

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ელენე ფანცხავა

თბოგენერატორების შესაძლო ავარიების სისტემური ანალიზი  
და პროფილაქტიკა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2012 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის  
თბო და ჰიდროენერგეტიკის დეპარტამენტის  
თბოენერგეტიკული დანდგარების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი ომარ კილურაძე

რეცენზენტები: -----  
-----

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" -----, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----  
----- ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს  
კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი სრული პროფესორი გია ხელიძე

თანამედროვე თბოგენერატორი რთული აგებულობის აგრეგატია, რომელიც აღჭურვილია მრავალრიცხოვანი საზომ-საკონტროლო ხელსაწყოებით, დაცვისა და მართვის ავტომატიზირებული სისტემებით.

ორთქლის გენერატორების პროექტირების სტადიაზე, როგორც მთლიანი აგრეგატისათვის, ასევე ცალკეული ელემენტებისათვის მუშავდება ნომინალური საექსპლუატაციო რეჟიმები. ნომინალური საექსპლუატაციო რეჟიმების გათვალისწინებით სრულდება მასალების ხარისხის, ცალკეული ელემენტების შეერთებებისა და სამაგრი კონსტრუქციების გათვლა განსაზღვრულ მუშა პარამეტრებზე.

თბოგენერატორების ეფექტური და უსაფრთხო მუშაობისათვის აუცილებელია მათი კვალიფიციური მომსახურება. ქვების შეკეთება და მონტაჟი მთლიანად უნდა შეესაბამებოდეს “ორთქლისა და წყალგამაცხელებელი ქვების მოწყობისა და უსაფრთხო ექსპლუატაციის წესებს”. აღნიშნული წესების დარღვევა როგორც წესი იწვევს ავარიას და აგრეგატების დაზიანებას. ავარიები ელექტროსადგურებზე, სამრეწველო თუ გამათბობელ საქვებებში დაკავშირებულია დიდ მატერიალურ ზარალთან.

თბოგენერატორების გამართული და ეფექტური მუშაობა დამოკიდებულია მისი ცალკეული შემადგენელი აგრეგატებისა და მოწყობილობების გამართულ მუშაობაზე.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია თბოგენერატორის საცეცხლეების ნორმალური უსაფრთხო მუშაობა სხვადასხვა სათბობზე: გაზი, თხევადი და აირადი. ნებისმიერი საექსპლუატაციო წესების დარღვევა შეიძლება გახდეს აფეთქებების მიზეზი. რაც უმეტესად მთავრდება საქვების შენობის ნგრევით და მომსახურე პერსონალის ტრამვირებით.

**თემის აქტუალურობა.** თბოგენერატორების უსაფრთხო და ეკონომიკური რეჟიმით მუშაობა დაკავშირებულია ერთმანეთზე დამოკიდებული მრავალი ფიზიკური და მექანიკური პარამეტრების მოთხოვნილ საზღვრებში შენარჩუნებასთან. აგრეგატების ექსპლუატაციის დროს მახასიათებელი პარამეტრები იცვლება, რაც მუშაობის სტატიკური რეჟიმიდან გარდამავალ რეჟიმში გადასვლას იწვევს. მუშაობის სტატიკური რეჟიმები შესწავლილია საკმარისად

კარგად, მაშინ როცა თბოგენერატორების გარდამავალი რეჟიმების დახასიათება და ანალიზი ისევ აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

თბოგენერატორების მომსახურე პერსონალმა და აგრეგატების მუშაობაზე პასუხისმგებელმა სხვა პირებმა ზედმიწევნით კარგად უნდა იცოდნენ თბოგენერატორისა და მისი მოწყობილობების ავარიის წარმოშობის შესაძლო მიზეზები, მათი აღმოფხვრის პირობები და ავარიების თავიდან აცილების გზები-ღონისძიებები. ავარიების წარმოშობის მიზეზები შეიძლება იყოს მრავალი სახის და ამასთან სპეციფიკური ცალკეული აგრეგატებისა და მოწყობილობების მიხედვით. აგრეგატების მომსახურე პერსონალის პროფესიული კვალიფიკაციის ამაღლებისათვის საჭირო დოკუმენტაციის შექმნა და სწავლების მეთოდის დამუშავება ასევე აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

**სამუშაოს მიზანი და ძირითადი ამოცანები.** სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს თბოგენერატორების უავარიო და ეკონომიკური მუშაობის უზრუნველსაყოფად აგრეგატების ისეთი სასწავლო საექსპლუატაციო მეთოდის დამუშავება, რომელიც ხელს შეუწყობს საჭირო მასალის ეფექტურად ათვისებას. განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს აგრეგატების მუშაობის გარდამავალი რეჟიმების შესწავლა და ანალიზი.

დასახული მიზნის მისაღწევად სამუშაოს ძირითად ამოცანებს წარმოადგენს:

- თბოგენერატორების უსაფრთხო მუშაობის წესების შესწავლა;
- დაზიანებების და ავარიების გამომწვევი მიზეზების სისტემური ანალიზი;
- შესაძლო ავარიების გამოვლენის და აცილების ღონისძიებების შემუშავება;
- თბოაგრეგატის ძირითადი საპასუხისმგებლო ელემენტის –ღოლის გარდამავალი რეჟიმების მათემატიკური მოდელირება;
- ქვების წყლის ეკონომიზერის გარდამავალი რეჟიმების მათემატიკური მოდელირება

- აგრეგატების ექსპლუატაციის სიტუაციური ვარჯიშების კომპიუტერული მოდელირება.

საწავლო და საგამოცდლო ტესტების მასალა შერჩეულია ძირითადი თემების მიხედვით: საცეცხლეები; ორთქლის გენერატორის დოლი და ეკრანის მიღები; ხურების ზედაპირები; ორთქლის გადამხურებელი, წყლის ეკონომიზური და ჰაერშემთობი; არმატურა, კვამლმწოვები და ვენტილატორები; მკვებავი ტუმბოები; სხვადასხვა მილსადენები და სხვა.

**მიღებული შედეგების სამეცნიერო სიახლე.** თბოგენერატორების უსაფრთხო და ეფექტური მუშაობის ხელშესაწყობად ჩატარებულია აგრეგატების შესაძლო ავარიების სისტემური ანალიზი, რაც ავარიების პროფილაქტიკის საშუალებას იძლევა. დამუშავებულია სასწავლო – საგამოცდლო პროგრამების ალგორითმების ბლოკ-სქემები. საბოლოო შედეგები სრული ინფორმაციით გამოიტანება მონიტორზე და სურვილის მიხედვით დაიბეჭდება.

ქვების დოლისა და საცირკულაციო კოლექტორების ლითონს მუშაობა უწევს მაღალი წნევისა და ტემპერატურის, მავნე ნივთიერებების ზემოქმედების და დიდი მექანიკური დაძაბულობის პირობებში. აღნიშნულის გამო მოსალოდნელია ლითონის სტრუქტურის შეცვალა და მისი მექანიკური თვისებების მკვეთრად გაუარესება. ყოველივე ამან შეიძლება გამოიწვიოს ლითონის კოროზია და ელემენტის რღვევაც კი. ასეთი ტიპის დარღვევების ანალიზისათვის და პროფილაქტიკისათვის შესწავლილია ქვების დოლში და წყლის ეკონომიზერში მიმდინარე გარდამავალი რეჟიმები პროცესების მათემატიკური მოდელირების გზით.

მიღებულია ქვების დოლში გარდამავალ რეჟიმებში წნევის ცვლილების საანგარიშო ფორმულა სათბობის თბოუნარის და მკვებავი წყლის ტემპერატურის დროში ცვილებების მიხედვით.

ქვების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კვანძია წყლის ეკონომიზერი, რომლის გამართული მუშაობა მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს მთლიანად აგრეგატის ეკონომიურობას. წყლის ეკონომიზერის გარდამავალი რეჟიმების დასახასიათებლად პროცესის მათემატიკური მოდელირების გზით მიღებულია ეკონომიზერიდან გამოსული წყლის

ტემპერატურის ცვლილების საანგარიშო ფორმულა ნამწვი გაზების და ეკონომიზერში შესული წყლის ტემპერატურების ცვლილებების მიხედვით.

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

კვლევის მეთოდად გამოყენებულია სისტემური ანალიზის მეთოდი, რომლის თანახმადაც გამოსაკვლევი სისტემა -თბოგენერატორი, განიხილება, როგორც ერთიანი (მთლიანი) სისტემა, რომელიც შედგება ქვესისტემებისაგან –საცეცხლე, ორთქლის გადამხურებელი, წყლის ეკომომიზერი, ჰაერშემთბობი და ა.შ. და ნაწილებისაგან (ელემენტებისაგან) დოლი, ეკრანის მიღები, კოლექტორები, საკონტროლო-საზომი ხალსაწყობები, მცველი და სასიგნალო მოწყობილობები და სხა. ასეთი მიდგომა ორიენტირებულია სისტემის შიგნით “შეხედვაზე”, მისი დანაწევრება ისე, რომ შენარჩუნებული იყოს სისტემის შესახებ მთლიანობის შეხედულება. ასეთი მიდგომით მიღებული შედეგები ადეკვატურად ასახავენ თბოაგრეგატებში მიმდინარე რთულ პროცესებს.

### **სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება და შედეგების დანერგვა**

ნაშრომში მიღებული ფორმულები, რომლებიც ასახავენ ქვაბის დოლში და წყლის ეკონომიზერში მიმდინარე გრადამავალ რეჟიმების მიმდინარეობას აპრობირებულია ორდოლიანი ვერტიკალურ წყალმიღებიანი ქვაბის გარდამავალ რეჟიმებში მუშაობის მაგალითებზე. მიღებული შედეგების უტყუარობა დასტურდება შესაბამისი ფიზიკური პროცესების ანალიზით.

დამუშავებული სასწავლო – საგამოცდო პროგრამების ალგორითმების ბლოკ-სქემებით ხდება მსმენელთა სწავლება და საგამოცდო ტესტირება პროგრამული აპრობაცია გაიარა და დაინერგა შპს საქართველოს საერთაშორისო ენერგეტიკულ კორპორაციაში თბოელექტროსადგურის თანამშრომლების პროპეგსიული გადამზადების მიზნით.

**დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა.** დისერტაციის ტექსტი შედგება შესავლის, სამი თავის, დასკვნის, რეზიუმის, დანართის, 48 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისაგან. დისერტაციის მოცულობა შეადგენს 137 გვერდს 9 ცხრილის, 41 ნახაზისა და დანართის ჩათვლით.

## სამუშაოს მოკლე შინაარსი

**თავი I.** ეძღვნება თბოგენერატორების, როგორც ერთ-ერთი რთული მრავალი აგრეგატებისაგან შედგენილ სისტემის აღწერას, რომლის თითოეული ელემენტი ფუნქციურად არის დაკავშირებული ერთმანეთთან და ქმნიან განსაზღვრული დანიშნულების (ორთქლის ან ცხელი წყლის გენერაცია) ერთიან ობიექტს. ცალკეული აგრეგატების ნორმალური რეჟიმით ექსპლუატაცია განაპირობებს მთლიანად თბოგენერატორის უსაფრთხოდ და ეკონომიკურ ფუნქციონირებას.

რთული სისტემის გამოკვლევას სჭირდება სისტემური ანალიზი, რომლის ძირითადი პრინციპია გამოსაკვლევი სისტემის განხილვა, როგორც მთლიანი მოდულისა მისი შემადგენელი ნაწილების (ელემენტების) ერთობლიობით.

სისტემური ანალიზის ჩასატარებლად თბოგენერატორი განხილულია დეკომპოზიციის პრინციპით, რომელიც გულისხმობს სისტემის (თბოგენერატორის) წარმოდგენას ქვესისტემების: საცეცხლე, კონვექციური ნაწილი, სათბობის მომზადების სისტემა, წყლის ეკონომიზერი, ჰაერშემთბობი, დეაერატორი, არმატურა, გარნიტურა, საკვამლე მილი, წვევა-შებენის მოწყობილობების და სხვა, სახით. ქვესისტემები თავის მხრივ შედგებიან ცალკეული ელემენტებისაგან (მაგალითად ქვების დოლი, ეკრანის მილები, კოლექტორები, თერმომეტრები, მანომეტრები, მცველი მოწყობილობები და სხვა). განხილულია ცალკეული ელემენტების მუშაობის პირობები საერთო სისტემასთან ურთიერთკავშირში სისტემის და ქვესისტემის, მისი ელემენტების და გარემოს სხვადასხვა სახის მახასიათებელი პარამეტრების (ტემპერატურა, წნევა, ხარჯი და სხვა) მოძებნისა და სისტემაში მიმდინარე კანონზომიერებების განსაზღვრისათვის. ეს შემდგომში გარდამავალი პროცესების ანალიზის საშუალებას იძლევა.

სისტემის ფუნქციონირების შესახებ მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე შეიძლება გადაწყდეს სინთეზის ამოცანა, რომელიც გულისხმობს სისტემის მოდელის შედგენას ისეთი პარამეტრებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ სისტემის ეფექტურ და უსაფრთხო ფუნქციონირებას.

**თაზი II.** განხილულია ორთქლის გენერატორების შესაძლო ავარიების გამომწვევი მიზეზები და მათი პროფილაქტიკის ღონისძიებები. საექსპლუატაციო სიტუაციური ვარჯიშების ჩასატარებლად დამუშავებულია სასწავლო და საგამოცდო პროგრამების ალგორითმები, რომელთა მიხედვითაც შესაძლებელია თბოაგრეგატების მომსახურე პერსონალის სწავლება-ტესტირება პროფესიული კვალიფიკაციის ამადლების მიზნით. თბოგენერატორის გამართული მუშაობა დამოკიდებულია მისი ცალკეული შემადგენელი აგრეგატებისა და მოწყობილობების გამართულ მუშაობაზე. ავარიების წარმოშობის მიზეზები შეიძლება იყოს სხვადასხვა სახის და ამასთან სპეციფიკური-ცალკეული აგრეგატებისა და მოწყობილობების მიხედვით.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საცეცხლის გამართული მუშაობა. ყველაზე საშიში ავარიული შემთხვევა დაკავშირებულია სათბობის აფეთქებასთან, რომელიც მოსალოდნელია ნებისმიერი სათბობის არასწორი ტექნოლოგიით დაწვის დროს. მოყვანილია სათბობის ნარეგების ფეთქებად საშიში კონცენტრაციების სიდიდეები, ავარიების გამომწვევი მიზეზები და აცილების ღონისძიებები.

ყურადღება ეთმობა ელემენტების (ქვების დოლი, კოლექტორები) თბური გაფართოებით გამოწვეული გადაადგილების რეპერული წერტილების მაჩვენებლებს.

დოლში ბზარების წარმოქმნა დაკავშირებულია დოლის კედელთან ტემპერატურის მკვეთრ ცვლილებებთან რაც გამოწვეულია ეკრანის მიღების გარღვევით, უხარისხოდ შესრულებული შეკეთებებით, ქვების ცივი მკვებავი წყლით შევსებით და წყლის ნორმალური ქიმიური რეჟიმის დარღვევით.

ქვების გაჩერების დროს რომ არ მოხდეს ბზარების გაჩენა საჭიროა დოლის ზედაპირის გაცივება ნაჯერების ტემპერატურის მქონე წყლით, რაც დოლის სხვადასხვა მოწყობილობის და უბნების გაცივებას უზრუნველყოფს ტემპერატურათა მცირე სხვაობების პირობებში. მნიშვნელოვანია ქვების დოლთან ეკრანის მიღების და მადუღარა მიღების გლინვით მიერთების ტექნოლოგიური პროცესის დაცვა, რათა არ მოხდეს დაზიანება. გლინვით შეერთების სიმჭიდროვე ყველაზე ხშირად ირღვევა გადახურებული ორთქლის გამოსასვლელ



კოლექტორში - რადგან გადახურებული ორთქლის ტემპერატურა ქვაბის მუშაობისას ხშირად იცვლება (იწვევს თბურ დეფორმაციებს), მაშინ როდესაც ნაჯერ ორთქლს შემავალ კლექტორში პრაქტიკულად მუდმივი ტემპერატურა აქვს. დაზიანებული შეერთების აღდგენა ხდება განმეორებითი გლინვით. ხშირი გაგლინვა ზრდის ლითონის სიმტკიცეს და სიმაგრეს, მაგრამ საზიანოდ ლითონის პლასტიკური თვისებები მცირდება იგი ხდება მსხვრევადი. ამიტომ რემონტის დროს ასეთ დაზიანებულ შეერთებებს ცვლიან შედუღებით.

წყლის დონის მინიმალურ დასაშვებ დონეზე დაბლა დაშვება შეიძლება მიღების გახეთქვის (გადაწვის) და დოლის დაზიანების მიზეზი გახდეს. ავარია რომელიც გამოწვეულია წყლის დაწვევით ხშირად დაკავშირებულია ოპერატორის უყურადღებობასთან და წყლის დონის მზომი ხელსაწყოს უწესივრობასთან. წყლის დონის მინიმალურ ნიშნულზე დაბლა დაწვევა (წყლის “გაპარვა”) და მაქსიმალურ ნიშნულზე მაღლა აწვევა (წყლით “გადავსება”) ხდება ერთროულად სამი მიზეზის დამთხვევის შემთხვევაში: ადგილზე არ არის ოპერატორი, მკვებავი მოწყობილობების უწესივრობა და წყლის ზღვრული დონეების სიგნალიზაციის არ არსებობა, ან მისი უწესივრობა.

ქვაბის ექსპლუატაციის დროს დოლის კედლების დაზიანების და ეკრანისა და მადულარა მიღების გახეთქვის ძირითადი მიზეზი შეიძლება იყოს:

- წყლის დონის დაშვება წყლის დონის მინიმალურ დასაშვებ დონეზე დაბლა და შემდეგ დოლის გაგარვარებულ კედელზე წყლის მიწოდება;
- ქვაბში მუშა წნევის საგრძნობი მომატება;
- წყლის ცირკულაციის დარღვევა ქვაბში;
- ხურების ზედაპირზე მინადულის დაგროვება რომელიც იწვევს კედლის ადგილობრივ გადახურებას;
- ლითონის ცუდი ხარისხი მასში ფუჭვილის და სხვადასხვა მინარევების არსებობა და უხარისხო დამზადება;
- წყლის ქიმიური რეჟიმის დარღვევა; ლითონის კოროზია და ეროზია.

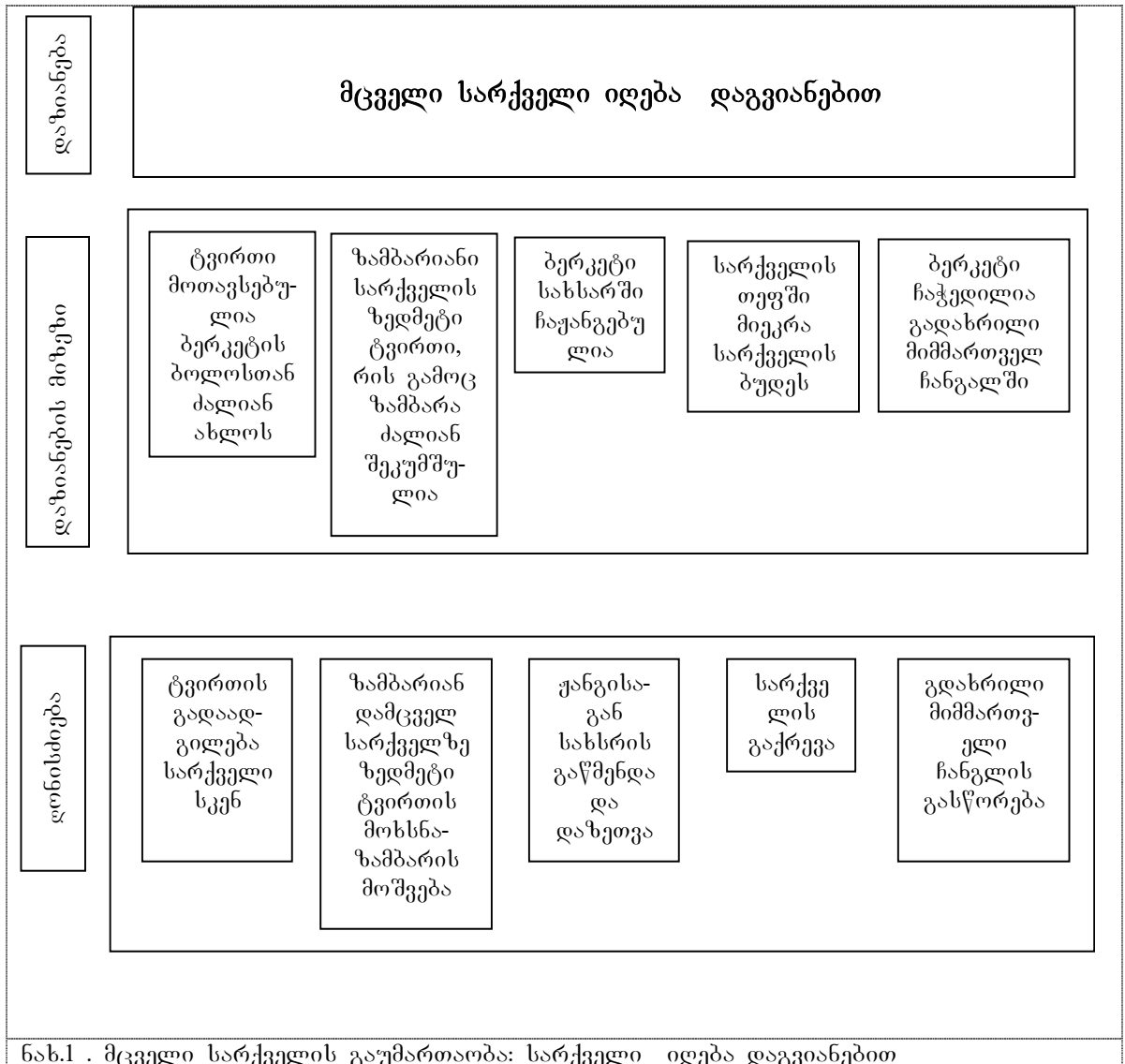
ავარიის მიზეზი შეიძლება გახდეს წყლის დონის მზომი მოწყობილობის გაუმართაობა, რაც შეიძლება გამოიხატოს: სამზერი მინის წყლით გადავსებით, ნორმაზე რამდენადმე მაღალი დონით, წყნარი დონით, წყლის დონის უმნიშვნელო რყევით, წყლის, ან ორთქლის “გაპარვით” შემჭიდროვებიდან და სხვა. ყოველი შემთხვევა გამოწვეულია გარკვეული მიზეზებით, რომელთა პროფილაქტიკა ძირითადად მდგომარეობს ხელსაწყოს წესრიგში მოყვანაში, უმთავრესად სამსვლიანი სარქველის გამოყენებით.

იმისთვის რომ ავიცილოთ თავიდან ორთქლის ქვაბის ავარია წნევის მომატების გამო წესების მიხედვით ქვაბს უყენდება მცველი სარქველები. მცველი სარქველის დანიშნულებაა ქვაბში წნევის მომატებისას დასაშვებ ნომრაზე ზევით მოგვცეს შეტყობინების სიგნალი. დოლში წნევის მომატებამ შეიძლება გამოიწვიოს ეკრანულ მილების, ეკონომიზერის მილებისა და თვით დოლის კედლების რღვევა. ქვაბში წნევის მომატების მიზეზი არის ორთქლის ხარჯის უეცარი შემცირება ან შეწყვეტა. (მომხამრებლის გამორთვა და საცეცხლის იძულებითი ფორმის დაჩქარებული ფორსირება, განსაკუთრებით მაშინ, როცა ქვაბი მუშაობს მაზუთზე ან გაზზე.

უსაფრთხო მუშაობის განსაკუთრებული ფაქტორია მცველი სარქველების გამართული მუშაობა. მცველი სარქველები უნდა დავიცვათ, რომ წნევა მათში არ მოიმატოს დასაშვებზე (გაანგარიშებულზე) 10 %-ზე მეტად. მცველი სარქველებს არასწორი ექსპლუატაციის, ან კიდევ მათში დეფექტების არსებობისას შეიძლება ადგილი ქონდეს ავარიებს.

განხილულია მცველი სარქველების შემდეგი გაუმართაობები, რომლებსაც შეიძლება ქონდეს ადგილი საექსპლუატაციო პრაქტიკაში: მცველი სარქველი არ იღება; მცველი სარქველი იღება დაგვიანებით; მცველი სარქველი იღება ძალიან ადრე (მანამ სანამ მანომეტრის ისარი წითელ ზოლს გადასცდება). მცველი სარქველები ქვაბზე და ორთქლის გადამხურებელზე რეგულირდება გარკვეულ წნევაზე, რაც ქვაბის უსაფრთხო მუშაობის წესებით დგინდება.

ნახ.1. ნაჩვენებია შემთხვევის ანალიზი, როცა მცველი სარქველი იღება დაგვიანებით. მოყვანილია შესაძლო მიზეზები და შესაბამისი ღონიძიებები გაუმართაობების პროფილაქტიკისათვის.



**თაზი III.** ეხება თბოგენერატორში გარდამავალი რეჟიმების მათემატიკური მოდელირებას. გარდამავალი პროცესები აღიჭვრება ობიექტში სხვადასხვა ზემოქმედების დროს, რომლებიც იწვევენ მათი მუშაობის რეჟიმების შეცვლას.

ქვების უსაფრთხო და საიმედო მუშაობა მოითხოვს ქვების დოლში წყლის დონის გარკვეულ საზღვრებში შენარჩუნებას.

წყლის დონის აწევამ ზედა დასაშვებ დონეზე მაღლა (ქვაბის ზედმეტად კვება) შეიძლება გამოიწვიოს წყლის მოხვედრა ორთქლის გადამხურებელში და ორთქლის გადახურების ტემპერატურის შემცირება. წყლის დონის დაწევამ ქვედა დასაშვებ დონეზე დაბლა (წყლის “გაპარვა”) შეიძლება გამოიწვიოს ცირკულაციის დარღვევა ეკრანის მიღებში და მათი გადაწვა. ამით აიხსნება ქვაბის წყლით კვების რეგულირებისადმი განსაკუთრებული მოთხოვნები.

ქვაბის დოლში წყლის დონე დამოკიდებულია რამოდენიმე ფაქტორზე: ორთქლის დატვირთვის ცვლილება (ორთქლის მოხმარების შემცირება, ან მომატება), ქვაბში მკვებავი წყლის რაოდენობის ცვლილება, საცეცხლის თბური დატვირთვის ცვლილება, დოლში წნევის ცვლილება.

ქვაბის დოლში წყლის დონის ცვლილებას შეიძლება ადგილი ქონდეს დოლში წნევის ცვლილების გამო. ორთქლის მომხმარებლის დატვირთვის შემცირებისას (დატვირთვის ხაზზე ორთქლის ურდულის მიხურვა) ქვაბის დოლში გაიზრდება წნევა, რაც გამოიწვევს აორთქლების სარკის ქვეშ ორთქლის ბუშტების კონდენსაციას და მოცულობის შემცირებას. ე.ი. წყლის დონის შემცირებას. პირიქით ორთქლის მომხმარებლის დატვირთვის გაზრდისას (დატვირთვის ხაზზე ორთქლის ურდულის მატად გაღება) დოლში წნევა შემცირდება და აორთქლების სარკის ქვეშ ადგილი ექნება წყლის წვეთების აორთქლებას და მოცულობის გაზრდას. ე.ი. წყლის დონის მომატებას.

**ქვაბის დოლში მიმდინარე პროცესების მათემატიკური მოდელირება**

მოდელირებისათვის შეიძლება სითბური ბალანსის გამოყენება.

ქვაბის დოლის სითბურ ბალანსს აქვს შემდეგი სახე:

$$Q_{საღ.} + Q_{მკვ.წ.} = Q_{ორთ.} + Q_{გაქრ.}, \text{ ანუ } Q_{საღ.} + Q_{მკვ.წ.} - Q_{ორთ.} - Q_{გაქრ.} = 0, \quad (1) \text{ სადაც}$$

$Q_{საღ.}$  - არის დოლში საცეცხლიდან შეტანილი სითბური

სიმძლავრე;

$Q_{მკვ.წ.}$  - დოლში მკვებავი წყლით შეტანილი სითბური სიმძლავრე;

$Q_{ორთ.}$  - დოლიდან ორთქლით გამოტანილი სითბური სიმძლავრე;

$Q_{გაქრ.}$  - დოლიდან საქებაზე წყლის გაქრევით გამოტანილი სითბური

სიმძლავრე.

$$Q_{საც.} = \eta_{საც.} \cdot B \cdot Q_{უღ.}^{\beta}, \text{ კვტ, სადაც}$$

$\eta_{საც.}$  - არის საცეცხლის მ.ქ. კოეფიციენტი;  $B$  - სათბობის წამური ხარჯი, მ<sup>3</sup>/წმ;  $Q_{უღ.}^{\beta}$  - სათბობის მუშა უდაბლესი თბოუნარი, კჯ/მ<sup>3</sup>.

$$Q_{მკ.წყ.} = G_{მკ.წყ.} \cdot i_{მკ.წყ.} \text{ კვტ, სადაც}$$

$G_{მკ.წყ.}$  - არის დოლში მიწოდებული მკვებავი წყლის წამური ხარჯი, კგ/წმ;

$i_{მკ.წყ.}$  - დოლში მიწოდებული მკვებავი წყლის ენთალპია, კჯ/კგ.

$$Q_{გაქრ.} = G_{გაქრ.} \cdot i' - \text{კვტ, სადაც}$$

$G_{გაქრ.}$  - არის დოლიდან უწყვეტი გაქრევის წყლის წამური ხარჯი, კგ/წმ;

$i'$  - გაქრევის წყლის (საქვაბე წყლის ენთალპია),

კჯ/კგ

$$Q_{ორთ.} = D_{ორთ.} \cdot i'', \text{ კვტ, სადაც}$$

$D_{ორთ.}$  - არის ქვების ორთქლმწარმოებლობა, კგ/წმ;  $i''$  - მშრალი ნაჯერი ორთქლის ენთალპია, კჯ/კგ.

მაშინ (1) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\eta_{საც.} \cdot B \cdot Q_{უღ.}^{\beta} + G_{მკ.წყ.} \cdot i_{მკ.წყ.} - D_{ორთ.} \cdot i'' - G_{გაქრ.} \cdot i' = 0, \quad (2)$$

პროცესის მათემატიკური აღწერისათვის საჭიროა მკვებავი წყლის, გაქრევის წყლის და მშრალი ნაჯერი ორთქლის ენთალპიების და ორთქლადქცევის სიბოხს წნევაზე დამოკიდებულებების ანალიზური გამოსახულებების ცოდნა. აპროქსიმაცია შესრულებულია აბსოლუტური წნევის 4-14 ბარი დიაპაზონისათვის და მიღებულია:

მშრალი ნაჯერი ორთქლისთვის  $i''=f(P)=4.9509P+2725.6$ , კჯ/კგ;

ორთქლადქცევის სიბოხსთვის  $r=f(P)=-17.027P+2190.4$ , კჯ/კგ;

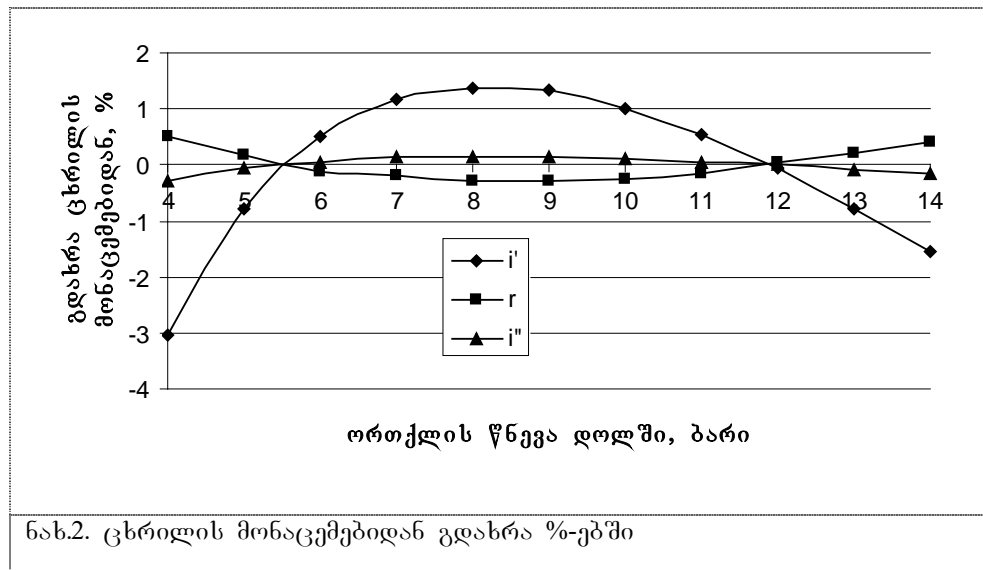
საქვაბე წყლისთვის  $i'=f_3(P)=21.974P+535.22$ , კჯ/კგ;

ნაჯერობის ტემპერატურის წნევაზე დამოკიდებულება

$t_{ნაჯ.}=f(P)=0.0178P^3-0.7219P^2+13.357P+100.73$ , კჯ/კგ;

ნახ.2. მოყვანილია ნაჯერობის ტემპერატურაზე წყლის ენთალპიის, მშრალი ნაჯერი ორთქლისა და ორთქლადქცევის სიბოხს

აპროქსიმაციის ფორმულებით მიღებული მნიშვნელობების გადახრა %-ებში ცხრილის მონაცემებიდან.



P=4-14 ბარი აბსოლუტური წნევის დიაპაზონისათვის მკვებავი წყლის ენთალპია ანალიზისათვის საკმარისი სიზუსტით ტოლია:

$$i_{\text{მკვ}} = 4.2 \cdot t_{\text{მკვ}}$$

წყლის და მისი ორთქლის პარამეტრების დამოკიდებულებების გამოყენებით  $i_{\text{მკვ}} = 4.2 \cdot t_{\text{მკვ}}$ ,  $i'' = f_1(P)$ ,  $r = f_2(P)$ ,  $i' = f_3(P)$  (2) ფორმულა მიიღებს სახეს (3):

$$\eta_{\text{საც.}} \cdot B \cdot Q_{\text{უდ.}}^{\text{მ}} + G_{\text{მკვ}} \cdot 4.2 \cdot t_{\text{მკვ}} - D_{\text{ორთ.}} \cdot (4.9464 \cdot P + 2725.6) - G_{\text{გაქრ.}} \cdot (21.974 \cdot P + 535.22) = 0$$

დოლის სტატიკური რეჟიმით მუშაობის შემთხვევაში, თუ ცვლადი პარამეტრებისათვის შემოვიღებთ აღნიშვნას “0”-ს მაშინ ფორმულა (3) მიიღებს სახეს (4):

$$\eta_{\text{საც.}} \cdot B \cdot Q_{\text{უდ.}}^{\text{მ}} + 4.2 \cdot G_{\text{მკვ}} \cdot t_{\text{მკვ}} - P^{\circ} (4.9464 \cdot D_{\text{ო}} + 21.974 \cdot G_{\text{გაქრ.}}) - D_{\text{ო}} \cdot 2725.6 - G_{\text{გაქ}} \cdot 535.22 = 0$$

დოლის დინამიკური რეჟიმით მუშაობის შემთხვევაში ფორმულა (4) ჩაიწერება ასე (5):

$$\eta_{\text{საც.}} \cdot B \cdot Q_{\text{უდ.}}^{\text{მ}} + 4.2 \cdot G_{\text{მკვ}} \cdot t_{\text{მკვ}} - P^{\circ} (4.9464 \cdot D_{\text{ო}} + 21.974 \cdot G_{\text{გაქრ.}}) - D_{\text{ო}} \cdot 2725.6 - G_{\text{გაქ}} \cdot 535.22 = \frac{d(i \cdot g)}{d\tau}$$

სადაც  $\frac{d(i \cdot g)}{d\tau}$  - არის ქვების დოლში აკუმულირებული სითბური სიმძლავრე დინამიკური რეჟიმით მუშაობის დროს.

9- ქვაბში არსებული წლის რაოდენობა, კგ.

შემოვიღოთ აღნიშვნები:  $\eta_{საც.} \cdot B = a_1$ ;  $4.2 \cdot G_{მკ.წყ} = a_2$ ;

$4.9464 \cdot D_{თ} + 21.974 \cdot G_{გაქრ.} = a_3$ ;  $21.974 = a_4$ . კოეფიციენტების

განზომილებებია:  $[a_1] = \text{კგ/წმ}$ ;  $[a_2] = \text{კგტ/}^{\circ}\text{C}$ ;

$[a_3] = \text{კგტ} \cdot \text{სმ}^2/\text{კგ}$ ;  $[a_4] = \text{კჯ} \cdot \text{სმ}^2/\text{კგ}^2$ ; მაშინ (4) და (5) გამოსახულებები

ჩაიწერება:  $a_1 \cdot Q_{\text{ულ.}}^{\partial} + a_2 \cdot t_{\text{მკ.წყ}} - a_3 \cdot P - D_{\text{თ}} \cdot 2725.6 - G_{\text{გაქ}} \cdot 535.22 = 0$ , (6)

$a_1 \cdot Q_{\text{ულ.}}^{\partial} + a_2 \cdot t_{\text{მკ.წყ}} - a_3 \cdot P - D_{\text{თ}} \cdot 2725.6 - G_{\text{გაქ}} \cdot 535.22 = \frac{d(i \cdot g)}{d\tau}$ , (7)

ვისარგებლოთ მცირე გადახრების მეთოდით, მივიღებთ

$Q_{\text{ულ.}}^{\partial} = Q_{\text{ულ.}}^{\partial} + \Delta Q_{\text{ულ.}}^{\partial}$ ;  $t_{\text{მკ.წყ}} = t_{\text{მკ.წყ}} + \Delta t_{\text{მკ.წყ}}$ ;  $P = P + \Delta P$ , (8)

დინამიკის განტოლებიდან (7) სტატიკის განტოლების (6) გამოკლებით და გამოსახულებების (8) გათვალისწინებით მივიღებთ:

$a_1 \cdot \Delta Q_{\text{ულ.}}^{\partial} + a_2 \cdot \Delta t_{\text{მკ.წყ}} - a_3 \cdot \Delta P = \frac{d(i \cdot g)}{d\tau}$ , (9)

$\frac{d(i \cdot g)}{d\tau} = \frac{d(i)}{d\tau} = \frac{gd(21.974 \cdot P + 535.22)}{d\tau} = \frac{21.974 \cdot gdP}{d\tau} = \frac{a_4 \cdot gdP}{d\tau}$ , (10)

(10) –ს გათვალისწინებით გვქნება

$a_1 \cdot \Delta Q_{\text{ულ.}}^{\partial} + a_2 \cdot \Delta t_{\text{მკ.წყ}} - a_3 \cdot \Delta P = \frac{a_4 \cdot gdP}{d\tau}$ , (11)

(11) დიფერენციალური განტოლების ცვლადების განცალკევებით მივიღებთ:

$d\tau = \frac{a_4 \cdot g \cdot dP}{a_1 \cdot \Delta Q_{\text{ულ.}}^{\partial} + a_2 \cdot \Delta t_{\text{მკ.წყ}} - a_3 \cdot \Delta P}$ , შემოვიღოთ აღნიშვნები

$a_1 \cdot \Delta Q_{\text{ულ.}}^{\partial} + a_2 \cdot \Delta t_{\text{მკ.წყ}} = k$ , და  $k - a_3 \cdot \Delta P = X$ , მაშინ

$dx = -a_3 \cdot d(\Delta P) = -a_3 \cdot dP$ , და  $dp = -\frac{dx}{a_3}$ , ე.ი.  $d\tau = -\frac{a_4 \cdot g}{a_3} \cdot \frac{dx}{x}$

და  $\int d\tau = \int -\frac{a_4 \cdot g}{a_3} \cdot \frac{dx}{x}$ ,  $\tau = -\frac{a_4 \cdot g}{a_3} \cdot \ln x + C$ , (12)

ინტეგრირების მუდმივა  $C$  განისაზღვრება საწყისი პირობებიდან: როცა

$\tau = 0$ , მაშინ  $a_3 \cdot \Delta P = 0$  და  $C = \frac{a_4 \cdot g}{a_3} \ln k$ , მაშინ (12) მიიღებს სახეს:

$$\tau = -\frac{a_4 \cdot g}{a_3} \cdot \ln x + \frac{a_4 \cdot g}{a_3} \ln k, \quad (13)$$

(13) –ის პოტენციურების შემდეგ მივიღებთ:

$$e^{\frac{a_3 \cdot \tau}{a_4 g}} = \frac{k}{k - a_3 \cdot \Delta P}, \quad \text{და} \quad \Delta P = \frac{k}{a_3} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{a_3 \cdot \tau}{a_4 g}} \right)$$

კომპლექსს  $1/\left(\frac{a_3}{a_4 \cdot g}\right) = T$  აქვს დროის (წმ) განზომილება.

საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\Delta P = \frac{a_1 \cdot \Delta Q_{\text{ულ}}^{\text{ბ}} + a_2 \cdot \Delta t_{\text{ბკ.წყ}}}{a_3} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{T}} \right), \quad \text{ბარი} \quad (14)$$

ფორმულით (14) მოცემულია ქვების დოლში წნევის ( $\Delta P$ ) ცვლილება გრდამავალ რეჟიმებში სათბობის თბოუნარის ( $\Delta Q_{\text{ულ}}^{\text{ბ}}$ ), მკვებავი წყლის ტემპერატურის ( $\Delta t_{\text{ბკ.წყ}}$ ) ცვლილებების დროზე ( $\tau$ ) დამოკიდებულებით.

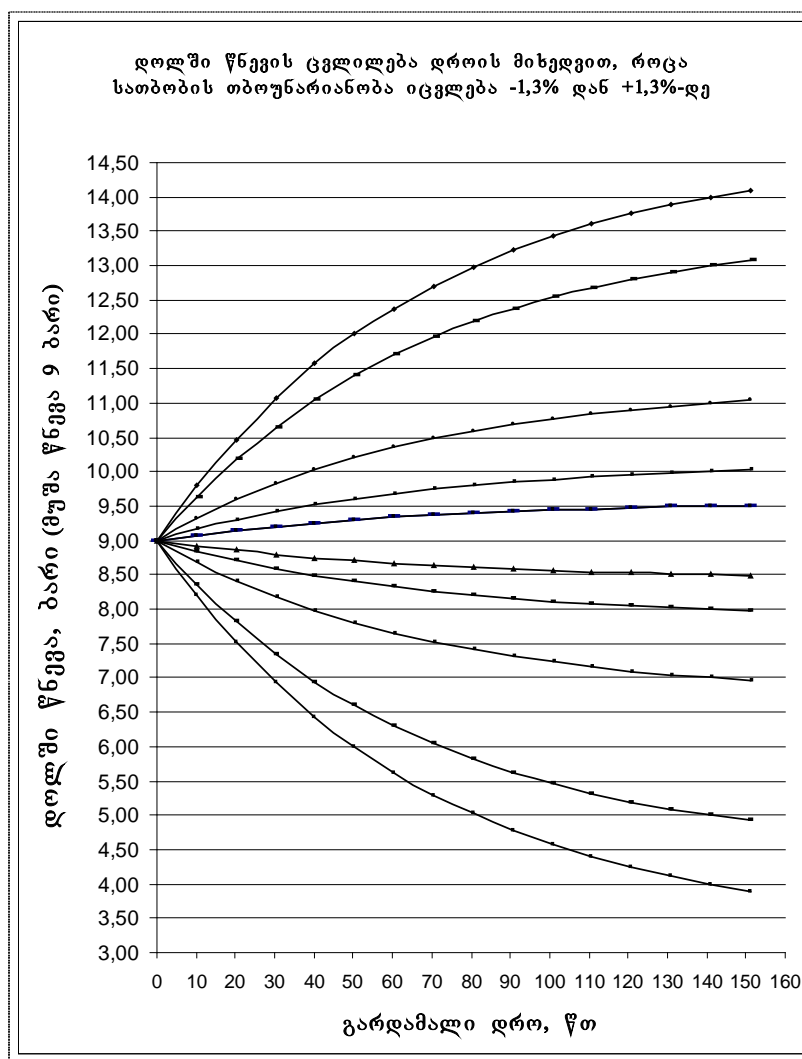
მოცემულია ДКVp -10/13 ტიპის ორთქლის ქვაბი. მისი ნომინალური წარმადობაა 10 ტონა ორთქლი საათში. (სათბობი-ქვანახშირი). ბუნებრივ გაზზე მუშაობის შემთხვევაში ორთქლის წარმადობა იზრდება 30-40%-ით.

ამიტომ მივიღოთ:  $D_{\text{თ}} = 3.892$  კგ/წმ, ნომინალური წნევა  $P_{\text{აბს.}} = 14$  ბარი, მკვებავი წყლის ტემპერატურა  $t_{\text{ბკ.წყ}} = 100^{\circ}\text{C}$ , უწყვეტი გაქრვის წყლის რაოდენობა 3%, ბუნებრივი გაზის თბოუნარი  $\Delta Q_{\text{ულ}}^{\text{ბ}} = 37100$  კჯ/მ<sup>3</sup>  $G_{\text{ბკ.წყ}} = 4.009$  კგ/წმ, მ.კ. კოეფიციენტი  $\eta = 91\%$ , სათბობის ხარჯი  $B = 0.274$  მ<sup>3</sup>/წმ, გაქრვის წყლის რაოდენობა  $G_{\text{გაქრ}} = 0.12$  კგ/წმ.

ქვაბი ექსპლუატაციაშია ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში და ამიტომ პრაქტიკულად მუშა წნევად მიღებულია 9 ბარი აბსოლუტური (საპასპორტო მონაცემებით ნომინალური წნევაა 14 ბარი). ზემოთ ჩამოთვლილი პარამეტრები შესაბამისია ქვაბის სტატიკურ რეჟიმში მუშაობის პირობებისათვის. რეალურად ქვაბს უწევს დინამიკურ რეჟიმში მუშაობა, როცა შეიძლება შეიცვალოს სათბობის თბოუნარი, მკვებავი წყლის ტემპერატურა და სხვა, რაც გამოიწვევს საბოლოო ჯამში ქვაბის დოლში წნევის გარკვეულ ცვლილებას.



კონკრეტული შემთხვევისათვის ფორმულით (14) გაანგარიშების საფუძველზე ნახ.3. ნაჩვენებია დოლში წნევის ცვლილების ხასიათი სათბობის სხვადასხვა თბოუნარიანობის პირობებში. დოლის მუშაობის რეჟიმი დინამიკურია, რაც გამოწვეულია სათბობის თბოუნარიანობის ცვლილებით. (-1.3% დან+1.3%-დე). ქვაბის სტატიკურ რეჟიმში მუშაობისას სათბობის თბოუნარიანობა შეადგენს 37100 კჯ/მ<sup>3</sup>. , ხოლო აბსოლუტური მუშა წნევა 9 ბარს



ნახ. 3.

წნევის ცვლილების კომპენსაციისათვის საჭიროა სათბობის ხარჯის და საცეცხლის თბური დატვირთვის ისეთი ცვლილება, რომელიც წნევის ცვლილების ადეკვატური იქნება.

*ორთქლის ქვების წყლის ეკონომიაზერის გარდამავალ რეჟიმში მუშაობის მათემატიკური მოდელირება*

ავაგოთ ორთქლის ქვების წყლის ეკონომიაზერის გარდამავალ რეჟიმში მუშაობის მათემატიკური მოდელი. შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები. ეკონომიაზერში შესვლაზე წყლის ტემპერატურაა  $t'$ , °C, ხოლო გამოსვლაზე  $t''$ , °C. წყალი ცხელდება ნამწვი გაზების სითბოს ხარჯზე. ეკონომიაზერში შესვლაზე გაზების ტემპერატურაა  $t'_g$ , °C. და გამოსვლაზე -  $t''_g$ , °C. ნამწვი გაზების საშუალო ტემპერატურაა  $\bar{t}_g$ , °C, რომელიც ტოლია  $\bar{t}_g = 0.5(t'_g + t''_g)$ , °C. თბოგადაცემის კოეფიციენტი ნამწვი გაზებიდან წყალზე არის  $k$ , კვტ/მ<sup>2</sup>/კ. წყლის საშუალო ტემპერატურაა  $\bar{t} = 0.5(t' + t'')$ , °C.

ეკონომიაზერის მუშაობის სტატიკური რეჟიმისათვის სითბურ ბალანსს აქვს სახე:

$$Q'_0 + Q_{g0} - Q''_0 = 0, \text{ სადაც}$$

$Q'_0 = G \cdot c \cdot t'_0$  - არის წყლის ეკონომიაზერში წყლით შეტანილი სითბური სიმძლავრე, კვტ;

$G$  - ეკონომიაზერში მიწოდებული გასაცხელებელი წყლის ხარჯი, კგ/წმ;

$c = 4.19$  - წყლის მასური სითბოტევადობა, კჯ/კგ/კ;

ანალოგიური სიდიდეები ეკონომიაზერიდან გამოსვლაზე:

$$Q''_0 = G \cdot c \cdot t''_0, \text{ კვტ;} \quad (1)$$

$Q_{g0} = k \cdot F \cdot \Delta t_0$  - არის ნამწვი გაზებიდან წყალზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა, კვტ;

$F$  - ეკონომიაზერის ხურების ზედაპირი, მ<sup>2</sup>

$\Delta t_0 = \bar{t}_g - \bar{t}$  - ტემპერატურული დაწნევა “გაზი-წყალი”.

ინდექსით “0” აღნიშნულია პარამეტრები, რომლებიც მიეკუთვნებიან მუშაობის სტატიკურ რეჟიმს.

ანალოგიურად გარდამავალი რეჟიმისათვის ადგილი ექნება შემდეგი სახის სითბურ ბალანსს:

$$Q' + Q_{\delta} - Q'' = \frac{dQ}{d\tau} \text{ სადაც}$$

$\frac{dQ}{d\tau}$  - არის ეკონომიკურში არსებული წყალში აკუმულირებული სითბო.

თუ ეკონომიკურში არსებული წყლის რაოდენობაა -  $G^*$ , კგ, მაშინ

$$\frac{dQ}{d\tau} = G^* \cdot c \cdot \frac{dt''}{d\tau}, \text{ კვტ. ანუ,}$$

$$Q' + Q_{\delta} - Q'' = G^* \cdot c \cdot \frac{dt''}{d\tau}, \quad (2)$$

საბოლოოდ ეკონომიკურის მუშაობის სტატიკურ განტოლებას აქვს სახე:

$$G \cdot c \cdot t'_0 + k \cdot F \cdot (\bar{t}_{\delta,0} - \bar{t}_0) - G \cdot c \cdot t''_0 = 0, \quad (3)$$

ანალოგიურად ეკონომიკურის მუშაობის დინამიკურ განტოლებას ექნება სახე:

$$G \cdot c \cdot t' + k \cdot F \cdot (\bar{t}_{\delta} - \bar{t}) - G \cdot c \cdot t'' = G^* \cdot c \cdot \frac{dt''}{d\tau} \quad (4)$$

თუ ვისარგებლებთ მცირე გადახრების მეთოდით, გვექნება

$$t' = t'_0 + \Delta t'; \quad \bar{t}_{\delta} = \bar{t}_{\delta,0} + \Delta \bar{t}_{\delta}; \quad t'' = t''_0 + \Delta t''; \quad \bar{t} = \bar{t}_0 + \Delta \bar{t}; \quad \Delta t = \Delta t_0 + \delta(\Delta t). \quad (5)$$

დინამიკის (4) განტოლებიდან სტატიკის (3) განტოლების გამოკლებით მივიღებთ:

$$G \cdot c \cdot (t' - t'_0) + k \cdot F [(\bar{t}_{\delta} - \bar{t}) - (\bar{t}_{\delta,0} - \bar{t}_0)] - G \cdot c \cdot (t'' - t''_0) = G^* \cdot c \cdot \frac{dt''}{d\tau}$$

(5) გათვალისწინებით:

$$G \cdot c \cdot \Delta t' + k \cdot F [(\Delta \bar{t}_{\delta} - \Delta \bar{t}_0) - \Delta \bar{t}] - G \cdot c \cdot \Delta t'' = G^* \cdot c \cdot \frac{dt''}{d\tau}$$

$$[(\bar{t}_{\delta} - \bar{t}) - (\bar{t}_{\delta,0} - \bar{t}_0)] = [(\bar{t}_{\delta} - \bar{t}_{\delta,0}) - (\bar{t} - \bar{t}_0)]$$

$$(\bar{t} - \bar{t}_0) = 0.5(\Delta t' - \Delta t'') \text{ და } (\bar{t}_{\delta} - \bar{t}_{\delta,0}) = 0.5(\Delta t'_{\delta} - \Delta t''_{\delta})$$

$t'' = t''_0 + \Delta t''$ , ამ გამოსახულების დიფერენციალი არის

$$dt'' = d(\Delta t''), \text{ რადგან } dt''_0 = 0, \text{ მაშინ}$$

$$G \cdot c \cdot \Delta t' + 0.5k \cdot F(\Delta t'_{\delta} - \Delta t''_{\delta}) - 0.5k \cdot F(\Delta t' - \Delta t'') - G \cdot c \cdot \Delta t'' = G^* \cdot c \cdot \frac{d(\Delta t'')}{d\tau}$$

შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$$G \cdot c \cdot \Delta t' + 0.5k \cdot F(\Delta t'_{\delta} - \Delta t''_{\delta}) - 0.5k \cdot F\Delta t' = n, \text{ და}$$

$$G \cdot c - 0.5k \cdot F = m, \text{ მაშინ}$$

$$n - m\Delta t'' = G^* \cdot c \cdot \frac{d(\Delta t'')}{d\tau}, \text{ ცვლადთა განცალკევებით მივიღებთ:}$$

$$d\tau = \frac{G^* c}{n - m\Delta t''} d(\Delta t'') \quad \text{ანუ} \quad d\tau = \frac{G^* c}{x} d(\Delta t''), \text{ სადაც}$$

$$n - m\Delta t'' = x, \quad dx = -m d(\Delta t''), \text{ აქედან } d(\Delta t'') = -\frac{dx}{m}, \text{ მაშინ}$$

$$d\tau = -\frac{G^* c}{m} \frac{dx}{x} \text{ ამ განტოლების ინტეგრებით მივიღებთ:}$$

$$\tau = -\frac{G^* c}{m} \ln x + c \quad (6)$$

ინტეგრების მუდმივა განისაზღვრება სტატიკური პირობიდან, როცა  $\tau = 0$ , მაშინ  $t'' = t''_0$  და  $\Delta t'' = 0$ ,  $x = n$  და

$$c = \frac{G^* c}{m} \ln n, \text{ მაშინ (6) ჩასმით}$$

$$\tau = \frac{G^* c}{m} \ln \frac{n}{x}, \text{ და პოტენციურების შემდეგ მივიღებთ}$$

$$e^{\frac{m}{G^* c} \tau} = \frac{n}{x}$$

თუ ამოვსხნით  $\Delta t''$ -ის მიმართ გვექნება:

$$\Delta t'' = \frac{n}{m} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{m}{G^* c} \tau} \right), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$$\Delta t' = A_1; \quad \Delta t'_{\delta} = A_2; \quad \Delta t''_{\delta} = A_3; \quad Gc = a_1; \quad 0.5Fk = a_2; \quad G^* c = a_3. \quad (8)$$

(8) ჩასმით (7)- ში საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\Delta t'' = \frac{(a_1 - a_2)A_1 + a_2(A_2 - A_3)}{a_1 - a_2} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{a_1 - a_2}{a_3} \tau} \right), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (9)$$

$\frac{a_3}{a_1 - a_2} = T$ , წმ - არის დროის მუდმივა, რის გათვალისწინებითაც

ეკონომიზერიდან გამოსვლაზე წყლის ტემპერატურის ცვლილებას შემფოთების შედეგად, გარდამავალ რეჟიმში დროზე დამოკიდებულებით ექნება სახე:

$$\Delta t'' = \frac{(a_1 - a_2)A_1 + a_2(A_2 - A_3)}{a_1 - a_2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}\right), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10)$$

(10) ფორმულაში შემავალი სიდიდეების განზომილებებია:

$a_1, a_2$  - კვტ/კ;  $a_3$  - კვჯ/კ;  $A_1, A_2, A_3$  -  $^\circ\text{C}$ ;  $G$  - კგ/წმ;  $G^*$  - კგ;  $F$  - მ<sup>2</sup>;

$\tau$  - წმ;  $k$  - კვტ/მ<sup>2</sup>/კ და  $T$  - წმ.

(10) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ იგი აპერიოდული რგოლის განტოლებაა.

(10) გამოსახულების საშუალებით შესაძლებელია ავაგოთ ეკონომიზერიდან გამოსული წყლის ტემპერატურის ცვლილება დროის მიხედვით როცა ადგილი აქვს: ეკონომიზერში შემავალი წვის პროდუქტების ტემპერატურის ნახტომისებრ ცვლილებას სიდიდით  $A_2$ , ეკონომიზერში შემავალი წყლის ტემპერატურის ცვლილებას სიდიდით  $A_1$  და ეკონომიზერიდან გამოსული ნამწვი გაზების ცვლილებას სიდიდით  $A_3$ .

ფორმულის (10) ანალიზიდან ჩანს, რომ ეკონომიზერიდან გამოსული წყლის ტემპერატურის ცვლილება  $\Delta t''$  (საბაზო სტატიკურ სიდიდის მიმართ) დამოკიდებულია წყლის ხარჯზე  $G$ , ეკონომიზერის ხურების ზედაპირის სიდიდეზე  $F$ , თბოგადაცემის კოეფიციენტზე ნამწვი გაზებიდან გასაცხელებელ წყალზე  $k$ , ეკონომიზერში წყლის ტევადობაზე  $G^*$ , ტემპერატურის “გაქანების” დროის მუდმივაზე  $T$ , კოეფიციენტებზე  $A_1, A_2$  და  $A_3$ . ე.ი

$$\Delta t'' = \Psi(G, F, k, G^*, T, A_1, A_2, A_3)$$

დროის მუდმივა  $T$  ცალსახად განისაზღვრება კოეფიციენტებით  $a_1, a_2$ , და  $a_3$ .

განვიხილოთ გარდამავალი რეჟიმის მაგალითი, რომელიც მიმდინარეობს DKBp -10-13 წყლის ეკონომიზერში, როცა ადგილი აქვს შეშფოთებას – ნახტომისებრად იცვლება ეკონომიზერში შემავალი ნამწვი გაზების ტემპერატურა. გაანგარიშებისათვის საჭირო პარამეტრებია: ორთქლის მწარმოებლურობა- 13600კგ/სთ (3.78კგ/წმ); ორთქლის აბსოლუტური წნევა – 1,4მგპა; ქვების დოლის უწყვეტი გაქრევის წყლის რაოდენობის გათვალისწინებით (410კგ/სთ) ეკონომიზერში გატარებული წყლის რაოდენობაა 14010კგ/სთ (3.89კგ/წმ). ეკონომიზერში შესასვლელზე წყლის ტემპერატურა- 100°C, ხოლო გამოსასვლელზე - 128 °C. ნამწვი გაზების ტემპერატურა ეკონომიზერში შესვლაზე- 239 °C , ხოლო გამოსვლაზე 140 °C. თბომტარების დინება წინაღი ხასიათისაა. უწყვეტი გაქრევის სიდიდე – 3% (420 კგ/სთ). ეკონომიზერში გავლილი წყლის რაოდენობა ტოლია 4კგ/წმ. სათბობად გამოყენებულია ბუნებრივი აირი თბოუნარი-37100კჯ/მ<sup>3</sup>. თბოგადაცემის კოეფიციენტი ნამწვი გაზებიდან წყალზე (ეკონომიზერის საზღვრებში) ტოლია 21 ვტ/მ<sup>2</sup>/k .

ეკონომიზერი წარმოადგენს თუჯის გაწიბოვებული მილებისაგან (76/60მმ) აწყობილ ბლოკს (ВТИ –ის სისტემის “არამადუღარა” ეკონომიზერი). მილების საერთო რაოდენობაა 101 ცალი. ჰორიზონტალური რიგების რაოდენობაა- 15, ხოლო ჰორიზონტალურ რიგში მილების რიცხვია-7. ეკონომიზერში წყლით დაკავებული მოცულობა შეადგენს 0.856მ<sup>3</sup>. წყლის ეკონომიზერის ხურების ფართია- 298.5მ<sup>2</sup>.

გაზების საშუალო ტემპერატურაა  $0.5(239+140)=189.5$  °C., ხოლო წყლის საშუალო ტემპერატურა-  $0.5(100+128)=114$  °C., თბომტარებს შორის უდიდესი ტემპერატურული დაწნევა ტოლია  $239-128=111$  °C., ხოლო უმცირესი დაწნევა-  $140-100=40$  °C. თბომტარებს შორის საშუალო ლოგარითული დაწნევა ტოლია  $(111-40)/\ln(111/40)=70.3$  °C. თბომტარების საშუალო ტემპერატურებით გამოთვლილი საშუალო ტემპერატურული დაწნევა ტოლია  $0.5(189.5+114)=75.5$  °C.

(10) ფორმულაში მიღებული აღნიშვნების შესაბამისად გვაქვს:

ეკონომიაზერში წყლის მასა(ტევადობა) 14მგკა. დროს სიმკვრივის 951 კგ/მ<sup>3</sup> გათვალისწინებით ტოლია  $G^*=814.3$ კგ.

$$a_1 = 3.89 \cdot 4.19 = 16.31 \text{ კგტ/კ}; a_2 = 0.5 \cdot 298.6 \cdot 21 \cdot 10^{-3} \text{ კგტ/კ};$$

$$a_3 = 814.3 \cdot 4.19 = 3412 \text{ კგტ/კ}; T = 3412 / (16.31 - 3.135) = 259.03 \text{ წმ}; A_1 = 0;$$

$$A_2 = 30 \text{ გრად}; A_3 = 0.$$

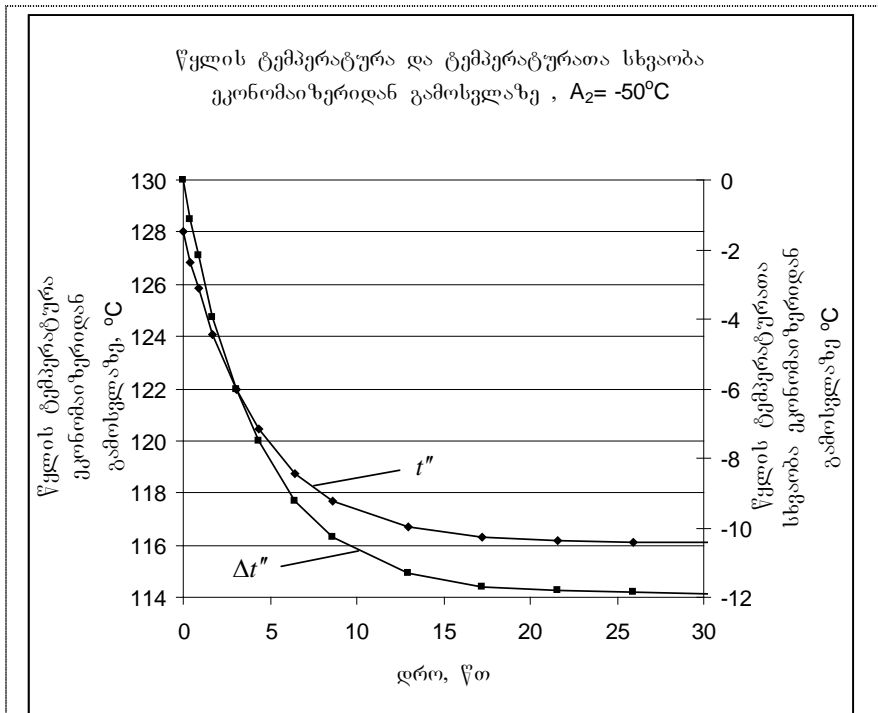
აღნიშნული მონაცემების გათვალისწინებით ეკონომიაზერიდან გამოსვლაზე წყლის ტემპერატურის დროის მიხედვით ცვლილების გაანგარიშებისათვის (10) ფორმულას ექნება სახე;

$$\Delta t'' = \frac{(16.31 - 3.135) \cdot 0 + 3.15(30 - 0)}{16.31 - 3.135} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{259}}\right) \quad (11)$$

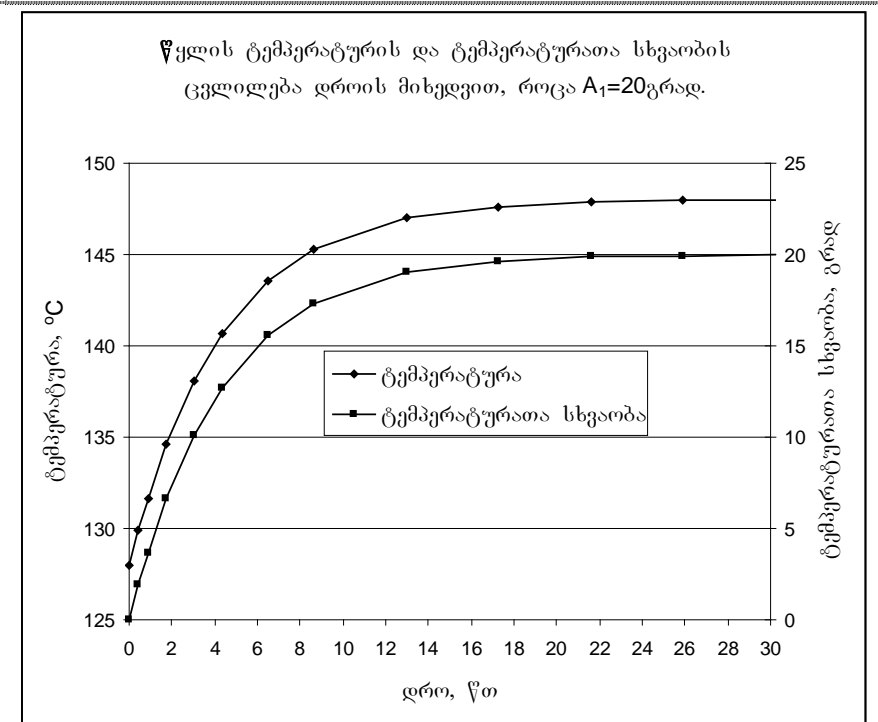
$$\Delta t'' = 7.173 \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{259}}\right), \quad (12)$$

ეკონომიაზერიდან გამოსვლაზე ტემპერატურის ცვლილების (“გაქანების”) მრუდის ასაგებად (10) ფორმულით რეკომენდირებულია ავიღოთ დროის სიდიდეები  $\tau = 0.1T; 0.2T; 0.4T; 0.7T; 1.5T; 2T; 3T; 4T; 5T; 6T; 7T$ . ნახ.4. ნაჩვენებია ეკონომიაზერიდან გამოსული წყლის ტემპერატურის და ტემპერატურათა სხვაობის (ათვლილი სტატიკური რეჟიმის შესაბამისი სიდიდიდან) ცვლილებები დროის მიხედვით (გაანგარიშებული ფორმულით (12)), როცა მყისიერად მოხდა ეკონომიაზერში შესვლაზე გაზების ტემპერატურის შემცირება 50 გრადუსით.  $A_2 = -50^\circ\text{C}$ .

ნახ. 5. მოცემულია მონაცემები ეკონომიაზერიდან გამოსული წყლის ტემპერატურის და ტემპერატურათა სხვაობის დროის მიხედვით ცვლილების შესახებ, როცა მყისიერად მოხდა ეკონომიაზერში შესვლაზე წყლის ტემპერატურის გაზრდა 20 გრადუსით.  $A_1 = +20^\circ\text{C}$ .



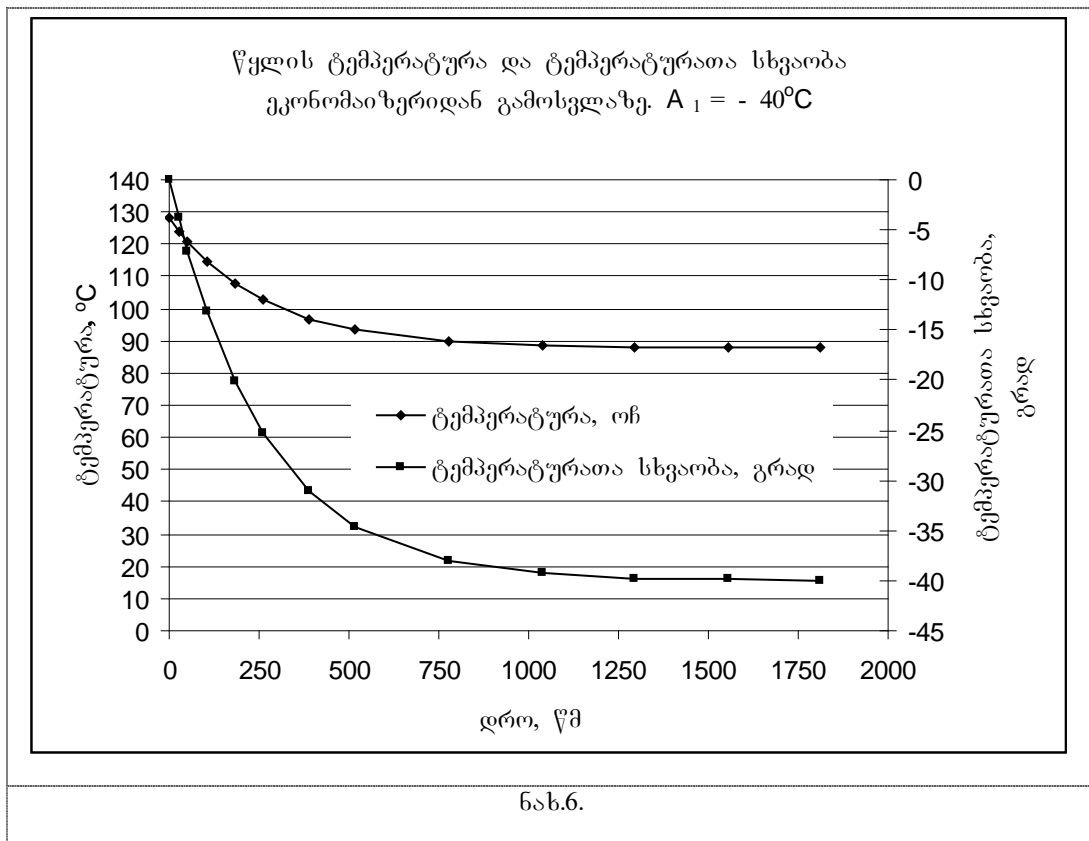
ნახ.4.



ნახ.5.

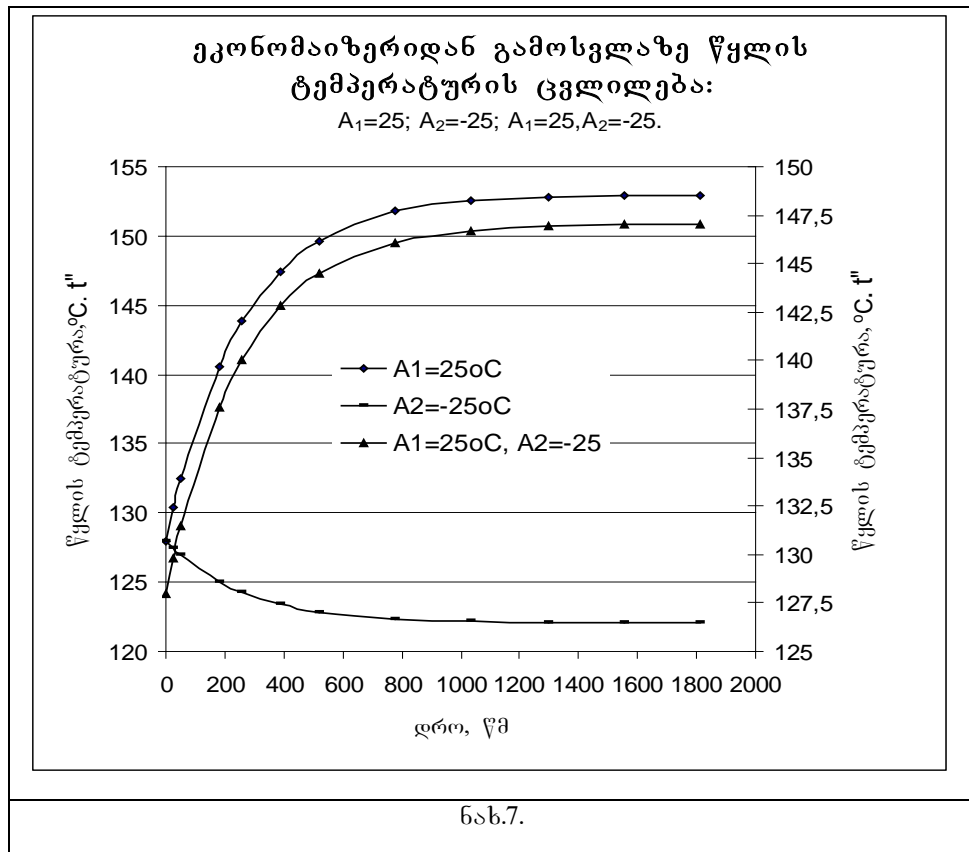
ნახ. 6. მოცემულია მონაცემები ეკონომიზერიდან გამოსული წყლის ტემპერატურის და ტემპერატურათა სხვაობის დროის მიხედვით ცვლილების შესახებ, როცა მყისიერად მოხდა ეკონომიზერში შესვლაზე წყლის ტემპერატურის შემცირება  $40^\circ\text{C}$ .





ეკონომიზერიდან გამოსვლაზე წყლის ტემპერატურის ცვლილება, როცა ერთდროულად ადგილი აქვს “შეშფოთებას” ეკონომიზერში შესვლაზე წყლის ტემპერატურის და ნამწვი გაზების ნახტომისებრი ცვლილებებით  $A_1=25^{\circ}\text{C}$  და  $A_1=-25^{\circ}\text{C}$ , ნაჩვენებია ნახ. 7-ზე.

ეკონომიზერიდან გამოსვლაზე წყლის ტემპერატურის ცვლილება, როცა ერთდროულად ადგილი აქვს “შეშფოთებას” ეკონომიზერში შესვლაზე წყლის ტემპერატურის და ნამწვი გაზების ნახტომისებრი ცვლილებებით  $A_1=25^{\circ}\text{C}$  და  $A_1=-25^{\circ}\text{C}$ , ნაჩვენებია გრაფიკების სახით ნახ. 35-ზე.

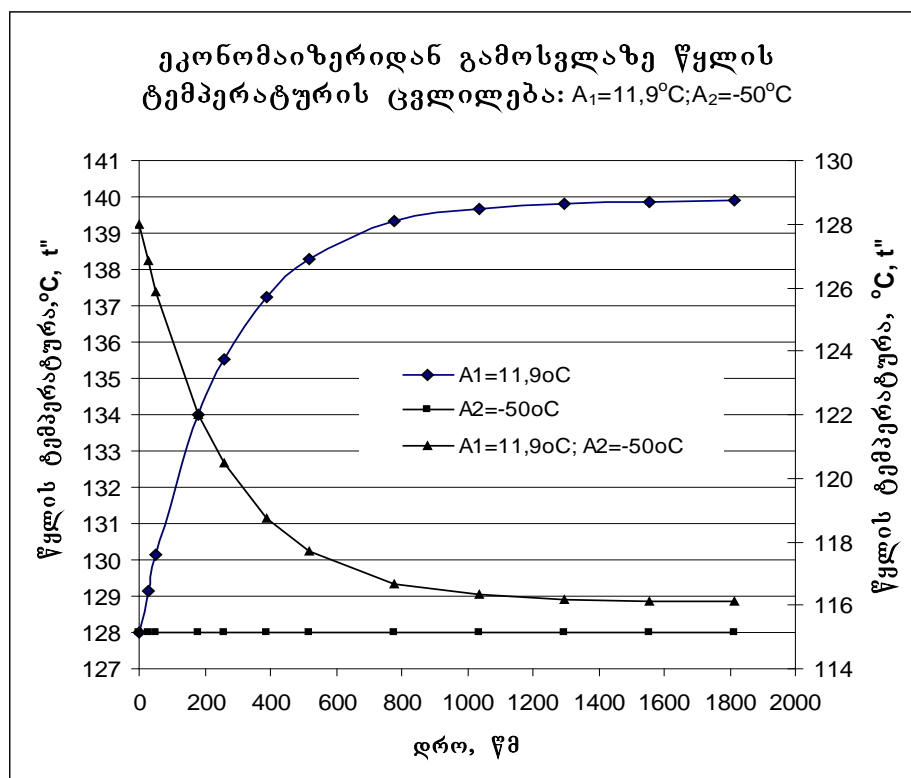


როგორც ნახ. 7. ჩანს ეკონომიზერში შესვალზე წყლის ტემპერატურის 25 გრადუსით ნახტომისებრად მომატების დროს, ეკონომიზერიდან გამოსვლაზე წყლის ტემპერატურა იზრდება, ხოლო ეკონომიზერში შესვალზე ნამწვი გაზების ტემპერატურის იგივე 25 გრადუსით შემცირების დროს ეკონომიზერიდან გამოსვლაზე წყლის ტემპერატურა მცირდება. ამასთან ერთად პირველ შემთხვევაში, მეორე შემთხვევასთან შედარებით ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე უფრო მაღალია. ე.ი. პროცესის “შეშფოთებაზე” წყლის ტემპერატურის ცვლილების გავლენა უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე ნამწვი გაზების ტემპერატურის ცვლილება.

ნახ.7. ნაჩვენებია აგრეთვე ეკონომიზერიდან გამოსვლაზე წყლის ტემპერატურის რეზულტატური ცვლილება გამოწვეული ერთდროულად ორივე სახის “შეშფოთებების” გავლენით.

ერთიდაიგივე მიმართულებით მოქმედი “შეშფოთებები” გარდამავალ პროცესს აძლიერებენ და პირიქით შემთხვევებში კი ასუსტებენ. ნახ.8. წარმოდგენილია შემთხვევა, როცა ორი სხვადასხვა “შეშფოთება” საწინააღმდეგო ნიშნისაა და ამასთან ერთად მათი

რიცხვითი მნიშვნელობები ისეთია, რომ რეზულტატური “შეშფოთება” ნულის ტოლია. კონკრეტულად: ეკონომიზერში შესვლაზე წყლის ტემპერატურის ცვლილებაა  $A_1=11.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  და ეკონომიზერში შესვლაზე ნამწვი გაზების ტემპერატურის შესაბამისი ცვლილებაა  $A_2=-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . ასეთ შემთხვევაში ეკონომიზერიდან გამოსვლაზე წყლის ტემპერატურა ორივე “შეშფოთების” გავლენით უცვლელია.



ნახ.8

თბოგენერატორის აგრეგატებში მიმდინარე პროცესების მოდელირებით შესაძლებელი გახდა რთული ობიექტის (თბოგენერატორის) მათემატიკური მოდელის აგება, რომელშიც მიმდინარეობს რეალური ობიექტის მსგავსი გამარტივებული პროცესი ისე, რომ იგი განასახიერებს ჩვენთვის საინტერესო თვისებებს.

მოდელირების აუცილებლობა გამოწვეული იყო მრავალი მიზეზით, რომელთაგან უმთავარესია: შესასწავლი ობიექტის სირთულე, ექსპერიმენტების ჩატარების აუცილებლობა, ობიექტის სივრცითი და დროითი მასშტაბების და არსებული შესაძლებლობების შეზღუდულობა (შეუსაბამობა)

## ძირითადი დასკვნები

1. წყლის ეკონომიზერის მუშაობის გარდამავალი რეჟიმების დასახასიათებლად, პროცესის მათემატიკური მოდელირების გზით, მიღებულია ეკონომიზერიდან გამოსული წყლის ტემპერატურის დროის მიხედვით ცვლილების საანგარიშო ფორმულა, რომელსაც აქვს ექსპონენტის სახე. მუშაობის გარდამავალი რეჟიმები გამოწვეულია ნამწვი გაზების და ეკონომიზერში შესული წყლის ტემპერატურების ცვლილებებით. მიღებული შედეგებით სარგებლობა აგრეგატების უსაფრთხო და ეკონომიკურ მუშაობის ხელშეწყობის კარგი პირობაა.
2. ქვების დოლის მუშაობის გარდამავალი რეჟიმების დასახასიათებლად პროცესის მათემატიკური მოდელირების გზით, მიღებულია წნევის დროის მიხედვით ცვლილების საანგარიშო ფორმულა. მუშაობის გარდამავალი რეჟიმები გამოწვეულია სათბობის თბოუნარის და მკვებავი წყლის ტემპერატურის ცვლილებებით. მიღებული შედეგებით სარგებლობა აგრეგატების უსაფრთხო და ეკონომიკურ მუშაობის ხელშეწყობის კარგი პირობაა.
3. ნაშრომში განხილულია საცეცხლე, როგორც თბოგენერატორის ქვესისტემა, სათბობის (მყარი, თხევადი და აირადი) მოსამზადებელი და საცეცხლეში მისაწოდებელი ელემენტებით. გაანალიზებულია ფეთქებად-საშისი გაზების კონცენტრაციები და შესაძლო აფეთქებების აცილების ღონისძიებები.
4. განხილულია წყლის დონის მაჩვენებელი ხელსაწყოების გაუმართაობები: საჩვენებელი მინა გადავსებულია წყლით; წყლის დონე ნორმალურზე რამდენადმე მეტია; წყნარი დონე; დონის უმნიშვნელო რყევა; წყლის, ან ორთქლის “გაპარვა” ხელსაწყოდან; მაჩვენებელი მინის გატეხვა. გაანალიზებულია დაზიანების მიზეზები და შესაბამისი პროფილაქტიკური ღონისძიებები.

5. განხილულია მცველი სარქველების გაუმართაობები: მცველი სარქველი არ იღება; იღება დაგვიანებით; იღება ძლიან ადრე. შესრულებულია გაუმართაობების მრავალი მიზეზის დიფერენცირება და დასახულია შესაბამისი პროფილაქტიკური ღონისძიებები.
6. შედგენილია თბოგენერატორების უავარიო და ეკონომიკური მუშაობის უზრუნველსაყოფად სასწავლო-საგამოცდო კითხვარი, რომელიც აპრობირებულია შპს საქართველოს ენერგეტიკული კორპორაციის თბოელექტროსადგურში მომსახურე პერსონალის პროფესიული კვალიფიკაციის ამაღლების მიზნით.

### **სამუშაოს აპრობაცია**

სამუშაოს ძირითადი შედეგები მოხსენებული იყო საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”. ა. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. 21-22 მაისი, 2010 წ. ქუთაისი; საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა №79 ღია საერთაშორისო კონფერენციაზე თბილისი 2011წ; საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე “ქალი და XXI საუკუნე”. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი-2011წ; სადისერტაციო თემის პირველ და მეორე თემატურ სემინარებზე.

### **ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში**

1. ფანცხავა ე. “ორთქლის ქვაბების დოლისა და საცირკულაციო კოლექტორების უსაფრთხო მუშაობა”, ჟურნალი “ენერჯია”, 2012წ. №1(61). 7 გვ.
2. ფანცხავა ე., კილურაძე ო., “ქვაბის დოლში მიმდინარე პროცესების მათემატიკური მოდელირება”, ჟურნალი “მშენებლობა”, 2012წ. №1(24). 6 გვ.
3. ფანცხავა ე., ჩხიკვაძე თ., კილურაძე ო., , “ორთქლის გენერატორების ავარიების აცილების სიტუაციური ვარჯიშების კომპიუტერული მოდელირება”. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”. ა. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. 21-22 მაისი, 2010 წ. ქუთაისი, საქართველო. მოხსენების კრებული. 3 გვ.

4. ფანცხავა ე., ჩხიკვაძე თ., ტესტირების პროგრამა საგანში” საავარიო სიტუაციების აცილება თბოდანადგარებში”(სადემონსტრაციო ნაწილი). საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა №79 ღია საერთაშორისო კონფერენცია. კონფერენციის დასკვნით ეტაპში გამარჯვებული სტუდენტების ნაშრომთა თეზისების კრებული. თბილისი 2011წ. 1 გვ.
5. ფანცხავა ე., გუდიაშვილი მ., “თბოგენერატორის ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები”. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. ქალი და XXI საუკუნე. თბილისი-2011წ. 2 გვ.
6. ფანცხავა ე., ჩხიკვაძე თ., კიღურაძე ო., “თბოგენერატორების საცეცხლე მოწყობილობების უსაფრთხო მუშაობა”, ჟურნალი “ენერჯია”, 2011წ. №3(59). 6 გვ.

## რეზიუმე

თანამედროვე თბოგენერატორი რთული და საპასუხისმგებლო აგრეგატია, ერთმანეთთან დაკავშირებული მრავალი ელემენტი, რომელიც აღჭურვილია სავდასხვაგვარი საზომ-საკონტროლო ხელსაწყოებით, დაცვისა და მართვის ავტომატიზირებული სისტემებით.

ორთქლის გენერატორებისათვის სავალდებულოა ნომინალური საექსპლუატაციო რეჟიმების დაცვა, რომელთა გათვალისწინებითაც პროექტირების ეტაპზე სრულდება გამოყენებული მასალების ხარისხის, ცალკეული ელემენტების შეერთებებისა და სამაგრი კონსტრუქციების განსაზღვრული მუშა პარამეტრებისათვის გათვლა.

თბოგენერატორების ეფექტური და უსაფრთხო მუშაობა შესაძლებელია მხოლოდ მათი კვალიფიციური მომსახურების პირობებში საექსპლუატაციო წესების მკაცრად დაცვით. წესების დაუცველობა შეიძლება გახდეს ავარიების და აგრეგატების დაზიანების მიზეზი, რასაც შეიძლება მოყვეს ადამიანების ტრამფირება და მსხვერპლი და დიდი მატრიალური ზარალი.

თბოგენერატორების უსაფრთხო და ეკონომიკური რეჟიმით მუშაობა მოითხოვს ერთმანეთზე დამოკიდებული მრავალი ფიზიკური და მექანიკური პარამეტრების მოთხოვნილ საზღვრებში შენარჩუნებას. აგრეგატების ექსპლუატაციის დროს მახასიათებელი პარამეტრები შეიძლება შეიცვალოს, რაც მუშაობის სტატიკური რეჟიმიდან გარდამავალ რეჟიმში გადასვლას იწვევს. მუშაობის სტატიკური რეჟიმები შესწავლილია საკმარისად კარგად, მაშინ როცა თბოგენერატორების გარდამავალი რეჟიმების დახასიათება და ანალიზი ისევ აქტუალურია.

ნაშრომში კვლევის მეთოდად გამოყენებულია სისტემური ანალიზის მეთოდი, რომლის თანახმადაც გამოსაკვლევი სისტემა - თბოგენერატორი, განიხილება, როგორც ერთიანი (მთლიანი) სისტემა, რომელიც შედგება ქვესისტემებისაგან -საცეცხლე, ორთქლის გადამხურებელი, წყლის ეკონომიზირი, ჰაერშემთბობი, დეაერატორი, მკვებავი ტუმბოების კვანძი და ა.შ. და ელემენტებისაგან- დოლი, ეკრანის მილები, კოლექტორები, სხვადასხვა საკონტროლო-საზომი ხელსაწყოები, მცველი და სასიგნალო მოწყობილობები და სხა. კვლევის ასეთი მიდგომა ორიენტირებულია, სისტემის ელემენტებად დანაწევრების გზით, შემადგანელი ცალკეული აგრეგატების მუშაობის ანალიზზე, იმ პირობით, რომ შენარჩუნებულია თბოგენერატორის როგორც მთლიანი სისტემის შესახებ შეხედულება. ასეთი მიდგომით მიღებული შედეგები ადეკვატურად ასახავენ თბოგენერატორებში მიმდინარე რთულ პროცესებს. რაც დადასტურებულია ნაშრომში მიღებულ შედეგებში, რომლებიც ეხება ორთქლის ქვების დოლში და ეკონომიზირში მიმდინარე გარდამავალი პროცესების მათემატიკურ მოდელირებას.

თბოგენერატორის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კვანძია წყლის ეკონომიზირი-ქვესისტემა რომლის ელემენტებია: ეკონომიზირის თუჯის გაწიბოვნებული მილები, მანომეტრები, მცველი მოწყობილობები, თერმომეტრები, ურდულეები, ფარსაკეტები. ამ ელემენტების გამართული მუშაობა მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს მთლიანად აგრეგატის ეკონომიურობას და უსაფრთხო

ექსპლუატაციას. “არამადუღარა” ტიპის ეკონომიზერიდან გამოსული წყლის ტემპერატურა (უკმარხურება) საპროექტო მონაცემებით არ უნდა იყოს 20-30 გრადუსზე ნაკლები ქვაბის დოლში არსებულ ტემპერატურაზე. შესაბამისად აქტუალურია ეკონომიზერის გარდამავალი რეჟიმების გამოკვლევა.

წყლის ეკონომიზერის გარდამავალი რეჟიმების დასახასიათებლად, პროცესის მათემატიკური მოდელირების გზით, მიღებულია ეკონომიზერიდან გამოსული წყლის ტემპერატურის დროის მიხედვით ცვლილების საანგარიშო ფორმულა, რომელსაც აქვს ექსპონენტის სახე. სტატიკური პროცესის “შეშფოთებები” გამოწვეულია ნამწვი გაზების და ეკონომიზერში შესული წყლის ტემპერატურების ცვლილებებით.

თბოგენერატორის მნიშვნელოვანი კვანძია დოლი (ქვესისტემა) რომლის ელემენტებია: ეკრანის მილები, კოლექტორები, დოლსშიგა მოწყობილობები, მანომეტრები, მცველი სარქველები, წყლის დონის მზომები. სტატიკურ რეჟიმში დასაშვებია წყლის დონის და დოლში წნევის ცვლილებები გარკვეულ მკაცრად განსაზღვრულ დასაშვებ საზღვრებში.

ქვაბის დოლის მუშაობის გარდამავალი რეჟიმების დასახასიათებლად პროცესის მათემატიკური მოდელირების გზით, მიღებულია წნევის ცვლილების საანგარიშო ფორმულა “შეშფოთებების“- სათბობის თბოუნარის და მკვებავი წყლის ტემპერატურის, დროში ცვლილებების მიხედვით.

ნაშრომში განხილულია საცეცხლე, როგორც თბოგენერატორის ქვესისტემა, სათბობის (მყარი, თხევადი და აირადი) მოსამზადებელი და საცეცხლეში მისაწოდებელი ელემენტებით. გაანალიზებულია ფეთქებად-საშისი გაზების კონცენტრაციები და შესაძლო აფეთქებების აცილების ღონისძიებები.

განხილულია წყლის დონის მაჩვენებელი ხელსაწყოების გაუმართაობები: საჩვენებელი მინა გადავსებულია წყლით; წყლის დონე ნორმალურზე რამდენადმე მეტია; წყნარი დონე; დონის უმნიშვნელო რყევა; წყლის „ან ორთქლის“ „გაპარვა“ ხელსაწოდან; მაჩვენებელი მინის გატეხვა.

გაანალიზებულია დაზიანების მიზეზები და შესაბამისი პროფილაქტიკური ღონისძიებები.

განხილულია მცველი სარქველების გაუმართაობები: მცველი სარქველი არ იღება; იღება დაგვიანებით; იღება ძლიან ადრე. შესრულებულია გაუმართაობების მრავალი მიზეზის დიფერენცირება და დასახულია შესაბამისი პროფილაქტიკური ღონისძიებები.

თბოგენერატორების მომსახურე პერსონალმა ზედმიწევნით კარგად უნდა იცოდნენ თბოგენერატორისა და მისი მოწყობილობების ავარიის წარმოშობის შესაძლო მიზეზები, მათი აღმოფხვრის პირობები და ავარიების თავიდან აცილების გზები-ღონისძიებები.

შედგენილია თბოგენერატორების უავარიო და ეკონომიკური მუშაობის უზრუნველსაყოფად სასწავლო-საგამოცდო კითხვარი, რომელიც აპრობირებულია შპს საქართველოს ენერჯეტიკული კორპორაციის თბოელექტროსადგურში მომსახურე პერსონალის პროფესიული კვალიფიკაციის ამაღლების მიზნით.



## Abstract

Modern heat-generator is a complex and important aggregate with many interconnected items equipped with various measuring-control devices, automated protection and control systems.

Keeping of nominal exploitation modes is compulsory for steam generators by considering of which calculation of quality of applied materials, connections of private items and working parameters of attaching constructions take place at projection stage.

Effective and safe operation of heat generators is possible in the conditions of their qualified service only in full compliance with exploitation rules. Failure to keep the rules may become a ground of breakdowns and damage of aggregates that may cause traumas of human, victim and great material loss.

Operation of heat generators under safe and economic mode needs keeping of various interdependent physical and mechanical parameters in required limiting lines. Characteristic parameters may be changed at exploitation of aggregates that causes transition of operation from static mode to transient regime. Static modes of operation have been studied very well while description and analysis of transitional modes of heat generators is still actual.

Method of systemic analysis has been used in the work as a method of research, according to which the system of examination – heat generator is considered as a united (whole) system consisting of sub-systems – furnace unit, steam superheater, water economizer, air heater, deaerator, knot of feed pumps as well as items – cylinder, screen pipes, water-wall tubes, headers, different control-measuring devices, protective device and alarm equipments and etc. Such approach of research is oriented on the analysis of operation of constitute individual devices via dismembering the system in units provided that the conception of heat generator as the whole system has been provided. The results of this approach adequately reflect the complex processes running in heat generators. That has been acknowledged in the results of the work concerning the mathematical modeling of transitional processes in steam boiler drum and economizer.

One of the important knots of heat generator is water economizer –subsystem that comprises the units: finned pipes of economizer cast iron, manometer, protective devices, thermometers, bolts, sliding dampers. Regular operation of the above units largely determines efficiency and safe exploitation of whole aggregate. According to project data, water temperature (subcooling) out from the economizer of “non-boiler” type should not be less than 20-30<sup>0</sup>C to compare with the temperature in boiler drum. Accordingly, examination of transient regimes of economizer is actual.

In order to describe transient regimes of water economizer, computation formula of variation of water temperature outing from economizer from time to time has been made via mathematical modeling of the process, which has got an image of exponent. “Troubles” of static processes have been caused by variations of carbon gases and water temperature in economizer.

The important knot of heat generator is cylinder (subsystem) that comprises the units: water-wall pipes, headers, turbo-steam equipments, manometers, protective valves, water level measurers. Variations of water level and pressure in the cylinder are admitted in static regime in strictly determined permissible limiting lines.

In order to describe transient regimes of the boiler drum operation through mathematical modeling of the process, computation formula of pressure variation has

been adopted in accordance with variations in time of “Troubles” – fuel efficiency and feed water temperature.

Combustion system as heat generator sub-system has been discussed in the work with preparatory elements of fuel to be delivered (solid, fluid and gaseous) to combustor. Concentrations of explosive gases and measures of avoiding possible explosions have been analyzed.

Failures of water level showing devices have been examined: showing glass is overfilled with water; water level is somewhat higher than norm; pacific level; slight fluctuation of level; “leakage” of water or steam from the device; breakdown of showing glass. Reasons of damage and appropriate prophylactic arrangements have been analyzed.

Failures of protective valves have been examined: safety valve fails to open; it opens with delay; opens very early. Differentiation of many reasons of failure has been made and appropriate prophylactic measures have been planned.

The service staff of heat generators should thoroughly know presumable reasons of breakdowns of heat generators and their devices, conditions of eradication of accidents and ways of avoiding the breakdowns.

Training-testing questionnaire have been made in order to provide regular and economic operation of heat generators, which is approved in order to improve professional qualification of staff serving at Georgian Power Corporation Thermal Power Plant Ltd.

