

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ოთარი ჯაფარიძე

მცენარეული ბიომასის ნარჩენების თბოუნარიანობის  
ექსპერიმენტული გამოკვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ეფერ ატი

სადოქტორო პროგრამა: "ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია"

შიფრი: 0405

თბილისი

2020 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი  
თბოენერგეტიკის და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ო. კიღურაძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2020 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და  
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო  
საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია .....

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი  
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა და კვლევის მიზანი. კვლევის მიზანს წარმოადგენს მცენარეული ნარჩენი ბიომასის ალტერნატიულ სათბობად განხილვა და საჭირო თბოტექნიკური პარამეტრების ექსპერიმენტული გზით დადგენა, რაც აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს და ეხმიანება სოფლის მოსახლეობის სოციალური პრობლემების გაუმჯობესებას და ასევე გარემოს გაჯანსაღებას.

ნაშრომში დასმული ერთ-ერთი პრობლემატური საკითხის დადებითად გადაწყვეტა პოზიტიურად იმოქმედებს - საქართველოს უმრავლეს რეგიონში ფაქტიურად არსებული მდგომარეობის-შემის არა ნორმირებული ჭრის კატასტროფულად გაზრდილი მაჩვენებლის შემცირებაზე.

**კვლევის ძირითადი ამოცანები.** დასახული მიზნის მისღწევად დასმული იქნა შემდეგი ძირითადი ამოცანები:

- ალტერნატიული სათბობების განხილვა და მათი ენერგეტიკული და ეკოლოგიური როლი;
- მცენარეული ნარჩენი ბიომასის სათბობად გამოყენების მიზნით წინა პრობლემის შესწავლა და საქართველოს რეგიონების მიხედვით მცენარეული ნარჩენი ბიომასის რაოდენობრივი ანალიზი;
- მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბოტექნიკური პარამეტრის-თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული განსაზღვრის მეთოდოლოგიის შერჩევა;
- იზოთერმული კალორიმეტრის ექსპერიმენტული მონაცემებზე დაყრდნობით გაზომვის შედეგებზე გარემოსთან თბოცვლით განპირობებული სისტემატიური ხასითის ცდომილების შესწავლა, მნიშვნელობის განსაზღვრა და შედეგების კორექტირება შესაბამისი შესწორების შეტანით;

- სხვადასხვა სახის მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული გამოკვლევა, შედეგების ანალიზი და რეკომენდაციები სათბობად გამოყენების მიზნით.

**კვლევის ობიექტი, მეთოდები და ექსპერიმენტული ზაზა.** კვლევის ობიექტად შერჩეულია საქართველოში დიდი რაოდენობით არსებული სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენი ბიომასა, კერძოდ: ლობიოს ქერქი; მზესუმზირის ჩენჩო; სიმინდის ტარო, სიმინდის ფოთოლი, სიმინდის ფუჩჩი; ვაშლის ქერქი; ხახვის ქერქი; ყურძნის ჩენჩო; ხორბლის ნარჩენი; ქერის ნარჩენი; ნამჯა და სხვა. თბოუნარიანობის გამოსაკვლევად განხილულია როგორც თეორიული, ასევე ექსპერიმენტული მეთოდები. უპირატესობა კონკრეტული ამოცანების გადასაწყვეტად მიენიჭა თბოუნარიანობის განსაზღვრის ექსპერიმენტულ მეთოდს, როგორც შედეგების საიმედოობით უფრო სანდო მეთოდს. ექსპერიმენტული კვლევისათვის გამოყენებულია თანამედროვე დონის კალორიმეტრული სისტემა, რაც მიღებული შედეგების მაღალ სიზუსტესა და სისწორეს განაპირობებს.

**ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე.** პირველად ექსპერიმენტულად დადგენილია: სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენი ბიომასის უმაღლესი მუშა თბოუნარიანობა; მიღებულია სათბობში გარე ტენის მიხედვით უდაბლესი თბოუნარიანობის გამოსათვლელი გამოსახულებები; თბოუნარიანობის მიღებული შედეგებზე დაყრდნობით შეფასებულია მცენარეული ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი და პირობითი სათბობის დაზოგვის მაჩვენებლები; ექსპერიმენტულ შედეგებში გათვალისწინებულია გარემოსთან თბოცვლით გამოწვეულ სისტემატიური ხასიათის ცდომილებაზე შესწორებები.

**ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება - გამოყენების სფერო.** ნაშრომში მიღებული შედეგების საფუძველზე გამოკვლეული მცენარეული ნარჩენი ბიომასა წარმატებით შეიძლება დანერგილი იქნეს სოფლად ფართო მასშტაბით გამოყენებული შემის ღუმელებისათვის სათბობად,

როგორც შეშასთან ერთად ასევე დამოუკიდებლადაც, რაც დაზოგავს შეშის გამოყენებას და ხელს შეუწყობს გარემოს გააჯანსაღებას.

**ნაშრომის აპრობაცია.** ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის, თბოენერგეტიკის და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე და დისერტაციის წინასწარ განხილვაზე. ასევე, სტუ-ის სტუდენტთა 85-ე და 86-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე 2017 და 2018 წლებში.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო სტატია, სადისერტაციო საბჭოს მიერ რეკომენდებულ გამოცემებში.

**ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა.** ნაშრომი შეიცავს შესავალს, სამ თავს, დასკვნებსა და გამოყენებულ ლიტერატურის სიას. ნაშრომის მოცულობა შეადგენს 117 გვერდს 48 ცხრილისა და 32 ნახაზის ჩათვლით.

## ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

პირველ თავში განხილულია ზოგადად სათბობი აგრეგატული მდგომარეობის და კლასიფიკაციის მიხედვით. ნაჩვენებია დღევანდელი მსოფლიო პრობლემა, რაც შეეხება სათბობის დეფიციტსა და თანმდევ სხვა პრობლემებს, მაგალითად - ერთეულ სათბობზე ფასის განუხრელი ზრდა.

საქართველოს სოფლის მოსახლეობის უდიდესი ნაწილი სათბობად იყენებს საშემე მერქანს და მისი მოხმარების მზარდი ტემპები მწვავედ აყენებს ალტერნატიული და განახლებადი სათბობის ძიების საკითხს.

დახასიათებულია სათბობში შემავალი ელემენტები და მოცემულია მათი თბოტექნიკური მაჩვენებლები.

განხილულია ალტერნატიული სათბობები- ბიოგაზი და ბიომასა. ბიოგაზი არის აირადი საწვავი, რომელიც სხვადასხვა ორგანული ნივთიერებების ფერმენტაციის პროცესში, უჟანგბადო გარემოში წარმოიქმნება. ბიომასა: მცენარეული და ცხოველური ნარჩენები; ხე ტყის გადამუშავების ნარჩენები; საოჯახო, მუნიციპალური თუ კვების მრეწველობის ნარჩენები - შეიცავს წვად ელემენტებს და შესაბამისად საყურადღებოა ენერგეტიკული თვალსაზრისით.

დასაბამიდან საქართველოს მოსახლეობა ტრადიციულად ეწევა ფერმერულ საქმიანობას- მემინდვრეობა, მებაღეობა, მეფრინველეობა, მეცხოველეობა, მევენახეობას და სხვა რის გამოც სოფლის მოსახლეობას საოჯახო მეურნეობაში, ნარჩენი ბიომასის გამოყენების დიდი გამოცდილება აქვთ.

თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული კვლევის ობიექტად შერჩეულია საქართველოში დიდი რაოდენობით არსებული სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენი ბიომასა, კერძოდ: ლობიოს ქერქი; მზესუმზირის ჩენჩო; სიმინდის ტარო, სიმინდის ფოთოლი; სიმინდის ფუჩეჩი; ვაშლის ქერქი; ხახვის ქერქი; ყურძნის ჩენჩო; ხორბლის ნარჩენი; ქერის ნარჩენი; ნამჯა და სხვა.

ლიტერატურული მონაცემებზე დაყრდნობით შეფასებულია საქართველოს რეგიონების მიხედვით სოფლის მეურნეობის სხვადასხვა კულტურების მოსავლის და მათი ნარჩენების რაოდენობა.

განხილულია საქართველოს ტყის პროდუქტიულობა, რესურსი და მოხმარება. ის ფაქტი რომ საქართველოს ტყის რესურსი თანდათან მცირდება, გამოწვეულია იმით რომ საშეშე მერქის ნამატი ვერ უსწრებს ყოველწლიურად შეშის მოხმარების ტემპებს. პრაქტიკულად საქართველოს ყველა რეგიონისათვის დამახასიათებელი ტყის პოტენციალსა და მის მოხმარებას შორის ნეგატიური სხვაობა ძალზედ საგანგაშოა.

გამომდინარე აქედან ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მცენარეული ნარჩენი ბიომასის ალტერნატიულ სათბობად განხილვა და საჭირო თბოტექნიკური პარამეტრების ექსპერიმენტული გზით დადგენა, რაც აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს, რომელიც ეხმიანება სოფლის მოსახლეობის სოციალური პირობების გაუმჯობესებას და ასევე გარემოს გაჯანსაღებას.

ნაშრომში დასმული ერთ-ერთი პრობლემატური საკითხის დადებითად გადაწყვეტა პოზიტიურად იმოქმედებს-საქართველოს უმრავლეს რეგიონში ფაქტიურად არსებული მდგომარეობის- შეშის არა ნორმირებული ჭრის კატასტროფულად გაზრდილი მაჩვენებლის შემცირებაზე.

სათბობის ერთ-ერთ ძირითად თბოტექნიკურ მახასიათებელს წარმოადგენს მისი სრული დაწვის დროს გამოყოფილი სითბოს ხვედრითი რაოდენობა- თბოუნარიანობა (კჯ/კგ)

თბოუნარიანობის პარამეტრის დასადგენად ნაშრომში გამოყენებულია ექსპერიმენტული მეთოდი- “კალორიმეტრული ყუმბარის” მეთოდი.

**მეორე თავში** განხილულია მიომასის სხვადასხვა ნარჩენის ბრიკეტირების მეთოდიკა. იგი მოიცავს შეგროვილი ნარჩენი ბიომასის

დამუშავების ტექნოლოგიას. სათბობის ბრიკეტირების უპირატესობას წარმოადგენს:

- ბრიკეტის მოხმარებით ხელი ეწყობა ტყის ეკოსისტემის შენარჩუნებას და კლიმატის ცვლილების პროცესის შერბილებას, მცირდება სითბოს დანახარჯები საჭმლის მომზადებასა და გათბობაზე;
- ბრიკეტის შენახვა და ტრანსპორტი გაადვილებულია;
- ბიომასის ბრიკეტი წარმოადგენს ერთი ზომის და ხარისხის პროდუქტს;
- ბრუკეტში ტენი შედარებით მცირეა (8-10% ), რის გამოც წვის პროცესი უფრო სუფთად და ეფექტურად მიმდინარეობს;
- ბრიკეტის წვის დროს მავნე აირების და ნარჩენების გამოყოფა მინიმუმამდეა დაყვანილი;
- ბრიკეტის გამოყენება შესაძლებელია პრაქტიკულად ნებისმიერი ტიპის (გარდა თხელი თუნუქის ღუმელისა) შეშის ღუმელში.

ნაჩვენებია ბრიკეტირების მაგალითი და მისი დადებითი მხარეები. აგრეთვე განხილულია სათბობიდან ტენის მოცილების-გამოშრობის ტექნოლოგია.

სათბობში არსებული ტენი მნიშვნელოვანი ტექნიკური მახასიათებელს წარმოადგენს, იგი განსაზღვრავს სათბობის ხარისხს. ტენიანობა თბოუნარიანობაზე უარყოფითად მოქმედებს. ამიტომაც მიზანშეწონილია გამოსაყენებელი სათბობის გამოშრობა ტენის მოცილების მიზნით, შესაბამისად თბოუნარიანობის ასამაღლებლად.

ცდის ჩატარებამდე წინასწარ განხორციელდა საკვლევი ნიმუშების გამოშრობა RADWA-50R მარკის საშრობი ხელსაწყოთი 105°C - 110°C ტემპერატურაზე და დადგინდა ტენიანობის მაჩვენებელი.

განხილულია თბოუნარიანობის საზომი კალორიმეტრიული ცდის ჩატარების მეთოდის კალორიმეტრიული „ყუმბარის“ ექსპერიმენტული



მეთოდი. კალორიმეტრული „ყუმბარა“ წარმოადგენს უჟანგავი ფოლადის ჰერმეტიკულ სქელკედლა ჭურჭელს, რომელშიც თავსდება დაახლოებით 1 გრამი მასის მქონე საკვლევი ნივთიერება. მასში სათბობის წვის სრული პროცესის განხორციელების მიზნით შექმნილია 25-30 ბარი წნევის ჟანგბადის გარემო. კალორიმეტრული „ყუმბარა“ სათბობით მოთავსებულია დისტილირებული წყლით სავსე ჭურჭელში.

კალორიმეტრული ცდა იყოფა სამ პერიოდად: საწყისი, მთავარი და საბოლოო პერიოდებად. საწყისი და საბოლოო პერიოდების კალორიმეტრის ტემპერატურების მონაცემები საჭიროა კალორიმეტრული სისტემის გარემოსთან თბოცვლის შესაფასებლად და ტემპერატურული შესწორების გასაანგარიშებლად. კალორიმეტრში თბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ სათბობს ანთებენ ელექტრული საფეთქით. გამოყოფილი სითბო განაპირობებს კალორიმეტრის წყლის ტემპერატურის გაზრდას, რომელიც იზომება პრეციზიული თერმომეტრით ( $0,001^{\circ}\text{C}$  ცდომილებით).

კალორიმეტრულ „ყუმბარაში“ ცდის ჩატარებისას ნამწვი გაზების საბოლოო ტემპერატურა ნაკლებია წყლის ორთქლის კონდენსაციის ტემპერატურაზე, შედეგად, ორთქლი კონდენსირდება და სათბობის სითბო, რომელიც დაიხარჯა ტენის აორთქლებაზე ( $(W^{\theta}/100+9H^{\theta}/100)*2514$  კჯ, სადაც 2514კჯ არის წყლის ორთქლადქცევის სითბო) მისი ტოლი კონდენსაციის სითბოს სახით უბრუნდება წვის პროდუქტებს.

აღნიშნულ პოცესს ადგილი არ აქვს თბოდანადგარების ექსპლუატაციის პირობებში, რადგან აგრეგატიდან გამავალი ნამუშევარი ნამწვი გაზების ტემპერატურა, როგორც წესი, აღემატება  $120^{\circ}\text{C}$  და სათბობის წვის პროცესში წარმოქმნილი წყლის აორთქლებაზე დახარჯული სითბო დანაკარგის სახით გაიტანება გარემოში. შესაბამისად თბოდანადგარში სათბობის უმაღლესი თბოუნარიანობის შესაბამისი სითბოს გამოყენება ვერ ხერხდება და სათბობის გამოყენების ეფექტურობის შესაფასებლად სარგებლობენ სათბობის უდაბლესი მუშა თბოუნარიანობის მაჩვენებლით:

$$Q_{\text{უდ}}^{\theta} = Q_{\text{უმ}}^{\theta} - (W^{\theta}/100+9H^{\theta}/100)*2514.$$

კალორიმეტრული ცდების ჩატარება მიზანშეწონილია სათბობის წინასწარი გამოშრობით მიღებული მშრალი სათბობის სინჯის გამოკვლევით. თბოდანადგარებში გამოყენებული სათბობი შეიცავს გარკვეული რაოდენობის ტენს, შესაბამისად სათბობის მშრალი მასის უდაბლესი თბოუნარიანობის ( $Q_{\text{შდ}}^{\text{მშ}}$ ) ნაცვლად გაანგარიშებების ჩატარება უნდა შესრულდეს უდაბლესი მუშა თბოუნარიანობის ( $Q_{\text{შდ}}^{\text{მ}}$ ) მიხედვით სათბობის სხვადასხვა ტენიანობის ( $W^{\text{a}}$ ) შესაბამისად:

$$Q_{\text{შდ}}^{\text{მ}} = Q_{\text{შდ}}^{\text{მშ}} \cdot (100 - W^{\text{a}}) / 100$$

კონკრეტული კალორიმეტრული სისტემისთვის ჯამური სითბოტევადობის, ანუ თბური ექვივალენტის განსაზღვრა შესაძლებელია კალორიმეტრის კალიბრებით. არსებობს კალიბრების ორი მეთოდი – აბსოლუტური და ფარდობითი.

აბსოლუტური მეთოდის შემთხვევაში სითბო გამოიყოფა კალორიმეტრში მოთავსებულ წინაღობაზე და მისი რაოდენობა განისაზღვრება წინაღობაში გამავალი დენისა და მასზე მოდებული ძაბვის საშუალებით. ფარდობითი მეთოდის შემთხვევაში თბოუნარიანობის განსაზღვრის ექსპერიმენტი ტარდება ცნობილი თბოუნარიანობის მქონე სანიმუშო ნივთიერების გამოყენებით.

კალორიმეტრის კალიბრება ჩატარდა 99,992% სისუფთავის (ძირითადი ნივთიერება) მქონე სანიმუშო ნივთიერების - ბენზოინის მჟავის გამოყენებით, რომლის თბოუნარი სერტიფიკატის მიხედვით შეადგენს 26460 ჯ/გ-ს.

კალორიმეტრული ექსპერიმენტები ჩატარდა ბენზოინის მჟავის დაწვით კალიბრების რეჟიმში: გამოყოფილი სითბოს მიხედვით 26460 ჯ/გ განისაზღვრა კალორიმეტრული მუდმივა ( $K$ , ჯ/°C). გაზომვების 9 მონაცემიდან (14286; 14246; 14189; 14218; 143386; 14077; 13985; 14123; 14163) პირველი 4 მონაცემი აღებულია 2017 წლის გაზომვებიდან, ხოლო შემდეგი 5- წარმოადგენს 2018 წლის კალიბრების მონაცემებს. დროითი ფაქტორით დაყოფის შემთხვევაში განიხილულია გაზომვების ორი ჯგუფი (ცხრ.1).

ცხრილი 1. კალორიმეტრიული რიცხვის გაზომვის მონაცემები

პირველი ჯგუფი			მეორე ჯგუფი		
<i>i</i>	$K_i$ ჯ/°C	$(K_i - \bar{K})^2$ (ჯ/°C) <sup>2</sup>	<i>i</i>	$K_i$ , ჯ/°C	$(K_i - \bar{K})^2$ (ჯ/°C) <sup>2</sup>
1	14286	13806,3	1	14386	57216,6
2	14246	26406,3	2	14077	4872,04
3	14189	6806,25	3	13985	16179,2
4	14218	16256,3	4	14123	566,44
			5	14163	262,44
ჯამი	56939	63275	ჯამი	70734	79096,8
საშ. $\bar{K}_I$	14234,75		საშ. $\bar{K}_{II}$	14146,8	

გამოთვლილია გაზომვების პირველი და მეორე ჯგუფისათვის დისპერსიები (1) და სტანდარტული გადახრები (2):

$$S_I^2 = \frac{\sum_1^4 (K_i - \bar{K})^2}{n-1} = \frac{63275}{4-1} = 21091,7 \quad S_{II}^2 = \frac{\sum_1^5 (K_i - \bar{K})^2}{n-1} = \frac{89096,8}{5-1} = 22274,2 \quad (1)$$

$$S_I = \sqrt{21091,7} = 145,23 \quad S_{II} = \sqrt{22274,2} = 149,2454 \quad (2)$$

გაზომვების პირველი და მეორე ჯგუფი წარმოადგენს თანაბარგაზომის მქონე მონაცემებს და საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობის სტანდარტული გადახრის შეფასება შეიძლება ფორმულით:

$$S_{\bar{k}} = \sqrt{\frac{1}{N(m-1)} \sum_{i=1}^m n_i \cdot (\bar{k}_i - \bar{K}_{I-II})^2} =$$

$$S_{\bar{k}} = \sqrt{\frac{1}{9(2-1)} \cdot [4(14234,75 - 14185,89)^2] + 5(14146,8 - 14185,89)^2} = 43,7 \quad (3)$$

კალორიმეტრის მუდმივას საშუალო არითმეტიკულის ზღვრული ცდომილება ტოლია :

$$\Delta = (0.95;9) \cdot S_{\bar{k}} = 2.36 \cdot 43.7 = 103.13 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

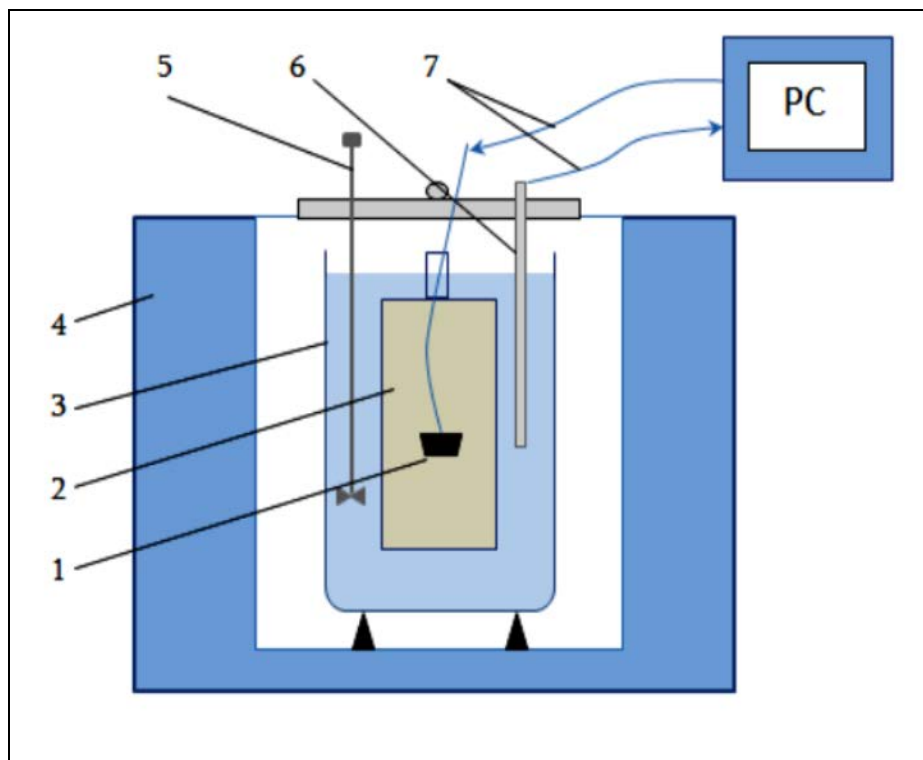
ანუ

$$(\Delta / \bar{K}_{I-I}) \cdot 100 = 13.13 \cdot 100 / 14185.8 = 0.73\% \quad (5)$$

ამრიგად კალორიმეტრის მუდმივას საშუალო არითმეტიკულის ზღვრული ცდომილება (5) შეადგენს 0.73 %.

მესამე თავი მოიცავს ექსპერიმენტულ ნაწილს. ახსნილია იზოთერმული კალორიმეტრის მუშაობის პრინციპი, აღწერილია ჩატარებული ცდების მსვლელობა, განხილულია ცდის ცალკეული ეტაპები და ტემპერატურის გაზომვის ცდომილებები.

ნახ.1-ზე ნაჩვენებია კალორიმეტრი XRY-1C ხელსაწყო სქემა, შემადგენელი ელემენტებით.



ნახაზი 1. კალორიმეტრ XRY-1C-ის სქემა:

1-ტიგელი ნიმუშით, 2. კონტეინერი მაღალი წნევის ჟანგბადით, 3-კალორიმეტრული ჭურჭელი, 4-კალორიმეტრული გარსაცმი, 5-სითხის შემრევი, 6-თერმომეტრი, 7-სადენები

ხელსაწყო შედგება წყლიანი ჭურჭლისგან (3), რომელშიც მოთავსებულია მაღალი წნევის კონტეინერი (2) ტიგელით (1) საკვლევ ნიმუშთან ერთად. კალორიმეტრული ჭურჭლის გარემოსთან თბოცვლის შესამცირებლად გათვალისწინებულია კალორიმეტრული გარსაცმი (4) დიდი რაოდენობის წყლით.

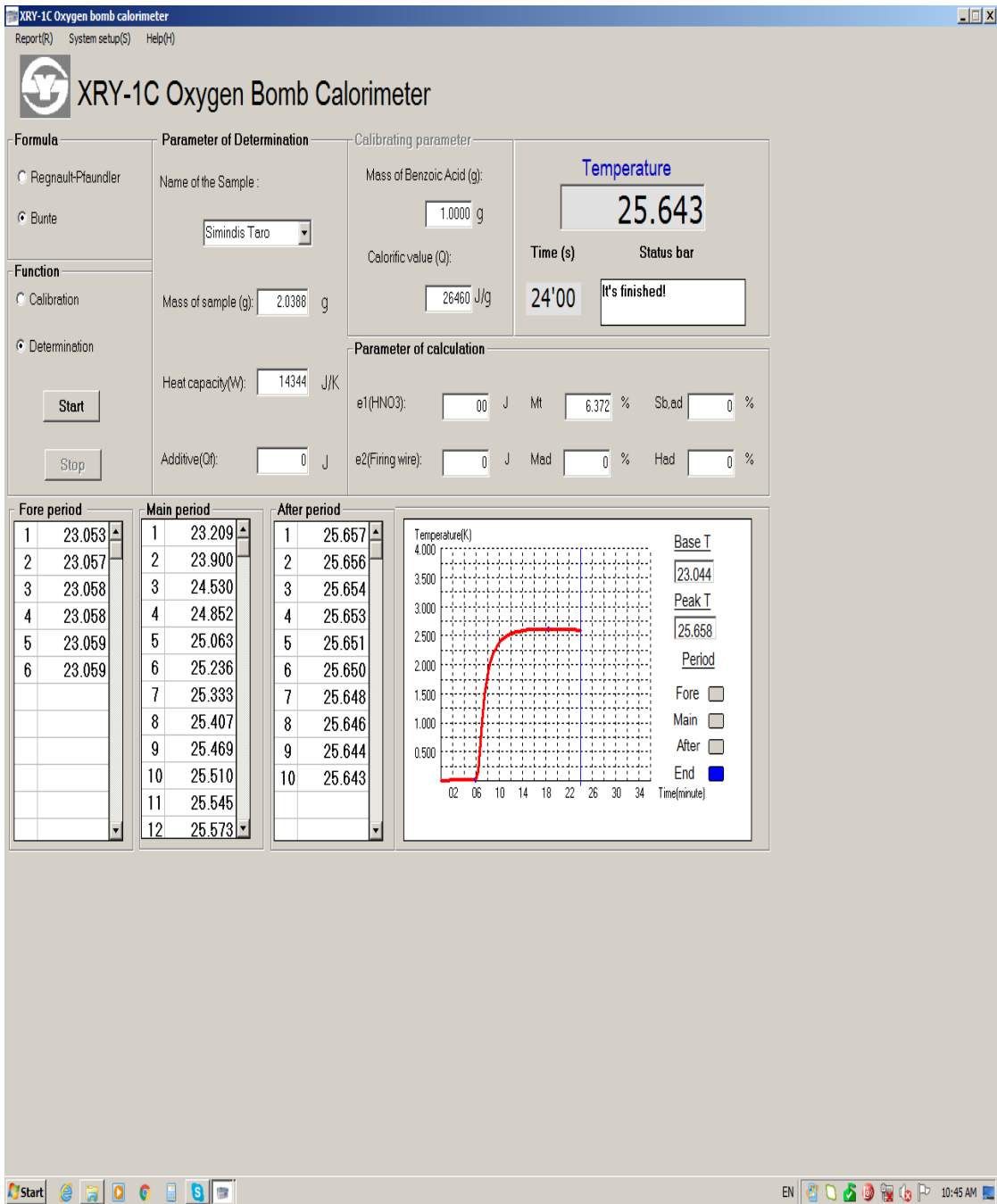
სათბობის წვისთვის ხელსაყრელი პირობების შექმნისათვის (სრული წვის განსახორციელებლად) დროს კონტეინერი შევსებულია 25 ატმოსფერული წნევის მქონე ჟანგბადით. კონტეინერი მოთავსებულია გამოხდილი წყლით შევსებულ (3 ლიტრის ოდენობით) კალორიმეტრულ ჭურჭელში (3), სპეციალური შემრევის (5) საშუალებით მიიღწევა სათბობის დაწვით გამოყოფილი სითბოს განაწილება და ტემპერატურის გათანაბრება წყლის მოცულობაში.

კომპიუტერული მართვის პროგრამა თერმომეტრის (6) გამოყენებით უზრუნველყოფს ტემპერატურის ცვლილების რეგისტრაციას და ცდის ხანგძლივობისა და მახასიათებელი პერიოდების საზღვრების დადგენას.

სადენების (7) საშუალებით ირთავენ ელექტრულ წრედი, რაც ნიმუშთან წარმოქმნის ნაპერწკალს და ახდენს სათბობის დაწვას.

საკვლევ ნიმუშის სრული დაწვის შედეგად გამოყოფილი სითბო გადაეცემა კალორიმეტრულ ჭურჭელში მოთავსებულ გამოხდილ წყალს. თბური ბალანსის ბაზაზე განისაზღვრება გამოხდილი წყლის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა და საკვლევ ნიმუშის თბოუნარიანობა.

ნახ.2-ზე საილუსტრაციოდ ნაჩვენებია სიმინდის ტაროს ნარჩენის მაგალითზე თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული მეთოდით განსაზღვრა. ნაჩვენებია ცდის სამივე პერიოდისათვის ტემპერატურის ცვლილების მრუდი.



ნახ. 2. კლორიმეტრული ექსპერიმენტი. ნიმუში - სიმინდის ტაროს ნარჩენი

ცხრ.2-ში მოცემულია ცდის მსვლელობის სამივე ეტაპი: საწყისი, მთავარი და საბოლოო პერიოდებში ტემპერატურის მნიშვნელობები. ცდა იწყება სარველას მუშაობაში მოყვანიდან 6-10 წუთის შემდეგ. ამ დროს ხდება კლორიმეტრულ ხელსაწყოსა და გარემოს შორის ტემპერატურათა

გათანაბრება. შემდეგ ხორციელდება სათბობის დაწვის პროცესი (მთავარი პერიოდი), რის შედეგადაც ადგილი აქვს ტემპერატურის მკვეთრ ზრდას.

**ცხრილი 2. ტენიანი სიმინდის ტაროს ნარჩენის ექსპერიმენტული მონაცემები**

<b>Determination</b>			
SampleName: <b>Simindis Taro</b>		Operator:	
SampleMass(g)	<b>2.0388</b>	Formula	<b>Bunte</b>
Capacity(J/K)	<b>14344</b>		
Mad(%)	<b>0</b>	Mt(%)	<b>6.372</b>
Sb,ad(%)	<b>0</b>	Had(%)	<b>0</b>
AutoID	Fore period	Main period	After period
1	23.053	23.209	25.657
2	23.057	23.900	25.656
3	23.058	24.530	25.654
4	23.058	24.852	25.653
5	23.059	25.063	25.651
6	23.059	25.236	25.650
7		25.333	25.648
8		25.407	25.646
9		25.469	25.644
10		25.510	25.643
11		25.545	
12		25.573	
13		25.595	
14		25.612	
15		25.623	
16		25.633	
17		25.641	
18		25.647	
19		25.651	
20		25.654	
21		25.656	
22		25.658	
23		25.658	
24		25.658	
25		25.658	
26		25.657	
=====			
Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)	
18510	18447	18287	
Time:		2017-12-01 10:43:40 AM	

გარკვეულ დროის შემდეგ მიიღწევა კალორიმეტრულ სისტემაში ტემპერატურის გათანაბრება და საბოლოო პერიოდის ათვლა. ცდის მსვლელობისას ტემპერატურის ათვლა წარმოებს ერთი წუთის ინტერვალით.

ჩატარებულია საწყის და საბოლოო პერიოდებში ტემპერატურების ცვლილების ანალიზი.

საწყისი და საბოლოო პერიოდების ექსპერიმენტული მონაცემები დამუშავებულია უმცირესი კვადრატების მეთოდით და მიღებულია აპროქსიმაციის ფორმულები.

წრფივი აპროქსიმაციის ფორმულებს საწყისი და საბოლოო პერიოდისთვის აქვს სახე:

$$t = 0,00077143 * \tau + 20,824133 \qquad t = -0,00089091 * \tau + 22,67236$$

$\tau$ -დრო

კალკული გაზომვის საშუალო კვადრატული ცდომილება ტოლია:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (t_i - t_{\text{სრ}})^2}{n - N - 1}} = \sqrt{\frac{1.08333 * 10^{-5}}{6 - 1 - 1}} = 0.00165 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ხოლო საშუალო მნიშვნელობების საშუალო კვადრატული ცდომილება :

$$S_t = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0.00165}{\sqrt{6}} = 0.00067 \text{ } ^\circ\text{C}$$

სადაც  $t_i$  და  $t_{\text{სრ}}$  - არის ექსპერიმენტული და წრფის წერტილები

შესაბამისად;

n- ექსპერიმენტული წერტილების რიცხვი;

N-ექსპერიმენტული წერტილების აპროქსიმაციის პოლინომის

მაჩვენებელი. ჩვენ შემთხვევაში = 1.

ანალოგიურად დამუშავებულია კალორიმეტრული ცდის საბოლოო პერიოდი და გამოთვლილია ტემპერატურის შესწორებული მნიშვნელობა.

საბოლოოდ მიღებული იქნა ბაზისურ ტემპერატურასა და შესწორებულ ტემპერატურას შორის ცდომილება ტოლია  $\frac{0,002}{1,818} * 100 = 0,1\%$



ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბოუნარიანობა. სილუსტრაციოდ ცხრ.3-ში მოცემულია ხორბლის ნარჩენი ბიომასის თბოუნარიანობის გაზომვის თბური პარამეტრები.

თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული შედეგი, განსაზღვრულია “კალორიმეტრული ყუმბარის” საშუალებით. სათბობის თბოუნარიანობის პირველად მონაცემს, რომელიც განისაზღვრება კალორიმეტრულ ცდაში წარმოადგენს სათბობის თბოუნარიანობა “კალორიმეტრული ყუმბარის” მიხედვით  $Q_{ყუმბ}$ .

**ცხრ 3. ხორბლის ნარჩენის ნიმუშის თბური პარამეტრები**

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი,%				
		0	10	20	40	7,3
ხორბლის ნარჩენი ბიომასა  ნიმუშის მასა 0.7953 გრამი ტენი 7,3 <sup>^</sup>	თბოუნარიანობა ყუმბარის მიხედვით, $Q_{ყუმბ}$ , ჯ/გ	17585				
	ბრუტო თბოუნარიანობა, $Q_{ბრ}$ , ჯ/გ	17522				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H^{მშრ}$ .	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, $H^0$	6,06	5,45	4,85	3,64	5,62
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1269
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	0	251	502	1004	183,23
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1452
	უდაბლესი მუშა თბოუნარიანობა, $Q_{უდ}$ , ჯ/გ	16153	16039	15925	15697	16070

სათბობის თბოუნარიანობა “კალორიმეტრული ყუმბარის” მიხედვით არის ერთეული მასის სათბობის მიერ სრული წვის დროს გამოყოფილ სითბოს რაოდენობა კალორიმეტრული ცდის პირობებისათვის: სათბობიდან გამოყოფილ სითბოს რაოდენობას ემატება საფალიე მავთულის დაწვით და ყუმბარაში აზოტმჟავას და გოგირდმჟავას წარმოქმნის ეგზოთერმული რეაქციებით გამოყოფილი სითბო. საფალიე მავთულის დაწვით მიღებული სითბო გათვალისწინებულია კალორიმეტრულ მუდმივაში კალიბრების დროს.

კალორიმეტრულ ყუმბარაში მჟავების წარმოქმნის ეგზოთერმული რეაქციების სითბოს  $Q_{გზ}$ . გათვალისწინებით მიიღება სათბობის თბოუნარიანობის ბრუტო მნიშვნელობა  $Q_{ბრ}$ :  $Q_{ბრუტო} = Q_{ყუმბ.} - Q_{გზ}$ .

სათბობის დაწვის დროს სითბოს გარკვეული ნაწილი იხარჯება სათბობში არსებული წყალბადის დაჟანგვით მიღებული  $9H^{\circ}/100$  კგ წყლის და სათბობში არსებული  $W^{\circ}/100$ კგ ტენის აორთქლებაზე. პრაქტიკულად სითბოს მომხმარებელი დანადგარებისათვის ნამუშევარი ნამწვი გაზების ტემპერატურა ( $120-180^{\circ}C$ ) აღემატება გაზებში არსებული წლის ორთქლის „ნამის წერილის“ მნიშვნელობას, რის გამოც ტენის ორთქლადქცევაზე დახარჯული სითბო წარმოადგენს სითბოს დანაკარგებს.

კალორიმეტრული ყუმბარით სათბობის თბოუნარიანობის გაზომვის მეთოდის მიხედვით სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული წვის პროდუქტები კალორიმეტრულ ყუმბარაში ცივდება დაახლოებით ოთახის ტემპერატურამდე და ადგილი აქვს ყუმბარაში წვის პროცესში მიღებული წყლის ორთქლის კონდენსაციას და შედეგად კალორიმეტრულ ყუმბარაში ორთქლადქცევის ტოლი კონდენსაციის სითბოს დაბრუნებას. ანუ მიიღება ბრუტო თბოუნარიანობა  $Q_{ბრუტო}$ .

ცხრ.3. ასევე მოცემულია სათბობში არსებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული სითბოს გათვალისწინებით თბოუნარიანობა  $Q_w$ .

ტექნიკური გაანგარიშებებისათვის გამოიყენება ნეტო თბოუნარიანობა  $Q_{ნეტო}$ , რომელშიც გათვალისწინებულია თბოუნარიანობის შემცირება

სათბობში არსებული წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის და სათბობში არსებული წყლის აორთქლებაზე დახარჯული სითბოთა რაოდენობებით:

$$Q_{ნეტო} = Q_{ბრუტო} - 25,14 \cdot 9H^3 / 100 - 25,14 \cdot W^3 / 100$$

ცხრ. 4. შეფასებულია სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი და პირობითი სათბობის დაზოგვის პროგნოზული მაჩვენებლები.

ცხრილი 4. ენერჯის მისაღებად გამოსაყენებელი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის (გჯოულებში) და შესაბამისი ტონა პირობითი სათბობის მნიშვნელობები (ტპს)

კულტურა	სიმინდი	მზესუ მზირა	ლობიო	ხორბალი	ქერი	შვრია	სულ	
მოსავალი	378501	23078	11133	181922	51133	4178		
ნარჩენების კოეფიციენტი	1,2	3,7	1,65	1,75	1,5	1,5		
ნარჩ. აღების კოეფიციენტი	7	7	8	8,5	8,5	8,5		
ნარჩენების რაოდენობა	317941	59772	14696	270609	65195	5327		
ბიომასის თბოუნარიანობა	15027	15796	11673	16039	14248	15243		
ენერჯის მისაღებად გამოსაყენებელი ბიომასის რაოდენობა	%	50	70	65	20	20	20	
	ტ	158970	41840	10885	54122	13039	1065	
ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი	გჯ	2233974	618345	103973	868062	185779	16234	4026367
	ტპს	76159	21080	3545	29593	6333	533	137 243

ცხრ.4-ში მოყვანილი მონაცემები შეესაბამება ბიომასის 10 %-ანი ტენიანობის შემთხვევებში ექსპერიმენტულად მიღებულ უდაბლესი მუშა თბოუნარის მნიშვნელობებს.

სიმინდის, ლობიოსა, მზესუმზირის, ხორბალი, ქერი, შვრიის, ნარჩენი ბიომასის ჯამურმა ენერგეტიკულმა პოტენციალმა შეადგინა 4026367გჯოლი, რაც ექვივალენტურია 137243 ტონა პირობითი სათბობის.

სხვა კულტურების ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის შეფასებისათვის საჭიროა ქვეყნის მასშტაბით მათი ყოველწლიური საშუალო მოსავლიანობის შესახებ სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე ნარჩენების განსაზღვრა და ცხრილში მოყვანილი ექსპერიმენტული ნეტო თბოუნარიანობების სიდიდეებით სარგებლობა.

## დასკვნა

1. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული კვლევისათვის შერჩეულია იზოთერმული კალორიმეტრული „ყუმბარის“ მეთოდი და კალორიმეტრი XRY-1C, რაც დასმული ამოცანის გადაწყვეტის ოპტიმალურ ვარიანტს წარმოადგენს;
2. ჩატარებულია კალორიმეტრიული სისტემის კალიბრება სანიმუშო ნივთიერების - მაღალი სისუფთავის ბენზონის მჟავის გამოყენებით, რაც ექსპერიმენტული შედეგების მოთხოვნილი სიზუსტის (1-3% ცდომილება) მიღების ერთ-ერთ გარანტიას წარმოადგენს;
3. განხილულია მცენარეული ნარჩენი ბიომასის სათბობად გამოყენებისათვის ბიომასის ბრიკეტირების მეთოდი, რაც უზრუნველყოფს სათბობის იაფ ტრანსპორტირებას, დასაწვავად მოხერხებულობას და წვის პროცესის ეფექტურად წარმართვას;
4. შემუშავებულია კალორიმეტრის გარე თბოცვლაზე ტემპერატურების შესწორების განსაზღვრის გრაფო-ანალიზური მეთოდიკა, რაც ექსპერიმენტის მონაცემებში გათვალისწინებით შედეგებში სისტემატიური ხასიათის ცდომილებების მინიმუმამდე შემცირებას უზრუნველყოფს;
5. ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია მარცვლოვანი კულტურების (ხორბალი, ქერი) თბოუნარიანობა;
6. ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია კურკოვან კულტურათა (ვაშლის, ჭაჭა-ყურძნის ჩენჩო, ტყემლის კურკა) თბოუნარიანობა;
7. ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია ბოსტნეულ კულტურების (ლო-ბიო, ხახვის ქერქი) თბოუნარიანობა;
8. ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია ღეროვან კულტურების (მზესუმზირა, სიმინდი) თბოუნარიანობა;
9. ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე შეფასებულია სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენი ბიომასის (სიმინდი, მზესუმზირა,

ხორბალი, ქერი, შვრია, ლობიო) ჯამური ენერგეტიკული პოტენციალი-4026367გჯ, და მიღებულია პირობითი სათბობის დაზოგვის პროგნოზული მაჩვენებელი-137278 ტპს.

## დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული სამეცნიერო შრომები

1. ჯაფარიძე ო., კილურაძე ო., ბერიძე გ. ალტერნატიული სათბობი. „ენერჯია“, 2018, №1(85), გვ. 62-64.
2. ჯაფარიძე ო., კილურაძე ო., ბერიძე გ. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი. „ენერჯია“, 2018, №1(85), გვ. 65-70.
3. ჯაფარიძე ო., კილურაძე ო. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბური გამოკვლევა. „ენერჯია“, 2019, №3(91), გვ. 132-135.

## Abstract

Organic fuels are one of the main sources of energy for power generation, implementation of numerous technological processes, heating of buildings and other uses.

There is a growing demand for various solid (coal, combustible shale, anthracite, brown coal, firewood, peat), liquid ((gasoline, petroleum, mazut, and other petroleum refining products: alcohol, coal resin, etc.) and gaseous fuels (natural gas and diesel). Coke gas and others).

Because the consumption of classical organic fuels is steadily increasing over a short period of time, and it takes millions of years to build the fuels, it is a source of renewable energy.

The rapid decline in the supply of fuels and the constant increase in their value, raise the issue of finding alternative fuels.

One of the types of fuels considered biomass that includes: vegetable and animal waste, forest cuttings and wood processing waste, agricultural vegetable waste; Waste from the household and food industry; animal, domestic, municipal and sewage waste.

By combustion of waste organic compounds in the waste it is possible to convert the chemical energy of the substance into the equivalent heat energy needed and to replace it with a traditional share in a certain proportion.

In rural areas a large amount of agricultural vegetable waste is collected: corn tar, stem and leaf, sunflower; Bean crust; Grape (Chacha); Cherry plum freestone; Leftovers of wheat, barley and starch; Onion bark and remnants of many other crop plants.

The thesis discusses the prospect of using residual biomass for heating: burning it as a renewable fuel in the wood stove with the main fuel-firewood, or even using special briquetting independently. In this way, it will be possible to utilize waste heat and reduce the use of firewood, which will contribute to the improvement of ecological status - climate mitigation.

the purpose of the paper - to consider alternative residual biomass for fossil fuels and experimentally determine the required thermal parameters is an urgent task that addresses the improvement of social conditions of the rural population and also the improvement of the environment.

The following basic requirements will apply to greenhouses: high natural resources; Availability for use; Good attachment of oxygen to its combustible elements; Should not be provided with toxic substances that cannot be eliminated and more.

The issue of the feasibility of their use depends on the heat value of the combustible substances in the greenhouse

Based on the literature data, the number of different agricultural wastes, their distribution according to different regions of Georgia is determined and the



potential thermal energy indices for energy consumption are estimated based on the experimental data (heat capacity).

One of the main thermal characteristics of a heating unit is the amount of heat released during its complete burning - heat capacity (kJ / kg). The paper uses an experimental method - the calorimetric grenade method to determine heat capacity. The paper uses an experimental method - the calorimetric grenade method to determine heat capacity.

A precision measuring stand was used to measure the heat capacity of liquids and solids: The isothermal calorimetric device XRAY-1C itself; Calorimetric "grenade" - a stainless steel hermetic shell containing a test sample (1-2 grams); Oxygen system, which creates a 25-30 bar pressure oxygen environment in the grenade to fully burn the fuel; Three liters capacity stainless steel plate filled with distilled water, with thermometer and weed; Software for testing, formatting results with a computer system; Auto-tour precision scales; Automatic precision dryer (RADWA-50R mark) and other extras.

The calorimeter calibrator uses a high purity benzoic acid sample.

Prior to the test, the test specimens were pre-dried with the RADWA-50R mark dryer at 105 °C -110 °C.

Experiments have been carried out to determine the temperature: beans; Sunflower; Corn, cornstarch; Cornflakes; Apple bark; Onion; Grapes; Wheatgrass; Barley; Oats. The energy potential of different fuels is evaluated.

The paper employs an experimental graph-analytical method for estimating the ambient temperature, which allows for correcting the source of systematic error in the measurement results and increasing the accuracy of the results.