

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ელენა კოტორაშვილი

განახლებადი ენერგორესურსების გამოყენების  
ეფექტურობა საქართველოში

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის  
თბო- და ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფ. ოთარ ვეზირიშვილი

რეცენზენტები: -----  
-----

დაცვა შედგება 2014 წლის ”-----” “-----“ ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის  
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,  
კორპუსი VIII, აუდიტორია №123  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი, პროფესორი

გ.ხელიძე

## სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა. სათბობ - ენერგეტიკული რესურსების რაციონალური გამოყენება და ეკოსისტემის დაცვა თანამედროვეობის ერთ-ერთი აქტუალური პრობლემაა. მისი მართებული და მასშტაბური გადაწყვეტა შესაძლებელია საყოფაცხოვრებო-კომუნალური, სამრეწველო და სოფლის მეურნეობის ენერგომომარაგების სისტემებში ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებით. მსოფლიო ბაზარზე ორგანულ სათბობზე ფასების განუწყვეტელი ზრდა, სათბობისა და ენერჯის პოლიტიკურად არასტაბილური რეგიონებიდან იმპორტი და ეკოლოგიური სიტუაციის მდგომარეობა (მაგ. სათბობად გამოყენებული დიდი რაოდენობით გაჩეხილი ტყეები) სულ უფრო აქტუალურს ხდის ადგილობრივი ენერგეტიკული რესურსების უფრო ეფექტურად გამოყენების აუცილებლობას. ეს კი პირველ რიგში ითვალისწინებს სათბობ-ენერგეტიკული ბალანსის სტრუქტურის გაუმჯობესებას, ნარჩენების უტილიზაციას, ახალი ენერგოეფექტური და ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების გამოყენებას და ეკოლოგიური პრობლემების მოგვარებას.

საქართველოში ფაქტიურად არ არის თხევადი და აირადი სათბობების მნიშვნელოვანი რესურსები. არის ქვანახშირის მარაგი. ქვეყანა საკმაოდ მდიდარია ჰიდრო და არატრადიციული განახლებადი ენერგორესურსებით (ქარი, მზე, გეოთერმული წყლები, დაბალპოტენციური მეორეული სითბო და სხვ.). აღნიშნული ენერგორესურსების ოპტიმალურად გამოყენების საკითხები დღემდე ვერ არის სათანადო დონეზე გადაჭრილი, რაც მნიშვნელოვნად განაპირობებს ჩვენს ქვეყანაში არსებულ ენერგოკრიზის. ორგანული სათბობის მკვეთრი დეფიციტის გამო ენერგორესურსების ეფექტური გამოყენების სტრატეგია უნდა იქცეს საქართველოს ეკონომიკის ინტესიფიკაციის საფუძვლად. აუცილებელია მთელი ქვეყნის მასშტაბით ენერგორესურსების ეკონომიის კომპლექსური განხილვა.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის ეფექტური განვითარებისა და ქვეყნის საიმედო ენერგოუზრუნველყოფის გზების ძიება, მათ შორის განახლებადი ენერგორესურსების გამოყენების ეფექტურობის შესწავლა, მეტად აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს, რაც საქართველოს ენერგეტიკული დამოუკიდებლობის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს.

### **კვლევის მიზანი**

ენერგეტიკის განვითარების გრძელვადიანი სახელმწიფო პროგრამების შედგენისას გათვალისწინებულ იქნეს არატრადიციული განახლებადი ენერგორესურსების ბაზაზე ენერგომომარაგების, კერძოდ კი სითბო-სიცივით მომარაგების თანამედროვე, ენერგოდამზოგი და ეკოლოგიურად სუფთა სისტემების გამოყენების შესაძლებლობები.

### **კვლევის ძირითადი ამოცანები**

- ქვეყნის საკუთრი, განახლებადი ენერგორესურსების მაქსიმალურ ათვისებას და მათ რაციონალურ მოხმარება;
- მეურნეობის სხვადასხვა დარგში ენერგოდამზოგი ეკოლოგიური სიტუაციის გაუმჯობესების პოლიტიკის უფრო აქტიურად წარმართვა და სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის ავტონომიურობის ხარისხის ამაღლება.

### **ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე**

პრობლემის კომპლექსური გადაწყვეტის საფუძველზე დამუშავებულია სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი კომპლექსური ეკოლოგიურად სუფთა სისტემების გაანგარიშების, პროექტირებისა და პრაქტიკული განხორციელების თეორიული, ექსპერიმენტული და ტექნიკურ-ეკონომიკური საკითხები. დამუშავებულია ენერგოდამზოგი დანადგარების გამოყენების პირობების სისტემური ანალიზის საკითხები, რომელიც ითვალისწინებს: რეგიონის კლიმატური თავისებურებებისა და მისი სათბობ-ენერგეტიკული ბალანსის სტრუქტურის, ბუნებრივი და მეორეული სითბოს წყაროების ენერგეტიკული დონეების, თერმოდინამიკური სრულყოფის ხარისხის

სხვადასხვა დანიშნულების სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური ეკოლოგიურად სუფთა სისტემების ოპტიმალური პარამეტრების, შენობების თბური ბალანსისა და ტექნოლოგიური მოთხოვნების თავისებურებების გავლენას, სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების შექმნის დროს.

- დამუშავებულია გათბობისა და ჰაერის კონდიცირების სისტემებში ენერგოდამზოგი დნადგარების მუშაობის იმიტაციური მოდელები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება განვსაზღვროთ დასახლებული პუნქტების ცალკეული ობიექტებისა და საწარმოო-ტექნოლოგიური პროცესების სითბო-სიცივით მომარაგების ოპტიმალური სქემები.
- ჩატარებულია სხვადასხვა ტიპის გათბობისა და ჰაერის კონდიცირების სისტემების ენერგოეკონომიკური ანალიზი. კლიმატური რაიონების მიხედვით, სხვადასხვა სახის სითბოს წყაროებისა და სათბობის სხვადასხვა ღირებულებისათვის დადგენილია ენერგოდამზოგი სისტემების გამოყენების ეფექტურობის ზონები.
- წარმოდგენილია სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები. დამუშავებულია და შექმნილია სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების მართვის ავტომატიზებული სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს აღნიშნული სისტემების მუშაობის რეჟიმების სტაბილიზაციასა და მათი მუშაობის საიმედოობის ამაღლებას.
- დამუშავებულია რეკომენდაციები სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი სისტემების ენერგოეკოლოგიური მახასიათებლებისა და საექსპლუატაციო პარამეტრების გაზრდის მიზნით. სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების მაგალითზე ნაჩვენებია დამუშავებული რეკომენდაციების პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობები.

- მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჩვენი ქვეყნის სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების ძირითადი მიმართულებებისა და ენერგეტიკის განვითარების კონცეფციების შემუშავებისას. მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები, აგრეთვე დამუშავებული საინჟინრო მეთოდიკები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს: სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების საინვესტიციო პროექტების მომზადებისას, შემოთავაზებული რეკომენდაციების განხორციელება ხელს შეუწყობს: სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების მუშაობის ეფექტურობისა და საიმედოობის ამაღლებას, ქვეყნის სხვადასხვა დარგების თბურ ენერგიაზე მოთხოვნილების ეფექტურ დაკმაყოფილებას და ეკოსისტემის დაცვას.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ქვეყნის სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების ძირითადი მიმართულებებისა და ენერგეტიკის განვითარების კონცეფციების შემუშავებისას. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები, აგრეთვე ავტორის მიერ დამუშავებული საინჟინრო მეთოდიკები, შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას: თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების საინვესტიციო პროექტების მომზადებისას; აღნიშნული სისტემების სქემებისა და მისი შემადგენელი ელემენტების შემდგომი სრულყოფისას; სამშენებლო კომპანიების მიერ თბომომარაგებისა და ჰაერის კონდიციონირების გაცილებით სრულყოფილი სისტემების პროექტირებისას და პრაქტიკაში ფართოდ დანერგვისას. შემუშავებული ეკონომიკურ-მათემატიკური მოდელები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას: ქვეყნის სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის განვითარების პერსპექტივების განსაზღვრისას; თბური ენერგიის მოხმარების მასშტაბების პროგნოზირებისას და სხვ.

შემოთავაზებული რეკომენდაციების განხორციელება ხელს შეუწყობს: თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების მუშაობის ეფექტურობისა და საიმედოობის ამაღლებას; საქართველოს, ტრასეკასა და სუამის წევრი სხვა ქვეყნების ეკონომიკის სხვადასხვა დარგების თბურ ენერჯიაზე მოთხოვნილების ეფექტურ და რაციონალურ დაკმაყოფილებას და ეკოსისტემის დაცვას.

### **ნაშრომის აპრობაცია**

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენებული: თეორიული/ექსპერიმენტული კვლევა/კოლოქვიუმი-1 (2012 წ.); თეორიული/ექსპერიმენტული კვლევა/კოლოქვიუმი-2 (2013წ.); თეორიული /ექსპერიმენტული კვლევა/კოლოქვიუმი-3 (2013 წ.); მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე „ენერჯეტიკა, რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, ქუთაისი 2013 წ., და გამოქვეყნებულია ოთხ აკრედიტებულ სამეცნიერო ჟურნალში.

### **ნაშრომის პუბლიკაცია**

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია ექვს სამეცნიერო სტატიაში.

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

ნაშრომის ტექსტი შედგება შესავლის, ოთხი თავისა და 96 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისაგან. ნაშრომი მოცულობა შეადგენს 142 გვერდს ცხრილებისა და ნახაზების ჩათვლით.

## **სამუშაოს მოკლე შინაარსი**

**თავი 1. საქართველოს ეკონომიკაში თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოვი სისტემების გამოყენების ენერგოეკონომიკური საფუძვლები**

მსოფლიო ენერჯეტიკული კონგრესის მიერ გამოქვეყნებული მასალების მიხედვით, უახლესი ათწლეულების მანძილზე ენერჯეტიკულ ბალანსში,

მსოფლიო ენერგეტიკის საფუძვლად, მიუხედავად ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენების მზარდი როლისა, კვლავ რჩება წიაღისეული ორგანული სათბობი. ამჟამად, მსოფლიოში ორგანული სათბობის საერთო რაოდენობა შეადგენს 13,1 ტრილიონ ტ.პ.ს. აქედან 83 % მოდის ნახშირზე. ამ რესურსებიდან, თანამედროვე მეცნიერულ-ტექნიკური პირობების გათვალისწინებით, შესაძლებელია ათვისებულ იქნეს 7 ტრილიონ ტ.პ.ს..

გამოკვლევათა ანალიზიდან ჩანს, რომ საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს წევრ ქვეყნებში 2000-2025 წ.წ. პერიოდში, ენერგეტიკის განვითარებას ექნება ორი ძირითადი სტრატეგიული მიმართულება. ესენია: ენერჯის მისაღებად საჭირო დანახარჯების მინიმიზაცია და ენერგომომსახურების საიმედოობის მაქსიმალური გაზრდა ნავთობის იმპორტის შემცირების კვალდაკვალ.

ახალი ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიები იყოფა ორ კატეგორიად: ენერგეტიკული ეფექტურობის ამამაღლებელ ტექნოლოგიებად (მაგ.: თბური ტუმბოს დანადგარები, მრეწველობაში ენერჯის ეკონომია, სატრანსპორტო საშუალებათა მქკ-ს გაზრდა) და ტექნოლოგიებად, რომელთა გამოყენების შედეგად ნავთობ-პროდუქტებზე მომუშავე დანადგარები შეიძლება შეიცვალოს ისეთი მოწყობილობებით, რომლებიც მოიხმარენ სხვა ენერჯიაშემცველს. სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ეკონომიის განსაკუთრებით დიდი რეზერვებია საცხოვრებელი, საზოგადოებრივი და სამრეწველო შენობების, აგრეთვე ნაციონალური მეურნეობის სხვადასხვა დარგებში დაბალტემპერატურული (100°C-მდე) ტექნოლოგიური პროცესების თბომომარაგების სფეროში.

დაბალტემპერატურული სამრეწველო პროცესებისა და შენობების სითბო-სიცივით მომარაგების განხორციელებისას, ორგანული სათბობის ეკონომიის, სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების რაციონალური გამოყენებისა



და გარემოს დაცვის ერთ-ერთ ყველაზე უფრო ეფექტურ ღონისძიებას წარმოადგენს თბური ტუმბოს დანადგარების ფართოდ გამოყენება.

თბური ტუმბოს დანადგარების შესახებ არსებული სამუშაოების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ამჟამად არსებული სხვადასხვა ტიპის თბური ტუმბოს დანადგარებიდან (ორთელკომპრესორული, აბსორბციული, საჰაერო, თერმოელექტრული) სადღეისოდ, სითბო-სიცივით მომარაგების განსახორციელებლად, ყველაზე უფრო გავრცელებულია ორთელკომპრესორული ტიპის თბური ტუმბოდანადგარები.

## **თავი 2. სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი კომპლექსური სისტემების გამოყენების თეორიული გამოკვლევა**

აღნიშნულ თავში პრობლემის კომპლექსური გადაწყვეტის საფუძველზე დამუშავებულია თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების თეორიული კვლევების მეთოდები, სხვადასხვა ტიპის ორთელკომპრესორული სამაცივრო დანადგარების თბური ტუმბოს რეჟიმში მუშაობის პირობებში. თეორიული კვლევებით მიღებული შედეგები წარმოადგენს სითბო-სიცივით მომარაგების ახალი კომპლექსური სისტემის ოპტიმიზაციის საფუძველს.

დამუშავებულია თბური ტუმბოს დანადგარების ბაზაზე სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი კომპლექსური სისტემების გამოყენების პირობების სისტემური ანალიზი რომელიც ითვალისწინებს: რეგიონის ბუნებრივ-კლიმატურ პირობებს; შენობების თბური რეჟიმების ფორმირების თავისებურებებს; რეგიონის სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის სტრუქტურულ თავისებურებებს და მისი განვითარების პერსპექტივებს; გარემოს დაცვისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს; სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების შემადგენელი ცალკეული დანადგარების ტექნიკურ-ეკონომიკურ მახასიათებლებს.

პრობლემის კომპლექსური გადაწყვეტის საფუძველზე დამუშავებულია სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი კომპლექსური სისტემების თეორიული კვლევების მეთოდები სხვადასხვა ტიპის სამაცივრო დანადგარების თბურტუმბოს რეჟიმებში მუშაობის პირობებში, რომელიც წარმოადგენს სითბო-სიცივით მომარაგების ახალი კომპლექსური ეკოლოგიურად სუფთა სისტემების ოპტიმიზაციის საფუძველს.

მრავალი საწარმო მუშაობის სპეციფიკიდან გამომდინარე, ერთდროულად მოიხმარს როგორც თბურ ენერგიას, ასევე სიცივეს. ამ შემთხვევაში თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია, ვინაიდან იგი ერთდროულად გამოიმუშავებს როგორც სითბოს, ასევე სიცივეს. აქედან გამომდინარე, მეტად ეფექტურია თბურიტუმბოს დანადგარების გამოყენება აგროსამრეწველო კომპლექსის საწარმოებში, სხვადასხვა სახის სოფლის მეურნეობის ფერმერულ მეურნეობებში. ასეთი საწარმოებებია: მეფრინველეობის ფაბრიკები, ჩაის ფაბრიკები, სათევზე მეურნეობები, ხორცისა და რძის გადამამუშავებელი კომბინატები, საკონსერვო ქარხნები, თამბაქოს წარმოება, სასათბური მეურნეობები, ხილბოსტნეულის გადამამუშავებელი საწარმოები და სხვა. ამ ტიპის საწარმოებში ერთდროულად მიმდინარეობს კვების პროდუქტების მიღება, თერმული გადამამუშავება და სამაცივრო კამერებში მათი ცივად შენახვა.

ნაშრომში დამუშავებულია კვების მრეწველობის ობიექტისათვის კასკადური ტიპის თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური ენერგოდამზოგი სისტემა რძის გადამამუშავებელი ქარხნის მაგალითზე. ასეთი ტიპის საწარმოებში თბური პროცესების განხორციელების მიზნით, ორგანული სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული თბური ენერგიის ტექნოლოგიურ პროცესებში გამოყენების შემდეგ, ამ ენერგიის 36-41%, ნარჩენი სითბოს სახით, წვის პროდუქტებთან ერთდ გამოიტყორცნება გარემოში. თბური ტუმბოების გამოყენების შედეგად, მოცემულ საწარმოში მთლიანად

შეწყდება ორგანული სათბობის დაწვა და გამოირიცხება გარემოს გაჭუჭყიანება.

ნახ.1-ზე მოცემულია დღე-ღამეში 15 ტონა წარმადობის მქონე საგარეჯოს რძის გადამამუშავებელი ქარხნის ჩვენ მიერ დამუშავებული კასკადური ტიპის თბური ტუმბოს დანადგარის პრინციპული სქემა. ქვედა კასკადში გამოყენებულია სამაცივრო რეჟიმში ამიაკზე მომუშავე AM-100 ტიპის სამაცივრო მანქანა - 1. ზედა კასკადში გამოყენებულია თბური ტუმბოს რეჟიმში ფრეონ R 142-ზე მომუშავე XMFYU-80/2 ტიპის სამაცივრო მანქანა - 11. თბური ტუმბოს დანადგარში დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროდ გამოყენებულია სამაცივრო დანადგარის კონდენსატორში - 3 ცირკულირებული წყალი. სიცივე, რომელიც მიიღება კასკადში, იხარჯება რძის საპასტერიზაციო-გამაცივებელ დანადგარში ( $4 \div 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) და მზა პროდუქციის ცივად შესანახ მაცივარ-კამერაში ( $-5 \div 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). ზედა კასკადში თბური ტუმბოს დანადგარის საშუალებით მიღებული  $80 \div 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის მქონე ცხელი წყალი გამოიყენება რძის პასტერიზაციისათვის ( $75 \div 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ცხელი წყალმომარაგებისათვის და ადმინისტრაციული შენობის გათბობისათვის.

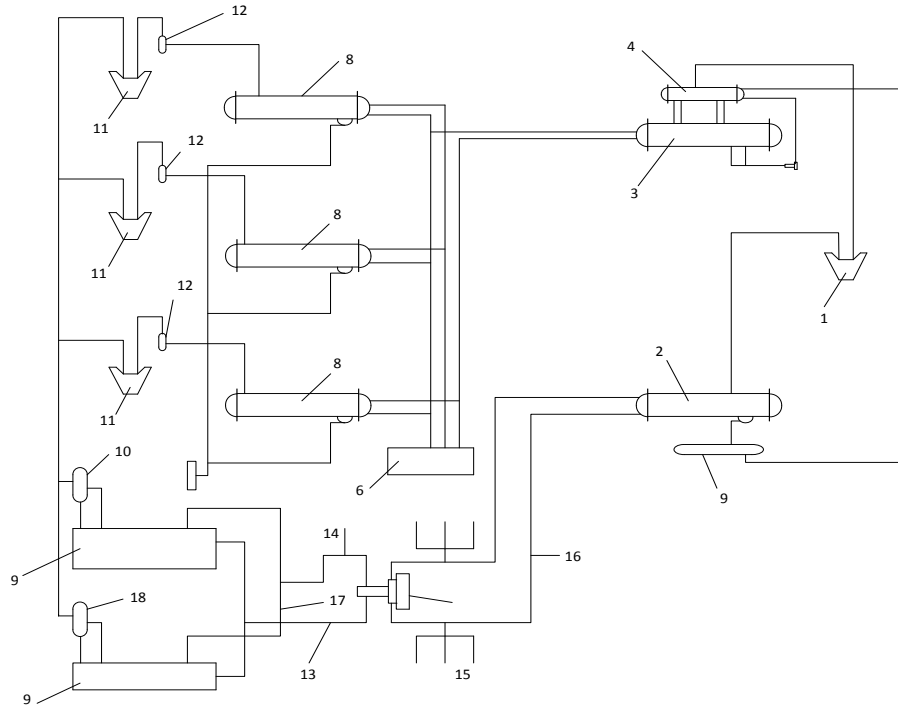
ჩატარებულია განხილული კასკადური ტიპის სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემის თერმოდინამიკური ანალიზი. თეორიული კვლევების შედეგად მიღებული მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების გზით მიღებულია ფრეონის დუდილის წნევის -  $P_0$ , კონდენსაციის ტემპერატურა -  $t_3$  და კონდენსაციის კუთრი სითბოს -  $q_3$  საანგარიშო ემპირიული ფორმულები:

$$P_0 = 3,15 + 0,102 t_0 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot t_0^2 + 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot t_0^3, \text{ კგ/სმ}^2, \quad (1)$$

$$t_3 = -33,742 + 27,456 \cdot \ln P_3 + 1,106 \cdot P_3, \quad \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (2)$$

$$q_3 = 158,46054 - 0,7668 \cdot t_3, \quad \text{კჯ/კგ}, \quad (3)$$

სადაც,  $t_0$  - ფრეონის დუდილის ტემპერატურაა,  $P_3$  - ფრეონის კონდენსაციის წნევაა.



ნახ. 1 . კასკადური ტიპის თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემის პრინციპული სქემა.

თეორიული დასაბუთების შედეგად ფართო დანერგვა სადაც საჭიროა ერთდროულად სითბოს და სიცივის მომარაგება გათვალისწინებულია შემდეგი მიმართულებით:

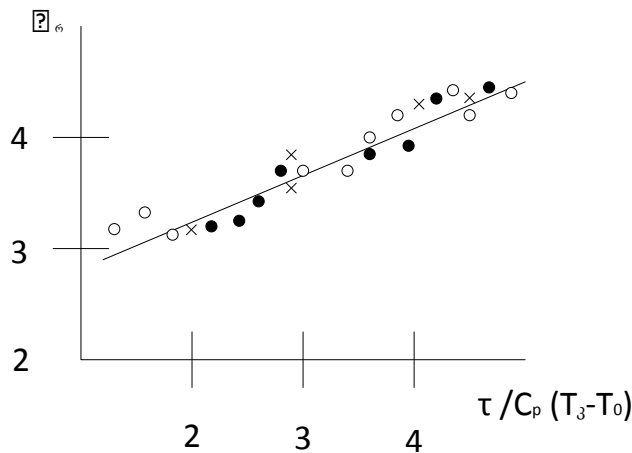
- აგრარულ-სამრეწველო ტექნოლოგიურ პროცესებში (მათ შორის) პირველ რიგში რძის და ხორცკომბინატებში, საკონსერვო ქარხნებში, მეფრივნელობის ფაბრიკებში) სასათბურე მეურნეობებში, ხილბოსტნეულის გადამამუშავებელ საწარმოებში, ჩაის ფაბრიკებში და სხვ.)
- საზოგადოებრივი დანიშნულებისა და კულტურულ-გასართობ შენობა-ნაგებობებში (მათ შორის პირველ რიგში საკურორტო-გამაჯანსაღებელ კომპლექსებში, სადაც აკრძალულია ორგანული სათბობის გამოყენება ზამთრობით გათბობის მიზნით, ხოლო ზაფხულობით აუცილებელია მაცივარ-მანქანების გამოყენება ჰაერის კონდიციონირებისათვის; შავი ზღვისპირა კურორტებში და ა.შ.).

სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემის დასაპროექტებლად საჭიროა ვიცოდეთ მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური ძირითადი მახასიათებლების ( $\varphi_i$ ,  $\lambda$ ,  $\eta_i$ ) დამოკიდებულება მათი დანადგარების მუშაობის რეჟიმზე. ჩვენს მიერ შეფასებულია თბური ტუმბოს დანადგარის ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტის  $\varphi_{\tau}$  გასაანგარიშებელი ფორმულის ფუნქციური დამოკიდებულება  $\tau_3 / c_p(T_3 - T_0)$ , რაც შეიცავს კლაუზიუსის კრიტერიუმს, რომელიც ახასიათებს ფრეონების თვისებებს.

ზემოთქმულიდან დაკავშირებით, მიღებულია ფორმულა სხვადასხვა ფრეონებისათვის;

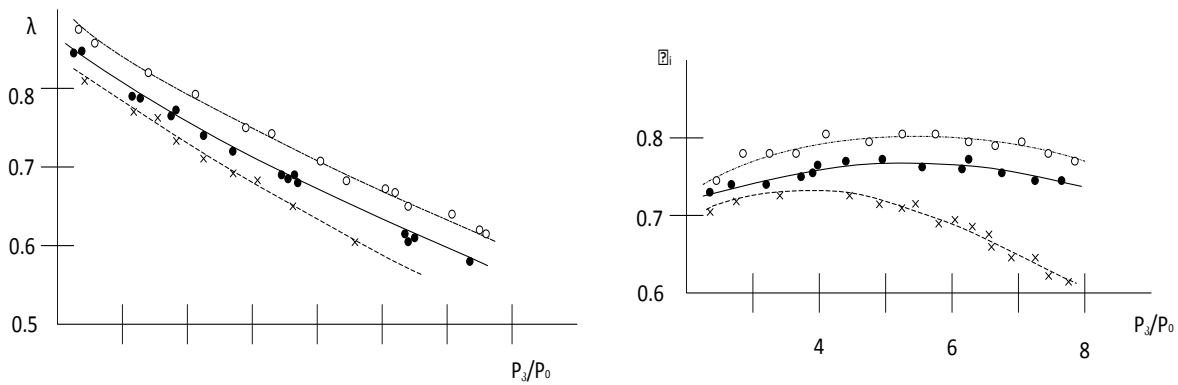
$$\varphi_{\tau} = 2,48 (\tau_3 / c_p(T_3 - T_0))^{0,42} \quad (4)$$

ეს ფორმულა წარმატებულად გამოიყენება „რეკომენდაციები სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი სისტემების დასამუშავებლად“, რომელიც უკვე წარმატებით გამოიყენება საპროექტო ორგანიზაციების მიერ. ნახ.2-ზე მოყვანილია განზოგადებული დამოკიდებულება რეალური ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის სხვადასხვა ფრეონებისათვის.



ნახ. 2 განზოგადებული დამოკიდებულება რეალური სატრანსფორმაციო კოეფიციენტისა  $\varphi_{\tau}$  სხვადასხვა ფრეონებისათვის თბური ტუმბოს მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმისაგან 0 - R12, •ნარევი R12 და R142, X - R142

თეორიული გაანალიზების შედეგად მოცულობითი  $\lambda$  და ენერგეტიკული  $\eta_i$  მახასიათებლები სხვადასხვა ფრეონებისათვის მოყვანილია ნახ.3-ზე.



ნახ.3. თბური ტუმბოს გამზოგადებული მოცულობითი  $\lambda$  (a) და ენერგეტიკული  $\eta$  (b) მახასიათებლები სხვადასხვა ფრეონებისათვის 1 - R12,2- ნარევი R12 და R142, 3 - R142.

**თავი 3. სამრეწველო და საზოგადოებრივი დანიშნულების ობიექტებისათვის თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდიკა**

თბური ტუმბოს დანადგარების ეფექტური გამოყენების სფეროების განსაზღვრისათვის, ეკონომიკის სხვადასხვა დარგებში მათი ფართო დანერგვისა და შემდგომში ოპტიმალური ექსპლუატაციისათვის აუცილებელი გამოცდილების დაგროვების მიზნით, დაპროექტდა, განხორციელდა და ნორმალურ საექსპლუატაციო პირობებში ყოველმხრივ გამოკვლეულ იქნა თბური ტუმბოს დანადგარის ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემა. ექსპერიმენტული შესწავლისათვის გამოყენებული იყო შესაბამისი გამზომ-საკონტროლო აპარატურა და ექსპერიმენტული გამოკვლევების ჩასატარებლად საჭირო მეთოდიკა, რომლის აღწერაც მოყვანილია დისერტაციაში. სამუშაოში აგრეთვე მოყვანილია ცდომილებათა განსაზღვრა გაზომვებისა და ცდისეული მონაცემების პირველადი დამუშავების დროს და განხილულია ექსპერიმენტის სამეცნიერო დადგეგმვის საკითხები.

#### თავი 4. სამრეწველო და საზოგადოებრივი დანიშნულების ობიექტებისათვის თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი კომპლექსური სისტემების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგები

საგარეჯოს რძის გადამამუშავებელ ქარხანაში განხორციელებული თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი კასკადური ტიპის კომპლექსური სითბო-სიცივით მომარაგების სახდელ-სამრეწველო სისტემა მთლიანად უზრუნველყოფს რძის პასტერიზატორის თბომომარაგებას და საწარმოს მოთხოვნას ცხელ წყალმომარაგებაზე.

ტექნოლოგიური მოთხოვნების შესაბამისად, რძე პასტერიზატორში უნდა ცხელდებოდეს  $72 \div 76^{\circ} \text{C}$ -მდე, ხოლო ცხელი წყალმომარაგებისათვის საჭირო წყლის ტემპერატურა ტოლია  $55^{\circ} \text{C}$ .

ექსპერიმენტული კვლევების დროს სისტემის ყველა სარეჟიმო პარამეტრი იცვლებოდა ფართო საზღვრებში, მაგალითად: ცხელი წყალმომარაგებისათვის თბური ტუმბოს კონდენსატორიდან გამოსული წყლის ტემპერატურა ცდების დროს იცვლებოდა  $55^{\circ} \text{C}$ -დან  $85^{\circ} \text{C}$ -მდე; რძის პასტერიზაციისათვის თბური ტუმბოს კონდენსატორიდან გამოსული წყლის ტემპერატურა ცდების დროს იცვლებოდა  $70^{\circ} \text{C}$ -დან  $90^{\circ} \text{C}$ -მდე; ხლადონ R142-ის კონდენსაციის ტემპერატურა ცდების დროს იცვლებოდა  $75^{\circ} \text{C}$ -დან  $95^{\circ} \text{C}$ -მდე; ხლადონ R142-ის დუდილის ტემპერატურა ცდების დროს იცვლებოდა  $10^{\circ} \text{C}$ -დან  $25^{\circ} \text{C}$ -მდე და სხვ.

ჩატარებულმა გამოცდის შედეგებმა საშუალება მოგვცეს ყოველმხრივ შეგვეფასებინა თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი კასკადური ტიპის სითბო-სიცივით მომარაგების სახდელ-სამრეწველო სისტემა და გამოგვევლინებინა მისი ენერგოეკონომიკური ეფექტურობის ხარისხი.

აღნიშნული სისტემა საცდელი ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის მანძილზე მუშაობდა სტაბილურად და წინასწარ დასახული ყველა პარამეტრის

ზუსტი დაცვით. ცდებით დადგენილ იქნა თბური ტუმბოს სითბო და სიცივის მწარმოებლურობა  $Q_c$  და  $Q_h$ , ეფექტური სიმძლავრე  $N_e$ , სითბოს ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტი  $\varphi_{re}$ , კომპრესორის მოცულობითი  $\lambda$ , ენერგეტიკული  $\eta_i$ ,  $\eta_e$  და კონსტრუქციული მახასიათებლები. მიღებული მახასიათებლების მაქსიმალური დასაშვები ცდომილება არ აღემატება  $\pm 7\%$ -ს.

სისტემის გამოცდის შედეგად, მიღებული იქნა თბური ტუმბოს თბომწარმოებლურობის  $Q_c$  დამოკიდებულება კონდენსაციის  $t_c$  პემტერატურაზე R142-ის დუდილის  $t_0$  ტემპერატურების დროს (ნახ. 4.) ამავე ნახაზზე მოყვანილია თბური ტუმბოს ეფექტური სიმძლავრის  $\eta_e$  დამოკიდებულება დანადგარის მუშაობის რეჟიმებზე. გამოცდებით დადგინდა აგრეთვე ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტი  $\varphi_{re}$  თბური ტუმბოს მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებისათვის. ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\varphi_{re} = \frac{Q_c}{N_{36}}, \quad (4)$$

სადაც:  $Q_c$  - თბური ტუმბოს მიერ მომხმარებელზე მიწოდებული თბური ენერჯის რეალური რაოდენობაა (ნეტო), კვტ;

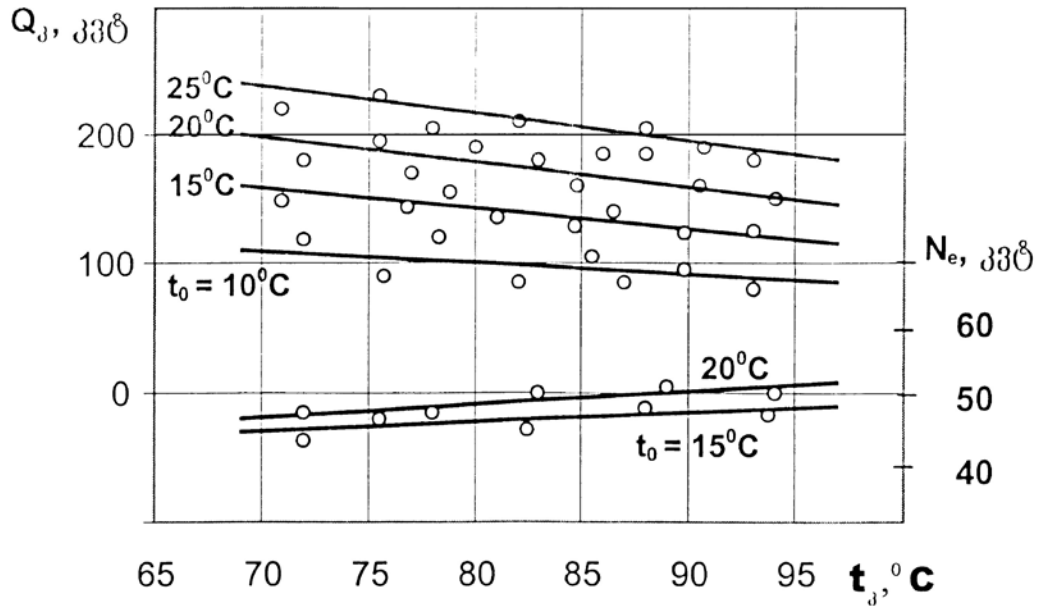
$N_{36}$  - თბური ტუმბოს კომპრესორის ძრავის მიერ დახარჯული ელ.ენერჯიაა, კვტ.

ნახ.5 წარმოდგენილის ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტის  $\varphi_{re}$  დამოკიდებულება ხლადონ R142-ის დუდილისა  $t_0$  და კონდენსაციის  $t_c$  ტემპერატურებზე.

როგორც ციკლების თერმოდინამიკურმა გაანგარიშებებმა გვიჩვენა, მართალია ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი  $\varphi_{re}$  საკმაოდ მაღალია, მაგრამ ის შეიძლება კიდევ უფრო მაღალი ყოფილიყო, რომ არა საკმაოდ დიდი თბური დანაკარგები გარემოში და დიდი მოცულობითი დანაკარგები კომპრესორში. ექსპერიმენტების დროს დადგენილ იქნა, რომ კომპრესორის მკვდარი სივრცის

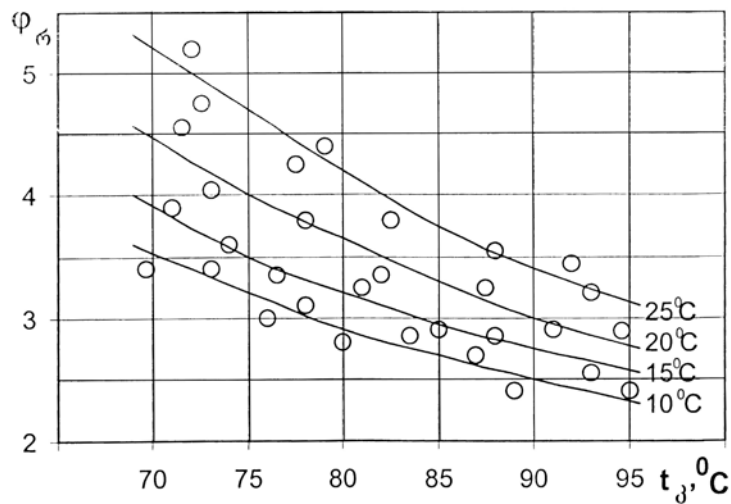


მოცულობამ შეადგინა ცილინდრის მთელი მოცულობის 7% (მაშინ როდესაც, იგი არ უნდა აღმატებოდეს  $5 \div 6\%$ ).



ნახ.4 თბური ტუმბოს XM-ΦΥΥ-80/2-ის თბომწარმოებლობის  $Q_c$  და მოხმარებული ელექტროსიმძლავრის  $N_e$  დამოკიდებულება R142-ის კონდენსაციისა  $t_c$  და დუღილის  $t_0$  ტემპერატურაზე.

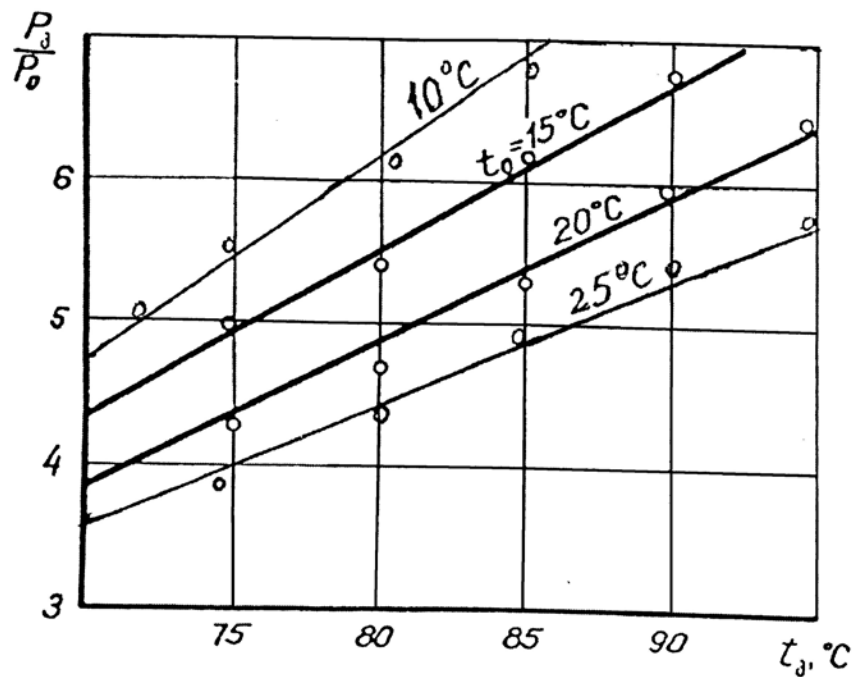
ადვილად აცილებადი დანაკარგების ლიკვიდაცია და შემდგომში უფრო სრულყოფილი კომპრესორების გამოყენება საშუალებას მოგვცემს ექსპერიმენტების დროს მიღებულ შედეგებთან შედარებით  $15 \div 20\%$ -ით გავზარდოთ ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტი.



ნახ. 5. თბური ტუმბოს რეალური ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის  $\phi$  დამოკიდებულება დანადგარის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებზე.

ნახ. 6 მოცემულია R142-ის კონდენსაციის  $P_3$  და  $P_0$  წნევათა თანაფარდობის ( $P_3 / P_0$ ) დამოკიდებულება დანადგარის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებისათვის. როგორც წარმოდგენილი გრაფიკებიდან ჩანს, მუშა რეჟიმებში წნევათა თანაფარდობის, ჩვენს მიერ მიღებული შედეგები ( $P_3 / P_0$ ) არ არღვევენ „სოსტ“-ით დადგენილ ნორმებს ( $P_3 / P_0 \leq 8 \div 10$ ).

ΦΥΥ-80 ტიპის კომპრესორის მოცულობითი და ენერგეტიკული მახასიათებლების ანალიზი ტარდებოდა ვ. ცირლინის მეთოდით, რომელიც ითვალისწინებს სხვადასხვა პროცესების (შეკუმშვა, შეწოვა, დაჭირხვნა, თბოგადაცემა და სხვ.) გავლენის შეფასებას კოეფიციენტების ( $\beta_i$ ) ენერგეტიკულ ეფექტურობაზე, რომელთა ნამრავლი შეადგენს კომპრესორის მ.ე.კ.-ს.

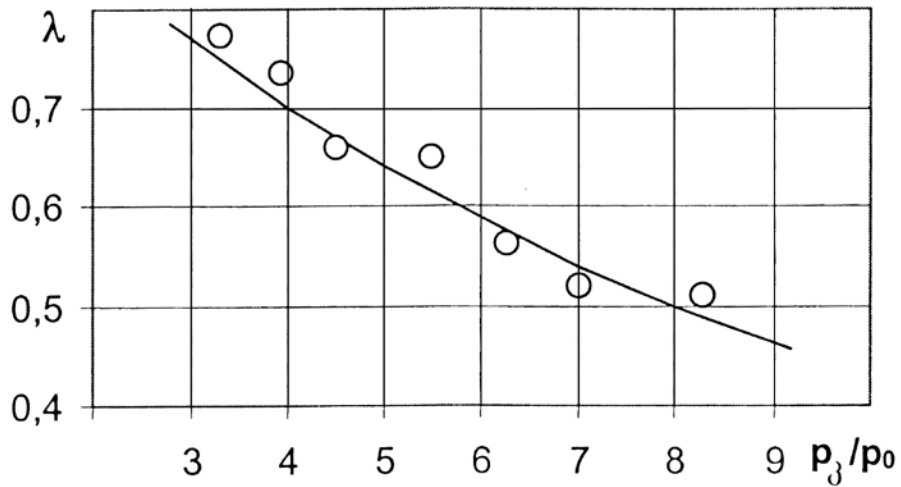


ნახ. 6. წნევათა თანაფარდობის  $P_3 / P_0$  დამოკიდებულება თბური ტუმბოს დანადგარის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმის დროს

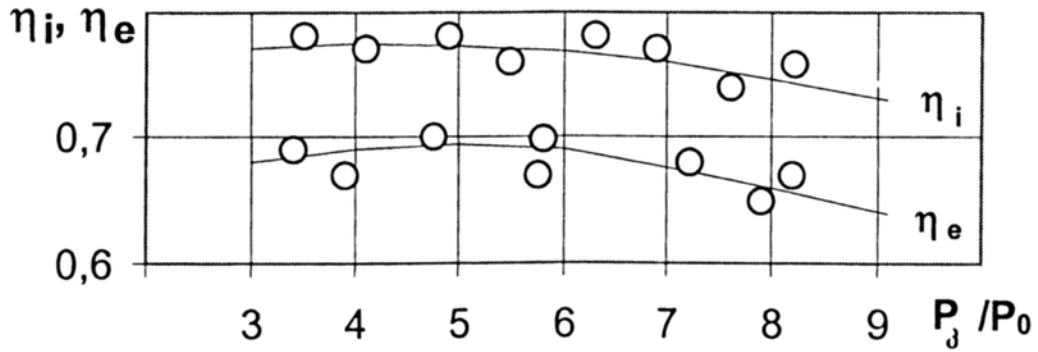
რეგენერაციული თბომცვლელის თბოგადაცემის ზედაპირის არასაკმარისი ფართი, რომელიც ყოველთვის ვერ უზრუნველყოფს კომპრესორის მიერ შეწონილი ხლადონის ორთქლის საკმარის გადამეტხურებას.

შემდგომში, XM-ΦΥΥ-80/2 ტიპის სერიული სამაცივრო მანქანების თბური ტუმბოს რეჟიმში გამოყენებისას, აუცილებელია მას დაემატოს კიდევ ერთი რეგენერაციული შემთბობი (თბომცვლელი) კომპრესორში ხლადონის ორთქლის შეწოვის მაღალი ტემპერატურების უზრუნველსაყოფად.

ნახ.7 და 8.-ზე წარმოდგენილია XM-ΦΥΥ-80/2 ტიპის სამაცივრო მანქანის თბური ტუმბოს რეჟიმში R142-ზე მუშაობის მოცულობითი  $\lambda$  და ენერგეტიკული (ინდიკატორული  $\eta_1$  და ეფექტური  $\eta_e$ ) მ.ქ.კ.-ები.



ნახ.7. კომპრესორის მოცულობითი  $\lambda$  კოეფიციენტის დამოკიდებულება  $P_k / P_0$ -ზე.

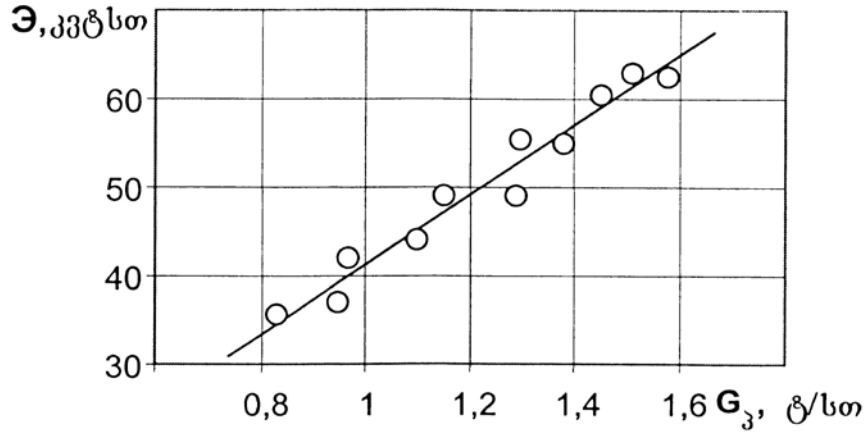


ნახ.8. თბური ტუმბოს ინდიკატორული  $\eta_i$  და ეფექტური  $\eta_e$  მქკ.-ის დამოკიდებულება  $P_3/P_0$ -ზე.

როგორც ნახაზებიდან ჩანს, ინდიკატორულ მ.ქ.კ.-ს  $\eta_i$  აქვს მკვეთრად გამოხატული მაქსიმუმი, როდესაც  $\sigma = P_3 / P_0 = 4 \div 5$ .  $\eta_e$  და  $\eta_i$  შემცირება ნაკლები  $\sigma$ -ს შემთხვევაში დაკავშირებულია დანაკარგების ზრდასთან კომპრესორის სარქველებში დიდი სიმკვრივის ხლადონის ორთქლის შეწოვის გამო. როცა  $\sigma > 5$ -ზე, მაშინ  $\eta_e$ -ს და  $\eta_i$ -ს შემცირება გამოწვეულია კომპრესორში ხლადონის ორთქლის გადამეტხურების, შებრუნებული გაფართოებისა და გადადინების გამო. კომპრესორში დანაკარგების შემცირების მიზნით, აუცილებელია შემცირდეს სარქველების ჰიდრაულიკური წინაღობა ხლადონის ორთქლის შეწოვისას. კომპრესორში შემწოვი სარქველების შემთხვევაში სტულყოფა აუცილებელი პირობაა თბური ტუმბოს დანადგარებში დანაკარგების შესამცირებლად.

ნახ.9-ზე ნაჩვენებია ელ.ენერგიის ხარჯის დამოკიდებულება პასტერიზატორის წარმადობაზე.

ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ სათბობის ხარჯი 1 ტონა რძის პასტერიზაციაზე შეადგენს 14 ÷ 15 კვ. პ.ს..



ნახ. 9. ელ.ენერგიის ხარჯის დამოკიდებულება პასტერიზაციის წარმადობაზე

ჩატარებული თეორიული კვლევის შედეგების, განზოგადებული ანალიზის საფუძველზე მიღებულია თბური ტუმბოს დანადგარების თბომწარმოებლურობის-  $Q_{თ}$ , ელექტური სიმძლავრის -  $N_e$  და ტრანსფორმაციის -  $\varphi$  უგანზომილებო მნიშვნელობების საანგარიშო განტოლებები, რომლებიც შესაძლებელია საკმარისი სიზუსტით (6 ÷ 9%) იქნეს გამოყენებული თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების გაანგარიშებისას (ნახ.10) კონკრეტული ობიექტების პროექტირებისას.

$$Q_{თ} = 1 - 0,041 P_{დაჰ.} / P_{შეწ.} \quad (5);$$

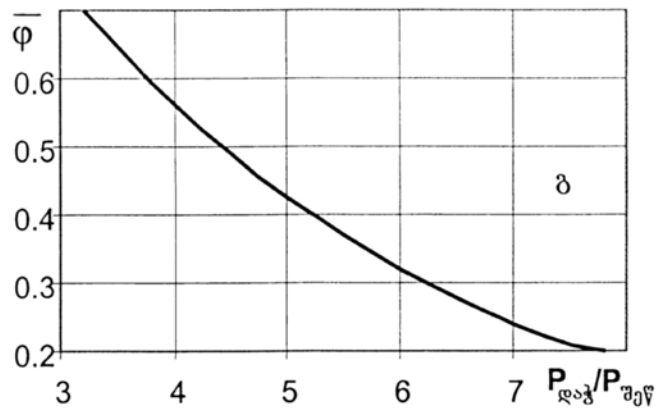
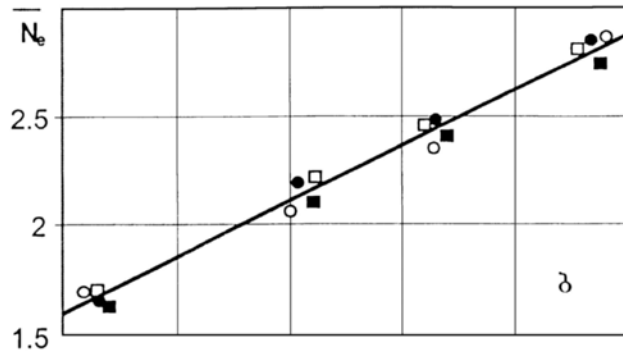
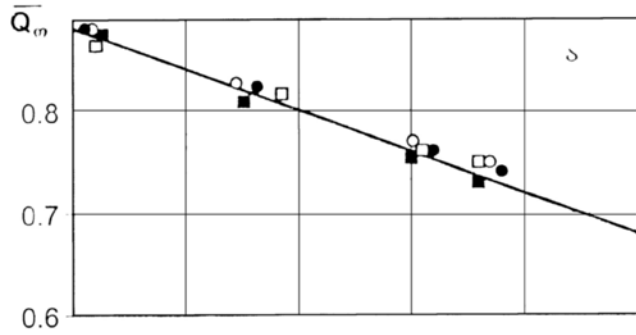
$$N_e = 0,33 P_{დაჰ.} / P_{შეწ.} + 0,34 \quad (6);$$

$$\varphi = 1,72 (P_{დაჰ.} / P_{შეწ.} - 0,73)^{-1} \quad (7)$$

მოყვანილი ფორმულების გამოყენებით, კომპიუტერზე ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოებისათვის შეგვიძლია ვიანგარიშოთ ფარდობითი თბომწარმოებლურობა  $Q_{თ} / V_{წ}$  და ელექტროენერგიის ხარჯი  $N_e / Q_{თ}$   $P_{დაჰ.} / P_{შეწ.}$ -ზე დამოკიდებულების მიხედვით.

წარმოდგენილი მახასიათებლები გამოსაყენებელია თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების შესაქმნელად საჭირო რეკომენდაციების შედგენისას საპროექტო ორგანიზაციების მიერ.

ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების აღჭურვა თბური ტუმბოს დანადგარებით, წარმოადგენს დაბალტემპერატურული (100 °C-მდე) მომხმარებლების თბური ენერჯით უზრუნველყოფის ეფექტურ მეთოდს. ასეთ დაბალტემპერატურულ მომხმარებლებს წარმოადგენენ მაგალითად, ჰაერის ტექნოლოგიური და ტექნოლოგიურ-კომფორტული კონდინცირების სისტემები. აღნიშნულ სისტემებში თბური ტუმბოების გამოყენება უზრუნველყოფს ორგანული სათბობის 50-70%-ით ეკონომიას და მთლიანად გამორიცხავს გარემოს გაჭუჭყიანებას სათბობის წვის პროდუქტებით; ამასთან, ერთი და იგივე დანადგარის მეშვეობით, სრულად უზრუნველყოფს ტექნოლოგიურ პროცესებს სითბოთი და სიცივით და სხვ.



ნახ.10. უგანზომილებო თბომწარმოებლურობის  $Q_m$  (ა), უგანზომილებო ეფექტური სიმძლავრისა  $N_e$  (ბ) და უგანზომილებო ტრანსფორმაციის  $\varphi$  (გ) დამოკიდებულება ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოს დაჭირხნისა  $P_{დაკ}$  და შეწოვის  $P_{შეწ}$  წნევების ფარდობაზე  $P_{დაკ} / P_{შეწ}$ . 0 – R 142; ● R12; □ - R12 და R 142 B-ს ნარევი; ■ - R22 და R 12 B-ს ნარევი.

თერმოდინამიკური პროცესების დიფერენცირებული შეფასებით, ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდების საფუძველზე, თბური ტუმბოს

ორთქლკომპრესორული აგრეგატისათვის მიღებულია ხარისხობრივად ახალი შედეგები, განზოგადებული მოცულობითი და ენერგეტიკული მახასიათებლების სახით.

თბური ტუმბოს ბაზაზე სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების გაამგარიშებისას, დანადგარის თბომწარმოებლობის -  $Q_{\theta}$ , სიცივის მწარმოებლობის-  $Q_{\sigma}$ , ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი --  $\varphi$ , მისი მოცულობითი -  $\lambda$  და ენერგეტიკული მახასიათებლების -  $\eta$ , აგრეთვე თბური ტუმბოს მუშაობის სხვა რეჟიმული პარამეტრების თეორიული გაანგარიშებებისათვის რეკომენდებულია 2 ÷ 4 თავებში მოცემული მეთოდნიკები და შესაბამისი ფორმულები.

წარმოდგენილი მეთოდნიკები სრულად პასუხობენ „სნ“ და „წ“-ის მოთხოვნებს გათბობის, ვენტილაციის, ჰაერის კონდიციონირებისა და ცხელი წყალმომარაგების სისტემების პროექტირებისათვის და რეკომენდებულია თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების პროექტირებისას და მშენებლობისას.

თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბოსიცივით მომარაგების სისტემების პრონციპული სქემის შერჩევისას პროექტში გათვალისწინებული უნდა იყოს რეგიონის კლიმატური მონაცემები, მისის სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის სტრუქტურა, სითბოს ბუნებრივი და დაბალპოტენციური წყაროების ენერგეტიკული დონე, აგღეთვე უნდა განხორციელდეს სითბოსა და სიცივის მოხმარებისა და მომარაგების კომპლექსური სისტემების პარამეტრების ოპტიმიზაცია.

თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი ჰაერის კონდიციონირების კომპლექსური სისტემების თბომწარმოებლობის შერჩევა, როდესაც წინასწარ განსაზღვრულია მუშა ზონაში მისაწოდებელი ჰაერის პარამეტრები, სასურველია განხორციელდეს ჩვენს მიერ დამუშავებული ეკონომიკურ-მათემატიკური მოდელის საფუძველზე, სადაც გათვალისწინებულია



დანადგარის მუშაობის ხამგრძლივობა, მისი კონსტრუქცია, რეგიონის კლიმატური პირობები და სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემის ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები.

თბური ტუმბოს სისტემების დაპროექტებისას და მშენებლობისას მნიშვნელოვანი ყურადღება უნდა მიექცეს მუშა სხეულის ანუ მაცივებელი აგენტის შერჩევას..

ჩატარებული კვლევების შედეგად, თბური ტუმბოს სისტემების მუშაობისათვის შეიძლება გაიცეს შემდეგი სახის რეკომენდაციები:

- ცხელი წყლის მისაღებად ჩვეულებრივი რადიატორული ან პანელური ტიპის გათბობის სისტემებში, აგრეთვე სხვა დაბალტემპერატურული (100 °C-მდე) პროცესების თბური ენერგიით უზრუნველსაყოფად, დღუშინი და ხრახნული ტიპის კომპრესორების გამოყენების შემთხვევაში მიზანშეწონილია R142-ის და R12B1-ის გამოყენება;
- ჰაერის კომფორტული კონდიციონირების სისტემების შექმნისას, რომლებიც მუშაობენ მთელი წლის განმავლობაში, უფრო ეფექტურია R134 a- ის ან R22-ის ან R134 a-ისა და R22-ის არააზეოტროპული ნარევის გამოყენება;
- ისეთი პროცესების სითბოთი (75 °C-მდე) და სიცივით (- 5 ÷ + 5°C-მდე) მომარაგების სისტემების შექმნისას, სადაც აუცილებელია სითბოსა და სიცივის ერთდროულად გამომუშავება და მოხმარება, მიზანშეწონილია R134 a- ის და R142-ის, ან R142- ისა და R22-ის არააზეოტროპული ნარევის გამოყენება (ცხრილი 1)

ტემპერატურა, °C	თბური ტუმბო სხვადასხვა ტიპის კომპრესორების ბაზაზე					
	დღუშინი		ხრახნული		ცენტრიდანული	
	ხლადონი	ციკლი	ხლადონი	ციკლი	ხლადონი	ციკლი
40 ... 65	R22	1	R22	1	R134 a	1; 4
-5 ... + 75	R22/ R142	3	-	-		1
90	R142	1	R142	1	R142	1
110	R142, R21	1; 4	R142, R21	1; 4	R142, R113	1; 4
10 ... 60	R22/R142	3	R134 a, R22	1	R134 a	4

-5 ... + 75	R134 a/R142	3	R22/R142	3	R134 a	4
90	R134 a, R142	4; 1	R134 a, R142	4; 1	R142	1; 4
5 ... 60	R134 a, R22	1; 4	R134 a/R22	1; 4	R134 a, R22	1; 4
-10 ... + 75	R134 a/R142	3	R134a/R142, R21	3; 4	R142, R21	1; 4

1 - ციკლი რეგენერაციული თბომცვლელით; 2 - ორსაფეხურიანი ციკლი; 3 - ციკლი არააზოტროპიული ნარევისათვის, 4 - კასკადური ციკლი.

### ძირითადი დასკვნები

1. გაანალიზებულია მსოფლიოში ენერჯის არატრადიციული, განახლებადი წყაროების გამოყენების პერსპექტივები და თბური ტუმბოს დანადგარების როლი სითბო-ენერგეტიკული რესურსების დაზოგვის საქმეში. შესწავლილია საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის არსებული მდგომარეობა, ნაჩვენებია მისი განვითარების პერსპექტივები და გავლენა თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივითნ მომარაგების კომპლექსური სისტემების მუშაობის ეფექტურობაზე. დადგენილია, რომ თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებით კომპლექსური სითბო-სიცივითნ მომარაგება უნდა განვიხილოთ, როგორც დაბალტემპერატურული მომხმარებლებისათვის ( $\cong 100^{\circ}\text{C}$ ) სითბური ენერჯით უზრუნველყოფის ეფექტური ღონისძიება მრეწველობაში, სოფლის მეურნეობაში და კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო სექტორში.
2. დამუშავებული თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენების პირობების სისტემური ანალიზის საფუძვლები. დადგენილია, რომ ეკონომიკური თვალსაზრისით, თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენება ყველაზე უფრო ეფექტურია იმ კლიმატურ რაიონებში და ისეთი ტექნოლოგიური პროცესების განსახორციელებლად, სადაც მომხმარებლის მოთხოვნა

სითბოზე და სიცივეზე დაახლოებით თანაბარია, არსებობს იაფფასიანი დაბალპოტენციური სითბოს წყარო, მცირეა ადგილობრივი სათბობი რესურსები, პერსპექტივაში მოსალოდნელია აღნიშნული რეგიონის სოციალურ-ეკონომიკური განვითარება და მკაცრია მოთხოვნები გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის შენარჩუნებისა და გაუმჯობესების მიზნით.

3. შემოთავაზებულია და დამუშავებულია სამრეწველო ობიექტებისათვის, კერძოდ კი რძის გადამამუშავებელი ქარხნებისათვის სითბო-სიცივით მომარაგების ახალი კასკადური ტიპის სქემა თბური ტუმბოს დანადაგარების გამოყენებით. თეორიული ანალიზის შედეგად დანერგილია და ექსპერიმენტულად ყოველმხრივ შესაწავლილია აღნიშნული ტიპის თბური ტუმბოს საცდელ-სამრეწველო კომპლექსური სისტემა. მიღებულია მისი ტექნოლოგიური, საექსპლუატაციო და ენერგოეკონომიკური მახასიათებლები, რომლებიც აუცილებელია კონკრეტული სამრეწველო ობიექტების პროექტირებისათვის. ექსპერიმენტული კვლევებით დადგინდა, რომ თბური ტუმბოს ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი იცვლება 2,5-დან 5,0-მდე. შემოთავაზებული სისტემის დანერგვის შედეგად, საწარმოში ორგანული სათბობის ხარჯი მცირდება 45%-ით, ხოლო წლიური საექსპლუატაციო დანახარჯები - 55%-ით.
4. სითბო-სიცივით მომარაგების უფრო რაციონალური და ეფექტური სისტემების შექმნის მიზნით, დამუშავებულია და განხორციელებულია ხარხნული ტიპის კომპრესორიანი თბური ტუმბოს საცდელ-სამრეწველო დანადგარი. R142-ის გამოყენებით, აღნიშნული დანადგარის საცდელ-სამრეწველო ექსპლუატაციამ დამტკიცა მისი თბური ტუმბოს რეჟიმში გამოყენების შესაძლებლობა და ტექნიკურ-ეკონომიკური მიზანშეწონილობა. კერძოდ: ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტის

სიდიდემ შეადგინა  $\varphi_6 = 3,2 \div 3,8$ . დგუშიანი და ხრახნული ტიპის კომპრესორების განზოგადებული ენერგეტიკული მახასიათებლის -  $\eta_e$ -ს შედარების შედეგად ნაჩვენებია, რომ ხრახნული ტიპის კომპრესორის  $\eta_e$  10÷15%-ით აღემატება დგუშიანი კომპრესორის შესაბამის მახასიათებელს.

5. მოყვანილია თეორიული სამეცნიერო-ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგების განზოგადებული მახასიათებლები თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი ტექნოლოგიური და კომფორტული დანიშნულების სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების გაანგარიშებისა და პროექტირებისათვის. შემოთავაზებულია თბომწარმოებლურობის -  $\overline{Q_m}$ , ეფექტურობის სიმძლავრის -  $\overline{N_e}$  და ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის -  $\overline{\varphi}$  უგანზომილებო სიდიდეები, რომლებიც შეიძლება საკმაო სიზუსტით - 6 ÷ 9% იქნას გამოყენებული თბური ტუმბოს დანადგარებით აღჭურვილი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების პროექტირებისას და პრაქტიკული განხორციელებისას.
6. დამუშავებულია რეკომენდაციები თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების ენერგეტიკული მახასიათებლებისა და საექსპლუატაციო პარამეტრების გაზრდის მიზნით. სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების მაგალითზე განხილულია დამუშავებული რეკომენდაციების პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობები.
7. დამუშავებულია გათბობისა და ჰაერის კონდიცირების სისტემებში თბური ტუმბოს დანადგარების მუშაობის იმიტაციური მოდელები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია განვსაზღვროთ დასახლებული პუნქტების, ცალკეული ობიექტებისა და საწარმო-ტექნოლოგიური პროცესების სითბო-სიცივით მომარაგების ოპტიმალური სქემები. განხორციელებული კვლევის შედეგები წარმოადგენენ აუცილებელ სამეცნიერო საფუძველს

დეცენტრალიზებული მომხმარებლებისათვის თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების რაციონალური სისტემების დამუშავება, საშუალებას იძლევა დასაბუთებულ იქნას კომუნალურ და საყოფაცხოვრებო სექტორში ენერჯის მოხმარების მსაშტაბებისა და მისი სტრუქტურის განვითარების პერსპექტივა, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების მნიშვნელოვანი ეკონომიისას და ეკოლოგიური სიტუაციის საგრძნობი გაუმჯობესებისათვის;

8. დადგენილია, რომ თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი გათბობის რადიატორული სისტემების გამოყენებისას სხვადასხვა ტიპის დაბალპოტენციური სითბოს წყაროების მიხედვით, სათბობის ეკონომია გათბობის ტრადიციულ ვარიანტთან შედარებით შეადგენს: მდინარე - ზღვა ტიპის დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ( $4 \div 8^{\circ}\text{C}$ ) გამოყენების შემთხვევაში -  $10 \div 15\%$ -ს; აერაციის სადგურის ( $16 \div 20^{\circ}\text{C}$ ) გამოყენების შემთხვევაში -  $13 \div 30\%$ -ს. იგივე წყაროს (აერაციის სადგური) გამოყენების შემთხვევაში, მაგრამ უკვე გათბობის პანელური სისტემებისათვის სათბობის ეკონომიამ მასზე ფასების მიხედვით შეიძლება შეადგინოს  $55 \div 65\%$ . გათბობის მიზნებისათვის თბური ტუმბოების მაქსიმალურად ეფექტური გამოყენების მიზნით რეკომენდაციას ვუწევთ მათ დანერგვას ახალ მშენებლობაში გათბობის პანელურ სისტემებთან ერთად.

9. ჩატარებულია თბური ტუმბოს დანადგარების ბაზაზე მოქმედი სხვადასხვა ტიპის გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემების ენერგოეკონომიკური ანალიზი. რის შედეგადაც, კლიმატური რაიონების მიხედვით, სხვადასხვა სახის დაბალპოტენციური სითბოს წყაროებისა და სათბობის სხვადასხვა ღირებულების შემთხვევაში დადგენილია თბური ტუმბოების გამოყენების ეფექტურობის ზონები.

მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები განზოგადებულია სხვადასხვა კლიმატური პირობების მქონე რეგიონებისათვის, რაც აუცილებელია კონკრეტული პროექტების დამუშავებისათვის;

10. ამგვარად, დამუშავებულია თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებით სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოვი კომპლექსური ეკოლოგიურად სუფთა სისტემების განვითარების სტრატეგიული პრინციპები, რომლებიც წარმოადგენენ აუცილებელ ბაზისს ინვესტირებისათვის საქართველოში აღნიშნული სისტემების ფართოდ განხორციელების მიზნით, რაც მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს ჩვენი ქვეყნის სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის ოპტიმალურ განვითარებას, მოხმარებული სათბობის ეკონომიას 25-27%-ით და ეკოსისტემის საგმნობ გაუმჯობესებას. ეს კი ნიშნავს ეკონომიკურ აღმავლობას.

#### **დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში:**

1. კოტორაშვილი ე., ვეზირიშვილი ო. ენერგოდამზოვი თბოსიცივით მომარაგების სისტემების ენერგოეკოლოგიური ეფექტურობის გამოკვლევა. ენერჯია #1 (61), თბილისი, 2012. საქართველო.გვ. 55-59.
2. არაბიძე გ., კოტორაშვილი ე., ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ. ენერჯიის განახლებადი რესურსების გამოყენება საქართველოს მდგრადი განვითარებისთვის. ინტელექტი, #21, თბილისი 2012, საქართველო. გვ. 171-181.
3. კოტორაშვილი ე., ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ. ენერგოეკოლოგიური ეფექტური ტექნოლოგიების გამოყენება საქართველოს ენერგეტიკის მდგრადი განვითარებისათვის. ბიზნეს ინჟინერინგი #1. თბილისი, 2012, საქართველო. გვ.98-102.
4. არაბიძე გ., კოტორაშვილი ე., ვეზირიშვილი ო., ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ. განახლებადი ენერჯიის რესურსების გამოყენების ეფექტურობა

საქართველოში. მე-2 საერთაშორისო სამეც-ნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. 2013 წლის 25–26 მაისი, ქ.ქუთაისი, საქართველო. გვ.73-76.

5. არაბიძე გ., კოტორაშვილი ე., ვეზირიშვილი ო., ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ. ენერგოეფექტური მართვის მეთოდოლოგიური საფუძვლები. მე-2 საერთაშორისო სამეც-ნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. 2013 წლის 25–26 მაისი, ქ.ქუთაისი, საქართველო. გვ.91-94.
6. კოტორაშვილი ე., ვეზირიშვილი ო., ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ. სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი კომპლექსური სისტემების გამოყენების თანამედროვე მდგომარეობა და პერსპექტივები საქართველოში. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2014, საქართველო. გვ.46-51

## Resume

Pollution of hydrosphere and lithosphere resulted from the rapid development of the industry and the technology created very important environmental problems by the beginning of the XXI century. The solution to this problem is critical for maintaining and improving the quality of the environment, ensuring the health of humans and the social development, controlling the natural resources, protecting, regulating and rationally using them. Protection from the pollution mainly implies the protection of those parts of the atmosphere, hydrosphere and lithosphere that make up the biosphere.

Rational use of the energy resources and the protection of the ecosystems is one of the most urgent problems of today. Correct and full scale solution of this problem is possible through usage of the new technologies for the energy supply of households, industries and agriculture. Due to the shortage of the traditional fossil fuels, efficient use of energy resources should become the cornerstone of the Georgian economy. It is essential to consider energy resource conservation issues on the scale of the entire country holistically. This should first of all imply improvement of the energy balance structure, waste utilization, usage of the new, energy efficient and energy conserving technologies and the resolution of ecological problems.

Based on the above, search for the ways of efficient development of Georgia's energy sector and reliability of energy supply, including research of renewable energy use efficiency, is a very pressing issue that will ultimately define the energy security of the country.

This particular work looks at the prospects of the nontraditional and renewable energy use and the role of the thermal pump in the energy resource conservation. The current state of Georgia's energy sector is analyzed, the prospect of its development and the impacts of the heating-cooling combined system operating on the thermal pump are shown. It is established that the combined cooling-heating



supply using thermal pump shall be considered as efficient measure for thermal energy supply for low temperature consumers in industry, agriculture and households. Foundations for systemic analysis of the thermal pump usage conditions are developed. Based on the economic parameters, usage of the thermal pump is highly efficient in those climatic condition and for those technological processes, where demand for heating and cooling is approximately equal, there is a low potential heat source and the domestic energy resources are scarce. A new cascade type scheme with the thermal pump for heating and cooling supply of industries, namely milk processing plants is suggested and further developed. It was established that the thermal pump transformation coefficient varies between 2.5 and 5.0. Following the implementation of the suggested system, the energy usage of the plant is reduced by 45% and the annual maintenance cost by 55%. Suggested thermal production -  $\overline{Q}_m$ , efficiency capacity -  $\overline{N}_e$  and transformation coefficient -  $\overline{\varphi}$  unitless values can be used with quite a high accuracy of 6 ÷ 9% for designing and actual use of the heating-cooling supply system equipped with the thermal pump. Test models of the thermal pump usage in heating and air conditioning systems is developed that enables to determine optimal schemes of heating-cooling supply to the settlements, offices and industries. Economic analysis of the different types of the heating and air conditioning systems operating on the thermal pump is carried out. Based on the above and broken down according to the climatic conditions, efficiency zones of the thermal pump usage are determined for different types of low potential heat source and different prices of the energy resources. Theoretical and experimental results of the research are generalized for the regions of different climatic conditions that is essential for each individual project; Strategic principles of the energy efficient and environmentally friendly thermal pump based heating-cooling system are developed. This represents an essential basis for investing in this technology within Georgia for its widespread adoption, benefiting the optimal development of the country's energy

sector, 25-27% reduction of energy resource use and the improved environment. This ultimately translates into the economic development.