმძლავრე – 700ვტ;
- აკუმულატორული ბატარეის ტევადობა - 400 ამპ·სთ (24ვ);
- ინვერტორის მაქსიმალური სიმძლავრე – 2200ვტ;
- ინვერტორის ნომინალური სიმძლავრე – 600ვტ;
- მზის დამუხტვის კონტროლერის ამპერაჟი – $700/24 \approx 30$ ამპ.

2.6. მზის ენერჯის მცირე სიმძლავრის ნახევარგამტარული, ფოტოელექტრული სისტემების კლასიფიკაცია. გამოყენების სფეროების და მოთხოვნების მოცულობის განსაზღვრა საქართველოში

მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული გარდამქმნელი მზის სხივურ ენერჯიას უშუალოდ გარდაქმნის ელექტრულ ენერჯიად. იგი ითვლება ყველაზე სუფთა დენის წყაროდ და გააჩნია დიდი პერსპექტივები. მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული სისტემა ძირითადად შედგება სამი ძირითადი ნაწილისგან: 1. ფოტოელექტრული გარდამქმნელი – ე.წ. მზის ბატარეა; 2. დამუხტვის კონტროლერი; 3. აკუმულატორული ბატარეა.

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 (ნახ. 34).

პიკო – სისტემებია, რომელთა პიკური სიმძლავრეა რამოდენიმე ათეული ვატი. მათ (ნანოსგან) დამატებით შეუძლიათ მცირე სიმძლავრის მუსიკალური ცენტრის, LCD ტელევიზორის, ენერგოდამზოვი – ლუმენსენციური და შექლიოდური (LED) ნათურების ელექტრო კვება (ნახ. 34).



ნახ. 34 მზის ნანო (მობილურთან ერთად) და პიკო ფეს-ები



ნახ. 35 მზის მიკრო (მარცხნივ) და მცირე (მარჯვნივ) ფეს-ები

მიკრო – სისტემებია, რომელთა პიკური სიმძლავრეა რამოდენიმე ასეული ვატი. მათ მიერ გამოიყენებული ენერგია საკმარისია 220 ვოლტიანი ტექნიკის: აუდიო–ვიდეო მოწყობილობების, განათების სისტემის და სხვა ელექტროკვებისათვის (ნახ. 35).

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

სარეცხი მანქანის, სამზარეულო ტექნიკის (გამათბობლების გარდა) ელექტროკვება (ნახ. 35).

დიდი – სისტემები რამოდენიმე კილოვატი სიმძლავრით, მათ სრულად შეუძლიათ უზრუნველყონ ბინა მზიდან გამომჟამავებული ელექტროენერგიით, გათბობის გარდა (ნახ. 36 და 37).



ნახ. 36 მზის დიდი ფეს-ი სოფელ ომალოში



ნახ. 37 მზის დიდი ფესი ფოთში კოლხეთის ეროვნული პარკის ვიზიტორთა ცენტრის შენობაზე

საქართველოს რთული რელიეფიდან გამომდინარე მისი ტერიტორია ელექტრო 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.

დღეისათვის საქართველოში 200-ზე მეტი არაელექტროფიცირებული სოფელია, რომელშიც დაახლოებით 1000-მდე კომლი ცხოვრობს. სოფლები მეტწილად მაღალმთიანი, ძნელად მისასვლელია. ბევრ სოფელში სამანქანო გზაც კი არ მიდის. ამ სოფლების მიერთება ცენტრალურ ელექტრო ქსელებთან პრაქტიკულად უპერსპექტივოა. რჩება ერთ-ერთი ალტერნატიული გზა – მზის ფეს-ების გამოყენებით მათი ენერგო მომარაგება. თითოეული კომლისთვის საჭიროა 50-დან 150 ვატამდე პიკური სიმძლავრის მზის ფეს-ი.

ჩვენი საპატრიარქოს ინფორმაციით საქართველოს ტერიტორიაზე ასზე მეტი დიდი და პატარა არაელექტროფიცირებული მონასტერია, რადგან მათი უმეტესობა ძნელად მისადგომ ადგილებშია აშენებული, ცენტრალური ელექტრო ქსელებიდან საკამო დაშორებით. თითოეული მონასტრის ენერგიით უზრუნველსაყოფად საკმარისია 100-დან 300 ვატამდე პიკური სიმძლავრის მზის ფეს-ი.

საქართველოს სააზღვრო დეპარტამენტის უმეტეს (მეტწილად ჩრდილოეთის საზღვარზე) სასაზღვრო საგუშაგოებზე ცენტრალური ელექტრო მომარაგება არ არსებობს. განსაკუთრებით ეს ეხება სეზონურ საგუშაგოებს. ასეთი საგუშაგოების რაოდენობა დაახლოებით ორმოცდაათია. მათი უზრუნველყოფისათვის საჭიროა 200-დან 300 ვატამდე პიკური სიმძლავრის მზის ფეს-ი.

საქართველოში ათზე მეტი დაცული ტერიტორიაა, რომელებიც აერთიანებენ სახელმწიფო ნაკრძალებს, ეროვნულ პარკებს, ბუნების

ძეგლებს, აღკვეთილებს და დაცულ ლანდშაფტებს. დაცული ტერიტორიაზე არსებული ინფრასტრუქტურის, რეინჯერთა სახლების, ტურისტთა თავშესაფრების, სამეცნიერო სადგურების და სხვა უმეტესობა არაელექტროფიცირებულია. თითოეული ობიექტის ელექტრო ენერჯით მომარაგებისათვის საჭიროა 100-დან 500 ვატამდე პიკური სიმძლავრის მზის ფეს-ი.

საქართველოში ორმოცდაათზე მეტი მეცხვარეობის კერძო მეურნეობაა, რომლებიც მომთაბარეობას ეწევიან. ზაფხულში ცხვრის ფარები მთის იალაღებზე იმყოფება, ხოლო ზამთარში შირაქისა და ელდარის დაბლობზე. მთაშიც და ბარშიც მეცხვარეები მოკლებულნი არიან ელექტრო ენერჯიას. მეცხვარეობის მეურნეობებისთვის საჭიროა 100-დან 300 ვატამდე პიკური სიმძლავრის დასაშლელ-გადასატანი მზის ფეს-ი.

საქართველოში მობილური კავშირის, ინტერნეტის და სხვა კომუნიკაციების სწრაფი ტემპით განვითარება წარმოშობს მზის ფეს-ების გამოყენების აუცილებლობას ტელესაკომუნიკაციო რეტრანსლატორებზე. როგორც წესი, რეტრანსლატორები განლაგებულია მიუვალ, არაელექტროფიცირებულ მთიან ადგილებში. თანამედროვე ტელე-საკომუნიკაციო რეტრანსლატორების ენერჯო უზრუნველსაყოფად საკმარისია 100-დან 300 ვატამდე პიკური სიმძლავრის მზის ფეს-ი.

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი სფეროებისა მზის ფეს-ები საქართველოში აგრეთვე გამოყენებულია და მომავალშიც იქნება გამოყენებული: სეისმოსადგურებში, დასაცავ ობიექტებზე, საავტომობილო და სარკინიგზო მაგისტრალებზე, სამედიცინო და საგანმანათლებლო დაწესებულებებზე, ქალაქ გარე აგარაკებზე და სხვა.

ცხრილში (ცხრ. 9) მოცემულია საქართველოში მზის ფეს-ების გამოყენების სფეროები. ინსტალირებულ და ახლო პერსპექტივაში დასაინსტალირებელი სისტემების რაოდენობა და ჯამური სიმძლავრე. ამჟამინდელი მონაცემებით საქართველოში სულ ინსტალირებულია ~ 300-მდე მზის ფეს-ი, ~ 100 კვტ ჯამური პიკური სიმძლავრით.

ნახაზზე 39 გამოსახულია კომპანია “მზის სახლის” მიერ საქართველოს ტერიტორიაზე ინსტალირებული მზის ფეს-ები.

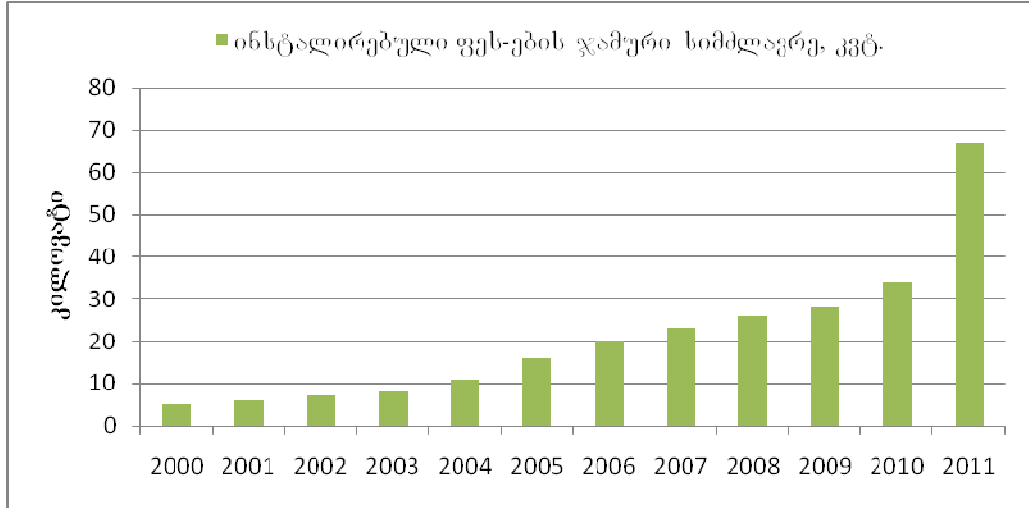
ცხრილი 9.

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	–

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. ხოლო, თუ აღნიშნულ პერიოდში, საქართველოში შესაძლებელი გახდა, ამ სფეროში ევროკავშირის ქვეყნებში მიღებული მსგავსი საკანონმდებლო ინიციატივების განხორციელება, როგორც არის მზის ფეს-ისგან გამომჟღავნებული ენერჯის შეღავათიანი ტარიფით შესყიდვა, მაშინ მზის ნახევარგამტარული ფოტოენერგეტიკა შეიძლება

არნახული ტემპებით განვითარდეს და ზემოთ მოყვანილ პროგნოზს 1000-ჯერ გადააჭარბოს მასშტაბებით.



ნახ. 38. მზის ნახევარგამტარული მცირე ფოტოენერგეტიკის განვითარების დინამიკა საქართველოში.



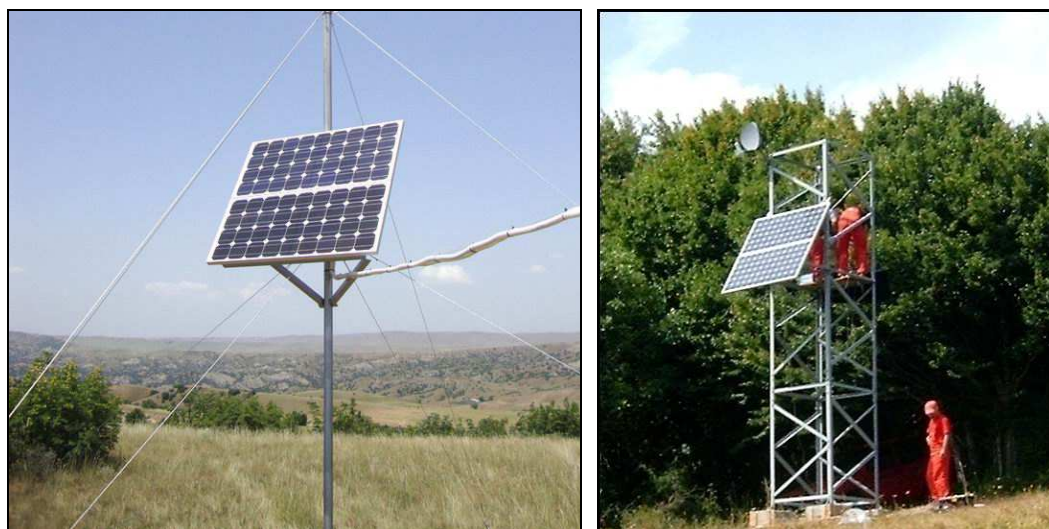
ნახ 39. კომპანია “მზის სახლის” მიერ ინსტალირებული მზის ფესების რუკა

2.7. 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.



ნახ. 40. დამრეც სახურავზე უშუალოდ დამაგრებული ფეგ-ები სოფელ ომალოში



ნახ. 41. ერთმალიან (ვაშლოვანის ნაკრძალი) და მრავალმალიან (ციფ-გომბორის ქედი) ანძაზე დამაგრებული ფეგ-ი



ნახ. 42. უშუალოდ მიწაზე დამაგრებული ფეგები დაბა გუდაურში და სოფ. ომალოში



ნახ. 43. 32 ვატი პიკური სიმძლავრის ელასტიური, დასაკეც-გადასატანი მზის ფეგ-ი

ზოგადად მზის ფეგ-ი, კონკრეტული გარემოებებიდან გამომდინარე შეიძლება სხვადასხვანაირად დამაგრდეს:

1. სამხრეთის ორიენტაციის, უშუალოდ დამრეცი სახურავის პარალელურად, თუ მისი ორიენტაცია და პორიზონტისადმი დახრის კუთხე მისაღებია (ნახ. 40). იმ შემთხვევაში, როდესაც შენობას პორიზონტალური ან მცირედ დახრილი სახურავი აქვს საჭიროა ისეთი კონსტრუქციის დამზადება, რომელიც უზრუნველყოფს ფეგ-ის ზედაპირის დახრის მისაღებ კუთხეს (ნახ. 37);

2. მზის ფეგ-ი შესაძლებელია დამაგრდეს სამხრეთის ორიენტაციის კედელზე ან აივანზე (ნახ. 37). ასეთმა კონსტრუქციამ ზოგჯერ შეიძლება შეითავსოს საჩრდილობლის ფუნქციაც;

3. მზის ფეგ-ი შეიძლება ეზოში სახლთან ახლოს, ბოძზე დამაგრდეს, ისეთ სიმაღლეზე, რომ შესაძლებელი იყოს სეზონურად დახრის კუთხის შეცვლა და დღის განმავლობაში ხელით შემობრუნება მზის ტრექტორიის თანმდევად (ნახ. 34 და 35).

4. მზის ფეგ-ი შეიძლება დამაგრდეს ერთ მალიან ან მრავალ მალიან ტელე-საკომუნიკაციო ანძაზე (ნახ. 41);

5. მზის ფეგ-ი შეიძლება დამაგრდეს უშუალოდ მიწის ზედაპირთან ხიმინჯებზე (ნახ. 42);

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

ასეთი ტიპის ფეგ-ი ტრადიციულთან შედარებით გამოირჩევა სიმსუბუქით, კომპაქტურობით და არამსხვრეველობით. კონსტრუქცია იოლი მოსახმარია და მოხერხებულია ტრანსპორტირებისას. მისი გამოყენება შეუძლიათ: სამხედროებს, ტურისტებს, მეთევზეებს, მონადირეებს, მეცხვარეებს, სამეცნიერო საველე ექსპედიციების მონაწილეებს და სხვა.

სხვადასხვა სიმძლავრის დასაკეც-გადასატანი მობილური, ელასტიური, ამორფული კაუბადის მზის ფეგ-ის პარამეტრები მოცემულია ცხრილში (ცხრ.10), ხოლო ელასტიური, დასაკეც-გადასატანი მზის ფეგ-ის ფოტო გამოსახულია ნახაზზე (ნახ.43) .

ელასტიური მზის ფეგ-ების პარამეტრები

№	სიმკვარე, ვატი	მუშა ძაბვა, ვოლტი	მუშა დენი, ამპერი	წონა, კგ.
1	2,5	5	0,5	0,18
2	7,5	15	0,5	0,6
3	15	15	1	1,2
4	21	15	1,3	0,9
5	32	15	2	1,3

საქართველოში მზის ფეგ-ებში, ძირითადად, ზემოთჩამოთვლილი კონსტრუქციები არის გამოყენებული. კონსტრუქციების ნახაზები, დეტალები კარგად არის დამუშავებული და ათვისებული.

მზის ფეგის შემადგენელი კომპონენტებიდან საქართველოში არ იწარმოება მზის მოდულები და აკუმულატორული ბატარეები (იგულისხმება ფეგ-ებში გამოყენებადი, არამომსახურებადი AGM, Gell და OPzV). მათი იმპორტირება ძირითადად ევროპიდან და ჩინეთიდან ხდება.

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.

ქვემოთ განხილულია საქართველოში დამუშავებული ორიგინალური მოწყობილობები, რომლებიც უცხოურ ანალოგებს ტექნიკური მონაცემებით არ ჩამოუვარდებიან. მათი ფასი იმპორტირებულ ანალოგებთან შედარებით ნაკლებია.

ა) სინუსოიდალური PWM ტიპის AC-DC ინვერტორი

ცნობილია, რომ, ძალოვანი ელექტრონიკის მართვის თანამედროვე სისტემებში ფართოდ გამოიყენება განივი-იმპულსური მოდულაციის პრინციპი (PWM). ამ მეთოდის გავრცელება უკავშირდება რიგ ფაქტორებს. კერძოდ, ელექტრონული ხელსაწყოების წარმოების ტექნოლოგიის თანამედროვე მიღწევებს: სწრაფი და ზესწრაფი ველიანი ტრანზისტორების შექმნას, რომელთა დასაშვებმა ელექტრულმა პარამეტრებმა მიაღწია რეკორდულ მნიშვნელობებს (დენმა ასეულობით ამკერს, ხოლო ძაბვამ რამდენიმე ათას ვოლტს). ახალი ტიპის ზემძლავრი ე.წ. IGBT ტრანზისტორების გამოჩენას მსოფლიო ბაზარზე და ა.შ.

მორე, არანაკლებმნიშვნელოვანი ფაქტორი PWM პრინციპის ფართოდ დანერგვისა ძალოვან ელექტრონიკაში არის ის მდიდარი შესაძლებლობები რომელსაც გვაძლევს მიკროკონტროლერების გამოყენება ასეთი სისტემების სამართავად. ამის დამადასტურებლად ისიც შეგვიძლია ავლნიშნოთ, რომ რიგი წამყვანი მიკროპროცესორების მწარმოებელი ფირმების (MOTOROLA, ATMEL, MICROCHIP) კონტროლერებში სპეციალურად არის გათვალისწინებული PWM სიგნალის მაფორმირებელი აპარატული კვანძები, რაც რიგ შემთხვევებში საშუალებას იძლევა ვაკონტროლოთ სწრაფი პროცესები რეალურ დროში.

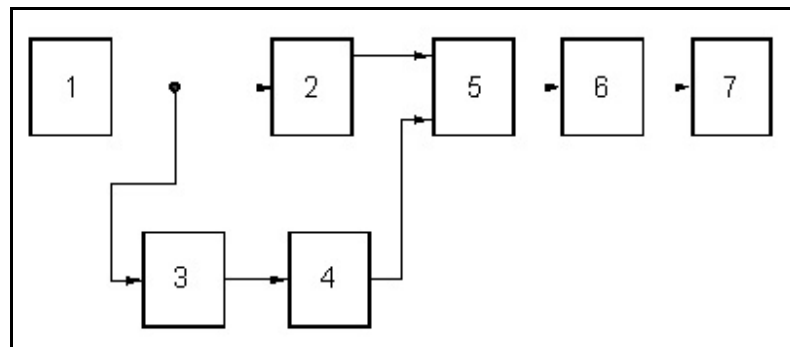
განივი-იმპულსური მოდულაციის მეთოდის გამოყენების ერთ-ერთი კონკრეტული მაგალითია მუდმივი ძაბვის ინვერტორები. ამ შემთხვევაში ხდება მუდმივი ძაბვის გარდაქმნა გარკვეული სიხშირისა და ამპლიტუდის ცვლად ძაბვად, ამასთან სიგნალის ფორმა უნდა იყოს სინუსოიდალური ან შესაძლოა ნებისმიერი სხვა (მაგალითად, სინუსოიდალური გაძლიერებული მესამე ჰარმონიკით, ძრავების მართვის სისტემებში).

ინვერტორის კლასიკური სქემა დაფუძნებულია ტრანზისტორული ბოგირის გამოყენებაზე. ბოგირის PWM სიგნალებით მართვის შემთხვევაში, მის დიაგონალში ფორმირდება მაღალსიხშირული ძაბვა, რომელიც დაბალი სიხშირეების ფილტრის გავლის შემდეგ იმეორებს

საწყისი მამოდულირებელი სიგნალის ფორმას. როგორც ცნობილია ერთ-ერთი უმთავრესი კრიტერიუმი, რომელიც განსაზღვრავს გარდამქმნელი მოწყობილობის ეფექტურობას, არის მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტი და საიმედოობა. ბოგირის ტრანზისტორების კომუტაციის დროს ხდება მათზე გარკვეული ენერჯის დისიპაცია, რომელიც წარმოადგენს დინამიური და გამტარებლობის დანაკარგების ჯამს. გამტარებლობის დანაკარგები ძირითადად დამოკიდებულია თვითონ ტრანზისტორების ტექნიკურ პარამეტრებზე, ხოლო დინამიური დანაკარგები განისაზღვრება კომუტაციის სიხშირით და ტრანზისტორის სწრაფქმედებით.

ზემოთთქმულიდან გამომდინარეობს, რომ მუდმივი ძაბვის ინვერტორში ეფექტურობის ამაღლებისათვის აუცილებელია მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტის გაზრდა. ამის მისაღწევად მოცემულ სქემაში შემოთავაზებულია ბოგირში ტრანზისტორების კომუტაციის სიხშირის ადაპტური მართვის პრინციპი.

ამოცანის ნათლად წარმოსადგენად განვიხილოდ PWM სიგნალის ფორმირების კლასიკური ბლოკ-სქემა მუდმივი ძაბვის სინუსოიდალური



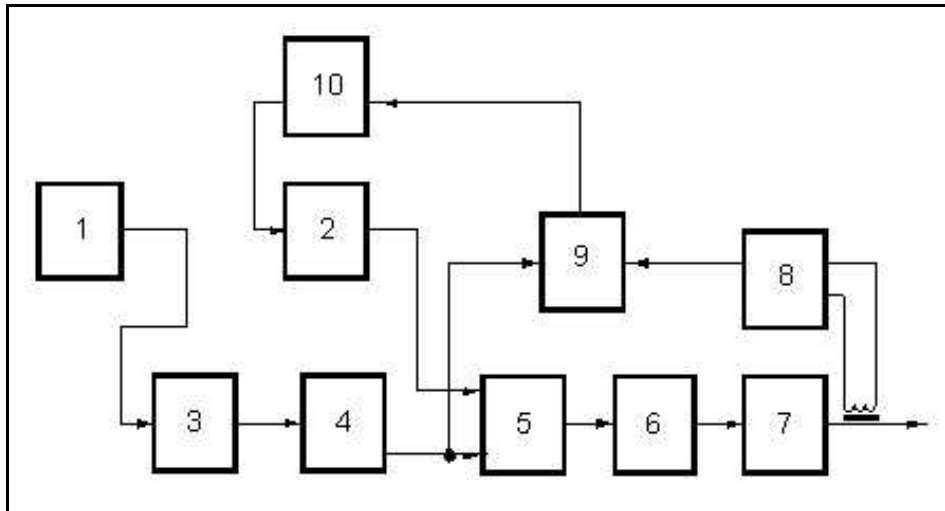
ნახ. 44. მუდმივი ძაბვის სინუსოიდალური PWM ინვერტორის ბლოკ-სქემა: ტაქტური გენერატორი (1), სერვისებრი ძაბვის მაფორმირებელი (2), სიხშირის გამყოფი (3), ეტალონური ძაბვის მაფორმირებელი (4), კომპარატორი (5), ბოგირული სქემა (6), ფილტრი (7).

ნახ. 44–ზე მოცემული ინვერტორის ვარიანტში ძალოვანი ტრანზისტორების კომუტაციის სიხშირე მუდმივი სიდიდეა და ფაქტიურად განისაზღვრება ტაქტური გენერატორის (1) მიერ. ამის გამო დინამიური დანაკარგები ბოგირში განისაზღვრება მხოლოდ ინვერტორზე მოდებული დატვირტვის მნიშვნელობით ცვლადი სიგნალის მთელი პერიოდის განმავლობაში.

ამასთანავე ყურადღება უნდა გაგამახვილოთ იმ ფაქტზე, რომ დინამიური დანაკარგების მყისიერი მნიშვნელობებიც იცვლება ტრანზისტორის კომუტაციის ყოველი ახალი პერიოდისათვის და მიახლოებით ემორჩილება სინუსის კვადრატის ფუნქციის სახეს. ეს გამოწვეულია ტრანზისტორებში დენის სიდიდის უპირატესი ზრდით ძაბვის პიკური მნიშვნელობების მიდამოებში.

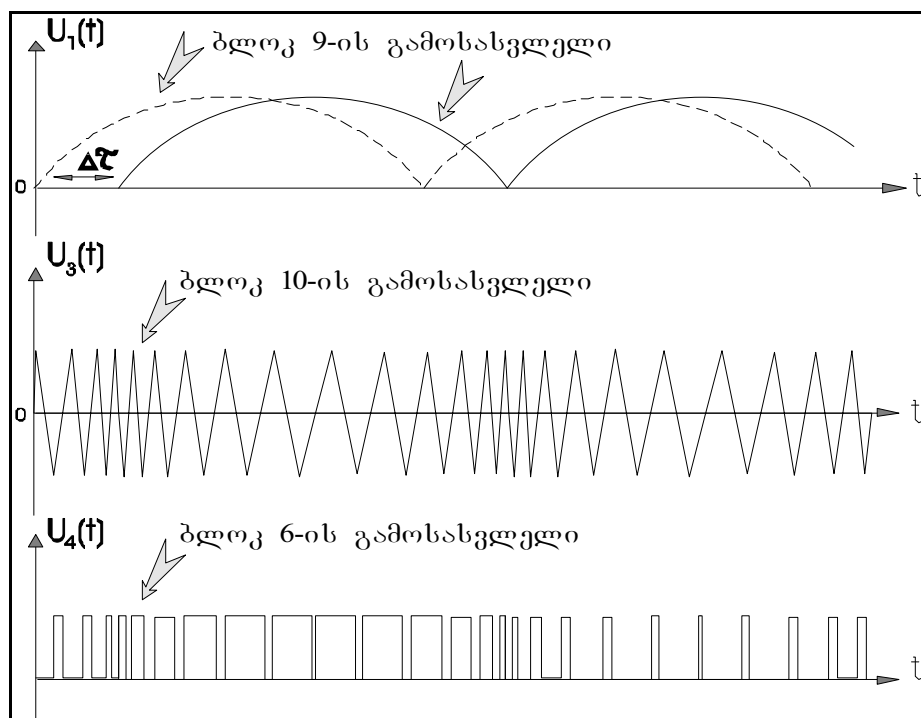
სწორედ ამ თავისებურებების გამოყენებაზეა აგებული ინვერტორის ადაპტური სიხშირული მართვის სისტემა, რომლის ბლოკ-სქემა მოცემულია ნახ. 45-ზე. იდეა იმაში მდგომარეობს, რომ მოვახდინოთ ტრანზისტორების გადართვათა სიხშირის შემცირება ადაპტურად, დატვირთვის დენის მნიშვნელობების გათვალისწინებით, რა თქმა უნდა იმ დასაშვებ ზღვრებში, რომლებიც უზრუნველყოფენ სიგნალის ფორმას და ფილტრის პარამეტრების ნორმალურ მნიშვნელობებს. როგორც ბლოკ-სქემიდან (ნახ. 44) ჩანს კლასიკური ვარიანტისაგან განსხვავებით, სიხშირის ადაპტური მართვისათვის დამატებით გამოყენებულია სამი ახალი კვანძი: დატვირთვის დენის გამზომ-მაფორმირებელი (8), მამოდულირებელი ძაბვის მაფორმირებელი (9), რომელსაც თავის მხრივ მიეწოდება ორი სიგნალი: ეტალონური სინუსოიდალური ძაბვა და სიგნალი დენის მაფორმირებელიდან. ამ ბლოკში ხდება ეტალონური ძაბვის გამართვა და მისი ფაზური ძვრა რაღაც კუთხით, რომლის სიდიდე წრფივად დაკავშირებული გაზომილი დენის ფაზასთან. დატვირთვის ხასიათიდან გამომდინარე იგი ან წინ უსწრებს ან ჩამორჩება ეტალონური ძაბვის ფაზას.

ტაქტური გენერატორი (1), ხერხისებრი ძაბვის მაფორმირებელი (2), სიხშირის გამყოფი (3), ეტალონური ძაბვის მაფორმირებელი (4), კომპარატორი (5), ბოგირული სქემა (6), ფილტრი (7), დენის გამზომი კვანძი (8), მამოდულირებელი ძაბვის მაფორმირებელი (9), ძაბვით მართვადი ტაქტური გენერატორი (10).



ნახ. 45. მუდმივი ძაბვის სინუსოიდალური WM ინვერტორის ბლოკ-სქემა სიხშირის ადაპტური მართვით:

ძაბვით მართვად ტაქტურ გენერატორში (10) ხდება ტაქტური სიხშირის მოდულაცია სიგნალით მამოდულირებელი ბლოკიდან (9), რაც თავის მხრივ უზრუნველყოფს ტრანზისტორების კომუტაციის სიხშირის შემცირებას მაქსიმალური დატვირთვის შესაბამის უბნებში. ნახ. 46-ზე მოცემულია ძაბვის დიაგრამები შესაბამისი ბლოკების გამოსასვლელზე.



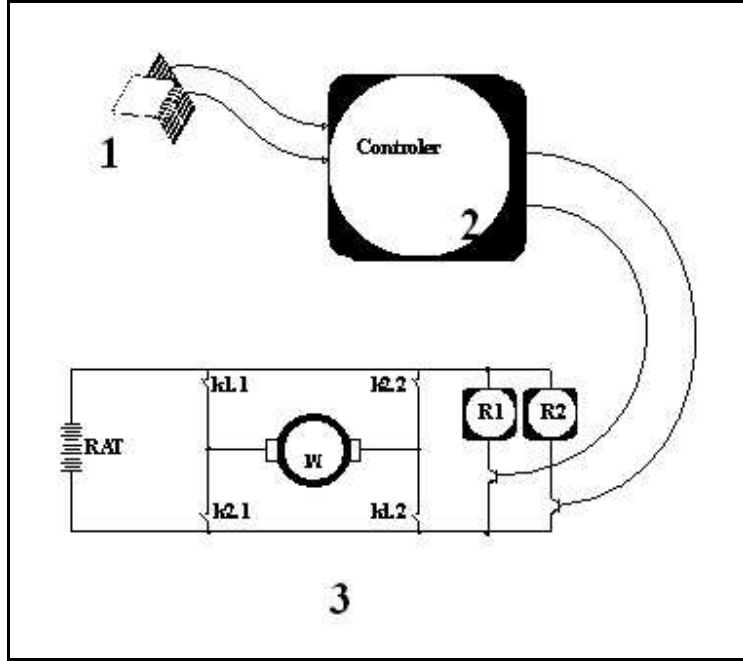
ნახ. 46. ძაბვის დიაგრამები შესაბამისი ბლოკების გამოსასვლელზე.

ამრიგად, როგორც ზემოთ იყო აღწერილი PWM ტიპის მუდმივი ძაბვის ინვერტორში სისშირის ადაპტური მართვა საშუალებას გვაძლევს გარკვეულად შევამციროთ დინამიური დანაკარგები ძალოვან ტრანზისტორებში და შესაბამისად ავამაღლოთ როგორც მარგიქმედების კოეფიციენტი ასევე მისი საიმედოობა.

ზემოთ მოყვანილ პრინციპზე, საქართველოში აწყობილი ინვერტორების ფასი, უცხოურ ანალოგებთან შედარებით 50%-ით ნაკლებია.

ბ) მზის ტრაექტორიის თანმდევი ელექტრონული სისტემა

სისტემის სტრუქტურული სქემა წარმოდგენილი ნახაზზე (ნახ.47.)



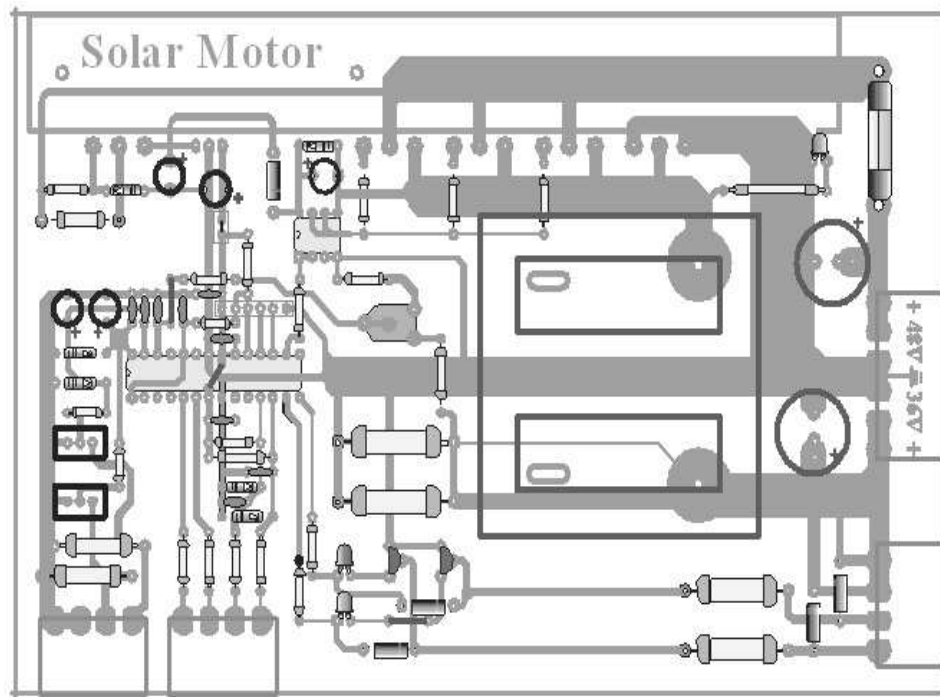
ნახ. 47. მზის ტრაექტორიის თანმდევი ელექტრონული სისტემის სტრუქტურული სქემა

მზის მიმართ გადახრის კუთხის განმსაზღვრელი ფოტოგადამწოდი (1), სისტემის მმართველი მიკროკონტროლერი. (2.), შემსრულებელი მექანიზმი (3.)

მზის მიმართ გადახრის კუთხის განმსაზღვრელი ფოტოგადამწოდი შედგება ერთ სიბრტყეში განლაგებულ ორი ფოტოელემენტისა და მათ შორის ვერტიკალურად აღმართული გაუმჭვირვალე ფირფიტისაგან. გადამწოდი მუშაობს დიფერენციალური პრინციპის მიხედვით, რაც ნიშნავს რომ, გამოსასვლელი სიგნალი პროპორციულია მზის მიმართ გადახრის კუთხისა.

სისტემის მმართველი მიკროკონტროლერის დანიშნულებაა მთელი სისტემის მართვა, რომელსაც ანხორციელებს მასში ჩაწერილი პროგრამის მიხედვით. ეს პირველ რიგში ითვალისწინებს გადამწოდიდან შემოსული

სიგნალების გაანალიზებას და შესაბამისი გადაწყვეტილებების მიღებას: კერძოდ შემსრულებელი მექანიზმისათვის სათანადო ბრძანებების გამომუშავებას. რაც თავის მხრივ უზრუნველყოფს მზის ბატარეების მექანიზმის ბრუნვას (მიყოლას) მზის მდებარეობის მიხედვით.



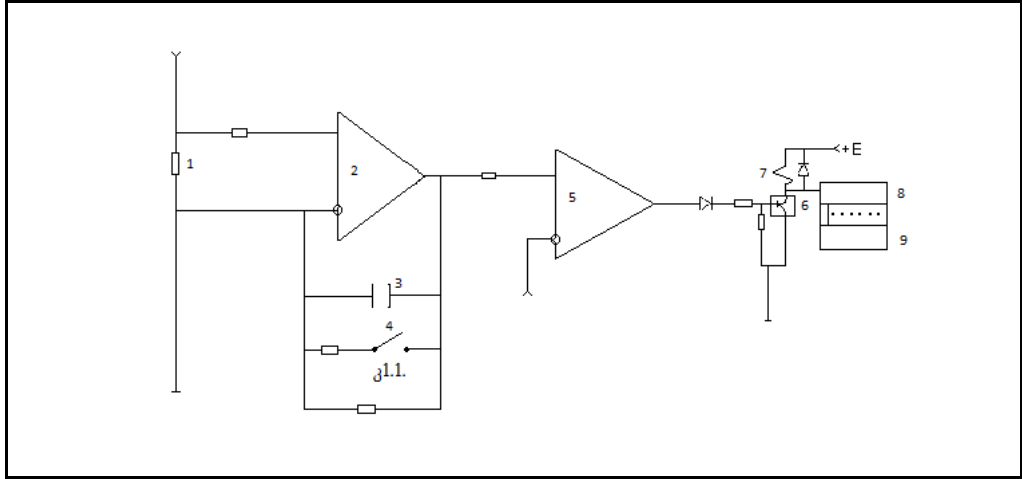
ნახ. 48. მზის ბატარეების ორიენტაციის მართვის რეალური ნაბეჭდი ფირი.

შემსრულებელი მექანიზმი წარმოადგენს ბოგირულ სქემას, რომლის დიაგონალში ჩართულია შემსრულებელი ძრავი. ძრავის ბრუნვის მიმართულებას განსაზღვრავენ რელეს კონტაქტები. თავის მხრივ რელეები იმართება მიკროკონტროლერიდან გამაძლიერებელი ტრანზისტორების საშუალებით.

საქართველოში აღნიშნული სქემით აწყობილი მზის თანმდევ ელექტრონული სისტემის და მექანიზმის ღირებულება სამჯერ ნაკლებია უცხოურ ანალოგთან შედარებით.

გ) მზის ენერჯის მრიცხველი (ამპერ-საათების მთვლელი).

შემოთავაზებული მრიცხველის ბლოკ-სქემა მოცემულია ნახაზზე:



ნახ. 49. მრიცხველის ბლოკ-სქემა:

დენის გადამწოდში – შუნტი (1), მაინტეგრირებელი სქემა (2), კონდენსატორი (3), განმუხტვის წრედი (4), კომპარატორი (5), ტრანზისტორი (6), ჰერკონული რელე (7), მთვლელი (8), ციფრული ინდიკატორი (9).

ამპერ–საათების მთვლელი მუშაობს შემდეგნაირად: დენის გადამწოდში, რომელიც დაბალმიან შუნტს წარმოადგენს, დენის გავლის დროს ჩნდება ძაბვის ვარდნა, რომელიც მიეწოდება ინტეგრატორის შესასვლელს. ინტეგრატორის გამოსასვლელზე წარმოიქმნება ხაზოვნად მზარდი ძაბვა, რომლის ზრდის სიჩქარე შუნტში გამავალი დენის სიდიდის პროპორციულია. როდესაც ინტეგრატორის გამოსასვლელი ძაბვა გაუტოლდება $U_{ზღვრ}$ სიდიდეს, კომპარატორის გამოსასვლელზე მიიღება დადებითი ძაბვა, რომელიც აძებს ტრანზისტორს, ხოლო ეს უკანასკნელი რთავს ჰერკონულ რელეს და ამავე დროს უარყოფით პოტენციალს მიაწოდებს მთვლელის შესასვლელს. ჰერკონული რელეს ნორმალურად განრთული კონტაქტი კ.1.1 ირთვება და სწრაფად განმუხტავს მაინტეგრირებელ კონდენსატორს, რის შედეგადაც მაინტეგრირებელი

სქემის გამოსასვლელი ძაბვა ნულამდე ეცემა, კომპარატორის გამოსასვლელი ძაბვა უარყოფითი ხდება და გამოირთვება კონდენსატორი, რაც იწვევს ჰერკონული რელეს გამორთვას და იწვება შუნტის გამოსასვლელი ძაბვის ინტეგრირების ახალი ციკლი.

მოვლელის მიერ შეჯამებული იმპულსების რიცხვი დროის გარკვეულ პერიოდში დენის გადამწოდში ამავე დროის შუალედში გამავალი მუხტის რაოდენობის პროპორციულია (ამპერ-საათების). მოვლელის მდგომარეობის ფიქსაცია ნებისმიერი დროის შუალედში ხდება ციფრული ინდიკატორის მიერ, რომელიც ამპერ-საათების სიდიდეს აჩვენებს.

მრიცხველის გაზომვის სიზუსტე არაუარეს 5%-საა, მგრძობიარობა ათეული მიალიამპერით განისაზღვრება, ხოლო მუშა დიაპაზონი პრაქტიკულად შეუზღუდავია. მისი თვითღირებულება 40÷50 ლარია. რაც დაახლოებით 10-ჯერ ნაკლებია უცხოური ანალოგის ღირებულებაზე.

ხელსაწყოს გამოყენება შეიძლება არამარტო მზის ფეს-ებში, არამედ, ნებისმიერი დენის წყაროდან აკუმულატორის მიერ მიღებული მუხტის გასაზომად.

2.8. საქართველოში მზის ფოტოელექტრული სისტემების გამოყენების ეკონომიკური ასპექტები

მზის ფეს-ის შემადგენელი კომპონენტების შედარებით მაღალი ღირებულების გამო, მათ მიერ გამოიმუშავებული ელექტრული ენერგია, 5 – 10-ჯერ უფრო ძვირია, ვიდრე ტრადიციული ენერგოწყაროებიდან მიღებული ელექტროენერგია. ამ ფაქტორის გამო, მზის ფეს-ის გამოყენების შემთხვევაში, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, მზის სხივური ენერგიიდან მაქსიმალური ელექტროენერგიის მიღების და მიღებული ენერგიის რაციონალურად, ეფექტურად გამოყენება.

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

1. მზის ფეგ-ის მიმღები ზედაპირის ჰორიზონტისადმი ოპტიმალური დახრის კუთხის ცვლილებით, წლის განმავლობაში თვეების მიხედვით. ეს მარტივი მექანიკური ოპერაცია იძლევა საშუალებას მივიღოთ წლის განმავლობაში გამომუშავებული ენერჯის დაახლოებით 40%-ანი ნამატი, უძრავად ფიქსირებულ ფეგ-თან შედარებით;
2. მთელი დღის განმავლობაში მზის ტრაექტორიის თანმიმდევრულ ელექტრონული სისტემის გამოყენება, წლის განმავლობაში, გვაძლევს საშუალოდ, ენერჯის დაახლოებით 60%-იან ნამატს, მთელი წლის განმავლობაში უძრავად ფიქსირებულ ფეგ-თან შედარებით. რაც პრაქტიკულად ნიშნავს, რომ რაღაც კონკრეტული ტექნიკური ამოცანის გადასაჭრელად, მბრუნავი სისტემის გამოყენების შემთხვევაში დაგჭირდება დაახლოებით ორჯერ ნაკლები პიკური სიმძლავრის და შესაბამისად, ნაკლები ღირებულების მზის ფეგ-ის დამონტაჟება, ვიდრე იმ შემთხვევაში, თუ მას დავაფიქსირებდით მუდმივად, მთელი წლის განმავლობაში ჰორიზონტისადმი 60°-იანი კუთხით.

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

ყოფა-ცხოვრებაში ჩვეულებრივ, ძირითადი ელექტრომომხმარებლებია განათება, ტელევიზორი, მაცივარი, რომლებიც დღე-ღამის განმავლობაში შედარებით დიდი დროის 6-10 საათის განმავლობაში არიან ჩართულები. ამიტომ, პირველ რიგში, მეტად მნიშვნელოვანია, ამ ელექტრო ხელსაწყოების ენერგოდამზოგი ანალოგების შერჩევა: პირველ რიგში აუცილებელია ტრადიციული ვარვარების ნათურების ჩანაცვლება დაბალვოლტიანი 12-24ვ ენერგოდამზოგი ფლურესცენტული, ან უფრო ეფექტური შუქდიოდური ე.წ. LED-ის ტიპის ნათურებით.

განათებულობის ერთი და იგივე პირობებისათვის, ვარვარების ნათურასთან შედარებით, პირველი ხუთჯერ, მეორე კი ათჯერ ნაკლებ ენერგიას მოიხმარს.

სასურველია კინესკოპიანი ტელევიზორის ჩანაცვლება ბრტყელეკრანიანი – თხევადკრისტალური ან პლაზმური ტელევიზორით. ერთი და იგივე ზომის შემთხვევაში ეს უკანასკნელნი, დაახლოებით ორჯერ ნაკლებ ენერგიას მოიხმარენ.

დაახლოებით ორჯერ ნაკლებ ენერგიას მოიხმარს აგრეთვე, A, A⁺, A⁺⁺ კლასის მაცივრები, ჩვეულებრივ ტრადიციულ მაცივრებთან შედარებით.

ბოლო პერიოდში სამომხმარებლო ბაზარზე გამოჩნდა ე.წ. ცივი რეცხვის სარეცხი მანქანები. რეცხვის თავისებური, ნოვატორული რეჟიმი საშუალებას იძლევა, წყლის გაუცხელებლად მიღწეულ იქნას რეცხვის მაღალი ხარისხი. ამ ტიპის მანქანები, რეცხვის ერთი ციკლის დროს, ხუთჯერ ნაკლებ ელექტროენერგიას მოიხმარენ ტრადიციულ სარეცხ მანქანებთან შედარებით.

ცხრილში (ცხრ.11) მოცემულია ძირითადი საყოფაცხოვრებო ტექნიკის ჩამონათვალი.

ცხრილიდან (ცხრ.11) ჩანს, რომ მარტო თანამედროვე ენერგოდამზოგი საყოფაცხოვრებო მოწყობილობების ოჯახში დანერგვა-გამოყენება იძლევა დღიურად მოხმარებული ენერგიის 3,8 კვტ·სთ დღედამურ ანუ 1400 კვტ·სთ წლიურ ეკონომიას.

ჩამოთვლილი ენერგოდამზოგი მოწყობილობები სამჯერ ნაკლებ ენერგიას მოიხმარენ დღე-ღამეში. ენერგიის ამ რაოდენობის დაზოგვა საშუალებას იძლევა მზის ფეგ-ის პიკური სიმძლავრის დაახლოებით 2 კვტ-ით შემცირებას, ანუ ფინანსების სახით დაახლოებით 20.000 დოლარის დაზოგვას. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ცხრილში მოყვანილი ბინის გადაიარაღება თანამედროვე ენერგო დამზოგი მოწყობილობებით ოჯახს დაახლოებით 20.000 დოლარი დაუჯდება. სამაგიეროდ გაწეული ფინანსური ხარჯი მზის ფეს-ის ღირებულების შემცირების გამო გამოიწვევს დაახლოებით 18.000 დოლარის ეკონომიას.

ცხრილი 11.

საყოფაცხოვრებო ტექნიკის სიმძლავრეები და ენერჯის ხარჯი

№	ელექტრო ხელსაწყო/მოწყობილობა	ერთი და იგივე განათებულობის პირობებისთვის	დღე-ღამეში 5 ნათურის 6 სთ-ით ჩართვის შემთხვევაში, ენერჯის ხარჯი, კვტ-სთ
1	ტრადიციული ვარავარების ნათურა	100 ვტ.	3.0
2	ჰალოგენის ნათურა	70 ვტ.	2.1
3	ფლუორესცენტული ნათურა	20 ვტ.	0.6
4	შუქდიოდური ნათურა (LED)	10 ვტ.	0.3
№	ელექტრო ხელსაწყო/მოწყობილობა	თანაბარი ზომის ეკრანის პირობების დროს	დღე-ღამეში 6 სთ-ით ჩართვის შემთხვევაში, ელექტრო ენერჯის ხარჯი, კვტ-სთ
1	ტელევიზორი კინესკოპით	100 ვტ.	0.6
2	ტელევიზორი (LCD)	50 ვტ.	0.6
№	ელექტრო ხელსაწყო/მოწყობილობა	თანაბარი პირობების დროს	ელექტრო ენერჯის ხარჯი დღე-ღამეში, კვტ-სთ
1	მაცივარი ჩვეულებრივი	კამერის ტოლი მოცულობისას	1.6
2	მაცივარი A ⁺⁺		0.7
№	ელექტრო ხელსაწყო/მოწყობილობა	თანაბარი პირობების დროს	ელექტრო ენერჯის ხარჯი, კვტ-სთ
1	ტრადიციული სარეცხი მანქანა	რეცხვის 5 ციკლის დროს	2.5
2	ცივი რეცხვის მანქანა		0.5

მზის ფოტოელექტრული გარამქმნელების მიერ გამოიმუშავებული ენერჯის დაახლოებით 30%-ით გაზრდა, დამატებით კიდევ შესაძლებელია

ელექტრონული მოწყობილობის ე.წ. MPP (მაქსიმალური სიმძლავრის წერტილი) გამოყენებით. მოწყობილობა მუდმივად აკონტროლებს ძაბვას მზის მოდულის გამოსასვლელზე და აკუმულატორის პოლუსებზე. აკუმულატორის ძაბვის სიდიდის მნიშვნელობის შესაბამისად მზის მოდულზე ძაბვას იმ სიდიდით იღებს, რომ შესაძლებელი ხდება მაქსიმალური სიმძლავრის მიღება.

დასკვნის სახით – მზის ტრანექტორიის ელექტრონული თანმდევი კონსტრუქციის და MPP-ს გამოყენებით შესაძლებელია მზის მოდულების მიერ გამომუშავებული ენერჯის დაახლოებით ორჯერ გაზრდა სტაციონალურად-უძრავად დამაგრებულ იგივე სიმძლავრის მზის ფეგ-თან შედარებით.

განვიხილოთ მზის ფეს-ების გამოყენების ეკონომიური მიზანშეწონილობა და კონკურენტუნარიანობა ტრადიციულ დენის წყაროებთან შედარებით. ეს პრობლემა ყოველთვის აქტუალურია. ჩვენს ოც წლიან პრაქტიკაში ხშირად ყოფილა შემთხვევები, როდესაც ობიექტის ენერჯო მომარაგების პრობლემის გადაჭრისას მზის ფეს-ს ბევრჯერ მინიჭებია ეკონომიური (და არა მარტო) უპირატესობა ტრადიციულ ენერჯო წყაროსთან შედარებით.

ზემოთ თქმულის ნათელ მაგალითად შეგვიძლია მოვიყვანოთ ოთხი განსხვავებული პროექტი:

1. ციხის სოფელი მდებარეობს დუშეთის რაიონში, ანანურის მახლობლად. სოფელში ცხოვრობს ორიოდე კომლი. სოფელი მოქმედი ელექტრო ხაზებიდან დაშორებულია სამი კილომეტრით. სოფელამდე სამანქანო გზა არ არსებობს, არის მხოლოდ საცალფეხო ბილიკი. სოფელამდე ელექტრო ხაზის გაყვანა საორიენტაციოდ შეაფასეს 20.000 დოლარად. სოფელის მცხოვრებთა გადახდის უნარიანობა დაბალია და აქედან გამომდინარე ელექტროენერჯიაზე მოთხოვნა მინიმალური შეიძლება იყოს. ადგილობრივმა მუნიციპალიტეტმა დარგის სპეციალისტების რეკომენდაციით გადაწყვიტა (სოფელის

დახმარების პროგრამის ფარგლებში) მოსახლეებისთვის დაემონტაჟებინათ მზის ავტონომიური პიკო ფეს-ები – თითოეული 50 ვატი პიკური სიმძლავრით. რის შემდეგაც მოსახლეებს აქვთ უფასო ელექტრო ენერჯია, რომელსაც იყენებენ ბინის განათებისთვის (3 წერტილი ენერჯო დამზოვი ნათურა) შეუძლიათ ჩართონ – ნათურა, პლემერი, დამუხტონ მობილური ტელეფონები და AA და AAA ტიპის მინი აკუმულატორები.

პროექტის ღირებულებამ შეადგინა 1200 დოლარი. ფასში შევიდა პიკო ფეს-ის შემადგენელი ელემენტების, ენერჯო დამზოვი ნათურების, ავტონომიური ქსელის მონტაჟის ღირებულება. გარდა ეკონომიკური უპირატესობისა არანაკლებ მნიშვნელოვანი იყო დროის ფაქტორიც. აღნიშნული პროექტი განხორციელდა 5 დღეში, როდესაც ქსელების პროექტირებას და გაყვანას რამოდენიმე თვე დასჭირდებოდა.

2. მაღალმთიანი სოფელი მათურა მდებარაობს ზემო ფშავში. საავტომობილო გზიდან სოფლამდე მდის 6 კილომეტრიანი ბილიკი, ამდენივე კილომეტრშია მოქმედი ელექტრო ქსელები. სოფელში მუდმივად ცხოვრობს ერთი კომლი. სოფლამდე ელექტრო ხაზის გაყვანა სპეციალისტებმა საორიენტაციოდ შეაფასეს 50.000 დოლარად. ხელისუფლებამ ამ რაოდენობის თანხის გამოყოფა ბიუჯეტიდან მიზანშეუწონლად ჩათვალა, ალბათ სრულიად სამართლიანად. გადაწყდა სოფლის/კომლის ელექტრო მომარაგება ალტერნატიული გზით, მზის მიკრო ფეს-ის მეშვეობით. კომლს დაუმონტაჟდა 120 ვატი პიკური სიმძლავრის მზის მიკრო ფეს-ი, რომელიც კვებას განათების სისტემას, ტელევიზორს, სატელიტური ანტენის რესივერს. დამატებით, ზაფხულობით მზისგან გამომუშავებული ელექტრო ენერჯია მოიხმარება ელექტრო თაფლსაწური ციბრუტის

კვებისათვის. პროექტის ღირებულებამ 1500 დოლარი შეადგინა. პროექტის ეკონომიკური უპირატესობა ცხადია.

3. ვაშლოვანის დაცული ტერიტორია მდებარეობს აღმოსავლეთ საქართველოს უკიდურეს ნაწილში. მისი საერთო ფართობი 25.000 ჰექტრამდია. მთელი ტერიტორიის სხვადასხვა წერტილში განთავსებულია გარემოს დაცვითი 8 ობიექტი – 1 სამეცნიერო სადგური, 5 რეინჯერთა სადგური, 2 ტურისტული ბანაკი, ე.წ. ბუნგალოები. მოქმედი ელექტრო ქსელი მდებარეობს სოფელ კასრისწყალში, საიდანაც დაცული ტერიტორიის პირველ ობიექტამდე 30 კილომეტრია. ელექტრო ქსელის მიყვანა ტერიტორიამდე და შემდეგ დაქსელება კოლოსალურ თანხებთან – 100.000-ობით დოლართან იყო დაკავშირებული. გადაწყდა დაცული ტერიტორიების ელექტრო მომარაგება ალტერნატიული გზით – მზის ფეს-ების გამოყენებით: სამეცნიერო სადგურში დამონტაჟდა 220 ვატიანი მზის ფეს-ი, რეინჯერთა სადგურებში დამონტაჟდა 100–100 ვატიანი მზის მიკრო ფეს-ები, ხოლო ტურისტულ ბანაკებში 300 და 400 ვატიანი მზის ფეს-ები (დაყენებულმა ჯამურმა სიმძლავრემ შეადგინა 1320 ვატი). მზის ფეს-ების მიერ გამოიმუშავებული ენერგია უზრუნველყოფს ობიექტებზე განათებას, კავშირის საშუალებების კვება-დამუხტვას და სხვა. პროექტის ღირებულება შეადგენდა 25.000 დოლარს.

4. საქართველოს მაღალმთიანი კუთხე მთა-თუშეთი, მდებარეობს ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში, დიდი კავკასიონის მთავარი მთაგრეხილის ჩრდილოეთით. ასეთი მდებარეობის, უგზოობის გამო 7–8 თვის განმავლობაში მოწყვეტილია ძირითად კომუნიკაციებს.

გასული საუკუნის 70-იან წლებში მაღალი ძაბვის გადამცემის აგების შემდგომ განხორციელდა რამოდენიმე სოფელის ელექტროფიცირება. 90-იან წლებში ელექტრო გადამცემი

დაზიანდა და შემდგომ სრულიად განადგურდა. დღეს დღეობით ამ ხაზის აღდგენას მილიონობით დოლარი სჭირდება. აღდგენის შემთხვევაშიც კი, მისი ექსპლოატაცია დიდ ფინანსურ ხარჯებთან იქნება დაკავშირებული, რადგან რთული კლიმატური პირობების გამო მისი მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა დიდია. გადამცემა ხაზი გადის ურთულეს ხეობებში, ზღვის დონიდან მაქსიმალური სიმაღლე თითქმის 3000 მეტრს აღწევს.

2010–2011 წლებში ადგილობრივი მოსახლეობის სოციალური პირობების გაუმჯობესების და ტურიზმის განვითარების ხელშეწყობის მიზნით ჩეხეთის მთავრობის გრანტის ფარგლებში განხორციელდა თუშეთის ლოკალური ელექტროფიცირება მზის აგრონომიური ფოტოელექტრო სისტემების საშუალებით. კერძოდ:

1. მომთაბარე მეცხვარეებსა და მესაქონლეებს დაურიგდათ გადასატანი 180 ვატი პიკური სიმძლავრის მზის მიკრო ფეს–ები, სულ 15 კომპლექტი ;

2. თუშეთში მოზამთრეებს – 20 კომლს დაუმონტაჟდათ 360 ვატი პიკური სიმძლავრის მზის ფეს–ები. განათების, ტელევიზორის და სხვა ელექტრო ხელსაწყოების კვებისათვის;

3. თხუთმეტ საოჯახო სასტუმროში დამონტაჟდა 900 ვატი პიკური სიმძლავრის მზის ფეს–ი. განათების, ტელევიზორის, მაცივრის, სარეცხი მანქანის და სხვა ელექტრო ხელსაწყოების კვებისათვის;

4. დაცული ტერიტორიების ადმინისტრაციისა და ვიზიტორთა ცენტრის შენობაზე დამონტაჟდა 2500 ვატი პიკური სიმძლავრის მზის ფეს–ი. განათების, ტელევიზორის, საოფისე ტექნიკის და სხვა ელექტრო ხელსაწყოების კვებისათვის

საერთო ჯამში, თუშეთის რვა სოფელში დამონტაჟდა ორმოცდაათი ერთეული მზის ფეს–ი საერთო ჯამური სიმძლავრით 30 კილოვატი.

საქართველოს მასშტაბით მსგავსი მაგალითების მოყვანა მრავლად შეუძლებელია. ეს ფაქტები ერთ მნიშვნელოვნად ადასტურებენ, რომ მზის ფეს-ების გამოყენება მოშორებულ, არაელექტროფიცირებულ დასახლებების და ობიექტების ელექტრო უზრუნველყოფისათვის ეკონომიკურად გამართლებული და მიზანშეწონილია.

უნდა აღინიშნოს, რომ ეკონომიკური კონკურენტუნარიანობის გარდა, არანაკლებ მნიშვნელოვანია ეკოლოგიური და ესთეტიკური ფაქტორები. მთიან და ტყიან ადგილებში ელექტრო ხაზების გაყვანა მოითხოვს გზების გაჭრას, რაც თვისთავად იწვევს ტყეების გაჩეხვას. ასეთ ადგილებში ელექტრო 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 ენერგო უზრუნველყოფა ნაკლებ საიმედოა.

ოპერატიული თვალსაზრისითაც, მზის ფეს-ების მონტაჟი გაცილებით ნაკლებ დროში – დღეებში და თვეებში ხორციელდება, როდესაც ელექტრული 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 ენერგიების გამომუშავება. დადგინდა, რომ ოპტიმალური დახრის კუთხე მინიმალურია იენისში და შეადგენს 10° -ს, ხოლო მაქსიმალურია დეკემბერში - 68° . 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 იენისში, 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 გენერატორი (ფეგ-ი) მიერ, ამინდის სხვადასხვა პირობებში გამოიმუშავებული 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 გამოიმუშავებული ენერგია ნაკლებად არის დამოკიდებული სეზონურობაზე. მისი მნიშვნელობა დაახლოებით 4–5-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე მზიანი ამინდის დროს. ქვედა იარუსის 8–10 ბალიანი ღრუბლიანობის დროს (2000 მეტრამდე), როდესაც სინათლის ინტენსივობა 0.01 კვტ/მ²-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/მ² წარმოადგენს ფეგ-ის ფუნქციონირების ქვედა ზღვარს და მას შეესაბამება 10/10 ბალი ქვედა იარუსის ღრუბლიანობის (მიწისპირა ძლიერი ნისლი, კოკისპირული წვიმა და ძლიერი თოვლი) პირობები;
 - ც) მზის ტრაექტორიის თანმდევი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ-ი დღის განმავლობაში გამოიმუშავებს 685 ვტ·სთ ენერგიას, ხოლო ფიქსირებულად 68° კუთხით დახრილი კი 570 კვტ·სთ. მათ მიერ გამოიმუშავებულ ენერგიათა სხვაობა შეადგენს დაახლოებით 20%-ს;
 - დ) სამხრეთის აზიმუტის, ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილი 100 ვატი პიკური სიმძლავრის ფეგ-ის მიერ საშუალოდ, დღიურად მაქსიმალური ენერგია გამოიმუშავდება მზის ტრაექტორიის თანმდევი სისტემის მიერ და იგი შეადგენს 850 ვტ·სთ-ს, ხოლო მინიმალური ენერგია გამოიმუშავდება 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 მეთოდოლოგია. 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 ნაშრომში.

დანართი

ცხრილები (1-5)

ცხრილი 1.

მზის ჯამური რადიაცია ჰორიზონტალურ ზედაპირზე, კვტ·სთ/მ²

№	მეტეოსადგური	თ კ ე ე ბ ი												წლიური	საშ. დღ.	ზონა
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
1	მწვანე კონცხი	47.6	82.4	96.3	109.5	145.0	183.3	163.6	129.9	109.0	93.9	60.3	46.4	1267.20	3.47	I
2	ლანჩხუთი	49.9	69.6	90.5	134.5	143.8	178.6	154.3	148.5	126.4	99.8	66.1	47.6	1309.60	3.59	
3	ანასეული	49.9	65.0	98.6	139.0	165.0	175.2	158.0	156.0	122.0	96.0	60.0	51.0	1335.70	3.66	
4	სუფსა	46.4	76.6	109.0	136.5	155.4	172.8	164.7	141.5	132.2	95.1	62.6	44.1	1336.90	3.66	
5	სენაკი	47.6	63.8	102.1	132.2	174.0	187.9	169.4	154.3	133.4	98.6	58.0	47.5	1368.80	3.75	II
6	გაგრა	48.7	75.4	113.7	129.9	169.4	187.9	174.0	163.6	149.6	63.8	68.4	46.4	1390.80	3.81	
7	წაღკა	63.8	82.4	121.8	139.2	154.3	172.8	178.6	160.1	116.0	89.3	62.6	55.7	1396.60	3.83	
8	თბილისი	49.9	65.0	106.7	134.6	169.4	190.2	192.6	176.3	127.6	94.0	51.0	42.9	1400.20	3.84	
9	სოხუმი	45.2	63.8	100.9	132.2	165.9	196.0	192.5	181.0	140.4	97.4	58.0	40.6	1413.90	3.87	
10	ზუგდიდი	51.0	76.6	100.9	145.0	156.6	176.3	164.7	161.2	147.3	125.3	71.9	45.2	1422.00	3.90	
11	ცაგერი	61.5	73.1	96.3	143.8	168.2	177.5	168.2	152.0	146.2	112.5	82.4	60.3	1442.00	3.95	
12	ყვარელი	62.6	74.2	100.9	146.2	160.1	194.9	183.3	162.4	133.4	97.4	74.2	63.8	1453.40	3.98	
13	ონი	68.4	77.7	109.0	133.4	155.4	177.5	175.2	162.4	148.5	118.3	85.8	66.1	1477.70	4.05	III
14	ფასანაური	76.6	87.0	113.7	136.9	155.4	177.5	178.6	168.2	134.6	107.9	78.9	67.3	1482.60	4.06	
15	მანგლისი	53.4	90.5	116.0	134.6	162.4	186.8	192.6	176.3	141.5	106.7	77.7	51.0	1489.50	4.08	
16	თელავი	51.0	75.4	118.3	147.3	182.1	200.7	203.0	184.4	138.0	96.3	58.0	49.9	1504.40	4.12	
17	შოვი	69.6	71.9	105.6	136.9	154.3	220.4	181.0	171.7	141.5	111.4	76.6	65.0	1505.90	4.13	
18	მესტია	63.8	78.9	97.4	138.0	155.4	190.2	201.8	185.6	141.5	123.0	77.7	65.0	1518.30	4.16	
19	ბაკურიანი	60.3	87.0	123.0	157.8	183.3	189.1	192.6	174.0	147.3	116.0	83.5	58.0	1571.90	4.31	IV
20	ომალო	83.5	87.0	135.7	156.6	167.0	182.1	193.7	155.4	149.6	126.4	74.2	69.6	1580.80	4.33	
21	გუდაური	76.6	90.5	141.5	154.3	168.2	192.6	197.2	181.0	154.3	120.6	87.0	80.0	1643.80	4.50	
22	ჯერის უღ.	88.2	99.8	135.7	157.8	174.0	190.2	199.5	192.6	148.5	123.0	84.7	77.7	1671.70	4.58	V
23	მამისონის უღ.	75.4	87.0	140.4	168.2	177.5	204.2	216.9	196.0	169.4	138.0	92.8	91.6	1757.40	4.81	
24	ყაზბეგი, მ/მთ	80.0	99.8	164.7	177.5	218.1	235.5	204.2	176.3	153.1	123.0	90.5	74.2	1796.90	4.92	

ცხრილი 2.

მზის ჯამური რადიაცია პორიზონტისადმი 60°-ით დახრილ ზედაპირზე, კვტ·სთ/მ²

№	მეტეოსადგური	თ კ ე ე ბ ი												წლიური	საშ. დღ.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
1	მწვანე კონცხი	98.06	135.14	122.30	81.03	100.05	119.15	163.60	115.61	126.44	142.73	112.76	106.26	1423.11	3.90
2	ლანჩხუთი	102.79	114.14	114.94	99.53	99.22	116.09	108.01	132.17	146.62	151.70	123.61	109.00	1417.82	3.88
3	ანასეული	102.79	106.60	125.22	102.86	113.85	113.88	110.60	138.84	141.52	145.92	112.20	116.79	1431.08	3.92
4	სუფსა	95.58	125.62	138.43	101.01	107.23	112.32	115.29	125.94	153.35	144.55	117.06	100.99	1437.37	3.94
5	სენაკი	98.06	104.63	129.67	97.83	120.06	122.14	118.58	137.33	154.74	149.87	108.46	108.78	1450.14	3.97
6	გაგრა	100.32	123.66	144.40	96.13	116.89	122.14	121.80	145.60	173.54	96.98	127.91	106.26	1475.60	4.04
7	წალკა	131.43	135.14	154.69	103.01	106.47	112.32	125.02	142.49	134.56	135.74	117.06	127.55	1525.47	4.18
8	თბილისი	102.79	106.60	135.51	99.60	116.89	123.63	134.82	156.91	148.02	142.88	95.37	98.24	1461.26	4.00
9	სოხუმი	93.11	104.63	128.14	97.83	114.47	127.40	134.75	161.09	162.86	148.05	108.46	92.97	1473.77	4.04
10	ზუგდიდი	105.06	125.62	128.14	107.30	108.05	114.60	115.29	143.47	170.87	190.46	134.45	103.51	1546.82	4.24
11	ცაგერი	126.69	119.88	122.30	106.41	116.06	115.38	117.74	135.28	169.59	171.00	154.09	138.09	1592.51	4.36
12	ყვარელი	128.96	121.69	128.14	108.19	110.47	126.69	128.31	144.54	154.74	148.05	138.75	146.10	1584.62	4.34
13	ონი	140.90	127.43	138.43	98.72	107.23	115.38	122.64	144.54	172.26	179.82	160.45	151.37	1659.15	4.55
14	ფასანაური	157.80	142.68	144.40	101.31	107.23	115.38	125.02	149.70	156.14	164.01	147.54	154.12	1665.30	4.56
15	მანგლისი	110.00	148.42	147.32	99.60	112.06	121.42	134.82	156.91	164.14	162.18	145.30	116.79	1618.96	4.44
16	თელავი	105.06	123.66	150.24	109.00	125.65	130.46	142.10	164.12	160.08	146.38	108.46	114.27	1579.47	4.33
17	შოვი	143.38	117.92	134.11	101.31	106.47	143.26	126.70	152.81	164.14	169.33	143.24	148.85	1651.51	4.52
18	მესტია	131.43	129.40	123.70	102.12	107.23	123.63	141.26	165.18	164.14	186.96	145.30	148.85	1669.19	4.57
19	ბაკურიანი	124.22	142.68	156.21	116.77	126.48	122.92	134.82	154.86	170.87	176.32	156.15	132.82	1715.11	4.70
20	ომალო	172.01	142.68	172.34	115.88	115.23	118.37	135.59	138.31	173.54	192.13	138.75	159.38	1774.21	4.86
21	გუდაური	157.80	148.42	179.71	114.18	116.06	125.19	138.04	161.09	178.99	183.31	162.69	183.20	1848.67	5.06
22	ჯვრის უღ.	181.69	163.67	172.34	116.77	120.06	123.63	139.65	171.41	172.26	186.96	158.39	177.93	1884.77	5.16
23	მამისონის უღ.	155.32	142.68	178.31	124.47	122.48	132.73	151.83	174.44	196.50	209.76	173.54	209.76	1971.82	5.40
24	ყაზბეგი, მ/მთ	164.80	163.67	209.17	131.35	150.49	153.08	142.94	156.91	177.60	186.96	169.24	169.92	1976.11	5.41

ცხრილი 3.

მზის ჯამური რადიაცია პორიზონტისადმი 42°-ით დახრილ ზედაპირზე, კვტ.სთ/მ²

№	მეტეოსადგური	თ ვ ე ე ბ ი												წლიური	საშ. დღ.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
1	მწვანე კონცხი	90.4	122.8	119.4	97.5	127.6	159.5	148.9	137.7	147.2	152.1	111.0	94.7	1508.6	4.13
2	ლანჩხუთი	94.8	103.7	112.2	119.7	126.5	155.4	140.4	157.4	170.6	161.7	121.6	97.1	1561.2	4.28
3	ანასეული	94.8	96.9	122.3	123.7	145.2	152.4	143.8	165.4	164.7	155.5	110.4	104.0	1579.1	4.33
4	სუფსა	88.2	114.1	135.2	121.5	136.8	150.3	149.9	150.0	178.5	154.1	115.2	90.0	1583.6	4.34
5	სენაკი	90.4	95.1	126.6	117.7	153.1	163.5	154.2	163.6	180.1	159.7	106.7	96.9	1607.5	4.40
6	გაგრა	92.5	112.3	141.0	115.6	149.1	163.5	158.3	173.4	202.0	103.4	125.9	94.7	1631.6	4.47
7	წალკა	121.2	122.8	151.0	123.9	135.8	150.3	162.5	169.7	156.6	144.7	115.2	113.6	1667.3	4.57
8	თბილისი	94.8	96.9	132.3	119.8	149.1	165.5	175.3	186.9	172.3	152.3	93.8	87.5	1626.3	4.46
9	სოხუმი	85.9	95.1	125.1	117.7	146.0	170.5	175.2	191.9	189.5	157.8	106.7	82.8	1644.1	4.50
10	ზუგდიდი	96.9	114.1	125.1	129.1	137.8	153.4	149.9	170.9	198.9	203.0	132.3	92.2	1703.5	4.67
11	ცაგერი	116.9	108.9	119.4	128.0	148.0	154.4	153.1	161.1	197.4	182.3	151.6	123.0	1744.0	4.78
12	ყვარელი	118.9	110.6	125.1	130.1	140.9	169.6	166.8	172.1	180.1	157.8	136.5	130.2	1738.7	4.76
13	ონი	130.0	115.8	135.2	118.7	136.8	154.4	159.4	172.1	200.5	191.6	157.9	134.8	1807.2	4.95
14	ფასანაური	145.5	129.6	141.0	121.8	136.8	154.4	162.5	178.3	181.7	174.8	145.2	137.3	1809.0	4.96
15	მანგლისი	101.5	134.8	143.8	119.8	142.9	162.5	175.3	186.9	191.0	172.9	143.0	104.0	1778.4	4.87
16	თელავი	96.9	112.3	146.7	131.1	160.2	174.6	184.7	195.5	186.3	156.0	106.7	101.8	1752.9	4.80
17	შოვი	132.2	107.1	130.9	121.8	135.8	191.7	164.7	182.0	191.0	180.5	140.9	132.6	1811.4	4.96
18	მესტია	121.2	117.6	120.8	122.8	136.8	165.5	183.6	196.7	191.0	199.3	143.0	132.6	1830.8	5.02
19	ბაკურიანი	114.6	129.6	152.5	140.4	161.3	164.5	175.3	184.4	198.9	187.9	153.6	118.3	1881.4	5.15
20	ომალო	158.7	129.6	168.3	139.4	147.0	158.4	176.3	164.7	202.0	204.8	136.5	142.0	1927.5	5.28
21	გუდაური	145.5	134.8	175.5	137.3	148.0	167.6	179.5	191.9	208.3	195.4	160.1	163.2	2007.0	5.50
22	ჯერის უღ.	167.6	148.7	168.3	140.4	153.1	165.5	181.5	204.2	200.5	199.3	155.8	158.5	2043.4	5.60
23	მამისონის უღ.	143.3	129.6	174.1	149.7	156.2	177.7	197.4	207.8	228.7	223.6	170.8	186.9	2145.5	5.88
24	ყაზბეგი, მ/მთ	152.0	148.7	204.2	158.0	191.9	204.9	185.8	186.9	206.7	199.3	166.5	151.4	2156.3	5.91

ცხრილი 4

მზის ჯამური რადიაცია პორიზონტისადმი თვეების მიხედვით ოპტიმალური დახრის კუთხით მდებარე ზედაპირზე,
კვტ·სთ/მ²

№	მეტეოსადგური	თ ვ ე კ ბ ი												წლიური	საშ. დღ.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
1	მწვანე კონცხი	101.9	135.1	123.3	108.4	142.1	177.8	163.6	141.6	137.3	143.7	112.8	107.6	1595.2	4.37
2	ლანჩხუთი	106.8	114.1	115.8	133.2	140.9	173.2	154.3	161.9	159.3	152.7	123.6	110.4	1646.3	4.51
3	ანასეული	106.8	106.6	126.2	137.6	161.7	169.9	158.0	170.0	153.7	146.9	112.2	118.3	1668.0	4.57
4	სუფსა	99.3	125.6	139.5	135.1	152.3	167.6	164.7	154.2	166.6	145.5	117.1	102.3	1669.9	4.57
5	სენაკი	101.9	104.6	130.7	130.9	170.5	182.3	169.4	168.2	168.1	150.9	108.5	110.2	1696.0	4.65
6	გაგრა	104.2	123.7	145.5	128.6	166.0	182.3	174.0	178.3	188.5	97.6	127.9	107.6	1724.3	4.72
7	წალკა	136.5	135.1	155.9	137.8	151.2	167.6	178.6	174.5	146.2	136.6	117.1	129.2	1766.4	4.84
8	თბილისი	106.8	106.6	136.6	133.3	166.0	184.5	192.6	192.2	160.8	143.8	95.4	99.5	1718.0	4.71
9	სოხუმი	96.7	104.6	129.2	130.9	162.6	190.1	192.5	197.3	176.9	149.0	108.5	94.2	1732.5	4.75
10	ზუგდიდი	109.1	125.6	129.2	143.6	153.5	171.0	164.7	175.7	185.6	191.7	134.5	104.9	1789.0	4.90
11	ცაგერი	131.6	119.9	123.3	142.4	164.8	172.2	168.2	165.7	184.2	172.1	154.1	139.9	1838.3	5.04
12	ყვარელი	134.0	121.7	129.2	144.7	156.9	189.1	183.3	177.0	168.1	149.0	138.8	148.0	1839.7	5.04
13	ონი	146.4	127.4	139.5	132.1	152.3	172.2	175.2	177.0	187.1	181.0	160.4	153.4	1904.0	5.22
14	ფასანაური	163.9	142.7	145.5	135.5	152.3	172.2	178.6	183.3	169.6	165.1	147.5	156.1	1912.4	5.24
15	მანგლისი	114.3	148.4	148.5	133.3	159.2	181.2	192.6	192.2	178.3	163.3	145.3	118.3	1874.7	5.14
16	თელავი	109.1	123.7	151.4	145.8	178.5	194.7	203.0	201.0	173.9	147.3	108.5	115.8	1852.6	5.08
17	შოვი	148.9	117.9	135.2	135.5	151.2	213.8	181.0	187.2	178.3	170.4	143.2	150.8	1913.5	5.24
18	მესტია	136.5	129.4	124.7	136.6	152.3	184.5	201.8	202.3	178.3	188.2	145.3	150.8	1930.7	5.29
19	ბაკურიანი	129.0	142.7	157.4	156.2	179.6	183.4	192.6	189.7	185.6	177.5	156.1	134.6	1984.5	5.44
20	ომალო	178.7	142.7	173.7	155.0	163.7	176.6	193.7	169.4	188.5	193.4	138.8	161.5	2035.6	5.58
21	გულაური	163.9	148.4	181.1	152.8	164.8	186.8	197.2	197.3	194.4	184.5	162.7	185.6	2119.6	5.81
22	ჯვრის უღ.	188.7	163.7	173.7	156.2	170.5	184.5	199.5	209.9	187.1	188.2	158.4	180.3	2160.7	5.92
23	მამისონის უღ.	161.4	142.7	179.7	166.5	174.0	198.1	216.9	213.6	213.4	211.1	173.5	212.5	2263.5	6.20
24	ყაზბეგი, მ/მთ	171.2	163.7	210.8	175.7	213.7	228.4	204.2	192.2	192.9	188.2	169.2	172.1	2282.4	6.25

უმზეო დღეების რაოდენობა

№	მეტეოსადგური	თ ვ ე ე ბ ი												წლიური
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	ყაზბეგი, მ/მთ	4	5	4	3	3	1	1	1	1	3	3	4	33
2	ზუგდიდი	9	8	9	5	3	3	3	1	3	3	7	11	65
3	გუდაური	5	5	5	4	3	2	2	2	2	6	7	7	50
4	ანაკლია	9	9	6	5	3	2	1	2	2	3	6	8	56
5	წყალტუბო	10	9	8	8	4	3	3	3	2	3	6	10	70
6	სენაკი	12	7	7	5	5	3	3	2	1	4	6	8	63
7	ფოთი	10	10	7	8	4	2	4	3	2	3	7	9	69
8	საქარა	10	8	7	5	4	2	2	1	2	3	8	10	62
9	დუშეთი	6	6	5	3	3	1	1	1	2	4	5	6	43
10	სუფსა	11	8	9	7	5	2	3	2	3	4	6	9	69
11	ნაფარეული	10	7	7	6	4	1	1	2	3	4	7	9	61
12	ახმეტა	7	7	7	4	3	1	1	1	2	5	8	8	54
13	სკრა	7	5	3	1	3	1	1	0	0	1	3	7	32
14	გორი	7	6	4	1	3	1	1	0	1	3	2	7	36
15	თელავი	8	8	6	4	3	1	1	1	2	5	7	8	54
16	ანასეული	11	9	9	7	5	3	4	3	3	4	7	8	73
17	საირმე	11	9	9	6	4	2	3	2	3	4	8	11	72
18	ბახმარო	9	9	6	2	3	3	3	2	2	5	5	9	58
19	აბასთუმანი	6	6	4	2	2	1	1	1	1	2	3	6	35
20	გურჯაანი	9	9	8	4	3	1	2	1	2	5	8	11	63
21	ბაკურიანი	6	5	5	4	4	2	2	2	2	3	4	6	45
22	თბილისი	8	7	6	4	3	1	1	1	2	4	7	9	53
23	წალკა	5	5	6	5	4	2	1	1	4	5	6	7	51
24	რადიონოვკა	4	5	3	0	3	0	1	0	1	2	1	4	24
25	გარდაბანი	4	5	4	3	2	1	1	1	2	5	6	7	41
26	შირაქი	9	9	8	4	3	1	1	0	2	4	6	9	56
27	სოხუმი	12	8	7	5	4	1	2	1	1	3	5	10	59
28	მწვანე კონცხი	11	9	8	7	4	4	4	4	4	4	8	10	77

ბიბლიოგრაფია

1. Pflnning &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, Гидрометеоиздат, 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. 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.
12. სალუქვაძე რ., დგებუაძე გ., კაშია ვ., კობახიძე კ., დენის ავტონომიური წყაროების პრაქტიკული გამოყენების შესახებ, 1998, ენერჯია, #3(7), გვ. 88-92.

13. კაშია ვ., კობახიძე კ., ჩხენკელი ნ., მზის ფოტოელექტრო გენერატორის მახასიათებლების დამოკიდებულება ორიენტაციასა და ამინდის პირობებზე, 1999, ენერჯია, №4(12), გვ. 62-67.
14. სურგულაძე დ., კობახიძე ლ., დავითური ა., კობახიძე კ., მზის ფოტოელექტრო ენერჯიის მრიცხველი, 2000, ენერჯია, №3(15), გვ. 90-91.
15. 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.
16. კობახიძე კ., ჩხენკელი ნ., ფოტოელექტრო სისტემების გაანგარიშება საქართველოს პირობებში, 2001, თბილისი, განახლებადი ენერჯიის წყაროები, საერთაშორისო სემინარის თეზისები, გვ. 24-27.
17. 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.
18. 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.
19. Кобахидзе К.А., Чхенкели Н.С., Кобахидзе Л.К., Устойчивое энергоразвитие высокогорных общин, 2003, Сборник докладов третьей международной конференции РЭЦ Кавказ, с. 96-98.
20. Кобахидзе К.А., Чхенкели Н.С., Кобахидзе Л.К., Кашиа В.Г., Перспектива использования солнечных фотоэлектро систем для высокогорных селений, 2005, Международный научный журнал, Альтернативная энергия и экология, №12. с. 73-75.

21. Kobakhidze K., Kobakhidze L., Chkhenkeli N., Bokuchava G., Renewable Energy Supply of Mountainous Villages in Georgia, 2008, Scotland - Glasgow, Renewable Energy World Congress.
22. 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.
23. 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.
24. კობახიძე კ., ჩხენკელი ნ., კობახიძე ლ., ბოკუჩავა გ., მზის ენერჯის გამოყენება მაღალმთიანი სოფლის ლოკალური ენერგომომარაგებისათვის, 2009, ენერჯია, #3(51), გვ. 134-135.
25. კობახიძე კ., ჩხენკელი ნ., კობახიძე ლ., ბოკუჩავა გ., ფშავ-ხევსურეთისა და ხევის არაელექტროფიცირებად სოფლებში განახლებადი ენერგორესურსების კვლევის შედეგები, 2009, ენერჯია, #4(52)-1, გვ. 127-130.
26. Кобахидзе К.А., Чхенкели Н.С., Кобахидзе Л.К., Использование солнечных энергосистем на охраняемых территориях Грузии, 2011, ენერჯია, #3(59), გვ. 88-89.
27. კობახიძე კ., მზის ნახევარგამტარული ფოტოელექტრული სისტემების კლასიფიკაცია და გამოყენების მიმართულებები საქართველოში, 2011, თბილისი, გამოყენებითი ფიზიკის აქტუალური საკითხები, საერთაშორისო კონფერენციის შრომები, სტუ, გვ. 382-384.
28. M.E. Green, K. Emery, D.L. King, S. Igary, W. Warta. Progr. Photovolt.:Res. Appl., #10, 2002, p. 335.
29. S.G. Bailey, D.F. Flood. Progr. Photovolt., #6, 1998.

30. V.D. Rumyantsev, V.M. Andreev, N.A. Sadchikov, A.W. Bett, F. Dimroth, G. Lange. Proc. Conf. "PV in Europe", Rome, 2002.
31. M. Yamaguchi. Workshop Proc. "The path to ultra-high effecient photovoltaics" , Ispra, Italy, 2002, p. 15.
32. M.J. O'neil, M.F. Piszczor, M.I. Eskenazi, M.M. Botke, H.W. Brandhorst, D.L. Edwards, P.A. Jaster. Proc. 29th IEEE photovolt. Specialists Conf. New Orleans, 2002. p. 916.