

ელენა კოტორაშვილი

განახლებადი ენერგორესურსების გამოყენების
ეფექტურობა საქართველოში

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
2014

© საავტორო უფლება ელენა კოტორაშვილი 2014წ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით კოტორაშვილი ელენას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: განახლებადი ენერგორესურსების გამოყენების ეფექტურობა საქართველოში და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: პროფ.ო.ვეზირიშვილი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2014 წელი

ავტორი: კოტორაშვილი ელენა

დასახელება: „განახლებადი ენერგორესურსების გამოყენების ეფექტურობა საქართველოში“

ფაკულტეტი : ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 2014 წელი

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

მრეწველობის და ტექნიკის განვითარებით გამოწვეულმა ატმოსფეროს, ჰიდროსფეროს და ლითოსფეროს გაჭუჭყიანებამ, XXI საუკუნის დასაწყისში, კაცობრიობის წინაშე წარმოშვა გარემოს დაცვის უმნიშვნელოვანესი პრობლემა. ამ პრობლემის არსი მიმართულია გარემოს ხარისხობრივი მაჩვენებლების შენარჩუნებისა და გაუმჯობესებისაკენ, ადამიანის ჯამრთელობის და საზოგადოების განვითარების უზრუნველყოფისკენ, ბუნებრივ რესურსებზე კონტროლის, მათი დაცვის, რეგულირებისა და რაციონალური გამოყენების პირობების უზრუნველყოფის მეშვეობით. გაჭუჭყიანებისგან გარემოს დაცვა ძირითადად გულისხმობს ატმოსფეროს, ჰიდროსფეროს და ლითოსფეროს იმ ნაწილის დაცვას, რომელიც შედის ბიოსფეროს შემადგენლობაში.

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. ორგანული სათბობის მკვეთრი დეფიციტის გამო ენერგორესურსების ეფექტური გამოყენების სტრატეგია უნდა იქცეს საქართველოს ეკონომიკის ინტესიფიკაციის საფუძვლად. აუცილებელია მთელი ქვეყნის მასშტაბით ენერგორესურსების ეკონომიის კომპლექსური განხილვა. ეს კი პირველ რიგში უნდა ითვალისწინებდეს სათბობ-ენერგეტიკული ბალანსის სტრუქტურის გაუმჯობესებას, ნარჩენების უტილიზაციას, ახალი ენერგოეფექტური და ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების გამოყენებას და ეკოლოგიური პრობლემების მოგვარებას.

აქედან 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.

ნაშრომში 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-სიცივით მომარაგება უნდა განვიხილოთ, როგორც დაბალტემპერატურული მომხმარებლებისათვის ($\cong 100^{\circ}\text{C}$) სითბური ენერჯით უზრუნველყოფის ეფექტური ღონისძიება

მრეწველობაში, სოფლის მეურნეობაში და კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო სექტორში. 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. შემოთავაზებულია და დამუშავებულია სამრეწველო ობიექტებისათვის, კერძოდ კი რძის გადამამუშავებელი ქარხნებისათვის სითბო-სიცივით მომარაგების ახალი კასკადური ტიპის სქემა თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებით. 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. შემოთავაზებულია თბომწარმოებლურობის - Q_m , ეფექტურობის სიმძლავრის - N_e და ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის - φ უგანზომილებო სიდიდეები, რომლებიც შეიძლება საკმაო სიზუსტით - $6 \div 9\%$ იქნას გამოყენებული თბური ტუმბოს დანადგარებით აღჭურვილი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების პროექტირებისას და პრაქტიკული განხორციელებისას. დამუშავებულია გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში თბური ტუმბოს დანადგარების მუშაობის იმიტაციური მოდელები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია განვსაზღვროთ დასახლებული პუნქტების, ცალკეული ობიექტებისა და საწარმო-ტექნოლოგიური პროცესების სითბო-სიცივით მომარაგების ოპტიმალური სქემები. 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; დამუშავებულია თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებით სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი კომპლექსური ეკოლოგიურად სუფთა სისტემების განვითარების სტრატეგიული პრინციპები, რომლებიც წარმოადგენენ აუცილებელ ბაზის 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 საგრძნობ გაუმჯობესებას. ეს კი ნიშნავს ეკონომიკურ აღმავლობას.

Abstract

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 impact 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 - $\bar{\varphi}$ 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 develop

შინაარსი	
შესავალი	XIII
თავი 1 -----	20
1.1. მსოფლიოში ენერჯის არატრადიციული განახლებადი წყაროების გამოყენების პერსპექტივები და თბური ტუმბოს დანადგარების როლი სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების დაზოგვის საქმეში -----	20
1.2. საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის არსებული მდგომარეობის ანალიზი, განვითარების პერსპექტივები და მისი გავლენა თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების მუშაობის ეფექტურობაზე -----	31
1.3. გარემოს ბუნებრივ-კლიმატური პირობების, შენობის თბური რეჟიმისა და ქვეყნის სათბობ-ენერგეტიკული ბალანსის გავლენა თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების მუშაობის ეფექტურობაზე-----	46
თავი 2 -----	58
2.1. სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი კომპლექსური სისტემების გამოყენების თეორიული გამოკვლევა-----	58
თავი 3 -----	81
3.1. ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარების მეთოდიკა და გამზომი ხელსაწყოების შერჩევა-----	81
3.2 ცდომილებათა განსაზღვრა გაზომვებისა და ცდისეული მონაცემების პირველადი დამუშავების დროს-----	92
3.3. ექსპერიმენტის სამეცნიერო დაგეგმვა-----	96
თავი 4 -----	101
4.1. კასკადური ტიპის თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების საცდელ-სამრეწველო სისტემების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები-----	101
4.2. კასკადური ტიპის თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის გამოკვლევა-----	109

4.3. ხრახნული ტიპის კომპრესორიანი სამაცივრო მანქანის თბური ტუმბოს რეჟიმში მუშაობის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები-----	112
4.4. თბური ტუმბოს დანადგარებით აღჭურვილი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების ექსპლუატაციის შედეგების განზოგადება -----	117
4.5. თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების ავტომატიზაციის პრინციპებისა და სქემების დამუშავება, შექმნა და გამოკვლევა-----	120
4.6. თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების წინასაპროექტო რეკომენდაციების დამუშავება---	124
ძირითადი დასკვნები-----	132
გამოყენებული ლიტერატურა-----	137

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1	პირველადი სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების წარმოება მსოფლიოში (2010-2020 წ.წ.), მლ.ტ.პ.ს.(%)
ცხრილი 2	ენერჯის განახლებადი წყაროების მსოფლიო პოტენციალი;
ცხრილი 3	პირველადი ენერგორესურსების მოხმარება, მლნ.ტ.პ.ს.;
ცხრილი 4	ორთქლკომპრესორული ტიპის თბური ტუმბოდანადგარები;
ცხრილი 5	საქართველოში ელექტროენერჯის წარმოება-მოხმარების მაჩვენებლები (მლნ.კვტ.სთ.)
ცხრილი 6	ელექტროენერჯის საპროგნოზო ბალანსი 2014-2030 წწ (მლნ.კვტ.სთ)
ცხრილი 7	საქართველოს სამრეწველო დნიშნულების ნახშირის საბალანსო მარაგები 2012 წლის მდგომარეობით, მლნ.ტ.
ცხრილი 8	თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების ძირითადი ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები
ცხრილი 9	გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემების საანგარიშო მახასიათებლები კლიმატური ზონების მიხედვით
ცხრილი 10	სითბო და სიცივით მომარაგების სისტემების საანგარიშო პარამეტრები კლიმატური ზონების მიხედვით
ცხრილი 11	ზღვის წყლის ტემპერატურები - შავი და კასპიის ზღვების სანაპირო (0,5 მ. სიღრმეზე), °C
ცხრილი 12	მდინარეებისა და წყალსაცავების წყლის ტემპერატურა
ცხრილი 13	საბრუნე წყალმომარაგების ტიპური მაცივებლების მუშაობის რეჟიმები
ცხრილი 14	ექსპერიმენტის დროს გასაზომი ძირითადი სიდიდეები
ცხრილი 15	ზღვრული აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილებები ამონაკრების თითოეული მოცულობისათვის
ცხრილი 16	$1/l_K$ -ის, $1/l_K^2$ -ის და N/l_K -ის წინასწარი მნიშვნელობები სხვადასხვა N -თვის
ცხრილი 17	სითბო-სიცივით მომარაგების ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარების შედეგები.
ცხრილი 18	რეკომენდაციები თბური ტუმბოს დანადგარებში ხლადონების გამოყენებისათვის

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1	კასკადური ტიპის თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემის პრინციპული სქემა
ნახაზი 2	განზოგადებული დამოკიდებულება რეალური სატრანსფორმაციო კოეფიციენტისა φ_{∞} სხვადასხვა ფრეონებისათვის თბური ტუმბოს მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმისაგან 0 - R12, •ნარევი R12 და R142, X - R142
ნახაზი 3	თბური ტუმბოს განზოგადებული მოცულობითი λ (ა) და ენერგეტიკული η_i (ბ) მახასიათებლები სხვადასხვა ფრეონებისათვის 1 - R12, 2- ნარევი R12 და R142, 3 - R142
ნახაზი 4	ხრახნული ტიპის კომპრესორის მუშა ციკლის ინდიკატორული დიაგრამა W-P კოორდინატებში (შტრიხებით ნაჩვენებია რეალური ციკლის დიაგრამა)
ნახაზი 5	თბური ტუმბოს კომპრესორის მოცულობითი კოეფიციენტის λ დამოკიდებულება P_3 / P_0 -ზე; 1 - ხრახნული ტიპის, 2 - დგუშიანი
ნახაზი 6	თბური ტუმბოს კომპრესორის ეფექტური მ.ქ.კ.-ის დამოკიდებულება P_3 / P_0 -ზე; 1- ხრახნული ტიპის, 2 - დგუშიანი
ნახაზი 7	უგანზომილებო თბომწარმოებლობის Q_{∞} (ა), უგანზომილებო ეფექტური სიმძლავრისა N_e (ბ) და უგანზომილებო ტრანსფორმაციის φ (გ) დამოკიდებულება ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოს დაჭირხნისა $P_{დაჭ.}$ და შეწოვის $P_{შეწ.}$ წნევების ფარდობაზე $P_{დაჭ.} / P_{შეწ.}$ 0 – R 142; • R12; ◻ - R12 და R 142 B-ს ნარევი; ◼ - R22 და R 12 B-ს ნარევი.
ნახაზი 8	მოდელირების პროცესი
ნახაზი 9	თბური ტუმბოს XM-ΦYY-80/2-ის თბომწარმოებლობის Q_{∞} და მოხმარებული ელექტროსიმძლავრის N_e დამოკიდებულება R142-ის კონდენსაციისა t_c და დუდილის t_0 ტემპერატურაზე.
ნახაზი 10	თბური ტუმბოს რეალური ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის φ_{∞} დამოკიდებულება დანადგარის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებზე
ნახაზი 11	წნევათა თანაფარდობის P_3 / P_0 დამოკიდებულება თბური ტუმბოს დანადგარის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმის დროს
ნახაზი 12	წნევათა სხვაობის ($P_3 - P_0$) დამოკიდებულება თბური ტუმბოს დანადგარის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმის დროს
ნახაზი 13	კომპრესორის მოცულობითი λ კოეფიციენტის დამოკიდებულება P_3 / P_0 -ზე.
ნახაზი 14	თბური ტუმბოს ინდიკატორული η_i და ეფექტური η_e მ.ქ.კ.-ის დამოკიდებულება P_3 / P_0 -ზე.
ნახაზი 15	ელ.ენერგიის ხარჯის დამოკიდებულება პასტერიზაციის წარმადობაზე
ნახაზი 16	ელ.ენერგიის ხარჯის დამოკიდებულება ცხელი წყლის ხარჯზე
ნახაზი 17	თბური ტუმბოს თბომწარმოებლობის Q_{∞} და ეფექტური სიმძლავრის N_e დამოკიდებულება კონდენსაციისა t_c და დუდილის

	t_0 ტემპერატურაზე.
ნახაზი 18	თბური ტუმბოს სიცივის მწარმოებლურობის Q_0 და ეფექტური დამოკიდებულება t_3 და t_0 -ზე.
ნახაზი 19	დანადგარის გარდაქმნის რეალური კოეფიციენტი - ϕ_r დამოკიდებულება t_3 და t_0 -ზე
ნახაზი 20	დანადგარის კონდენსაციისა - P_3 და დუღილის - P_0 წნევების სხვაობისა ($P_3 - P_0$) დამოკიდებულებები სხვადასხვა t_3 და t_0 -ზე
ნახაზი 21	დანადგარის კონდენსაციისა - P_3 და დუღილის - P_0 წნევების ფარდობის (P_3 / P_0) დამოკიდებულებები სხვადასხვა t_3 და t_0 -ზე.
ნახაზი 22	თბური ტუმბოს კონდენსატორის წნევის ავტომატური მოწყობილობის ბლოკ-სქემა
ნახაზი 23	ტემპერატურის რეგულატორის ბლოკ-სქემა
ნახაზი 24	თბური ტუმბო (შესაძლებელი) ბაზა: სამაცივრო მანქანა MKT220-2-1, R134 a, გადახურება 15°C. _____ Q_0 , _____ $Q_{\text{თ}}$.
ნახაზი 25	თბური ტუმბო (შესაძლებელი) ბაზა: სამაცივრო მანქანა MKT220-2-1, R134 a, გადახურება 15°C. თბური ტუმბო დამატებითი თბომცვლელით ცხელი წყალმომარაგების სისტემებისათვის $t_3 = 65^\circ\text{C}$. t_3 - საქსელო წყლის ტემპერატურა. _____ Q_0 , _____ $Q_{\text{თ}}$
ნახაზი 26	თბური ტუმბო (შესაძლებელი) ბაზა: სამაცივრო მანქანა MKT220-2-1, R142, გადახურება 15°C. თბური ტუმბო დამატებითი თბომცვლელით _____ Q_0 , _____ $Q_{\text{თ}}$

შესავალი

თემის აქტუალობა. 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.

სამუშაოს მიზანი. ქვეყნის საიმედო ენერგოუზრუნველყოფის მდგრადი, სტაბილური განვითარებისა და აქედან გამომდინარე, ენერგოუსაფრთხოების განმტკიცების მიზნით აუცილებელია, რომ 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 შესაძლებლობებიც.

სამუშაოს ძირითადი ამოცანები. სხვადასხვა ობიექტის სითბო-სიცივით მომარაგების ერთ-ერთ ასეთ ტექნოლოგიურ გადაწყვეტას წარმოადგენს ენერგოდამზოგი დანადგარების ფართოდ გამოყენება ჩვენი ქვეყნის მეურნეობის სხვადასხვა დარგებში, კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო სფეროში. ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, სადისერტაციო ნაშრომი ეძღვნება საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის ოპტიმალურად განვითარების საკითხების კვლევას სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი კომპლექსური სისტემების ფართოდ გამოყენების გათვალისწინებით, რაც უდაოდ შეუწყობს ხელს:

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

ნაშრომის 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 კონდიციონირების სისტემებში ენერგოდამზოგი დანადგარების მუშაობის იმიტაციური მოდელები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება განვსაზღვროთ დასახლებული პუნქტების ცალკეული ობიექტებისა და საწარმო-ტექნოლოგიური პროცესების სითბო-სიცივით მომარაგების ოპტიმალური სქემები.
- ჩატარებულია სხვადასხვა ტიპის გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების 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 შეუწყობა: სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების მუშაობის ეფექტურობისა და საიმედოობის ამაღლებას, ქვეყნის სხვადასხვა დარგების თბურ ენერგიაზე მოთხოვნილების ეფექტურ დაკმაყოფილებას და ეკოსისტემის დაცვას.

კვლევის მეთოდები და მიღებული შედეგების უტყუარობა.

გამოკვლევები ტარდებოდა ინფორმაციის დამუშავების სტატისტიკური, აგრეთვე აპრობირებული თერმოდინამიკური და ენერგოეკონომიკური ანალიზის მეთოდების გამოყენებით. თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების შესასწავლად, ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები განხორციელებულია სამრეწველო დანიშნულების დანადგარებზე და ამდენად, სამრეწველო ხასიათისაა. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები განზოგადებულია იმიტაციური მოდელირების მეთოდის გამოყენებით. დასკვნებისა და რეკომენდაციების უტყუარობა

დასტურდება თბური ტუმბოებით აჭურვილი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების სამრეწველო გამოცდების შედეგებით, აგრეთვე მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების შედარებით სხვა ავტორების მონაცემებთან [19, 21, 93, 94].

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება და შედეგების დანერგვის სფერო. 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 მეთოდები, 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 [21, 22, 73, 77].

შემუშავებული ეკონომიკურ-მათემატიკური მოდელები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას: ქვეყნის სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის განვითარების პერსპექტივების განსაზღვრისას; თბური ენერჯის მოხმარების მასშტაბების პროგნოზირებისას და სხვ. [84, 85].

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.

ნაშრომში მიღებული შედეგები გამოყენებული იქნება საქართველოს ენერგეტიკის სამინისტროს მიერ ქვეყნის ენერგეტიკის განვითარების კონცეფციის შემუშავებისას. სამუშაოს თეორიული ნაწილი კი სხვადასხვა

ობიექტების პროექტირებისას და სასწავლო კურსებში „ენერჯის განახლებადი წყაროები“, „ენერგომენეჯმენტი თბოენერგეტიკაში“ და სხვ.

კვლევის შედეგების აპრობაცია და პუბლიკაცია. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენებული იყო მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე „ენერგეტიკა, რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, ქუთაისი 2013 წელი და გამოქვეყნებულია ოთხ აკრედიტებულ სამეცნიერო ჟურნალში.

publ i k a c i e b i . სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო ნაშრომში.

d i s e r t a c i i s s t r u q t u r a d a m o c u l o b a . სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს კომპიუტერზე ნაბეჭდ 178 გვერდს და შედგება შესავლის, ოთხი თავისა და დასკვნებისაგან. ნაშრომში წარმოდგენილია 26 ნახაზი და სქემა, 18 ცხრილი და გამოყენებული ლიტერატურის სია 96 დასახელებით.

თავი 1

საქართველოს ეკონომიკაში თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბოსიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი სისტემების გამოყენების ენერგოეკონომიკური და ეკოლოგიური საფუძვლები

1.2. მსოფლიოში ენერჯის არატრადიციული განახლებადი წყაროების გამოყენების პერსპექტივები და თბური ტუმბოს დანადგარების როლი სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების დაზოგვის საქმეში

მსოფლიო ენერგეტიკული კონგრესის მიერ გამოქვეყნებული მასალების [13,14] მიხედვით, უახლესი ათწლეულების მანძილზე ენერგეტიკულ ბალანსში, მსოფლიო ენერგეტიკის საფუძვლად, მიუხედავად ატომური ენერგეტიკისა და ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენების მზარდი როლისა, კვლავ რჩება წიაღისეული ორგანული სათბობი რესურსები. ამჟამად, მსოფლიოში ორგანული სათბობის საერთო რაოდენობა შეადგენს 13,1 ტრილიონი ტ.პ.ს. აქედან 83 % მოდის ნახშირზე. ამ რესურსებიდან, თანამედროვე მეცნიერულ-ტექნიკური პირობების გათვალისწინებით, შესაძლებელია ათვისებულ იქნეს 7 ტრილიონი ტ.პ.ს., მათ შორის - 2 ტრილიონ ტ.პ.ს. განეკუთვნება დაზვერილ მარაგებს.

2020 წლისათვის ენერგობალანსის გასავალი ნაწილი იქნება 34 მლრდ. ტ.პ.ს.-ით.

ენერგორესურსების მოხმარება 2010 წელს საშუალოდ იყო 18 მლრდ. ტ.პ.ს., ხოლო 2020 წელს მიაღწევს 30 მლრდ. ტ.პ.ს.-ს. (ცხრ. 1).

ცხრ. 1

პირველადი სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების წარმოება მსოფლიოში (2010-2020 წ.წ.), მლ.ტ.პ.ს.(%)

ენერგორესურსები	2010 წ. (საშუალო ვარიანტი)	2020 წ. (საშუალო ვარიანტი)
1. ნახშირი	5700 (31,5)	9200 (30,9)
2. ნავთობი ტრადიციული	4700 (25,8)	4300 (14,4)
3. ბუნებრივი აირი	4000 (21,9)	4000 (13,4)
4. აირისა და ნავთობის არატრა-დიციული წყაროები		

5. ატომური ენერგეტიკა	500 (20,8)	1300 (4,4)
6. ჰიდროენერგეტიკა	2200 (12,1)	6800 (22,8)
7. ენერჯის განახლებადი წყაროები	750 (4,1)	1600 (5,4)
	250 (1,4)	2600 (8,7)
ს უ ლ	18000 (100)	29800 (100)

ბოლო წლებში, მსოფლიოში დიდი ყურადღება ეთმობა განახლებადი ენერჯორესურსების ათვისებას. ცხრ. 2 მოცემულია ენერჯის განახლებადი წყაროების მსოფლიო პოტენციალისა და მსოფლიო ენერჯეტიკულ ბალანსში მათი შესაძლო გამოყენების დახასიათება [8,10].

ცხრ. 2

ენერჯის განახლებადი წყაროების მსოფლიო პოტენციალი

დასახელება	ტექნიკური პოტენციალი მლრდ.ტ.პ.ს./წელ.	მომავალში მათი შესაძლო ათვისების ხარისხი
1. მზის ენერჯია	540	3 ÷ 5 ტ.პ.ს./წელ.
2. ქარის ენერჯია	3	1,0 მლრდ.ტ.პ.ს./წელ.
3. ჰიდროენერჯია	2,9	ეკონომიკური პოტენციალი 1,0 მლრდ.ტ.პ.ს./წელ.
4. სასოფლო სამეურნეო წარმოების ნარჩენები	1,3	სრული გამოყენება
5. ტალღების ენერჯია	1,0	
6. ოკეანის ენერჯია (ტემპერატურული გრადიენტი)	0,35	
7. გეოთერმული სითბო	0,1	ამჟამად ათვისებულია
8. ზღვებისა და ოკეანეების მიქცევისა და მოქცევის ენერჯია	0,04	1,3 მლნ.ტ.პ.ს./წელ.
		ამჟამად გამოიყენება 0,2 მლნ.ტ.პ.ს./წელ.

ექსპერტთა პროგნოზების თანახმად, ენერჯის არატრადიციული განახლებადი წყაროების ბაზაზე შექმნილი ენერჯეტიკული დანადგარების დადგმულმა სიმძლავრემ 2030 წლისათვის, შეიძლება მიაღწიოს შემდეგ სიდიდეებს [11]:

1. მზის თანამგზავრული ელექტროსადგურები 0,3 ტერავატი (ე);

2. ოკეანის თერმოგრადიენტები	10 _____ “ _____;
3. მზის ელექტროსადგურები	6 _____ “ _____;
4. ქარის ელექტროსადგურები	3 _____ “ _____;
5. ბიომასა	3 ტვტ (თ);
6. ბიოგაზი	2 _____ “ _____;
7. სხვა წყაროები	1 _____ “ _____.

2030-2040 წლებისათვის ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენება მიაღწევს ნავთობის გამოყენების დონეს და ტოლი იქნება დაახლოებით 3 ÷ 5 მლრდ.ტპ.ს. წელიწადში [10, 11, 12, 13, 14].

ცხრ.3 მოცემულია საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს (სეს) 15 წევრი სახელმწიფოს მიერ პირველადი ენერგორესურსების მოხმარების ზრდა მინიმალური დანახარჯების ვარიანტის შემთხვევაში [9,12,15].

ცხრ. 3

პირველადი ენერგორესურსების მოხმარება, მლნ.ტ.პ.ს.

ენერგორესურსები	2000 წ.	2010 წ.	2015 წ.	2020 წ.
1. მყარი სათბობი	1552	2967	3369	3751
2. თხევადი სათბობი	2530	2397	2455	2510
3. აირადი სათბობი	1084	962	870	787
4. ატომური ენერჯია	668	1899	2251	2602
5. ჰიდროენერჯია	440	556	563	569
6. ენერჯის არატრადიციული განახლებადი წყაროები	72	416	501	590
ს უ ლ	6343	9193	10008	10813

სეს-ის წევრები არიან შემდეგი მაღალგანვითარებული, ინდუსტრიული ქვეყნები: ავსტრალია, ავსტრია, ბელგია, დიდი ბრიტანეთი, დანია, საბერძნეთი, ირლანდია, ესპანეთი, იტალია, კანადა, ლუქსემბურგი, ჰოლანდია, ახალი ზელანდია, ნორვეგია, აშშ, თურქეთი, გერმანია, შვეცია და იაპონია.

როგორც 3 ცხრილიდან ჩანს, არატრადიციული განახლებადი ენერგორესურსების ხვედრითი წილი ამ ქვეყნების ენერგომომარებაში იზრდება 1,1 %-დან (2000 წ.) 5,5%-მდე (2020 წ.) [9].

ჩატარებულმა გამოკვლევებმა ცხადყო, რომ არატრადიციული განახლებადი ენერგორესურსებიდან სეს-ის წევრი ქვეყნების ენერგომომარებაში (2000-2020 წ.წ. განმავლობაში) უპირატესობა მიენიჭება გეოთერმულ ენერგიას, თუმცა დასაწყის ეტაპზე იგი იქნება მხოლოდ 6 ქვეყანაში, რომელთაც გააჩნიათ გეოთერმული ენერჯის რესურსები.

2020 წლისათვის, გეოთერმული ენერჯია გახურებული კლდოვანი, მშრალი ქანების გამოყენების გზით, შეიტანს გარკვეულ წილს სეს-ის წევრი აღნიშნული 6 ქვეყნის გარდა, კიდევ სხვა ქვეყნების ენერგომომარაგების საქმეში.

გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან, როგორც სეს-ის წევრ, აგრეთვე სხვა ქვეყნებში, ფართო მასშტაბი მიეცა მზის ენერჯის გამოყენებას საყოფაცხოვრებო და სავაჭრო სექტორებში. ამჟამად, მზის ენერჯიას იყენებენ აგრეთვე დაბალტემპერატული ტექნოლოგიური პროცესების თბური ენერჯით მომარაგებისათვის.

ამავე პერიოდში დაიწყო და მცირე, მაგრამ ბოლო წლებში უფრო მზარდი მასშტაბი მიეცა ბიომასიდან სათბობის მიღებას ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებით. უკანასკნელი 30 წლის განმავლობაში, მსოფლიოში აიგო 13 გვტ. ჯამური სიმძლავრის ქარის ენერგოდანადგარები, ელექტროენერჯის წლიური გამომუშავებით 29 ათასი გვტ.სთ. [12].

უფრო ნაკლებად არის ათვისებული ოკეანის ენერჯია და მზის ენერჯია ელექტროენერჯის საწარმოებლად.

მსოფლიოს ენერგეტიკული კონგრესის მასალებისა და საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს სტატისტიკური მონაცემების თანახმად, პირველადი სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ჯამურმა წარმოებამ, მსოფლიოში 2000 წელს შეადგინა 14,2 მლრდ. ტ.პ.ს., ხოლო მისი

წარმოების ყოველწლიური ზრდის ტემპი შეადგენს 2,3 – 2, 5%-ს [8]. რაც შეეხება ელექტროენერჯის წარმოებას, ბოლო ათწლეულში მსოფლიოში მისი წარმოება გაიზარდა 13%-ით. ელექტროენერჯის წარმოების განსაკუთრებით მაღალი ტემპები შეინიშნება განვითარებად ქვეყნებში (45 - 55%). ამ ფონზე მეტად სავალალოდ გამოიყურებიან დსთ-ს ქვეყნები, სადაც ელექტროენერჯის წარმოება 25 %-ით შემცირდა. ენერჯიაზე მოთხოვნილება მთელ მსოფლიოში განუწყვეტლივ იზრდება, მიუხედავად იმისა, რომ ცნობილია - მისი არაკონტროლირებადი მოხმარება გარემოს მიმართ გლობალურ მუქარას ნიშნავს. ორგანული სათბობის დაწვის შედეგად ატმოსფეროში ყოველწლიურად გაიფრქვევა 5 მლრტ. ტ-ზე მეტი ნახშირორჟანგი (CO₂), რასაც 2005 წელს პრაქტიკულად უკვე მოჰყვა “სათბურის“ ეფექტის წარმოქმნა. აღნიშნული ეფექტის წარმოქმნის გამო, დედამიწის ზედაპირზე ტემპერატურამ უკვე მოიმატა 0,5⁰ C -ით, რაც ოფიციალურად დადასტურდა მსოფლიოს მრავალი ქვეყნის სამეცნიერო კვლევითი ცენტრების ექსპერტთა მიერ. დედამიწის ზედაპირზე ტემპერატურის მატების შედეგია კლიმატის გლობალური ცვლილებები - კერძოდ: გახშირებული ქარიშხლები - ტორნადოები ამერიკის კონტინენტის ცენტრალური ნაწილის აღმოსავლეთ სანაპიროსთან, კატასტროფული შედეგების მქონე წვიმები პრაქტიკულად დასავლეთ საქართველოს მთელს ტერიტორიაზე და სხვ.

მომავალში ორგანული სათბობის ასეთი ტემპებით მოხმარება, ტყეების მასობრივი, უკონტროლო და მტაცებლური ჩეხვა, კაცობრიობას კატასტროფით ემუქრება. დედამიწის ზედაპირზე ტემპერატურის რამოდენიმე გრადუსით მატებაც კი გამოიწვევს პლანეტის გლობალურ დათბობას, და შესაბამისად კლიმატის გლობალურ ცვლილებას, რასაც აუცილებლად მოყვება დამანგრეველი შედეგები. დროა, რომ კაცობრიობამ მომხმარებელი, საზოგადოების ფორმაციიდან, გარემოსთან ორგანულად შერწყმული საზოგადოებრივი თანაცხოვრების პრინციპებზე გადავიდეს [5].

ამგვარად, მომავალში ატმოსფეროში ნახშირორჟანგისა და ტექნოლოგიური დანადგარებიდან გამოყოფილი სითბოს საგრძნობლად მომატების საფრთხე კაცობრიობის წინაშე აყენებს მსოფლიო ენერგეტიკის ახალი ბაზისის შექმნის პრობლემას. ახალი ტექნოლოგიები მოიცავენ განახლებადი ენერგიების სფეროს და ითვალისწინებენ ენერჯის რაციონალური გამოყენების ანუ ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების დანერგვას სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო სექტორში.

აღნიშნულ გამოკვლევათა ანალიზიდან ჩანს, რომ სეს-ის წევრ ქვეყნებში 2000-2020 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, მასზე ფასის ძალიან სწრაფად მატების გამო.

XXI საუკუნის პირველი 20 წლის განმავლობაში, ნავთობის იმპორტის შემცირება დაფუძნებული იქნება ენერჯის ეკონომიაზე და ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების ფართოდ გამოყენებაზე. შემდეგი 20 წლის განმავლობაში კი - ნავთობის იმპორტის შემცირება ძირითადად გამოწვეული იქნება მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში ახალი ტექნოლოგიების გამოყენების შედეგად, რომლებიც მანამდე თხევად სათბობს მოიხმარდნენ.

გამოკვლევებში [12] 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 ენერგომატარებლებს (მაგ.: ელექტრომობილები).

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 [3].

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 [3,4].

თბური ტუმბოების გამოყენებით, სხვადასხვა დანიშნულების სითბო-სიცივით მომარაგების ოპტიმალური სქემების დამუშავებისას, რომლებიც სხვა ტიპის თბოენერგეტიკული სისტემებისაგან განსხვავებით, გამოირჩევიან უფრო მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლებით, აუცილებელია შესწავლილ იქნას:

- რეგიონის ბუნებრივ-კლიმატური პირობები;
- შენობების თბური რეჟიმების ფორმირების თავისებურებები;
- რეგიონის სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის სტრუქტურული თავისებურებები და მისი განვითარების პერსპექტივები;
- ბუნებრივი დაბალპოტენციური სითბოს წყაროების ან მეორეული დაბალტემპერატურული ენერგორესურსების არსებობა და მათი ენერგეტიკული პოტენციალი;
- რეგიონის ეკონომიკის სპეციალიზაციის ტენდენციები;
- გარემოს დაცვისადმი წაყენებული მოთხოვნები;
- თბური ტუმბოებით აღჭურვილი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების შემადგენელი ცალკეული დანადგარებისა და მოწყობილობების ტექნიკური მახასიათებლები.

მიუხედავად იმისა, რომ თბური ტუმბოს შექმნის იდეა საკმაოდ ძველია, აღნიშნული დანადგარების პრაქტიკაში გამოყენება მსოფლიოში შედარებით გვიან, XX საუკუნუს 50-ანი წლებიდან დაიწყო. ერთის მხრივ, ეს გამოწვეული იყო სამაცივრო ტექნიკისა და ენერგეტიკის განვითარების შედარებით დაბალი დონით; მეორეს მხრივ კი იმით, რომ თბური ტუმბოების ფართოდ დანერგვას ხელს უშლიდა ბუნებრივ აირზე, ნახშირზე და თხევად ორგანულ სათბობზე არსებული დაბალი ფასები და პრაქტიკულად მათზე დეფიციტის არარსებობა.

XX საუკუნის ბოლოს, სამაცივრო ტექნიკა მნიშვნელოვნად განვითარდა. შეიქმნა მაღალეკონომიური, დგუმიანი, ხრახნული კომპრესორები და ტუმბო-სამაცივრო აგრეგატები. ქიმიურმა მრეწველობამ დაიწყო ახალი მაცივარი-აგენტების წარმოება, რომელთა თერმოდინამიკური თვისებები სავსებით აკმაყოფილებს მუშა სხეულისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს მათი თბური ტუმბოს დანადგარებში გამოსაყენებლად. დამუშავდა თბომცვლელი აპარატების კონსტრუქციები, რომლებიც უზრუნველყოფენ სითბოს გადაცემის მაღალ ინტენსივობას მაცივარი-აგენტიდან თბომტარზე და პირიქით.

გარდა ამისა, თანამედროვე ეტაპზე, მსოფლიო ბაზარზე ორგანული სათბობის სულ უფრო მზარდი ღირებულება, გარემოს ეკოლოგიური უსაფრთხოების დაცვის მიზნით გაზრდილი მოთხოვნები, ელექტროენერჯის შედარებით სტაბილური ღირებულება, ენერგოსისტემების ელექტრული დატვირთვების რეგულირების პრობლემები (დღე-ღამის განმავლობაში დროის 30%-ზე მოდის მაქსიმალური დატვირთვის 60 %), თბური გაბინძურების პრობლემის გამწვავება, სამრეწველო საწარმოების მიერ გარემოში გამოტყორცნილი ნარჩენი სითბოს გამოყენების აუცილებლობა და სხვა, ქმნიან თბური ტუმბოს დანადგარების წარმატებული გამოყენების მტკიცე საფუძვლებს.

თანამედროვე პირობებში, თბური ტუმბოების გამოყენების პერსპექტივებს განსაზღვრავს ოთხი ძირითადი გარემოება [3]:

1. ნავთობზე და ბუნებრივ აირზე მსოფლიო ფასების მკვეთრი ზრდა, ელექტროენერგიაზე შედარებით სტაბილური ფასების არსებობის პირობებში;
2. გარემოს დაცვისადმი წაყენებული გაზრდილი მოთხოვნები. კერძოდ, თბოენერგეტიკული დანადგარებიდან გარემოში გამოტყორცნილი უზარმაზარი ოდენობის წვის პროდუქტების მიერ გარემოსადმი მიყენებული ეკოლოგიური ზარალი და აღნიშნული წვის პროდუქტების გამწმენდი მოწყობილობების სიძვირე;
3. ენერგოსისტემის ელექტრული დატვირთვის სულ უფრო მზარდი უთანაბრობა;
4. გარემოს თბური გაბინძურების პრობლემის გამწვავება.

თბური ტუმბოს დანადგარები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან დაბალპოტენციური სათბობის წყაროების, გამომუშავებული სითბოს მიმღებების, დანიშნულებისა და კონსტრუქციული ნიშნების მიხედვით [14, 15,17].

მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში, განსაკუთრებით კი ეკონომიკურად მაღალგანვითარებულ ქვეყნებში, დიდი ყურადღება ეთმობა თბური ტუმბოების წარმოებასა და მათ ფართოდ დანერგვას. სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ეკონომიკური ხარჯვის მიზნით, აღნიშნულ პროცესებს ასეთ ქვეყნებში წინ უსწრებდა დიდი საორგანიზაციო და საკანონმდებლო ღონისძიებების გატარება (მაგალითად, საფრანგეთში შეიქმნა ენერჯის ეკონომიის სააგენტო, დიდ ბრიტანეთში - სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების გამოყენების კომიტეტი და სხვ. [15,20].

2000 წელს აშშ-ში ექსპლუატირებდა 25 მლნ-ზე მეტი თბური ტუმბოს დანადგარი, რის შედეგადაც მიღებულმა ეკონომიამ წელიწადში შეადგინა $5 \cdot 10^9$ მჯ (1,4 მლრდ. კვტ.სთ.) [16].

საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს მიერ ჩატარებული გამოკვლევების თანახმად გერმანიაში, მთავრობის მიერ გამოყოფილი

სუბსიდიების შედეგად, თბური ტუმბოების რაოდენობამ 2000 წელს 3 მლნ-ს მიაღწია [15].

მსოფლიო ენერგეტიკულ კონგრესზე შეიქმნა სპეციალური კომიტეტი თბური ტუმბოების განხრით. ამ კომიტეტის მიერ გამოქვეყნებულ ანგარიშში აღნიშნულია, რომ 2000 წლისათვის მსოფლიოში თბური ტუმბოს დანადგარების ჯამურმა სიმძლავრემ $100 \div 120$ მლნ. კვტ. შეადგინა [17,22].

ცხრილში 4 წარმოდგენილია მსოფლიოს ცნობილი კომპანიების მიერ წარმოებული სხვადასხვა ტიპის თბური ტუმბოს დანადგარების ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები, მათი სიმძლავრისა და დანიშნულების მიხედვით.

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

ცხრ. 4

1	მანქანის მარკა	„ვესტინ-ჰაუზი“	„ჰიტ-ფრიგი“ ვესტინჰაუზის ლიცენზიით	„პარლეიტი“	„ლენოკსი“	„ლენოკსი“
2	მწარმოებელი ქვეყანა	აშშ	აშშ	დიდი ბრიტან.	დიდი ბრიტან.	დიდი ბრიტან.
3	სიცივის მწარმოებ., Q ^{ბი} , კვტ.	5 - 15	500 - 1500	20 - 30	1 - 1,8	30 - 40
4	ძრავის სიმძლავრე	2 - 7	210 - 680	15 - 20	0,7 - 1,2	15 - 20
5	დაბალპოტენციური სითბოს წყარო	ჰაერი	წყალი, მეორეული სითბოს წყარო	ჰაერი, გრუნტის სითბო	ჰაერი	ჰაერი, წყალი
6	დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ტემპერ., °C	(-5) - (+10)	(-10) - (+10)	(-10) - (+10)	(-10) - (+10)	(-10) - (+10)
7	დანადგარის კლასი	ჰაერი - ჰაერი	წყალი - ჰაერი	ჰაერი - წყალი	ჰაერი - ჰაერი	ჰაერი - წყალი
8	თბომწარმოებ., Q ^თ , კვტ.	7 - 22	700 - 2200	50 - 60	2 - 4	50 - 60
9	მომხმარებ.მიწოდ. სითბოს ტემპერ., °C	35 - 40	50 - 60	50 - 60	45 - 55	50 - 60

10	მომხმარებლის ტიპი	ინდივიდუ- -ალური	ცენტრალი- -ზებული	ინდივიდუ- -ალური, ადგილობ- -რივი	ინდივიდუ- -ალური	ინდივიდ უ-ალურ- ადგილობ -რივი
11	თბომომარაგების ფორმა	გათბობა, ჰაერის კონდინც.	ცხელი წყალმომარაგება	ცხელი წყალმომარაგება, ჰაერის კონდინც.	ჰაერის კონდინ- ცირება	გათბობა, ცხელი წყალმომარაგება
12	დანადგარის ფასი, 10 ³ დოლარი	0,8 - 2,7	24 - 40	3,0 - 3,5	0,4 - 0,6	3,0 - 3,5
გაგრძელება						
1	მანქანის მარკა	„დაიკინი“	„სამსუნგი“	„არისტონი“	«MKT -14“ ქ. მელიტოპოლ	«MKT -20“ ქ. მელიტოპოლ
2	მწარმოებელი ქვეყანა	იაპონია	კორეა	იტალია	რუსეთი	რუსეთი
3	სიცივის მწარმოებ., Q ^{ბი} , კვტ.	10 - 15	3 - 10	5 - 12	20	22
4	ძრავის სიმძლავრე	5 - 10	2 - 5	2 - 7	8,6	13,5
5	დაბალპოტენციური სითბოს წყარო	ჰაერი	ჰაერი	ჰაერი	ჰაერი, წყალი	ჰაერი, წყალი
6	დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ტემპერ., °C	(-7) – (+10)	(-8) – (+10)	(-10) – (+10)	(-10) – (+10)	(-10) – (+10)
7	დანადგარის კლასი	ჰაერი - ჰაერი	ჰაერი - ჰაერი	ჰაერი - ჰაერი	ჰაერი - წყალი	ჰაერი - წყალი
8	თბომწარმოებ., Q ^თ , კვტ.	25 - 30	5 - 15	17 - 23	28	34
9	მომხმარებ. მიწოდ. სითბოს ტემპერ., °C	35 - 40	35 - 40	35 - 40	50 - 60	50 - 60
10	მომხმარებლის ტიპი	ინდივიდუ- -ალური	ინდივიდუ- -ალური	ინდივიდუ- -ალური	ინდივიდუ- -ალური, ადგილობ- -რივი	ინდივიდ უ-ალურ- ადგილობ -რივი
11	თბომომარაგების ფორმა	გათბობა, ჰაერის კონდინც.	ჰაერის კონდინ- ცირება	ჰაერის კონდინ- ცირება	ცხელი წყალმომარაგება	ცხელი წყალმომარაგება
12	დანადგარის ფასი, 10 ³ დოლარი	1,5 - 2,5	0,7 – 2,0	0,6 - 1,8	2,3	2,1
გაგრძელება						
1	მანქანის მარკა	«MKT -28“ ქ. მელი- ტოპოლი	«MKT -40“ ქ. ჩერქეზკი	«MKT -14“ ქ. ჩერქეზკი	«HT -14“ ქ. ჩერქეზკი	„1XM – ΦУ40“ ქ. ჩიტა
2	მწარმოებელი ქვეყანა	რუსეთი	რუსეთი	რუსეთი	რუსეთი	რუსეთი
3	სიცივის მწარმოებ., Q ^{ბი} , კვტ.	28	50	100	50-55	65
4	ძრავის სიმძლავრე	17,5	19,8	39,5	20 - 30	28
5	დაბალპოტენციური სითბოს წყარო	ჰაერი, წყალი	ჰაერი, წყალი	წყალი	წყალი	წყალი

6	დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ტემპერ., °C	(-10) – (+10)	(-10) – (+10)	(-10) – (+10)	(-15) – (+10)	(-15) – (+10)
7	დანადგარის კლასი	ჰაერი - წყალი	ჰაერი - წყალი	წყალი - წყალი	წყალი - წყალი	წყალი - წყალი
8	თბომწარმოებ., Q _თ , კვტ.	44	70	139	90-95	93
9	მომხმარებ. მიწოდ. სითბოს ტემპერ., °C	50 - 60	50 - 60	50 - 60	55 - 70	50 - 65
10	მომხმარებლის ტიპი	ინდივიდუალური-ადგილობრივი	ინდივიდუალური, ადგილობრივი	ადგილობრივ-ცენტრალიზებული	ადგილობრივ-ცენტრალიზებული	ადგილობრივ-ცენტრალიზებული
11	თბომომარაგების ფორმა	ცხელი წყალმომარაგება	ცხელი წყალმომარაგება	გათბობა, ცხელი წყალმომარაგება	გათბობა, ცხელი წყალმომარაგება	ცხელი წყალმომარაგება
12	დანადგარის ფასი, 10 ³ დოლარი	3,2	2,3	6,3	6,5	3,7

1.2 საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის არსებული მდგომარეობის ანალიზი, განვითარების პერსპექტივები და მისი გავლენა თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების მუშაობის ეფექტურობაზე

ქვეყნის ეკონომიკური გაძლიერების ერთ-ერთ უმთავრეს პირობას მისი სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის (სეკ) ბაზა წარმოადგენს. იგი განსაზღვრავს ეკონომიკისა და საზოგადოების სოციალური დონის მდგომარეობასა და განვითარებას. განვითარებული სეკ-ის ბაზის გარეშე შეუძლებელია საქართველოს სრული ეკონომიკური სუვერენიტეტის მიღწევა. თანამედროვე პირობებში სულ უფრო მწვავედება ბუნების დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების რაციონალური გამოყენების პრობლემა. ამ პრობლემის გადაჭრის უმნიშვნელოვანეს გზას წარმოადგენს სეკ-ის ეფექტური განვითარება. სათბობსა და ენერგიაზე ქვეყნის მოთხოვნილებათა სტაბილური დაკმაყოფილება სასწრაფოდ საჭიროებს სათბობ-ენერგეტიკული ბალანსის (სებ) სტრუქტურის გაუმჯობესებას. ცნობილია, რომ სებ-ის მდგომარეობა ხასიათდება სხვადასხვა სახის სათბობისა და ელექტროენერჯის მოხმარების არასაკმარისი ზრდით.

ამასთან, სათბობის ადგილობრივი წარმოება (მოპოვება) აკმაყოფილებს ქვეყნის მოთხოვნილებათა 10-15%-ს, ხოლო ელექტროენერჯის დეფიციტი შეადგენს 25%-ს, რომლის შევსება სისტემატურად წარმოებს მეზობელი ქვეყნებიდან. განვიხილოთ საქართველოს სეკ-ის არსებული მდგომარეობა და მისი განვითარების მიმართულებები. საქართველოში ელექტროენერჯეტიკის განვითარება მე-19 საუკუნის ბოლოდან იღებს სათავეს.

ქვეყნის ელექტროენერჯეტიკული სისტემა ამჟამად აერთიანებს მომქმედ 65-მდე დიდ, საშუალო და მცირე სიმძლავრის ჰიდრო და 3 თბოელექტროსადგურს. ჰიდროელექტროსადგურების დადგმული სიმძლავრეა 2600 მგვტ, ხოლო თბოელექტროსადგურების - 670 მგვტ. ელექტროენერჯის გამომუშავების ბალანსში ჰიდროელექტროსადგურების წილი 80%-ის ფარგლებშია.

ჰიდროენერჯორესურსების თეორიული პოტენციალი საქართველოში 135,8 მლრდ.კვტ.სთ-ია, ტექნიკური- 80 მლრდ. კვტ.სთ, ხოლო ეკონომიკური 40 მლრ.კვტ.სთ. 2010 წელს ჰიდროელექტროსადგურების მიერ გამომუშავებული იქნა 9,4 მლრდ. კვტ.სთ ელექტრული ენერჯია (ერთ-ერთი საუკეთესო ჰიდროლოგიური წელი საქართველოში) ანუ ეკონომიკური პოტენციალის 23% და ტექნიკურის 11%. აღნიშნული ციფრები ცალსახად მიუთითებს ჰიდროენერჯორესურსების ათვისების დაჩქარების აუცილებლობაზე.

უკანასკნელ წლებში საქართველოს ენერჯეტიკის სფეროში გატარებულმა ღონისძიებებმა პრაქტიკულად უზრუნველყო მოსახლეობის უწყვეტი ენერჯომომარაგება, რაც ერთი შეხედვით, თითქოსდა, გარკვეული დამშვიდების საფუძველს იძლევა. აღსანიშნავია, რომ ელექტროენერჯის საშუალო წლიური გამომუშავების დღევანდელი დონე (დაახლოებით 9,5 მლრდ კვტ.სთ) მნიშვნელოვნად ჩამორჩება გასული საუკუნის 80-იანი წლების დასასრულის ანალოგიურ მაჩვენებელს - (დაახლოებით 15 მლრდ კვტ.სთ), რასაც 4 მლრდ კვტ.სთ

იმპორტირებული ელექტროენერგია ემატებოდა. ასევე მხედველობაშია მისაღები ის, რომ ელექტროენერგიის აღნიშნული რაოდენობიდან ლომის წილი (85-86%) საწარმოო სექტორის ენერგოუზრუნველყოფას ხმარდებოდა და მხოლოდ 14-15% მოდიოდა საყოფაცხოვრებო-კომუნალურ სექტორზე. ამგვარად საქართველოს ენერგეტიკის სფეროში გადადგმული პროგრესული ნაბიჯი - მოსახლეობის უწყვეტი მომარაგება ელექტროენერგიით - სრულიადაც არ არის საკმარისი ქვეყნის ეკონომიკური განვითარებისა და ენერგოუსაფრთხოების დონის შესაფასებლად. ამის სამაგალითოდ, საკმარისია აღნიშნოს ქვეყანაში არსებული უმუშევრობის უაღრესად მაღალი დონე, რაც ცხადია, გამოწვეულია სამრეწველო საწარმოების სიმწირით ან არსებული საწარმოების უმოქმედობით. არადა, ადამიანთა უმუშევრობა და ეკონომიკური სიდუხჭირე, სოციალურ პრობლემებთან ერთად, ეკოლოგიურ პრობლემასაც წარმოადგენს. სამრეწველო საწარმოების ფუნქციონირებას და ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებას მნიშვნელოვანი ენერგეტიკული ბაზა ესაჭიროება. ამის ნათელი დადასტურებაა ის, რომ ზოგიერთ განვითარებულ ქვეყანაში ერთ სულ მოსახლეზე წელიწადში 10 000 კვტ.სთ-ზე მეტი ელექტროენერგია მოიხმარება (ეს მაჩვენებელი კი ქვეყნის ეკონომიკური სიძლიერის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ინდიკატორია), ხოლო ეკონომიკური თანამშრომლობისა და განვითარების ორგანიზაციის (OECD) 34 ქვეყნის საშუალო მაჩვენებელი 8300 კვტ.საათს აჭარბებს. საქართველო ამ მაჩვენებელით, რომელიც უკანასკნელი ხუთი წლის მანძილზე არ აღემატება 2000 კვტ.სთ-ს, მსოფლიოს ქვეყნებს შორის 98-ე ადგილზეა.

იმავ დროს საქართველოს გააჩნია ყველა წინაპირობა, იმისათვის რომ 10-15 წლის შემდეგ მთლიანი შიდა პროდუქტის მოცულობამ 60 მილიარდ აშშ დოლარს მიაღწიოს, ანუ 12000 დოლარს ერთ სულ მოსახლეზე წელიწადში. ეს არაა მაღალი მაჩვენებელი თუ გავითვალისწინებთ, რომ განვითარებულ ქვეყნებში იგი 35000-50000 აშშ დოლარის ფარგლებშია,

მაგრამ ასეთ შემთხვევაშიც კი საქართველოს დასჭირდება სულ მცირე 25 მილიარდი კვტ.სთ. ელექტროენერჯის წარმოება. თუ გავითვალისწინებთ ჰესებზე წარმოებული ელექტროენერჯის და მოხმარების დონეების სეზონურობას, რაც 60/40 პროცენტს შეადგენს ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით მივიღებთ, რომ წარმოების საშუალება ზამთარში იქნება 10, ზაფხულში კი 15 მილიარდი კვტ.სთ., ხოლო მოთხოვნილება ზაფხულში 10 და ზამთარში 15 მილიარდი კვტ.სთ.. შესაბამისად საჭირო გახდება ზამთრის 5 მილიარდიანი დეფიციტის წყაროების მოძებნა, რაც პრობლემატურია დღესაც და პრობლემატური იქნება მომავალშიც თუ აქიდანვე არ იქნა მიღებული სათანადო ზომები [96].

1989 წლიდან ელექტროენერჯის დეფიციტი, განსაკუთრებით ზამთარში, საქართველოში წესად იქცა და მისი დაფარვა ხდებოდა რუსეთიდან და აზერბაიჯანიდან მოწოდებული ენერჯით. საქართველოს ელექტროენერჯის ბალანსიდან, ნათლად ჩანს ეს მდგომარეობაც და ელექტროენერჯის გენერაციის შემცირების მიმდევრობაც. ელექტროენერჯის წარმოებაში მკვეთრი ვარდნა მოხდა 1989-1994 წლებში. 1995 წელს ვარდნა შეჩერდა და დაიწყო მცირეოდენი მატებაც. 1995 წელს წარმოებული იქნა 7082, 1996 წელს - 7233, 1997 წელს - 7172, 1998 წელს - 8062, ხოლო 1999 წელს- 8119 მლნ. კვტ.სთ. ელექტროენერჯია (მისი 80% ჰიდროელექტროსადგურებმა გამოიმუშავეს, ხოლო 20% - თბოელექტროსადგურებმა), თუმცა ამით ელექტროენერჯის დეფიციტი არ აღმოფხვრილა. ზამთრის დეფიციტი არსებობს დღესაც.

ელექტროენერჯის წარმოება-მოხმარებაში არსებული დეფიციტის მთლიანი ლიკვიდაციის საშუალება, მძიმე ფინანსური (ეკონომიკური) მდგომარეობის გამო, დამოუკიდებლად არც ელექტროენერჯეტიკის სექტორს და არც საქართველოს სახელმწიფოს ჯერ-ჯერობით არ აქვს.

სტრატეგიული გეოპოლიტიკური მდებარეობა საქართველოს აძლევს იმის საშუალებას, რომ მონაწილეობა მიიღოს რეგიონალური ელექტროენერჯეტიკის სექტორის ინფრასტრუქტურის განვითარებასთან

დაკავშირებული მრავალი პროექტის განხორციელებაში. საქართველოს ენერგოსისტემის ჩართვა მეზობელი ქვეყნების ენერგოსისტემებთან, სარგებლობას მოუტანს ყველა მონაწილეს, რადგან შეიქმნება ერთიანი ძლიერი ენერგოსისტემა. ამის დადასტურება თურქეთის ენერგოსისტემასთან გაერთიანება მუდმივი დენის ჩანართით (ბექთუ-ბეგი).

ცხრ. 5

საქართველოში ელექტროენერჯის წარმოება-მოხმარების მაჩვენებლები
(მლნ.კვტ.სთ.)

წელი	წარმოება	მოხმარება	იმპორტი	ექსპორტი	წმინდა ექსპორტი	იმპორტის წილი მთლიან მოხმარებაში	ექსპორტის წილი მთლიან წარმოებაში
2003	7,132	6,649	1,080	236	(844)	16%	3%
2004	6,902	7,388	1,278	71	(1,208)	17%	1%
2005	7,061	7,842	1,399	122	(1,277)	18%	2%
2006	7,622	7,879	777	96	(681)	10%	1%
2007	8,346	7,815	433	626	192	6%	7%
2008	8,451	8,075	649	680	31	8%	8%
2009	8,408	7,642	255	749	495	3%	9%
2010	10,058	8,441	222	1,524	1,302	3%	15%
2011	10,105	9,257	471	931	460	5%	9%
2012	9,698	9,379	615	528	(86)	7%	5%
2013	10,059	9,690	484	450	(34)	5%	4%

იმის მიუხედავად, რომ ჰიდროენერჯეტიკა ენერჯეტიკის ძალზედ ეფექტიანი დარგია - არ მოიხმარს სათბობს, ჭირდება მცირე მომსახურე პერსონალი, აქვს საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციის კარგი საშუალება და ა.შ., ინვესტიციების მოზიდვა და კაპიტალდაბანდებების განხორციელება აღნიშნულ დარგშიც გართულებულია.

ცხრ.6

ელექტროენერჯის საპროგნოზო ბალანსი 2014-2030 წწ (მლნ.კვტ.სთ)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
სულ გამომუშავება	10828	11408	12181	13662	14191	14324	17336	18072	18469	18775	19089	19440	19717	19938	20132	20371	20637
თბოსადგურები სულ	1971	2001	2200	2500	2501	2500	2172	2350	2608	2913	3227	3548	3826	4046	4240	4480	4745
ჰიდროსადგურები სულ	8858	9407	9981	11162	11690	11823	15164	15722	15862	15862	15862	15892	15892	15892	15892	15892	15892
მარეგულირებელი	5753	5753	5753	5753	5753	5753	6196	6244	6244	6244	6244	6244	6244	6244	6244	6244	6244
სეზონური	2383	2431	2431	2431	2431	2431	2431	2431	2431	2431	2431	2431	2431	2431	2431	2431	2431
დერეგულირებელი	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491
მიმდინარე+სხვა პერსპექტიული	231	732	1305	2487	3015	3148	6045	6555	6695	6695	6695	6725	6725	6725	6725	6725	6725
ხუდონი ჰესი	0	0	0	0	0	0	1473	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528
ნენსკრა ჰესი	0	0	0	0	0	0	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194
იმპორტი სულ	327	362	355	108	281	528	0	0	0	0	0	0	56	178	346	551	771
ქვეყნის მოხმარება	9981	10280	10589	10906	11234	11571	11918	12275	12644	13023	13414	13816	14230	14657	15097	15550	16016
ექსპორტი სულ	819	1023	1451	2319	2665	2693	4747	5096	5110	5024	4935	4869	4775	4678	4585	4559	4559
სულ მოთხოვნა კარგების გათვალისწინებით	11018	11534	12285	13495	14183	14555	17005	17726	18115	18414	18722	19066	19393	19730	20084	20519	20995

როგორც 2014-2030 წწ საპროგნოზო ბალანსიდან ჩანს, 2030 წლისათვის ელექტროენერჯის წარმოება ორჯერ უნდა გაიზარდოს. თავისთავად 20,6 მლრდ.კვტ.სთ არ არის დიდი ციფრი ეკონომიკურად საშუალოდ განვითარებული ქვეყნისთვისაც კი. საქართველოს პირობებში, თუ დღესვე არ დაიწყო აქტიური მშენებლობა ახალი ენერგეტიკული სიმძლავრეების ექსპლუატაციაში შესაყვანად, ამ მონაცემების მიღწევა გაჭირდება. ფაქტიურად ორჯერ იზრდება ჰიდროელექტროსადგურების გამომუშავება. დღეისათვის ჰიდროსადგურები კარგი ჰიდროლოგიის პირობებში თითქმის საპროექტო სიმძლავრით მუშაობენ, ე.ი 2030 წლამდე ჩვენ 1200-1400 მგვტ ახალი სიმძლავრის შეყვანა დაგვჭირდება ექსპლუატაციაში. ასევე გასაზრდელია თბოელექტროსადგურების დადგმული სიმძლავრეებიც.

ქვეყნის ერთ-ერთი რეალური ენერგეტიკული რესურსია ქვანახშირიც. მრავალი წლის განმავლობაში ქვანახშირი იყო ის ძირითადი სათბობი, რომლის მოპოვება ინტენსიურად ხდებოდა საქართველოში, დღემდე მოპოვებული 100 მლტ. ტ.-ზე მეტი [14].

ქართულ ნახშირს დიდი გამოყენება ქონდა. იგი გამოიყენებოდა ადგილზეც და ხდებოდა მისი ექსპორტიც. ნახშირის ძირითადი მომხმარებლები იყვნენ თბოელექტროსადგურები, საქვებები და მეტალურგიული ქარხნები. დღესდღეობით, რეალური მომხმარებელი მხოლოდ ცემენტის ქარხნები.

საქართველოში არსებული 7 საბადოდან, სამრეწველო დამუშავებაში იყო მხოლოდ ახალციხის, ტყვარჩელის და ტყიბული-შაორის საბადოები. ამჟამად მათ შორის მოქმედია მხოლოდ ტყიბული-შაორის საბადო. მის წილად მოდის საქართველოს ნახშირის მარაგების თითქმის 80% (იხ. ცხრ.7).

საქართველოს სამრეწველო დნიშნულების ნახშირის საბალანსო
მარაგები 2012 წლის მდგომარეობით, მლნ.ტ. [14].

დასახელება	მარაგები კატეგორიების მიხედვით					ბალანსგარეშე
	A	B	C	A+B+C	C ₂	მარაგი
სულ მარაგები, მათ შორის:	3,8	200,8	220,8	425,5	54,7	15,9
ტყიბულის საბადო	3,8	154,5	174,8	333,1	49,8	3,7
ტყვარჩელის საბადო	-	6,7	14,4	21,1	0,5	3,8
ახალციხის საბადო	-	39,6	31,7	71,3	4,4	8,4

საქართველოში გაცილებით მეტია ნახშირის პროგნოზული მარაგები. მათი საერთო სიდიდე 653 მლნ. ტ-ის ოდენობითაა შეფასებული. აქედან, P₁ კატეგორიისაა 71 მლნ.ტ, P₂ - კატეგორიისაა 43 მლნ.ტ. და P₃ კატეგორიის 539 მლნ.ტ. აღნიშნული მარაგები საქართველოს თითქმის მთელ ტერიტორიაზეა განლაგებული. მათ შორის აღსანიშნავია: გელათის, ფარცხანაყანების, გოგოლეთის, ბზიფის და სხვა საბადოები.

ქართული ნახშირის საბადოებიდან განსაკუთრებით ძვირფასია ტყვარჩელის პოხიელი ნახშირები, მაგრამ თუ მისი მოპოვება-გამოყენების თვალსაზრისით ვიმსჯელებთ, ჯერ ერთი, ნახშირის მარაგი ცოტაა (საერთო საბალანსო მარაგების 4,6%) და მეორე, რომ ტყვარჩელი აფხაზეთის ტერიტორიაზეა, რომელზეც ამჟამად საქართველოს იურისდიქცია ფაქტობრივად არ ვრცელდება.

რაც შეეხება ახალციხის მურა ნახშირს, იგი დაბალხარისხოვანი ენერგეტიკული ნახშირია, მისი საშუალო თბოუნარიანობა 2750 კკალ-ია, ნაცრიანობა კი - 40-45% (შედარებისათვის: ტყიბულის ნახშირის თბოუნარიანობა 5300 კკალ-ს შეადგენს, ხოლო ნაცრიანობა - 30,5%,

ტყვარჩელის ნახშირისა კი - შესაბამისად 5500 კვალ-ს, ხოლო ნაცრიანობა 30%). ახალციხის საბადოზე ამჟამად ნახშირის მოპოვება შეწყვეტილია.

ნახშირის მოპოვების დონე საქართველოში ბოლო 30 წლის განმავლობაში სისტემატურად მცირდებოდა და 80-იან წლებში შეადგენდა 1-1,7 მლნ. ტ.-ს. კიდევ უფრო შემცირდა შემდეგ წლებში და შეადგინა: 1990 წელს - 956, 1995 წელს - 42,6, 1996 წელს - 22,5, 1997 წელს - 4,6 და 1998 წელს 14,7 ათ.ტ. 2001 წელს 4,7 ათ.ტ. [9].

70-იან წლებში, მას შემდეგ, რაც დაიწყო ქვეყნის ფართომასშტაბიანი გაზიფიკაცია და მკვეთრად გაიზარდა ნავთობის მოპოვება, მაზუთი და გაზი პრიორიტეტული სათბობი გახდა. მათ თანდათან შეცვალეს ნახშირის მოხმარება და ამ მიზეზით, 80-იანი წლებისათვის, ელექტროენერგეტიკასა (თესები) და საყოფაცხოვრებო კომუნალურ სექტორში მისი გამოყენება პრაქტიკულად შეწყდა. ასე, რომ ნახშირის მრეწველობა კრიზისს ჯერ კიდევ საბჭოთა პერიოდში განიცდიდა, ხოლო საბჭოთა კავშირის დაშლის შემდეგ განვითარებულმა მოვლენებმა ეს დარგი კიდევ უფრო მძიმე მდგომარეობაში ჩააყენა.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ნახშირის საბადოებიდან ამჟამად მოქმედებაშია მხოლოდ ტყიბული-შაორის საბადოს რამდენიმე შახტი. მათი ტექნიკური მდგომარეობაც ისეთი მძიმეა, რომ ხერხდება მხოლოდ საწარმოო სიმძლავრეების 3 – 5%-ის გამოყენება. საქართველოში სათბობისა და ენერგეტიკული რესურსების ამჟამად არსებული დეფიციტი, კიდევ უფრო აქტუალურს ხდის ტყიბულ-შაორის საბადოს შახტების დაუყოვნებლივი გადაიარაღების საკითხს, რათა ნახშირის მოპოვება არსებული საწარმოო სიმძლავრის 50%-მდე მაინც იქნას აყვანილი.

სპეციალისტთა ერთი ნაწილის აზრით, ნახშირი არის ის ადგილობრივი ენერგეტიკული რესურსი, რომელსაც შეუძლია საქართველოში შექმნილი ენერგეტიკული კრიზისის ნაწილობრივი შემსუბუქება. ამ მოსაზრების მიხედვით, გარკვეული კაპიტალდაბანდებებით და სამუშაოთა სათანადო ორგანიზაციით,

უახლოეს წლებში ნახშირის მოპოვება და გადამუშავება შეიძლება გაიზარდოს 0,6-08 მლნ.ტ.-მე, ხოლო 2015-2020 წლებისათვის 1,5-2,5 მლნ.ტ.-მდე წელიწადში. აღნიშნულ მოსაზრებას არ იზიარებენ სხვა ექსპერტები. მათ მიაჩნიათ, რომ მართალია, ნახშირის მოპოვების მასშტაბების გაზრდა არის მოსალოდნელი უახლოეს მომავალში, მაგრამ ისინი ვერ დაიკავებენ მნიშვნელოვან ადგილს ენერგეტიკული ბალანსის ნომენკლატურაში [13]. ამ ექსპერტების აზრით, გადამწყვეტი როლი საქართველოს ენერგეტიკული ბალანსის გაჯანსაღებაში უნდა შეასრულოს ჰესების ფართომასშტაბიანმა მშენებლობამ და საბაზისო სიმძლავრეების მასთან თანაფარდობაში ამოქმედებამ, მაგრამ თვით ისინიც აღნიშნავენ, რომ „დროა გადაიდგას გადამჭრელი ნაბიჯები და მოხდეს ფუნქციების გადანაწილება მაღალი და დაბალი ხარისხის ენერჯის წყაროებსა და მათი გამოყენების სფეროებს შორის“ და რომ . . . „ყველა ფუნქციის ელექტროენერჯიაზე დაკისრებამ გადაუწყვეტელი ეკონომიკური ამოცანების წინაშე შეიძლება დააყენოს ქვეყანა“ [14].

ზემოაღნიშნული მსჯელობა სწორედ იმაზე მიგვითითებს, რომ ენერგორესურსებზე, საქართველოს მოთხოვნილების თვითდაკმაყოფილება მარტო ელექტროენერჯით ვერ მოხდება. მთელ რიგ შემთხვევებში მას უნდა ჩაენაცვლოს ნახშირი, ნავთობი და სხვა ენერგორესურსები.

სწორედ ამის გათვალისწინებითაა დამუშავებული „საქართველოს ნახშირის მრეწველობის აღდგენისა და განვითარების პროგრამა“, რომელშიც დაფიქსირებულია საქართველოში ნახშირის მომპოვებელ საწარმოთა რეაბილიტაცია, ძირეული რესტრუქტურისა, ნახშირზე მომუშავე თბოელექტროსადგურების მშენებლობა და ა.შ.

ქვანახშირის მრეწველობის აღდგენისა და განვითარების პროგრამის შესაბამისად, ნახშირის მომპოვებელი საწარმოები ერთი მხრივ ორიენტირებული იქნებიან მოპოვებული ნახშირის საყოფაცხოვრებო-კომუნალურ სფეროში და მრეწველობის სხვა დარგში გამოყენებაზე და მეორეს მხრივ, ნახშირზე მომუშავე თეს-ის აშენებაზე და მისი ნახშირით

დაკმაყოფილებაზე. გამოთვლილია, რომ მარტო ტყიბული-შაორის საბალანო მარაგი მისი მაქსიმალური გამოყენების შემთხვევაშიც კი მომხმარებლებს ეყოფათ 70-80 წელი.

ნახშირზე მომუშავე თესის მშენებლობის საკითხის გადაწყვეტის დროს, ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია ეკოლოგიური პრობლემა. გამოკვლევით დადგენილია, რომ ერთი ტონა ქვანახშირის წვის შედეგად, ატმოსფეროში იტყორცნება დიდი რაოდენობის ტოქსიკური ნივთიერებები (10-15 კგ. აზოტის ჟანგეული, 50-7- კგ. გოგირდოვანი ანჰიდრიდი ა.შ.), რაც შესამჩნევად აუარესებ მოსახლეობის ჯანმრთელობას [13,14].

ეკოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტის მიზნით უნდა მოხდეს აგრეთვე ნახშირის საბადოებზე თანამდევი საწვავი გაზის - მეთანი მოპოვება და გამოყენება, რისი დიდი პრაქტიკული გამოცდილებაც არსებობს აშშ-ში და დიდ ბრიტანეთში. ტყიბული-შაორის საბადოზე ამჟამად 4 მლრდ.მ³ მეთანია დაგროვილი, ყოველწლიურად აქ შესაძლებელია 150-300 მლნ. მ³ მეთანის მოპოვება, რომლის გამოყენებაც შეიძლება როგორც დამოუკიდებლად (მაგ., საყოფაცხოვრებო სექტორში), ისე ნახშირთან ერთად თესებში.

საქართველო ნახშირის დარგის აღორძინების დროს გასათვალისწინებელია რიგი საკითხები:

1. საქართველოში ნახშირის მოპოვების სამთო-გეოლოგიური პირობები რთულია;
2. საქართველოს ნახშირები ძნელად გასამდიდრებელია;
3. საბადოთა დამუშავება დიდ სიღრმეზე ხდება;
4. მაღალი მეთანის შემცველობა.

საქართველოსთვის მეტად მნიშვნელოვანი სათბობ-ენერგეტიკული რესურსია აგრეთვე ნავთობი და გაზი. რაც შეეხება ბუნებრივ გაზს, მისი სამრეწველო მნიშვნელობის საბადო საქართველოში ჯერ-ჯერობით არ აღმოჩენილა, თუმცა, საძიებო ბურღვის დროს იყო გაზის გამოვლენის რამდენიმე შემთხვევა. ამის ერთ-ერთი მაგალითია, 1967 წელს თბილისის

აღმოსავლეთ გაზშემცველ ჰორიზონტზე გაზის მძლავრი ნაკადის ამოხეიქვა, რომელმაც მხოლოდ სამ დღე-ღამეს იარსება. გაზის აღნიშნული შადრევანი მართალია შეწყდა, მაგრამ საფუძვლიანია იმაზე ფიქრი, რომ საქართველოს წიადი შეიცავს სამრეწველო მნიშვნელობის ბუნებრივ გაზს და სათანადო მუშაობის შემთხვევაში, შეიძლება მისი გამოვლენა.

იმის მიუხედავად, რომ საქართველოში საკუთარი გაზის საბადო არ არის აღმოჩენილი, გაზის მოხმარებას 1990 წლამდე მაინც განსაკუთრებული მდგომარეობა ეკავა. იგი მოიხმარებოდა როგორც საბინაო-კომუნალურ სექტორში, ისე ეკონომიკის სხვადასხვა დარგებში (ბუნებრივ გაზზე მუშობდა 720 სამრეწველო და სასოფლო-სამეორნეო საწარმო).

ბუნებრივი გაზი ხელმისაწვდომი (ფასის თვალსაზრისით) და კომფორტული რესურსი იყო. 1990 წელს საქართველოში მოხმარებული სათბობის ბალანსში მას თითქმის 60% ეკავა. აბსოლუტურ გამოსახულებაში ეს იყო 6 მლრდ. მ³ იმპორტირებული გაზი.

საქართველოში, ზემოთაღნიშნული ტრადიციული სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების გარდა, არის ენერჯის არატრადიციული ანუ განახლებადი სახეებიც: მზის და ქარის ენერჯია, ბიოგაზი, თერმული წყლები და სხვა.

თერმული წყლების საერთო პროგნოზული მარაგი საქართველოში შეადგენს 250 მლნ.მ³ -ს წელიწადში წყლის ტემპერატურით 50-110⁰ C. თერმული წყლების სადღეღამისო მარაგი 200 ათ. მ³ -ია. 1990 წლის დასაწყისში, საქართველოში არსებობდა 59 წყალშემკრები ჭაბურღილი, რომელთა საერთო სადღეღამისო სიმძლავრე 60 ათ.მ³ -ს აღემატებოდა. საქართველოში თერმული წყლების 23 საბადოა, მათგან დამუშავებაშია მხოლოდ 17. ესენია: კიდლა-მოქვის, რეჩხის, საბელიოს, ზუგდიდი-ცაიშის, მენჯის, კვალონის, სამტრედიის, ვანის, თბილისის, ბიჭვინთის, ალაზნის, ხარაგაულის, კარდანახის, ჯანდარის, ყვარელის, ენისელის და ოხურეის. გეოთერმული წყლების მარაგების 70% დასავლეთ საქართველოშია განლაგებული.

საქართველოს თერმულ წყლებს დიდი თბოპოტენციალი გააჩნიათ. დადებითია მათი ხარისხობრივი მაჩვენებლები, აქვთ მცირე მინერალიზაცია და მარილდანალექი. ამის მიუხედავად, თერმული წყლების ამოღების დონე საგრძნობლად შემცირებულია. მაგალითად: თუ 1985 წელს მოპოვებული იყო 21 მლნ.მ³, 1991 წელს მოპოვება 8,1 მლნ.მ³ -დე შემცირდა. დღეისათვის თერმული წყლების მოქმედი ჭაბურღილების სიმძლავრის გამოყენების დონე არ აღემატება 30%-ს. ქვეყანაში თერმული წყლების გამოყენებას აფერხებს: არასრულყოფილი მოწყობილობა და თბომომარაგების სქემები, სარგებლობისათვის წყლის მომზადებისა და ასეთი თბორესურსების გამოყენებისათვის მომხმარებლების მომზადების დაბალი დონე. თბომეურნეობის ეს დარგი საჭიროებს გადაუდებელ ყურადღებას. გათბობის სისტემაში თერმული წყლების გამოყენებით დიდი რაოდენობით ელექტროენერგია და გაზი დაიზოგება.

საქართველოში მეტად პერსპექტიულია მზის ენერგია. არატრადიციულ ენერგიებს შორის იგი ყველაზე მაღალ ეფექტიანია. უმეტეს რაიონებში, მზის ნათების წლიური ხანგრძლივობა საკმაოდ დიდია და 200-250 დღე გრძელდება, რაც დღის ხანგრძლივობის მიხედვით შეადგენს 1900-2200 საათს. ზაფხულში მზის ნათების მრავალწლიური საშუალო პერიოდი თვეში შეადგენს 225 -300 საათს, ხოლო ზამთარში 60-75 საათს. ამასთან, აღმოსავლეთ საქართველო გაცილებით მზიანია, ვიდრე დასავლეთ საქართველო. მზის ენერგია შეიძლება გარდაიქმნას ელექტროენერგიად. ეს ხდება მზის ელექტროსადგურებში, რომელთაც აქვთ მოწყობილობები მზის სხივების მისაღებად და მათი ენერჯის გარდასაქმნელად. მზის რადიაციის ენერგია შეიძლება აგრეთვე გარდაიქმნას მუდმივ ელექტროენერგიად მზის ბატარეების მეშვეობით. მზის ენერჯის თერმული ოდენობა, რომელიც ჩვენს ტერიტორიაზე ხვდება წლის განმავლობაში, აღწევს 10^{14} კვტ.სთ-ს ანუ 32,5 მლრდ. ტ. პირობით სათბობს. დასახელებული ციფრი გვიჩვენებს ამ ენერგორესურსის უდიდეს პოტენციალს საქართველოში.

იგივე ითქმის ქარის ენერჯის შესახებ. საქართველო ქარის მნიშვნელოვან ენერგეტიკულ პოტენციალს ფლობს, რომელიც პრაქტიკულად არ გამოიყენება. ქარის ენერგეტიკული პოტენციალი განისაზღვრება ქარის სიჩქარითა და ხანგრძლივობით. საქართველოში ქარის მაღალი სიჩქარეები დამახასიათებელია დიდი კავკასიონისა და სამხრეთ საქართველოსთვის.

ქარის ენერგეტიკული ბუნებრივი პოტენციალის მიხედვით, საქართველოს ტერიტორია დაყოფილია 4 ზონად:

1. ქარის ყველაზე ძლიერი სიჩქარეების ზონა (სამხრეთ საქართველოს მთიანეთი, კახაბერის ვაკე და კოლხეთის დაბლობი);
2. ნელსიჩქარიანი, ნაწილობრივ დიდ სიჩქარიანი ქარების ზონა (მტკვრის ხეობა მცხეთიდან რუსთავამდე, კახეთის ნაწილი, შავი ზღვის სანაპირო ფოთიდან კახაბერის ვაკემდე);
3. ნელსიჩქარიანი ქარების ეფექტიანი ზონა (გაგრის ქედი, კახეთის დაბლობი, აღმოსავლეთ საქართველოს დაბლობები);
4. ნელსიჩქარიანი ქარების შეზღუდული გამოყენების ზონა (სამგორის ზეგანი და სიონის წყალსაცავი).

თეორიულად, საქართველოს ტერიტორიაზე ქარის ენერჯის მარაგი შეადგენს 10^{13} კვტ. სთ.-ს წელიწადში, ხოლო წამში - 0,4 მ-ზე მეტი სიჩქარის ქარის ენერჯის მარაგი ცალკეულ ზონებში წლიურად, თითქმის 4,5 მლრდ. კვტ.სთ-ს აჭარბებს.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე ნათელია, რომ საქართველოში არსებობს ყველა პირობა ქარის ენერგეტიკის განვითარებისათვის. ამის მიუხედავად, მისი გამოყენება მხოლოდ ექსპერიმენტების სტადიაშია. საქართველოს ტერიტორიების და რაიონების სიჩქარეების მიხედვით, პრაქტიკულად ამორჩეულია სამი ადგილი - მთა საბუეთი, ფოთის ნავსადგური და კაპანდიბის მეტეოსადგური (აჭარა), რომლებისთვისაც სამეცნიერო საწარმოო ცენტრის „ქარენერგო“-ს მიერ გამოანგარიშებულია

ქარის ელექტროსადგურების ძირითადი პარამეტრები. ქარის ამ სამი ელექტროსადგურის შექმნა საქართველოს ენერგობალანსში შეიტანს 650 მლნ. კვტ.სთ-ს წელიწადში, რაც აღემატება ელექტროენერჯის დღევანდელ იმპორტს და იქნება პირველი ნაბიჯი ქარის იმ უზარმაზარი ენერგეტიკული პოტენციალის ათვისებაში, რომელიც შეფასებულია 4,5 მლრდ. კვტ.სთ-ს ოდენობით [13].

ამგვარად, ქარის ენერჯის განვითარებისათვის საქართველოში ყველა წინაპირობა არსებობს. ამ კუთხით, ქვეყნის ტერიტორია საკმაოდ კარგად არის შესწავლილი. ასე, რომ თუ არატრადიციული ენერჯის სხვა წყაროებს ამჟამად არ შეუძლია პრაქტიკული წვლილის შეტანა საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ბალანსში, ეს არ შეიძლება ითქვას ქარის ენერჯიაზე. ერთად-ერთი ხელშემშლელი აქ არის მხოლოდ ინვესტიციების არარსებობა.

არატრადიციულ განახლებად ენერგორესურსებს მიეკუთვნება ბიოგაზიც. იგი მიიღება მრეწველობის, სოფლის მეურნეობის და საბინაო კომუნალურ სექტორში დაგროვილი ნარჩენების ბიოლოგიური გადამუშავების პროცესის შედეგად. ერთი მ³ ბიოგაზის თბოუნარიანობა მერყეობს 5500-5800 კკალ. ფარგლებში. ბიოგაზის გამოყენების ეფექტიანი სფეროებია: სასოფლო-სამეურნეო საწარმოები, სადაც ეს ნარჩენი კონცენტრირებული სახითაა წარმოდგენილი.

ამრიგად, საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების დღევანდელი მიმოხილვითი ანალიზით ირკვევა, რომ ქვეყანას ამ რესურსების (როგორც ტრადიციული, ისე არატრადიციული) მარაგი აქვს. ამ რესურსების მარაგის ნაწილი ამოქმედებულია, ნაწილი ახალა იწყებს ამოქმედებას, ნაწილი კი - ელოდება თავის მომავალს. ყველა ამ რესურსების ამოქმედება უკავშირდება საქართველოსათვის მეტად მტკივნეული საკითხის საკუთარი ინვესტიციების უქონლობას, რის გამოც, დღევანდელი ეკონომიკური მდგომარეობიდან გამომდინარე, გამოსავალი მხოლოდ უცხოურ ინვესტიციებში უნდა ვეძიოთ. თუმცა, გასათვალისწინებელია

ისიც, რომ უცხოელი ინვესტორები ინვესტირების საკითხს დამოუკიდებლად წყვეტენ.

საქართველოში ენერგეტიკული უსაფრთხოების, მისი სტაბილიზაციისა და განვითარების საქმეში მნიშვნელოვანი წვლილის შეტანა შეუძლია აგრეთვე სახელმწიფოს მიერ ქვეყანაში მკაცრი ენერგოდამზოგი პოლიტიკის გატარებას და ამის შედეგად ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების ფართოდ დანერგვას.

ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების ერთ-ერთ ძირითად მიმართულებას, წარმოადგენს თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების ფართოდ გამოყენება, რომელშიც საქართველოს მნიშვნელოვანი წარმატებები აქვს მოპოვებული.

თბური ტუმბოს დანადგარების დანერგვა, უზრუნველყოფს სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ეფექტურ გამოყენებას, იძლევა წარმოების სრული კომპიუტერიზაციის შესაძლებლობას, ხელს უწყობს წარმოების ელექტრიფიკაციის დონის ამაღლებას, პროდუქციის ხარისხისა და მოსახლეობის საყოფაცხოვრებო პირობების გაუმჯობესებას, გამორიცხავს გარემოს გაჭუჭყიანებას. თბური ტუმბოს დანადგარის ფართოდ დანერგვა ქვეყნის ენერგოსისტემისათვის შეასრულებს ელექტროენერჯის მომხმარებელ-რეგულატორის როლს [3,34].

1.3. გარემოს ბუნებრივ-კლიმატური პირობების, შენობის თბური რეჟიმისა და ქვეყნის სათბობ-ენერგეტიკული ბალანსის გავლენა თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების მუშაობის ეფექტურობაზე

როგორც წინა პარაგრაფში იყო აღნიშნული, საქართველოს სეკ-ის თანამედროვე მდგომარეობა ხასიათდება სათბობისა და ელექტროენერჯის მოხმარების არასაკმარისი ზრდით, ამასთან სათბობის ადგილობრივ წარმოება (მოპოვება) აკმაყოფილებს მოთხოვნათა 10-15%-ს. საჭირო

სათბობის უმეტესი ნაწილი კი - (14 მლნ. ტპს.) შემოგვაქვს გარედან. შემოტანილი სათბობის ძირითად ნაწილს შეადგენს ნავთობპროდუქტები და გაზი, რომელთა ტრანსპორტირება ხდება რამდენიმე ათასი კილომეტრის მანძილზე. ეს იწვევს მოხმარებული და პერსპექტივაში საჭირო სათბობის მიწოდების გართულებას და მეტისმეტად აძვირებს მას. საქართველოს მეურნეობის სხვადასხვა დარგებში მოხმარებული სათბობის დინამიკა გვიჩვენებს, რომ მთელი სათბობის 45% იხარჯება საყოფაცხოვრებო-კომუნალურ და დაბალტემპერატურული (100° C-მდე) ტექნოლოგიური პროცესების განსახორციელებლად. ყოველივე ზემოთქმული ადასტურებ იმას, რომ საჭიროა სეკ-ში ადგილობრივი ენერგორესურსების ჩართვა და თვით სეკ-ის ცალკეული დარგების ოპტიმიზაცია. ეს ძალზე აქტუალურია იმდენად, რამდენადაც სეკ-ზე მოდის მთელი კაპიტალდაბანდების 33% და ყოველწლიური საექსპლუატაციო ხარჯების მეოთხედი.

საქართველოში დაგროვილია თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებით სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების დაპროექტებისა და განხორციელების გამოცდილება მრეწველობისა და კულტურულ საყოფაცხოვრებო დანიშნულების ობიექტებისათვის.

თბური ტუმბოების გამოყენების პერსპექტიულობის საკითხს, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიაში ყურადღება მიექცა ჯერ კიდევ 1950-1955 წლებში. აკადემიის ა. დიდებულის სახელობის ენერგეტიკის ინსტიტუტში აკადემიკოს ვ. გომელაურისა და ინსტიტუტის ელექტროტექნიკური განყოფილების ხელმძღვანელის ა. მუსხელიშვილის მიერ, დასაბუთებულ იქნა რესპუბლიკის ჩაის ფაბრიკებში, კურორტ წყალტუბოში და შავი ზრვის სანაპიროს სანატორიუმებსა და საკურორტო ზონის სხვა საზოგადოებრივ შენობებში თბური ტუმბოების გამოყენების ენერგოეკონომიკური ეფექტურობა და შემუშავდა ამ დანადგარების კონკრეტული სქემები. შემდგომში, აღნიშნული სამუშაოების განვითარებაში მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს ამ დარგის სხვა

ქართველმა სპეციალისტებმაც: პროფ. ო. ვეზირიშვილმა, პროფ. გ. რატიანმა, ტ.მ.კ. ვ. ვარდოსანიძემ, ტ.მ.კ. ი. ჟორჯოლიანმა, ტ.მ.კ. გ. გოცირიძემ, ტ.მ.კ. ა. ხოშტარიამ, ტ.მ.კ. ო. კონდახიშვილმა, ტ.მ.დ. ნ. მელაძემ, ტ.მ.დ. ვ. ჯამარჯაშვილმა, მ. ხვითიამ და სხვა.

ცხრილში 8 მოყვანილია საქართველოს ეკონომიკის სხვადასხვა დარგებში დანერგილი თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების ძირითადი ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები [3,55].

საქართველოსა და მთელი კავკასიის რეგიონისათვის, მრეწველობაში და კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო სექტორში, სითბო-სიცივით მომარაგების რაციონალური სქემების დამუშავება, მჭიდროდ არის დაკავშირებული მომხმარებლების მდებარეობის ბუნებრივ-კლიმატურ პირობებზე. ეს პირობებია:

- სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში და შენობების მცირე თბური იზოლაციის პირობებში გათბობის სეზონის სხვადასხვა ხანგრძლივობა;
- ზაფხულის მაღალი ტემპერატურები, რის გამოც კომფორტული პირობებიდან გამომდინარე, აგრეთვე ჰაერისა და წყლის აუზის სისუფთავის მიზნით, ქალაქებსა და საკურორტო ზონებში აუცილებელია ჰაერის კონდიცირების განხორციელება.

დამაბული სათბობ-ენერგეტიკული ბალანსის პირობებში თბური და ელექტრული ენერჯის გამოსამუშავებლად, ორგანული სათბობის ხარჯის შემცირების საკითხები, აგრეთვე, სამომხმარებლო სექტორში ენერჯის ყველა ფორმის ეკონომიის საკითხები ყოველწლიურად სულ უფრო აქტუალური ხდება, ხოლო ორგანული სათბობის ხარჯის შემცირების ღონისძიებათა რეალიზაციაზე გაწეული დანახარჯები სულ უფრო გამართლებული და ეფექტური.

ცხრ.8

ობიექტის დასახელება, სადაც დანერგილია თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბოსიცივით მომარაგების სისტემა (დაბალპოტენციური სითბოს წყარო)	სამაცივრო მანქანის მარკა, სამაცივრო აგენტი, რაოდენობა	ჯამური თბომწარმოებლურობა Q _თ , კვტ(თ)	ჯამური სამაცივრო მწარმოებლურობა Q _დ , კვტ(თ)	ელექტრული სიმძლავრე N, კვტ (ე)	ტემპერატურა, °C		გარდაქმნის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა, ρ	თბური ენერჯის თვითღირებულება \$ / მეტ.სთ.
					დაბალპოტენციური წყაროსი t _{წყ}	თბომტარის t _თ		
ახუმის სავაჭრო ცენტრი (ნამუშევარი ჰაერი)	XMΦYU-90 R 12, 4 ც.	600	400	208	10	50	2,9	14,2
სამტრედიის ჩაის ფაბრიკა (ნამუშევარი ჰაერი)	XMΦYU-400+ +MKT-350 R 142 B, 6 ც.+1ც.	4600	3400	1250	25	85	4,1	17,1
300 ადგილიანი სასტუმრო წყალტუბოში (ნამუშევარი თერმული წყალი)	XMΦYU-80 R 12, 3 ც.	540	300	136	25	50	4,3	11,7
საკურორტო დარბაზი ბიჭვინთაში (ზღვის წყალი)	XMΦYU-90 R 12, 2 ც.	260	200	84	11	48	3,1	12,2
კლიმატო-ბალნეოლოგიური სარეაბილიტაციო ცენტრი გაგრში (ზღვის წყალი)	MXΦYU-200 R 12, 3 ც.	980	600	360	9	60	2,7	14,3
500 ადგილიანი კომპლექსი ბობოყვათში (ზღვის წყალი) პროექტი	MKT-220 R 12, 3 ც.	930	650	290	10	50	3,2	12,1
სტუმრო კომპლექსი ურეკში (ზღვის წყალი) პროექტი	MKT-350 R 134, 4 ც.	1795	1150	640	8	50	2,8	13,3
აგარეჯოს რძის გადამამუშავებელი ქარხანა (საბრუნო წყალი)	MKT-110 R 142 B, 2 ც.	440	300	150	22	80	2,9	17,3
წყალტუბოს ხორცკომბინატი (საბრუნო წყალი) პროექტი	XMΦYU-400 R 142 B, 1 ც.	580	420	165	18	65	3,4	16,5

სასოფლო-სამეურნეო და სამრეწველო დანიშნულების ობიექტებზე, აგრეთვე, კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო სექტორში გათბობაზე, ცხელწყალმომარაგებაზე, ვენტილაციაზე და კონდიციონერებზე დახარჯული თბური ენერჯის საწარმოებლად საჭირო სათბობის ხარჯის შემცირების ერთ-ერთ ყველაზე უფრო ეფექტურ მიმართულებას წარმოადგენს მეორეული, განახლებადი ენერგორესურსების გამოყენება თბურ ტუმბოსთან ერთად.

კავკასიის რეგიონი გამოირჩევა კლიმატური პირობების მრავალფეროვნებით. აქ წარმოდგენილია როგორც თბილი სუბტროპიკული, ასევე ცივი და მკაცრი მთიანი რაიონები [55].

კავკასიის მთელი ტერიტორია დაყოფილია 6 კლიმატურ ზონად, სადაც ერთად არის დაჯგუფებული კლიმატური მახასიათებლებით ახლო მდგომი რაიონები [55].

ეს ზონებია:

I ზონა - მოიცავს საქართველოს მთელ შავიზღვის პირეთს და აქ განლაგებულ ქალაქებს - გაგრა, გუდაუთა, სოხუმი, ოჩამჩირე, ფოთი, ქობულეთი, ბათუმი, გალი, ზუგდიდი. ეს ზონა მოიცავს აგრეთვე რუსეთის შავიზღვისპირეთს - ადლერი, სოჭი, ნოვოროსიისკი და ყირიმის ნახევარკუნძულის სამხრეთ ნაწილს, სადაც მდებარეობს კურორტი იალტა.

II ზონა - მოიცავს დასავლეთ საქართველოს დაბლობ ნაწილს ქალაქებით: ქუთაისი, ხონი, წყალტუბო, სამტრედია, ზესტაფონი, სენაკი და ოზურგეთი, აგრეთვე, აზერბაიჯანის კასპიის ზღვის სანაპირო ნაწილს - ხაჩმასიდან ასტრამდე ქალაქებით: ხაჩმასი, სუმგაითი, ბაქო, ალიატი, ლემქორანი და ასტრა.

III ზონა - მოიცავს აღმოსავლეთ საქართველოს დაბლობ ნაწილს ქალაქებით: თბილისი, თელავი, სიღნაღი, მცხეთა, საგარეჯო, გურჯაანი, დედოფლისწყარო, ლაგოდეხი, ახმეტა და ყვარელი. ეს ზონა მოიცავს აგრეთვე დასავლეთ საქართველოს ტყიბულ-ჭიათურის ზონას და აჯერბაიჯანის დაბლობ რაიონებს ქალაქებით: ყაზახი, შამქორი,

კიროვაბადი, ევლახი, მინგეჩაური, აგდამი, უჯარი, კიურდამირი, სალიამი და სხვ.

IV ზონა - მოიცავს საქართველოს მთისწინეთს ქალაქებით: ხაშური, გორი, ცხინვალი, დუშეთი და სხვ. აგრეთვე აზერბაიჯანის მთისწინეთს ქალაქებით: ზაქათალა, შეკი, კუტკაშენი, სტეფანაკერტი, შუშა და სხვ. და სომხეთის რაიონებს: ალავერდი და სტეფანავანი.

V ზონა - მოიცავს დასავლეთ საქართველოს სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილს ქალაქებით: ბორჯომი, ახალციხე, აზერბაიჯანის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილს ნახჩევანის ჩათვლით და სომხეთის დიდ ნაწილს ქალაქებით: ერევანი, ეჩმიადინი, კაფანი და სხვა.

VI ზონა - მოიცავს რაიონებს შედარებით მკაცრი კლიმატური პირობებით - ქალაქებს: მესტია, ახალქალაქი, ნინოწმინდა, ახალციხე, წალკა და სომხეთის რაიონებს გიუმრი, მიქოიანი და სხვა.

ცხრილში 9 ზემოთ წარმოდგენილი კლიმატური ზონების მიხედვით მოყვანილია გათბობისა და ჰაერის კონდიციონების სისტემების ძირითადი საანგარიშო პარამეტრები შენობის 1მ³-თვის.

განგარიშების დროს შენობის შიგა ტემპერატურად აღებული იყო: ზამთრის პერიოდში $t_{\text{შ}} = 20^{\circ}\text{C}$, ზაფხულის პერიოდში $t_{\text{შ}} = 25^{\circ}\text{C}$, ფარდობითი ტენიანობა $\varphi_{\text{შ.ზაფხ}} = 40 \div 60\%$ [55].

ცხრ. 9

გათბობისა და ჰაერის კონდიციონების სისტემების საანგარიშო მახასიათებლები კლიმატური ზონების მიხედვით

კლიმატური ზონები	გათბობის პერიოდი		კონდიციონების პერიოდი		
	ტემპერატურა, °C	სითბოს ხარჯი, ვტ/მ ³	ტემპერატურა, °C	ფარდობითი ტენიანობა, %	სიცივის ხარჯი, ვტ/მ ³
I	- 2	14,0	31,0	50	15,7
II	- 4	15,4	32,1	45	16,1
III	- 8	18,1	33,0	30	17,8
IV	- 13	21,6	30,6	35	13,7
V	-16	23,7	26,0	40	-
VI	- 20	26,5	20,0	43	-

ცხრილში 10 კლიმატური ზონების მიხედვით მოყვანილია სითბო და სიცივით მომარაგების სისტემების გაანგარიშებისათვის საჭირო ძირითადი პარამეტრები შენობის 1მ³-თვის.

ცხ. 10

სითბო და სიცივით მომარაგების სისტემების საანგარიშო პარამეტრები კლიმატური ზონების მიხედვით

კლიმატური ზონები	გათბობის პერიოდი			კონდენცირების პერიოდი		
	ხანგრძლივობა, დღე-ღამე	მაქსიმუმის გამოყენების ხანგრძლივობა, სთ	სითბოს წლიური ხარჯი, მჯ/მ ³	ცხელი დღეების ხანგრძლივობა, დღე-ღამე	მაქსიმუმის გამოყენების ხანგრძლივობა, სთ	სიცივის წლიური ხარჯი, მჯ/მ ³
I	120	1500	72,4	112	460	26,2
II	125	1550	84,2	120	470	28,6
III	151	1900	126,2	130	560	34,4
IV	168	2000	155,4	100	460	22,7
V	190	2200	184,8	38	-	-
VI	230	2500	239,5	20	-	-

თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენება სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემებში მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს სახეობაზე და მის პარამეტრებზე.

ტრადიციულად, თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედ სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემებში დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროებად გამოიყენებიან: გარე ჰაერი, მეორეული ენერგორესურსები, დიდ ბუნებრივ და ხელოვნურ წყალსაცავებში არსებული წყალი, მდინარის წყალი, გრუნტი, დაბალმინერალიზებული თერმული წყალი, მზის რადიაცია და სხვა. ცხრილში 11 მოყვანილია შავი და კასპიის ზღვების [55] წლის ტემპერატურები სანაპირო ზოლთან ახლოს. ასევე შესაძლებელია, რომ თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემებში დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროდ გამოყენებულ იქნას ამიერკავკასიის მდინარეების წყლები. ცხრილში 12 მოყვანილია ამიერკავკასიის ზოგიერთი მდინარის ბუნებრივი (ტბები) და ხელოვნური წყალსაცავების წყლის ტემპერატურები [55].

წარმოდგენილ ცხრილში $t_{\text{აიფ.}}$ - არის წყლის მინიმალური ტემპერატურა გათბობის საანგარიშო პერიოდში; $t_{\text{საშ.}}$ - არის წყლის საშუალო ტემპერატურა გათბობის საანგარიშო პერიოდში; $t_{\text{საშ.წლ.}}$ - არის წყლის საშუალო ტემპერატურა წლის განმავლობაში.

პატარა სიმძლავრის თბური ტუმბოს დანადგარებისათვის (ბინების, ინდივიდუალური სახლების) დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროდ წარმატებით გამოიყენება გარე ჰაერი. ამ შემთხვევაში, პირველ ადგილზე გამოდის ისეთი ფაქტორები, როგორცაა: დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ხელმისაწვდომობა, კონსტრუქციისა და მომსახურების სიმარტივე და დანადგარის არც ისე მაღალი ფასი. ასეთი აგრეგატები განეკუთვნებიან „ჰაერი-ჰაერი“ კლასის დანადგარებს. მათი თბური სიმძლავრე არ აღემატება 30 კვტ-ს.

თბური ტუმბოს დიდი სიმძლავრის დანადგარებისათვის, დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროდ ატმოსფერული ჰაერი არ გამოდგება. ეს განპირობებულია ჰაერის თბოფიზიკური თვისებებით - სითბოტევადობისა და თბოგაცემის კოეფიციენტების დაბალი მნიშვნელობით. დაბალი ტემპერატურების დროს, ატმოსფერული ჰაერიდან დიდი რაოდენობით სითბოს ართმევა მკვეთრად ამცირებს დანადგარის თერმოდინამიკურ ეფექტურობას.

სხვადასხვა დანიშნულების ფერმერული ტიპის შენობა-ნაგებობებისათვის, აგრეთვე ერთმანეთისაგან შორი-შორს განლაგებული სახლებისათვის, სადაც მოთხოვნილი თბური სიმძლავრეები დიდი არ არის, შეიძლება გამოყენებულ იქნას გრუნტის სითბოზე (როგორც დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროზე) მომუშავე თბური ტუმბოს დანადგარები.

თბური ტუმბოს სისტემებში დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროდ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე (იქ სადაც ამის შესაძლებლობა არის) დაბალ მინერალიზებული და დაბალ ტემპერატურული გეოთერმული წყალი. ასევე, მზის ენერჯის ხარჯზე ჰელიოდანადგარებში გამთბარი

წყალი, თბური ტუმბოს დანადგარებში შეიძლება გამოყენებული იქნას დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროდ.

დიდი სიმძლავრის თბური ტუმბოს დანადგარებში, დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროდ ძირითადად გამოიყენება საწარმოების ტექნიკური საბრუნო წყალმომარაგების სისტემები. განვიხილოთ ეს საკითხი უფრო დაწვრილებით.

ენერგორესურსების მოხმარების სწრაფი ზრდა იწვევს არამხოლოდ ბუნებრივი სიმდიდრის გამოფიტვას, სულ უფრო მწვავედ დგას ნარჩენი სითბოს გარემოში გამოტყორცნის თავიდან აცილებისა და თბური გაბინძურებისაგან ბიოსფეროს დაცვის პრობლემა.

მაგალითად, თეს-ები და აეს-ები გამაცივებელი წყლის დახმარებით გარემოში გამოტყორცნიან მოხმარებული ენერჯის 50 ÷ 55%-ს. სამრეწველო საწარმოები ხვდასხვა ტექნოლოგიურ პროცესებში მანქანა-დანადგარების გასაცივებლად მოიხმარენ დიდი რაოდენობით წყალს, რომელთა ტემპერატურა 20 ÷ 30° C -ის ტოლია. ამ წყლის გაცივება ხდება შხეფსაცივრებში ან სხვა საორთქლებელ მაცივრებში, გადასცემენ რა ატმოსფეროს როგორც სითბოს, ასევე წყლის გარკვეულ რაოდენობას.

ცხრილში 13 მოყვანილია საბრუნო წყალმომარაგების ტიპური მაცივებლების მუშაობის რეჟიმები. ცხრილში 13 მოყვანილი მონაცემები მოცემულია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც მაცივებლებზე მოწოდებული გასაცივებელი წყლის ტემპერატურები არ აღემატება 40 ÷ 45° C-ს.

სამრეწველო საწარმოების მიერ მრავალჯერ გამოყენებული წყალი საბოლოოდ ჩაედინება საკანალიზაციო სისტემაში, საიდანაც ხდება ბუნებრივ წყალსატევში. ნათამედროვე პირობებში, გარემოს დაცვითი მოთხოვნებიდან გამომდინარე, სამრეწველო და კომუნალურ საყოფაცხოვრებო ჩამონადენები წყალსატევში გადაგდების წინ, აერაციის სადგურებში გადიან გაწმენდის რთულ პროცედურებს. აერაციის სადგურებში გაწმენდილი წლის ტემპერატურა ზამთარში მერყეობს 16÷22° C-მდე.

მაშასადამე, ერთის მხრივ, სწრაფი ტექნიკური პროგრესის შედეგად იზრდება დაბალპოტენციური თბური ნაკადები, რომელთა გარემოში გამოტყორცნა გარემოსადმი ეკოლოგიური ზიანის მიყენების გარეშე სულ უფრო რთული ხდება; მეორე მხრივ კი - არსებობს ამ თბური ნარჩენების გამოყენების რაციონალური მეთოდები - თბური ტუმბოს დანადგარები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია დაბალპოტენციური სითბოს გარდაქმნა გაცილებით მაღალი ტემპერატურის მქონე სითბოდ. ამ უკანასკნელით კი შესაძლებელია დაკმაყოფილდეს მოთხოვნა თბური ენერჯის გარკვეულ რაოდენობაზე და შესაბამისად მნიშვნელოვნად შემცირდეს სათბობის ხარჯი. დაბალტემპერატურული (100° C-მდე) თბური პროცესების განხორციელებისას თბური ტუმბოების გამოყენების შემთხვევაში 50-70%-ით მცირდება ორგანული სათბობის მოხმარება და მთლიანად გამოირიცხება გარემოს ეკოლოგიური გაჭუჭყიანება [32].

ცხრ.11

ზღვის წყლის ტემპერატურები - შავი და კასპიის ზღვების სანაპირო (0,5 მ. სიღრმეზე), °C

დასახელება	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	წლიური
მს ბიჭვინთა (1946-1991 წ.წ.)													
საშუალო თვიური	10,0	9,8	9,9	11,3	15,2	19,9	23,9	25,2	23,5	19,2	16,6	12,2	16,1
მაქსიმალური	13,1	12,1	14,4	19,4	22,6	26,5	28,6	29,1	27,6	24,2	21,2	16,7	29,1
მინიმალური	7,7	7,6	7,7	7,9	10,6	12,8	15,6	16,8	17,2	11,6	9,9	8,6	7,6
მს ბათუმი (1946-1991 წ.წ.)													
საშუალო თვიური	10,2	8,9	9,0	11,4	16,4	21,9	25,0	25,7	24,1	19,8	16,0	12,6	16,0
მაქსიმალური	13,4	12,0	14,1	18,1	23,4	28,5	28,6	29,3	27,8	24,9	20,9	16,5	29,0
მინიმალური	7,2	7,5	7,7	7,8	10,0	14,9	20,9	23,1	18,9	14,7	10,8	9,0	7,2
მს ასტრა (1946-1991 წ.წ.)													
საშუალო თვიური	6,8	7,1	8,8	13,1	18,7	23,9	27,1	27,8	24,2	20,1	19,1	13,9	18,1
მაქსიმალური	12,2	13,9	17,8	22,1	27,6	32,2	32,8	32,9	31,1	29,6	25,3	22,8	32,8
მინიმალური	1,6	1,2	1,7	6,1	11,4	14,8	18,9	21,0	18,0	15,1	10,3	4,8	1,2
მს ბაქო (1946-1991 წ.წ.)													
საშუალო თვიური	5,8	6,0	8,1	13,0	19,0	23,7	26,5	27,2	24,2	18,9	13,3	8,3	16,2
მაქსიმალური	9,5	11,1	14,8	20,5	25,7	31,3	33,3	33,1	30,5	26,6	20,9	13,1	33,3

მინიმალური	0,4	0,2	1,9	5,5	11,8	16,6	22,1	19,5	15,3	10,7	3,9	2,3	0,2
------------	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----

ცხრ.12

მდინარეებისა და წყალსაცავების წყლის ტემპერატურა

დასახელება	ტემპერატურა, °C		
	t მინ.	t საშ.	t საშ.წლ.
მდ. არაგვი (ქ. მცხეთა)	4,9	7,9	11,3
მდ. ღალიძგა (ქ. ტყვარჩელი)	4,8	8,9	12,5
მდ. ენგური (ქ. დარჩელი)	5,7	7,9	12,4
მდ. რიონი (ქ. ქუთაისი)	4,8	9,8	14,1
მდ. ცხენისწყალი (ქ. სამტრედია)	4,9	9,9	13,9
მდ. ტყიბული (ქ. ტყიბული)	5,2	8,7	13,5
მდ. ხობი (ქ. ხობი)	5,8	9,8	12,3
მდ. მტკვარი (სამხრეთ-აღმოსავლეთი)	6,0	8,8	15,9
მდ. რაზდანი (ქ. რაზდანი)	7,0	8,7	11,1
მდ. არაქსი (ქ. ჯულფა)	4,1	6,9	11,2
მინგეჩაურის წყალსაცავი	6,7	9,8	15,6
სამგორის წყალსაცავი	5,1	9,7	13,6
ტბა სევანი	4,8	9,3	14,1
ტბა რიწა	4,5	5,1	9,9
ტბა ფარავანი	6,1	7,8	10,0
ხრამის წყალსაცავი	5,3	7,9	10,2

ცხრ.13

მაცივებლის ტიპი	მაქსიმალური ხვედრითი თბური დატვირთვა, კვტ/მ ²	წყლის ტემპერატურის რეკომენდირებული სხვაობა, °C	გაცივებული წყლისა და ჰაერის ტემპერატურის მინიმალური სხვაობა სველი თერმომეტრით, °C
ტბორ-მაცივებელი	0,25 – 0,45	5 - 10	10 - 12
საშხეფი ავზები	8 - 17	5 - 10	10 - 12
კომპურა	70 - 90	5 - 12	8 - 10
შხეფსაცივრები	90 - 110	3 - 20	4 - 5
სვენტილაციო			

თავი 2

2.1. სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი კომპლექსური სისტემების გამოყენების თეორიული გამოკვლევა

ენერგოეკოლოგიური ეფექტურობა ქვეყნის ეკონომიკური განვითარების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია. საქართველოს ეროვნული მეურნეობის სხვადასხვა დარგში სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი სისტემების გამოყენების პერსპექტივების მეცნიერული დასაბუთება, მათი პრინციპული და ტექნოლოგიური გადაწყვეტილების დამუშავება უდაოდ ძალზე აქტუალურია. მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს ჩვენი ქვეყნის სოციალურ-ეკონომიკური გაანგარიშების ძირითადი მიმართულებებისა და ენერგეტიკის განვითარების კონცეფციების შემუშავებისას. მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები, აგრეთვე დამუშავებული საინჟინრო მეთოდები შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების საინვესტიციო პროექტების მომზადებისას, ქვეყნის სხვადასხვა დარგების თბურ და სიცივის ენერგიაზე მოთხოვნილების ეფექტურ დაკმაყოფილებას და ეკოსისტემის დაცვას, აგრეთვე სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის ავტონომიურობის ხარისხის ამაღლებას.

ჩვენი ქვეყნის საიმედო ენერგოუზრუნველყოფის მდგრადი განვითარებისა და აქედან გამომდინარე, ენერგოუსაფრთხოების განმტკიცების მიზნით აუცილებელია, რომ 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 შესაძლებლობებიც.

სხვადასხვა ობიექტის სითბო-სიცივით მომარაგების ერთ-ერთ ასეთ ტექნოლოგიურ გადაწყვეტას წარმოადგენს თბური ტუმბოს დანადგარების

ფართოდ გამოყენება ქვეყნის მეურნეობის სხვადასხვა დარგში, კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო და საზოგადოებრივი მომსახურების სფეროებში.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, დისერტაცია ეძღვნება საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის ოპტიმალურად განვითარების საკითხებს თბური ტუმბოს დანადგარების ბაზაზე შექმნილი სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი ეფექტური სისტემების ფართოდ გამოყენების გათვალისწინებას, რაც უდავოდ შეუწყობს ხელს ქვეყნის საკუთარი, განახლებადი ენერგორესურსების მაქსიმალურ ათვისებას და მათ რაციონალურ მოხმარებას.

გაანალიზებულია საქართველოში ოთხმოციან წლებში თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენების დონე და იმ პერიოდის სამომავლო პერსპექტივები (იხ. ცხრ.8).

ჩვენს მიერ დამუშავებულია თბური ტუმბოს დანადგარების ბაზაზე სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი სისტემების გამოყენების პირობების სისტემური ანალიზის საკითხები, რომელიც ითვალისწინებს: რეგიონის ბუნებრივ-კლიმატურ პირობებს; შენობების თბური რეჟიმების ფორმირების თავისებურებებს; რეგიონის სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის სტრუქტურულ თავისებურებებს და მისი განვითარების პერსპექტივებს; ეკონომიკის სპეციალიზაციის ტენდენციებს; გარემოს დაცვისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს; სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების შემადგენელი ცალკეული დანადგარების ტექნიკურ-ეკონომიკურ მახასიათებლებს, რაც შეუწყობს ხელს საქართველოში თბური ტუმბოების ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური ენერგოდამზოგი სისტემების ფართოდ დანერგვას სამრეწველო და საზოგადოებრივი დანიშნულების ობიექტებისათვის.

პრობლემის კომპლექსური გადაწყვეტის საფუძველზე ჩვენს მიერ დამუშავებულია სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი

სისტემების თეორიული კვლევების მეთოდები სხვადასხვა ტიპის სამაცივრო დანადგარების თბური ტუმბოს რეჟიმებში მუშაობის პირობებში, რომელიც წარმოადგენს სითბო-სიცივით მომარაგების ახალი კომპლექსური სისტემების ოპტიმიზაციის საფუძველს.

მრავალი საწარმოს 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 თბური ტუმბოს 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. ამასთან, რძის გადამამუშავებელ ქარხნებში თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენების

შედეგად მიიღწევა დიდი რაოდენობით მტკნარი წყლის ეკონომია. გარდა ამისა, სითბოსა და სიცივის ერთდროულად მოხმარებას ის უპირატესობა აქვს, რომ სამაცივრო ციკლის შეუქცევადი დანაკარგები თბურ ტუმბოში გამოიყენება მოხმარებლის მიერ, რითაც იზრდება სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემის საერთო ენერგეტიკული და ეკონომიკური მაჩვენებლები. სითბოსა და სიცივის ერთდროულად გამომუშავებას კიდევ ის პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, რომ ამ შემთხვევაში გამოიყენება ერთი და იგივე სამაცივრო დანადგარები, რაც ტექნოლოგიურ-ეკონომიკური და საექსპლუატაციო თვალსაზრისით მეტად მნიშვნელოვანია.

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

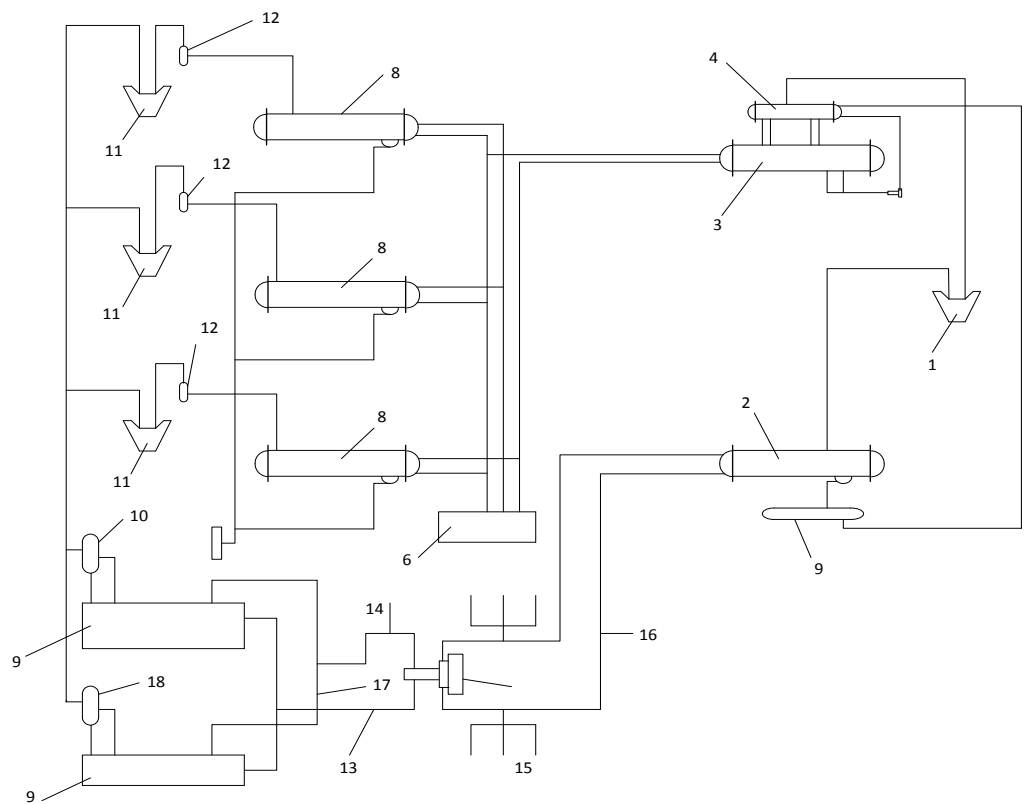
ტექმპერატურა - t_3 და კონდენსაციის კუთრი სითბოს - q_3 საანგარიშო ემპირიული ფორმულები:

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

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

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

სადაც, t_0 - ფრეონის დუდილის ტექმპერატურაა, 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.).

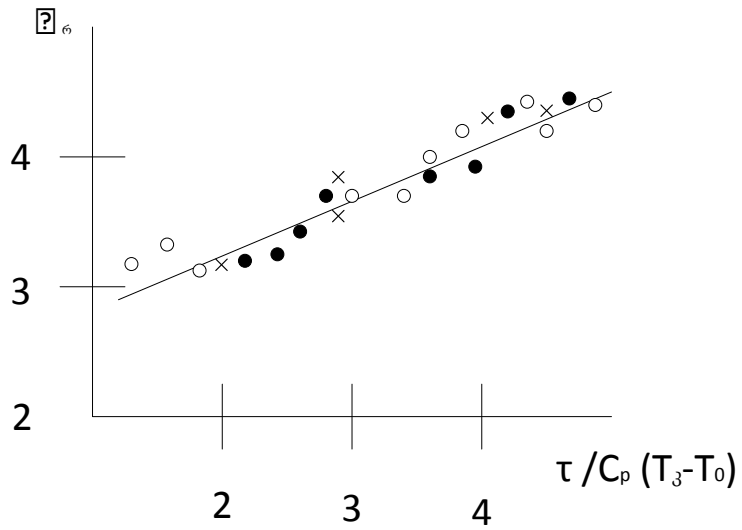
სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემის დასაპროექტებლად საჭიროა ვიცოდეთ მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური ძირითადი მახასიათებლების (φ_i , λ , η_i) დამოკიდებულება მათი დანადგარების მუშაობის რეჟიმზე. ჩვენს მიერ შეფასებულია თბური ტუმბოს დანადგარის ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტის φ_6 გასაანგარიშებელი ფორმულის ფუნქციური დამოკიდებულება $\tau_3 / c_p(T_3 - T_0)$, რაც შეიცავს კლაუზიუსის კრიტერიუმს, რომელიც ახასიათებს ფრეონების თვისებებს.

ზემოთქმულიდან დაკავშირებით, მიღებულია ფორმულა სხვადასხვა ფრეონებისათვის;

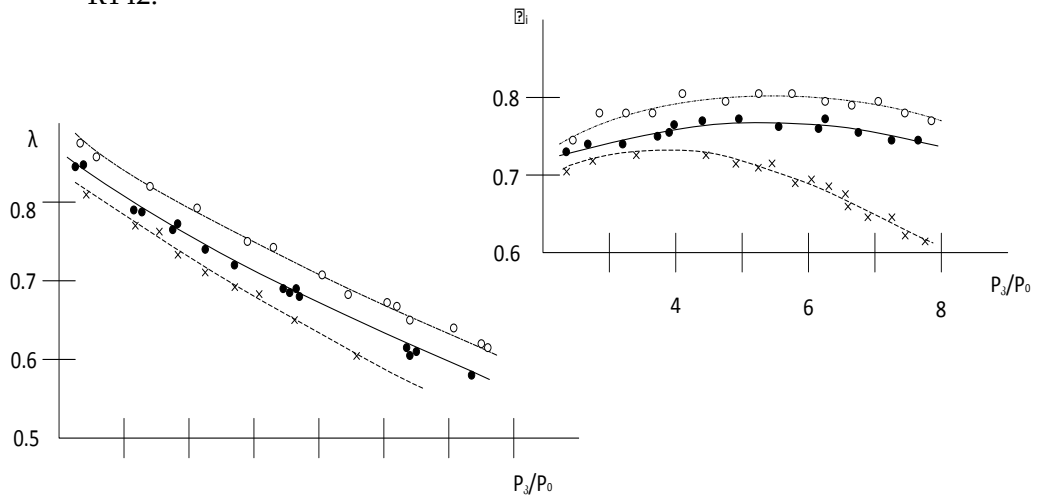
$$\varphi_6 = 2,48 (\tau_3 / c_p(T_3 - T_0))^{0,42} \quad (4)$$

ეს ფორმულა წარმატებულად გამოიყენება „რეკომენდაციები სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოდამზოგი სისტემების დასამუშავებლად“, რომელიც უკვე წარმატებით გამოიყენება საპროექტო ორგანიზაციების მიერ [4,6]. ნახ.2-ზე მოყვანილია განზოგადებული დამოკიდებულება რეალური ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის სხვადასხვა ფრეონებისათვის.

განზოგადებული თბური ტუმბოს მოცულობითი λ და ენერგეტიკული η_i მახასიათებლები სხვადასხვა ფრეონებისათვის მოყვანილია ნახ.3-ზე.



ნახ. 2 განზოგადებული დამოკიდებულება რეალური სატრანსფორმაციო კოეფიციენტისა φ_6 სხვადასხვა ფრეონებისათვის თბური ტუმბოს მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმისაგან 0 - R12, ●ნარევი R12 და R142, X - R142.



ნახ.3. თბური ტუმბოს გამზოგადებული მოცულობითი λ (a) და ენერგეტიკული η (b) მახასიათებლები სხვადასხვა ფრეონებისათვის 1 - R12, 2- ნარევი R12 და R142, 3 - R142.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ყველა ეს მახასიათებლები (ნახ.2, 3) წარმატებით გამოყენებას პოულობენ სითბო-სიცივით კომპლექსური ენერგოდამზოგი სისტემების პროექტირებისას და პრაქტიკული

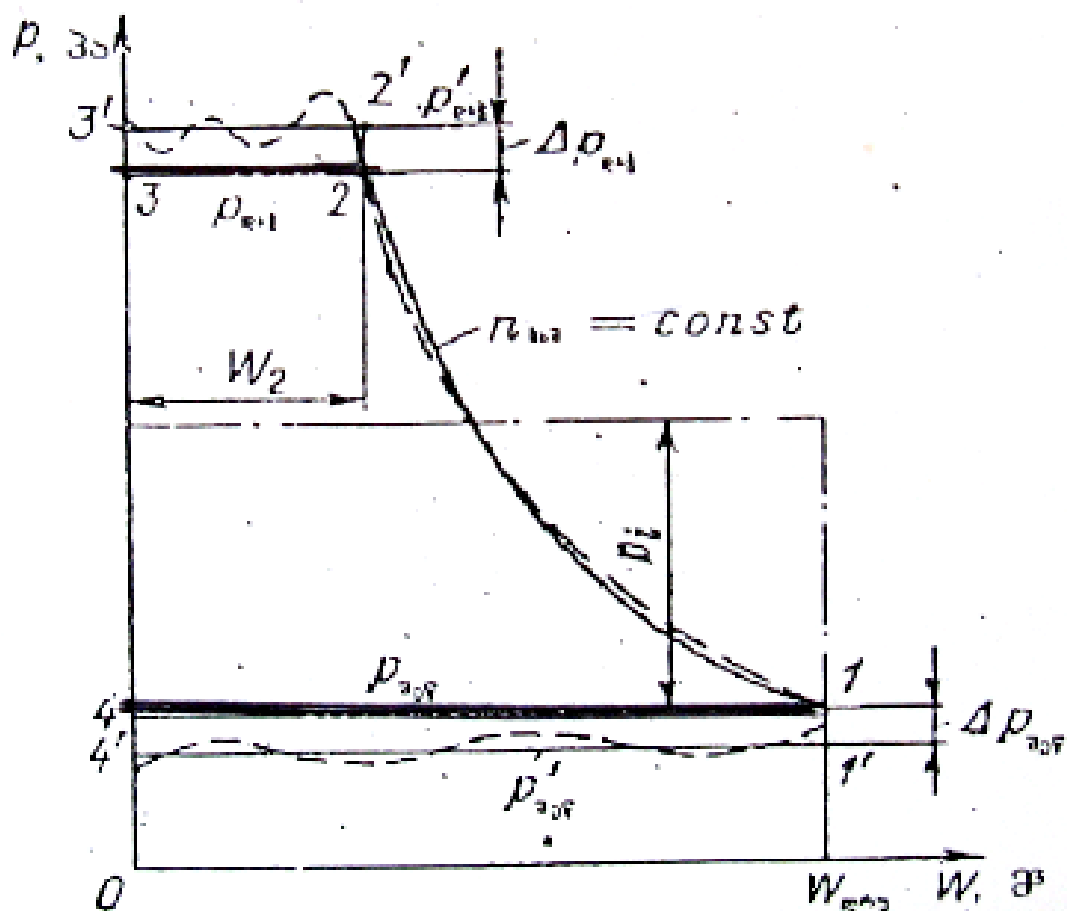
განხორციელებისას, აგრეთვე პერსპექტიული ობიექტების ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასებისას, შესაბამისი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური ენერგოდამზოგი სისტემების ოპტიმალურ შერჩევა-დაგეგმარებისას, რომელიც უზრუნველყოფს საქართველოს ენერგეტიკის მდგრადი განვითარების გზაზე პირველი ნაბიჯების გადადგმას, რაც საბოლოო ჯამში გამოიწვევს საქართველოს სოციალურ-ეკონომიკური პირობების შემდგომ გაუმჯობესებასაც.

საქართველოს სახელმწიფო სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრამის (საქართველო: ნტკ-90, პროგრამა p - 0.1201) ფარგლებში სამტრედიის ჩაის ფაბრიკაში, 1990 წელს შეიქმნა ხრახნული ტიპის კომპრესორიანი MKT- 350 - 2-1 ბაზაზე მოქმედი თბური ტუმბოს საცდელ-სამრეწველო დანადგარი, სადაც მაცივებელ აგენტად გამოყენებული იყო ფრეონი R142 [3].

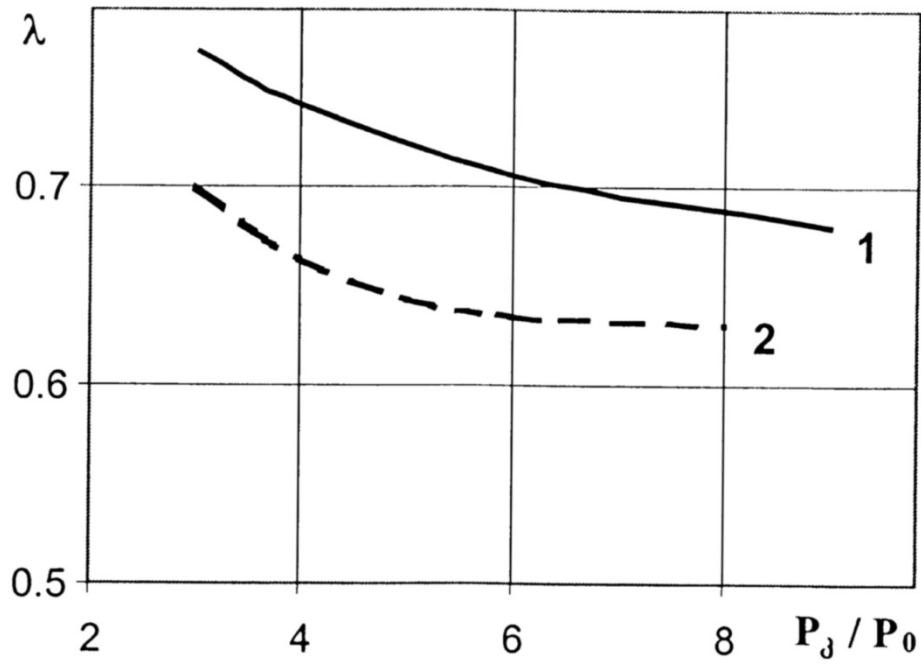
ნაშრომში მოყვანილია ხრახნული ტიპის კომპრესორიანი სამაცივრო მანქანის MKT- 350 -2-1 თბური ტუმბოს რეჟიმში მუშაობის თეორიული ანალიზი და დამუშავებულია თბური გაანგარიშების მეთოდიკა. დადგენილია ხრახნული ტიპის კომპრესორიანი თბური ტუმბოს საცდელ-სამრეწველო დანადგარის ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლები და თბური პროცესების საანგარიშო პარამეტრები მისი სხვადასხვა რეჟიმში მუშაობის დროს. ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების ანალიზისა და განზოგადების საფუძველზე, საკმაო სიზუსტით უზრუნველყოფს, თბური ტუმბოს რეჟიმში მომუშავე ხრახნული ტიპის კომპრესორში (ნახ.4) მიმდინარე რეალური თერმოდინამიკური პროცესების გაანგარიშებას.

ჩატარებული თეორიული კვლევების ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ ხრახნული ტიპის კომპრესორის მოცულობითი λ_1 (ნახ.5) და ენერგეტიკული λ_ϕ (ნახ.6) მახასიათებლები 12-15%-ით აღემატება იგივე რეჟიმებში მომუშავე დგუშიანი ტიპის კომპრესორიანი სამაცივრო მანქანის თბოტუმბოს რეჟიმში მუშაობის ეფექტურობასა და ტექნიკურ-ეკონომიკურ მიზანშეწონილობას. აღნიშნული ტიპის დანადგარები, შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს როგორც მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში

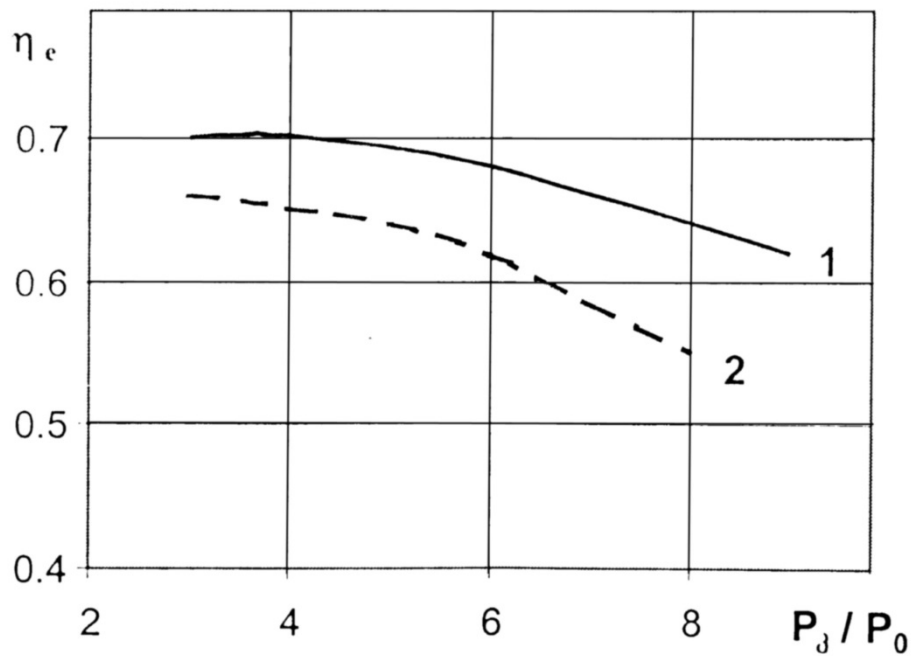
ტექნოლოგიური პროცესების სითბო-სიცივით უზრუნველსაყოფად, ასევე საზოგადოებრივი დანიშნულების ობიექტების (სანატორიუმების, სასტუმროების, საცხოვრებელი სახლებისა და სხვ.) გასათბობად, ცხელი წყალმომარაგების და ჰაერის კონდიციონირების განსახორციელებლად.



ნახ.4. ხრახნული ტიპის კომპრესორის მუშა ციკლის ინდიკატორული დიაგრამა W-P კოორდინატებში (შტრიხებით ნაჩვენებია რეალური ციკლის დიაგრამა).



ნახ.5. თბური ტუმბოს კომპრესორის მოცულობითი კოეფიციენტის λ დამოკიდებულება P_3/P_0 -ზე; 1 - ხრახნული ტიპის, 2 - დგუშიანი.



ნახ.6. თბური ტუმბოს კომპრესორის ეფექტური მ.ქ.კ.-ის დამოკიდებულება P_3/P_0 -ზე; 1- ხრახნული ტიპის, 2 - დგუშიანი.

ჩატარებული თეორიული კვლევის შედეგების, განზოგადებული ანალიზის საფუძველზე მიღებულია თბური ტუმბოს დანადგარების თბომწარმოებლურობის - $Q_{\text{თ}}$, ეფექტური სიმძლავრის - Ne და ტრანსფორმაციის - φ უგანზომილებო მნიშვნელობების საანგარიშო განტოლებები, რომლებიც შესაძლებელია საკმარისი სიზუსტით ($6 \div 9\%$) იქნეს გამოყენებული თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების გაანგარიშებისას (ნახ.7) კონკრეტული ობიექტების პროექტირებისას.

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

$$Ne = 0,33 P_{\text{დაჭ.}} / P_{\text{შეწ.}} + 0,34 \quad (6);$$

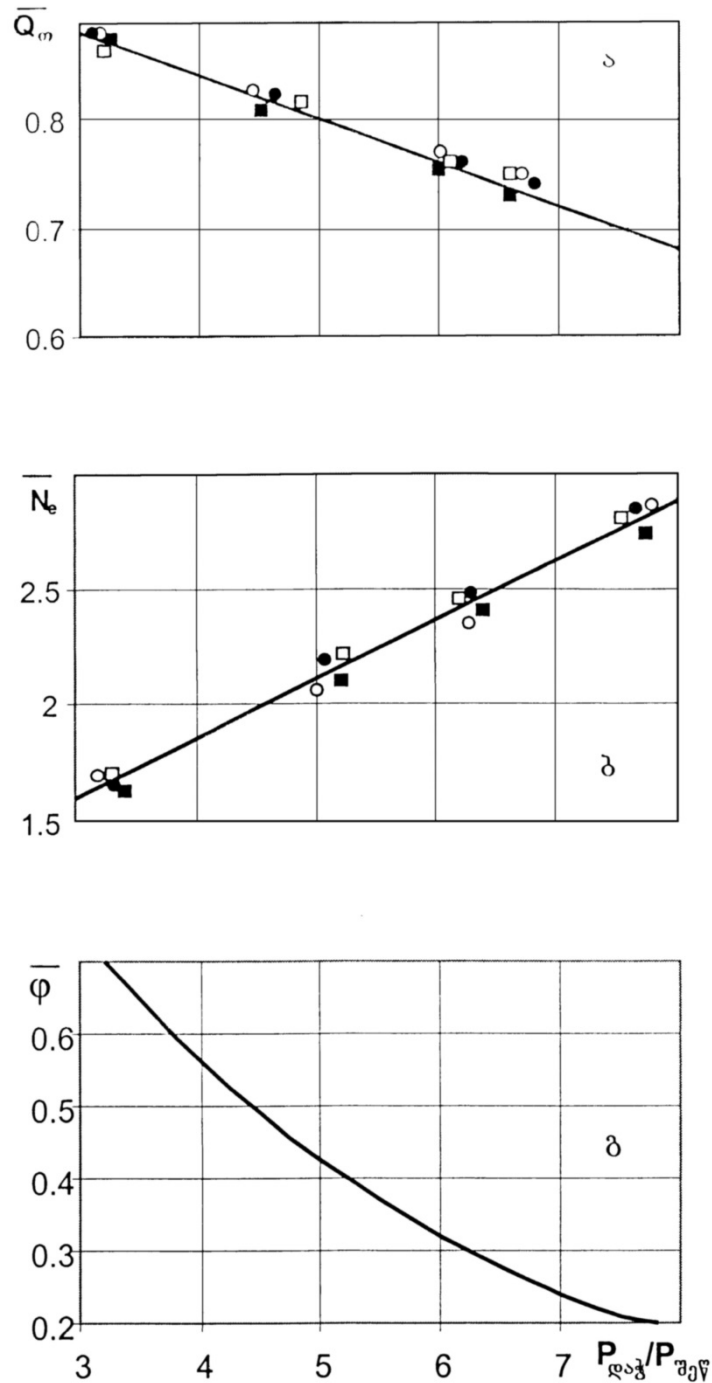
$$\varphi = 1,72 (P_{\text{დაჭ.}} / P_{\text{შეწ.}} - 0,73)^{-1} \quad (7)$$

უკანასკნელი 10-15 წლის განმავლობაში, თავი იჩინა მნიშვნელოვანმა ჩამორჩენამ საქართველოს სახალხო მეურნეობის ელექტროენერგეტიკული ბაზის განვითარებაში, საკმარისია ითქვას, რომ უკვე 2000 წელს ელექტროენერგეტიკის მოხმარებამ ქვეყანაში ერთ სულ მოსახლეზე შეადგინა 1650 კვტ.სთ. მაშინ, როდესაც საბჭოთა კავშირში საშუალოდ ეს მაჩვენებელი იყო 5000-55000 კვტ.სთ-ის დონეზე. ამჟამად, ერთ სულ მოსახლეზე ელექტროენერჯის წლიური მოხმარების მიხედვით /2000 კვტ.სთ ფარგლებში) საქართველო, ყოფილი სსრკ ქვეყნებიდან, უსწრებს მოლდოვას და სასომხეთს, ხოლო აღმოსავლეთ ევროპის ქვეყნებიდან ორჯერ ჩამორჩება ბულგარეთს.

ბუნებრივია, რომ შექმნილ ვითარებაში, საქართველოში დაუშვებლად დაბალია შრომის ელექტროაღჭურვილობა როგორც მრეწველობაში, ისე სოფლის მეურნეობაში.

1990 წელს ელექტროენერჯის წლიურმა მოხმარებამ საქართველოში შეადგინა 18,2 მლრდ. კვ.სთ, იმ დორს, როდესაც რესპუბლიკის ელექტროსადგურებში წლის განმავლობაში გამოიმუშავდა 14,2 მლრდ.კვტ.სთ ელექტროენერგია. ელექტროენერჯის დეფიციტი, რომელმაც 4 მლდრ.კვტ.სთ გადააჭარბა, დაიფარა მეზობელი რეგიონებისა

და ძირითადად სომხეთისა და აზერბაიჯანის ენერგოსისტემებიდან გადმოდინებული ელექტროენერგიით.



ნახ.7. უგანზომილებო თბომწარმოებლურობის Q_m (ა), უგანზომილებო ეფექტური სიმძლავრისა N_e (ბ) და უგანზომილებო ტრანსფორმაციის ϕ (გ) დამოკიდებულება ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოს დაჭირხნისა $P_{\text{დაჭ}}$ და შეწოვის $P_{\text{შეწ}}$ წნევების ფარდობაზე $P_{\text{დაჭ}}/P_{\text{შეწ}}$. 0 – R 142; ● R12; ◻ - R12 და R 142 B-ს ნარევი; ■ - R22 და R 12 B-ს ნარევი.

ელექტროენერგეტიკის განვითარების ამჟამად დასახული გეგმების თანახმად, ელექტროენერჯის წლიური მოხმარება (ოპტიმისტური მოდელი) საქართველოში 2015 წელს მიაღწევს დაახლოებით 11-12 მლრდ.კვტ.სთ-ს, 2026 წელს 20-23 მლრდ.კვტ.სთ-ს, ხოლო 2030 წელს -30- 32 მლრდ.კვტ.სთ-ს.

საქართველოში ელექტროენერგეტიკის განვითარების პერსპექტივების სწორი შეფასება მოითხოვს - შემდეგი ორი მეტად მნიშვნელოვანი საკითხის გათვალისწინებას.

პირველი საკითხი ეხება ელექტროენერჯის მოხმარების ცვალებადობას დღე-ღამის განმავლობაში. ცნობილია, რომ ყოველ რეგიონში, ელექტრული დატვირთვის სიმძლავრე დღე-ღამის განმავლობაში მნიშვნელოვან ცვალებადობას განიცდის, მაგრამ არასდროს არ იწვევს გარკვეულ დონეზე ქვევით. ამასთან დაკავშირებით, დღე-ღამის განმავლობაში მოხმარებული ელექტროენერჯის ჯამური რაოდენობა იყოფა ბაზისურ და ცვალებად ნაწილებად. მოხმარებული ელექტროენერჯის იმ ნაწილს, რომლის სიმძლავრე დღე-ღამის განმავლობაში უცვლელი რჩება, ბაზისურ ენერჯიას უწოდებენ, ხოლო მოხმარებული ენერჯიის ცვალებად ნაწილს კი - პიკურ და ნახევრადპიკურ ენერჯიას.

იმ დროს, როდესაც ბაზისური ელექტროენერჯის სიმძლავრე, ნათქვამის თანახმად, დღე-ღამის განმავლობაში პრაქტიკულად უცვლელი რჩება, მოხმარებული ელექტროენერჯის ცვალებადი ნაწილის სიმძლავრე დღე-ღამის განმავლობაში განუწყვეტლივ მერყეობს და იცვლება ნულიდან მაქსიმუმამდე. საშუალოდ, წლის განმავლობაში მოხმარებული ელექტროენერჯის დაახლოებით 60%-ს შეადგენს ბაზისური ენერჯია, ხოლო დანარჩენ 40%-ს - ცვალებადი, ანუ პიკური და ნახევრად-პიკური ენერჯია.

ამჟამად, მსოფლიოში მოხმარებული ელექტროენერჯის ძირითადი ნაწილის გამომუშავება ხორციელდება თბურ და ატომურ ელექტროსადგურებში. ცვალებადი სიმძლავრით მუშაობა კი მკვეთრად აუარესებს ამ ელექტროსადგურების საექსპლუატაციო მაჩვენებლებს, რადგან დატვირთვის ცვალებადობა განაპირობებს სათბობის მნიშვნელოვან გადახარჯვას, იწვევს სარემონტო სამუშაოების მოცულობის ზრდას და სხვა. ამასთან დაკავშირებით, მსოფლიოს თითქმის ყველა ენერგეტიკულ სისტემებში, პიკურ და ნახევრად-პიკურ დატვირთვათა დაფარვა დაკავშირებულია სერიოზულ სიძნელეებთან.

თბური და ატომური ელექტროსადგურებიდან განსხვავებით, ცვალებადი სიმძლავრით მუშაობა პრაქტიკულად უმტკივნეულოა ჰიდროელექტროსადგურებისათვის.

საქართველოს გააჩნია საკმაოდ მდიდარი ჰიდროენერგეტიკული რესურსები. ითვლება, რომ რესპუბლიკის ეკონომიკური ჰიდროენერგეტიკული რესურსები იძლევიან 35-40 მლრდ.კვტ.სთ-ს ელექტროენერჯის გამომუშავების შესაძლებლობას. ყოველ შემთხვევაში, ეკოლოგიური და სხვა რეალური პირობების გათვალისწინებით შეიძლება ჩაითვალოს, რომ რესპუბლიკის ამჟამად ასათვისებელი რეალური ეკონომიკური ჰიდროენერგეტიკული რესურსები შეადგენენ მინიმუმ 25-30 მლრდ.კვტ.სთ-ს წელიწადში.

როგორც ეს ზემოთ იყო ნათქვამი, ელექტროენერჯის წლიური მოხმარება საქართველოში 2030 წელს მიაღწევს 20-21 მლრდ.კვტ.სთ-ს. ეს იმას ნიშნავს, რომ პიკური და ნახევრად-პიკური ენერჯის მოხმარება 2030 წელს ქვეყანაში აღმოჩნდება 12.8 მლრდ.კვტ.სთ-ის დონეზე.

1990 წელს საქართველოს ჰიდროელექტროსადგურებში გამომუშავებულმა ელექტროენერჯიამ შეადგინა 7,7 მლრდ.კვტ.სთ. ნათქვამიდან გამომდინარეობს, რომ 2030 წლისათვის ჰიდროელექტროსადგურებში გამომუშავებული ელექტროენერჯის რაოდენობა უნდა გაიზარდოს 5,1 მლრდ.კვტ.სთ-ით. ცხადია, რომ ამ

ამოცანის გადასაჭრელად, საჭირო იქნება დიდი წყალსაცავების მქონე ისეთი ჰიდროელექტროსადგურების მწყობრში ჩადგომა, რომლებიც შეძლებენ წყლის დაგროვებას თოვლის დნობის (წყალდიდობის) პერიოდში და ამჟამად მომქმედ ჰიდროელექტროსადგურებთან ერთად, მთლიანად უზრუნველყოფენ საქართველოს ენერგოსისტემის ნახევრად პიკურ და პიკურ (ცვალებად) დატვირთვათა დაფარვას მთელი წლის განმავლობაში.

ცნობილია, რომ მძლავრი ჰიდროელექტროსადგურების აგება დაკავშირებული დიდ კაპიტალურ დაბანდებებთან და მოითხოვს დიდ ვადებს, მაგრამ შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ამ მეტად მნიშვნელოვანი საკითხისათვის სათანადო ყურადღების დათმობის პირობებში, 2020 წლისათვის, საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ცვალებად დატვირთვათა დაფარვის პრობლემა შეიძლება წარმატებით იქნას გადაჭრილი.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ საქართველოს რეალური ეკონომიკური ჰიდროენერგეტიკული რესურსები, როგორც ეს ზემოთ იყო ნათქვამი, შეადგენენ 25 მლრდ.კვტ.სთ-ს, რომელთაგან 2020 წელს ათვისებული იქნება მხოლოდ 12,8 მლრდ.კვტ.სთ-ს ანუ დაახლოებით ნახევარი, დავინახავთ, რომ პიკურ და ნახევრად-პიკურ დატვირთვათა დასაფარავად, საჭირო ელექტროენერჯის გამომუშავება, ქვეყანაში შესაბამისი ტევადობის მქონე წყალსაცავებიანი ჰიდროელექტროსადგურების შემდგომი მშენებლობის გზით შეიძლება სავსებით იყოს უზრუნველყოფილი XXI-ე საუკუნის რამდენიმე პირველი ათწლეულების განმავლობაში.

ბევრად უფრო რთულ პრობლემას წარმოადგენს, ბაზისური ელექტროენერჯის საჭირო რაოდენობის გამომუშავების საკითხი.

1990 წელს რესპუბლიკის ელექტროსადგურებში გამომუშავებული 14,2 მლრდ.კვტ.სთ. ელექტროენერჯიდან, თბოელექტროსადგურებში გამომუშავებულმა ელექტროენერჯიამ შეადგინა 6,6 მლრდ.კვტ.სთ. ზემოთ მოყვანილი მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ 2030 წელს, როდესაც ელექტროენერჯის მოხმარება საქართველოში მიაღწევს 20-

21მლრდ.კვტ.სთ-ს, ბაზისური ენერჯის წლიური მოხმარება აღმოჩნდება 7-8 მლრდ.კვტ.სთ-ის დონეზე.

როგორც ცნობილია, სახელმწიფო ორგანოების შესაბამისი დადგენილებებით, გათვალისწინებული იყო საქართველოში მძლავრი ატომური ელექტროსადგურის აგება და მიმდინარეობდა ამ ელექტროსადგურის დაგეგმარება, მაგრამ ჩერნობილის ატომურ ელექტროსადგურში მომხდარი ავარიის შემდეგ, უარყოფილი იქნა ატომური ელექტროსადგურის აგების პროექტი. ამასთან დაკავშირებით, მიღებულია გადაწყვეტილება, თბილისის სახელმწიფო რაიონული ელექტროსადგურის რეკონსტრუქციის და ახალი 230 მგვტ სიმძლავრის აირტურბინული თესის მშენებლობის. თბოელექტროსადგურების ამ ახალ სიმძლავრეთა ამოქმედებას შეუძლია სავსებით უზრუნველყოს იმ ბაზისური ელექტროენერჯის გამომუშავება, რომელიც დამატებით იქნება საჭირო საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ბაზისურ დატვირვათა დასაფარავად 2030 წელს.

თბოელექტროსადგურებში ელექტროენერჯის გამომუშავების საკითხი, განუყრელად არის დაკავშირებული ამ ახალ სიმძლავრეთა სათბობით უზრუნველყოფის პრობლემასთან. თბოელექტროსადგურებში ელექტროენერჯის ასეთი რაოდენობის გამომუშავებას დასჭირდება დამატებით დაახლოებით 5 მილიონი ტონა პირობითი სათბობი, ან 8,5 მილიარდი კუბური მეტრი ბუნებრივი აირი.

ვინაიდან საქართველოს არ გააჩნია ორგანული სათბობის საკუთარი რესურსები, ნათქვამიდან გამომდინარეებს, რომ 2030 წლისათვის ახალ თბოენერგეტიკულ სიმძლავრეთა მუშაობის უზრუნველსაყოფად, ქვეყანაში ყოველწლიურად დამატებით უნდა იქნეს შემოზიდული თხევადი სათბობი 5 მილიონი ტონა პირობითი სათბობის ოდენობით, ან დამატებით უნდა იქნეს გადმოცემული 8,5 მილიარდ კუბური მეტრი ბუნებრივი აირი.

ამასთან ერთად ცნობილია, რომ ორგანული სათბობის მსოფლიო მარაგის 88%-ს შეადგენს ქვანახშირი, 8%-ს ნავთობი და 4%-ს ბუნებრივი

აირი. არსებითი მნიშვნელობა აქვს იმ ფაქტს, რომ უკვე 1995 წელს, მსოფლიოში მოხმარებული ორგანული სათბობის 60% მოდიოდა თხევად სათბობსა და ბუნებრივ აირზე. ამჟამად ითვლება, რომ თხევადი და აირადი სათბობის მარაგი მსოფლიოში ძირითადად ამოიწურება დაახლოებით 30 წლის განმავლობაში. რაც შეეხება ხვანახშირს, მისი მარაგებით მსოფლიო უზრუნველყოფილი იქნება კიდევ 500-600 წლის განმავლობაში მაინც.

უნდა ვიფიქროთ, რომ ასეთ პირობებში, საქართველოში ელექტრული დატვირთვის ბაზისური ნაწილის ნამატის დასაფარავად, საჭირო ელექტროენერჯის გამოსამუშავებლად, თხევადი სათბობის შემოზიდვის გაზრდა 5 მილიონი ტონა პირობითი სათბობის ოდენობით, ან ბუნებრივი აირის გადმოცემის გაზრდა 5,8 მლრდ. კუბური მეტრის ოდენობით, უაღრესად სერიოზულ სიძნელეებთან იქნება დაკავშირებული.

ქვანახშირის სოლიდური მარაგებია დაძიებული საქართველოს ტერიტორიაზე. სამრეწველო მნიშვნელობის საბადოზე დამტკიცებული საბალანსო მარაგი 435 მლნ. ტონას შეადგენს. გარდა ამისა, ნახშირის ჯამური პროგნოზული მარაგი ქვეყანაში დამატებით 750 მლნ. ტონით ფასდება. უკანასკნელ პერიოდში, საქართველოში წლიურად დაახლოებით 1,2-1,4 მლნ.ტ. ნახშირი მოიპოვებოდა. სპეციალისტების აზრით, სასურველია ქვეყნის ქვანახშირის მრეწველობის სიმძლავრეთა გაზრდა, რაც უზრუნველყოფს ელექტროენერჯის წარმოებას საკუთარი რესურსების ხარჯზე [7-6].

ნავთობის მომპოვებელ მრეწველობაში უნდა დაინერგოს დაძიების პროგრესული ტექნოლოგია, რაც შეიძლება განხორციელდეს უცხოეთი კაპიტალის მოზიდვით. ეს მოგვცემს საშუალებას, უახლოეს პერსპექტივაში ნავთობის მოპოვება ავიყვანოთ 1მლნ. ტონამდე წელიწადში. ბუნებრივი აირი ქვეყნისათვის ეკოლოგიურად სუფთა და მოსახერხებელი საწვავია, ამიტომ არსებული მაგისტრალური გაზსადენები და გამანაწილებელი ქსელები ეროვნული სიმდიდრეა, რომელთა გონივრულად გამოყენება დიდ სიკეთეს მოუტანს ქვეყანას.

განსაკუთრებული გეოგრაფიული მდებარეობის გამო, საქართველოში უნიკალური პირობები იქმნება სატრანზიტო გაზსადენების გავლისათვის. ამჟამად, პრაქტიკულად გადაწყვეტილია ბუნებრივი გაზის მძლავრი ნაკადების გატარება აზერბაიჯანიდან და შესაძლებელია ცენტრალური აზიიდან დასავლეთისკენ. მიუხედავად იმისა, რომ საქართველოს გააჩნია იდეალური გეოგრაფიული მდებარეობა, რაც მეტყველებს იმაზე, რომ თვით საქართველოშიც შეიძლება სათბობის საბადოების აღმოჩენა, უპირველეს ყოვლისა უნდა განხორციელდეს seek-ის განახლება. უნდა იქნეს შემენილი ახალი ტექნიკა და განახლდეს ნაგებობები. აი ამ გეგმების განხორციელების შემდეგ, საგრძნობი გახდება seek-ის დარგების წინსვლა და ენერგეტიკის მდგრადი განვითარება, რაც საქართველოს ეკონომიკას განამტკიცებს და ხელს შეუწყობს სახელმწიფოს გაძლიერებას.

თბოელექტროენერგეტიკაში აუცილებელია არსებული სიმძლავრეების განახლება აღმოსავლეთ საქართველოში (თბილსრესი) და საბაზისო ელექტროსადგურის მშენებლობა დასავლეთ საქართველოში ქვანახშირის გამოყენებით. ჰიდროელექტროენერგეტიკას, რომლის ხვედრითი წილი ელექტროენერგეტიკაში დღეისათვის შეადგენს 80%-ს, ქვეყნის ჰიდროპოტენციალის გათვალისწინებით, პერსპექტივაში შეუძლია მთლიანად დააკმაყოფილოს ქვეყნის მოთხოვნა და გახდეს ელექტროენერჯის ექსპორტიორიც. ეს მიმართულება არის ადგილობრივი ენერგორესურსების სრულად გამოყენების შესაძლებლობის შედეგი.

ენერგეტიკული მდგრადი განვითარებისა და ეკონომიკის სტაბილურობის უზრუნველყოფის საკმაოდ დიდ რეზერვია ენერგორესურსების რაციონალური მოხმარების, დანაკარგების შემცირების ღონისძიებათა დამუშავებასა და დანერგვაში. ჩვენი წინასწარი შეფასებით, ამით შესაძლებელია საქართველოში 3 მლნ. ტ. სათბობისა და 1,6 მლრდ. კვტ.სთ-ის ელექტროენერჯის დაზოგვა ყოველწლიურად. ენერგორესურსების ეკონომიკური ხარჯვის მოსაწესრიგებლად,

აუცილებელია ისეთი ეფექტიანი მექანიზმის დამუშავება და დანერგვა, რომელიც მოხმარებლებს მისცემს სტიმულს შეამციროს წარმოებული პროდუქციის ენერგოტევადობა. სასწრაფოდ მიღებული უნდა იქნას ენერგეტიკული ეფექტურობის სტრატეგიის მხარდამჭერი კანონმდებლობაც. ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების დანერგვა უნდა გახდეს ქვეყნის ენერგეტიკული მდგრადობის პოლიტიკის განმსაზღვრელი ფაქტორი.

სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის (sek-ის) დარგების რეაბილიტაცია და საჭირო ტემპებით განვითარება საკუთარი სახსრების უქონლობის პირობებში, მთლიანად არის დამოკიდებული უცხოური კრედიტორებისა და ინვესტორების მოძიებაზე. საინვესტიციო პროექტების ეკონომიკური შეფასებისას, ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდოლოგია, რომელიც ემყარება საქართველოს პირობებში ადაპტირებული ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების გამოყენების იმიტაციურ მოდელს. ეს იმიტაციური მოდელი საშუალებას გვაძლევს სწრაფად შევასრულოთ პროექტების ეკონომიკური ეფექტურობის ანალიზი, ამასთან მხედველობაშია მიღებული შემდეგი პარამეტრები: ენერგორესურსებზე, მოწყობილობებზე და დანადგარებზე მოქმედი ფასების დინამიკის სხვადასხვა შეხამება, საბანკო განაკვეთების, გადასახადებისა და სხვა თანამდები ფაქტორები.

იმიტაციური მოდელი შეიცავს ხუთ ძირითად მაჩვენებელს: მოხმარებული ენერგიის რაოდენობა; ენერგიის კუთრი ღირებულება; ცვლადი ფულადი დანახარჯები; მუდმივი ფულადი დანახარჯები და კაპიტალდაბანდებანი. შემოსავლების ფულადი ნაკადი R_t გადასახდელების შემდეგ გამოისახება ფორმულით:

$$R_t = (1-T) \cdot [S_t \cdot (P_t - V_t) - F_t] + T D_t - I_0 \quad (8)$$

სადაც, T - გადასახდელის განაკვეთი; S_t - მოხმარებული (გაყიდული) ენერგიის რაოდენობა; P_t - ენერგიის კუთრი ღირებულება (დოლ.

მგვტ.სთ.); V_t - ცვლადი დანახარჯები; F_t - მუდმივი დანახარჯები; D_t - ამორტიზაციის ანარიცხები; I_0 - საწყისი ინვესტიციები.

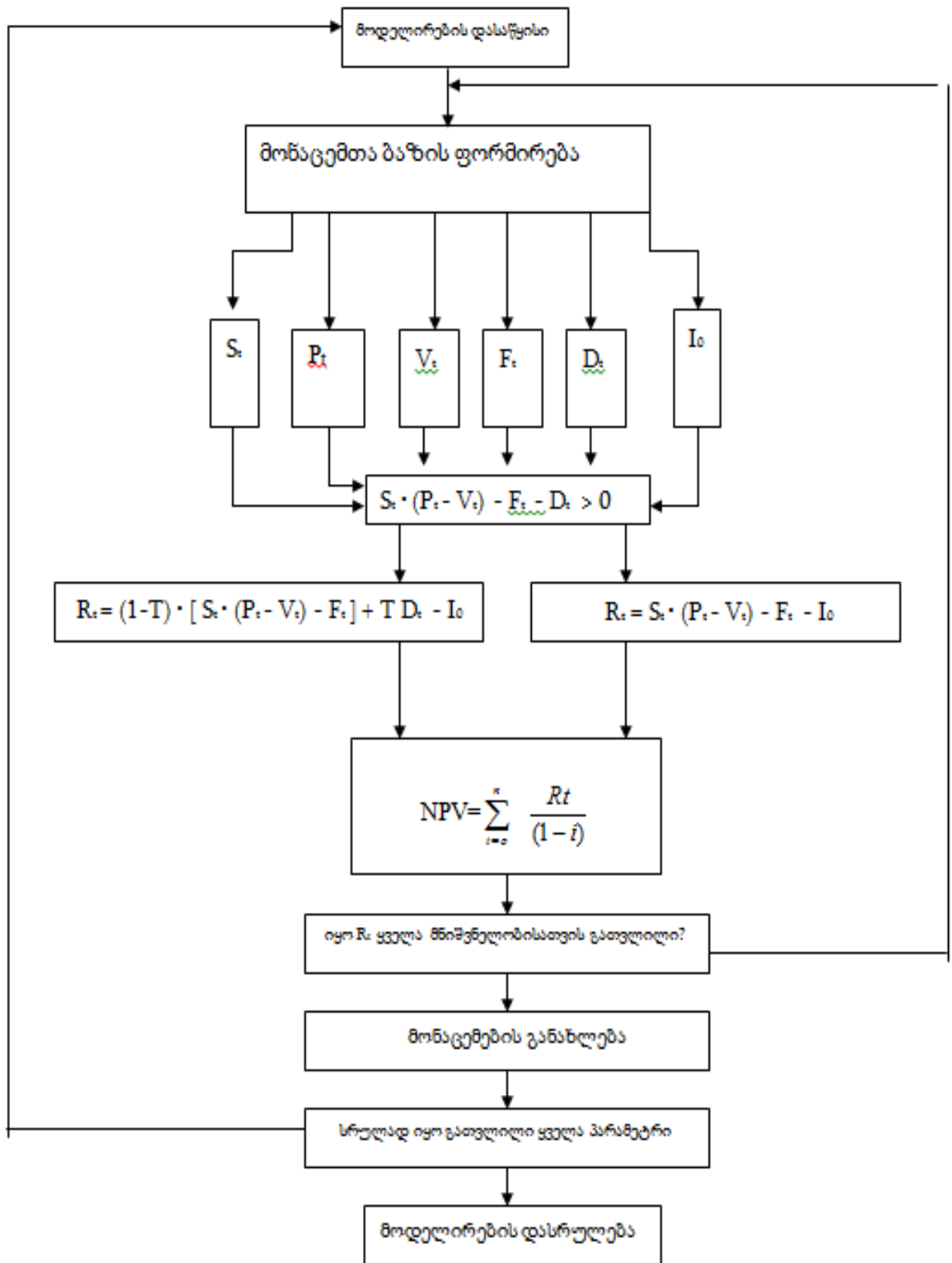
თითოეული მაჩვენებლებისათვის განისაზღვრება პარამეტრების ფართო დიაპაზონში ვარიაციის ალბათობა; თითოეული ცვლადის მნიშვნელობის განსაზღვრა; მიღებული მნიშვნელობები შეიტანება სათანადო განტოლებებში და შედეგები მეხსიერებაში გადაიგზავნება; ამ პროცედურის მრავალჯერადი განმეორებით აიგება მაჩვენებლების ცვლილების გრაფიკები; მიღებული შედეგების გადარჩევა და ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევა.

მრავალი ვარიანტის შედარების საფუძველზე, მოდელი გვამდევს რეკომენდაციას, თუ რომელი საინვესტიციო პროექტი არის ყველაზე უფრო მისაღები კონკრეტული შემთხვევისათვის. იმიტაციური მოდელი წარმოადგენს იმ ინსტრუმენტს, რომელსაც ფართოდ ეყრდნობა sek -ის დარგების ოპტიმალური განვითარება.

ზემოთმოყვანილი თეორიული კვლევის შედეგების შეჯამებით შესაძლებელია შემდეგი ძირითადი დასკვნების გაკეთება.

დამუშავებული იქნება საქართველოში სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ეკონომიის მიზნით მეცნიერულ-ტექნიკურ მიღწევათა ფართოდ დანერგვის მეთოდოლოგიური საფუძვლები. დამუშავდება ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების სტრუქტურის ფორმირება და მათი განვითარების სტრატეგიული პრინციპები, რომელიც მოგვცემს საბაზო ეკონომიკის და შეზღუდული კაპიტალდაბანდებების პირობებში ამ სისტემების რაციონალური მიმართულების განსაზღვრის საშუალებას. ამ სამუშაოს შედეგად, ნათელი წარმოდგენა შეიქმნება საქართველოში ენერგოდამზოგი სისტემების მომავალ განვითარებაზე.

მოდელირების პროცესი ხორციელდება შემდეგი თანამიმდევრობით (იხ. ნახ.8):



ნახ.8 მოდელირების პროცესი

ენერგორესურსების ეკონომიკური ხარჯვის მოსაწესრიგებლად გათვალისწინებულია ისეთი ეფექტური მექანიზმის დამუშავება და დანერგვა, რომელიც მომხმარებელს მისცემს სტიმულს შეამციროს წარმოებული პროდუქციის ენერგოტევადობა ენერგოდამზოგ ტექნოლოგიაზე ორიენტაციით. ენერგორესურსების სეზონური მოხმარების გათანაბრების მიზნით, დაინერგება ფასწარმოქმნის დიფერენციალური სისტემა, ხოლო ფასების რეგულირების მექანიზმმა უნდა უზრუნველყოს ენერჯის გამოყენების ტოლფასობა. აღნიშნულ ღონისძიებათა რეალიზაცია საშუალებას მოგვცემს მიღწეული იქნეს ელექტროენერჯის წარმოების ოპტიმალური სტრუქტურა, ენერგეტიკული სისტემის მანევრულობა, მდგრადობა და სიმძლავრის რეზერვი, რის შედეგადაც გადაწყდება ქვეყნის საჭირო რაოდენობის ელექტროენერჯით გარანტირებული უზრუნველყოფის სახელმწიფოებრივი ამოცანაც:

- გამკვლეული და გაანალიზებულია ენერგეტიკული საწარმოების მართვის ოპტიმიზაციის, როგორც მრავალდარგობრივი სამეცნიერო მიმართულებების პრობლემები, რომელთა თანამედროვე მეცნიერულ დონეზე შესწავლა და პრაქტიკაში გამოყენება გარდაუვალი ეტაპია იმ პრობლემების გადასაწყვეტად, რომლებიც წარმოშვა გარდამავალი ეკონომიკური პირობების უგულველყოფამ. ამიტომ, ენერგეტიკული საწარმოების მართვის ოპტიმიზაცია- დღევანდელი უმთავრესი ამოცანაა;
- დადგენილია ენერგორესურსების დაზოგვის სოციალური და ეკონომიკური ზღვრები. გაანალიზებულია ენერგორესურსების გამოყენების მნიშვნელობანი საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის სტრუქტურის გაუმჯობესების საქმეში;
- განხილულია სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის (sek-ის) ძირითადი პრობლემები და მისი განვითარების ოპტიმიზაცია, რაც უდაოდ ხელს შეუწყობს ენერგეტიკული საწარმოების მართვის რაციონალური მეთოდების ჩამოყალიბებას;

- დამუშავებულია ენერგეტიკული საწარმოების მართვის ძირითადი სტრატეგიული ამოცანები, რომელიც უზრუნველყოფს ენერგეტიკული კომპლექსის ყველა დარგის ურთიერთშეთანხმებულ განვითარებას;
- დასაბუთებულია ქვეყნის ენერგოუსაფრთხოების დაცვის პირობები, უზრუნველყოფა საწარმოოს სფეროში ენერგოეფექტურობის უწყვეტად ამაღლების უახლესი ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების დანერგვის გზით, ამ სფეროს განვითარების საინვესტიციო მიმზიდველობის სტიმულირებით, ამ დარგის ეკონომიკურ პირობათა როლის გაძლიერების პოლიტიკის წარმართვითაც.

თავი 3

3.1. სამრეწველო და საზოგადოებრივი დანიშნულების ობიექტებისათვის თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდика

თბური ტუმბოს დანადგარების ეფექტური გამოყენების სფეროების განსაზღვრისათვის, ეკონომიკის სხვადასხვა დარგებში მათი ფართო დანერგვისა და შემდგომში სწორი ექსპლუატაციისათვის აუცილებელი გამოცდილების დაგროვების მიზნით, ჩვენს მიერ დაპროექტდა, განხორციელდა და ნორმალურ საექსპლუატაციო პირობებში ყოველმხრივ გამოკვლეულ იქნა აღნიშნული დანადგარების ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების რამოდენიმე სისტემა.

ამ სისტემებში სითბური ენერჯისა და სიცივის გენერატორებად გამოყენებული იყო თბური ტუმბოს რეჟიმში მომუშავე სამაცივრო მანქანები. სამაცივრო მანქანის ძირითადი შემადგენელი ელემენტების - კომპრესორების, კერძოდ, დგუშიანი და ხრახნული ტიპის კომპრესორების, საორთქლებლებისა და კონდენსატორების ექსპერიმენტალური შესწავლისათვის გამოყენებული იყო შესაბამისი აპარატურა, გამზომი ხელსაწყოები და ექსპერიმენტული გამოკვლევების ჩასატარებლად საჭირო სრულყოფილი მეთოდика.

3.1. ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარების მეთოდика და გამზომი ხელსაწყოების შერჩევა

ნატურული კვლევების მიზანს წარმოადგენდა თბური ტუმბოს რეჟიმში მუშაობის პერობებში სერიული სამაცივრო მანქანების ენერგო-ეკონომიკური და ტექნოლოგიური მახასიათებლების დადგენა. სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემის შემადგენელი აპარატებისა და დანადგარების მუშაობის რეჟიმების გამოკვლევა ტარდებოდა

დამუშავებული მეთოდის მიხედვით [7]. ცდების ჩატარების უტყუარობის ძირითად კრიტერიუმს წარმოადგენდა მაცივებელი აგენტის, წყლის და ჰაერის თბური ბალანსების კრებადობა.

დანადგარების სამრეწველო პირობებში, გამოცდის ჩატარების შემთხვევაში, სხვაობა ზემოთ დასახელებულ ბალანსებს შორის არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 7\%$ -ს.

თბური ტუმბოს საცდელ-სამრეწველო დანადგარების გამოკვლევები ტარდებოდა სამაცივრო კომპრესორული მანქანების გამოცდის მეთოდის თანახმად [4,7] და ამჟამად, მოქმედი სახელმწიფო სტანდარტის - სოსტ პგ-400-654-75-ის მიხედვით [15]. სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების პარამეტრების გაზომვები ტარდებოდა დამყარებული სითბური რეჟიმების შენარჩუნების პირობებში. ასეთი რეჟიმები ხასიათდება გაზომვების დროს სისტემის მუშაობის ყველა ძირითადი პარამეტრის სტაბილურობით, რომელიც სოსტ-ის თანახმად გრძელდება 90 წუთს. ანათვლები ხელსაწყოებზე აიღებოდა 15 წუთში ერთხელ. ცხრილში 3.1 მოყვანილია ის ძირითადი სიდიდეები, რომელთა გაზომვებიც ტარდებოდა თბური ტუმბოების ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების გამოსაკვლევ სისტემის შესასწავლად მისი ნორმალურ, საექსპლუატაციო რეჟიმებში მუშაობისას.

თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემის დასახასიათებლად და მისი თერმოდინამიკური სრულყოფის დასადგენად, აუცილებელია გაიზომოს ხლადონის ციკლის, წყლისა და ჰაერის ტრაქტის საკვანძო წერტილების ყველა პარამეტრი.

თბური ტუმბოს დანადგარების მუშაობის ეფექტურობის დასადგენად, აუცილებელია განისაზღვროს ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ϕ , აგრეთვე MKT-350-2-1 ტიპის სამაცივრო მანქანის თბური ტუმბოს რეჟიმში მუშაობის ენერგეტიკული და მოცულობითი მახასიათებლები. აუცილებელია განისაზღვროს სითბო-სიცივით

მომარაგების შემოთავაზებული სისტემის გავლენა წარმოებული პროდუქციის ხარისხზე [4,15].

ჰაერის ტემპერატურის გასაზომად გამოყენებული იყო ТСП-290 ტიპის 16 ცალი პლატინის წინაღობის თერმომეტრი და ლოგომეტრი.

მაცივებელი აგენტის, ზეთისა და წყლის ტემპერატურების გასაზომად, გამოყენებული იყო ვერცხლისწყლის ლაბორატორიული თერმომეტრები, დანაყოფის ფასით - $0,2^{\circ}\text{C}$; $0,1^{\circ}\text{C}$ და ქრომელ-ალუმელის თერმოწყვილები. თერმოწყვილების ემპ-ის გაზომვები ტარდებოდა კომპენსაციური მეთოდით, მუდმივი დენის ПП-63 ტიპის გადასატანი პოტენციომეტრის დახმარებით. ყველა თერმოწყვილი შეერთებული უნდა იყოს გადამრთველთან. ცივი ნარჩილები მოთავსებული უნდა იყოს დნობადი ყინულით სავსე თერმოსტატში.

თერმოსტატში ტემპერატურა იზომება ვერცხლისწყლის ლაბორატორიული თერმომეტრით, რომლის დანაყოფის ფასია $0,1^{\circ}\text{C}$ და ცდების ჩატარების მთელი ხანგრძლივობის პერიოდში რჩება მუდმივი. ჩამაგრებამდე თერმოწყვილები აუცილებლად უნდა დაგრაღუირდეს.

გრაღუსების შედეგები აუცილებელია შედარდეს სტანდარტული ცხრილების (სოსტ 3044-45) მონაცემებს. გრაღუირებამდე თერმოწყვილები 3-4 საათის განმავლობაში, 200°C ტემპერატურაზე უნდა დაყოვნდეს ელექტრულ ღუმელში, რის შემდეგაც მოწმდება მათი ჩვენებების იდენტურობა წყლის დუდილის ტემპერატურის მიხედვით. ამასთან ტემპერატურის გაზომვის სიზუსტე უნდა იყოს $0,1^{\circ}\text{C}$.

ექსპერიმენტის დროს გასაზომი ძირითადი სიდიდეები

№№ რიგში	გასაზომი ერთეულები	აღნიშვნები	ხელსაწყო
1	2	3	4
1	R 142-ის ტემპერატურა კომპრესორში შეწოვისას	$t_{შფ.}$	P _T თერმომეტრი, 0,2 კლ.
2	R 142-ის ტემპერატურა კომპრესორში დაჭირხვნის შემდეგ (გადახურების ტემპერატურა)	$t_{გად.}$	_____ „ _____
3	R 142-ის კონდენსაციის ტემპერატურა	$t_{კ.}$	X-A თერმოწყვილი და პოტენციომეტ-რი III
4	R 142-ის ტემპერატურა სარედუქციო ვენტის წინ	$t_{ს.ვ.}$	_____ „ _____
5	R 142-ის დუღილის ტემპერატურა	t_0	_____ „ _____
6	წყლის ტემპერატურა კონდენსატორში შესვლაზე	$t_{წყ.1}$	ლაბორ.თერმომეტრი დანაყ. ფასით 01
7	წყლის ტემპერატურა კონდენსატორიდან გამოსვლაზე	$t_{წყ.2}$	_____ „ _____
8	წყლის ტემპერატურა საორთქლებელში შესვლაზე	$t_{წყ.3}$	_____ „ _____
9	წყლის ტემპერატურა საორთქლებლიდან გამოსვლაზე	$t_{წყ.4}$	_____ „ _____
10	წყლის ტემპერატურა რძის პასტერიზატორში შესვლის წინ	$t_{წყ.5}$	_____ „ _____
11	წყლის ტემპერატურა რძის პასტერიზატორიდან გამოსვლის შემდეგ	$t_{წყ.6}$	_____ „ _____
12	ცხელი წყალმომარაგების სისტემაში მიწოდებული წყლის ტემპერატურა	$t_{წყ.7}$	_____ „ _____
13	ცხელი წყალმომარაგების სისტემიდან	$t_{წყ.8}$	ლაბორ.თერმომეტრი დანაყ. ფასით 01

	უკანდაბრუნებული წყლის ტემპერატურა		
14	რძის პროდუქტების ცივად შესანახ საკანში მიწოდებული მარილხსნარის ტემპერატურა	t _{ხს6.1}	_____ ” _____
15	რძის პროდუქტების ცივად შესანახი საკანი-დან უკანდაბრუნებული მარილხსნარის ტემპერატურა	t _{ხს6.1}	_____ ” _____
16	ზეთის ტემპერატურა კომპრესორში შესვლაზე	t _{ზ.1}	_____ ” _____
17	ზეთის ტემპერატურა კომპრესორში	t _{ზ.2}	_____ ” _____
18	ზეთის ტემპერატურა ზეთგამომყოფში	t _{ზ.3}	_____ ” _____
19	ზეთის ტემპერატურა ზეთსაცვივარში შესვლაზე	t _{ზ.4}	_____ ” _____
20	ზეთის ტემპერატურა ზეთსაცვივრიდან გამოსვლაზე	t _{ზ.5}	_____ ” _____
21	ჩის სადნობ ღუმელში მიწოდებული ჰაერის ტემპერატურა მშრალი და სველი თერმომეტრით	t _{3.1} , t _{3.2}	წინაღ.თერმომეტრი TCII-290 და ლოგო-მეტრი, ფსიქრო-მეტრი
22	კონდიციონერების სისტემაში მიწოდებული ჰაერის ტემპერატურა მშრალი და სველი თერმომეტრით	t _{3.3} , t _{3.4}	_____ ” _____
23	ჰაერის ტემპერატურა ჩაის საშრობი ღუმელის ჰაერგამაცივებლის წინ მშრალი და სველი თერმომეტრით	t _{3.5} , t _{3.6}	_____ ” _____
24	ჰაერის ტემპერატურა ჩაის საშრობი ღუმელის ჰაერგამაცივებლის შემდეგ მშრალი და სველი თერმომეტრით	t _{3.7} , t _{3.8}	_____ ” _____
25	ჰაერის ტემპერატურა ჩაის საშრობი ღუმელის ჰაერგამაცხელებლის შემდეგ მშრალი და სველი თერმომეტრით	t _{3.9} , t _{3.10}	_____ ” _____
26	ჰაერის ტემპერატურა ჩაის	t _{3.11}	_____ ” _____

	საშრობ ღუმელში		
27	ჩაის შესანახ საკანში მიწოდებული ჰაერის ტემპერატურა	t _{3.12}	_____ ” _____
28	ჰაერის ტემპერატურა რძის პროდუქტების ცივად შესანახ საკანში	t _{3.13}	_____ ” _____
29	გარე ჰაერის ტემპერატურა	t _{გარ.}	ლაბორ.თერმომეტრი დანაყ. ფასით 01
30	R 142-ის დაჭირხვნის წნევა	P _{დაჭ.}	მანოვაკუუმმეტრი კლ.0,1
31	R 142-ის კონდენსაციის წნევა	P _{კ.}	_____ ” _____
32	R 142-ის დუდილის წნევა	P ₀	_____ ” _____
33	R 142-ის შეწოვის წნევა	P _{შეწ.}	_____ ” _____
34	ზეთის წნევა ზეთის ტუმბოს წინ	P _{ზ.1}	_____ ” _____
35	ზეთის წნევა ზეთის ტუმბოს შემდეგ	P _{ზ.2}	_____ ” _____
36	ზეთის წნევა კომპრესორის მუშა ღრუს შესაზეთად	P _{ზ.3}	_____ ” _____
37	ზეთის წნევა კომპრესორის შემწოვ კამერაში	P _{ზ.4}	_____ ” _____
38	ზეთის წნევა ზეთგამომყოფში	P _{ზ.5}	_____ ” _____
39	ზეთის წნევა ზეთსაცვივარში	P _{ზ.6}	_____ ” _____
40	ატმოსფეროს წნევა	B	ბარომეტრი
41	საორთქლებელში ცირკულირებული წყლის ხარჯი	G _{წყ.0}	ხარჯსაზომი
42	კონდენსატორში ცირკულირებული წყლის ხარჯი	G _{წყ.კ.}	_____ ” _____
43	თბური ტუმბოს დანადგარში ცირკულირე-ბული მაცივებელი აგენტის R 142 ხარჯი	G _{ხლ.}	კონდენსატორის ბა- ლანსის მიხედვით
44	ჩაის საღნობ დ საშრონ აგრეგატებში მიწოდებული ჰაერის ხარჯი	G _{ჰ.}	პიტოს მილი და მიკრომანომეტრი

45	ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა საგრეხ-საფერმენტაციო საამქროში	ϕ_3	ΠΘ ფსიქრომეტრი
46	კომპრესორის ბრუნთა რიცხვი	n	ბრუნვების მრიცხველი
47	კომპრესორის ძრავში დახარჯული ელექტრული სიმძლავრე	$N_{\text{ბრ}}$	თვითჩამწერი კილოვატმეტრი, კლ. 0,5; ელ.მრიცხველი
48	ჩაის ნახევარფაბრიკატის ქიმიური ანალიზი	-	ორგანოლექტიკური ანალიზი
49	პასტერიზებული რძის ქიმიური ანალიზი	-	ბიოქიმიური და ბაქტერიოლოგიური ანალიზი

კომპრესორში ხლადონის შეწოვის, შეკუმშვისა და დაჭირხვნის წნევები, აგრეთვე, კონდენსაციისა და აორთქლების წნევები, ზეთის წნევები კომპრესორში, ზეთგამყოფში და ზეთსაცივარში, იზომებოდა 0,1 სიზუსტის მქონე სანიმუშო მანომეტრებით.

ყველა თერმომეტრი და მანომეტრი, რომლებიც გამოყენებული იყო თბური ტუმბოს დანადგარების ბაზაზე მოქმედი კომპლექსური სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების სამრეწველო გამოცდების დროს, ტარირდებოდა და ჰქონდათ შესწორებათა პასპორტები.

ჰაერის რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით [4, 15]

$$L = \gamma F W_{\text{საშ.}}, \text{ კგ/წმ.} \quad (9)$$

სადაც: γ - ჰაერის მოცულობითი წონაა, კგ/მ³;

F - ჰაერსადენის კვეთის ფართობია, მ²;

$W_{\text{საშ.}}$ - ჰაერში მოძრაობის საშუალო სიჩქარეა, მ/წმ.

ჰაერის სიჩქარე იზომებოდა პნევმატური მილის (პიტოს მილის) და მიკრომანომეტრის დახმარებით, რომელზეც აითვლება $h_{\text{დინ.}}$.

$$h_{\text{დინ.}} = W^2 \gamma / 2g, \text{ მ.წყ.სვ.,} \quad (10)$$

$$W = 4,04 \sqrt{h_{\text{დინ.}}}, \text{ მ/წმ.} \quad (11)$$

ჰაერსადენის ცხრა სხვადასხვა წერტილში იზომება ჰაერის მოძრაობის ცალკეული სიჩქარეები, რის შემდეგაც, გაანგარიშების გზით განისაზღვრება ჰაერის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე.

$$W_{საშ} = 1(W_1 + W_2 + \dots + W_9) / 9 \quad (12)$$

ჰაერის ტენიანობის გაზომვა:

ა) როგორც თბომეტარისა - ხორციელდება ПЭ ტიპის თვითჩამწერი ელექტრონული ფსიქრომეტრის მეშვეობით;

ბ) კონდიციონერების სისტემაში გამოყენებისას - ხორციელდება ასმანის ფსიქრომეტრის მეშვეობით.

კომპრესორის ელექტრული სიმძლავრის გაზომვა ტარდებოდა 0,5 სიზუსტის კლ. ЭСС, М 348 ტიპის ფეროდინამიკური სისტემის ცვლადი დენის თვითჩამწერი კილოვატმეტრის მეშვეობით და ელექტრომრიცხველით.

ცდების ჩატარების მეთოდика

ექსპერიმენტები ტარდებოდა დამყარებული თბური რეჟიმების პირობებში. რეჟიმები ითვლება დამყარებულად, თუ სამი შემდგომი გაზომვისას, რომელიც ტარდება ყოველ 15 წუთში ერთხელ, გაზომილი სიდიდეები არ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან: კომპრესორში შეწოვის წნევა - 0,05 კგ/სმ² -ით, დაჭირხვნის წნევა - 0,1 კგ/სმ² -ით, ტემპერატურათა სხვაობა - 0,2⁰ C-ით. თითოეული ცდის ხანგრძლივობა შეადგენდა 2-დან 6 საათამდე (რეჟიმზე დამოკიდებულების მიხედვით). დასაკვირვებელი სიდიდეების ჩაწერა ტარდებოდა ყოველ 15 წუთში ერთხელ.

თბური ტუმბოს ნამდვილი თბომწარმოებლურობა - ნეტო, რომელიც მომხმარებელს გადაეცემა, განისაზღვრება ფორმულებით [4,15]:

$$Q_{\text{გ}}^{\text{ნეტო}} = G_{\text{წყ.}} \cdot \gamma \cdot C (t_2 - t_1), \quad \text{კვტ.} \quad (13)$$

ან

$$Q_{\text{გ}}^{\text{ნეტო}} = G'_{\text{ჰ.}} \cdot \gamma \cdot (I_2 - I_1), \quad \text{კვტ.} \quad (14)$$

სადაც: $G_{წვ.კ}$ - თბური ტუმბოს კონდენსატორის გავლით ცირკულირებული თბომტარის (წყლის) მოცულობითი ხარჯია, მ³/წმ;

$G'_{წ.კ}$ - თბური ტუმბოს ჰაერგამაცხელებლის გავლით ცირკულირებული ჰაერის მოცულობითი ხარჯია, მ³/წმ;

γ - თბომტარის კუთრი მოცულობა, კგ/მ³;

C - თბომტარის სითბოტევადობა, ჯ/კგ.გრად.;

t_2 და t_1 - თბომტარის ტემპერატურა შესაბამისად კონდენსატორში შესვლაზე და გამოსვლაზე, °C;

L_2 და L_1 - ჰაერის თბომემცველობა შესაბამისად ჰაერგამაცხელებელში შესვლაზე და გამოსვლაზე, კჯ/კგ.

ჰაერის თბომემცველობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$I = 1,005 t_c + (2500 + 1,8 t_c) d / 100, \text{ კჯ/კგ.} \quad (15)$$

სადაც: t_c - ჰაერის ტემპერატურა მშრალი თერმომეტრით, °C;

d - ჰაერის ტენშემცველობა, გრ/კგ.

ასევე განისაზღვრება თბური ტუმბოს ნამდვილი სიცივის მწარმოებლურობა - ნეტო, რომელიც გადაეცემა მომხმარებელს:

$$Q_0^{\text{ნეტო}} = G_{წვ.კ} \gamma C \Delta t, \text{ კვტ.} \quad (16)$$

ან

$$Q_0^{\text{ნეტო}} = G'_{წ.კ} \gamma \Delta I, \text{ კვტ.} \quad (17)$$

თბური ტუმბოს დანადგარში ცირკულირებული ხლადონის ხარჯი იანგარიშება [7,15]:

ა) საორთქლებლის თბური ბალანსის მიხედვით:

$$G_{ბლ.} = Q_0 / (i_{ბ2} - i_{ბ1}), \text{ კგ/წმ} \quad (18)$$

და მოწმდება

ბ) კონდენსატორის თბური ბალანსის მიხედვით:

$$G_{ბლ.} = Q_0 / (i_{კ1} - i_{კ2}), \text{ კგ/წმ} \quad (19)$$

სადაც: $i_{ბ2}$ და $i_{ბ1}$ - ხლადონის ენტალპია შესაბამისად საორთქლებლის შემდეგ და საორთქლებლის წინ, კჯ/კგ;

i_{31} და i_{32} - ხლადონის ენტალპიაა შესაბამისად კონდენსატორის შემდეგ და კონდენსატორის წინ, კჯ/კგ.

კომპრესორის რეალური მოცულობითი მწარმოებლურობა იანგარიშება ფორმულით:

$$V_{\text{რ}} = \frac{V^{\text{ნომ}}}{n^{\text{ნომ}}} n, \quad \text{მ}^3/\text{წმ}; \quad (20)$$

სადაც, n - კომპრესორის ნამდვილი ბრუნთა რიცხვია, რომელიც გაზომილია ცდების დროს [40];

მოცემული კომპრესორისათვის $V^{\text{ნომ}}$ და $n^{\text{ნომ}} = \text{const.}$

კომპრესორის რეალური მიწოდების კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით:

$$\lambda = G_{\text{ბლ.}} V_{\text{შეწ.}} / V_{\text{რ}}, \quad (21)$$

სადაც: $V_{\text{შეწ.}}$ - ხლადონის ორთქლის კუთრი მოცულობაა კომპრესორში შეწოვისას, $\text{მ}^3/\text{კგ.}$;

კომპრესორში დახარჯული რეალური მუშაობა იანგარიშება ფორმულით:

$$\ell_{\text{რ}} = i_{\text{დაჭ.}} - i_{\text{შეწ.}}, \quad \text{კჯ/კგ.} \quad (22)$$

სადაც: $i_{\text{დაჭ.}}$ და $i_{\text{შეწ.}}$ - ხლადონის ორთქლის ენტალპიაა, შესაბამისად კომპრესორიდან გამოსვლის შემდეგ და კომპრესორში შესვლის წინ, კჯ/კგ.

კომპრესორის ადიაბატური სიმძლავრე იანგარიშება ფორმულით:

$$N_{\text{ად.}} = G_{\text{ბლ.}} \ell_{\text{რ}}, \quad \text{კვტ.} \quad (23)$$

სრული სიმძლავრე - ბრუტო $N_{\text{პრ}}^{\text{ბრუტ.}}$, რომელიც გამოსაცდელ დანადგარში იხარჯება, არის დანადგარის ელექტრულ ძრავთან მიყვანილი და ექსპერიმენტების დროს ვატმეტრის დახმარებით გაზომვილი სიმძლავრე.

კომპრესორის ეფექტური სიმძლავრე იანგარიშება ფორმულით:

$$N_{\text{ეფ.}} = N_{\text{პრ}}^{\text{ბრუტ.}} \eta_{\text{პრ}}, \quad \text{კვტ.} \quad (24)$$

სადაც, $\eta_{\text{პრ}}$ - კომპრესორის ელექტროძრავის მქკ-ია.

კომპრესორის ინდიკატორული სიმძლავრე განისაზღვრებოდა ფორმულით:

$$N_{\text{ინდ.}} = N_{\text{ეგ.}} - N_{\text{ხაბ.}} \quad \text{კვტ.} \quad (25)$$

სადაც, $N_{\text{ხაბ.}}$ - კომპრესორის ხახუნის სიმძლავრეა.

$N_{\text{ხაბ.}}$ იზომება ვატმეტრის დახმარებით, ამასთან კომპრესორიდან ჩახსნილი უნდა იყოს ბადიანი შემწოვი ფილტრი, შემწოვი მილსადენი და გადაჭირხნის მილსადენი. სიმძლავრე $N_{\text{ხაბ.}}$ იზომებოდა 1 საათის განმავლობაში, მას შემდეგ, რაც ზეთის ტემპერატურა კომპრესორში მიაღწევდა 40°C .

კომპრესორის ინდიკატორული მქვ განისაზღვრებოდა ფორმულით:

$$\eta_{\text{ინდ.}} = N_{\text{ად.}} / N_{\text{ინდ.}} \quad (26)$$

კომპრესორის მექანიკური მქვ განისაზღვრებოდა ფორმულით:

$$\eta_{\text{მქვ}} = N_{\text{ინდ.}} / N_{\text{ეგ.}} \quad (27)$$

კომპრესორის ეფექტური მქვ განისაზღვრებოდა ფორმულით:

$$\eta_{\text{ეგ.}} = N_{\text{ად.}} / N_{\text{ეგ.}} \quad (28)$$

ყოველი ცდის ჩატარებისას წარმოებდა დანადგარის თბური ბალანსის გამოთვლა:

$$Q_r^{\text{effy}} = Q_0^{\text{ნებ}} + N_{\text{ინდ.}}, \quad \text{კვტ.} \quad (29)$$

განსხვავება ტოლია:

$$\Delta Q_j = Q_j^{\text{ნებ}} - Q_r^{\text{effy}} \quad \text{კვტ.} \quad (30)$$

ექსპერიმენტის სხვადასხვაობა ტოლია:

$$\frac{\Delta Q_j}{Q_j^{\text{ნებ}}} 100\% \quad (31)$$

გარდაქმნის რეალური კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით:

$$\varphi_r = Q_j^{\text{ნებ}} / N_{\text{რ.}} \quad (32)$$

ექსპერიმენტული კვლევებისას, ასევე განსაზღვრული იყო კონდენსატორებისა და საორთქლებლების თბოგადაცემის კოეფიციენტები:

$$K = q / \Delta t, \quad \text{კვტ/მ}^2 \text{ გრად.} \quad (33)$$

სადაც: q - კუთრი თბური ნაკადია კონდენსატორში ან საორთქლებელში, ვტ/მ²;

Δt - საშუალო ლოგარითმული ტემპერატურული დაწნევაა ხლადონსა და თბომტარს შორის.

კონდენსატორში ან საორთქლებელში კუთრი თბური ნაკადი იანგარიშება ფორმულით:

$$q_3 = Q_3 / F_3 \quad \text{და} \quad q_0 = Q_0 / F_0, \quad \text{ვტ/მ}^2 \quad (34)$$

სადაც, F_3 და F_0 - შესაბამისად კონდენსატორისა და საორთქლებლის თბოგადამცემი ზედაპირის ფართია, მ².

3.2. ცდომილებათა განსაზღვრა გაზომვებისა და ცდისეული მონაცემების პირველადი დამუშავების დროს

პარაგრაფ 3.1.-ში მოყვანილი ექსპერიმენტების მეთოდის საფუძველზე, შესაძლებელია შევავასოთ მიღებული ცდისეული მონაცემების სიზუსტე (საიმედობა). ამისათვის აუცილებელია გამოვთვალოთ ცდის მაქსიმალურად შესაძლებელი ცდომილება. იგი წარმოადგენს სამი ისეთი ანათვალის ფარდობითი ცდომილების ჯამს, რომელთა დროსაც შეიძლება ადგილი ჰქონოდა ჭეშმარიტი მნიშვნელობებიდან გადახრას. ამასთან, ასეთი ცდომილების აბსოლუტური სიდიდე არ უნდა იყოს დიდი, რითაც ჩვეულებრივ ფასდება კვლევის მეთოდის ხარისხობრივი მხარე. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, სოსტ-ის თანახმად, სამაცივრო მანქანების სამრეწველო გამოცდის პირობებში, ფარდობითი ცდომილებების სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 7\%$ [7].

ა) ფარდობითი ცდომილების შეფასება ხლადონის, წყლისა და ჰაერის ტემპერატურების განსაზღვრისას.

ემმ-ის გაზომვა, რომელიც ხლადონის ტემპერატურებს შეესაბამება, წარმოებდა 0,2⁰ C სიზუსტის მქონე ПП-63 ტიპის პოტენციომეტრით. ხლადონის მინიმალური ტემპერატურა შეადგენდა -5° C.

ამგვარად, ხლადონის ტემპერატურების განსაზღვრისას, მაქსიმალური ფარდობითი ცდომილება შეადგენს:

$$\left| \frac{\Delta t}{t} \right|_{\max} = \frac{0,2 \times 100}{5} = 4,0 \%$$

ხლადონის მაქსიმალური ტემპერატურა შეადგენდა 110°C , შესაბამისად:

$$\left| \frac{\Delta t}{t} \right|_{\min} = \frac{0,2 \times 100}{110} = 0,18 \%$$

წყლისა და ჰაერის ტემპერატურები იზომებოდა $0,1^{\circ} \text{C}$ სიზუსტის მქონე ვერცხლისწყლის ლაბორატორიული თერმომეტრებით.

წყლის (მარილხსნარის) ტემპერატურები იცვლებოდა $|-2|^{\circ} \text{C}$ -დან 80°C -მდე.

შესაბამისად, ფარდობითი ცდომილებები შეადგენს:

$$\left| \frac{\Delta t}{t} \right|_{\max} = \frac{0,1 \times 100}{2} = 5 \%,$$

$$\left| \frac{\Delta t}{t} \right|_{\min} = \frac{0,1 \times 100}{80} = 0,12 \%$$

ჰაერის ტემპერატურები იცვლებოდა 4°C -დან 105°C -მდე.

შესაბამისად, ფარდობითი ცდომილებები შეადგენს:

$$\left| \frac{\Delta t}{t} \right|_{\max} = \frac{0,1 \times 100}{4} = 2,5 \%,$$

$$\left| \frac{\Delta t}{t} \right|_{\min} = \frac{0,1 \times 100}{105} = 0,1 \%$$

ბ) ფარდობითი ცდომილების შეფასება ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის განსაზღვრისას.

ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა იზომებოდა 1%-ის სიზუსტის მქონე ელექტრონული ფსიქრომეტრით.

ჰაერის ტენიანობები იცვლებოდა 20%-დან 98%-მდე. შესაბამისად, ფარდობითი ცდომილებები შეადგენს:

$$\left| \frac{\Delta \varphi_3}{\varphi_3} \right|_{\max} = \frac{1 \times 100}{20} = 5 \%,$$

$$\left| \frac{\Delta \varphi_3}{\varphi_3} \right|_{\min} = \frac{1 \times 100}{98} = 1,02 \%.$$

გ) ფარდობითი ცდომილებების შეფასება ხლადონის წნევის განსაზღვრისას.

ხლადონის წნევები იზომებოდა 0,1კგ/სმ² სიზუსტის მქონე სანიმუშო მანომეტრებით. ხლადონის მინიმალური წნევა ტოლია - 1,5 კგ/სმ²-ის, მაქსიმალური წნევა - 19 კგ/სმ²-ის. შესაბამისად, ფარდობითი ცდომილებები შეადგენს:

$$\left| \frac{\Delta P}{P} \right|_{\max} = \frac{0,1 \times 100}{1,5} = 6,6\%,$$

$$\left| \frac{\Delta P}{P} \right|_{\min} = \frac{0,1 \times 100}{19} = 0,53\%.$$

დ) ფარდობითი ცდომილების შეფასება ჰაერის სიჩქარის განსაზღვრისას.

ჰაერის სიჩქარე განისაზღვრებოდა ფორმულით (3.3).

ჰაერის სიჩქარის გაზომვისას, ფარდობითი ცდომილება განისაზღვრებოდა მიკრომანომეტრის (0,5 მმ.) შკალაზე, სადაც მაქსიმალური სიდიდე იყო 200 მმ., მინიმალური სიდიდე - 10 მმ., ხოლო გაზომვის სიზუსტე - 0,05 მმ.

$$\left| \frac{\Delta W}{W} \right|_{\max} = \frac{0,5 \times 100}{200} + \frac{2 \times 0,05 \times 100}{10} = 1,25\%.$$

ე) ფარდობითი ცდომილების შეფასება ჰაერის ხარჯის განსაზღვრისას.

ჰაერის ხარჯი განისაზღვრება ფორმულით (3.1).

ვიციტ, რომ ჰაერსადენის კვეთის ფართი $F = \pi d^2/4$, ე. ი. $\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta d}{d}$.

$d = 1200$ მმ. ჰაერსადენის კვეთის დიამეტრი იზომებოდა 1 მმ-ის სიზუსტით.

ჰაერსადენის დიამეტრის ფარდობითი ცდომილება ტოლია:

$$\left| \frac{\Delta d}{d} \right| = \frac{1 \cdot 100}{1200} = 0,086\%, \quad \text{ე.ი.} \quad \left| \frac{\Delta F}{F} \right| = 0,086\%;$$

მაშინ

$$\left| \frac{\Delta L}{L} \right| = \left| \frac{\Delta F}{F} \right| + \left| \frac{\Delta W}{W} \right| = 0,086 + 1,25 = 1,34\%.$$

ვ) ფარდობითი ცდომილების შეფასება სითბოს რაოდენობის განსაზღვრისას.

სითბოს რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით $Q = L \cdot \gamma \cdot C \cdot \Delta t_{\gamma}$.

ფარდობითი ცდომილებები შეადგენს

$$\left| \frac{\Delta Q}{Q} \right|_{\max} = \left| \frac{\Delta L}{L} \right| + \left| \frac{\Delta t}{t} \right|_{\max} = 1,34 + 2,5 = 3,84\%$$

ასევე

$$\left| \frac{\Delta Q}{Q} \right|_{\min} = 1,34 + 0,1 = 1,44\%$$

ზ) ფარდობითი ცდომილების შეფასება ელექტრული სიმძლავრის განსაზღვრისას.

ელექტრული სიმძლავრე იზომებოდა 0,5 კვტ. სიზუსტის მქონე კილოვატმეტრით. მინიმალური სიმძლავრე იყო 30 კვტ. შესაბამისად, მაქსიმალური ფარდობითი ცდომილება შეადგენს:

$$\left| \frac{\Delta N}{N} \right|_{\max} = \frac{0,5 \cdot 100}{30} = 1,67\%.$$

ელ.ძრავის მაქსიმალური სიმძლავრე შეადგენდა 200 კვტ., შესაბამისად:

$$\left| \frac{\Delta N}{N} \right|_{\min} = \frac{0,5 \cdot 100}{200} = 0,25\%.$$

თ) ფარდობითი ცდომილების შეფასება ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის განსაზღვრისას.

$$\frac{\Delta \varphi_r}{\varphi_r} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta N}{N},$$

$$\left| \frac{\Delta \varphi_{\phi}}{\varphi_{\phi}} \right|_{\max} = 3,84 + 1,67 = 5,51\%,$$

$$\left| \frac{\Delta \varphi_{\phi}}{\varphi_{\phi}} \right|_{\min} = 1,44 + 0,25 = 1,69\%.$$

ი) ფარდობითი ცდომილების შეფასება თბოგადაცემის კოეფიციენტის განსაზღვრისას.

$$\frac{\Delta K}{K} = \frac{\Delta q}{q} + \frac{\Delta t}{t}, \quad \text{აქედან}$$

$$\left| \frac{\Delta K}{K} \right|_{\max} = 3,84 + 2,5 = 6,34\%,$$

$$\left| \frac{\Delta K}{K} \right|_{\min} = 1,44 + 0,1 = 1,54\%.$$

3.3. ექსპერიმენტის სამეცნიერო დაგეგმვა

ექსპერიმენტები, თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების შესასწავლად და მათი შემადგენელი დანადგარების სამრეწველო მახასიათებლების დასადგენად, ტარდებოდა ექსპერიმენტის დაგეგმვის მეთოდით [7,15].

ექსპერიმენტის ჩატარების გეგმა ისე იყო შედგენილი, რომ მას უნდა მოეცვა თბური ტუმბოს დანადგარის მუშაობის რეჟიმების მთელი არეალი. პირველ რიგში; აუცილებელია გამოვლინდეს ის ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ თბური ტუმბოს მუშაობაზე და რომელსაც თვითონ კვლევის ობიექტები განსაზღვრავენ [8,15].

თბური ტუმბოს მახასიათებელ რაოდენობრივ ფაქტორებს განეკუთვნებიან:

T_3 - კონდენსაციის ტემპერატურა, T_0 - დუდილის ტემპერატურა, Q_3 - თბური ტუმბოს თბომწარმოებლურობა და φ_{ϕ} - ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტი. ყველა ეს პარამეტრი შეიძლება შეფასდეს რაოდენობრივად ან გაიზომოს.

თბური ტუმბოს მახასიათებელ ხარისხობრივ ფაქტორებს განეკუთვნებიან: დანადგარის სრულყოფის ხარისხი და ხლადონების თერმოდინამიკური, თბოფიზიკური და ფიზიკო-ქიმიური თვისებები.

ძირითადი მოთხოვნები, რომელიც რაოდენობრივ ფაქტორებს წაყენება, არის მართვადობა და ობიექტზე უშუალო ზემოქმედება. ზემოთ მოყვანილი ფაქტორებიდან აუცილებელია აღინიშნოს თბური ტუმბოს თბომწარმოებლურობა - Q_p , რომელიც ძირითადად დამოკიდებულია T_p -ზე და T_0 -ზე და ამდენად φ_6 -თან მიმართებაში თვითონ არ შეიძლება იყოს ფაქტორი და პირიქით. ამიტომ, ეს ორი სიდიდე (Q_p და φ_6) ერთმანეთთან ფუნქციონალური დამოკიდებულებით არ არიან დაკავშირებულნი და მთლიანად არიან განსაზღვრულნი ხლადონის კონდენსაციისა და T_p და დუდილის T_0 ტემპერატურებით [11].

თავდაპირველად ჩატარებული იყო გაანგარიშებები გასაზომი პარამეტრების ამონაკრების აუცილებელი მოცულობის დასადგენად საბოლოო პარამეტრის მოცემული სიზუსტისათვის. კერძოდ, პირველ რიგში, განისაზღვრებოდა ხლადონების დუდილისა - T_0 და კონდენსაციის - T_p ტემპერატურების საშუალო კვადრატული გადახრები და ზღვრული ცდომილებები მათი გაზომვებისას. ტემპერატურები იზომებოდა $E_{x1} = 0,1^{\circ}C$ -ის სიზუსტით.

$$X_1 = \overline{X}_1 + S_{x1} = T_R + 0,5 \quad (35)$$

$$X_2 = \overline{X}_2 + S_{x2} = T_0 + 0,5 \quad (36)$$

მეთოდოლოგიური დებულებების [117] თანახმად, აღებული იყო ამონაკრების ოთხი ნებისმიერი მოცულობა $N = 5; 25; 100; 625$. დამოკიდებულების:

$$E_{x1} = \sqrt{\frac{Z^2 \cdot S_{x1}^2}{N} + E_{x1}^2} \quad (37)$$

საფუძველზე ამონაკრების თითოეული მოცულობისათვის განისაზღვრებოდა X_1 და X_2 სიდიდეების ზღვრული აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილებები (ცხრ. 15).

მიღებული (N, ℓ_K) წყვილების მნიშვნელობათა, როგორც სტატისტიკური ერთობლიობის განხილვის შედეგად, ნაპოვნი იყო შემდეგი სახის ჰიპერბოლის კოეფიციენტები:

ცხრ.15

ზღვრული აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილებები ამონაკრების თითოეული მოცულობისათვის

E_{x1}	$\ell_{x1} \pm \%$	E_{x2}	$\ell_{x2} \pm \%$	N	$\ell_K \pm \%$
0,45825	0,32	0,4582	0,0916	5	0,4116
0,2236	0,15	0,2236	0,0447	25	0,1947
0,1441	0,98	0,1414	0,0283	100	0,1263
0,1077	0,07	0,1077	0,0214	625	0,0914

$$N = \frac{A}{\ell_K} + B \quad (38)$$

წინასწარ განსაზღვრული იყო შემდეგი თანაფარდობები: $1/\ell_K, 1/\ell_K^2, N/\ell_K$ სხვადასხვა N ($\sum N = 755$)-თვის (ცხრ. 16).

წრფივი განტოლებების მეშვეობით:

$$4 \cdot B + 26,423 \cdot A = 755$$

$$B - 26,423 + 214,66 \cdot A = 7770,38$$

განისაზღვრა სიდიდეები $A = 69,32$ და $B = -269,16$.

მოცემულ შემთხვევაში (როცა, $\ell_K = 0,25$), ჰიპერბოლის განტოლება (38) საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ამონაკრების მოცულობა.

$$N = \frac{69,32}{0,25} - 269,16 = 8,12$$

ჩვეულებრივ, ამოკრება ხდებოდა რამდენიმე დიდი მოცულობიდან (≈ 10) თბური ტუმბოს მუშაობის თითოეული რეჟიმის მიხედვით.

ცხრ. 16

$1/\ell_K$ -ის, $1/\ell_K^2$ -ის და N/ℓ_K -ის წინასწარი მნიშვნელობები

სხვადასხვა N - თვის

N	$1/\ell_K$	$1/\ell_K^2$	N/ℓ_K	$\sum \frac{1}{\ell_K}$	$\sum \frac{1}{\ell_K^2}$	$\sum \frac{N}{\ell_K}$
2	2,43	5,9	12,15	26,423	214,66	7770,38
25	5,136	26,38	128,4			
100	7,917	62,68	791,76			
625	10,94	119,7	6836			

გარდა ამისა, ჩატარდა გაანგარიშებები გრადაციის რაოდენობის დასადგენად და მიღებულ იქნა მმართველი პარამეტრის კონკრეტული მნიშვნელობები (დისკრეტული) შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$U = \sqrt{\frac{\Pi_{\max}}{\Pi_{\min}}} + 3, \quad (39)$$

სადაც, Π_{\max}, Π_{\min} - მმართველი პარამეტრების მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობებია (კერძოდ მაცივებელი აგენტის კონდენსაციის ტემპერატურებია - T_3), $\Pi_{\max} = 90^\circ \text{C}$, $\Pi_{\min} = 70^\circ \text{C}$;

U - მმართველი პარამეტრის გრადაციის რაოდენობაა.

$$U = \sqrt{\frac{90}{70}} + 3 = 1,13 + 3 \cong 5$$

ვინაიდან, გრადაციის რაოდენობა ცოტაა, გრადაციის კონკრეტულ მნიშვნელობებს შეიძლება ჰქონდეთ არითმეტიკული პროგრესიის სახე:

$$\Pi_i = \Pi_{\min} + \frac{\Pi_{\max} - \Pi_{\min}}{U - 1} (i - 1) \quad (40)$$

$$\Pi_1 = \Pi_{\min} = 70^\circ \text{C}; \quad \Pi_2 = 70 + \frac{20}{4} \times 1 = 75^\circ \text{C}; \quad \Pi_3 = 70 + \frac{20}{4} \times 2 = 80^\circ \text{C};$$

$$\Pi_4 = 70 + \frac{20}{4} \times 3 = 85^\circ \text{C}; \quad \Pi_5 = \Pi_{\max} = 70 + \frac{20}{4} \times 4 = 90^\circ \text{C}.$$

მიღებული გრადაციის შესაბამისად, ხლადონ R142-ის კონდენსაციის ტემპერატურების გაზომვა შესაძლებელია ვაწარმოთ ყოველი 5°C -ის შემდეგ.

ანალოგიურად შეიძლება ვიანგარიშოთ ხლადონ R12-თვისაც.

$$U = \sqrt{\frac{\Pi_{\max}}{\Pi_{\min}}} + 3 = \sqrt{\frac{55}{35}} = 4,25 \cong 5$$

სადაც, Π_{\max} და Π_{\min} - R12-ის კონდენსაციის ტემპერატურების მნიშვნელობებია შესაბამისად 55°C და 35°C .

$$\Pi_1 = \Pi_{\min} = 35^{\circ}\text{C}; \quad \Pi_2 = 35 + \frac{20}{4} \times 1 = 40^{\circ}\text{C}; \quad \Pi_3 = 45^{\circ}\text{C}; \quad \Pi_4 = 50^{\circ}\text{C}; \quad \Pi_5 = \Pi_{\max} = 55^{\circ}\text{C}$$

ანალოგიური შედეგები იყო მიღებული ხლადონების R12-სა და R142-ის ნარევის კონდენსაციის ტემპერატურებისთვისაც, როგორც მმართველი პარამეტრისათვის. ამ შემთხვევაშიც, კონდენსაციის ტემპერატურების გაზომვა შესაძლებელია ვაწარმოოთ ყოველი 5°C -ის შემდეგ.

მეორე მმართველ პარამეტრად განხილული იყო ხლადონის დუდილის ტემპერატურა. ამ შემთხვევაში $\Pi_{\max} = 30^{\circ}\text{C}$; $\Pi_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$.

$$U = \sqrt{\frac{30}{5}} + 3 = 5,45 \cong 6$$

$$\Pi_1 = \Pi_{\min} = 5^{\circ}\text{C}; \quad \Pi_2 = 5 + \frac{25}{5} \times 1 = 10^{\circ}\text{C}; \quad \Pi_3 = 15^{\circ}\text{C}; \quad \Pi_4 = 50^{\circ}\text{C}; \quad \Pi_5 = \Pi_{\max} = 30^{\circ}\text{C}$$

R142-ის, R12-ისა და მათი ნარევის დუდილის ტემპერატურისათვის გრადაციის რაოდენობა არ აღემატება 6-ს და გაზომვები, როგორც წინა შემთხვევაში, წარმოებდა ყოველი 5°C -ის შემდეგ. ზემოთხსენებული სამუშაოები ტარდებოდა მოქმედი ფაქტორების მოთხოვნილი სიზუსტით გაზომვების ფარგლებში, რამაც საშუალება მოგცვა, შეგვექმნა სხვადასხვა დანიშნულების თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების მათემატიკული მოდელები.

თავი 4

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

4.1. კასკადური ტიპის თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების საცდელ-სამრეწველო სისტემების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის 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 [43, 50].

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

ექსპერიმენტული კვლევების დროს, ჩატარებული იყო სისტემის 20-ზე მეტი მუშა გამოცდა პასტერიზატორის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმის პირობებში. გამოცდის პერიოდში სისტემის ყველა სარეჟიმო პარამეტრი იცვლებოდა ფართო საზღვრებში, მაგალითად:

- ცხელი წყალმომარაგებისათვის თბური ტუმბოს კონდენსატორიდან გამოსული წყლის ტემპერატურა ცდების დროს იცვლებოდა 55°C -დან 85°C -მდე;
- რძის პასტერიზაციისათვის თბური ტუმბოს კონდენსატორიდან გამოსული წყლის ტემპერატურა ცდების დროს იცვლებოდა 70°C -დან 90°C -მდე;

- ხლადონ R142-ის კონდენსაციის ტემპერატურა ცდების დროს იცვლებოდა 75⁰ C-დან 95⁰ C-მდე;
- ხლადონ R142-ის დუდილის ტემპერატურა ცდების დროს იცვლებოდა 10⁰ C-დან 25⁰ C-მდე და სხვ.

ჩატარებულმა გამოცდის შედეგებმა საშუალება მოგვცეს ყოველმხრივ შეგვეფასებინა თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი კასკადური ტიპის სითბო-სიცივით მომარაგების საცდელ-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_e , ეფექტური სიმძლავრე N_c , სითბოს ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტი ϕ_{re} , კომპრესორის მოცულობითი λ , ენერგეტიკული η_i , η_e და კონსტრუქციული მახასიათებლები.

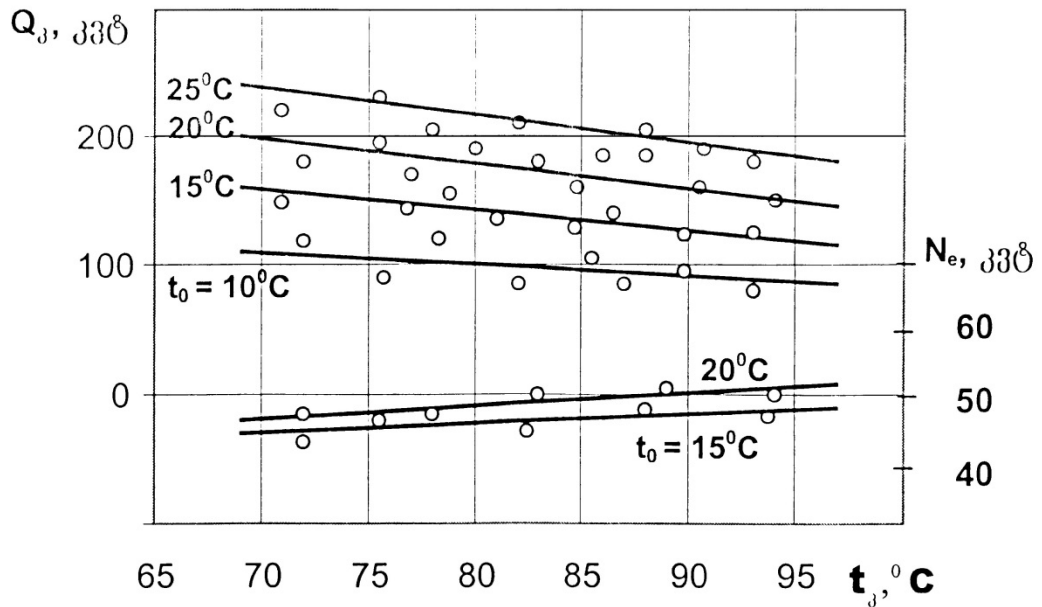
მიღებული მახასიათებლების მაქსიმალური დასაშვები ცდომილება არ აღემატება $\pm 7\%$ -ს.

სისტემის გამოცდის შედეგად, მიღებული იქნა თბური ტუმბოს თბომწარმოებლურობის Q_c დამოკიდებულება კონდენსაციის t_c პემტერატურაზე R142-ის დუდილის t_0 ტემპერატურების დროს (ნახ. 9.) ამავე ნახაზზე მოყვანილია თბური ტუმბოს ეფექტური სიმძლავრის η_e დამოკიდებულება დანადგარის მუშაობის რეჟიმებზე. გამოცდებით დადგინდა აგრეთვე ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტი ϕ_{re} თბური ტუმბოს მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებისათვის. ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\phi_{re} = \frac{Q_c}{N_{კრ}}, \quad (41)$$

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

$N_{\text{ახ}}$ - თბური ტუმბოს კომპრესორის ძრავის მიერ დახარჯული ელ.ენერგია, კვტ.



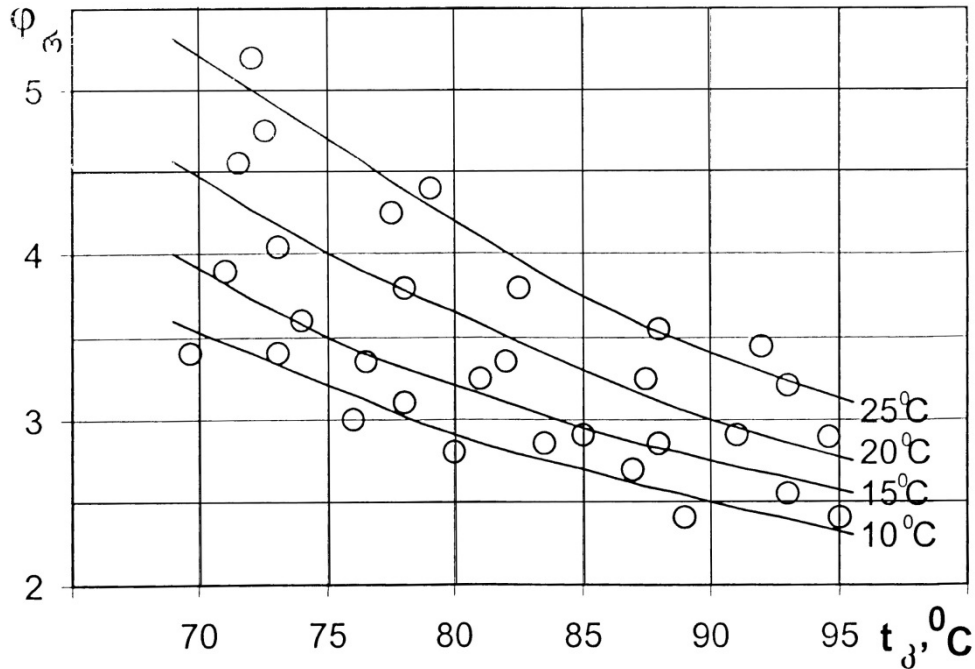
ნახ. 9. თბური ტუმბოს XM-ΦΥΥ-80/2-ის თბომწარმოებლობის Q_c და მოხმარებული ელექტროსიმძლავრის N_e დამოკიდებულება R142-ის კონდენსაციისა t_c და დუღილის t_0 ტემპერატურაზე.

ნახ. 10. წარმოდგენილის ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტის $\phi_{\text{რ}}$ დამოკიდებულება ხლადონ R142-ის დუღილისა t_0 და კონდენსაციის t_c ტემპერატურებზე.

როგორც ციკლების თერმოდინამიკურმა გაანგარიშებებმა გვიჩვენა, მართალია ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი $\phi_{\text{რ}}$ 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 $5 \div 6\%$).

ადვილად აცილებადი დანაკარგების ლიკვიდაცია და შემდგომში უფრო სრულყოფილი კომპრესორების გამოყენება საშუალებას მოგვცემს

ექსპერიმენტების დროს მიღებულ შედეგებთან შადარებით 15±20 %-ით გავზარდოთ ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტი.

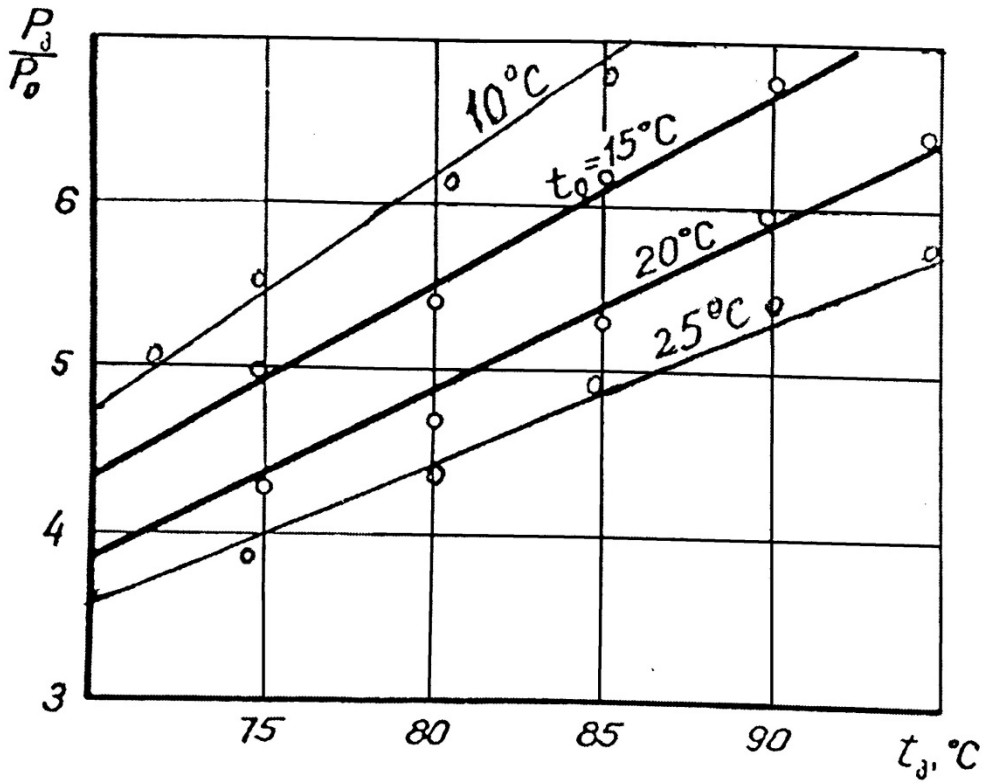


ნახ. 10. თბური ტუმბოს რეალური ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის φ დამოკიდებულება დანადგარის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებზე.

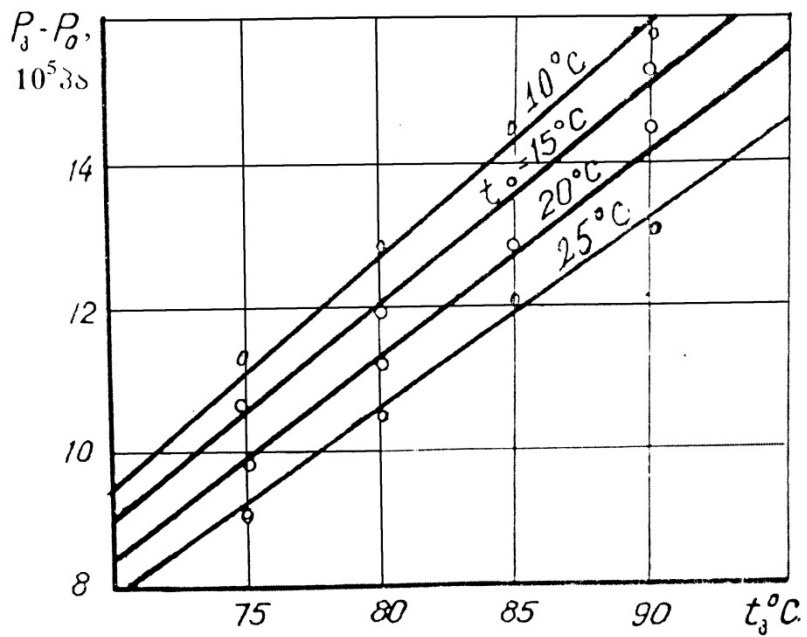
ნახ. 11 და 12-ზე მოცემულია R142-ის კონდენსაციის P_3 და P_0 წნევათა თანაფარდობისა (P_3 / P_0) და სხვაობათა ($P_3 - P_0$) დამოკიდებულება დანადგარის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებისათვის. როგორც წარმოდგენილი გრაფიკებიდან ჩანს, მუშა რეჟიმებში წნევათა სხვაობის ($P_3 - P_0$), ასევე წნევათა თანაფარდობის, ჩვენს მიერ მიწოდებული შედეგები (P_3 / P_0) არ არღვევენ „სოსტ“-ით დადგენილ ნორმებს ($P_3 / P_0 \leq 8 \div 10$; $P_3 - P_0 \leq 16$).

ΦΥΥ-80 ტიპის კომპრესორის მოცულობითი და ენერგეტიკული მახასიათებლების ანალიზი ტარდებოდა ვ. ცირლინის [7] მეთოდით, რომელიც ითვალისწინებს სხვადასხვა პროცესების (შეკუმშვა, შეწოვა, დაჭირხვნა, თბოგადაცემა და სხვ.) გავლენის შეფასებას კოეფიციენტების (

β_i) ენერგეტიკულ ეფექტურობაზე, რომელთა ნამრავლი შეადგენს კომპრესორის მ.ქ.კ.-ს.



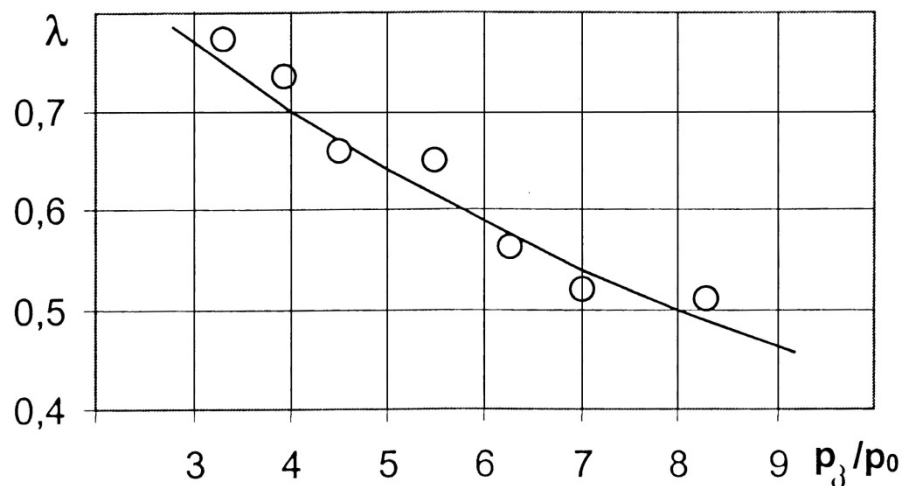
ნახ. 11. წნევათა თანაფარდობის P_3 / P_0 დამოკიდებულება თბური ტუმბოს დანადგარის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმის დროს



ნახ.12. წნევათა სხვაობის ($P_3 - P_0$) დამოკიდებულება თბური ტუმბოს დანადგარის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმის დროს

კომპრესორში მოცულობითი დანაკარგების ანალიზის საყოველთაოდ მიღებული მეთოდის მიხედვით ურთიერთდაკავშირებული ფაქტორების გავლენა ასევე ფასდება რიგი კოეფიციენტებით, რომელთა ნამრავლი შეადგენს მიწოდების კოეფიციენტს.

ნახ.13.-ზე მოცემულია თბური ტუმბოს რეჟიმში R142-ზე მომუშავე მოცულობითი კოეფიციენტის λ დამოკიდებულება P_3 / P_0 -ზე. როგორც ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, ძირითადი დანაკარგები კომპრესორში გამოწვეულია შებრუნებული გაფართოებით და ხლადონის ორთქლის შეთბობით. იმ შემთხვევაში, როდესა $P_3 / P_0 = 8$, კომპრესორის მოცულობითი კოეფიციენტების ზეგავლენით თბური ტუმბოს მწარმოებლურობა მცირდება 50%-ით ($\lambda_c = 0,7$; $\lambda_w = 0,72$). ხლადონის დროსელირებისაგან და გადადინებისაგან გამოწვეული დანაკარგების გამო, თბური ტუმბოს კომპრესორის მწარმოებლურობა კიდევ მცირდება 9%-ით.



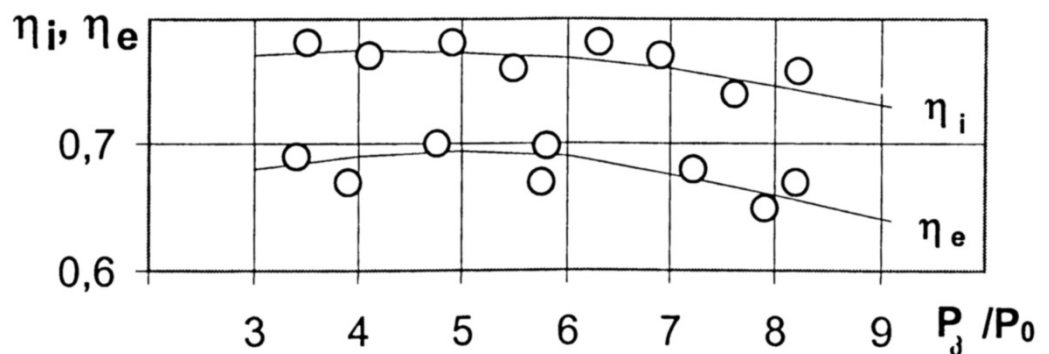
ნახ.13. კომპრესორის მოცულობითი λ კოეფიციენტის დამოკიდებულება P_3 / P_0 -ზე.

შედეგად, მოცულობითი კოეფიციენტი λ მივიღეთ რამდენადმე ნაკლები, ვიდრე ეს მოსალოდნელი იყო. ეს შეიძლება აიხსნას კომპრესორში

მკვდარი სივრცის დიდი მოცულობით (გამოსაკვლევი კომპრესორისათვის იგი შეადგენს 7%-ს) და რეგენერაციული თბომცვლელის თბოგადაცემის ზედაპირის არასაკმარისი ფართობით, რომელიც ყოველთვის ვერ უზრუნველყოფს კომპრესორის მიერ შეწონილი ხლადონის ორთქლის საკმარის გადამეტხურებას.

შემდგომში, XM-ΦYY-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.14.-ზე წარმოდგენილია XM-ΦYY-80/2 ტიპის სამაცივრო მანქანის თბური ტუმბოს რეჟიმში R142-ზე მუშაობის ენერგეტიკული (ინდიკატორული η_i და ეფექტური η_e) მ.ქ.კ.-ები.



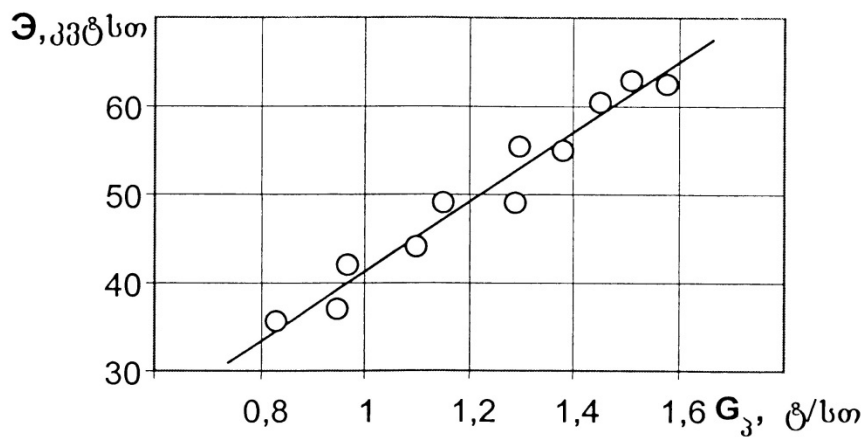
ნახ.14. თბური ტუმბოს ინდიკატორული η_i და ეფექტური η_e მ.ქ.კ.-ის დამოკიდებულება P_3 / P_0 -ზე.

როგორც ნახაზებიდან ჩანს, ინდიკატორულ მ.ქ.კ.-ს η_i აქვს მკვეთრად გამოხატული მაქსიმუმი, როდესაც $\sigma = P_3 / P_0 = 4 \div 5$. η_e და η_i შემცირება ნაკლები σ -ს შემთხვევაში დაკავშირებულია დანაკარგების ზრდასთან კომპრესორის სარქველებში დიდი სიმკვრივის ხლადონის ორთქლის შეწოვის გამო. როცა $\sigma > 5$ -ზე, მაშინ η_e -ს და η_i -ს შემცირება გამოწვეულია კომპრესორში ხლადონის ორთქლის გადამეტხურების,

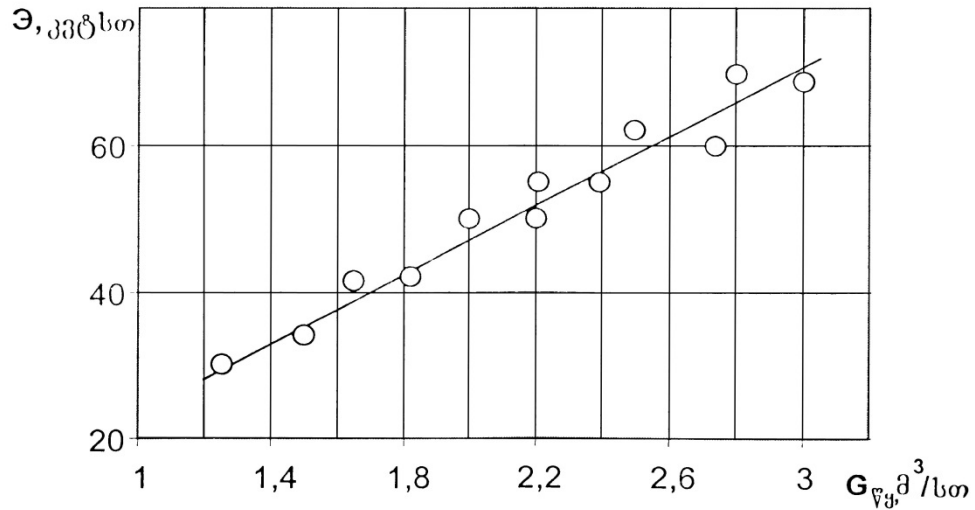
შებრუნებული გაფართოებისა და გადადინების გამო. კომპრესორში დანაკარგების შემცირების მიზნით, აუცილებელია შემცირდეს სარქველების ჰიდრავლიკური წინაღობა ხლადონის ორთქლის შეწოვისას. კომპრესორში შემწოვი სარქველების შემთხვევაში სტულყოფა აუცილებელი პირობაა თბური ტუმბოს დანადგარებში დანაკარგების შესამცირებლად.

ნახ.15. და ნახ.16-ზე ნაჩვენებია ელ.ენერგიის ხარჯის დამოკიდებულება პასტერიზატორის წარმადობაზე და ცხელი წყლის ხარჯზე.

ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ სათბობის ხარჯი 1 ტონა რძის პასტერიზაციაზე შეადგენს $14 \div 15$ კვ. პ.ს, ხოლო სათბობის ხარჯი 1 მ³ წყლის გაცხელებაზე შეადგენს $9 \div 10$ კვ. პ.ს.



ნახ. 15. ელ.ენერგიის ხარჯის დამოკიდებულება პასტერიზაციის წარმადობაზე



ნახ. 16. ელ.ენერგიის ხარჯის დამოკიდებულება ცხელი წყლის ხარჯზე

4.2. კასკადური ტიპის თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის გამოკვლევა

საგარეჯოს რძის გადამამუშავებელი ქარხნის თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი კასკადური ტიპის სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის დასადგენად ჩვენს მიერ განხილულ იქნა სითბო-სიცივით მომარაგების ორი სხვადასხვა ვარიანტი [43]:

1. თბომომარაგება საქვაბოდან, რომელიც მუშაობს მაზუთზე; სიცივით მომარაგება სამაცივრო დანადგარის მეშვეობით (არსებული ვარიანტი);
2. კომპლექსური სითბო-სიცივით მომარაგება თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებით (შემოთავაზებული ვარიანტი).

ვარიანტების ეკონომიკური შედარება ჩატარდა დისკონტირებული ანუ წლიური დანახარჯების დადგენის მეთოდის მიხედვით [59,80],

$$Z = K \cdot E_H + U, \quad \$/\text{წელ}. \quad (42)$$

სადაც: Z - წლიური დანახარჯებია, $\$/\text{წელ}$;

U - საექსპლუატაციო დანახარჯები (ანუ წლიური ანარიცხები), $\$/\text{წელ}$;

K - ინვესტიციები (ანუ კაპ.დაბანდება), \$;

E_H - ინვეტიციების ეფექტურობის ნორმატიული კოეფიციენტი,

$$E_H = 0,15 \quad 1/\text{წელ.}$$

ეკონომიკური თვალსაზრისით, ეფექტურია ის ვარიანტი, სადაც წლიური დანახარჯები იქმნება მინიმალური.

ცხრილში 17. მოყვანილია სითბო-სიცივით მომარაგების ზემოთ ჩამოთვლილი ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარების შედეგები.

ცხრ. 17.

რიგი- თი №	მ ა ჩ ვ ე ნ ე ბ ლ ე ბ ი	განზო- მილება	არსებული ვარიანტი	შემოთავა ზებული ვარიანტი
1	2	3	4	5
1	საანგარიშო თბური დატვირთვა	მვტ.	0,12	0,12
2	სიცივის საანგარიშო დატვირთვა	— „ —	0,125	0,125
3	თბური ტუმბოს საანგარიშო თბური სიმძლავრე	— „ —	—	0,12
4	საქვების საანგარიშო დატვირთვა	— „ —	0,12	—
5	სამაცივრო მანქანის სიცივის საანგარიშო სიმძლავრე	— „ —	0,125	0,125
6	საანგარიშო თბური დატვირთვის გამოყენების ხანგრძლივობა	სთ/წელ	5200	5200
7	სიცივის საანგარიშო დატვირთვის გამოყენების ხანგრძლივობა	სთ/წელ	5200	5200
8	სითბოს წლიური გამომუშავება	მვტ.სთ.	624	624
9	სიცივის წლიური გამომუშავება	— „ —	650	650
10	ელექტროენერჯის წლიური ხარჯი (საკუთარი საჭიროების გარდა)	მლნ.კვტ.სთ.	0,29	0,57
11	ელექტროენერჯის ღირებულება	\$/კვტ.სთ.	0,06	0,06
12	წლიური დანახარჯები ელექტრო- ენერჯიაზე	10 ³ \$	17,4	34,2

13	სათბობის ხვედრითი ხარჯი საქვაბეში	ტ.პ.ს., მვტ.სთ.	0,22	-
14	სათბობის წლიური ხარჯი საქვაბეში	ტ.პ.ს.	137	-
15	სათბობის ღირებულება	\$/მვტ.სთ.	30	-
16	წლიური დანახარჯები სათბობზე	10 ³ \$	18,7	-
17	საქვაბის ხვედრითი ინვესტიცია	10 ³ \$/მვტ	35	-

ცხრ.17-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5
		10 ³ \$	4,2	-
18	საქვაბის ინვესტიცია			
19	თბური ტუმბოს ხვედრითი ინვესტიცია	10 ³ \$/მვტ	-	60
20	თბური ტუმბოს დანადგარის ინვესტიცია	10 ³ \$	-	7,2
		— ” —	6,9	-
21	სამაცივრო მანქანის ინვესტიცია	— ” —	11,1	7,2
22	სრული ინვესტიცია			
23	წლიური საექსპლუატაციო დანახარჯები:			
	ა) ამორტიზაცია და რემონტი (ინვესტიციის 10%),	— ” —	1,11	0,72
		— ” —	5,3	2,3
	ბ) პერსონალის ხელფასი, სულ საექსპლუატაციო დანახარჯები	— ” —	6,41	3,02
		— ” —	22,9	15,32
24	წლიური დანახარჯები			
25	ელექტროენერჯის წარმოებაზე გაწეული სათბობის ხარჯი (K = 0,35 ტ.პ.ს./მვტ.სთ.)	10 ³ ტ.პ.ს.	0,102	0,199
		— ” —	0,24	-

26	სათბობის ჯამური წლიური ხარჯი			
----	------------------------------	--	--	--

ზემოთ მოყვანილი ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარებიდან გამომდინარე საკმარისია აღინიშნოს, რომ თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი კასკადური ტიპის სითბო-სიცივის მომარაგების ჩვენს მიერ შემოთავაზებული სისტემის დანერგვა კვების მრეწველობის, კერძოდ კი რძის გადამამუშავებელ საწარმოებში (ამჟამად იქ არსებულ სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემებთან შედარებით) ყოველწლიურად დაზოგავს მოხმარებული სათბობის 45%-ზე მეტს, რაც შემაჯავრობებს წლიურ დანახარჯებს 55%-ით [29].

ეს და ბევრი სხვა ზემოთ მოყვანილი უპირატესობები გვაძლევს საფუძველს რეკომენდაცია გავუწიოთ ჩვენს მიერ შემოთავაზებულ თბური ტუმბოების ბაზაზე მოქმედი კასკადური ტიპის სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსურ სისტემებს მრეწველობის სხვა დარგებში დასანერგად.

4.3. ხრახნული ტიპის კომპრესორიანი სამაცივრო მანქანის თბური ტუმბოს რეჟიმში მუშაობის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები

ხრახნული ტიპის კომპრესორიანი სამაცივრო მანქანის MKT-350-2-1 თბური ტუმბოს რეჟიმში მუშაობის ექსპერიმენტული გამოკვლევა სამტრედიის ჩაის ფაბრიკაში მიმდინარეობდა ორი წლის განმავლობაში 1989-1990 წ.წ.

ნატურული კვლევების მიზანს წარმოადგენდა ხრახნული ტიპის კომპრესორით აღჭურვილი თბური ტუმბოს საცდელ-სამრეწველო დანადგარის ტექნოლოგიური და ენერგოეკონომიკური მახასიათებლების დადგენა. თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემის შემადგენელი დანადგარებისა და აპარატების მუშაობის

რეჟიმების შესაწავლა მიმდინარეობდა [3,4] სამუშაოების მიხედვით დამუშავებული მეთოდის საფუძველზე (იხ. თავი 3). მიღებული შედეგების უტყუარობის ძირითად კრიტერიუმს წარმოადგენს ჰაერისა და თბომტარის თბური ბალანსების თანხვედრა. დანადგარების სამრეწველო პირობებში გამოცდია ჩატარების შემთხვევაში სხვაობა ზემოთ დასახელებულ ბალანსებს შორის არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 7\%$ -ს.

MKT-350-2-1-ის გამოცდისასმუშა სხეულად (მაცივებელ აგენტად) R142-ის გამოყენება განპირობებული იყო შემდეგი მიზეზების გამო [4]:

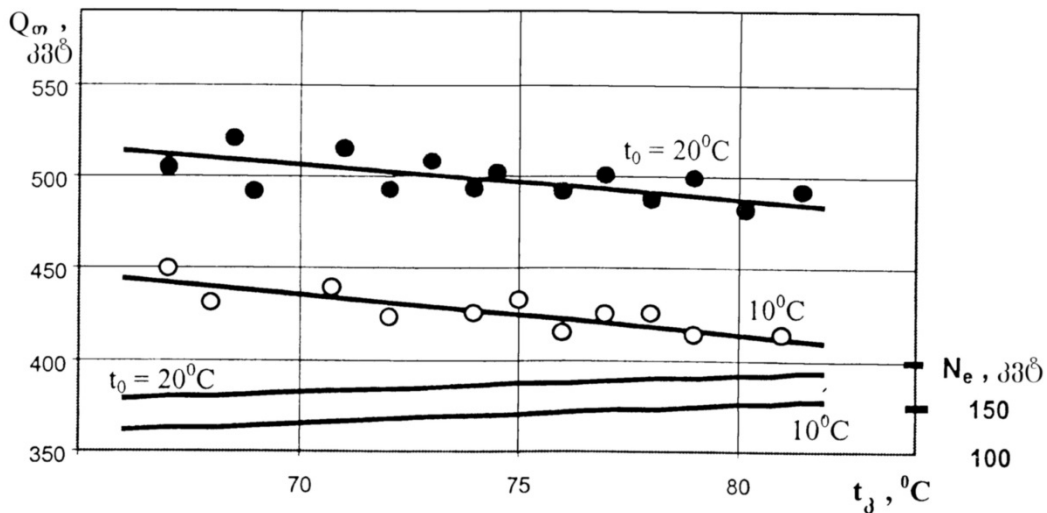
1. R142-ისაგან განსხვავებით, კომპრესორში შეკუმშვის შემდეგ, R142 ხასიათდება არც ისეთი მაღალი წნევებით;
2. სხვა ხლადონებისაგან განსხვავებით, R142 ხასიათდება მაღალი მოცულობითი სიცივი მწარმოებლურობით - q_v ;
3. სხვა ხლადონებისგან განსხვავებით (მაგ. R12 და R114) R142 წარმოადგენს ეკოლოგიურად უსაფრთხო ხლადონს, რის გამოც, მონრეალის სერთაშორისო კონფერენციის მიერ (რომელიც ჩატარდა 1990 წელს და მიემდვნა ოზონის შრეზე ხლადონების უარყოფითი გავლენის პრობლემების შესწავლას), იგი რეკომენდებულია შემდგომ გამოსაყენებლად სამაცივრო ტექნიკაში, ჰაერის კონდიციონირებისა და გათბობის სისტემებში როგორც ალტერნატიული ხლადონი.

MKT-350-2-1-ის ექსპერიმენტული კვლევების დროს სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემის ყველა რეჟიმული პარამეტრი იცვლებოდა ფართო დიაპაზონში. მაგალითად; კონდენსატორიდან გამოსული წყლის ტემპერატურა 45°C -დან 75°C -მდე, ხლადონ R142-ის კონდენსაციის ტემპერატურა - $t_c = (50 \div 80)^{\circ}\text{C}$, საორთქლებლიდან გამოსული წყლის ტემპერატურა კი - 10°C -დან 25°C -მდე. ყველა გასაზომი სიდიდე რეგისტრირდებოდა ყოველ 15 წუთში ერთხელ. კომპრესორის შესაზეთად გამოყენებული იყო ზეთი XΦ 12-15. ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა საშუალება მოგვცა ყოველმხრივ შეგვეფასებინა თბური

ტუმბოს საცდელ-სამრეწველო დანადგარი და გამოგვევლინა მისი ენერგოეკონომიკური ეფექტურობის ხარისხი.

ცდების საფუძველზე დადგენილ იქნა ხრახნული ტიპის კომპრესორით აღჭურვილი თბური ყუმბოს დანადგარის თბომწარმოებლურობა - Q_{θ} , მისი ეფექტური სიმძლავრე - N_e , ტრანსფორმაციის რეალური კოეფიციენტი - ρ და სხვა მახასიათებლები [95].

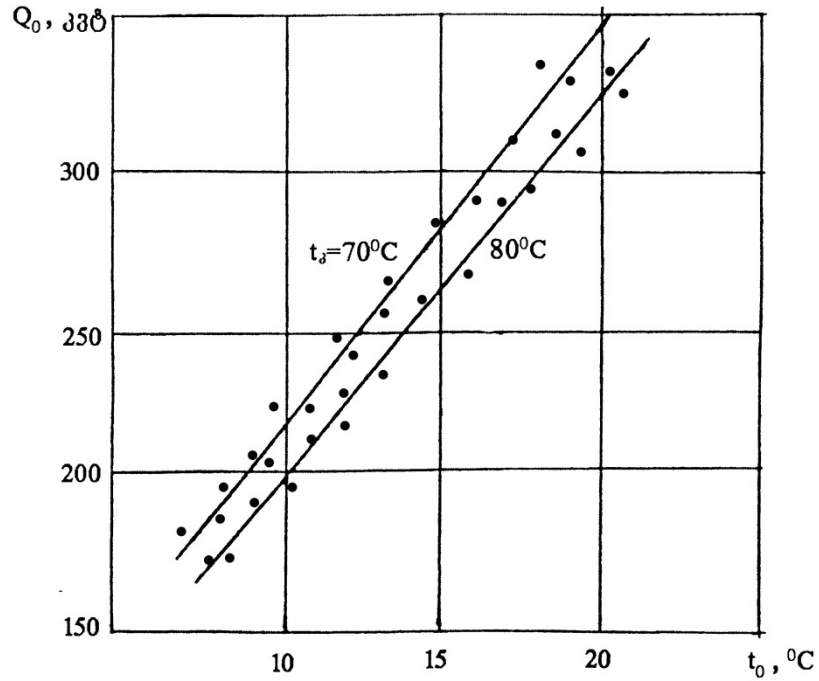
ნახ.17-ზე წარმოდგენილია ტუმბოს თბომწარმოებლურობის - Q_{θ} დამოკიდებულება R142-ის კონდენსაციის t_c და დუღილის - t_0 სხვადასხვა ტემპერატურებზე. ამავე ნახაზზე მოყვანილია დანადგარის ეფექტური სიმძლავრის დამოკიდებულება - N_e მისი მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებზე.



ნახ. 17. თბური ტუმბოს თბომწარმოებლურობის Q_{θ} და ეფექტური სიმძლავრის N_e დამოკიდებულება კონდენსაციისა t_c და დუღილის t_0 ტემპერატურაზე.

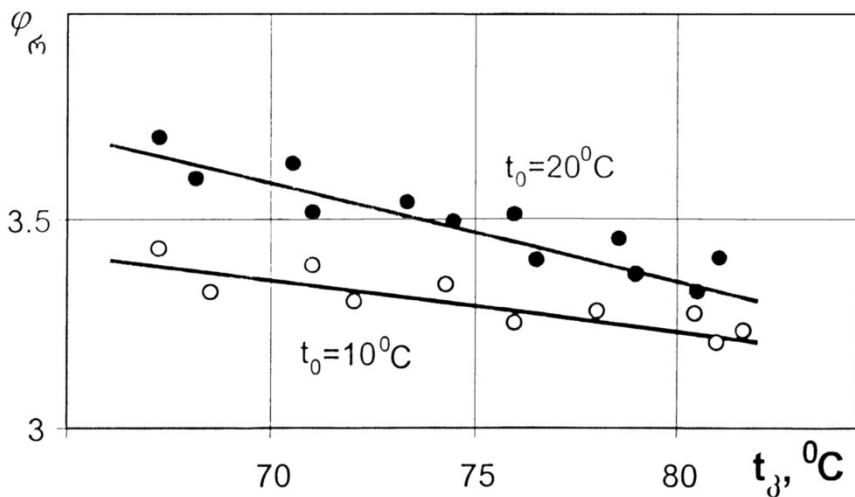
ნახ.18-ზე წარმოდგენილია დანადგარის სიცივის მწარმოებლურობის - Q_0 დამოკიდებულება R142-ის დუღილის ტემპერატურაზე - t_0 კონდენსაციის სხვადასხვა ტემპერატურების - t_c დროს.

ამ ორი ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ Q_0 -ც და Q_0 -ც მნივნილოვნად არიან დამოკიდებულნი განხორციელებული თერმოდინამიკური ციკლის ტემპერატურულ საზღვრებზე.



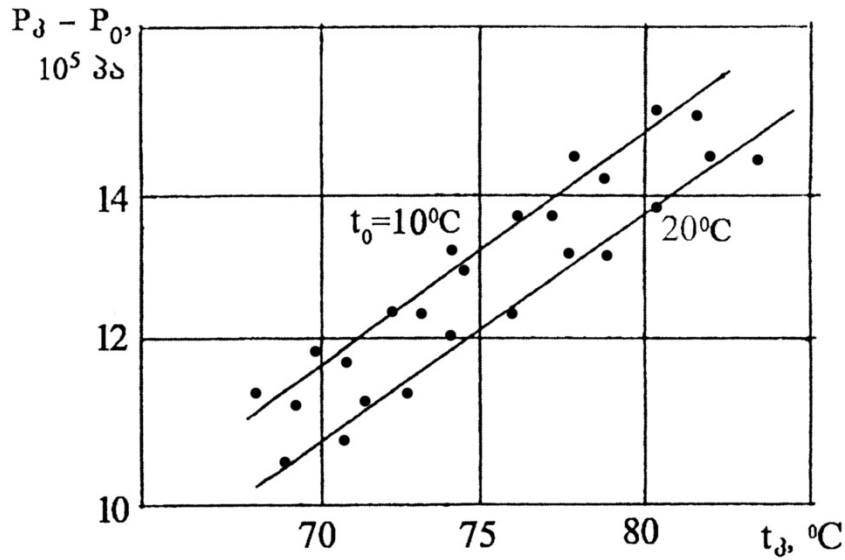
ნახ. 18. თბური ტუმბოს სიცივის მწარმოებლობის Q_0 და ეფექტური დამოკიდებულება t_3 და t_0 -ზე.

ნახ.19-ზე წარმოდგენილია დანადგარის გარდაქმნის რეალური კოეფიციენტი - $\varphi_{\text{რ}}$ დამოკიდებულება t_3 და t_0 -ზე.

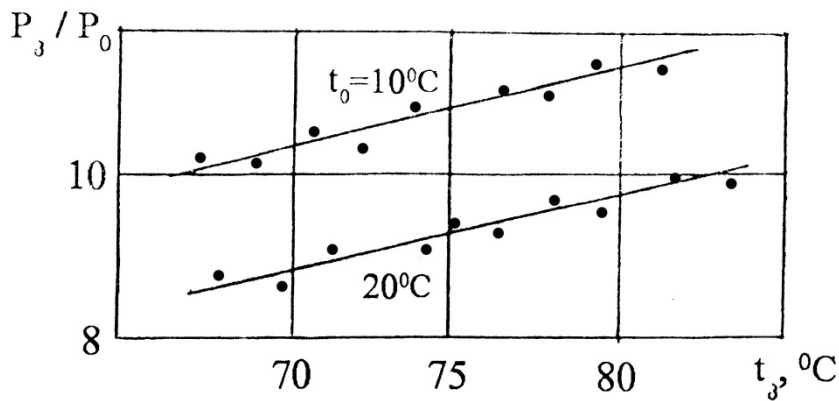


ნახ.19. დანადგარის გარდაქმნის რეალური კოეფიციენტი - $\varphi_{\text{რ}}$ დამოკიდებულება t_3 და t_0 -ზე.

ნახ.20-ზე და ნახ. 21-ზე წარმოდგენილია დანადგარის კონდენსაციისა - P_3 და დუღილის - P_0 წნევების სხვაობისა ($P_3 - P_0$) და ფარდობის (P_3 / P_0) დამოკიდებულებები სხვადასხვა t_3 და t_0 -ზე.



ნახ.20 დანადგარის კონდენსაციისა - P_3 და დუღილის - P_0 წნევების სხვაობისა ($P_3 - P_0$) დამოკიდებულებები სხვადასხვა t_3 და t_0 -ზე.



ნახ. 21 დანადგარის კონდენსაციისა - P_3 და დუღილის - P_0 წნევების ფარდობის (P_3 / P_0) დამოკიდებულებები სხვადასხვა t_3 და t_0 -ზე.

ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად მიღებული მონაცემების საფუძველზე განისაზღვრა, თბური ტუმბოს რეჟიმში მომუშავე ხრახნული ტიპის კომპრესორის BX-350-2-1-ის მოცულობითი კოეფიციენტი - λ , რომელიც გრაფიკული სახით წარმოდგენილია ნახ. 5-ზე. ამავე ნახაზზე წარმოდგენილია იგივე რეჟიმში მომუშავე დგუშიანი ტიპის კომპრესორის

მიწოდების კოეფიციენტიც, გრაფიკიდან ჩანს, რომ ხრახნული ტიპის კომპრესორის მოცულობითი მახასიათებელი - λ გაცილებით მეტია, ვიდრე დგუშიანი კომპრესორისა. ამის ერთ-ერთი მიზეზია, ხრახნული ტიპის კომპრესორის უკეთესი კონსტრუქციის გამო, მოცულობითი დანაკარგების შემცირება (მაგალითად; მკვდარი სივრცის არარსებობა და სხვა).

ნახ.6-ზე წარმოდგენილია თბური ტუმბოს რეჟიმში მომუშავე ხრახნული ტიპის კომპრესორის ენერგეტიკული მახასიათებელი - ეფექტური მ.ქ.კ.- η_e წინა გრაფიკის მსგავსად, ამავე ნახაზზე წარმოდგენილია დგუშიანი ტიპის კომპრესორის ანალოგიური მახასიათებელი - ეფექტური მ.ქ.კ. ამ ორი მრუდის შედარება კიდევ ერთხელ ამტკიცებს ხრახნული ტიპის კომპრესორის უპირატესობას დგუშიანი ტიპის კომპრესორთან შედარებით. 6 ნახაზიდან ჩანს, რომ ხრახნული ტიპის კომპრესორის η_e 10 ÷ 15%-ით მეტია დგუშიანი ტიპის კომპრესორის η_e -ზე.

ამრიგად, MKT-350-2-1-ის ტიპის სამაცივრო მანქანის თბური ტუმბოს რეჟიმში მუშაობის ექსპერიმენტულმა შესწავლამ ცხადყო თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარგების სისტემებში აღნიშნული დანადგარის, როგორც თბური ტუმბოს დანადგარის, გამოყენების შესაძლებლობა და ტექნიკურ-ეკონომიკური მიზანშეწონილობა.

ჩვემს მიერ შესწავლილი MKT-350-2-1 ტიპის ხრახნული კომპრესორით აღჭურვილი სამაცივრო მანქანა და მის ბაზაზე შექმნილი თბური ტუმბოს დანადგარი წარმატებით შეიძლება იყოს გამოყენებული სითბო-სიცივით მომარგების კომპლექსურ სისტემებში თბური ენერჯისა და სიცივის გენერატორად. კერძოდ, აღნიშნული ტიპის დანადგარები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას როგორც მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში დაბალტემპერატურული ($\approx 100^\circ\text{C}$ -მდე) ტექნოლოგიური პროცესების სითბოთი და სიცივით უზრუნველსაყოფად, ასევე საზოგადოებრივი დანიშნულების ობიექტების (სანატორიუმები, სასტუმროები, საცხოვრებელი სახლები და სხვ.) გასათბობად და მათში ცხელი წყალმომარაგებისა და ჰაერის კონდიციონირების განსახორციელებლად [3, 5].

4.4. თბური ტუმბოს დანადგარებით აღჭურვილი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების ექსპლუატაციის შედეგების განზოგადება

სხვადასხვა ტიპის თბური ორთქლკომპრესორული დანადგარების ბაზაზე მოქმედი სამრეწველო დანიშნულების სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების ექსპერიმენტული გამოკვლევების შედეგები საშუალებას გვაძლევს ჩავატაროთ თბური ტუმბოს რეჟიმში და სხვადასხვა ხლადონებზე მომუშავე კომპრესორების თბოტექნიკური, მოცულობითი, ენერგეტიკული და კონსტრუქციული მახასიათებლების განზოგადებული ანალიზი [19].

თბომწარმოებლობის - Q , მოხმარებული სიმძლავრის - N და ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი - φ დამოკიდებულება დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს - $T_{წყ}$ და მოხმარებელზე მიწოდებული სითბოს წყაროს $T_{ბიწ}$ ტემპერატურებზე ზოგადი სახით ასე შეიძლება ჩაიწეროს:

$$Q = f_1(T_{წყ}, T_{ბიწ}) \quad (43)$$

$$N = f_2(T_{წყ}, T_{ბიწ}) \quad (44)$$

$$\varphi = f_3(T_{წყ}, T_{ბიწ}) \quad (45)$$

მოყვანილი მახასიათებლების კონკრეტული სახე მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული (სამაცივრო მანქანების ტიპი და გაბარიტები, მათი კონსტრუქციული თავისებურებანი, მათში გამოყენებული მაცივებელი აგენტები და სხვ.) და ზუსტად დგინდება ექსპერიმენტულად.

ამასთან, ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული მახასიათებლების განზოგადება საშუალებას გვაძლევს გამოვიყვანოთ თანაფარდობები, რომელთა დახმარებითაც თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების კონკრეტული სისტემების დაპროექტებისას შესაძლებელი იქნება განვსაზღვროთ Q , N და φ სხვადასხვა $T_{წყ}$ და $T_{ბიწ}$ -თვის, თუ ცნობილია Q - სა და N - ის მნიშვნელობები ნორმალურ (საპასპორტო) რეჟიმში $Q^{ნომ}$ და $N^{ნომ}$.

თბური ტუმბოს თბომწარმოებლურობა ნომინალურიდან განსხვავებულ რეჟიმში მუშაობისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$Q_{\sigma} = Q_{\sigma}^{\text{ნომ}} \left((11T_{\text{წყ}} / Q_{\text{წყ}}^{\text{ნომ}} - 10) - 6(T_{\text{მთ}} - T_{\text{მთ}}^{\text{ნომ}}) / T_{\text{მთ}}^{\text{ნომ}} \right) \quad (46)$$

ამძრავის სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა თბური ტუმბოს მუშაობისათვის ნომინალურისაგან განსხვავებულ რეჟიმში განისაზღვრება ფორმულით:

$$N = N^{\text{ნომ}} \left((3,5T_{\text{წყ}} / T_{\text{წყ}}^{\text{ნომ}} - 2,5) + 5(T_{\text{მთ}} - T_{\text{მთ}}^{\text{ნომ}}) / T_{\text{მთ}}^{\text{ნომ}} \right) \quad (47)$$

ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოს დანადგარების ექსპერიმენტული გამოკვლევების გასამარტივებლად, სხვადასხვა რეჟიმებში მუშაობისას შესაბამისი მახასიათებლების გაანგარიშების გასაიოლებლად, აუცილებელია ვფლობდეთ უგანზომილებო, შეძლებისდაგვარად ერთნიშნა დამოკიდებულებებს.

სამუშაოს [17] ანალოგიურად ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია $P_{\text{დაჭ}}/P_{\text{მეწ}}$ -ზე დამოკიდებული, უგანზომილებო სიდიდეების სახით წარმოდგენილი თბომწარმოებლურობის - $\overline{Q_{\sigma}}$, მოხმარებული ეფექტური სიმძლავრის - $\overline{N_e}$ და ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის - $\overline{\varphi}$ განზოგადებული მახასიათებლები:

$$\overline{Q_{\sigma}} = Q_{\sigma} / q_v V_{\beta} = f(P_{\text{დაჭ}} / P_{\text{მეწ}}), \quad (48)$$

$$\overline{N_e} = N_e / P_{\text{მეწ}} V_{\beta} = f(P_{\text{დაჭ}} / P_{\text{მეწ}}), \quad (49)$$

$$\overline{\varphi} = \overline{Q_{\sigma}} / \overline{N_e} = f(P_{\text{დაჭ}} / P_{\text{მეწ}}), \quad (50)$$

სადაც: Q_{σ} და N_e - შესაბამისად თბური ტუმბოს თბომწარმოებლურობა და ეფექტური სიმძლავრეა, კვტ;

q_v - ხლადონის ხვედრითი მოცულობითი სიცივის მწარმოებლურობაა, კჯ/მ³;

V_{β} - თბური ტუმბოს კომპრესორის თეორიული მოცულობითი მწარმოებლურობაა, მ³/წმ;

$P_{\text{დაჭ}}$ და $P_{\text{მეწ}}$ - შესაბამისად კომპრესორის დაჭირხნისა და შეწოვის წნევებია, პა;

φ - ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი.

ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოს დანადგარების კვლევების შედეგების მიხედვით [12], აღნიშნული მახასიათებლები ნახ. 7-ზე წარმოდგენილია გრაფიკული სახით. ნახ. 7 „ა“-სა და „ბ“-ს საფუძველზე \overline{Q} -სა და $\overline{N_e}$ -ს $P_{დაჭ} / P_{შეწ}$ -ზე დამოკიდებულების გრაფიკების აპროქსიმირების შედეგად მივიღებთ მე-5, მე-6 და მე-7 განტოლებებს, რომელთა საშუალებით შეიძლება ვიანგარიშოთ თბური ტუმბოს დანადგარების თბომწარმოებლურობის - $Q_{თ}$, ეფექტური სიმძლავრის - N_e და ტრანსფორმაციის - φ მნიშვნელობები.

მოყვანილი ფორმულების გამოყენებით, კომპიუტერზე ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოებისათვის შეგვიძლია ვიანგარიშოთ ფარდობითი თბომწარმოებლურობა $Q_{თ} / V_{\beta}$ და ელექტროენერჯის ხარჯი $N_e / Q_{თ}$ $P_{დაჭ} / P_{შეწ}$ -ზე დამოკიდებულების მიხედვით [17, 24].

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

4.5. თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების ავტომატიზაციის პრინციპებისა და სქემების დამუშავება, შექმნა და გამოკვლევა

ენერგეტიკული და ეკონომიკური თვალსაზრისით, თბური ტუმბოს მუშაობა ეფექტურია მისი მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში, ვინაიდან როგორც ეს თბოენერგეტიკული დანადგარებისთვისაა (მაგ.: თეს-ი, თეც-ი) დამახასიათებელი, დანადგარის სიმძლავრის შემცირება იწვევს მათი მ.ქ.კ.-ის შემცირებას. თბური ტუმბოს მუშაობის რეჟიმების სტაბილიზაციის მიზნით, მათი ცალკეული კვანძების ნორმალური მუშაობის გარდა აუცილებელია, რომ კონდენსატორიდან და საორთქლებლიდან

მომხმარებელს სითბო მიეწოდებოდა სტაბილურად. მიუხედავად ამისა, თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემა წონასწორობის მდგომარეობაში ხანგრძლივად ვერ იქნება გარემოს პარამეტრების (მაგ.: ჰაერის, მდინარის ან ზღვის წყლის ტემპერატურა) მუდმივი ცვალებადობისა და მომხმარებლის მიერ თბური ენერჯის არათანაბარი ხარჯვის გამო (მაგ.: ღამის საათებში ბინებში გათბობაზე თბური დატვირთვის მკვეთრი შემცირება; ჩაის ფაბრიკებში ჩაის საღნობი აგრეგატებისა და ჩაის საშრობი ღუმელების ნედლეულით არათანაბარი დატვირთვა და სხვ.). ამიტომ, აუცილებელია მართვის ავტომატიზებული სისტემის შექმნა, რომელიც უზრუნველყოფს თბური ტუმბოს მუშაობის დეჟიების სტაბილიზაციას და მომხმარებელთან ტემპერატურებისა და ტენიანობის ავტომატურ რეგულირებას.

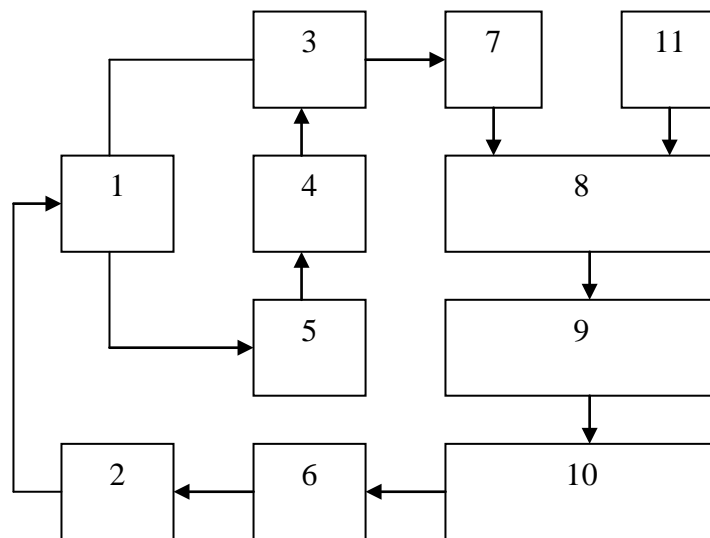
ჩვენს შემთხვევაში, მართვის ავტომატიზებულმა სისტემამ უნდა უზრუნველყოს თბური ტუმბოს დანადგარების მუშაობა ეკონომიკური თვალსაზრისით ყველაზე უფრო ეფექტური რეჟიმების პირობებში, მისი მუშაობის რეჟიმების სტაბილიზაცია, ტემპერატურების ავტომატური რეგულირება ჩაის საღნობ აგრეგატებსა და საშრობ ღუმელებში და ჩაის საშრობი ღუმელების მუშაობის ისეთი რეჟიმები, რომელსაც შეესაბამება გამშრალი ჩაის ტენიანობის დასაშვები მნიშვნელობები [3].

მართვის ავტომატიზებული სისტემების შექმნისას, თბური ტუმბოს მუშაობის რეჟიმების სტაბილიზაციისათვის აუცილებელია კონდენსატორისა და საორთქლებელში წნევის მუდმივი მნიშვნელობების შენარჩუნება [38].

ამასთან, განმსაზღვრელი მნიშვნელობა ენიჭება წნევის კონდენსატორში და სარედუქციო ვენტილის მდგომარეობას. კონდენსატორში წნევის სტაბილიზაცია მიიღწევა სარედუქციო ვენტილზე ქმედებით [40].

კონდენსატორის წნევის სტაბილიზატორის მოწყობილობის ბლოკ-სქემა მოყვანილია ნახაზზე 22. თბური ტუმბოს ელემენტებია კომპრესორი

(4), საორთქლებელი (5), კონდენსატორი (3) და სარედუქციო ვენტილი (1). წნევის გადამწოდი (7) უკავშირდება კონდენსატორის (3) შიგა სივრცეს და წნევის სიდიდის მიხედვით გამოიმუშავებს გარკვეული სიდიდისა და პოლარობის მუდმივ ელექტრულ ძაბვას, რომელიც მიეწოდება შედარების სქემას (8). ერთდროულად, ამავე სქემას მიეწოდება ეტალონური ძაბვის მომცემი კვანძის (11) სიგნალი. კონდენსატორის წნევის ნორმალური მნიშვნელობის დროს, გადამწოდის მიერ გამოიმუშავებული ძაბვისა და ეტალონური ძაბვის მნიშვნელობები ტოლია, ხოლო შედარების სქემის გამოსავალი ძაბვის მნიშვნელობა ნულის ტოლია. შედარების სქემა (8) თავის გამოსავალზე იძლევა წნევის გადამწოდისაგან მიღებულ ძაბვასა და ეტალონურ ძაბვას შორის სხვაობის შესაბამისი პოლარობისა და ამპლიტუდის სიგნალს, რომელიც მიეწოდება ჰისტერეზისის სქემას (9). იგი განსაზღვრავს კონდენსატორის წნევის ნორმალური მნიშვნელობიდან გადახრის დასაშვებ მნიშვნელობებს, ანუ რეგულატორის არამგრძნობიარობის ზონას. სხვაობითი სიგნალის გამაძლიერებელი (10) მოქმედებს ჩართვისა და რევერსირების სქემაზე (6), რომელიც აამუშავებს ბიჯურ ელექტროძრავას (2), ეს უკანასკნელი კი საჭირო მიმართულებით, გარკვეული კუთხით მოაბრუნებს სარედუქციო ვენტტილის სახელურს, რაც კონდენსატორში წნევის პირვანდელ მნიშვნელობას აღადგენს.

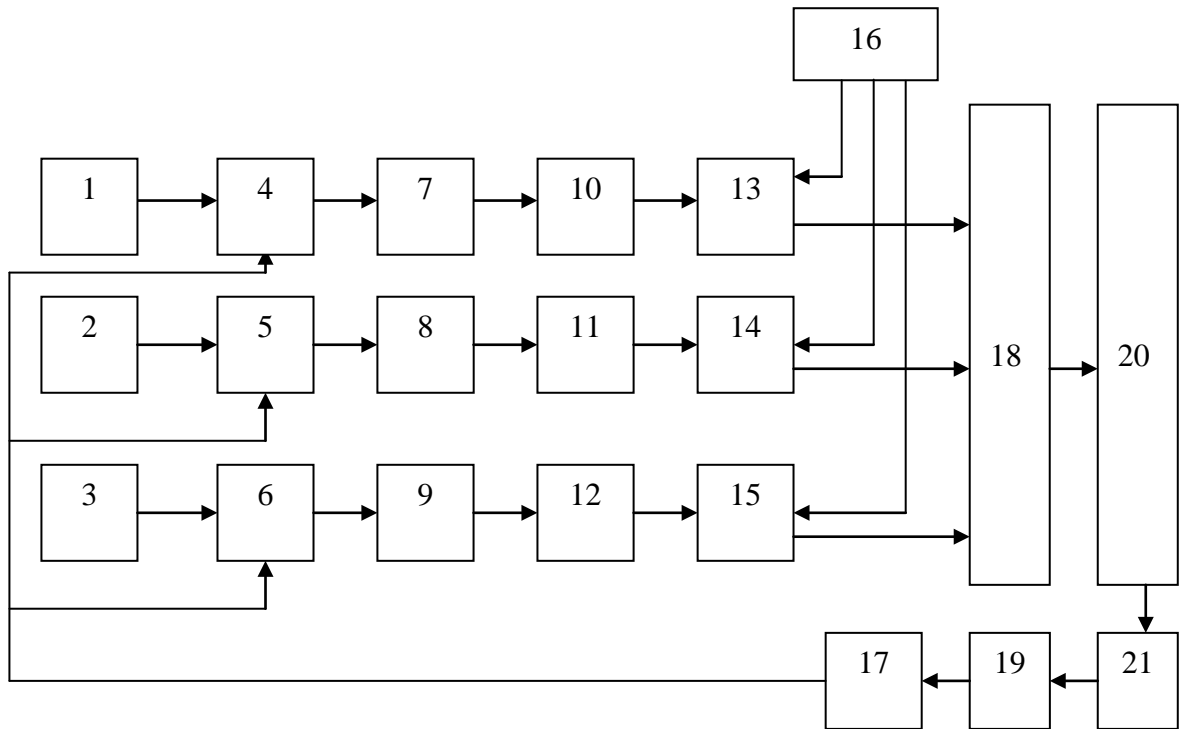


ნახ. 22 თბური ტუმბოს კონდენსატორის წნევის ავტომატური

მოწყობილობის ბლოკ-სქემა

თბური ტუმბო უზრუნველყოფს 85°C -მდე ტემპერატურის მიღებას, ამიტომ საშრობ ღუმელში $95 \div 105^{\circ}\text{C}$ -ის მისაღწევად, მასთან ერთად ერთდროულად საჭირო ხდება დენის კალორიფერების გამოყენება. ყოველივე ამის გამო, თბური ტუმბო, რომელიც ემსახურება ჩის საშრობ ღუმელს, ჩაყენებულია მაქსიმალური სიმძლავრის მუშა რეჟიმში, რაც მიიღწევა ზემოაღწერილი წნევის სტაბილიზატორის საშუალებით, ხოლო ღუმელში ტემპერატურის რეგულირება ხორციელდება ელექტროკალორიფერზე ქმედებით.

23 ნახაზზე მოცემულია ტემპერატურის ორპოზიციანი რეგულატორის ბლოკ-სქემა, რომელიც სამფაზიანი ძაბვით მომუშავე ელექტროკალორიფერის (18) მართვის საშუალებით არეგულირებს ჰაერის ტემპერატურას საშრობ ღუმელში (20). სამფაზიანი დენის წყაროდან (16) თითოეული A, B, C ფაზის ძაბვის მიწოდება ელექტროკალორიფერზე (18) ხორციელდება ტირისტორული გასაღების (13), (14), (15) საშუალებით. როდესაც ღუმელის ჰაერის ტემპერატურა 100°C -ზე დაბალია, მაშინ ტემპერატურის გადამწოდი (21) იწვევს გამზომი ბოგირის განზღვევას ისე, რომ ამუშავდეს კომპარატორი (17), რომელიც ჩართავს ნებართვის სქემებს (4), (5), (6), რის შედეგადაც მაღალი სიხშირით მომუშავე გენერატორების (1), (2), (3) სიგნალი შესაბამისი გამაძლიერებლის (7), (8), (9) გავლის შემდეგ, განმაცალებელი იმპულსური ტრანსფორმატორების (10), (11), (12) საშუალებით ჩართავენ მაკომუტირებელ ტირისტორულ გასაღებებს (13), (14), (15). როდესაც ღუმელის ჰაერის ტემპერატურა გადააჭარბებს 100°C , მაშინ გამზომი ბოგირის (19) სიგნალი ტემპერატურის გადამწოდის (21) გავლენით გამორთავს კომპარატორს (17), რაც (4), (5), (6) ნებართვის სქემების დაკეტვასა და ტირისტორული გასაღებების გათიშვას გამოიწვევს. ანალოგიური პროცესები მეორდება საშრობ ღუმელში ჰაერის ტემპერატურის ნორმისაგან გადახრის მიხედვით.



ნახ. 23. ტემპერატურის რეგულატორის ბლოკ-სქემა

შრობის ოპერაციის დამთვრების შემდეგ, საშრობი ღუმელიდან ტრანსპორტიორი კონვეიერის საშუალებით გამოდის უკვე მზა პროდუქცია - გამშრალი ჩაი. გადამუშავების ამ უკანასკნელი სტადიისათვის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება გამომშრობის ხარისხს, რადგან იგი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს თვით პროდუქციის ხარისხს [3].

ძირითადი ელექტროძრავის - 2 მუშაობის ნორმალური რეჟიმის დარღვევის შემთხვევაში, დამიწების წინააღმდეგობაზე აღიძვრება სიგნალი, რომელიც მაფორმირებელი კვანძის - 4 საშუალებით მოქმედებს კომპუტატორზე - 3. უკანასკნელი თიშავს ჩამრთველს - 1 და რთავს ჩამრთველს - 6. ამრიგად, ირთვება სარეზერვო ელექტროძრავი - 7.

ანალოგიური პროცესი განმეორდება ჰაერის ნაკადის გადამწოდის მიღებული ავარიული სიგნალის შემთხვევაშიც, რომელიც აღიძვრება ჰაერის ნაკადის სიდიდის გარკვეულ მნიშვნელობამდე შემცირების დროს.

დარეზერვების სისტემის ეფექტური ფუნქციონირებისათვის, მნიშვნელოვანია როგორც ჩანაცვლების აუცილებლობის შეუცდომელი დიაგნოსტიკა, ისევე მისი ოპერატიული შესრულება.

განხილული ჩანაცვლებითი დარეზერვება, როგორც სისტემის მუშაობის საიმედოების ამაღლების ეფექტური ხერხი, პრაქტიკაში განსაკუთრებული მნიშვნელობით გამოვლინდება უწყვეტი დღე-ღამური რეჟიმით მომუშავე თბური ტუმბოს სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემებისათვის (მაგ.: გათბობისა და ცხელი წყალმომარაგების სისტემები და სხვ.) [82, 85].

4.6. თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების წინასაპროექტო რეკომენდაციების დამუშავება

მრავალი წლის მანძილზე ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების აღჭურვა თბური ტუმბოს დანადგარებით, წარმოადგენს დაბალტემპერატურული (100 °C-მდე) მომხმარებლების თბური ენერგიით უზრუნველყოფის ეფექტურ მეთოდს. ასეთ დაბალტემპერატურულ მომხმარებლებს წარმოადგენენ მაგალითად, ჰაერის ტექნოლოგიური და ტექნოლოგიურ-კომფორტული კონდინცირების სისტემები. აღნიშნულ სისტემებში თბური ტუმბოების გამოყენება უზრუნველყოფს ორგანული სათბობის 30-70%-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. [30, 37].

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 - $Q_{\text{თ}}$, სიცივის მწარმოებლობის - $Q_{\text{ცი}}$, ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი - φ , მისი მოცულობითი - λ და ენერგეტიკული მახასიათებლების - η , აგრეთვე თბური ტუმბოს მუშაობის სხვა რეჟიმული პარამეტრების თეორიული გაანგარიშებებისათვის რეკომენდებულია 2 ÷ 4 თავებში მოცემული მეთოდიკები და შესაბამისი ფორმულები [4, 7].

წარმოდგენილი მეთოდიკები სრულად პასუხობენ „სნ“ და „წ“-ის მოთხოვნებს გათბობის, ვენტილაციის, ჰაერის კონდიცირებისა 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 შერჩევასა პროექტში გათვალისწინებული უნდა იყოს რეგიონის კლიმატური მონაცემები, მისი სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის სტრუქტურა, სითბოს ბუნებრივი და დაბალპოტენციური წყაროების ენერგეტიკული დონე, აგლეთვე უნდა განხორციელდეს სითბოსა და სიცივის მოხმარებისა და მომარაგების სისტემების პარამეტრების ოპტიმიზაცია.

თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი ჰაერის კონდიცირების სისტემების თბომწარმოებლობის შერჩევა, როდესაც წინასწარ განსაზღვრულია მუშა ზონაში მისაწოდებელი ჰაერის პარამეტრები (φ და t), სასურველია განხორციელდეს ჩვენს მიერ დამუშავებული ეკონომიკურ-მათემატიკური მოდელის საფუძველზე [80], 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 [5, 7].

ჩვენს მიერ ჩატარებული მრავალწლიანი კვლევების შედეგად, თბური ტუმბოს სისტემების მუშაობისათვის შეიძლება გაიცეს შემდეგი სახის რეკომენდაციები: [4,77]:

- ცხელი წყლის მისაღებად ჩვეულებრივი რადიატორული ან პანელური ტიპის გათბობის სისტემებში, აგრეთვე სხვა დაბალტემპერატურული (100 °C-მდე) პროცესების თბური ენერგიით უზრუნველსაყოფად, დგუშიანი 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 გადამუშავება და მოხმარება, მიზანშეწონილია R134 a- ის და R142-ის, ან R142- ისა და R22-ის არააზეოტროპული ნარევის გამოყენება (ცხრილი 18)

ცხრ.18

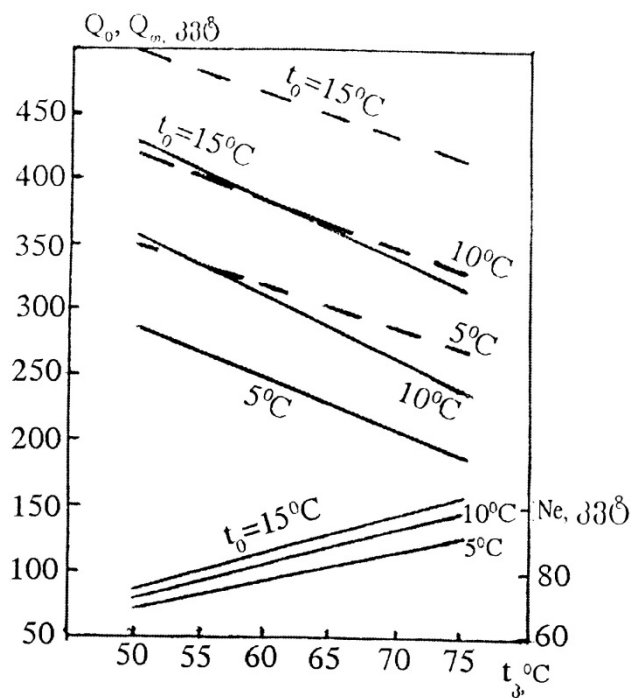
რეკომენდაციები თბური ტუმბოს დანადგარებში ხლადონების გამოყენებისათვის

ტემპერა- ტურა, °C	თბური ტუმბო სხვადასხვა ტიპის კომპრესორების ბაზაზე					
	დგუშიანი		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

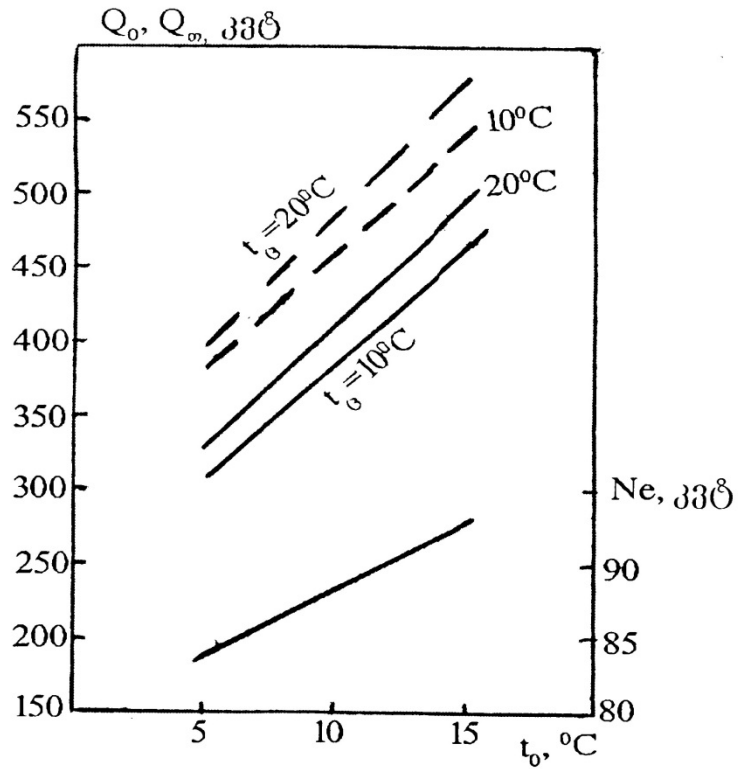
90	R134 a, R142	4; 1	R134 a, R142	4; 1	R142	1; 4
5 ... 60	R134 a, R22	1; 4	R134 a/R22	1; 4	R134 a, R22	1; 4
-10 ... + 75	R134 a/R142	3	R134a/R142, R21	3; 4	R142, R21	1; 4

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

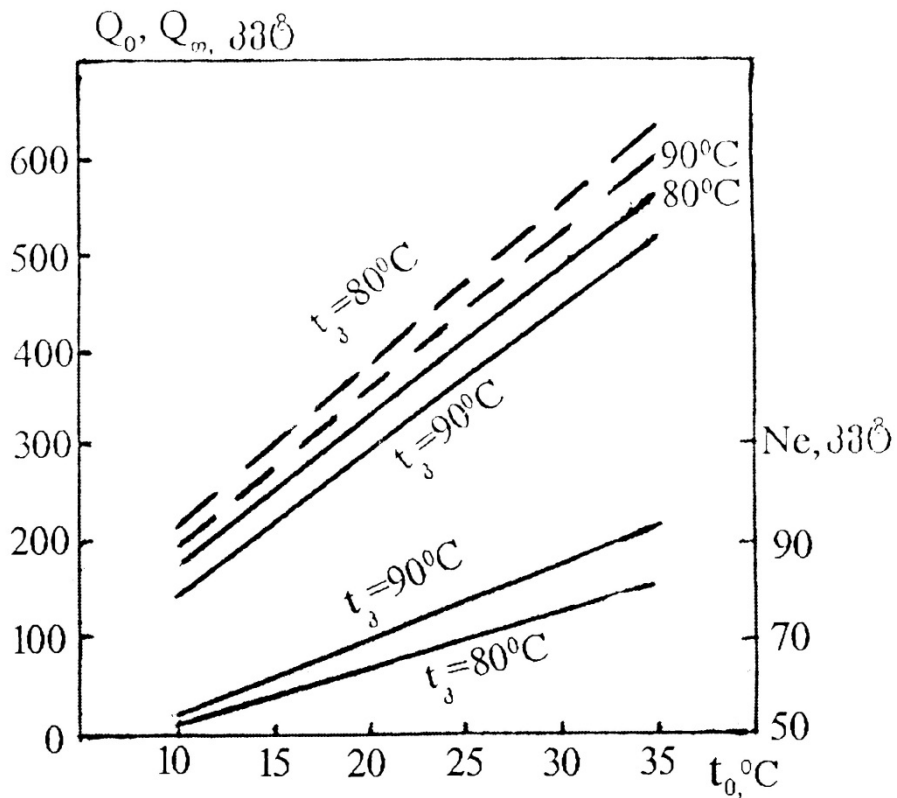
ქვემოთ მოყვანილია თბოტექნიკური გაანგარიშების შედეგები, რომლებიც აუცილებელია სერიული სამაცივრო მანქანების მისადაგებისათვის, მათი თბური ტუმბოს რეჟიმში მუშაობისას, სითბოსიცივით მომარაგების სისტემების პროექტირების დროს (ნახ. 24, 25, 26) [9,15].



ნახ. 24. თბური ტუმბო (შესაძლებელი) ბაზა: სამაცივრო მანქანა MKT220-2-1, R134 a, გადახურება 15°C. _____ Q_e , - - - - - Q_c .



ნახ. 25. თბური ტუმბო (შესაძლებელი) ბაზა: სამაცივრო მანქანა MKT220-2-1, R134 a, გადახურება 15°C . თბური ტუმბო დამატებითი თბომცვლელით ცხელი წყალმომარაგების სისტემებისათვის $t_3 = 65^\circ\text{C}$. t_g - საქსელო წყლის ტემპერატურა. _____ Q_0 , - - - - - Q_m .



ნახ. 26. თბური ტუმბო (შესაძლებელი) ბაზა: სამაცივრო მანქანა MKT220-2-1, R142, გადახურება 15°C. თბური ტუმბო დამატებითი თბომცვლელით
_____ Q_0 , ----- Q_0 .

თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების შექმნისას აუცილებელია გამოიყოს ორი ეტაპი:

პირველი ეტაპი - თბური ტუმბოს სისტემების შექმნა ამჟამად არსებული სამაცივრო დანადგარების ბაზაზე;

მეორე ეტაპი - თბური ტუმბოს სისტემების შექმნა ახალი სამაცივრო დანადგარების ბაზაზე, სადაც გათვალისწინებული იქნება თბური ტუმბოებით სითბო-სიცივით მომარაგების მთელი სპეციფიკა.

თბური ტუმბოებით აღჭურვილი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების ეკონომიკურობაზე ზეგავლენას ახდენენ შემდეგი ფაქტორები:

- თბომომარაგების სისტემა (დახურული, ღია);
- დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ტემპერატურა;
- გასაცხელებელი გარემოს (წყალი, ჰაერი) ტემპერატურა თბური ტუმბოს შემდეგ;
- ცხელი წყალმომარაგების წილი მთლიან თბურ დატვირთვაში;
- გათბობის სეზონის ხანგრძლივობა;
- ორგანული სათბობის სახე (მაზუთი, გაზი), თბომომარაგების ალტერნატიული ვარიანტის დროს (თბომომარაგება საქვაბიდან);
- ადგილობრივი პირობები და შეზღუდვები (საქვაბის არსებობა და მისი ადგილმდებარეობა, თბური დატვირთვის სიდიდე, ელექტრომომარაგების პირობები, მოსახლეობის სიმჭიდროვე, დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს გამოყენებაზე გაწეული დანახარჯები და სხვ.).

თბომომარაგების ღია სისტემის დროს, თბური ტუმბოს დანადგარი ძირითადად მუშაობს საქსელო წყლის გაცხელებაზე 5°C -დან 70°C-მდე მდგრად ეკონომიურ რეჟიმში.

თბომომარაგების დახურული სისტემის დროს, თბური ტუმბოს დანადგარის მუშაობის ეკონომიკური რეჟიმი დამოკიდებულია დღე-ღამის

განმავლობაში დაბრუნებული (უკუ) წყლის ტემპერატურის თანაბრობის პრობლემის გადაწყვეტაზე. ცნობილია, რომ დახურულ სისტემაში უკუ წყლის ტემპერატურა ცვალებადია და დროის ყოველ კონკრეტულ მომენტში დამოკიდებულია სისტემაში ცხელი წყალმომარაგების თბური დატვირთვის სიდიდეზე. ცხადია, რომ ამ პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია სითბოს აკუმულირების გზით. მაგრამ, ამ შემთხვევაში, უკუწყლის ტემპერატურის გათანაბრების მიზნით, აუცილებელია დღე-ღამის განმავლობაში საქსელო წყლის მრავალჯერადი, უწყვეტი ცირკულაცია საქსელო ტუმბოების გამოყენებით. ამ დროს ჩნდება ღია ავზებიდან საქსელო წყალში მნიშვნელოვანი რაოდენობის ჟანგბადის მოხვედრის საშიშროება, იზრდება საქსელო ტუმბოების რიცხვი და თბომტარის გადასატუმბად საჭირო ელექტროენერგიის ხარჯი. ამდენად, თბური ტუმბოების გამოყენებით, თბომომარაგების დახურული სისტემების შექმნისას, საჭიროა გარკვეული ჯგუფის, როგორც სამეცნიერო, ასევე საინჟინრო საკითხების გადაწყვეტა [87].

თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებისას, გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ რაც უფრო მაღალია დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ტემპერატურა, მით უფრო ეკონომიკურ რეჟიმში მუშაობს თბური ტუმბო, ხოლო მომხმარებელზე მისაწოდებელი წყლის ტემპერატურის მომატება აუარესებს მისი მუშაობის ეკონომიკურ მახასიათებლებს.

ცხელი წყალმომარაგება, დღე-ღამური აკუმულირების გათვალისწინებით წარმოადგენს, თბური ტუმბოების ეფექტურად გამოყენების ერთ-ერთ მიმართულებას. რაც მეტია ცხელი წყალმომარაგების წილი თბომომარაგების ჯამურ დატვირთვაში, მით ეკონომიკური იქნება თბური ტუმბის მუშაობა სისტემაში.

თბური ტუმბოს სისტემის საექსპლუატაციო მახასიათებლებზე მნიშვნელოვანი ზეგავლენა შეიძლება მოახდინოს მოცემული ენერგოსისტემის ელექტრული დატვირთვის დღე-ღამურმა გრაფიკმა.

პერსპექტივაში, ელექტროენერგიაზე დიფერენცირებული გრაფიკის შემოღების შემთხვევაში, სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემებში თბური ტუმბოს დანადგარების ღამის საათებში მუშაობის შედეგად, მნიშვნელოვნად გაიზარდა მათ მიერ გამომუშავებული თბური ენერგია.

ასეთია პირველი რიგის ამოცანები, თბური ტუმბოს დანადგარებით სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემების აღჭურვისას და აღნიშნული დანადგარების შემდგომი გაუმჯობესებისას.

ძ ი რ ი თ ა დ ი დ ა ს კ ვ ნ ე ბ ი

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-სიცივით მომარაგების კომპლექსური სისტემების მუშაობის ეფექტურობაზე. დადგენილია, რომ თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებით კომპლექსური სითბო-სიცივით მომარაგება უნდა განვიხილოთ, როგორც დაბალტემპერატურული მომხმარებლებისათვის ($\cong 100^{\circ}\text{C}$) სითბური ენერჯით უზრუნველყოფის ეფექტური ღონისძიება მრეწველობაში, სოფლის მეურნეობაში და კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო სექტორში. ამდენად, დაბალპოტენციური სითბოს წყაროების გამოყენებით თბური ენერჯის მისაღებად, თბური ტუმბოს დანადგარების ფართოდ დანერგვა წარმოადგენს სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების და მისი რაციონალურად მოხმარების ერთ-ერთ ყველაზე უფრო ეფექტურ ეკოლოგიურად სუფთა მეთოდს.
2. დამუშავებულია 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 დანადგარების 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 $\varphi_{\text{რ}} = 3,2 \div 3,8$. დგუმიანი და ხარხნული ტიპის კომპრესორების განზოგადებული ენერგეტიკული მახასიათებლის - η_e -ს

შედარების შედეგად ნაჩვენებია, რომ ხრახნული ტიპის კომპრესორის η_e 10÷15%-ით აღემატება დგუმიანი 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 კონდიციონირების სისტემებში თბური ტუმბოს დანადგარების მუშაობის იმიტაციური მოდელები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია განვსაზღვროთ დასახლებული პუნქტების, ცალკეული ობიექტებისა და საწარმოო-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 ეკონომიოსას და ეკოლოგიური სიტუაციის საგრძნობი გაუმჯობებისათვის;

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 საგძნობ გაუმჯობესებას. ეს კი ნიშნავს ეკონომიკურ აღმავლობას.

ლიტერატურა

1. Везиришвили О. Ш. Теплохладоснабжения торгового центра Сухуми. Холодильная техника, 1972, № 12;
2. Везиришвили О. Ш. Теплохладоснабжения кур.зала в Пицунде. Холодильная техника, 1977, № 10;
3. Везиришвили О. Ш. Теплохладоснабжения в отраслях АПК Грузии. Холодильная техника, 1998, № 5;
4. Везиришвили О. Ш. Рекомендации по разработке систем теплохладоснабжения. Труды ИСУАН Грузии. 2003, № 7;
5. ე. კოტორაშვილი, ო. ვეზირიშვილი. ენერგოდამზოგი თბოსიცივით მომარაგების სისტემების ენერგოეკოლოგიური ეფექტიანობის გამოკვლევა. „ენერგია“, № 1(61), 2012;
6. ე. კოტორაშვილი, ქ. ვეზირიშვილი. ენერგის განახლებადი რესურსები საქართველოს მდგრადი განვითარებისათვის. „ინტელექტუალი“, № 21, 2012;
7. Нуждин А. С. Измерения в холодильной технике. М., Агропромиздат, 2000;
8. ჯ. ავალიანი. XXI საუკუნის ენერგეტიკა. „ენერგია“, № 3, 2000;
9. “Oll Information” – Международное энергетическое агенство (МЭА). 2000;
10. «Путь к экологически и приемлемой энергии в XXI веке». США. 2001;
11. “Survey of Energy Resources” (МИРЭС). 2001;
12. Энергетические технологии для 21-го века (МЭА). 2001;
13. Экономическая оценка обеспеченности народного хозяйства энергетическими ресурсами на 2015-2020 г.г. ДСП. КЕПСАН.. № Гос.рег. 0.12001.0012126. Тбилиси, 2001;
14. გ. არაბიძე. მსოფლიო ენერგეტიკული ბალანსის დღევანდელი მდგომარეობა და მისი განვითარების პერსპექტივები. კონფ. 2000;
15. ASHRAE Hendbook of Fundamentals. New-York. 2003;
16. Vezirogly T. N. Alternative Energy Sources, An International Compendium Ed. Pergamon. 2002;
17. Dupree W. G., West J.A., United States energy trough the yar 2015 us Department of the Interior. 2001;
18. Pearce J. J., Theconst-Effectiveness of Instaling Energy Sources. Florida. 2002;

19. Pretsch T. A. The unitary haatpumps industry – 25 yrs of progress. ASHRAE. Journal, 2003, vol. 19, № 7;
20. Tasson A. Development and potential growth in western Europe. Heat Pumps Supplement, october 2002;
21. Resing enerjy prices fuel. Hat Pumps boom. Electrical Review 2002, vol. 208, № 11;
22. Lopes – Cacicedo C.L. Electrically-driven Heat Pumps: Current resarch and foture prospects. Heat Pumps Supplement, october 2003;
23. Hoggarth M. C. Caz engiven – driven Heat Pumps for industrial and commercial applications. Energy World Heat Pumps Supplement, october 2004;
24. Vezirishvili O. Effective use of energy – The First International Conference, 2006;
25. ო. ვეზირიშვილი და სხვ. მყარი სათბობის წვის პროგრესული ტექნოლოგიები და ენერგეტიკის განვითარების პერსპექტივები - “საქართველოს ენერგეტიკა - პრობლემები და პერსპექტივები“. შრომათა კრებული. თბილისი, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, 2006;
26. Vezirishvili O. et. al. Consumption of local coal and its wastes // Mining Journal № 2(5), 2000;
27. Vezirishvili O. et. al. Main problemz and development outlook for Georgian energy // Georgian Engineering News, № 3, 2001;
28. Vezirishvili O. et. al. Taking account of ecological factors when determining the efficiency of utilization of heat power plants // Georgian Engineering News, № 3, 2001;
29. Vezirishvili O. et. al. Prospects of development for the Georgian energy sector – Proceedings of The Second International Energy Conference in Armenia, 2001;
30. Vezirishvili O. et. al. Energy saving projects in Georgia - Proceedings of The 24th World Energy Engineering congress, USA, 2001, pp.;
31. Vezirishvili O. et. al. Energy efficiency important tool to protect the environment – International Seminar EURASIA Environmental Information Center, 29-30 March, 2002;
32. ო. ვეზირიშვილი და სხვ. ახალი ტექნოლოგიები კომპლექსური თბოსიცივით მომარაგების სისტემებში - საერთაშორისო სამეცნიერო საინჟინრო კონფერენცია, „უახლესი ტექნოლოგიები XXI“, თბილისი, 2002;
33. Vezirishvili O. et. al. Energy saving system for heat and cool supply on the basis of absorbtion type heat pump - სტუ, შრომათა კრებული, № 3 (423), 2002;
34. Vezirishvili O. et. al. Technical and economical indexes of the air conditioning systems with usage of heat pumps – Energy Forum, 18-19 September, Tbilisi, 2003;

35. თ. ვეზირიშვილი და სხვ. სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის განვითარების მიმართულებები - მე-6 სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია. შრომათა კრებული, თბილისი, 2003;
36. Везиришвили О. и др. Имитационное моделирование отопительной системы с энергосберегающей теплонасосной установкой – Труды ИСУ АН Грузии, № 7, 2003;
37. Везиришвили О. и др. Опыт многолетнего применения энергосберегающих систем теплохладоснабжения – V Муждународный симпозиум по тепломасообмену, Минск, 2003;
38. Везиришвили О. и др. Пути повышения эффективности цикла теплонасосной установки - V Муждународный симпозиум по тепломасообмену, Минск, 2003;
39. თ. ვეზირიშვილი. სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის საფუძვლები, თბილისი, სტუ, 2004;
40. Vezirishvili O. Heat pumps in tea industry and other applications – Energy and Environment, Collection of Papers, Tbilisi, 2000;
41. თ. ვეზირიშვილი და სხვ. ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების დანერგვის სტიმულირების მეთოდიკა - „ბუნება და ენერგეტიკა“, თბილისი, 2000;
42. თ. ვეზირიშვილი და სხვ. ენერგოეფექტურობის ამაღლების სტრატეგიის პრინციპები - „ბუნება და ენერგეტიკა“, თბილისი, 2000;
43. თ. ვეზირიშვილი და სხვ. ენერგიის ეფექტურად გამოყენების პერსპექტივა რძის საწარმოში ენერგოაუდიტის საფუძველზე - „ბუნება და ენერგეტიკა“, თბილისი, 2006;
44. თ. ვეზირიშვილი და სხვ. საქართველოში ენერგოეფექტურობის ამაღლების საშუალებები - „ბუნება და ენერგეტიკა“, თბილისი, 2000;
45. Везиришвили О. и др. Повышение эффективности использования энергии – The First International Conference Energy and Environment, Tbilisi, 2000;
46. თ. ვეზირიშვილი. საბურთალოს რაიონის თბომომარაგების საპილოტო პროექტში მზის ენერგიის გამოყენების შესაძლებლობების შესწავლა - გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციის ეროვნული ბიულეტენი - № 9, თბილისი, 2000;
47. Vezirishvili O. et. al. Energy efficiency and cost effectiveness of thermal insulation of pipes – Proceedings of The Second International Energy Conference in Armenia, 2001;
48. Vezirishvili O. et. al. Energy saving performance contracting Tolia ice-cream factory, Tbilisi, OPET ESF, OPET Caucasus Workshop Energie, 2002;
49. Везиришвили О. Состояние и перспективы применения теплонасосных установок в Грузии. Сб. докладов международной конференции «Проблемы управления в энергетике», 2004;

50. Везиришвили О. Оптимизация энергопотребления системами теплоснабжения в пищевой промышленности. Вестник международной Академии холода, № 4, 2005;
51. თ. ვეზირიშვილი და სხვ. ენერგოსისტემის ცვალებად გარემოში ფუნქციონირების მოდელირება. „ენერგია“, № 2 (42), 2007;
52. თ. ვეზირიშვილი და სხვ. ენერგოეფექტიანობის გაზრდის სტრატეგია და მისი მართვის მეთოდოლოგიური საფუძვლები // „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, № 1 - 3, 2007;
53. თ. ვეზირიშვილი და სხვ. ენერგოდამზოვი სისტემის ოპტიმიზაცია და დანერგვის პერსპექტივები საქართველოში, „ენერგია“, № 1 (45), 2008;
54. თ. ვეზირიშვილი და სხვ. სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის განვითარების საოპტიმიზაციო ამოცანების მოდელირება. „ენერგია“, № 4 (48), 2008;
55. Везиришвили О. и др. Энергосберегающие теплонасосные системы тепло и хладоснабжения. МЭИ, 2004;
56. თ. ვეზირიშვილი. სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის საფუძვლები - თბილისი, სტუ, 2012;
57. Vezirishvili O. et. al. Energy efficiency and cost effectiveness of Heat Pumps. International Energy Conference in Armenia, 2007;
58. თ. ვეზირიშვილი. გარემოს დაცვა ენერგოდამზოვი დანადგარების გამოყენებისას. „საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. „ინფორმაციული ტექნოლოგიები მართვაში“, თბილისი, 2007;
59. ე. ა. კოტორაშვილი, გ. თ. არაბიძე, ქ. თ. ვეზირიშვილი. განახლებადი ენერჯის რესურსების გამოყენების ეფექტურობა საქართველოში. „II საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია“, ქუთაისი, 2013;
60. ე. ა. კოტორაშვილი, გ. თ. არაბიძე, ქ. თ. ვეზირიშვილი. ენერგოეფექტურობის მართვის მეთოდოლოგიური საფუძვლები“, „II საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია“, ქუთაისი, 2013;
61. თ. ვეზირიშვილი. ენერგოდამზოვი სისტემების ოპტიმიზაცია და დანერგვის პერსპექტივები // „ენერგია“, № 1, 2008;
62. თ. ვეზირიშვილი. თბოენერგეტიკული დანადგარების გარემოზე ზეგავლენის ანალიზი // „ენერგია“, № 2, 2010;
63. Vezirishvili O. Energy saving projects of Heat Pumps - Proceedings of The 24th World Energy Engineering congress, USA, 2001;
64. ბ. ჩხაიძე. ენერჯის განახლებადი წყაროები. თბილისი, 2011;
65. ნ. მელაძე. მზის ენერჯის გამოყენების ეფექტურობა. „ენერგია“, № 4, 2008;
66. ქ. ვეზირიშვილი. გეოთერმული თბოსიცივით მომარაგების სისტემების მეცნიერული საფუძვლები. თბილისი. 2005;
67. ქ. ვეზირიშვილი. გეოთერმული წყლების კომპლექსური გამოყენების ეფექტიანობა. „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, № 7-9, 2008;

68. ქ. ვეზირიშვილი. ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენების პერსპექტივები // „ენერჯია“, № 2, 2011;
69. ო. ვეზირიშვილი და სხვ. თბოენერგეტიკული დანადგარების ეკოლოგიაზე ზეგავლენის ეკონომიკური შეფასების მეთოდოლოგია. სტუ-ს შრომები, № 4, 2010;
70. ო. ვეზირიშვილი. ეკოლოგიურად სუფთა ენერგეტიკის განვითარებისათვის. „მწვანე დედამიწა“. თბილისი. 2007;
71. ო. ვეზირიშვილი და სხვ. არატრადიციული ენერგორესურსები - გარემოს დასაცავად. „მწვანე დედამიწა“. თბილისი. 2007;
72. თ. მუსელიანი. კონდუქტომეტრია ეკოლოგიის სამსახურში. „მწვანე დედამიწა“. თბილისი. 2007;
73. ვ. აბესაძე. ქ. ბათუმის თბოსიცივით მომარაგება ეკოლოგიურად სუფთა თბური ტუმბოს სისტემის გამოყენებით. „მწვანე დედამიწა“. თბილისი. 2007;
74. ქ. ვეზირიშვილი. უნარჩუნო თბოტექნოლოგიების დანერგვა - ეკოლოგიური ალტერნატივა. „მწვანე დედამიწა“. თბილისი. 2007;
75. ი. ღონიაშვილი. ინდივიდუალური შენობების თბოსიცივით მომარაგება თბური ტუმბოს დანადგარებით. „მწვანე დედამიწა“. თბილისი. 2007;
76. ჯ. ავალიანი. ენერგოეფექტურობა და ეკოლოგია. „ენერჯია“, № 1, 2007;
77. Рекомендации по технико-экономическому обоснованию применения солнечно-теплонасосных систем теплохладоснабжения на гражданских и промышленных объектах. Москва. 2007;
78. ვ. კაკაბაძე. შავი ზღვის გოგირდ-წყალბადი და ეკოლოგია. „მწვანე დედამიწა“. თბილისი. 2008;
79. Ахмедов Р. Б. Состояние и перспективы использования возобновляемых источников энергии // Изд. АН СССР. Энергетика и транспорт. Москва. 2003;
80. Везиришвили О. Ш., Мирианашвили Н.А. Результаты технико-экономических исследований теплонасосных систем теплохладоснабжения молокоперерабатывающих заводов. Труды ИСУ АН Грузии, № 7, 2003;
81. Доброхотов В. И. Роль возобновляемых источников энергии. М., Теплоэнергетика, № 2, 2001;
82. Мирианашвили Н. А., Везиришвили О.Ш. Оптимизация энергопотребления системами теплохладоснабжения в пищевой промышленности. Вестник МАХ, Санкт-Петербург- Москва, Вып. 4, 2005;
83. Мирианашвили Н. А., Везиришвили К.О. Усовершенствование основных узлов теплонасосных систем теплохладоснабжения. Труды ИСУ АН Грузии, № 6, 2002;

84. ნ. მირიანაშვილი. ჰაერის კონდიცირების სისტემებში თბური ტუმბოს დანადგარების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ოპტიმიზაცია სხვადასხვა კლიმატური პარამეტრებისათვის. მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომები. № 9, 2005;
85. ნ. მირიანაშვილი. თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი გათბობის სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები. მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომები. № 19, 2007;
86. მ. მელაძე. ენერჯის განახლებადი წყაროების ფართომასშტაბური გამოყენება ქვეყნის მდგრადი განვითარების წინაპირობაა. „მწვანე დედამიწა“. თბილისი. 2008;
87. ო. ვეზირიშვილი და სხვ. ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების დანერგვის სტიმულირების მეთოდიკა. „მწვანე დედამიწა“. 2008;
88. თ. გზირიშვილი, საქართველოს გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციიდან გამომდინარე ვალდებულებების შესრულების გზაზე. „მწვანე დედამიწა“. 2008;
89. გ. რატიანი, ო. ვეზირიშვილი, ჯ. რუსიშვილი. ენერჯის ეფექტურად გამოყენების გზების დასახვა რძის საწარმოებში ჩატარებული ენერგოაუდიტის შედეგების ანალიზის საფუძველზე. „მწვანე დედამიწა“. 2009;
90. ქ. ვეზირიშვილი. ზუგდიდი-ცაიშის გეოთერმული საბადოს ექსპლუატაციის ოპტიმიზაციის საკითხები. „მწვანე დედამიწა“. 2009;
91. ლ. თავართქილაძე. საქართველოში განახლებადი ენერჯის რესურსების ათვისებასთან დაკავშირებული პრობლემები. „მწვანე დედამიწა“. 2009;
92. ვ. ოგანეზოვი. არატრადიციულ ენერგეტიკაში გამოთვლითი ტექნიკის გამოყენება. „მწვანე დედამიწა“. 2009;
93. Carrington C.G. Heat Pumps in the United States of America. Energy World Heat Pumps Supplement, 2010;
94. Sills G. Heat Pumps the UK potential in commerce and industry and the domestic possibilities. Energy World Heat Pumps Supplement, 2010;
95. ე. კოტორაშვილი, გ. არაბიძე, ქ. ვეზირიშვილი. სითბო-სიცივით მომარაგების დანადგარების არსებული მდგომარეობა და მომავლის პერსპექტივები საქართველოში. სტუ-ს შრომები, 2014.
96. საქართველოს ენერგეტიკის პრობლემები და პერსპექტივები. გაზეთი საქართველოს რესპუბლიკა, #47, 14.03.2013