

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ქეთევან ჩხიკვაძე

ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის თბოუნარიანობის გამოკვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია

შიფრი 0405

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის  
თბოენერგეტიკის და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: პროფესორი ომარ კილურაძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2016 წლის "-----" -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და  
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის  
სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია №118

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,

ასოც.პროფესორი

გ.გიგინეიშვილი

## სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

### თემის აქტუალურობა.

ადგილობრივი ბუნებრივი თბური ენერგეტიკული რესურსების გამოყენების თვალსაზრისით საქართველოს შესაძლებლობები ქვანახშირითაა შემოსაზღვრული. ქვანახშირის მარაგები პრაქტიკულად ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის საბადოთი განისაზღვრება. ამდენად მისი ეფექტური გამოყენება საქართველოს ეკონომიკის განვითარებისათვის მნიშვნელოვანი ფაქტორია. მთავრობის გადაწყვეტილებით დაგეგმილია ტყიბულში 150 მეგავატიანი თბოელექტროცენტრალის აშენება, რომელიც ადგილობრივ ქვანახშირზე წვის თანამედროვე ტექნოლოგიების („მდუღარე შრეში“ წვა) გამოყენებით იმუშავებს. მსოფლიო პროგნოზით XXI საუკუნის ბოლოსთვის ენერჯის არაგანახლებადი წყაროების – ნავთობის და ბუნებრივი გაზის მსოფლიო მარაგები პრაქტიკულად მთლიანად ამოიწურება. ამ დეფიციტის შევსება შესაძლებელი იქნება ქვანახშირის დარჩენილი წიაღისეული მარაგების და განახლებადი ენერჯის წყაროების ხარჯზე.

ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის საბადოს სხვადასხვა დონის ნიშნულის სათბობში წვადი ელემენტების და შიგა და გარე ბალასტების პროცენტული შემცველობები ერთმანეთისგან განსხვავებულია. აქედან გამომდინარე, განსხვავებულია სხვადასხვა ნიშნულის სათბობის თბოუნარიანობა. საცნობარო მონაცემებით ცნობილია ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის საბადოსთვის მხოლოდ გასაშუალებული მონაცემები მთლიანად საბადოს მასშტაბით. შესაბამისად ცალკეული ნიშნულების ნიმუშების თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული დადგენა აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

ქვანახშირის საბადოს სხვადასხვა დონის ნიშნულების განსხვავებული თვისებების მქონე ქვანახშირი გამამდიდრებელ ფაბრიკაში ერთმანეთში ირევა და ისე მიეწოდება მომხმარებელს. ნარევის პროცენტული შედგენილობის და მათი თბოუნარიანობების ცოდნით

შესაძლებელია საერთო თბოუნარიანობის დადგენა. ამიტომ ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის საბადოს სხვადასხვა ნიშნულის ქვანახშირის თბოუნარიანობის გამოკვლევის აქტუალობა, როგორც სუფთა გამოყენებით, ასევე სამეცნიერო თვალსაზრისითაცაა განპირობებული.

განალიზებულია კალორიმეტრული სისტემაში მიმდინარე თბური პროცესების მათემატიკური მოდელირების ამოცანა გარკვეული გამარტივებების დაშვებით, რომელიც ეხება ამ სისტემის სახესა და თვისებებს. სისტემის სასაზღვრო და საწყისი პირობების გათვალისწინების შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება ტემპერატურული ველის დროში ცვლილების ანალიზური გამოსახულების მიღება. განხილულია კალორიმეტრული სისტემის ექვსი ძირითადი მახასიათებელი მოდელი.

კალორიმეტრის გრადუირებისათვის გამოიყენება სანიმუშო ნივთიერებები, მაგ. მაღალი სისუფთავის ბენზოინის მჟავა (99,992% ძირითადი ნივთიერება) და ასევე ქიმიურად სუფთა იანტარის მჟავა. იმ შემთხვევებში, როცა გაზომვის სიზუსტეს არ წაეყენება ძალიან მაღალი მოთხოვნები აქტუალურია შედარებით დაბალი სისუფთავის სანიმუშო ნივთიერების გამოყენება, რომელიც უფო იაფი იქნება და ამავე დროს ხელმისაწვდომიც.

მყარი და თხევადი სათბობის თბოუნარიანობის საზომი პრეციზიული სისტემის შექმნა, აღჭურვილი თანამედროვე მოწყობილობებით, ასევე აქტუალურია, როგორც სამეცნიერო ასევე სტუდენტობის მომზადების სასწავლო კუთხით. რადგან თბოუნარიანობის გაზომვის კალორიმეტრული მეთოდიკა წარმოადგენს რთულ ექსპერიმენტულ პროცესს, ამიტომ მნიშვნელოვანია ამ მეთოდიკის ათვისება ვირტუალური ამოცანის გამოყენებით, განსაკუთრებით როცა საქმე ეხება სტუდენტებს, შესაბამისად ასეთი ვირტუალური ამოცანის შექმნა ასევე აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

### სამუშაოს მიზანი.

კალორიმეტრიაში ლიტერატურული მიმოხილვის საფუძველზე შესაძლებელია შემდეგი დასკვნების გამოტანა და კვლევის ამოცანების დასახვა:

- ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის ენერგეტიკულ სათბობად გამოყენების ერთ-ერთ ხელშემწყობ ფაქტორს წარმოადგენს ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის საბადოს სხვადასვა ნიშნულის ნიმუშების თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული გამოკვლევა;
- სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ჩასატარებლად საჭიროა შესაბამისი საკვლევი ბაზის შექმნა, რომელიც მოიცავს: პრეციზიული კალორიმეტრული სისტემას; მაღალი წნევის ჟანგბდის სისტემას, პრეციზიული სასწორს და საშრობს და სხვა;
- კალორიმეტრული გაზომვების ვირტუალური ამოცანის შექმნა;
- ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის საბადოს სხვადასხვა ნიშნულების ნიმუშების თბოუნარიანობის გამოკვლევა;
- სასაწავლო-სამეცნიერო ლაბორატორიული ამოცანის შექმნა.

### ნაშრომის მეცნიერული სიახლე და ძირითადი შედეგები

1. შექმნილია მყარი და თხევადი სათბობის თბოუნარიანობის საზომი პრეციზიული სისტემა ექსპერიმენტული დანადგარის სახით;
2. შექმნილია სათბობის თბოუნარიანობის გასაზომად მეორე თანრიგის სანიმუშო ნივთიერება-ბენზოინის მჟავა (თბოუნარიანობით  $26358,50 \pm 1,4\%$ );
3. შექმნილია თბოუნარიანობის საზომი ვირტუალური სასწავლო - სავარჯიშო ამოცანა;
4. ექსპერიმენტულად დადგენილია ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის საბადოს სხვადასხვა უბნებისა და ფენების თბოუნარიანობის მაჩვენებლები.

5. შექმნილი კალორიმეტრული სისტემა გამოყენებული იქნება ენერგეტიკის ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის, როგორც სასწავლო-კვლევითი ბაზა.

#### **კვლევის მეთოდები და მიღებული შედეგების უტყუარობა.**

ლიტერატურული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შერჩეული იქნა სათბობის თბოუნარიანობის გაზომვის ფართოდ აპრობირებული კალორიმეტრული მეთოდი იზოთერმული გარსაცმით და შესაბამისი აპარატურა, რომელიც უზრუნველყოფს გაზომვის მაღალ სიზუსტეს (ცდომილება  $\pm 0.4\%$ ) და სისტემატიური ხასიათის ცდომილებების მინიმუმადე შემცირებას. ამდენად აღნიშნული კალორიმეტრული სისტემის გამოყენება გაზომვის შედეგების უტყუარობას განაპირობებს. ასეთი შედეგი დასტურდება ერთი დაიგივე ნიმუშის მრავალჯერადი გაზომვების ანალიზით.

#### **სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება.**

ნაშრომში კვლევების საფუძველზე ატესტირებული მეორე თანრიგის სანიმუშო ნივთიერება (სტუ-1) ბენზონის მჟავა (შედარებით დაბალი სისუფთავის 99,92% ძირითადი ნივთიერებით) და შესაბამისად იაფი, წარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული შედარებით დაბალი სიზუსტის კალორიმეტრების კალიბრებისათვის.

ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის საბადოს სხვადასხვა ფენების და უბნების თბოუნარიანობის მიღებული მონაცემები საინტერესოა როგორც მეცნიერული, ასევე წმინდა პრაქტიკული თვალსაზრისით ქვანახშირის მოპოვების და მოხმარების ინდუსტრიისათვის.

შექმნილი კალორიმეტრული კვლევის ბაზა სტუდენტებისათვის კარგი პრაქტიკული სწავლების ობიექტი იქნება.

#### **ნაშრომის აპრობაცია.**

ნაშრომის ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენების სახით წარდგენილ იქნა შემდეგ სემინარებზე და სამეცნიერო-ტენიკური კონფერენციებზე: საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მდგრადი

ენერგეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“ ქუთაისი, 2015; თეორიული/ექსპერიმენტული კვლევა/კოლოქვიუმი - 3, სტუ, 2015; სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - თბო და ჰიდროენერგეტიკის სექცია, სტუ, 2015; თეორიული/ექსპერიმენტული კვლევა/კოლოქვიუმი - 2, სტუ, 2014; ვახტანგ გომელაურისა და არჩილ ელიაშვილის ხსოვნისადმი მიძღვნილი საიუბილეო სესია „ენერგეტიკა და მართვის პროცესები“, თბილისი, 2014; თეორიული/ექსპერიმენტული კვლევა/კოლოქვიუმი - 1, სტუ, 2014;

### **ნაშრომის პუბლიკაცია.**

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო სტატიაში.

### **ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა.**

ნაშრომის ტექსტი შედგება შესავლის, ოთხი თავისა და 46 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისაგან. ნაშრომი მოცულობა შეადგენს 111 გვერდს ცხრილებისა და ნახაზების ჩათვლით.

## **სამუშაოს მოკლე შინაარსი**

### **თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა.**

განხილულია სათბობის ერთ-ერთი ძირითადი თბოტექნიკური მახასიათებელია თბოუნარიანობა, რომელიც ახასიათებს ნივთიერების მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობას მისი სრული დაწვის დროს (ჯოული ან კალორია). თბოუნარიანობა დაყვანილი ნივთიერების ერთეულ მასაზე ან მოლზე (მყარი და თხევადი ნივთიერებისთვის), ან მოცულობაზე (აირადი ნივთიერებისთვის) არის ხვედრითი მასური (ჯ/კგ), ხვედრითი მოლური (ჯ/მოლი) და ხვედრითი მოცულობითი ( ჯ/მ<sup>3</sup>) თბოუნარიანობა შესაბამისად.

თბოუნარიანობის ექსპერიმენტულად განსაზღვრისთვის გამოიყენება კალორიმეტრული მეთოდი. მისი გაანგარიშება შესაძლებელია ასევე სათბობის ქიმიური შედგენილობის მიხედვით: ნახშირბადი (C) , წყალბადი (H), გოგირდი (S), აზოტი (N), გოგირდი (S), ნაცარი (A) და ტენი (წყალი) (W).

არსებობს თბოუნარიანობის რამდენიმე სახე: მუშა თბოუნარიანობა ( $Q^d$ ) - თბოუნარიანობა დაყვანილი წვადი ნივთიერების მუშა მასაზე, ანუ ისეთი სახის წვად ნივთიერებაზე, როგორსაც ღებულობს მომხმარებელი; თბოუნარიანობა დაყვანილი მშრალ მასაზე ( $Q^{m}$ ) - ისეთი სახის საწვავის თბოუნარიანობა, რომელიც არ შეიცავს ტენს; თბოუნარიანობა დაყვანილი წვად მასაზე ( $Q^{v}$ ) - ისეთი სახის საწვავის თბოუნარიანობა, რომელიც არ შეიცავს ტენს და ნაცარს.

ასხვავებენ უმაღლეს -  $Q_{უმ}$  და უდაბლეს -  $Q_{უდ}$  თბოუნარიანობას. უმაღლესი თბოუნარიანობა არის სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც გამოიყოფა სათბობის სრული დაწვის დროს, წვის პროდუქტებში არსებული წყლის ორთქლის კონდენსაციის სითბოს ჩათვლით. უდაბლესი თბოუნარიანობა შეესაბამება სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც გამოიყოფა სათბობის სრული დაწვის დროს წყლის ორთქლის კონდენსაციის სითბოს გათვალისწინების გარეშე.

უმაღლესი და უდაბლესი თბოუნარიანობები დაკავშირებულია ერთმანეთთან ფორმულით:

$$Q_{უმ} = Q_{უდ} + k((W + 9H^d)),$$

სადაც  $k = 25$  კჯ/კგ (ნკკალ/კგ) კოეფიციენტი არის წყლის აორთქლებაზე დახარჯული სითბოს რაოდენობის მესამედი ნაწილი ;  $W$  - წყლის რაოდენობა სათბობში % (მასური);  $H$  - წყალბადის რაოდენობა სათბობში , % (მასური).

პრაქტიკაში თბოტექნიკური გაანგარიშებების დროს ვერ ხერხდება წვის პროდუქტების გაცივება მასში არსებული წყლის სრულ კონდენსაციამდე. ამიტომ პრაქტიკულად გამოყენებულია სათბობის უდაბლესი თბოუნარიანობის ცნება.

შესაძლებელია უდაბლესი თბოუნარიანობის გაანგარიშება მენდელეევის ფორმულით სათბობის ელემენტარული შედგენილობის მიხედვით:



$$Q_{\text{ედ}} = 339 \cdot C^{\text{მ}} + 1256 \cdot H^{\text{მ}} - 109 \cdot (O^{\text{მ}} - S_{\text{აქრ}}^{\text{მ}}) - 25,14 \cdot (9H^{\text{მ}} + W^{\text{მ}}) \text{ კჯ/კგ,}$$

სადაც  $C^{\text{მ}}, H^{\text{მ}}, O^{\text{მ}}, S_{\text{აქრ}}^{\text{მ}}, H^{\text{მ}}, W^{\text{მ}}$  - არის სათბობის მუშა მასაში ნახშირბადის, წყალბადის, ჟანგბადის, აქროლადი გოგირდის და ტენის პროცენტული შემცველობა (მასური).

გაანგარიშებების დროს გამოიყენება პირობითი სათბობის ცნება, მისი ხვედრითი თბოუნარიანობა ტოლია 29308 კჯ/კგ (7000კკალ/კგ).

ზოგიერთ ქვეყანაში, მაგალითად, რუსეთში - სარგებლობენ უდაბლესი თბოუნარიანობით, ხოლო აშშ-ში, დიდ ბრიტანეთში, საფრანგეთში - უმაღლესით.

განხილულია კალორიმეტრული სისტემა, რომელიც წარმოადგენს ცალკეული სხეულების ერთობლიობისაგან შედგენილ ფიზიკურ სისტემას, რომელთა შორისაც ხორციელდება თბოცვლა სამივე მექანიზმით: თბოგამტარობით, კონვექციითა და გამოსხივებით. სითბოს გამოყოფის ან შთანთქმის დროს იცვლება კალორიმეტრული სისტემის მდგომარეობა.

თბური მდგომარეობა არის სისტემის განზოგადებული მახასიათებელი, რომელიც გამოხატავს მასში ტემპერატურის განაწილებას, სისტემის ცალკეულ ნაწილებსა და გარემომცველ გარემოს შორის თბოცვლის მიმართულებას, სიჩქარეს და ინტენსივობას. მაგალითად საწყის თბურ მდგომარეობაში (კალორიმეტრული ცდის საწყისი პერიოდი) სისტემა ხასიათდება ტემპერატურის თანაბარი ცვლილების შედარებით მცირე სიჩქარით. ამასთან, სისტემა პრაქტიკულად იმყოფება გაცხელების ან გაცივების რეგულარულ სტადიაში. საბოლოო თბურ მდგომარეობაში (კალორიმეტრული ცდის საბოლოო პერიოდი) სისტემა ხასიათდება ტემპერატურის ისეთივე თანაბარი ცვლილების თბურ მდგომარეობაში, როგორშიც იმყოფებოდა საწყის პერიოდში, ოღონდაც, ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე, მისი აბსოლუტური მნიშვნელობა და გარემოსთან თბოცვლის ინტენსიობა განსხვავებული იქნება საწყისი თბური მდგომარეობის შესაბამისი პარამეტრების მნიშვნელობებისაგან.

ერთი თბური მდგომარეობიდან სხვა თბურ მდგომარეობაში გადასვლა ხასიათდება სისტემის ცალკეული ნაწილების კონკრეტული თბური თვისებების ცვლილებით და ფიზიკო-ქიმიური პროცესების ხასიათით, რომელთა შედეგადაც გამოიყოფა ან შთაინთქმება სითბო. სისტემის ერთი თბური მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლის დროს ტემპერატურული ველის ცვლილება ჩვეულებრივ კონტროლდება სისტემის ერთ წერტილში ან ნაწილში, რის საფუძველზეც განისაზღვრება კალორიმეტრული ცდის ტემპერატურული მრუდი, ანუ ტემპერატურის დროზე დამოკიდებულება. ტემპერატურული მრუდის ხასიათი განისაზღვრება საწყის მომენტში ტემპერატურის ველის უთანაბრობით, კალორიმეტრული სისტემის თბური თვისებებით და გარემოსთან თბოცვლის ხასიათით. იმისათვის, რომ გამოირიცხოს კალორიმეტრის გარემოსთან თბოცვლის პროცესი, კალორიმეტრს ათავსებენ გარსაცმში, რომლის ტემპერატურა დროის ნებისმიერ მომენტისათვის კალორიმეტრის ზედაპირული ტემპერატურის ტოლია. ამიტომ ადგილი არ აქვს კალორიმეტრის გარემოსთან თბოცვლას. შედეგად კალორიმეტრში გამოყოფილი სითბო არ იკარგება და ტემპერატურული მრუდი არ დამახინჯდება. პრაქტიკაში ყოველთვის ვერ ხერხდება მკაცრად ადიაბატური პირობების შესრულება. ამიტომ კალორიმეტრის და გარსაცმის არაკომპენსირებულ ტემპერატურათა სხვაობაზე უნდა გაკეთდეს შესაბამისი შესწორება.

ექსპერიმენტების ჩატარება ყველაზე უფრო მარტივია, როცა კალორიმეტრს აქვს იზოთერმული გარსაცმი, როცა ბირთვის და გარსაცმს დროის ნებისმიერ მომენტისათვის აქვთ ერთნაირი ტემპერატურა. მაგრამ ამ შემთხვევაშიც კი საჭიროა პრაქტიკულად არსებული გარკვეული ტემპერატურათა სხვაობის გათვალისწინება.

იმისათვის, რომ გამოირიცხოს კალორიმეტრის გარემოსთან თბოცვლის პროცესი, კალორიმეტრს ათავსებენ გარსაცმში, რომლის ტემპერატურა დროის ნებისმიერ მომენტისათვის კალორიმეტრის

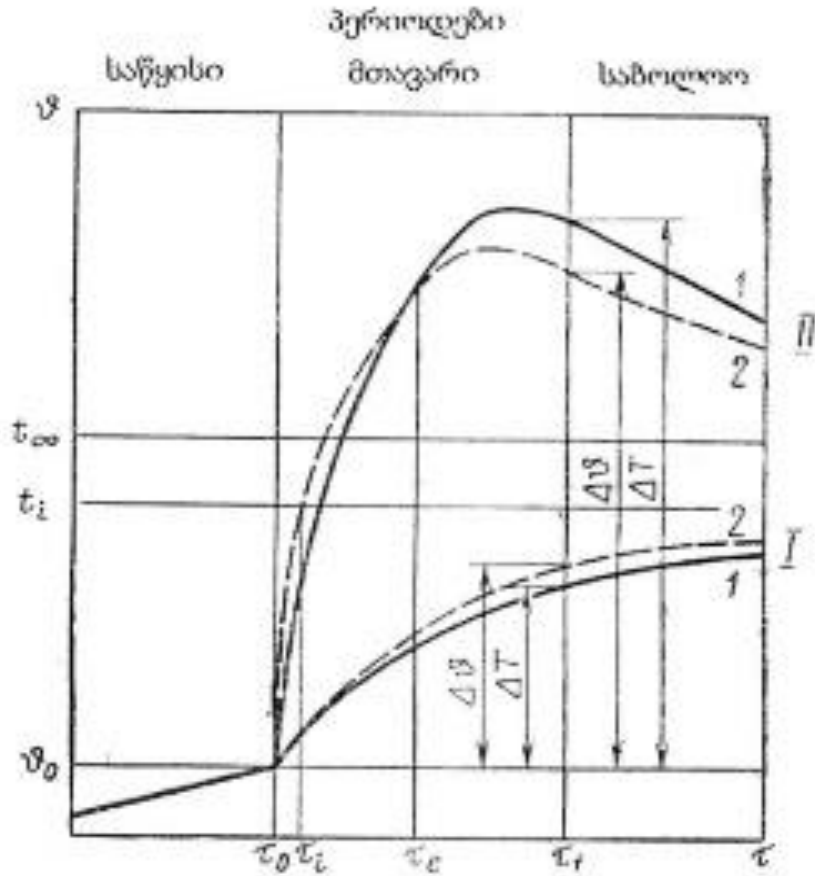
ზედაპირული ტემპერატურის ტოლია. ამიტომ ადგილი არ აქვს კალორიმეტრის გარემოსთან თბოცვლას. შედეგად კალორიმეტრში გამოყოფილი სითბო არ იკარგება და ტემპერატურული მრუდი არ დამახინჯდება. პრაქტიკაში ყოველთვის ვერ ხერხდება მკაცრად ადიაბატური პირობების შესრულება. ამიტომ კალორიმეტრის და გარსაცმის არაკომპენსირებულ ტემპერატურათა სხვაობაზე უნდა გაკეთდეს შესაბამისი შესწორება.

სურათ 1-ზე ნაჩვენებია კალორიმეტრული ცდის ტემპერატურული მრუდები, როცა კალორიმეტრს გააჩნია  $t_f$  ტემპერატურის მქონე იზოთერმული გარსაცმი. ნაჩვენებია ორი შემთხვევა (I და II). პირველი შემთხვევა შეესაბამება ისეთ თბურ პროცესებს, რომლის დროსაც ტემპერატურა ცდის დროს მუდმივად რჩება გარსაცმის ტემპერატურაზე ნაკლები (I შემთხვევის მრუდი 1). მეორე შემთხვევა ხასიათდება იმით, რომ კალორიმეტრის ტემპერატურა დასაწყისში ნაკლებია გარსაცმის ტემპერატურაზე, ხოლო შემდეგ ცდის ბოლომდე აღემატება მას (II შემთხვევის მრუდი 1).

კალორიმეტრული ცდა იყოფა სამ პერიოდად: საწყისი, მთავარი და საბოლოო. სამივე პერიოდში ტემპერატურის ცვლილების მონაცემების მიხედვით გამოითვლება კალორიმეტრში გამოყოფილი სითბო.

საწყის პერიოდში ( $\tau < \tau_0$ ) კალორიმეტრულ სისტემაში ტემპერატურის გრადიენტი მცირეა, თბოცვლა გარემოსთან ზრდის კალორიმეტრის ტემპერატურას, თუ იგი ნაკლებია გარსაცმის ტემპერატურაზე. ცდის საწყის პერიოდში ტემპერატურის ზრდა შეიძლება გამოწვეული იყოს აგრეთვე სითბოს წყაროს მოქმედებით, მაგალითად, წინაღობის თერმომეტრში საზომი დენის გავლის გამო, ან კალორიმეტრული სითბის შემრევით. თუ  $\tau_0$  მომენტში კალორიმეტრში გამოიყოფა სითბო, მაშინ ამ სითბოს რაოდენობის მიხედვით კალორიმეტრის ტემპერატურულ მრუდს ექნება I ან II სახე. შიგა სითბოს წყაროს არსებობისას და გარსაცმთან თბოცვლის შემთხვევაში

კალიორიმეტრის ტემპერატურა მიისწრაფვის ზღვრული ტემპერატურისაკენ -  $t_{\infty}$ , რომელიც ჩვეულებრივ აღემატება გარსაცმის ტემპერატურას. წყლის კალიორიმეტრული სისტემებისათვის  $t_{\infty} - t_i \approx 0.3 - 0.5^{\circ}C$ .



სურათი 1. კალიორიმეტრული ცდის ტემპერატურული მრუდები

როცა კალიორიმეტრული სისტემასა და გარსაცმს შორის თბოცვლას ადგილი არ აქვს (ადიაბატური გარსაცმი) ტემპერატურა იცვლება მხოლოდ გამოსაკვლევ პროცესის შედეგად (მრუდი 1 I და II შემთხვევებისათვის).

I შემთხვევისათვის, როცა  $\vartheta < t_{\infty}$ , ( $t_{\infty} - t_i \approx 0.3 - 0.5^{\circ}C$ ), და ადგილი აქვს თბოცვლას, მრუდი 2 ყოველთვის მრუდი 1-ის ზემოთ იქნება.

II შემთხვევისათვის, როცა  $\vartheta_0 < \vartheta < t_i$  ადგილი ექნება სითბოს მოდინებას გარსაცმიდან კალიორიმეტრისკენ და  $\vartheta_1$  ტემპერატურა, რომელიც შეესაბამება მრუდ 1-ს, იქნება უფრო დაბლა ვიდრე მრუდი 2-ის შესაბამისი  $\vartheta_2$  ტემპერატურა;  $\tau = \tau_e$  მომენტში ტემპერატურები იქნება ერთმანეთის

ტოლი  $\theta_1 = \theta_2$ , ხოლო შემდეგ ტემპერატურა  $\theta_2$  გახდება  $\theta_1$ -ზე ნაკლები. 1 და 2 მრუდების მაქსიმუმები ერთმანეთს არ ემთხვევა.

კალორიმეტრის მთავარი პერიოდი შეესაბამება დროის შუალედს, როცა სისტემაში გამოიყოფა სითბო. ნახაზზე იგი შეესაბამება დროის ინტერვალს  $\tau_f - \tau_0$ .

მთავარი პერიოდის დამთავრების განსაზღვრა რთული ამოცანაა. ეს აიხსნება იმით, რომ მთავარი პერიოდის ბოლოს კალორიმეტრის ტემპერატურა იცვლება, როგორც გამოყოფილი სითბოს გავლენით, აგრეთვე კალორიმეტრის თბოცვლით გარემოსთან. მთავარი პერიოდის დამთავრების შესაფასებლად ყველაზე უფრო გავრცელებული კრიტერიუმია  $\tau = \tau_f$  მომენტის ფიქსირება, როცა კალორიმეტრის ტემპერატურა მუდმივი სიჩქარით იწყებს შეცვლას ტემპერატურის მატებით (შემთხვევა I) ან კლებით (შემთხვევა II).

არსებობს ცდის დამთავრების განსაზღვრის ანალიზური მეთოდები. კალორიმეტრული ცდის ბოლო პერიოდი ეწოდება პერიოდს, როცა ტემპერატურა იცვლება კალორიმეტრის გარემოსთან თბოცვლით. საბოლოო პერიოდი  $\tau > \tau_f$  უშუალოდ ესაზღვრება მთავარ პერიოდს.

პრაქტიკულად რეალურ კალორიმეტრულ სისტემაში თბოცვლა ცალკეულ ნაწილებს შორის ხორციელდება ერთი ან რამდენიმე მექანიზმით. მაგალითად, თბოცვლა ბირთვისა და გარსაცმს შორის, რომლებიც გაყოფილია ჰაერის ფენით, ხორციელდება თბოგამტარობით, კონვექციით და გამოსხივებით. თუ საჭიროა თბოცვლის შემცირება, ამცირებენ მანძილს ბირთვისა და გარსაცმს შორის, რაც მინიმუმამდე ამცირებს ბუნებრივ კონვექციას. ამ დროს შესაბამისად იზრდება თბოგამტარობის და გამოსხივების წილები.

თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული კვლევის მიმართულებით კალორიმეტრული ცდის კორექტულად და მაღალი სიზუსტით ჩატარებისათვის განსაკუთრებული ყურადღება არის გასამახვილებელი სუფთა პროცესისათვის არამახასიათებელ თბურ ნაკადებზე, რომელთა

მინიმიზაცია და ნარჩენი სისტემატური ხასიათის ცდომილებების წყაროებით გამოწვეული შეცდომების რანდომიზაცია გაზომვების სიზუსტის ამაღლების საშუალებას მოგვცემს.

ლიტერატურული მიმოხილვის საფუძველზე გაკეთებულია შემდეგი დასკვნები და დასხულია საკვლევო ამოცანები:

- ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის ენერგეტიკულ სათბობად გამოყენების ერთ-ერთ ხელშემწყობი ფაქტორი იქნება საბადოს სხვადასვა ნიშნულის ნიმუშების თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული გამოკვლევა;
- საკითხის გადაწყვეტა გულისხმობს შესაბამისი პრეციზიული კალორიმეტრული სისტემის (პრეციზიული კალორიმეტრული ყუმბარა შესაბამისი სისტემით, მაღალი წნევის ჟანგბადის სისტემა, პრეციზიული სასწორი - სიზუსტით 0,001 გ, ეფექტური და პრეციზიული საშრობი და სხვა) გამოყენებას.
- პრეციზიული კალორიმეტრული გაზომვის ვირტუალური ამოცანის შექმნა;
- ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის საბადოს სხვადასვა ნიშნულების ნიმუშების თბოუნარიანობის გამოკვლევა;
- სასაწავლო-სამეცნიერო ლაბორატორიული ბაზის შექმნა.

## **თავი 2. კალორიმეტრული სისტემების მოდელირება**

განხილულია კალორიმეტრული სისტემების მოდელირების საკითხი. კალორიმეტრულ სისტემაში მიმდინარე თბური პროცესების მათემატიკური მოდელირება შესაძლებელია გარკვეული გამარტივებების დაშვებით, რომელიც ეხება ამ სისტემის სახესა და თვისებებს. სისტემის სასაზღვრო და საწყისი პირობების გათვალისწინების შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება ტემპერატურული ველის დროში ცვლილების ანალიზური გამოსახულების მიღება.

კალორიმეტრული სისტემის გარემოსთან თბოცვლა ამახინჯებს კალორიმეტრული სისტემის ტემპერატურული ველს. ეს იწვევს

გამოსაკვლევი თბური ეფექტით გამოწვეული ტემპერატურის ნაზრდის გაზომვის ცდომილებას.

კალორიმეტრული სისტემის თბური დანაკარგების წყაროებია: კალორიმეტრული ზედაპირის გარემოსთან თბოცვლა, თერმომეტრების და ნაპერწკლის ანთების წრედების გამომყვანების თბოგამტარობა. გარდა ამისა, სისტემის შიგნით შეიძლება მოქმედებდეს სითბოს მუდმივი ან ცვალებადი წყაროები, მაგალითად, წინაღობის თერმომეტრში გამავალი საზომი დენით გამოყოფილი სითბო, კალორიმეტრული სითხის შემრევის მიერ გამოყოფილი სითბო. სითბოს დანაკარგები შეიძლება გამოწვეული იყოს აგრეთვე კალორიმეტრული სითხის აორთქლებით.

ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნას კალორიმეტრულ სისტემაში მიმდინარე თბოცვლის პროცესები და გაკეთდეს ამ პროცესების შესაბამისი ტემპერატურული შესწორებები.

თბოცვლაზე ტემპერატურის შესწორება შეიძლება შეფასდეს შემდეგი გამოსახულებით:

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3,$$

სადაც  $\Delta t_1$  ითვალისწინებს შიგა დამატებითი სითბოს წყაროების სიმძლავრეს;  $\Delta t_2$  ითვალისწინებს თბოცვლას გარემოსთან;  $\Delta t_3$  ითვალისწინებს სითბოს სხვადასხვა დანაკარგებს, მაგალითად კალორიმეტრული სითხის აორთქლებით გამოწვეული სითბური დანაკარგები, თერმომეტრის თბოგამტარობით გამოწვეული სითბური დანაკარგები.

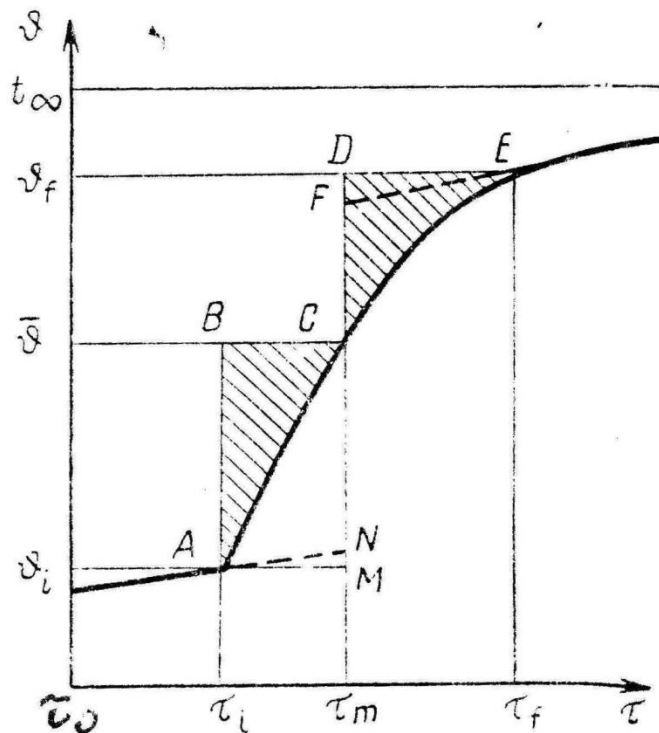
შესწორება სითბოს მუდმივი შიგა წყაროს არსებობის დროს -  $\Delta t_1$  შეიძლება განისაზღვროს ანალიზურად. თუ შიგა სითბოს წყაროს სიმძლავრე დროის მიხედვით ცვალებადია, მაშინ საჭიროა ამ ცვლილების კანონზომიერების ცოდნა.

შესწორება გარემოსთან თბოცვლაზე -  $\Delta t_2$  შეიძლება შეფასდეს თბოცვლის კოეფიციენტის საშუალებით, რომელიც ითვალისწინებს კონვექციას, თბოგამტარობას და გამოსხივებას.

კალორიმეტრული სითხის აორთქლება უნდა აღმოიფხვრას, რადგან მისი ანალიზური გზით შესწავლა რთულია. ყველა დანარჩენი ცდომილების წყაროების გავლენის გათვალისწინება შესაძლებელია შემასწორებელი კოეფიციენტით -  $\Delta t_3$ .

კალორიმეტრული ცდა მოიცავს საწყის, მთავარ და საბოლოო პერიოდებს. ნახაზ 2-ზე ნაჩვენებია თბოცვლაზე ტემპერატურული შესწორების გრაფიკული გამოსახულება.

საწყის პერიოდში (სათბობის დაწყების განხორციელებამდე პერიოდი  $t_0 - t_i$ ) ტემპერატურა იცვლება პრაქტიკულად წრფივად -  $A - A$  წრფე, რაც გამოწვეულია გარემოსთან თბოცვლით და ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორებით: ელექტრო ნაპერწკლით ანთების მკვებავი წრედის მავთულების და მინის თერმომეტრის ღეროს თბოგამტარობის პროცესით, წინაღობის თერმომეტრში გამავალი საზომი დენით გამოყოფილი სითბოთი, კალორიმეტრული სითხის სარევალას მუშაობით გამოყოფილი სითბოთი და სხვა.



ნახაზი 2. ტემპერატურული მრუდი და გრაფიკული შესწორება თბოცვლაზე



$t_i$  - მომენტი შეესაბამება კალორიმეტრულ ყუმბარაში ნაპერწკლის მიწოდებას და სათბობის წვის პროცესის დასაწყისს, ანუ მთავარი პერიოდის დასაწყისს. მთავარ პერიოდში -  $\tau_i - \tau_f$  ტემპერატურის ცვლილება გამოისახება ექსპონენტის ფორმულით (AE) მრუდი. მთავარი პერიოდის განმავლობაში ადგილი აქვს ტემპერატურის გათანაბრებას და  $\tau_f$  მომენტიდან იწყება საბოლოო პერიოდი (E წერტილიდან), რომელიც ასევე წარმოადგენს წრფეს. მთავარი პერიოდის საშუალო ტემპერატურა გამოითვლება ფორმულით:

$$\bar{\theta} = \theta_i + 0.63 \cdot (\theta_f - \theta_i) .$$

საწყისი პერიოდის ტემპერატურის ცვლილების ექსტრაპოლაცია AN მთავარი პერიოდის საშუალო ტემპერატურამდე იძლევა ტემპერატურის მონაკვეთს NM, ასევე საბოლოო პერიოდის ტემპერატურის ცვლილების ექსტრაპოლაცია EF მთავარი პერიოდის საშუალო ტემპერატურამდე იძლევა ტემპერატურის მონაკვეთს DF. ტემპერატურის შესწორება კალორიმეტრულ ცდაში იქნება მომაკვეთების ჯამი NM+DF. ხოლო ტემპერატურის სხვაობა, რომელიც შეესაბამება კალორიმეტრში სათბობის დაწვით გამოწვეულ მნიშვნელობას იქნება FN= DM- (NM+DF). შესწორება თბოცვლაზე პირველად მიღებული იქნა დიკინსონის მიერ.

ამრიგად კალორიმეტრული ცდის ტემპერატურული მრუდები არის სამი განსხვავებული სახის. ორი მათგანი გარკვეული მიახლოებით წარმოადგენს ტემპერატურის დროის მიხედვით ცვლილების წრფეებს, რაც განპირობებულია კალორიმეტრის თბოცვლით გარემოსთან, ხოლო მესამე მრუდი წარმოადგენს სხვადასხვა ექსპონენტების ჯამს, რაც ძირითადად განპირობებულია გამოსაკვლევი თბური პროცესით.

### თავი 3. კალორიმეტრიაში გამოყენებული სანიმუშო ნივთიერებები.

განხილულია კალორიმეტრიაში გამოყენებული სანიმუშო ნივთიერებები და ნაშრომში შექმნილი მეორე თანრიგის სანიმუშო ნივთიერება - „ბენზონის მჟავა „სტუ-1“.

1922 წელს ლიონში საერთაშორისო ქიმიურ კონფერენციაზე ორგანული ნაერთების (სათბობის) თბოუნარიანობის გასაზომად (კალორიმეტრული სისტემის თბური ეკვივალენტის დასადგენად) რეკომენდირებული იქნა სანიმუშო ნივთიერება - ბენზონის მჟავა. იგი წარმოადგენს პირველი გვარის სანიმუშო ნივთიერებას.

ძირითად სანიმუშო ნივთიერებას წაეყენება მაღალი მოთხოვნები მისი სისუფთავის მიმართ. მაგალითად, უმაღლესი თანრიგის სანიმუშო ნივთიერება -ბენზონის მჟავა უნდა შეიცავდეს 99,992% ძირითად ნივთიერებას. ასეთი სისუფთავის ნივთიერების მიღება დიდ სიძნელებთან, და შესაბამისად დიდ ხარჯებთანაა დაკავშირებული. შედარებით დაბალი სიზუსტის კვლევების ჩასატარებლად, რომელსაც კალორიმეტრული კვლევებიც მიეკუთვნება, შესაძლებელია უფრო დაბალი სისუფთავის ბენზონის მჟავას გამოყენება. მაგრამ ეს შესაძლებელია მხოლოდ მას შემდეგ, რაც მოხდება ამ ნივთიერების თბოუნარიანობის გამოკვლევა და სანიმუშო ნივთიერებად ატესტაცია.

ჩვენს მიერ ჩატარებულ იქნა სამუშაო შედარებით დაბალი სიზუსტის სანიმუშო ნივთიერების (სტუ-1) შესაქმნელად. ამ მიზნით გამოყენებულ იქნა რუმინული წარმომავლობის (“STANCHEM”) ბენზონის მჟავა, რომელიც ხარისხის სერტიფიკატის მიხედვით შეიცავს 99,24% ძირითად ნივთიერებას.

სანიმუშო ნივთიერების ატესტაციისას კალორიმეტრის თბური ეკვივალენტი განსაზღვრულ იქნა მაღალი სისუფთავის (99,992%) ბენზონის მჟავას გამოყენებით, რომლის თბოუნარიანობა სერტიფიკატის მიხედვით ტოლია 26466 ჯ/გ-ს.

თუ სიტბო, რომელიც გამოიყოფა კალორიმეტრულ სისტემაში, იხარჯება თბოშემცველობის გაზრდაზე, მაშინ სამართლიანი იქნება შემდეგი განტოლება

$$Q = H(\vartheta_f - \vartheta_0), \quad (1)$$

სადაც  $Q$  არის სითბოს რაოდენობა;  $H$  - სისტემის ჯამური სითბოტევადობა;  $\theta_f$  და  $\theta_0$  - სისტემის საბოლოო და საწყისი ტემპერატურები შესაბამისად.

(1) განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ სითბოს რაოდენობის ( $Q$ ) განსაზღვრისათვის აუცილებელია თბური ეკვივალენტის ( $H$ ) და ტემპერატურული ნაზრდის ( $\theta_f - \theta_0$ ) განსაზღვრა. თბური ეკვივალენტის ექსპერიმენტულად განსაზღვრა შესაძლებელია აბსოლუტური და ფარდობითი მეთოდით. აბსოლუტური მეთოდის შემთხვევაში კალორიმეტრულ სისტემას სითბო გადაეცემა მასში მოთავსებულ წინაღობაში ელექტრული დენის გავლით. გადაცემული სითბოს რაოდენობა განისაზღვრება წინაღობაში გამავალი დენის ძალის სიდიდის, წინაღობის ბოლოებზე ძაბვის სიდიდის და დენის გავლის ხანგრძლივობის გაზომვით. ამ სიდიდეების გაზომვა სასურველი სიზუსტით გარკვეულ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული და ექსპერიმენტის ჩატარების თვალსაზრისით საკმაოდ მოუხერხებელია. თბური ეკვივალენტის განსაზღვრის ფარდობითი მეთოდი გულისხმობს კალორიმეტრული გაზომვების ჩატარებას ცნობილი თბოუნარიანობის მქონე ნივთიერების (სანიმუშო ნივთიერების) გამოყენებით. ამ შემთხვევაში კალორიმეტრული სისტემის თბური ეკვივალენტი (1) გამოსახულებით განისაზღვრება. ფარდობით მეთოდი ექსპერიმენტის ჩატარების თვალსაზრისით უფრო მოხერხებულია და გაზომვის სიზუსტე პრაქტიკულად არ მცირდება. ჩვენს სამუშაოში არჩევანი სწორედ ფარდობით მეთოდზე შევაჩერეთ.

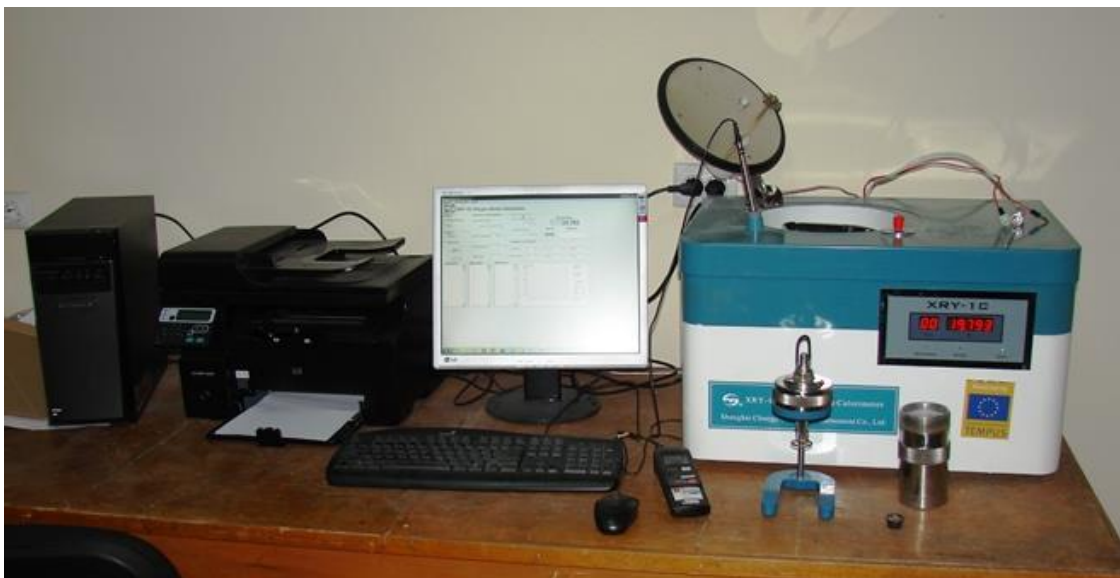
კალორიმეტრიაში გამოყენებული სანიმუშო ნივთიერებები უნდა აკმაყოფილებდეს მკაცრ მოთხოვნებს. კერძოდ, ისინი იოლად უნდა ექვემდებარებოდნენ მინარევებისაგან გაწმენდას, ხასიათდებოდნენ დაბალი ჰიგროსკოპულობით და აქროლადობით. მყარ სანიმუშო ნივთიერებებს არ უნდა ახასიათებდეს რამდენიმე კრისტალური მდგომარეობა საკვლევი ტემპერატურის დიაპაზონში, უნდა იყოს მაღალი დონის სისუფთავის.

პრეციზიული გაზომვებისათვის კალორიმეტრის კალიბრებისათვის გამოიყენება პირველი თანრიგის სანიმუშო ნივთიერებები, რომელთა თბოუნარიანობა გაზომილია მრავალი ავტორის მიერ. სანიმუშო ნივთიერებებით განისაზღვრება კალორიმეტრის თბური ექვივალენტი და ფართო მასშტაბიანი კვლევების დროს ხდება მათი კალიბრება.

#### თავი 4. ექსპერიმენტული ნაწილი

მოცემულ თავში თავმოყრილია ნაშრომის ექსპერიმენტული ნაწილი საკვლევი აპარატურის, კვლევის მონაცემებისა და მათი დამუშავებით მიღებული შედეგების სახით. ასევე წარმოდგენილია პროგრამულად შექმნილი ვირტუალური ამოცანა პრეციზიული კალორიმეტრული ცდების ჩატარების მეთოდის ასათვისებლად.

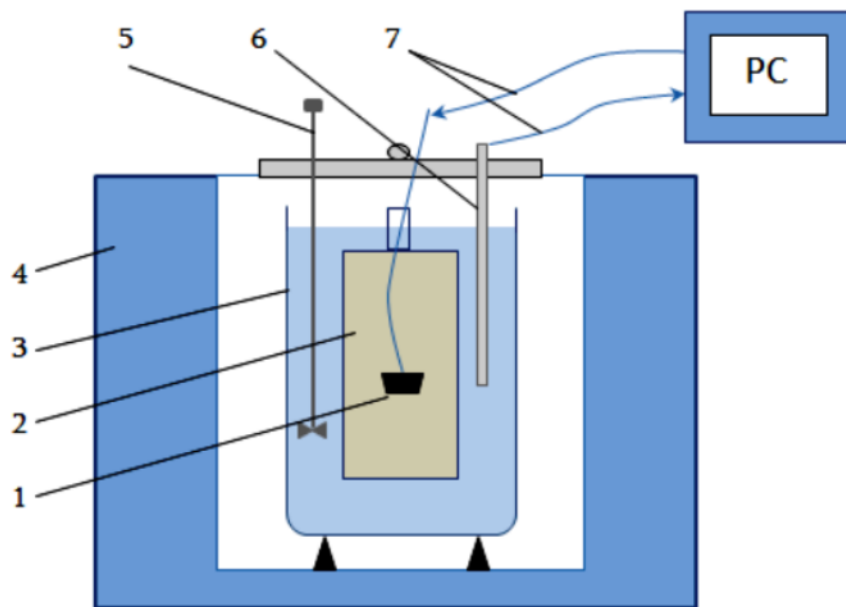
გაზომვები ჩატარდა კალორიმეტრულ ხელსაწყოზე XRY-1C. იგი წარმოადგენს იზოთერმულ კალორიმეტრს, რომელიც გამოიყენება თხევადი და მყარი ნივთიერებების თბოუნარიანობის განსაზღვრად. მისი სიზუსტე ქარხნული მონაცემებით შეადგენს  $\pm 0,4\%$ -ს (სურათი3).



სურათი 3. პრეციზიული კალორიმეტრი XRY-1C

კალორიმეტრის სქემა მოცემულია სურათ 4-ზე. იგი შედგება კალორიმეტრული ჭურჭლისგან (3), რომელიც მოთავსებულია კალორიმეტრულ გარსაცმში (4). კალორიმეტრული გარსაცმი წარმოადგენს

წყლიან ჭურჭელს და უზრუნველყოფს კალორიმეტრული ჭურჭლის გარემოსგან თბოიზოლირებას. გამოსაკვლევი ნიმუში მოთავსებულია სპეციალურ ტიგელში (1), რომელიც თავის მხრივ მოთავსებულია მაღალი წნევის კონტეინერში (2). წვისთვის ხელსაყრელი პირობების შექმნის მიზნით კონტეინერი შევსებულია 25 ატმოსფერული წნევის მქონე ჟანგბადით. ეს კონტეინერი მოთავსებულია გამოხდილი წყლით შევსებულ კალორიმეტრულ ჭურჭელში (3). იმისთვის, რომ ცდის დროს ტემპერატურა წყლის მთელ მოცულობაში იყოს ერთნაირი, ხდება წყლის შერევა სპეციალური შემრევით (5) კომპიუტერული მართვის პროგრამა თერმომეტრიდან (6) მიღებული მონაცემების საფუძველზე სადენების (7) საშუალებით რთავს ელექტრულ წრედს, რაც ნიმუშთან წარმოქმნის ნაპერწკალს. ნაპერწკალი იწვევს საკვლევი ნიმუშის დაწვას. საკვლევი ნიმუშის დაწვის შედეგად გამოყოფილი სითბო გადაეცემა კალორიმეტრულ ჭურჭელში მოთავსებულ გამოხდილ წყალს. გამოხდილი წყლის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობის განსაზღვრით დგინდება საკვლევი ნიმუშის თბოუნარიანობა.



სურათი 4. 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.

გაზომვის მეთოდის შემდეგში მდგომარეობს: კალორიმეტრში სტაციონარული ტემპერატურული რეჟიმის დამყარების შემდეგ, რომლის დროსაც ტემპერატურის ცვლილება ერთ წუთში არ აღემატება 0,001 გრადუსს, მართვის პროგრამა ხელსაწყოს გადაიყვანს გაზომვის რეჟიმში. მოხდება ნიმუშის დაწვა. წვისას გამოყოფილი სითბოს გავლენით კალორიმეტრულ ჭურჭელში მოთავსებული გამოხდილი წყლის ტემპერატურა იწყებს ზრდას. ტემპერატურის მაქსიმალური მნიშვნელობის მიღწევის შემდეგ ფიქსირდება გამოხდილი წყლის მაქსიმალურ, ანუ საბოლოო და ბაზურ, ანუ საწყის მნიშვნელობებს შორის სხვაობა.

კონკრეტული კალორიმეტრული სისტემისთვის ჯამური სითბოტევადობის, ანუ თბური ექვივალენტის განსაზღვრა შესაძლებელია კალორიმეტრის კალიბრებით. კონკრეტულ შემთხვევაში გამოყენებული იყო კალიბრების ფარდობითი მეთოდი რომლის თბოუნარიანობის განსაზღვრის ექსპერიმენტი ტარდება ცნობილი თბოუნარიანობის მქონე სანიმუშო ნივთიერებაზე. კალიბრებით განისაზღვრება H პარამეტრის მნიშვნელობა.

ჩატარებულ იქნა სამუშაო შედარებით დაბალი სიზუსტის სანიმუშო ნივთიერების (სტუ-1) შესაქმნელად. სტუ-1-ის ატესტაციისათვის პრეციზიულ კალორიმეტრზე ჩატარდა 12 ნიმუშის (10 მმ სიმაღლის და 10 მმ დიამეტრის ცილინდრული ტაბლეტები) თბოუნარიანობის გამოკვლევა მაღალი წნევის ჟანგბადის გარემოში. ექსპერიმენტული მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების შედეგად მეორე თანრიგის სანიმუშო ნივთიერების - სტუ-1-ის თბოუნარიანობის მნიშვნელობისთვის მივიღეთ სიდიდე  $(26436,8 \pm 206,6)$  ჯ/გ. ანუ სანიმუშო ნივთიერების თბოუნარიანობის განსაზღვრის ცდომილება შეადგენს 0,78% -ს.

თბოუნარიანობის გამოსაკვლევი ექსპერიმენტები ჩატარდა ტყიბულ-შაორის საბადოს მინდელის სახელობის შახტის პირველი, მეორე და მეოთხე უბნების სხვადასხვა ფენის რიგითი ქვანახშირისა და ღია წესთ

მოპოვებული ქვანახშირის ნიმუშებზე. საკვლევი ნიმუში წარმოადგენს ფხვიერ ქვანახშირს (კლასი 1-100 მმ).

წინასწარ მოხდა საკვლევი ნიმუშების გამოშრობა. ეს პროცესი განხორციელდა RADWAG – MA 50.R მარკის სპეციალურ დანადგარზე 105°C - 110°C ტემპერატურის პირობებში ნიმუშის მასის შემცირებს შეწყვეტამდე. ხელსაწყოს სიზუსტე მასის განსაზღვრის მიმართ შეადგენს 10<sup>-3</sup> გ-ს. გამომშრალი ნიმუშები ინახებოდა ექსიკატორში.

ყოველი კონკრეტული ფენის რიგითი ქვანახშირისთვის ექსპერიმენტი ჩატარდა ხუთ ნიმუშზე. ყოველი ნიმუშისთვის ხორციელდებოდა ნიმუშის მომზადება, მისი გამოშრობა, აწონვა, კონტეინერში მოთავსება, სანაპერწკლე მავთულის მონტაჟი და კალორიმენტრული სისტემის თერმოსტატირება. პრაქტიკულად ეს ნიშნავს, რომ გვაქვს გაზომვების ხუთი დამოუკიდებელი კომპლექსი, რაც განაპირობებს გაზომვების სისტემატური ხასიათის ცდომილების მინიმუმამდე შემცირებას.

ცხრილ 1-ში მოცემულია უმაღლესი თბოუნარიანობის გაზომვის შედეგები უბნების მიხედვით.

ცხრილი 1

ტყიბულ-შაორის საბადოს მინდელის სახელობის შახტის და ღია წესით მოპოვებული ქვანახშირის უმაღლესი თბოუნარიანობების მონაცემები უბნების მიხედვით

#	უბანი 1 ფენი 4	უბანი 2 ფენი 4	უბანი 2 ფენი 6	უბანი 4 ფენი 4	ღია წესით მოპოვებული
1	18400	21163	23430	20592	18585
2	18617	19917	22096	19941	19743
3	18686	20816	22527	19889	20652
4	18684	22038	22737	20722	17297
5	18348	21568	22821	21460	-
Q <sub>შ.საშ.</sub>	18547	21104	22722	20521	19060

ცდის მონაცემების დამუშავება შესრულდა სტატისტიკის და უმცირესი კვადრატების მეთოდების გამოყენებით. განისაზღვრა კონკრეტული

ნიმუშების ცალკეული გაზომვების დისპერსია, ცალკეული გადახრების სტანდარტული გადახრა, თბოუნარიანობის საშუალო მნიშვნელობის დისპერსია და სტანდარტული გადახრა, განისაზღვრა სტიუდენტის კოეფიციენტების მნიშვნელობები (გაზომვის შედეგებში უხეში ცდომილებების აღმოსაჩენად და ზღვრული ცდომილებების დასადგენად). საბოლოოდ განისაზღვრა თბოუნარიანობის საშუალო არითმეტიკული სიდიდის ზღვრული ცდომილება გამოკვლეული ნიმუშების მიხედვით (ცხრილი 2).

ცხრილი 2

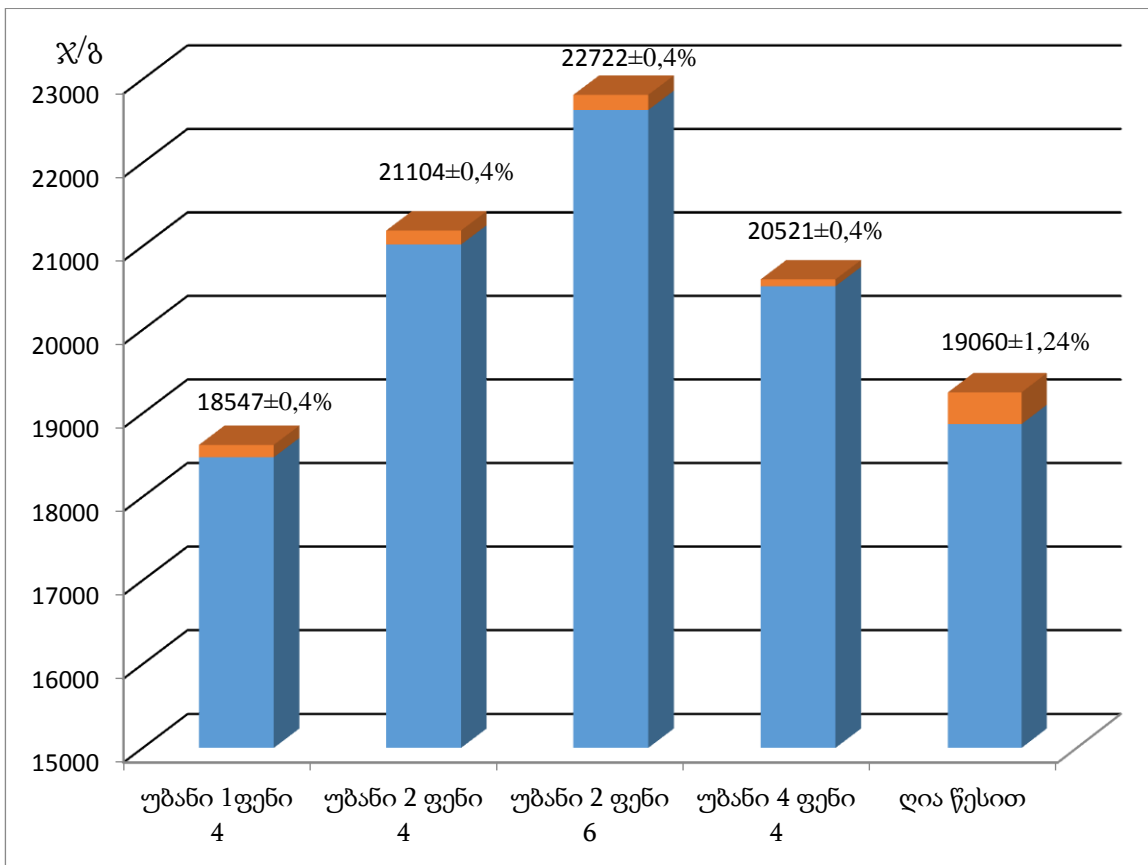
გაზომვის ზღვრული ცდომილება (%) ნიმუშების მიხედვით

უბანი 1 ფენი 4	უბანი 2 ფენი 4	უბანი 2 ფენი 6	უბანი 4 ფენი 4	ღია წესით მოპოვებული
0,09	0,17	0,12	0,15	1,24

ნახაზ 5-ზე მოცემულია ტყიბულ-შაორის საბადოს სხვადასხვა ფენის ქვანახშირის თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული მონაცემები გარფიკული სახით. როგორც გრაფიკიდან ჩანს, თბოუნარიანობის მნიშვნელობა ფენების მიხედვით იცვლება 18547 ჯ/გ-დან 22450 ჯ/გ-მდე საშუალო მნიშვნელობით 20722 ჯ/გ. გაზომვების ცდომილება შეადგენს  $\pm 0,4\%$ -ს. სხვადასხვა ფენის ქვანახშირის თბოუნარიანობის მნიშვნელობაში განსხვავდება მოქცეულია დაიპაზონში 4 -21%.

გასული საუკუნის 70-იანი წლების მონაცემებით ყიბულის ქვანახშირის საბადოს საშუალო უდაბლესი მუშა თბოუნარიანობა ტოლია 4420 კკალ/კგ , ანუ საცნობარო მასალაში მითითებული შედგენილობის მიხედვით არსებული წყალბადის და ტენის შემცველობების გათვალისწინებით მიიღებული უმაღლესი მუშა თბოუნარიანობა ტოლი იქნება 22635კკ/კგ. ჩვენი გამოკვლევის შედეგად მიღებული უმაღლესი მუშა თბოუნარიანობის გასაშუალებული მნიშვნელობა ამ სიდიდისგან 9%-ით განსხვავდება. ჩვენი აზრით ეს განსხვავება გამოწვეულია ქვანახშირის მოპოვების არეალის ცვლილებით და გაზომვების თანამედროვე საშუალებების გამოყენებით.



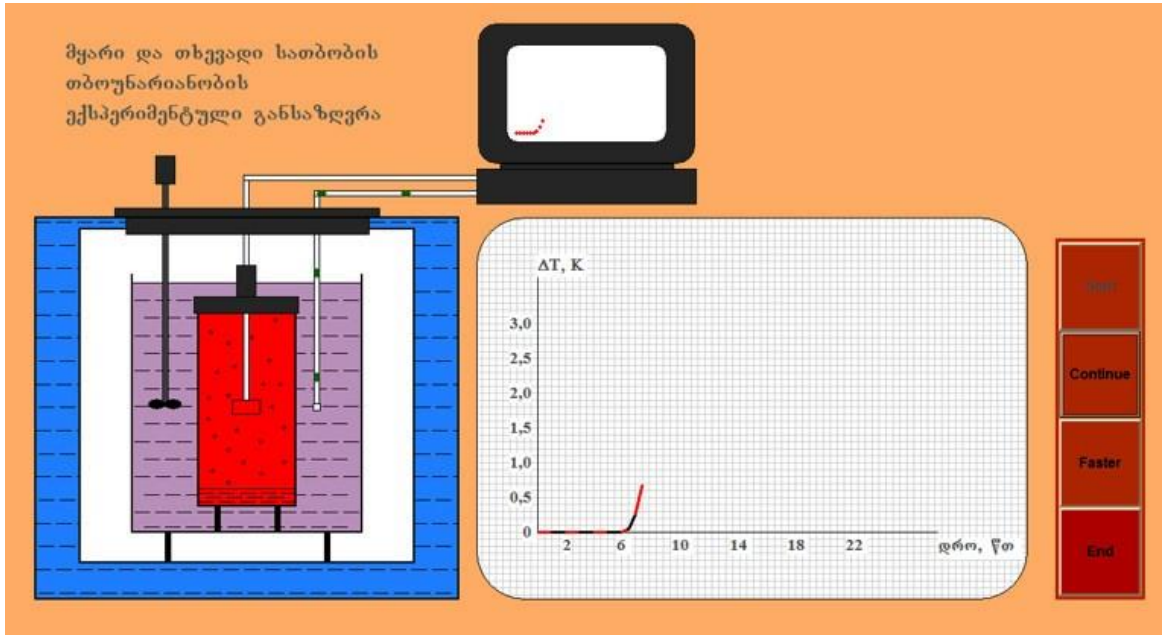


ნახაზი 5. ტყიბულ-შაორის საბადოს ქვანახშირის თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული მონაცემები

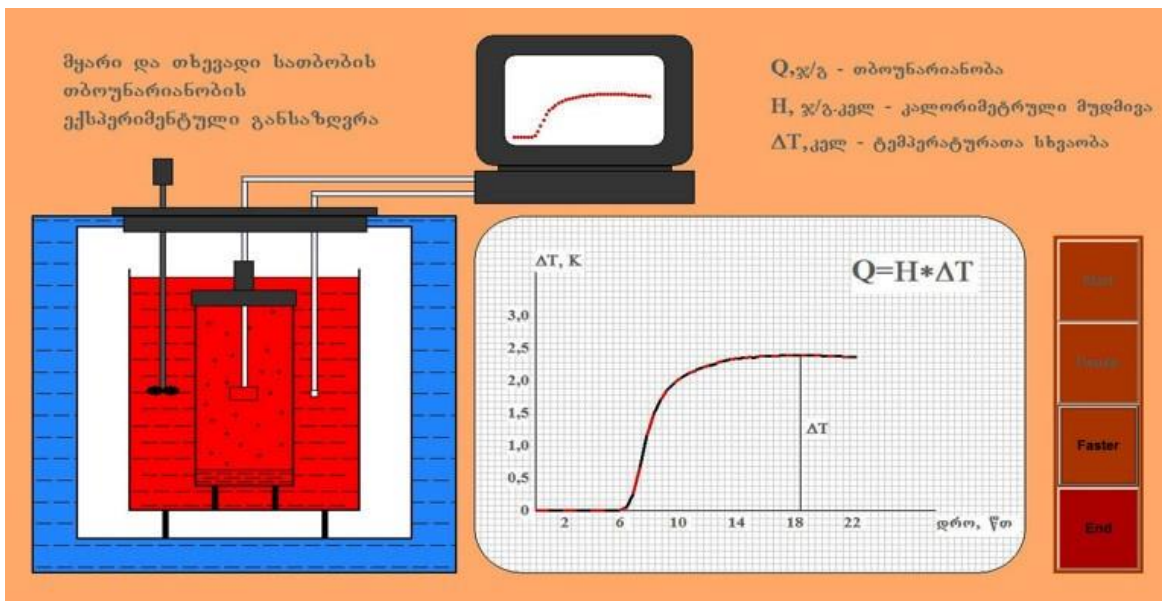
სათბობის მხოლოდ თბოუნარიანობის პარამეტრის მიხედვით როგორც ჩვენი გაზომვებიდან ჩანს პრიორიტეტი უნდა მიეკუთვნოს მე-2 უბნის მე-6 ფენის ქვანახშირს (უმაღლესი მუშა თბოუნარიანობა 22450 კვ/კვ).

მოცემული სამუშაოს ფარგლებში შეიქმნა ვირტუალური ამოცანა, რომელშიც თვალნათლივ ჩანს თბოუნარიანობის განსაზღვრის კალორიმეტრული მეთოდის მიმდინარეობა. ვირტუალური ამოცანა გათვალისწინებულია სტუდენტებისთვის და დაეხმარება მათ აღნიშნული მეთოდის შესწავლაში. მისი საშუალებით შესაძლებელია ყურადღების გამახვილება თბური პროცესის იმ ნაწილზე, რომელიც რეალური ამოცანის შესრულებისას დაფარულია. ვირტუალურ ამოცანაში თვალნათლივ ჩანს კვლევის პროცესის მართვა კალორიმეტრის თერმომეტრის მონაცემების საფუძველზე, „ნაპერწკლის“ წარმოქმნის მომენტი, ნიმუშის დაწვა და

მაღალი წნევის „ბომბის“ და კალორიმეტრული ჭურჭლის ტემპერატურის ცვლილება როგორც ფერებში ასევე გრაფიკულად. მაგალითად სურათ 6-ზე მოცემულია კალორიმეტრული ჭურჭლის მდგომარეობა ნიმუშის დაწვისთანავე, ხოლო სურათ 7-ზე კალორიმეტრული ჭურჭლის მდგომარეობა პროცესის დასრულების შემდეგ, ანუ, მას შემდეგ, რაც ტემპერატურა მიაღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას.



სურათი 6. კალორიმეტრული სისტემის მდგომარეობა ნიმუშის დაწვისთანავე



სურათი 7. კალორიმეტრული სისტემის მდგომარეობა პროცესის დასრულებისას

## ძირითადი დასკვნები

1. შექმნილია მყარი და თხევადი სათბობის თბოუნარიანობის საზომი პრეციზიული ექსპერიმენტული სისტემა ზღვრული ცდომილებით  $\pm 0,4\%$ .
2. შექმნილია მყარი და თხევადი სათბობის თბოუნარიანობის საზომი სასწავლო-მეთოდური ვირტუალური ამოცანა;
3. შექმნილია სათბობის თბოუნარიანობის გასაზომად მეორე თანრიგის სანიმუშო ნივთიერება-ბენზოინის მჟავა (თბოუნარიანობით  $26358,50 \pm 1,4\%$ );
4. გამოკვლეულია ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის საბადოს პირველი, მეორე და მეოთხე უბნების მე-4 და მე-6 ფენების ნიმუშების, და ღია წესით მოპოვებული ნიმუშების თბოუნარიანობა.
5. კვლევის შედეგების თანახმად ქვანახშირის თბოუნარიანობის სასუალო მნიშვნელობა განსხვავდება  $9\%$ -ით ლიტერატურაში არსებულ მონაცემებისაგან, განპირობებული შეიძლება იყოს მოპოვების არეალის ცვილებით, გასაშუალების წესით და ასევე დღეისათვის გამოყენებული საზომი ხელსაწყოების მაღალი სიზუსტით.
6. ჩვენი კვლევების მიხედვით მიზანშეწონილია თბოუნარიანობის პარამეტრის მიხედვით პრიორიტეტი მიეკუთვნოს მე-2 უბნის მე-6 ფენის ქვანახშირს, რომლის მშა თბოუნარიანობა ტოლია  $22450$  კჯ/კგ
7. შექმნილი ექსპერიმენტული კალორიმეტრული სისტემა და ვირტუალური სასწავლო-მეთოდური ამოცანა გამოყენებული იქნება ენერგეტიკის ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის, როგორც სასწავლო-კვლევითი ბაზა.

**დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ**

**ნაშრომებში:**

1. ჩხიკვაძე ქ., კილურაძე ო., ჩხიკვაძე თ. ტყიბულ-შაორის საბადოს სხვადასხვა დონის ნიმუშების ქვანახშირის თბოუნარიანობა. ენერგია, 2016, 1(77), 38-41.

2. ჩხიკვაძე ქ., კილურაძე ო., კეჭერაძე ნ. ორი ვირტუალური ამოცანა - სათბობის თბოუნარიანობის განსაზღვრა და ნამწვი აირების ანალიზი. ენერჯია. 2015, 4(76), 32-35.
3. ჩხიკვაძე ქ. ადგილობრივი სათბობის - ტყიბულ-შაორის ქვანახშირის თბოუნარიანობა. ქუთაისი, საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „მდგრადი ენერჯეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“ მოხსენებათა კრებული, 2015, 104-108
4. ჩხიკვაძე ქ. სათბობის თბოუნარიანობის საკვლევი ხელსაწყოთა თბური ექვივალენტის განსაზღვრა. სტუ-ს შრომები, 2014, #4(494), 19-22
5. კილურაძე ო., ჩხიკვაძე ქ., ჩხიკვაძე თ. სათბობის თბოუნარიანობის სანიმუშო ნივთიერების შექმნა ბენზონის მჟავას ბაზაზე. სტუ-ს შრომები. 2014, 3(493), 15-18.
6. ჩხიკვაძე ქ., კილურაძე ო., ჩხიკვაძე თ. თხევადი და მყარი სათბობის თბოუნარიანობის საზომი ხელსაწყოთა გამოკვლევა. სტუ-ს არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2014, 18, 111-115.

#### **resume**

Georgian local natural energy resource use in terms of opportunities is limited with coal. Georgian coal reserves are limited by Tkibuli-Shaori coal mine. Consequently, it's effective use is a significant factor for Georgia's economic development. According to the Georgian government's decision, it is planned to construct 150-megawatt HPP in Tkibuli, which will use modern combustion technology ("boiling layer" burning) for a local coal. Based on world forecast, by the end of XXI century, the world resources of non-recoverable energy – oil and natural gas will be completely exhausted. This deficit will be compensated by remaining coal reserves of fossil and renewable energy reserves.

There is difference between different levels of coal mine elements and internal and external ballast percentage concentration. Deriving from this fact, the

calorific value of coal from different layers is different. Consequently, defining individual sample calorific value presents active topic.

In the assay, the actuality of calorific value of Tkbul-Shaori plant is presented in terms of its usage as well as from scientific view.

The analysis are made in calorimetric system for ongoing thermal process mathematical modeling case with specific easier assumptions that is linked with the systems face and nature. While considering the terms of the system it is possible to evaluate temperature affect in terms of analysis schedule. Six characteristic models are discussed.

In 1922, in Lyon, during International Conference on Chemical organic compounds (fuels) for measuring the calorific value (calorimetry system in order to determine the thermal equivalent) it was recommended sample substance - benzoin acid, as the first sample substance.

The sample substance needs to comply with the high requirements of cleanliness. For example, a higher-level model ingredient - benzoin acid should contain 99.992% of the main substance. The achievement of such purity substance is associated with huge difficulties and consequently, with huge expenses. For performing relatively low accuracy research, to which calorimetric research refers as well, it is possible to use low purity benzoin acid. However, it is possible only after the research of calorific value and sample attestation.

We have performed work to create low accuracy sample substance ( STU-1). For this purpose we have used Romanian origin ( "STANCHEM") benzoin acid ( $C_6H_5COOH$ ) which according to quality certificate consist of 99.24% main substance, 0.03% moisture, 10 milligram / kg less heavy metals, less than 0.2% anhydride, 0.03% sulpozols. The melting temperature is 121,7 °C . During attestation of sample substance, the calorific value of calorimeter was defined through high purity (99,992%) benzoin acid, which calorific value per certificate is equal to 26466 J / g.

For attestation of STU-1, on precision calorimeter there were conducted 12 sample (10 mm height and 10 mm diameter cylindrical) calorific value

examination in the high pressure oxygen environment. The results of the experiment (12 attempts) is divided into two groups according to the measurements of the mark time.

Observations to track the gross errors in the test, and in case of their arguments in order to exclude individual measurements determined Student ratios and measuring the average value with the marginal error.

For measurement of solid and liquid fuel heating value precision experimental equipment is created, which includes: calorimetric bomb placed in thermostatic environment; high pressure oxygen filling system; precision electronic scales; precision electronic dryer, fuel briquettes preparatory assembly. The system is designed for high-precision measurement of a variety of fuel heating value.

Theoretical analysis of the heating value measurement system errors and certain patterns of multiple measurements of the test data statistical processing methods resulting from errors.

Fuel heating value is designed to measure the second-level model substance-benzoin acid (calorific  $26358,50 \pm 1,4\%$ ).

Experimentally the calorific value of Tkibul-Shaori coal from different lawyers is determined:

District 1, layer 4 -  $18547 \pm 15,8$  kJ/kg (0,09%);

District 2, layer 4 -  $21104 \pm 1,47$  kJ/kg (0,17%);

District 2, layer 6 -  $22722 \pm 27,4$  kJ/kg (0,12%);

District 4, a layer of 4 -  $20521 \pm 31,6$  kJ/kg (0,15%);

In the open under the sample -  $19060 \pm 236,2$  kJ/kg (1,2%).

The designed calorimetric system will be used for the students of Energy faculty, as educational research base.

The work performed is composed of 4 chapters and conclusion. The quoted literature contains Georgian and foreign sources of 46 description. The experimental results are processed through statistical methods.

The work results are approved on two international conferences. Was discussed on GTU students conference. The major results of the research are published on six scientific articles, including two without the co-writer.