

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნინო ჩადმელაშვილი

აირტურბინული კომბინირებული ციკლის  
თბოელექტროსადგურის მუშაობის მაჩვენებლები და  
რეგულირების დიაპაზონის გაფართოება  
(გარდაბანი1)

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

თბილისი  
2022 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
ენერგეტიკის ფაკულტეტი  
თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი თ. მიქიაშვილი

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2022 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის  
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,  
სხდომათა დარბაზი.

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

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

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,  
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალურობა.** აირტურბინული კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების მაღალი სითბური ეფექტიანობა განაპირობებს მათ სტანდარტულ გამოყენებას ელექტროსისტემების საბაზისო სიმძლავრის დაფარვისთვის. ამ მიზნით დაპროექტებული დანადგარები არ არის ადაპტირებული სიმძლავრის სადღეღამისო რეგულირებისთვის, რაც აქტუალური ამოცანაა მრავალი ელექტროსისტემისთვის.

კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების რეგულირების დიაპაზონის გაფართოება მანევრულობის გაუმჯობესების ცენტრალური საკითხია, რომლის გადაწყვეტასაც ეძღვნება წინამდებარე ნაშრომი. მუშაობის პროცესში ტექნიკური შესაძლებლობების პარალელურად ენერგობლოკების მანევრულობას განსაზღვრავს დანადგარების სიმძლავრის მართვის და რეგულირების სისტემების მოქმედება, რაც ხორციელდება წინასწარგანსაზღვრული ალგორითმებით. ამ დროს კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკის მთავარი პრობლემაა ღრმა განტვირთვა დანადგარების მუშაობაში შენარჩუნებით (ამორთვის გარეშე). მაგალითად, ისეთ ენერგობლოკებში, სადაც რამდენიმე აირტურბინა და ორთქლის ქვაბ-უტილიზატორი დაკავშირებულია ერთ ორთქლის ტურბინასთან, განტვირთვა შესაძლებელია ერთ-ერთი აირტურბინისა და მასთან შეწყვილებული ქვაბ-უტილიზატორის ამორთვით. მაგრამ, თუ საჭიროა ყველა დანადგარის მუშა მდგომარეობაში შენარჩუნება, რაც გამომდინარეობს მათი ხანგამძლეობის მოთხოვნებიდან (განსაკუთრებით არასტაბილურ ელექტროსისტემებში მუშაობისას), ენერგობლოკს განტვირთვას აირტურბინების სიმძლავრის შემცირებით. ამ გზით მნიშვნელოვანი განტვირთვა ვერ ხერხდება, რამდენადაც კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების მართვის ალგორითმი არ ითვალისწინებს აირტურბინაში ნამუშევარი აირების ტემპერატურის ისეთ რეგულირებას, რომელიც ღრმა განტვირთვისას ქვაბ-უტილიზატორის ზედაპირებს

გადახურებისგან დაიცავდა. კომბინირებული ციკლის ახალი ენერგობლოკების დაპროექტებისას გათვალისწინებული უნდა იყოს გაზრდილი მოთხოვნები მათი მანევრულობის მიმართ, რაც უკიდურესად აქტუალურია თანამედროვე თბოელექტროსადგურებისთვის.

**მეცნიერული სიახლე.** ნაშრომი ეძღვნება კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების რეგულირების დიაპაზონის გაფართოების აქტუალურ ამოცანას. მასში აირისა და ორთქლის ციკლების, ასევე ქვაბ-უტილიზატორის მქ კოეფიციენტების ანალიზის საფუძველზე განსაზღვრულია კომბინირებული ციკლის ეფექტიანობაზე მოქმედი მთავარი ფაქტორები; გამოვლენილია ხარისხობრივი მეთოდით აირტურბინების ღრმა განტვირთვის შესაძლებლობა, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების რეგულირების დიაპაზონს მისი ეფექტიანობის მკვეთრი გაუარესების გარეშე; შემოთავაზებულია ღრმა განტვირთვის ახალი მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს რეგულირების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი მეთოდების კომბინაციას ენერგობლოკის დატვირთვის სხვადასხვა დიაპაზონისთვის; დასაბუთებულია კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების ეფექტური გამოყენების შესაძლებლობა ელექტროსისტემების დატვირთვის სადღეღამისო რეგულირებაში განტვირთვის შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენების პირობებში, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის ამ ტიპის ენერგობლოკების კომერციულ მიმზიდველობას.

**სამუშაოს მიზანი.** სამუშაოს მიზანია აირტურბინული კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების რეგულირების დიაპაზონის გაზრდის ახალი შესაძლებლობების გამოვლენა და მართვის ახალი მეთოდების შემუშავება თბოელექტროსადგურების მანევრულობის გაუმჯობესების მიზნით.

დასახული მიზნის მისაღწევად სამუშაოში გამოკვლეულია იდეალური კომბინირებული ციკლის მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება აირისა და ორთქლის სასაზღვრო თერმოდინამიკურ პარამეტრებზე; დადგენილია მისი

ცვლილების დიაპაზონი ენერგობლოკის მუშაობის ნატურალურ პირობებში გარდაბანი-1 თბოელექტროსადგურის მაგალითზე; მიღებულია ანალიზური დამოკიდებულებები ენერგობლოკის თერმული მქ კოეფიციენტის გაანგარიშებისთვის დამატებითი სათბობის წვისა და წვის გარეშე პირობებისთვის; ფორმულირებულია კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების პარამეტრების ოპტიმიზაციის ამოცანა, რომელიც გადაწყვეტილია კონკრეტული ტიპის დანადგარისთვის ვარიანტული გაანგარიშებების გზით; გარდაბანი-1 თბოელექტროსადგურის ექსპლუატაციის პროცესის მონიტორინგისა და ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილია ენერგობლოკის მუშაობის ტექნიკური შეზღუდვები, რომელთა დასაძლევად შემოთავაზებულია ენერგობლოკის რეგულირების დიაპაზონის გაზრდის ახალი მეთოდი.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები.** კვლევა შესრულებულია გარდაბანი-1 თბოელექტროსადგურისა და კომბინირებული ციკლის GE206FA სტანდარტული დანადგარის მაგალითზე. მასში გამოყენებულია ელექტროსადგურის ექსპლუატაციის პირობებისა და მაჩვენებლების ანალიზის სტანდარტული მეთოდები: დატვირთვების ცვლილებისა და პერიოდულობის სტატისტიკური მონაცემების ანალიზი; სითბური ეფექტიანობის შეფასების ანალიზური მეთოდი; მოდელირებისა და გაანგარიშებითი სიმულაციის მეთოდი.

#### **კვლევის ძირითადი შედეგები და შედეგების გამოყენების სფერო.**

ჩატარებული კვლევების შედეგად გამოვლენილია კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების მუშაობის რეჟიმებისა და რეგულირების დიაპაზონის შემზღუდვის მიზეზები, რომლებიც მინიმუმამდე ამცირებს მისი გამოყენების შესაძლებლობას ელექტროსისტემის სიმძლავრის სადღეღამისო რეგულირებაში. მიზეზების ანალიზისა და გაანგარიშებითი კვლევის საფუძველზე გამოვლენილი და შემოთავაზებულია კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკის რეგულირების დიაპაზონის

გაზრდის შესაძლებლობა და სიმძლავრის მართვის ახალი მეთოდი ამ შესაძლებლობის სარეალიზაციოდ.

სამუშაოში მიღებული შედეგები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს აირტურბინული დანადგარების მართვისა და რეგულირების სისტემის გასაუმჯობესებლად, მისი უშუალო დანერგვისთვის (მწარმოებლებთან შეთანხმებით) თბოელექტროსადგურებში, ასევე როგორც მეთოდური მასალა ენერგობლოკების მაჩვენებლებისა და მუშაობის რეჟიმების მკვლევართათვის.

**ნაშრომის აპრობაცია.** ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოსმენილია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე და დისერტაციის წინასწარი განხილვისას, ასევე, სტუ-ს სტუდენტთა 87-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, თბილისი 2019 წელი; 2020 წლის 9 დეკემბერს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის II საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციაზე: „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“ - სექცია 2 ენერგოეფექტიანობა და განახლებადი ენერჯის წყაროები ენერგორესურსების დამზოგავი ტექნოლოგიები ენერგეტიკაში.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატია, სადისერტაციო საბჭოს მიერ რეკომენდებულ გამოცემებში.

**ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა.** სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 114 გვერდს, მათ შორის 4 ცხრილსა და 35 ნახაზს. იგი შეიცავს შესავალს, ოთხ თავს, დასკვნებსა და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალს.

## ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

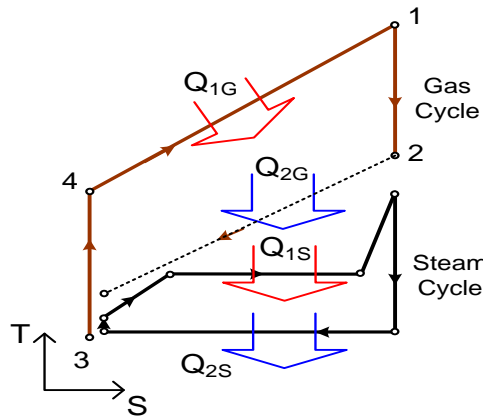
შესავალში დასაბუთებულია თემის აქტუალურობა და მისი მეცნიერული სიახლე. ჩამოყალიბებულია სამუშაოს მიზანი, ასევე განსაზღვრულია კვლევის მიზნები და მეთოდები.

ნაშრომის I თავში წარმოდგენილია კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების მუშაობის პრინციპი; განხილულია თერმოდინამიკური ეფექტიანობის შეფასების მეთოდები; მიღებულია ანალიტიკური გამოსახულებები ენერგობლოკის თერმული მქ კოეფიციენტის განსაზღვრისთვის დამატებითი სათბობის წვისა და მის გარეშე მუშაობის პირობებში; ფორმულირებულია პარამეტრების ოპტიმიზაციის ამოცანა, რომელიც გადაწყვეტილია ვარიანტული გაანგარიშების გზით; გამოვლენილია აირისა და ორთქლის საწყისი და საბოლოო პარამეტრების გავლენის ხარისხი კომბინირებული ციკლის ეფექტიანობაზე;

ამ თავში ნაჩვენებია, რომ ნამწვი აირების ტემპერატურის და წნევის (საწყისი პარამეტრებია) გაზრდა, ასევე ნამუშევარი აირების წნევის შემცირება (საბოლოო პარამეტრების შემცირება) იწვევს აირტურბინის და ერთიანად კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკის თერმული მქ კოეფიციენტის გაზრდას. ამ დროს ორთქლის ქვაბ-უტილიზატორის ეფექტიანობა, რომელსაც აფასებენ მისი სითბური მქ კოეფიციენტით (ორთქლის გამომუშავებაზე დახარჯული სითბური ენერგიის შეფარდებით აირტურბინაში ნამუშევარი აირების სითბურ ენერგიასთან), იზრდება ორთქლმწარმოებლურობის გაზრდით და მცირდება ორთქლის წნევის გაზრდით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ორთქლმწარმოებლურობის გაზრდისას იზრდება მკვებავი წყლისა და წარმოქმნილი ორთქლის ნაკადი ქვაბ-უტილიზატორის წყლისა და ორთქლის ტრაქტში, რაც ზრდის სითბოს არინებას აირტურბინაში ნამუშევარი აირებიდან (აუმჯობესებს თბოგადაცემის პროცესს) და, როგორც შედეგი, ზრდის ქვაბ-უტილიზატორის სითბურ მქ კოეფიციენტს. ორთქლის წნევის გაზრდით

(ორთქლტურბინული ციკლის საწყისი წნევის გაზრდით) კი იზრდება სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც საჭიროა მკვებავი წყლის დუღილის ტემპერატურამდე გაცხელებისთვის. ამ დროს აირტურბინაში ნამუშევარი აირების სითბური ენერგიის უდიდესი ნაწილი იხარჯება წყლის გაცხელებაზე, ხოლო შედარებით მცირე ნაწილი - ორთქლის გამომუშავებაზე. შედეგად, მცირდება ორთქლის ნაკადი (მასური ხარჯი) ქვაბ-უტილიზატორის ტრაქტში და სითბოს არინება აირტურბინაში ნამუშევარი აირებისგან. ეს ამცირებს ორთქლის ქვაბ-უტილიზატორის სითბურ ეფექტიანობას, რაც გამოიხატება წარმავალი აირების ტემპერატურის გაზრდით.

ამავე თავში მქ კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის განხილულია ერთწნევიანი კომბინირებული ციკლი დამატებითი სათბობის წვის გარეშე - ნახ.1 და ფორმულირებულია იდეალური კომბინირებული ციკლის თერმული თერმული მქ კოეფიციენტი, როგორც შემადგენელი ციკლებისა



ნახ.1. ერთწნევიანი იდეალური კომბინირებული ციკლი

და ორთქლის ქვაბ-უტილიზატორის მქ კოეფიციენტების კომბინაცია:

$$\eta_{\text{კვ}} = \eta_s + \eta_{\text{ოქუ}} \times (\eta_{\text{ო}} - \eta_s \times \eta_{\text{ო}}).$$

ფორმულაში შემავალი სიდიდეები ერთმანეთზე დამოკიდებული (შეზღუდული) პარამეტრებია. ფორმულირება სამართლიანია ორ-და სამწნევიანი კომბინირებული ციკლებისთვისაც.



პირველ თავში გაკეთებული ანალიზი აჩვენებს, რომ აირი-ორთქლის კომბინირებული ციკლის თერმული მქ კოეფიციენტის გაზრდა შესაძლებელია:

- აირტურბინული ციკლის საწყისი წნევისა და ტემპერატურის გაზრდით, ასევე აირტურბინაში ნამუშევარი აირების წნევის (ტემპერატურის) შემცირებით;
- ორთქლის ქვაბ-უტილიზატორის ეფექტიანობის გაზრდით;
- ორთქლტურბინული ციკლის საწყისი წნევისა და ტემპერატურის გაზრდით (ასევე, საბოლოო წნევის შემცირებით).

ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ აღნიშნული შესაძლებლობების სრულყოფილად რეალიზება შეუძლებელია ამ ეტაპზე ენერგობლოკების ტექნოლოგიაში არსებული შეზღუდვების გამო. მაგალითად, აირტურბინული ციკლის საწყისი წნევის გაზრდა ართულებს ჰაერის კომპრესორის მუშაობის პირობებს, ზრდის რევერსიული ნაკადის წარმოქმნის შესაძლებლობას გარდამავალ რეჟიმებში და ამნელებს დერძული ძალების გაწონასწორებას, ამალლებს მოთხოვნილებას ელექტროენერგიაზე აირტურბინის გაშვების პროცესში და სხვ. საწყისი ტემპერატურის ზრდა კი იწვევს აირტურბინის პირველი საფეხურების გადახურებას, რაც ამცირებს მათი სიმტკიცის მაჩვენებლებსა და ხანგამძლეობას. ამ პრობლემის გადაწყვეტა ურთულესი ამოცანაა, რომელსაც განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა კვლევებსა და დანადგარების წარმოებაში. ასეთ პირობებში კომბინირებული ციკლის ეფექტიანობის გაზრდის რეალური გზა მრავალწნევიან სქემებზე გადასვლაა.

ნაშრომის II თავში სითბური ნაკადების სქემების საფუძველზე მიღებულია ენერგობლოკების ეკონომიურობის მაჩვენებლების საანგარიშო გამოსახულებები:

ენერგეტიკული ბალანსის განტოლება ორთქლტურბინული დანადგარისთვის (ოტდ):

$$Q_{\text{ს}} + \Sigma W_{\text{სმ}} + Q_{\text{ნა}} = N_{\text{ოტ}}^{\text{ბრ}} + \Delta N_{\text{ოტ}} + \Delta W_{\text{ოტ}} + Q_{\text{თბ}} + \rightarrow$$

$$\rightarrow + \Delta Q_{\text{დ}}^* + Q_{\text{ოტ}}^{\text{სმ}} + \Delta Q_{\text{თბ}} + Q_{\text{ოქუ}}^{\text{სმ}} + \Delta Q_{\text{ოქუ}}$$

სადაც,  $Q_{\text{ნა}}$  არის აირტურბინაში ნამუშევარი აირების სითბური სიმძლავრე;  $Q_{\text{ოქუ}}^{\text{სმ}}$  - სითბური სიმძლავრის დანახარჯები ორთქლის ქვაბ-უტილიზატორზე საკუთარი მოხმარებისთვის;  $\Delta Q_{\text{ოქუ}}$  - სითბური სიმძლავრის დანაკარგი ორთქლის ქვაბ-უტილიზატორში, რომელიც მოიცავს გარემოში სითბოს დანაკარგებს დანადგარის გარე ზედაპირებიდან (თბოიზოლაციის გავლით) და საკვამლე მილიდან, ასევე წვის პორცესისთვის დამახასიათებელ ყველა დანაკარგს მაშინ, როდესაც ქვაბ-უტილიზატორში ახორციელებენ დამატებითი სათბობის წვას;

ენერგეტიკული ბალანსის განტოლება აირტურბინული დანადგარისთვის (ატდ):

$$Q_{\text{სატ}} + W_{\text{ატკ}} + W_{\text{ს}} = N_{\text{ატ}}^{\text{ბრ}} + \Delta N_{\text{ატ}} + \Delta W_{\text{ატ}} + W_{\text{ატკ}} + Q_{\text{ნა}} + \Delta Q_{\text{წკკ}},$$

სადაც,  $W_{\text{ატკ}}$  არის აირტურბინის კომპრესორით ჰაერისთვის გადაცემული სიმძლავრე;  $W_{\text{ს}}$  - სათბობისთვის გადაცემული სიმძლავრე მისი შეკუმშვის დროს ტუმბოში (თხევადი სათბობის გამოყენებისას) ან კომპრესორში (აირადი სათბობის გამოყენების შემთხვევაში);  $\Delta Q_{\text{წკკ}}$  - სითბური სიმძლავრის დანაკარგები აირტურბინის წვის კამერებში;

კოგენერაციული კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკის (ოაკცკ) ელექტრული მარგი ქმედების ბრუტო და ნეტო კოეფიციენტები:

$$\eta_{\text{ლაკცკა}}^{\text{ბრ}} = \eta_{\text{ატლ}}^{\text{ბრ}} \times \frac{1 + N_{\text{ლტ}}^{\text{ბრ}} / N_{\text{ატ}}^{\text{ბრ}}}{1 + \frac{\eta_{\text{ატლ}}^{\text{ბრ}}}{N_{\text{ატ}}^{\text{ბრ}}} \times \left[ Q_{\text{ს}} - \frac{Q_{\text{თბ}}}{\eta_{\text{ომ}} \times (1 - q_{\text{ოქუ}}^{\text{სმ}}) \times \eta_{\text{ოქუ}}^{\text{ბრ}}} \right]}$$

$$\eta_{\text{ლაკცკა}}^{\text{ნტ}} = \frac{N_{\text{ატ}}^{\text{ბრ}} + N_{\text{ლტ}}^{\text{ბრ}} - N_{\text{ლაკცკა}}^{\text{სმ}}}{Q_{\text{ს.ატ}} + Q_{\text{ს}} - Q_{\text{(ნა+ს)თბ}}} = \eta_{\text{ლაკცკა}}^{\text{ბრ}} \times (1 - e_{\text{ლაკცკა}}^{\text{სმ}}),$$

სადაც ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯი საკუთარი მოხმარებისათვის -

$$e_{\text{ლაკცკა}}^{\text{სმ}} = N_{\text{ლაკცკა}}^{\text{სმ}} / (N_{\text{ატ}}^{\text{ბრ}} + N_{\text{ლტ}}^{\text{ბრ}}) \text{ და } N_{\text{ლაკცკა}}^{\text{სმ}} = N_{\text{ატ}}^{\text{სმ}} + N_{\text{ლტ}}^{\text{სმ}} + N_{\text{ოქუ}}^{\text{სმ}} + N_{\text{თბ}}^{\text{სმ}};$$

პირობითი სათბობის “ელექტრული” კუთრი ხარჯი ბრუტო და ნეტო:

$$b_{\text{პს}}^{\text{ბრ.ელ}} = \frac{B_{\text{პს}}^{\text{ელ}}}{N_{\text{ატ}}^{\text{ბრ}} + N_{\text{ლტ}}^{\text{ბრ}}} = \frac{Q_{\text{ს.ატ}} + Q_{\text{ს}} - Q_{\text{(ნა+ს)თბ}}}{Q_{\text{ულ}}^{\text{მ}} \times (N_{\text{ატ}}^{\text{ბრ}} + N_{\text{ლტ}}^{\text{ბრ}})} = \frac{3600}{Q_{\text{ულ}}^{\text{მ}} \times \eta_{\text{ლაკცკა}}^{\text{ბრ}}} = \frac{0.123}{\eta_{\text{ლაკცკა}}^{\text{ბრ}}};$$

$$b_{\text{პს}}^{\text{ნტ.ელ}} = \frac{0.123}{\eta_{\text{ლაკცკა}}^{\text{ბრ}} \times (1 - e_{\text{ლაკცკა}}^{\text{სმ}})} = \frac{b_{\text{პს}}^{\text{ბრ.ელ}}}{1 - e_{\text{ლაკცკა}}^{\text{სმ}}};$$

რეგულირებადი ართმევებიდან სითბური სიმძლავრის გამომუშავების მქ კოეფიციენტი:

$$\eta_{\text{ლაკცკა.თბ}}^{\text{ბრ}} = \frac{Q_{\text{თბ}}}{Q_{\text{(ნა+ს)თბ}}} = \eta_{\text{ომ}} \times (1 - q_{\text{ოქუ}}^{\text{სმ}}) \times \eta_{\text{ოქუ}}^{\text{ბრ}};$$

$$\eta_{\text{ლაკცკა.თბ}}^{\text{ნტ}} = \frac{Q_{\text{თბ.მ}}}{Q_{\text{(ნა+ს)თბ}}} = \frac{Q_{\text{თბ}} - \Delta Q_{\text{თბ}}}{Q_{\text{(ნა+ს)თბ}}} = \eta_{\text{ლაკცკა.თბ}}^{\text{ბრ}} \times (1 - \Delta q_{\text{თბ}});$$

პირობითი სათბობის “სითბური” კუთრი ხარჯი:

$$b_{\text{პს}}^{\text{ბრ.თბ}} = \frac{B_{\text{პს}}^{\text{თბ}}}{Q_{\text{თბ}}} = \frac{Q_{\text{(ნა+ს)თბ}}}{Q_{\text{ულ}}^{\text{მ}} \times Q_{\text{თბ}}} = \frac{3600}{Q_{\text{ულ}}^{\text{მ}} \times \eta_{\text{ლაკცკა.თბ}}^{\text{ბრ}}} = \frac{0.123}{\eta_{\text{ლაკცკა.თბ}}^{\text{ბრ}}};$$

$$b_{\text{პს}}^{\text{ნტ.თბ}} = \frac{B_{\text{პს}}^{\text{თბ}}}{Q_{\text{თბ.მ}}} = \frac{Q_{\text{(ნა+ს)თბ}}}{Q_{\text{ულ}}^{\text{მ}} \times Q_{\text{თბ.მ}}} = \frac{3600}{Q_{\text{ულ}}^{\text{მ}} \times \eta_{\text{ლაკცკა.თბ}}^{\text{ნტ}}} = \frac{0.123}{\eta_{\text{ლაკცკა.თბ}}^{\text{ბრ}} \times (1 - \Delta q_{\text{თბ}})} = \frac{b_{\text{პს}}^{\text{ბრ.თბ}}}{1 - \Delta q_{\text{თბ}}};$$

კონდენსაციური კომბინირებული ციკლის ენერგობლოჯის (ლაკც) ელექტრული მაგი ქმედების ბრუტო კოეფიციენტი:

$$\eta_{\text{აკც}}^{\text{ბრ}} = \eta_{\text{ატლ}}^{\text{ბრ}} \times (1 + N_{\text{ლტ}}^{\text{ბრ}} / N_{\text{ატ}}^{\text{ბრ}}).$$

ამ გამოსახულებების გამოყენებით შესაძლებელია ენერგობლოკებისა და თბოელექტროსადგურების სითბური ეკონომიურობის წლიური მაჩვენებლების განსაზღვრა, რაც საჭიროა ეფექტიანობის შეფასების წლიური ანგარიშების შესადგენად.

**ნაშრომის III თავში** მოცემულია აირტურბინული დანადგარების ენერგეტიკული მაჩვენებლების (სითბური ეკონომიურობა და სიმძლავრის მაჩვენებლები) გადაანგარიშების მეთოდის, რომელიც დამუშავდა გარდაბანი-1 ელექტროსადგურის აირტურბინული დანადგარების მუშაობის ნამდვილი (საექსპლუატაციო) და თეორიული მაჩვენებლების შედარების მიზნით. თეორიულ მაჩვენებლებში იგულისხმება აირტურბინების ეფექტიანობის და სიმძლავრის მაჩვენებლები, რომლებიც მიიღწევა ე.წ. სტანდარტულ პირობებში - ცხრილი-1. ამ მიზნით სამუშაოში შედგენილ იქნა აირტურბინული დანადგარის სითბური გაანგარიშების პროცედურა.

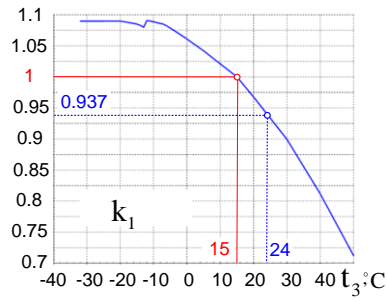
გადაანგარიშების მეთოდის ითვალისწინებდა პროცედურით მიღებული შედეგების შედარებას შესწორებულ საექსპლუატაციო მაჩვენებლებთან, რომლებიც მიიღებოდა მასწორებელი კოეფიციენტების საქარხნო მრუდების გამოყენებით - ნახ. 2 (აქ ნაჩვენებია PG6111 ტურბოდანადგარის სიმძლავრის მასწორებელი მრუდები გარემოს ტემპერატურაზე, ატმოსფერულ/ბარომეტრულ წნევაზე, ფარდობით ტენიანობაზე, აირადი სათბობის თბოუნარიანობასა და ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით).

გადაანგარიშება, რომლის შედეგები ნაჩვენებია ცხრილ-2-ში, ჩატარდა General Electric-ის 6F3-სერიის PG6111 ტიპის აირტურბინული დანადგარისთვის. შედეგები აჩვენებს, რომ გარდაბანი-1-ის საპროექტო პირობებში მუშაობისას ბუნებრივი აირის კუთრი ხარჯი-ბრუტო შეადგენს  $0.18031 \text{ სტ.მ}^3/(\text{კვტ}^*\text{სთ})$ , რასაც ფაქტობრივ პირობებში შეესაბამება ე.წ. თეორიული ანუ კორექტირებული სიდიდე -  $0.19653 \text{ სტ.მ}^3/(\text{კვტ}^*\text{სთ})$ . ფაქტობრივი -  $0.19788 \text{ სტ.მ}^3/(\text{კვტ}^*\text{სთ})$  და კორექტირებული -  $0.19653$

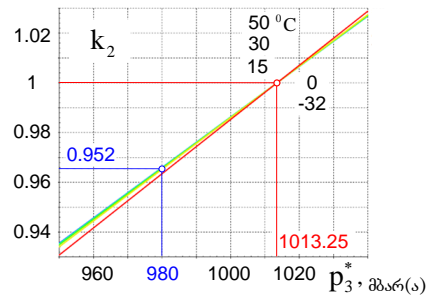
სტ.მ<sup>3</sup>/(კვტ\*სთ) სიდიდეების ფარდობითი განსხვავება შეადგენს 0.68%, რაც აკმაყოფილებდა სიზუსტის სტანდარტის მოთხოვნებს (ASME\_PTC-46\_1996). მაშასადამე, გდაანგარიშებით დადგინდა, რომ კომბინირებული ციკლის თბოელექტროსადგურ გარდაბანი-1-ის სითბური ეკონომიურობა მუშაობის ფაქტობრივ პირობებში (2015 წლის ოქტომბრიდან 2016 წლის ოქტომბრამდე) აკმაყოფილებდა საპროექტო მოთხოვნებს, ბუნებრივი აირის ფაქტობრივი კუთრი ხარჯი საშუალოდ შეადგენდა 0.19788 სტ.მ<sup>3</sup>/(კვტ\*სთ) და ეს სიდიდე იყო სწორი ორიენტირი სამომავლო მუშაობის დაგეგმვისთვის.

<b>ცხრილი-1. PG6111 აირტურბინული დანადგარის ქარხნული მონაცემები სტანდარტული პირობებისთვის</b>	
• სათბობი .....	ბუნებრივი აირი
• სათბობის ფორმულა <sup>1</sup> .....	H/C=4
• უდაბლესი თბოუნარიანობა ASTM-ს მიხედვით ...	50035 კჯ/კგ
• დატვირთვა .....	საბაზისო
• წყლის ან ორთქლის შეშხეფება .....	არა
• გენერატორის სიხშირე .....	50 ჰც
• გენერატორის სიმძლავრის კოეფიციენტი (COS φ) .....	0.8
• ტიპომა .....	6FA.03-06A-0812
• გარემოს ტემპერატურა .....	15°C
• ფარდობითი ტენიანობა .....	60 %
• ატმოსფერული (ბარომეტრული) წნევა .....	1013.25 მზარი(ა)
• ლილვის სიხშირე .....	5234 ბრ/წთ
• სათბობის ტემპერატურა .....	27°C °
• წნევის დანაკარგი ჰაერის ფილტრებში .....	64 მმ.წყ.სვ (6.28 მზარი)
• ნამუშევარი აირების ტრაქტის წინაღობა .....	140 მმ.წყ.სვ (13.7 მზარი)
• ნამუშევარი აირების ტემპერატურა .....	595°C °
• ნამუშევარი აირების ნაკადი .....	767 ტ/სთ (213 კგ/წმ)
• სიმძლავრე გენერატორის მომჭერებზე .....	77356 კვტ
• სითბოს კუთრი ხარჯი ელ.ენერგიის გაომუშავებაზე ..	10139 კჯ/(კვტ*სთ)

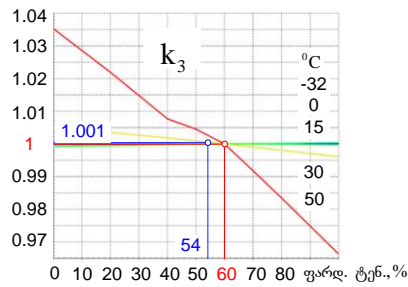
<sup>1</sup> გვიჩვენებს წყალბადისა და ნახშირბადის თანაფარდობას აირად სათბობში. ჩვენს შემთხვევაში H/C=4 გვიჩვენებს, რომ სათბობად გამოიყენება მეთანი, რომლის ქიმიური ფორმულაა CH<sub>4</sub>. ბუნებრივი აირებისთვის H/C შესაძლებელია იყოს 3.8, 3.9 და სხვა სიდიდე, რამდენადაც ის შეიცავს არა მხოლოდ მეთანს.



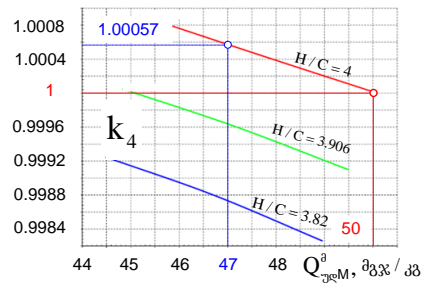
ა) შესწორება გარემოს ტემპერატურაზე



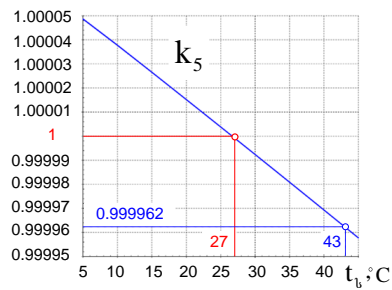
ბ) შესწორება ატმოსფერულ წნევაზე



გ) შესწორება ფარდობით ტენიანობაზე



დ) შესწორება სათბობის უდაბლეს თბოუნარიანობაზე



ე) შესწორება სათბობის ტემპერატურაზე

**ნახ. 2. PG6111 აირტურბინული დანადგარის სიმძლავრის მასწორებელი მრუდები**

**ცხრილი 2. სათბობის კუთრი ხარჯი გარდაბანი-1 ელექტროსადგურის მუშაობის საპროექტო, საანგარიშო და ფაქტობრივ პირობებში**

<b>230 მგვტ კომბინირებული ციკლის ელექტროსადგური - გარდაბანი 1</b>									
2015 წლის ოქტომბერი - 2016 წლის ოქტომბერი									
ელექტროენერჯის გამოიმუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის ფაქტობრივი სიდიდის ანალიზი									
	1	2	3	4	5	6	7	8	
			საპროექტო პირობები და მარჯვენა	ფაქტობრივი პირობები	შესწორება ფაქტობრივ პირობებზე	საანგარიშო მარჯვენა მარჯვენა შესწორების გათვალისწინებით	ფაქტობრივი მარჯვენა	ფაქტობრივი მარჯვენა	გასხვავება ფაქტობრივ და საანგარიშო მარჯვენებს შორის
<b>გარემო-პირობები</b>			ISO-ს მიხედვით	ადგილობრივი, საშუალო-წლიური		ადგილობრივი, საშუალო-წლიური	ადგილობრივი, საშუალო-წლიური		
	გარემოს ტემპერატურა	°C	15	12.9	0.9973	12.9	12.9		
	ფარდობითი ტენიანობა	%	60	68	1.0003	68	68		
	ბარიმეტრიული წნევა	მზარ	1013.25	979.00	1.008	979.00	979.00		
<b>ტექნიკური პირობები</b>									
	აირის ტურბოგენერატორი (ატგ)	GE 6FA.03 (PG6111)							
	ატგ-ს ლილის ბრ. სიხშირე	ბრ/წთ	5231	5231	1	5231	5231		
	სათბობის ტემპერატურა	°C	27	68.6	0.999	68.6	68.6		
	წნევის ვარდნა ჰაერის შეწოვისას	მმ წყ.სვ	64	64	1	64	64		
	წნევის ვარდნა ნამუშევარი აირების გამოსვლისას	მმ წყ.სვ	140	140	1	140	140		
<b>სათბობი</b>									
	ბუნებრივი აირი	H/C	4	3.82	1.00013	3.82	3.82		
	უდაბლესი თბოუნარიანობა (პირობები: ASMT D3588)	კვ/კვ	50035	47187		47187	47187		
	ოფე, პირობებში: 20°C, 101325 პა	კვ/სკ მ <sup>3</sup>	36005	35239		35239	35239		
	ოფე, პირობებში: 20°C, 101325 პა	კვ/სკ მ <sup>3</sup>	8593	8410		8410	8410		
	სიმკვრივე პირობებში: 20°C, 101325 პა	კვ/სკ მ <sup>3</sup>	0.720	0.747		0.747	0.747		
<b>მუშაობის მარჯვენა</b>									
	<b>ატგ დატვირთვა</b>	%	100%		1.060	88.92%			
	ატგ სიმძლავრე ბრუტო	მგვტ	73.60			65.4			
	ატგ ელექტრული მ.კ. ბრუტო	%	35.30%			33.15%			
	ატგ სითბოს კუთრი ხარჯი ბრუტო	კვ/(კვტ*სთ)	10196.9		1.0650	10859.6			
	ორთქლის ტურბოგენერატორი (ოტგ) SKODA, MTD 40CA								
	<b>ოტგ დატვირთვა</b>	%	100%			88.51%			
	ოტგ სიმძლავრე ბრუტო	მგვტ	84.00			74.35			
	<b>გარდაბანი 1 დატვირთვა</b>	%	100%			88.77%	85.19%		
	გარდაბანი 1 სიმძლავრე ბრუტო	მგვტ	231.2			205.24	196.95		
	გარდაბანი 1 ელექტრული მ.კ. ბრუტო	%	55.45%			51.98%	51.63%		
	გარდაბანი 1 სითბოს კუთრი ხარჯი ბრუტო	კვ/(კვტ*სთ)	6492			6926	6973		
	გარდაბანი 1 პირობ. სათბ. კუთრ. ხარჯი ბრუტო	კვ/(კვტ*სთ)	0.221			0.236	0.238		
	გარდაბანი 1 ბუნ. აირის კუთრ. ხარჯი ბრუტო	სკ მ <sup>3</sup> /(კვტ*სთ)	0.18031			0.19653	0.19788	0.68%	

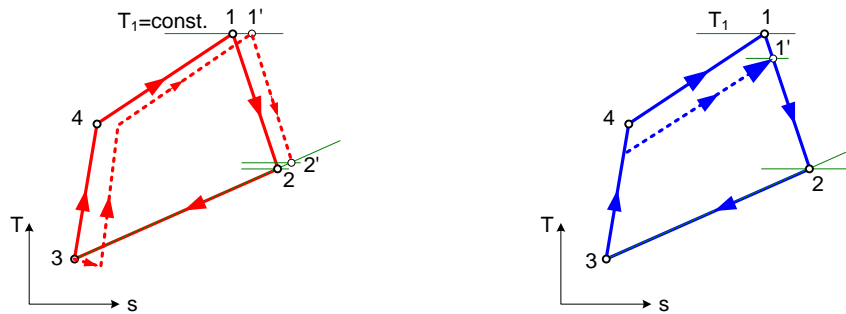
ნაშრომის IV თავში განხილულია აირტურბინული კომბინირებული ციკლის თბოელექტროსადგურების რეგულირების, მართვისა და მენეჯერულობის პრობლემები; ნაჩვენებია, რომ მაღალი ავტონომიურობის ელექტროსისტემებისთვის მნიშვნელოვანია სიმძლავრის რეგულირების ამოცანების გადაწყვეტა კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკებით, რომელთა ძირითადი დანიშნულება საბაზისო დატვირთვის დაფარვაა. სამუშაოში ჩატარებული კვლევა აჩვენებს, რომ ეს შესაძლებელია და ამისათვის საჭიროა კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების ღრმა განტვირთვა.

სიმძლავრის მართვის კომბინირებული მეთოდის კონცეფცია, რომელიც შემოთავაზებულია ნაშრომში, ითვალისწინებს აირტურბინული კომპონენტის რეგულირების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი მეთოდების შეხამებას და მნიშვნელოვნად აფართოებს ასეთი ენერგობლოკების განტვირთვის დიაპაზონს. შესაბამისად, იზრდება მათ ჩართულობა ელექტროსისტემის დატვირთვის რეგულირებაში.

საქართველოს ელექტროსისტემაში კომბინირებული ციკლის თბოელექტროსადგურის ექსპლუატაციის (გარდაბანი-1) პრაქტიკამ აჩვენა, რომ ენერგობლოკის ღრმა განტვირთვა უმეტეს შემთხვევებში შეუძლებელია - ამის საშუალებას არ იძლევა სიმძლავრის მართვის სტანდარტული ალგორითმი. თუმცა, უნდა აღინიშნოს, რომ ღია ციკლით მოქმედი აირტურბინული ენერგობლოკების ღრმა განტვირთვა შესაძლებელია - ის რუტინული პროცედურაა. ასეთი განსხვავება კომბინირებული და ღია ციკლის ენერგობლოკებს შორის გამოწვეულია განსხვავებით მათი მართვის ფილოსოფიაში (ალგორითმში): ერთ შემთხვევაში ცდილობენ შეინარჩუნონ ნამუშევარი აირების (აირტურბინიდან გამომავალი აირების) მაღალი ტემპერატურა (ასეთ მართვას ჰქვია მართვა საბოლოო ტემპერატურის პროგრამით), რათა ენერგობლოკის განტვირთვამ არ გამოიწვიოს მისი ეფექტიანობის შემცირება, ხოლო მეორე შემთხვევაში მაღალი ტემპერატური შენარჩუნების ამოცანა არ დგას. კომბინირებული ციკლის მართვის აღნიშნული ალგორითმი უკიდურესად ზღუდავს მისი განტვირთვის დიაპაზონს და ამცირებს ელექტროსისტემის მოქნილობას. მაგალითად, გარდაბანი-1 ელექტროსადგურის კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკის სადღეღამისო განტვირთვა, ცალკეული დანადგარების ამორთვის გარეშე, შესაძლებელია მხოლოდ ნომინალური დატვირთვის 73%-მდე, რადგან ის ხორციელდება საბოლოო ტემპერატურის მართვის პროგრამით. ასეთი განტვირთვისას აირტურბინების წვის კამერაში პროპორციულად ამცირებენ ჰაერისა და სათბობის მიწოდებას, რა დროსაც აირების საწყისი ტემპერატურა პრაქტიკულად უცვლელია (აირტურბინის



რაოდენობრივი რეგულირება), ხოლო ნამუშევარი აირების ტემპერატურა იზრდება 2-დან 2' ტემპერატურამდე - ნახ.3, ა). ნამუშევარი აირების ტემპერატურის გადიდება იწვევს ქვაბ-უტილიზატორის ორთქლგადამხურებელი ზედაპირების გადახურებას, შესაბამისად, ენერგობლოკის განტვირთვის დიაპაზონი შეზღუდულია.

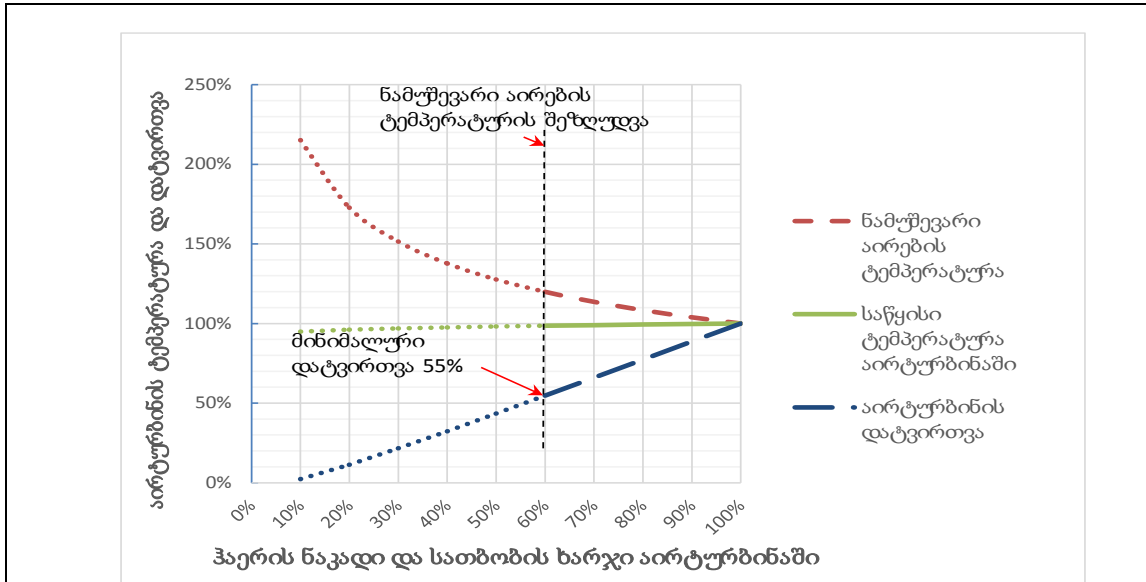


- ა) კომბინირებული ციკლი: რაოდენობრივი რეგულირება (საბოლოო ტემპერატურის მართვის პროგრამით)      ბ) ღია ციკლი: ხარისხობრივი რეგულირება

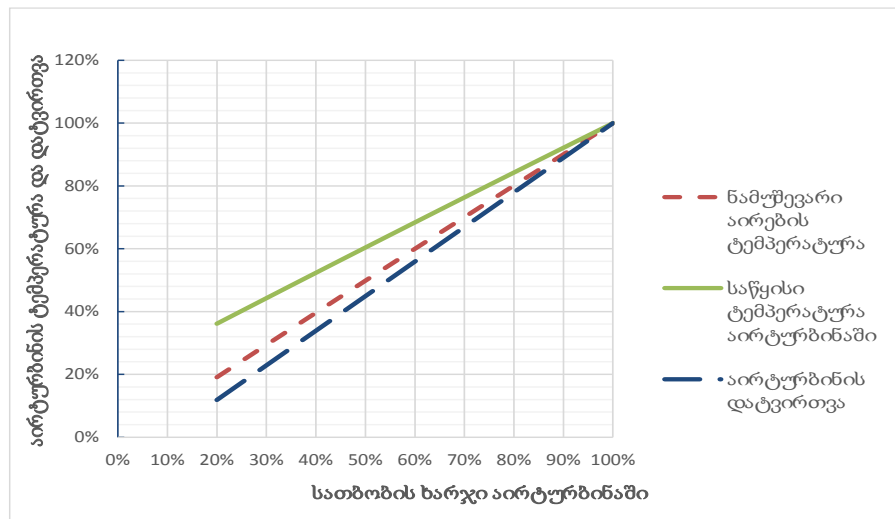
**ნახ. 3. ტემპერატურების ცვლილება აირტურბინული ენერგობლოკის განტვირთვისას კომბინირებულ და ღია ციკლში: — ნომინალური დატვირთვა; - - - - - არასრული დატვირთვა.**

განტვირთვის თეორიული საზღვრების დასადგენად სამუშაოში შედგენილ იქნა წვის კამერის გაანგარიშებითი მოდელი, რომელმაც აჩვენა, რომ აირტურბინების რაოდენობრივი რეგულირებიდან ხარისხობრივზე გადასვლა, რომლის დროსაც წვის კამერაში ჰაერისა და სათბობის მიწოდებას ცვლიან არა პროპორციულად, არამედ ასიმეტრიულად (სათბობის შემცირების წინსწრებით), შესაძლებელს ხდის განტვირთვისას უცვლელად იქნეს შენარჩუნებული (ნახ. 3, ბ) ან შემცირდეს კიდევ ნამუშევარი აირების ტემპერატურა, რაც ხსნის ქვაბ-უტილიზატორების ზედაპირების გადახურების პრობლემას და ადიდება აირტურბინის და, შესაბამისად, კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკის განტვირთვის დიაპაზონს. მოდელით მიღებული შედეგები, კერძოდ დატვირთვის და ტემპერატურების ცვლილების საზღვრები, აირტურბინის რაოდენობრივი

(სტანდარტული) და ხარისხობრივი რეგულირების პირობებში ნაჩვენებია  
ნახ. 4-ზე.



ა) კომბინირებული ციკლი: რაოდენობრივი რეგულირება (სტანდარტული რეგულირება საბოლოო ტემპერატურის მართვის პროგრამით)



ბ) ღია ციკლი: ხარისხობრივი რეგულირება

**ნახ. 4. კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკის დატვირთვის და ტემპერატურების ცვლილების საზღვრები აირტურბინის რაოდენობრივი და ხარისხობრივი რეგულირების პირობებში**

ნახაზიდან ჩანს, რომ რაოდენობრივი რეგულირებისას, რომელიც კომბინირებული ციკლისთვის მართვის სტანდარტული მეთოდია,

აირტურბინის დატვირთვის 55%-ის დროს (ეს შეესაბამება კომბინირებული ციკლის ~73% დატვირთვას) დგება შეზღუდვა ნამუშევარი აირების ტემპერატურის ზრდის მიხედვით და ენერგობლოკის განტვირთვა დანადგარების ამორთვის გარეშე ხდება შეუძლებელი. მეორე მხრივ, ხარისხობრივი რეგულირებისას ასეთი შეზღუდვა არ არსებობს, რაც თეორიულად კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკის სრული განტვირთვის შესაძლებლობას იძლევა. ასეთი რეგულირებისას პრაქტიკული შეზღუდვები აღარ უკავშირდება ქვაბ-უტილიზატორის ორთქლგადამხურებელი ზედაპირების შესაძლო დაზიანებას გადახურების გამო და განისაზღვრება ნაკლებად კრიტიკული საკითხებით, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების განტვირთვის შესაძლებლობებს.

აირტურბინული ენერგობლოკების სიმძლავრის რეგულირების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი მეთოდების შედარება აჩვენებს ხარისხობრივი მეთოდის უპირატესობას ენერგობლოკის განტვირთვის თვალსაზრისით.

სიმძლავრის მართვის აღნიშნული ორი მეთოდის გაერთიანებით (კომბინირებით) შესაძლებელია ენერგობლოკის ღრმა განტვირთვა: პირველ ეტაპზე - რაოდენობრივი მეთოდით ~73%-მდე; მეორე ეტაპზე - ხარისხობრივი მეთოდით, პრაქტიკულად, უქმი სვლის დატვირთვამდე. განტვირთვის აღნიშნული მეთოდი სამუშაოში შემოთავაზებულია ღრმა განტვირთვის კომბინირებული მეთოდის სახელწოდებით და წარმოადგენს ახალ შესაძლებლობას კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკებისთვის..

ნაშრომის მე-4 თავში განხილულია ასევე თბოელექტროსადგურის ენერგობლოკების საიმედოობის მაჩვენებლები:

- მტყუნება, რომელიც შესაძლებელია ტექნიკური მიზეზით იყოს გამოწვეული ან შეაფერხოს ენერგობლოკის მუშაობა;

- უმტყუნელობა ენერგობლოკის უწყვეტი (შეუფერხებელი) მუშაობის უნარი დროის გარკვეულ შუალედში (ექსპლუატაციის ნორმების დაცვის პირობებში);
- რემონტვარგისობა - დანადგარების მუშაუნარიანობის აღდგენის შესაძლებლობა და მიზანშეწონილობა;
- ზღვრული მდგომარეობა - მდგომარეობა, როდესაც აუცილებელი ხდება ენერგობლოკის ექსპლუატაციის შეჩერება მისი უსაფრთხოებისა და მუშაუნარიანობის დაუშვებელი დაქვეითების ან ეფექტიანობის მიუღებელი შემცირების გამო;
- ტექნიკური რესურსი - დანადგარების ნამუშევარი დროის პერიოდი ექსპლუატაციის დაწყებიდან ან გარკვეული ტიპის შეკეთებიდან ზღვრული მდგომარეობის მიღწევამდე.

აღნიშნულ მაჩვენებლებზე დაყრდნობით განალიზებულია კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკის საიმედოობაზე მკვეთრად მოქმედი ფაქტორები, რომელთაგან კრიტიკული ხასიათით გამოიკვეთა სადღეღამისო გაჩერებებისა და გაშვებების რაოდენობა. აქვე ნაჩვენებია, რომ საქართველოს ელექტროსისტემაში აირტურბინული ციკლის ენერგობლოკების დანერგვის პარალელურად უნდა განვიხილოთ სამანევრო და სარეზერვო სიმპლავრეების გადიდების საკითხი, რათა აღნიშნულ დანადგარებს მიეცეს საბაზისო დატვირთვებით მუშაობის შესაძლებლობა, რაც საუკეთესოა გენერაციის პროცესის ეკონომიურად წარმართვისთვის.

## დასკვნა

1. ნაშრომში აირისა და ორთქლის ციკლების, ასევე ქვაბ-უტილიზატორის მქ კოეფიციენტების ანალიზის საფუძველზე ნაჩვენებია აირტურბინული კომბინირებული ციკლის თერმული ეფექტიანობის გაზრდის მთავარი მიმართულება - აირის ციკლის საწყისი პარამეტრების გაზრდა; ამასთან, აირების საწყისი წნევის ზრდა ამცირებს ნამუშევარი აირების ტემპერატურას და ზღუდავს ორთქლის ციკლის საწყისი წნევის ზრდას, აირების წნევის შემცირება კი პირიქით, ზრდის ნამუშევარი აირების ტემპერატურას და აფართოებს ორთქლის საწყისი წნევის შერჩევის დიაპაზონს;

2. აირების საწყისი ტემპერატურის გაზრდით კომბინირებული ციკლის თერმული მქ კოეფიციენტი განუხრელად იზრდება. მიუხედავად ამისა, რეალური დანადგარების ოპტიმიზაციისთვის უნდა გავითვალისწინოთ აირტურბინებისა და ორთქლის ქვაბ-უტილიზატორების ლითონის მხურვალმტკიცობის შეზღუდვები, ასევე ტენიანობის გავლენა ორთქლის ტურბინის ბოლო საფეხურების სიმტკიცეზე;

3. დადგენილია, რომ ენერგობლოკის ეკონომიურობის მაჩვენებლების საანგარიშო გამოსახულებები, რომლებიც მიღებულია სითბური ნაკადების სქემების ანალიზის საფუძველზე, შესაძლებელია წარმატებით იქნეს გამოყენებული თბოელექტროსადგურების სითბური ეკონომიურობის წლიური მაჩვენებლების ანგარიშების შესადგენად;

4. ნაშრომში შემოთავაზებული აირტურბინული დანადგარების ენერგეტიკული მაჩვენებლების გადაანგარიშების მეთოდის უზრუნველყოფს შედეგების სიზუსტეს ASME\_PTC-46\_1996 სტანდარტით მოთხოვნილ საზღვრებში;

5. შემოთავაზებულია აირტურბინული კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების ღრმა განტვირთვის ახალი მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს რეგულირების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი

მეთოდების კომბინაციას ენერგობლოკის დატვირთვის სხვადასხვა დიაპაზონისთვის;

6. დასაბუთებულია კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების ეფექტური გამოყენების შესაძლებლობა ელექტროსისტემების დატვირთვის სადღეღამისო რეგულირებაში განტვირთვის შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენებისას;

7. ნაჩვენებია, რომ საქართველოს ელექტროსისტემაში აირტურბინული ციკლის ენერგობლოკების დანერგვის პარალელურად უნდა გავზარდოთ სამანევრო და სარეზერვო სიმძლავრეები, რათა აღნიშნულ დანადგარებს მიეცეს საბაზისო დატვირთვებით მუშაობის სრული შესაძლებლობა.

## დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული სამეცნიერო შრომები:

1. მიქიაშვილი თ., ჩაღმელაშვილი ნ.. აირტურბინული კომბინირებული ციკლის ოპტიმიზაციის ამოცანები. „ენერჯია“, 2020, №2/3(94/95), გვ. 16-25.
2. ჩაღმელაშვილი ნ.. აირტურბინული კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების განტვირთვა და სითბური ეფექტიანობა. „ენერჯია“, 2020, №4(96), გვ. 96-101.
3. მიქიაშვილი თ., ჩაღმელაშვილი ნ., კილურაძე ო., ჩხაიძე ბ., ჯიშკარიანი თ., არაბიძე გ. NEW UNLOADING POSSIBILITIES OF GAS TURBINE COMBINED CYCLE POWER GENERATING UNITS. „SCIENCE AND EDUCATION: PROBLEMS, PROSPECTS AND INNOVATIONS“, 2021, FEBRUARY 4-6, გვ. 143-149.
4. მიქიაშვილი თ., ჩაღმელაშვილი ნ.. აირტურბინული კომბინირებული ციკლის ენერგობლოკების განტვირთვის ახალი შესაძლებლობები სტუ - ის შრომები, 2021, №2(520), გვ. 164-169.

## Abstract

The high thermal efficiency of the gas turbine combined cycle power units (GTCC) typically necessitates their use to cover the basic part of a load of electrical systems. Designed for this purpose, GTCC units are not adapted to day-to-day power regulation, which is a topical task for many electrical systems.

The paper aimed at the creation and exploration of effective methods to expand the regulative range of combined cycle power units, which is a key issue in their maneuverability improvement. In the work process, the maneuverability of the power units along with their technical capabilities is determined by the operation of the equipment power control and regulation systems, which is carried out according to predefined algorithms.

The main problem of the combined cycle power unit at the time is the deep unloading while maintaining the equipment in progress (shutdown free). For example, in power units where several gas turbines and heat recovery steam generators (HRSG) are connected to a single steam turbine, unloading is possible by switching off one of the gas turbines and the coupled HRSG. But, if it is necessary to keep all the units online due to their durability requirements (especially when working in unstable electrical systems), the power unit is unloaded by reducing the capacity of the gas turbines. Significant unloading is not possible in this way, as the combined cycle power unit control system does not take into account the regulation of the temperature of the exhaust gases, which would protect the HRSG's surfaces from overheating during deep unloading. When designing new combined cycle power units, increased requirements for their maneuverability should be taken into account, which is extremely relevant for modern thermal power plants.

The paper is dedicated to the current tasks of expanding the range of regulation of combined cycle power units. Based on the gas and steam cycles analysis, as well as on the analysis of the Heat Recovery Steam Generator Thermal Efficiency, the main factors affecting the efficiency of the combined cycle units are revealed.

The possibility of deep unloading of gas turbines by the qualitative method has been identified, which significantly increases the regulation range of combined cycle power units without a sharp deterioration of its efficiency.

A new method of deep unloading is proposed, which provides a combination of quantitative and qualitative methods of regulation for a different load range of the power unit.

The possibility of efficient use of combined cycle power units in the daily load regulation of electrical systems by using the proposed unloading method is justified, which significantly increases the commercial attractiveness of this type of power unit.

The study uses standard methods of analysis of power plant operating conditions and indicators: analysis of load change and periodicity statistics; Analytical method of thermal efficiency assessment; Method of modeling and computational simulation. Studies have identified the reasons for the limitation of operating modes and regulation range of combined cycle power units, which minimize the possibility of its use in the grid power day-to-day regulation. Based on cause analysis and computational research, the possibility of increasing the regulation range of the combined cycle power unit and a new method of power control to realize this possibility have been identified and proposed. The results obtained in the research can be used to improve the control and regulation system of gas turbine units, for its direct implementation (in agreement with the manufacturers) in thermal power plants, as well as methodological material for researchers of indicators and operating modes.