

ქეთევან მჭედლიძე

საქართველოში სითბოს და ელექტროენერჯის გამომუშავების  
კოგენერაციული მეთოდების გამოკვლევა თანამედროვე  
მაღალეფექტური ენერგოდანადგარების ბაზაზე

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
2013 წელი

© საავტორო უფლება ქეთევან მჭედლიძე, 2013 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მჭედლიძე ქეთევანის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „საქართველოში სითბოს და ელექტროენერჯის გამომუშავების კოგენერაციული მეთოდების გამოკვლევა თანამედროვე მაღალეფექტური ენერგოდანადგარების ბაზაზე“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი გურამ ჩიტაშვილი

რეცენზენტი: \_\_\_\_\_

რეცენზენტი: \_\_\_\_\_

რეცენზენტი: \_\_\_\_\_

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013 წელი

ავტორი: ქეთევან მჭედლიძე  
დასახელება: „საქართველოში სითბოს და ელექტროენერჯის  
გამომუშავების კოგენერაციული მეთოდების  
გამოკვლევა თანამედროვე მაღალეფექტური  
ენერგოდანადგარების ბაზაზე“

“ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი”

აკადემიური ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ  
ზემომოყვანილი 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

კოგენერაცია თბოელექტრომომარაგების უმაღლესი ფორმაა. ის ითვლება ენერგეტიკის განვითარების, ენერგოდამზოვი პოლიტიკის, სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების რაციონალური გამოყენების ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს სტრატეგიულ მიმართულებად. კოგენერაცია უზრუნველყოფს ორგანული სათბობის, ფინანსური და შრომითი რესურსების დიდ ეკონომიას, ხელს უწყობს ქალაქებსა და სამრეწველო ცენტრებში ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას. სათბობის განუხრელი გაძვირების პირობებში კოგენერაციის როლი თანდათან უფრო გაიზრდება.

მსოფლიოში დიდი ყურადღება ეთმობა ელექტრული და თბური ენერჯიების კომბინირებული გამომუშავების (კოგენერაციის) სისტემების განვითარებას. დიდი მნიშვნელობა აქვს კოგენერაციის მეშვეობით მიღებული ეკონომიკური მოგების სამართლიან განაწილებას გამომუშავებულ სითბოსა და ელექტროენერჯიას შორის. ამჟამად ეს განაწილება უმეტეს ქვეყნებში წარმოებს ე.წ. პროპორციული მეთოდით, რომელიც ითვალისწინებს თეცში ყველა დანახარჯის გაყოფას ორი სახის ენერჯიას შორის შეაბამისი ხარჯების პროპორციულად სითბოსა და ელექტროენერჯიის გამომუშავებისას განცალკევებული მეთოდით (საქვამბესა და კონდენსაციურ ელექტროსადგურში).

ნაშრომში გაანალიზებულია მსოფლიოში კოგენერაციის განვითარების ძირითადი ეტაპები, მისი ენერგოეკონომიკური და ეკოლოგიური უპირატესობანი. აღნიშნულია, რომ ამჟამად კოგენერაცია ვითარდება ძირითადად აირტურბინული და ორთქლანიერული ტექნოლოგიების ბაზაზე. მოყვანილია მონაცემები მსოფლიოს განვითარებული და განვითარებადი ქვეყნების ენერგეტიკაში აირტურბინული და ორთქლანიერული დანადგარების გამოყენების მასშტაბებისა და პერსპექტივების შესახებ. ატდ-ები და ოატდ-ები ხასიათდება მაღალი თბური ეკონომიურობით, მინიმალური კუთრი ღირებულებით, კარგი ეკოლოგიური თვისებებით, კაპიტალდაბანდებების სწრაფი გამოსყიდვით, კოგენერაციაში გამოყენების ეფექტურობით და სხვ.

ნორმატიული მეთოდის გამოყენებით ჩატარებულია KO ტიპის ტურბინებით აღჭურვილი ორთქლტურბინული თეცის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების საანგარიშო-ანალიზური გამოკვლევა. განსაზღვრულია სათბობის კუთრი ხარჯი და მისი ფარდობითი ეკონომია ენერგოწარმოების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით.

ნაშრომში დადგენილია, რომ “პროპორციული” მეთოდით გათვლილი თეცების ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლებზე ძირითადად გავლენას ახდენს აირტურბინული დანადგარის მქ კოეფიციენტი, სხვაობა წარმავალ აირებსა და გარე ჰაერის ტემპერატურათა შორის, აგრეთვე კესისა და საქვამბის მქ კოეფიციენტები.

განხილულია კოგენერაციულ სისტემებში რთული სქემების აირტურბინული დანადგარების გამოყენების საკითხი. ცნობილია, რომ

ამჟამად აირტურბინულ თეცებში უპირატესად უმარტივესი სქემის აირტურბინული დანადგარები გამოიყენება. ისინი საკმაოდ იაფი და ენერგოეფექტური დანადგარებია. სხვადასხვა ქვეყნების მეცნიერთა გამოკვლევებით დადგინდა, რომ რთული სქემების აირტურბინული დანადგარების გამოყენება თეცებში უზრუნველყოფს გარკვეულ, უფრო მეტ თერმოდინამიკურ ეფექტს. ადრე დამუშავებული მეთოდის გამოყენებით გაანალიზებულია ორი ტიპის აირტურბინული თეცის ეფექტურობა: როდესაც აქ გამოიყენება უმარტივესი სქემის აირტურბინული დანადგარი, მეორე: როდესაც გამოიყენება რთული სქემის დანადგარი ჰაერის შუალედური გაცივებით, რეგენერაციით და სითბოს შუალედური მიწოდებით. შედარების მთავარ კრიტერიუმად მიღებულია სათბობის ფარდობითი ეკონომია, რომელიც მიიღწევა ენერგოსისტემაში აირტურბინული თეცის ფუნქციონირებით, თბოელექტრომომარაგების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით. დასაბუთებულია, რომ მეორე შემთხვევაში სათბობის ეკონომია საშუალოდ 20÷25%-ით მეტი იქნება პირველ ვარიანტთან შედარებით.

ნაშრომში გამოკვლეულია გარდაბანში ამჟამად მოქმედი აირტურბინული დანადგარების ატდ-თეცად შესაძლო რეკონსტრუქციის ეფექტურობა, გაანალიზირებულია აგრეთვე მცირე სიმძლავრის A-41 ტიპის დიზელის მაგალითზე ნარჩენი სითბოს უტილიზაციის შესაძლებლობა.

საქართველოში ადრე არსებული საქვაბეების ტერიტორიებზე შეიძლება შეიქმნას რამდენიმე მძლავრი აირტურბინული თეცი, რაც მნიშვნელოვნად გაზრდის ენერგოსისტემაში ელექტროენერგიის წლიურ გამომუშავებას. სითბოს და ელექტროენერგიის კომბინირებული გამომუშავება უზრუნველყოფს ქვეყანაში დაახლოებით 80 მილიონი დოლარის ღირებულების 1 მილიარდ კუბურ მეტრზე მეტი ბუნებრივი აირის ეკონომიას. ელექტროენერგიის გამომუშავების თვითღირებულება იქნება მცირე 2...2,5 ცენტი/(კვტ.სთ). აღნიშნული თეცების მშენებლობა დაჯდება საშუალოდ 2-ჯერ იაფი, ვიდრე ისეთივე სიმძლავრის მსხვილი ორთქლტურბინული თეცის აგება. ატ-თეცების ამოქმედება განსაკუთრებით ეფექტური იქნება შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში, როდესაც ერთდროულად ადგილი აქვს ელექტრული და თბური დატვირთვების პიკებს.

გაანალიზირებულია ქ. თბილისში გლდანის რაიონში ადრე მოქმედი №44 საქვაბის აირტურბინულ თეცად რეკონსტრუქციის ეფექტურობა და გათვლილია თეცის ძირითადი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები.

ბინარული ტიპის ქვაბ-უტილიზატორიანი თბოფიკაციური ორთქლაირული დანადგარები გამოირჩევა ელექტროენერგიის მაქსიმალური გამომუშავებით თბური მოხმარების ბაზაზე და ყველაზე პერსპექტიულია თეცებისათვის. დადგენილია, რომ ქვაბ-უტილიზატორიანი ორთქლაირული თეცის ენერგოეფექტურობა ძირითადად დამოკიდებულია გამოყენებული ატდ-ის მქ კოეფიციენტზე და თბოფიკაციური ორთქლის ტურბინის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლებზე. აოტდ-თეცში, ელექტროენერგიის კუთრი გამომუშავება თბური მოხმარების ბაზაზე ყველაზე მაღალია და 2,0...2,3-ს აღწევს. შესაბამისად ყველაზე

მეტია სათბობის ფარდობითი ეკონომია ენერგოსისტემაში (35...47%). ეს მაჩვენებელი არსებითად არის დამოკიდებული ჩასანაცვლებელი რაიონული საქვების და კონდენსაციური ელექტროსადგურის მქ კოეფიციენტზე.

## ABSTRACT

### Examination of cogeneration methods of heat and electricity generation in Georgia on the basis of high-effective power plants

Cogeneration is the highest form of heating and electricity supply. It is considered as one of the most important strategic directions of rational use of heating and power resources. Cogeneration shall provide important savings of organic fuel, financial and labour resources, shall support improvement of environmental situation in towns and industrial centers. In the conditions of steady rising of fuel in price, role of cogeneration shall gradually increase much more.

Improvement of combined generation (cogeneration) systems of electricity and heating energies is paid great attention all over the world. Fair distribution of economic profit obtained through cogeneration, between generated heat and electricity is significant. The distribution currently takes place in many countries in accordance with so called proportional method that considers division of all charges in heat and power plant through separate methodology in proportion with any relevant charges between two energies at generation of heat and electricity (in boiler house and condensate power house).

Major stages of the development of cogeneration, its power-economic and ecological advantages all over the world have been analyzed in the work. It has been specified that cogeneration currently is developed on the basis of gas-turbine and gas-vapor technologies. Data about scopes and perspectives of using gas-turbine and gas-vapor facilities in the power engineering of the well-developed and developing countries of the world has been specified. Gas-turbine and gas-vapor installations are characterized by high thermal effectiveness, minimal specific value, good environmental properties, quick redemption of investments, efficiency of usage in cogeneration and etc.

The design-analytic examination of the showings of power efficiency of gas-vapor heat and power plant equipped with KO type turbines has been carried out by using of normative method. Specific flow of fuel and its relative savings to compare with the separate method of power generation has been determined.

The fact that the showings of power efficiency of heat and power plants calculated by "Proportional" method is influenced by efficiency factor of gas-turbine installation,

difference between exit gases and outdoor temperature as well as condensing power

plant and boiler house efficiency factors, have been specified in the work.

The issue of using complicated scheme gas-turbine installations in cogeneration system has been reviewed. It has been known that the simplest scheme gas-turbine installations are used in gas-turbine heat and power plants currently. They are

quite cheap and power effective. According to examinations of scientists of the different countries, it has been ascertained that the usage of complicated scheme gas-turbine installations in heat and power plants shall provide clear, more thermodynamic effect. Efficiency of two type gas-turbine heat and power plant has been analyzed basing upon the previously developed methodology: when the gas-turbine installation of the simplest scheme is used and the second: when the installation of complicated scheme is used with air intercooling, regeneration and intermediate supply of heat. Relative saving of fuel that is reached by functioning of gas-turbine heat and power plant in energy system to compare with the separate methodology of heat power supply has been adopted as the major criteria of comparison. Fuel economy on the second case shall be 20÷25% more to compare with the first version.

Efficiency of presumable reconstruction of gas-turbine installations currently operated in Gardabani, into gas-turbine installation-heat and power plant has been examined in the work, possibility of the remainder heat utilization on the example of small-capacity A-41 diesel has been analyzed as well.

Some high power gas-turbine heat and power plant that shall significantly increase yearly output of electricity in energy system can be made at the territories of former boiler houses in Georgia. Combined generation of heat and electricity shall provide savings of more than 1 billion cubic meter natural gas of 80 million USD. Self-cost of electricity generation shall be the least 2...2,5 cent (kwt/hr). Construction of the above heat and power plants shall be 2-times cheap than the construction of gas-vapor heat and power plant of the same capacity. Exploitation of gas-turbine heat and power plants shall be especially effective in autumn and winter when the peaks of electricity and thermal loads take place simultaneously.

Efficiency of reconstruction of the previously operated # 44 boiler house in Gldani, Tbilisi into gas-turbine heat and power plant has been analyzed and the major technical-economic showings have been determined.

Binary steamer-utilizer heating gas-vapor plants are distinguished by maximal generation of electricity on the basis of thermal consumption and are the most perspective for heat and power plants. It has been established that power efficiency of steamer-utilized gas-vapor heat and power plant is mainly depended on the efficiency factor of gas-turbine plant and the showings of heating gas-vapor turbine power efficiency. Specific generation of electricity if gas-turbine installation heat and power plant is the highest on the basis of thermal consumption and reaches to 2,0...2,3. Accordingly, relative savings of fuel is the most of all in energy system (35...47%). The present index is significantly depended to the efficiency factor of the sectional boiler house to be replaced and condense power plant.

## **შინაარსი**

შესავალი;

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

- 1.1. კოგენერაცია – ენერგოდაზოგვის ეფექტური მეთოდი და მისი როლი ენერგოსისტემის განვითარებაში ;
- 1.2. მსოფლიო ენერგეტიკაში აირტურბინული და ორთქლაირული დანადგარების გამოყენების მასშტაბები;
- 1.3 კოგენერაციის ეფექტურობის მაჩვენებლების განსაზღვრის მეთოდების შედარებითი ანალიზი;

### **თავი II. ორთქლტურბინული კოგენერაცია ;**

- 2.1. ორთქლტურბინული თეცების ენერგეტიკული ეფექტურობის თერმოდინამიკური ანალიზი ;
- 2.2. სათბობის ეკონომიის გაანგარიშება ენერგოსისტემაში, განპირობებული ორრეგულირებადართმევიანი ტურბინებით აღჭურვილი თეცების ფუნქციონირებით ;
- 2.3. ორთქლტურბინული კოგენერაციული სადგურების გამოკვლევა პროპორციული მეთოდით ;
- 2.4. კოგენერაციაში კეს-ის ტურბინების გამოყენების ეფექტურობა;

### **თავი III. აირტურბინული დანადგარების და შიგაწვის ძრავების გამოყენება კოგენერაციაში ;**

- 3.1. სხვადასხვა ტიპის თეცების ზოგადი დახასიათება და



ენერგეტიკული ეფექტურობის შედარებითი ანალიზი ;

- 3.2. გარდაბნის აირტურბინული ელექტროსადგურის კოგენერაციულ სადგურად ტრანსფორმაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური მახვენებლების შეფასება ;
  - 3.2.1. პროექტის წმინდა დისკონტირებული ღირებულების ანგარიში ;
- 3.3. კოგენერაციულ სისტემებში რთული სქემების აირტურბინული დანადგარების გამოყენების ეფექტურობა ;
- 3.4. ქ. თბილისის ტიპური საქვების ბაზაზე აირტურბინული თეცის შექმნის ტექნიკურ-ეკონომიკური ასპექტები ;
  - 3.4.1 რაიონის თბომომარაგების სქემაში აირტურბინული თეცის მუშაობის რეჟიმი ;
  - 3.4.2. სათბობი ;
  - 3.4.3. ძირითადი მოწყობილობის შედგენილობა და დახასიათება ;
  - 3.4.4. MS6001B ტიპის ენერგეტიკული მოდულური დანადგარი ;
  - 3.4.5. ქსელის წყლის აირშემთბობი (ქწაშ) ;
- 3.5. დიზელ-დანადგარების ნარჩენი სითბოს გამოყენება კოგენერაციაში ;
  - 3.5.1. დიზელის ნამუშევარი სითბოს გამოყენების გზები და შესაძლებლობა ;
  - 3.5.2. ნამუშევარი სითბოს გამოყენების გავლენა დანადგარის ეკონომიურობაზე ;
  - 3.5.3. ნამუშევარი სითბოს გამოსაყენებელი დანადგარების სქემები და ელემენტები ;
  - 3.5.4. A-41 დიზელის ნარჩენი სითბოს უტილიზაციის შესაძლებლობის გაანგარიშება ;

**თავი IV. ორთქლაირული კოგენერაცია ;**

- 4.1. არსებული კომბინირებული დანადგარების მოკლე დახასიათება ;
- 4.2. ქვაბ-უტილიზატორიანი ორთქლაირული თეცის პრინციპული თბური სქემა და ეფექტურობის ძირითადი მაჩვენებლები ;
- 4.3. აირტურბინული და ორთქლაირული თეცების ფუნქციონირების ეკოლოგიური ასპექტები ;

დასკვნა ;

გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა.

## ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი 1. საქართველოში ადრე არსებული თევზების ტექნიკური მონაცემები
- ცხრილი 2. უკრაინის და რუსეთის ქარხნების ატდ-ების მონაცემები
- ცხრილი 3. უკრაინის და უცხოური ფირმების ატდ-ების მონაცემები
- ცხრილი 4. მსოფლიოში ათვისებული მძლავრი ატდ-ების მაჩვენებლები
- ცხრილი 5. გაანგარიშების შედეგები KO ტიპის ტურბინებისთვის, როცა  $p_{\text{ართ}}=0.14$  მგპა
- ცხრილი 6. გაანგარიშების შედეგები KO ტიპის ტურბინებისთვის, როცა  $p_{\text{ართ}}=0.26$  მგპა
- ცხრილი 7.  $A_{\text{თ}}$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,332$ )
- ცხრილი 8.  $\overline{N_{\text{თ}}}$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,332$ )
- ცხრილი 9.  $\eta_{\text{ტდ}}^{\text{სრ}}$ -სა და  $\eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ}}$ -ის მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,332$ )
- ცხრილი 10.  $\overline{B_{\text{კკ}}}$ -ს მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,332$ )
- ცხრილი 11. თევზის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,332$ )
- ცხრილი 12. თევზის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები სითბოს გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,332$ )
- ცხრილი 13. სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,332$ )
- ცხრილი 14. სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები სითბოს გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,332$ )
- ცხრილი 15.  $A_{\text{თ}}$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,37$ )
- ცხრილი 16.  $\overline{N_{\text{თ}}}$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,37$ )
- ცხრილი 17.  $\eta_{\text{ტდ}}^{\text{სრ}}$ -სა და  $\eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ}}$ -ის მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,37$ )
- ცხრილი 18.  $\overline{B_{\text{კკ}}}$ -ს მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{\text{კეს}}=0,37$ )

- ცხრილი 19. თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები ელექტროენერგის გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0,37$ )
- ცხრილი 20. თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები სითბოს გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0,37$ )
- ცხრილი 21. სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები ელექტროენერგის გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0,37$ )
- ცხრილი 22. სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები სითბოს გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0,37$ )
- ცხრილი 23.  $A_{\sigma}$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{კეს} = 0,46$ )
- ცხრილი 24.  $\overline{N_{\sigma}}$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{კეს} = 0,46$ )
- ცხრილი 25.  $\eta_{ტდ}^{სრ}$ -სა და  $\eta_{\sigma\sigma\sigma}^{სრ}$ -ის მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{კეს} = 0,46$ )
- ცხრილი 26.  $\overline{B_{კეს}}$ -ს მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{კეს} = 0,46$ )
- ცხრილი 27. თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები ელექტროენერგის გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0,46$ )
- ცხრილი 28. თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები სითბოს გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0,46$ )
- ცხრილი 29. სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები ელექტროენერგის გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0,46$ )
- ცხრილი 30. სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები სითბოს გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0,46$ )
- ცხრილი 31. თბილსრესის ენერგობლოკის კოგენერაციის მიზნით გამოყენების ეფექტურობის მაჩვენებლები
- ცხრილი 32. ბუნებრივი აირის და მის შექმნაზე ფულადი სახსრების ეკონომიის მაჩვენებლები
- ცხრილი 33. გარდაბნის ატ-თეცის მაჩვენებლები
- ცხრილი 34. FT8 Twin Pas აირტურბინების ძირითადი მახასიათებლები გარემოს ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით
- ცხრილი 35. ფულადი ნაკადების მიმდინარე ღირებულება, თუ საპროცენტო განაკვეთი 20%-ია,  $C_{ტარ} = 4,79$  ცენტ/კვტ.სთ

- ცხრილი 36. ფულადი ნაკადების მიმდინარე ღირებულება, თუ საპროცენტო განაკვეთი 20%-ია,  $C_{ბარ}=5,08$  ცენტი/(კვტ.სთ)
- ცხრილი 37. ფულადი ნაკადების მიმდინარე ღირებულება, თუ საპროცენტო განაკვეთი 20%-ია,  $C_{ბარ}=5,39$  ცენტი/(კვტ.სთ)
- ცხრილი 38. ფულადი ნაკადების მიმდინარე ღირებულება, თუ საპროცენტო განაკვეთი 20%-ია,  $C_{ბარ}=5,69$  ცენტი/(კვტ.სთ)
- ცხრილი 39. ატ-თეცის მაჩვენებლები სხვადასხვა პირობებში
- ცხრილი 40. ატდ-ის მუშაობის საპასპორტო მონაცემები ( $t_{გარ} = +15^0 C$ )
- ცხრილი 41. აირშემთბობის საპასპორტო მონაცემები ( $t_{გარ} = -7^0 C$ )
- ცხრილი 42. გაანგარიშების შედეგები [45] მეთოდით
- ცხრილი 43. ატ-თეცის მუშაობის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები №44 და №17 საქვაბის გარეშე
- ცხრილი 44. ატ-თეცის მუშაობის წლიური მაჩვენებლები
- ცხრილი 45. საუტილიზაციო ქვაბების გამოცდისას მიღებული მონაცემები
- ცხრილი 46. გარემოში მავნე გამონატყორცნების განაწილება აშშ-ს მაგალითზე [69]
- ცხრილი 47.  $NO_x$ -ის დასაშვები კონცენტრაცია წვის აირად ნაწარმში, მგ/მ<sup>3</sup>
- ცხრილი 48.  $NO_x$ -ის ზღვრული კონცენტრაცია წვის აირად ნაწარმში, მგ/მ<sup>3</sup>
- ცხრილი 49. ატმოსფერულ ჰაერში ძირითადი მავნე ნივთიერებების მაქსიმალურად დასაშვები საერთო გამონაბოლქვები, ათასი ტ/წლ

## ნახაზების ნუსხა

- ნახ.1.** უკუწნევიანი ტურბინით აღჭურვილი თეცის, რეალური ციკლი TS დიაგრამაზე
- ნახ.2.** აირტურბინულ თეცში სათბობის კუთრი ხარჯების (ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე) შედარება  $\Delta t$ -ს ოთხი მნიშვნელობისთვის:  $\eta_{კეს} = 0.37$   $\eta_{საქ} = 0$ .
- ნახ.3.** სათბობის კუთრი ხარჯები ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე აირტურბინულ თეცში  $\Delta t$ -ზე დამოკიდებულებით  $\eta_{აღღ}$ -ს ოთხი მნიშვნელობისთვის:  $\eta_{კეს} = 0.37$ ,  $\eta_{საქ} = 0.8$ .
- ნახ.4.** სათბობის კუთრი ხარჯი აირტურბინულ თეცში თბური ენერჯის გამომუშავებაზე: ა -  $\eta_{აღღ}$  და ბ -  $\Delta t$  პარამეტრებზე დამოკიდებულებით ( $\eta_{კეს} = 0.37$ ,  $\eta_{საქ} = 0.8$ ).
- ნახ.5.** ორთქლის ართმევის  $\alpha_a$  წილის და  $\omega$  პარამეტრის გავლენა თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრული  $\eta_{აღღ}^{სრ}$  და კერძო  $\eta_{აღღ}^{კე}$  მქ კოეფიციენტებზე
- ნახ.6.** ორთქლტურბინული თეცის (T და II ტიპის ტურბინებით) ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლები ართმევის  $\alpha_a$  წილზე დამოკიდებულებით ( $\omega = 0.6$ ).
- ნახ.7.** თეცში სათბობისთვის კუთრი ხარჯის  $b_{თეც}^{მლ(ნბ)}$  დამოკიდებულება  $\omega$  და  $\alpha_a$  პარამეტრებზე
- ნახ.8.** ართმეული ორთქლის წილის გავლენა სათბობის ფარდობით ეკონომიაზე მიღებულია:  $p_0 = 10$  მგპა;  $t_0 = 550^\circ C$ ;  $p_3 = 0.004$  მგპა;  $p_{აბო}$ , მგპა: 1 - 0.14; 2 - 0.26.
- ნახ.9.** ორთქლის საწყისი წნევის გავლენა სათბობის ფარდობით ეკონომიაზე; მიღებულია:  $t_0 = 550^\circ C$ ;  $p_{აბო} = 0.14$  მგპა;  $\alpha = 1$ .
- ნახ.10.** ართმეული ორთქლის რაოდენობის გავლენა სათბობის ფარდობით ეკონომიაზე მიღებულია  $p_0 = 10$  მგპა;  $t_0 = 550^\circ C$ ;  $\sum \alpha = 0.6$ .
- ნახ.11.** ორთქლის ართმევის ენერგეტიკული კოეფიციენტის  $A_{თ}$ -ის დამოკიდებულება  $\alpha_a$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{საქ} = 0.8$ ,  $\eta_{კეს} = 0.332$ ).
- ნახ.12.** ორთქტურბინული დანადგარის ფარდობითი თბოფიკაციური სიმძლავრე სხვადასხვა რეჟიმებში ( $\alpha_a = 0-1$ )  $\omega$ -ს ოთხი მნიშვნელობისთვის ( $\eta_{აღღ}^{(ა)} = 0.4047$ ,  $\eta_{კეს} = 0.981$ )
- ნახ.13.** ორთქლის ართმევის  $\alpha_a$  წილის გავლენა თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრულ  $\eta_{აღღ}^{სრ}$  და თეცის სრულ  $\eta_{თეც}^{სრ}$  მქ კოეფიციენტებზე
- ნახ.14.** გრაფიკი თეცის ფუნქციონირებით გამოწვეული სათბობის ფარ-

დობითი ეკონომიის განსაზღვრისათვის -  $\bar{B}_{\text{კვ}} = f(\alpha_{\text{ა}}, \omega)$  (მიღებულია:  $\eta_{\text{კვს}} = 0.332, \eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )

- ნახ.15.** პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება  $\alpha_{\text{ა}}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია:  $\eta_{\text{კვს}} = 0.332, \eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )
- ნახ.16.** პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_{\text{ა}}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია:  $\eta_{\text{კვს}} = 0.332, \eta_{\text{საქ}} = 0.8$ ).
- ნახ.17.** პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული სითბოს გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_{\text{ა}}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია:  $\eta_{\text{კვს}} = 0.332, \eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )
- ნახ.18.** ორთქლის ართმევის ენერგეტიკული კოეფიციენტის  $A_{\text{თ}}$ -ს დამოკიდებულება  $\alpha_{\text{ა}}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე. (მიღებულია  $\eta_{\text{საქ}} = 0.8, \eta_{\text{კვს}} = 0.37$ )
- ნახ.19.** ორთქტურბინული დანადგარის ფარდობითი თბოფიკაციური სიმძლავრე სხვადასხვა რეჟიმებში ( $\alpha_{\text{ა}}=0-1$ )  $\omega$ -ს ოთხი მნიშვნელობისთვის ( $\eta_{\text{ბღ}}^{(კ)}=0.4511, \eta_{\text{ა}}=0.981$ )
- ნახ.20.** ორთქლის ართმევის  $\alpha_{\text{ა}}$  წილის გავლენა თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრულ  $\eta_{\text{ბღ}}^{\text{სრ}}$  და თეცის სრულ  $\eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ}}$  მქ კოეფიციენტებზე.
- ნახ.21.** გრაფიკი თეცის ფუნქციონირებით გამოწვეული სათბობის ფარდობითი ეკონომიის განსაზღვრისათვის -  $\bar{B}_{\text{კვ}} = f(\alpha_{\text{ა}}, \omega)$  (მიღებულია  $\eta_{\text{კვს}} = 0.37, \eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )
- ნახ.22.** პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება  $\alpha_{\text{ა}}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კვს}} = 0.37, \eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )
- ნახ.23.** პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_{\text{ა}}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კვს}} = 0.37, \eta_{\text{საქ}} = 0.8$ ).
- ნახ.24.** პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული სითბოს გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_{\text{ა}}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კვს}} = 0.37, \eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )
- ნახ.25.** ორთქლის ართმევის ენერგეტიკული კოეფიციენტის  $A_{\text{თ}}$ -ს დამოკიდებულება  $\alpha_{\text{ა}}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე. (მიღებულია  $\eta_{\text{საქ}} = 0.8, \eta_{\text{კვს}} = 0.46$ .)

- ნახ.26.** ორთქტურბინული დანადგარის ფარდობითი თბოფიკაციური სიმძლავრე სხვადასხვა რეჟიმებში ( $\alpha_a=0-1$ )  $\omega$ -ს ოთხი მნიშვნელობისთვის ( $\eta_{\delta\text{გ}}^{I(a)}=0,5608$ ,  $\eta_{\text{კმ}}=0,981$ )
- ნახ.27.** პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება  $\alpha_a$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კმ}} = 0.46$ ,  $\eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )
- ნახ.28.** გრაფიკი თეცის ფუნქციონირებით გამოწვეული სათბობის ფარდობითი ეკონომიის განსაზღვრისათვის  $-\overline{B}_{\text{კმ}} = f(\alpha_a, \omega)$  (მიღებულია  $\eta_{\text{კმ}} = 0.46$ ,  $\eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )
- ნახ.29.** პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება  $\alpha_a$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კმ}} = 0.46$ ,  $\eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )
- ნახ.30.** პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_a$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კმ}} = 0.46$ ,  $\eta_{\text{საქ}} = 0.8$ ).
- ნახ.31.** პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული სითბოს გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_a$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კმ}} = 0.46$ ,  $\eta_{\text{საქ}} = 0.8$ ).
- ნახ.32.** სათბობის ფარდობითი ეკონომიის დამოკიდებულება ორთქლტურბინულ თეცში ჩასანაცვლებელი კეს-ის მქ კოეფიციენტზე (მიღებულია  $\omega = 0.4$ ).
- ნახ.33.** სათბობის ფარდობითი ეკონომიის დამოკიდებულება ორთქლტურბინულ თეცში ჩასანაცვლებელი კეს-ის მქ კოეფიციენტზე (მიღებულია  $\omega = 0.6$ ).
- ნახ.34.** ოტდ-თეცის სრული მქ კოეფიციენტის ორთქლის ართმევის წილზე დამოკიდებულებით
- ნახ.35.** კონდენსაციური K-150-130 ტურბინის პრინციპული თბური სქემა
- ნახ.36.** თბური პროცესი K-150-130 ტურბინისთვის is – დიაგრამაზე.
- ნახ.37.** სათბობის წლიური ეკონომიის ღირებულების დამოკიდებულება ენერგობლოკის მუშაობის წლიურ ხანგრძლივობაზე, როცა  $\mu_a = 0,143$  დოლ/მ<sup>3</sup> და 1 -  $N_{\text{გლ}} = 133$  მგვტ,  $\eta = 33,2$  % და 2 -  $N_{\text{გლ}} = 150$  მგვტ,  $\eta = 33,53$  %.
- ნახ.38.** ნახევრადპიკური აირტურბინული თეცის პრინციპული სქემა
- ნახ.39.** თბომაგენერირებელი ენერგოდანადგარის უმარტივესი პრინციპული სქემა წარმავალი აირების ღრმა გაცივებით
- ნახ.40.** სათბობის ფარდობითი ეკონომიის (ა)  $\overline{B}_{\text{კმ}} = f(\omega)$  და კუთრი ხარჯები (ბ)  $b_{\text{გლ}}^{\text{ნტ}} = f(\omega)$  შედარება ორთქლტურბინულ თეცსა (უწყვეტი ხაზები) და აირტურბინულ ბლოკ-თეცში (წყვეტილი ხაზები); მიღებულია:  $\eta_{\text{კმ}} = 0,37$ ;  $\eta_{\text{საქ}} = 0,8$ ;  $\eta_{\text{ოგ}} = 0,9$ ;  $\eta_{\text{კმ}} = 0,97$ ;  $\eta_{\delta\text{გ}} = 0,98$ ;



- ნახ.41.** ელექტროენერჯის ტარიფის  $C_{ტარ}$  გავლენა კაპიტალდაბანდების გამოსყიდვის ვადაზე  $T_{შპ}$
- ნახ.42.** FT8 Twin Pas ატდ-ის ელექტრული სიმძლავრისა და მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე
- ნახ.43.** გარე ჰაერის ტემპერატურის გავლენა FT8 Twin Pas ატდ-ის სითბოს კუთრ ხარჯზე
- ნახ.44.** FT8 Twin Pas ატდ-ის წარმავალი აირების ტემპერატურის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე
- ნახ.45.** ატ-თეცის თბური სიმძლავრის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე
- ნახ.46.** FT8 Twin Pas ატდ-ის სათბობის ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე
- ნახ.47.** FT8 Twin Pas ატდ-ის ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე
- ნახ.48.** FT8 Twin Pas ატდ-ის სითბოს გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე
- ნახ.49.** სათბობის ფარდობითი ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე
- ნახ.50.** დისკონტირებული შემოსავალი 5 წლის განმავლობაში, როცა  $C_{ტარ}=4,79$  ცენტი/(კვტ.სთ)
- ნახ.51.** დისკონტირებული შემოსავალი 5 წლის განმავლობაში, როცა  $C_{ტარ}=5,08$  ცენტი/(კვტ.სთ)
- ნახ.52.** დისკონტირებული შემოსავალი 5 წლის განმავლობაში, როცა  $C_{ტარ}=5,39$  ცენტი/(კვტ.სთ)
- ნახ.53.** დისკონტირებული შემოსავალი 5 წლის განმავლობაში, როცა  $C_{ტარ}=5,69$  ცენტი/(კვტ.სთ)
- ნახ.54.** ელექტროენერჯის ტარიფის  $C_{ტარ}$  გავლენა NPV-ზე
- ნახ.55.** ატდ-ის რთული სქემა ჰაერის ორსაფეხურიანი შეკუმშვით, შუალედური გაცივებით და რეგენერაციით
- ნახ.56.** ატდ-ის რთული სქემა ჰაერის ერთსაფეხურიანი შეკუმშვით, რეგენერაციით და სითბოს შუალედური მიწოდებით
- ნახ.57.** ატდ-ის რთული სქემა ჰაერის ორსაფეხურიანი შეკუმშვით, შუალედური გაცივებით, რეგენერაციით და სითბოს შუალედური მიწოდებით
- ნახ.58.** ატდ-ის მიერ ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე
- ნახ.59.** გარე ჰაერის ტემპერატურის გავლენა  $\omega$  პარამეტრზე
- ნახ.60.** ატდ-ის ელექტრული მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე
- ნახ.61.** ატდ-ის თბური სიმძლავრის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე
- ნახ.62.** პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯის ეკონომიის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე

**ნახ.63.** სათბობის ფარდობითი ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე

**ნახ.64.** სათბობის ეკონომიის ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე

**ნახ.65.** დიზელ-დანადგარის ნამუშევარი სითბოს გამოყენების პრინციპული სქემა

**ნახ.66.** ბინარული და მონარული ორთქლაირული დანადგარების ძირითადი სქემები

**ნახ.67.** ორთქლაირული თეცის პრინციპული სქემა T ტიპის ტურბინით

**ნახ.68.** ქვაბ-უტილიზატორიანი თბოფიკაციური აოტდ-ის პრინციპული სქემა

**ნახ.69.** ქვაბ-უტილიზატორიანი აოტდ-თეცის პრინციპული თბური სქემა

**ნახ.70.** აოტდ-თეცის მაჩვენებლები ატდ-ის მქ კოეფიციენტზე დამოკიდებულებით, როცა

$$\eta_{\text{ოტდ}}^{\text{მლ}} = 0,46, \alpha_{\text{ო}} = 0,7, \omega_{\text{ოტდ}} = 0,6, \beta_{\text{გმ}} = 0,2, \eta_{\text{კეს}} = 0,37,$$

$$\eta_{\text{საქ}} = 0,8, \eta_{\text{ემ}} = 0,97$$

**ნახ.71.** დამოკიდებულება  $\bar{B}_{\text{მკ}} = f\left(\omega_{\text{აოტდ}}\right)$  აოტდ-თეცისათვის, როცა

$$\eta_{\text{კეს}} = 0,37, \eta_{\text{საქ}} = 0,8, \eta_{\text{ატდ}} = 0,4, \omega_{\text{ოტდ}} = 0,6, \Delta t_{\text{წარ}} = 100^{\circ}\text{C}.$$

## შესავალი

ამჟამად მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში დიდი ყურადღება ეთმობა ელექტრული და თბური ენერჯიების კომბინირებულ გამომუშავების (კოგენერაციის) სისტემების განვითარებას. კოგენერაცია აღიარებულია ენერგოდამზოვი პოლიტიკის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს მიმართულე-ბად. იგი უზრუნველყოფს ორგანული სათბობისა და კაპიტალდაბანდე-ბების ყველაზე რაციონალურად გამოყენებას და ქალაქებისა და დასახლებული პუნქტების ეკოლოგიურ უსაფრთხოებას.

განვითარებულ და გარდამავალი ეკონომიკის ქვეყნებში გამოიყენება სხვადასხვა ღონისძიებები, რომლებიც ხელს უწყობს კოგენერაციის ინტენსიურ განვითარებას, მათ შორის: კოგენერაციის საგადასახადო სტიმულირება; პრემიების გადახდა ყოველ გამომუშავე-ბულ კილოვატსაათ ენერჯიაზე; ზოგჯერ მცირე სიმძლავრის კოგენერა-ციულ სადგურებს მინიჭებული აქვთ პრიორიტეტი არსებული ელექტრული ქსელების გამოყენების თვალსაზრისით, შემცირებულია გადასახადი ბუნებრივ აირზე, რომელიც გამოიყენება კოგენერაციაში; ბევრ ქვეყანაში შემცირებულია აგრეთვე ეკოლოგიური გადასახადი კომბინირებული მეთოდით სხვადასხვა ტიპის თეცებში წარმოებულ ენერჯიაზე. გარდამავალი ეკონომიკის ზოგიერთ ქვეყანაში შემცირებუ-ლია დამატებითი ღირებულების გადასახადი (დღგ) კოგენერაციული სისტემებისათვის. ასეთი ღონისძიებები უნდა დამუშავდეს და მიღებული იქნეს საქართველოშიც, რაც წაადგება ჩვენი ენერჯეტიკის (მათ შორის კოგენერაციის) შემდგომ განვითარებას.

2004 წლის დასაწყისში ევროკომისიამ მიიღო ახალი დირექტივა კოგენერაციის შესახებ, რომელიც განსაზღვრავს პოლიტიკურ სტრატე-გიას გარდამავალი ეკონომიკის ქვეყნებში და აწესებს სტიმულებს კოგენერაციული სისტემების დანერგვისათვის. ამასთან, კოგენერაციულ სადგურებად ითვლება მხოლოდ ისეთები, რომლებშიც სათბობის სითბოს გამოყენების ხარისხი არის არანაკლებ 75%.

კოგენერაციის განვითარების აუცილებელი პირობებია: უნდა იზრდებოდეს მოთხოვნა სითბოსა და ელექტროენერჯიაზე ან უნდა

არსებობდეს ინვესტირების შესაძლებლობები, რომ მოხდეს არსებული სიმძლავრეების შეცვლა და მოძველებული ენერგოდანადგარების რეკონსტრუქცია.

საქართველოში კოგენერაციის განვითარებას სჭირდება სახელმწიფოებრივი მხარდაჭერა. კოგენერაცია საქართველოში ამჟამად ძალზე სუსტად არის განვითარებული, რაც დიდ ზარალს აყენებს ქვეყნის ეკონომიკას.

საქართველოში, სადაც ელექტრული სიმძლავრეების მნიშვნელოვანი დეფიციტია (განსაკუთრებით ბაზისურის) და დაუკმაყოფილებელია თბური დატვირთვების დიდი ნაწილი კომუნალური და სამრეწველო სექტორში, ყველა პირობა არსებობს კოგენერაციის ინტენსიური განვითარებისთვის. ამისათვის საჭიროა სათანადო კანონმდებლობა, უცხოური და ადგილობრივი ინვესტიციების მოზიდვა და ეფექტური გამოყენება.

გადამწვევტი მნიშვნელობა კოგენერაციის განვითარებისთვის აქვს მისგან მიღებული ეკონომიკური მოგების სამართლიან განაწილებას წარმოებულ ელექტრულ და თბურ ენერჯიებს შორის. ამჟამად განვითარებულ ქვეყნებში იყენებენ განაწილების ახალ, ე.წ. პროპორციულ მეთოდს, რომელიც მიხნეულია ყველაზე სამართლიანად. ვთვლით, რომ საქართველოს მომავალ კოგენერაციულ სადგურებშიც გამოყენებულ უნდა იქნეს ეს პროპორციული მეთოდი.

კოგენერაცია ენერგეტიკული მეურნეობის უმნიშვნელოვანესი შემადგენელი ნაწილია. კოგენერაცია მჭიდროდ აკავშირებს ერთმანეთს სითბოსა და ელექტროენერჯიის ბაზრებს. დანახარჯების განაწილების წესი ამ ორ სახის ენერჯიებს შორის მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სითბოსა და ელექტროენერჯიის კონკურენტუნარიანობაზე.

## თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა

### 1.1. კოგენერაცია – ენერგოდაზოგვის ეფექტური მეთოდი და მისი როლი ენერგოსისტემის განვითარებაში

სითბოსა და ელექტროენერჯის კომბინირებული გამომუშავება - კოგენერაცია აღიარებულია მსოფლიოში ენერგოდაზოგი პოლიტიკის, სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების რაციონალური გამოყენების ერთ-ერთ მთავარ სტრატეგიულ მიმართულებად. კოგენერაცია უზრუნველყოფს ორგანული სათბობის, ფინანსური და შრომითი რესურსების დიდ ეკონომიას. ყოფილ საბჭოთა კავშირში, ამჟამად კი დსთ-ს რესპუბლიკებში, კოგენერაციამ ძალზე დიდი გამოყენება ჰპოვა, რაც განპირობებულია ენერგომომარაგების სხვა მეთოდებთან შედარებით კოგენერაციის დიდი ენერგეტიკული, ეკონომიკური, სოციალური და ეკოლოგიური უპირატესობებით. დადგენილია [1], რომ ენერგოწარმოების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით (ელექტროენერჯი-სრესებში, სითბო-საქვაბებში), ორთქლტურბინული თეცები უზრუნველყოფს ორგანული სათბობის 25...30%-იან ეკონომიას. ყოველ გაცემულ გიგაჯოულ (გჯ) სითბოზე საშუალოდ იზოგება 15 კვ პირობითი სათბობი (პ.ს.). სხვადასხვა ავტორების შეფასებით [1...3], 1970 წელს საბჭოთა კავშირში კოგენერაცია უზრუნველყოფდა 20...25, 1985 წელს - 35...39 და 1988 წელს დაახლოებით 45 მლნ.ტპ.ს. წლიური ეკონომიას.

მძლავრი თეცები აშენებულია შვეციაში, აშშ-ში, იაპონიაში და ევროპის მრავალ ქვეყანაში. შვეცია პირველი ქვეყანაა მსოფლიოში, სადაც გამოიყენეს ატომური ენერჯია კოგენერაციის მიზნებისთვის (ატომური თეცი სტოკჰოლმში). თეცების მშენებლობის მასშტაბები განისაზღვრება, უპირველეს ყოვლისა, თბური დატვირთვების სიდიდითა და კონცენტრაციით, აგრეთვე ენერგოსისტემაში მოქმედი სხვა ელექტროსადგურების სტრუქტურული შემადგენლობითა და მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლებით. სხვადასხვა ქვეყანაში მოჰყავთ

განსხვავებული მონაცემები მინიმალურად მიზანშეწონილი თბური დატვირთვის შესახებ, რომლის დროსაც ეფექტურია თბომომარაგების კომბინირებული სქემის გამოყენება. დატვირთვის აღნიშნული მინიმუმი განისაზღვრება თბომომარაგებისთვის გამოყენებული სათბობის სახეობით, მისი ღირებულებით, თესებისა და საქვებების სრულყოფის ხარისხით, მათი ენერგოდანადგარების ღირებულებით, კლიმატოლოგიური ფაქტორებითა და სხვ. მინიმალურად მიზანშეწონილი თბური დატვირთვა იცვლება 300 გჯ/სთ (~80 მგვტ)-დან პოლონეთ-ში, 1050 გჯ/სთ (290 მგვტ)-მდე შვეციაში. რუსეთში ეს სიდიდე შეადგენს 1450...2100 გჯ/სთ (~400...580 მგვტ) [3].

კოგენერაცია თბოენერგეტიკის ორგანული შემადგენელი ნაწილია. იგი მნიშვნელოვანწილად უზრუნველყოფს ტექნიკურ პროგრესს ამ დარგში. კოგენერაციას დიდი მნიშვნელობა აქვს ქვეყნის სათბობ-ენერგეტიკული ბალანსის რაციონალურ ფორმირებაში, და, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ეკონომიაში სითბოსა და ელექტროენერჯის გამომუშავებისას. სათბობის განუხრელი გაძვირების პირობებში კოგენერაციის ეფექტურობა მომავალში უფრო გაიზრდება.

უკანასკნელ წლებში თანდათან იცვლება ზოგადი მიდგომა თეცების დანიშნულებისადმი, რომლებიც განიხილება უკვე არა როგორც თბომომარაგების ლოკალური წყარო, არამედ როგორც ენერგოსისტემის სტრუქტურული ქვედანაყოფი მათზე დაკისრებული სისტემური ფუნქციებით. თეცები წარმოადგენს ძირითადად ენერგოსისტემის ბაზისური სიმძლავრის წყაროს, მაგრამ ამჟამად ზოგიერთ ქვეყანაში მეტად აქტუალური ხდება მათი მონაწილეობა ენერგოსისტემის დატვირთვის გრაფიკის ცვლადი ნაწილის რეგულირებაში. მაგრამ თეცების მანევრული თვისებების გაუმჯობესება რამდენადმე ამცირებს კომბინირებული ენერგოწარმოების ძირითად უპირატესობას.

კოგენერაციას დიდი მნიშვნელობა აქვს სათბობის წვის პროდუქტებისგან გარემოს დაცვის საქმეში. როგორც გაანგარიშებებმა უჩვენა [3], რამდენიმე რაიონული საქვების ნაცვლად ერთი მძლავრი (400...500 მგვტ) თეცის აშენებით, ერთნაირი სახის სათბობის გამოყენებისას, ქა-

ლაქების ატმოსფეროში მანვნი ნივთიერებების კონცენტრაცია 5...10 ჯერ მცირდება, თუმცა სათბობის ხარჯი თეცში დაახლოებით 1,5ჯერ მეტია, ვიდრე საქვაბეებში. კოგენერაციის მეშვეობით მანვნი ნივთიერებების ჯამური გატყორცნა ატმოსფეროში მცირდება დაახლოებით 15%-ით.

კოგენერაცია, სათბობის ეკონომიისა და გარემოს გაჯანსაღების გარდა, უზრუნველყოფს მომსახურე პერსონალის რაოდენობის შემცირებას მცირე საქვაბეებში მომუშავეებთან შედარებით 5...7-ჯერ და შრომის ნაყოფიერების გაზრდას 8...10-ჯერ, აგრეთვე ელექტრომომარაგების საიმედოობის გადიდებას [4].

მიუხედავად მრავალი უპირატესობისა, კოგენერაცია საქართველოში ძალზე სუსტად იყო განვითარებული. თბილისი ერთადერთი მილიონიანი ქალაქი იყო საბჭოთა კავშირის შემადგენლობაში, სადაც არ აშენებულა არც ერთი მძლავრი თეცი.

სულ (თბილთეცის ჩათვლით) ჩვენთან არსებობდა 6 თეცი (ცხრილი 1) [4].

ცხრილი 1

საქართველოში ადრე არსებული თეცების ტექნიკური მონაცემები

თეცის დასახელება და დანიშნულება	დადგმული სიმძლავრე		
	ელექტრული, მგვტ	თბური	
		გკალ/სთ	მგვტ
<u>სამრეწველო:</u>			
რუსთაეის მეტალურგიული ქარხნის	149	414,7	482,2
ბათუმის ნავთობგადამამუშავებელი ქარხნის	19,55	230	267,5
აგარის შაქრის ქარხნის	2,5	66	76,7
ენგურის ქალაღდკომბინატის	2,5	84	97,7
<u>სათბიერებელი:</u>			
თბილისის	18	131	152,3
<u>სამრეწველო-სათბიერებელი:</u>			
ქუთაისის საავტომობილო ქარხნის	5,7	70	81,4
სულ	197,25	995,7	1157,8

აქედან ყველაზე მძლავრი იყო რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის თეცი (149 მგვტ). ექვსივე თეცის ჯამური ელექტრული სიმძლავრე შეადგენდა დაახლოებით 200 მგვტ-ს, თბური სიმძლავრე ~1000 გკალ/სთ-ს (1160 მგვტ). ამ სადგურების ტურბოაგრეგატები ძირითადად მოძველებული ტიპისა იყო, მუშაობდნენ ორთქლის დაბალ საწყის პარამეტრებზე, ამიტომ კომბინირებული ენერგოწარმოებით განპირობებული ეფექტი იყო უმნიშვნელო. იყო რამდენიმე მცდელობა დაეპროექტებინათ და აეშენებინათ თბილისის მახლობლად ახალი მძლავრი თეცი, მაგრამ სხვადასხვა მიზეზის გამო ვერც ერთი პროექტი ვერ განხორციელდა.

1975 წ. მოსკოვის ინსტიტუტმა ВНИПИэнергопром-მა დაამუშავა ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთება, რომელიც ითვალისწინებდა ქ. თბილისში მძლავრი კოგენერაციული სისტემის შექმნას. იგი გააერთიანებდა 750/1000 მგვტ ელექტრული სიმძლავრის ახალ თეცს Т-250-240 ტურბინების ბაზაზე და არსებულ რაიონულ საქვებებს, რომლებიც გადაყვანილი იქნებოდა მუშაობის სარეზერვო-პიკურ რეჟიმში. ახალ სისტემას უნდა უზრუნველყო თბილისის და რუსთავის ენერგომომარაგება პერსპექტივაშიც; თეცი მნიშვნელოვნად შეამცირებდა ბაზისური სიმძლავრის დეფიციტს საქართველოს ენერგოსისტემაში.

უკანასკნელად ახალ-თბილთეც-2-ის შექმნა გათვალისწინებული იყო მარნეულის მახლობლად. სათანადო ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთება შეასრულა ВНИПИэнергопром-ის ურალის განყოფილებამ. პროექტი ითვალისწინებდა 675/765 მგვტ დადგმული სიმძლავრის ორთქლაირული თეცის მშენებლობას სამი ПГУ-250 ბლოკის გამოყენებით. თითოეული ბლოკის შემადგენლობაში იქნებოდა მაღალი დაწნევის ორთქლგენერატორი ВПГ-600, აირტურბინული დანადგარი ГТ-45-850 და ტურბოაგრეგატი Т-180/210-130. ახალი თბილთეცის ენერგეტიკული სიმძლავრეების ექსპლოატაციაში შეყვანა გათვალისწინებული იყო 1995-997 წლებში. ამ თეცის ფუნქციონირებით საქართველოში ყოველწლიურად დაიზოგებოდა დაახლოებით 500 ათასი ტ.პ.ს., მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდებოდა ჩვენი ენერგოსისტემის მაგენერირებელი სიმძლავრეების სტრუქტურა და დედაქალაქის საპაერო აუზის ეკოლოგიური მდგომარეობა.



რეობა. სამწუხაროდ, არც ამ პროექტს ეწერა განხორციელება. ასე მიველით დღევანდელ ენერგოკრიზისამდე, ბაზისური სიმძლავრის მძაფრ დეფიციტამდე, ცენტრალიზებული თბომომარაგების სისტემების სრულ მოშლამდე.

ამრიგად, საქართველოში, ამიერკავკასიის სხვა რესპუბლიკებისგან განსხვავებით, მძლავრი თეცები არ გვაქვს. სომხეთში, მაგალითად, ფუნქციონირებს რამდენიმე მსხვილი თეცი (ერევნის, რაზდანისა და სხვ.).

აღრე კოგენერაცია მსოფლიოში ძირითადად ორთქლტურბინულ თეცებზე იყო დაფუძნებული, თუმცა ასეთ თეცებს გარკვეული ხარვეზები ახასიათებს: ეკონომიკურად არ მართლდება მცირე და საშუალო თბური დატვირთვების დროს; თეცის დადგმული სიმძლავრის ხვედრითი ღირებულება (დოლარი/კვტ) კონდენსაციურ სადგურთან (სრესთან) შედარებით მაღალია; თბოფიკაციური ტურბოაგრეგატების რეგულირებადი ართმევეები სხვადასხვა მიზეზის გამო [3] ხშირად არ არის სრულად დატვირთული სითბოს მიხედვით საათურ და წლიურ ჭრილში; მაგისტრალურ თბურ ქსელებში სითბოს დანაკარგები საკმაოდ დიდია; ადგილი აქვს აქედან წყლის გაჟონვებს; დიდია ელექტროენერგიის ხარჯი ქსელის წყლის გადაქაჩვაზე, განსაკუთრებით, ექსპლუატაციის იმ რეჟიმებში, როდესაც ქსელის წყლის ტემპერატურა უკუმავისტრალში საპროექტო სიდიდეზე მაღალია. გარდა ჩამოთვლილისა, ორთქლტურბინულ თეცებს სხვა ხარვეზებიც ახასიათებს, რომლებიც 20...30%-ით (და ზოგჯერ მეტით) ამცირებს ენერგოსისტემაში კომბინირებული ენერგოწარმოებით განპირობებულ სათბობის საანგარიშო ეკონომიას. ამის მიზეზებია: ზაფხულში-თეცებში ელექტროენერგიის დიდი ნაწილის კონდენსაციური ნაკადებით გამომუშავება, ზამთრის პერიოდში - თეცის ტურბინების დაბალი წნევის ნაკადის (დწნ) დაბალი მქ კოეფიციენტი, როდესაც იქ გაედინება ორთქლის ძალიან მცირე რაოდენობა - სავენტილაციო ნაკადი, და სხვ. [1,6].

კრიზისული მოვლენები საქართველოს ენერგეტიკაში განპირობებულია ორგანული სათბობის მწვავე დეფიციტით და მისი გაძვირებით მსოფლიო ბაზარზე, ენერგოსისტემაში მაგენერირებელი სიმძლავრეების

არაოპტიმალური სტრუქტურით და, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია, ჩვენს ქალაქში ადრე არსებული ცენტრალიზებული თბომომარაგების სისტემების სრული მოშლით. მთელი რიგი მიზეზების გამო ცენტრალიზებული თბომომარაგების სისტემები, ჩვენს ქალაქებში, არ ფუნქციონირებს და მომხმარებლების სითბოთი მომარაგება ან საერთოდ არ წარმოებს ან ხორციელდება ინდივიდუალური და ავტონომიური სითბოს წყაროებიდან, რაც საკმაოდ ძვირია, არაეფექტური და ეკოლოგიურად გაუმართლებელი.

ცნობილია, რომ ელექტროენერჯის გამოყენება გათბობისა და ცხელწყალმომარაგებისათვის ადრევე კრიზისულ მოვლენებს ელექტროენერჯეტიკაში. გერმანელი სპეციალისტების შეფასებით [7] მარტო თბილისში დამატებითი მოთხოვნილება ელექტროენერჯიაზე, რომელიც განპირობებულია ელექტროგასათბობი ხელსაწყოების გამოყენებით ბინებში, საზოგადოებრივ შენობებსა და დაწესებულებებში, შეადგენს მინიმუმ 470 მეგავატს.

ამრიგად, ჩვენთან ენერგოკრიზისი ორმხრივია: კრიზისი ელექტრომომარაგებაში და კრიზისი თბომომარაგებაში.

ენერჯეტიკული კრიზისის დაძლევა ბევრად არის დამოკიდებული ენერგოსისტემის მაგენერირებელი სიმძლავრეების ოპტიმალური სტრუქტურის ჩამოყალიბებაზე. ორგანული სათბობის გაძვირება და მისი მარაგის თანდათანობით შემცირება ძალზედ აქტუალურს ხდის მთელ მსოფლიოში ამ სათბობის გამოყენების ეფექტურობის გაზრდის (ენერგოდაზოგვის) გზების ძიებას.

მიგვაჩნია, რომ საქართველოში უნდა განვითარდეს კოგენერაციის ახალი სახეობა, რომელიც დაფუძნებულია თანამედროვე მაღალეკონომიური აირტურბინული დანადგარებისა (ატდ) და, ნაწილობრივ, დგუშიანი ძრავების გამოყენებაზე [8]. დიდი ეფექტურობით (58÷60%-მდე) ხასიათდება ორთქლაირული დანადგარები.

აირტურბინული ბლოკ-თეცების შექმნა და დანერგვა საქართველოში ძალზე აქტუალური პრობლემაა, ვინაიდან საქმე ეხება იმ მეტად ძვირადღირებული სათბობის (უმთავრესად, ბუნებრივი აირის) დიდ ეკონომიას, რომლის შექმნა ჩვენ გვიხდება უცხოეთში. მსოფლიოს ბევრ

განვითარებულ ქვეყანაში უკვე მრავლად არის აშენებული სხვადასხვა სიმძლავრის (რამდენიმე ათეული კილოვატიდან ათეულ და ასეულ მეგავატამდე) აირტურბინული ატ-თეცები. ასეთი სადგურები გაცილებით უფრო მომგებიანია, როგორც საერთო ეკონომიურობის თვალსაზრისით, ასევე ხვედრითი კაპიტალური დაბანდებების მიხედვით, ვიდრე ტრადიციული ორთქლტურბინული თეცები. ქვაბ-უტილიზატორებით აღჭურვილი 25 მგვტ-მდე სიმძლავრის თბოფიკაციური აირტურბინული დანადგარების განთავსება რაიონულ საქვაბებში იძლევა საშუალებას 25...30%-ით შემცირდეს, ორთქლტურბინულ თეცთან შედარებით, სათბობის კუთრი ხარჯი 1 კვტ.სთ გაცემულ ელექტროენერგიაზე, 2...2,5-ჯერ მომსახურე პერსონალის ხვედრითი რაოდენობა და 1,7...2-ჯერ კუთრი ლითონტევადობა [9].

აირტურბინულ თეცებს გააჩნიათ შემდეგი უპირატესობანი:

- თბოელექტრომომარაგების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით, ისინი უზრუნველყოფენ 35÷40%-მდე სათბობის ეკონომიას; სათბობის სითბოს გამოყენების კოეფიციენტი (სრული მქ კოეფიციენტი) ასეთ სადგურებში ძალზე მაღალია - 85÷90%. სათბობის კუთრი ხარჯი გამომუშავებულ კილოვატსაათ ელექტროენერგიაზე მინიმალურია - 150÷200 გპ.ს/(კვტ.სთ) [6,10,11]. მისი თვითღირებულება ოპტიმალურ პირობებში არ აღემატება 2÷2,4 ცენტს/(კვტ.სთ);
- ტრადიციული ორთქლტურბინული თეცებისაგან განსხვავებით აირტურბინული თეცების გამოყენება ეკონომიკურად მიზანშეწონილია მცირე და საშუალო თბური დატვირთვების დროსაც; ასეთი დატვირთვები კი გვაქვს ჩვენი ქალაქების და დასახლებული პუნქტების უმრავლესობაში. ამიტომ აირტურბინული თეცების გამოყენება მნიშვნელოვნად გააფართოებს საქართველოში კოგენერაციის გავრცელების არეალს; ისინი შეიძლება შეიქმნას როგორც ცენტრალიზებული, ასევე დეცენტრალიზებული (ავტონომიური) თბომომარაგების პირობებში;
- მძლავრ ორთქლტურბინულ და ორთქლაირულ თეცებთან შედარებით აირტურბინული თეცების შექმნისას კაპიტალდაბანდებები გამოიყენება

უფრო ეფექტურად; მათი გამოსყიდვის ვადა მცირეა და არ აღემატება 3÷5 წელს [6]; აგრეგატების ბლოკურ-მოდულური შესრულების გამო აირტურბინული თეცები სწრაფად შენდება; ატდ-ების მონტაჟი და ექსპლუატაციაში გაშვება წარმოებს ეტაპობრივად – თბური დატვირთვების ზრდის მიხედვით, ამიტომ არ არსებობს კაპიტალის ხანგრძლივი „გაყინვის“ რისკი. ეს აირტურბინული თეცების დიდი უპირატესობაა და წარმოედგენს უცხოელი ინვესტორის მოზიდვის ერთ-ერთ მთავარ პირობას;

- ასეთი თეცები ხასიათდება დაბალი საექსპლუატაციო ხარჯებით; ატდ-ები მარტივი და ექსპლუატაციაში საიმედო აგრეგატებია. მათი გაშვების და რეჟიმის შეცვლის დრო მინიმალურია, შესაძლებელია ატდ-ების მართვის სრული ავტომატიზაცია;
- მომხმარებლებთან სიახლოვის გამო აირტურბინული თეცებისათვის საჭირო არ არის გრძელი თბოტრასების გაყვანა, ამიტომ სითბოს დანაკარგები თბოქსელებიდან მინიმალურია; ასევე მცირეა ელექტროენერჯის დანაკარგები ელექტროგადამცემ ხაზებში;
- საქვაბეებთან შედარებით ასეთი თეცები ეკოლოგიურად უფრო სუფთაა; ისინი თითქოს არ საჭიროებენ მაცივებელ წყალს, ამიტომ მათი დისლოკაციის ადგილი, ორთქლტურბინული და ორთქლაირული თეცებისაგან განსხვავებით, არ არის ხისტად მიბმული წყლის მძლავრ წყაროსთან.

აირტურბინული თეცების ეკონომიურობაზე დიდ გავლენას ახდენს დადგმული სიმძლავრის გამოყენების საათების რიცხვი ანუ ელექტრული დატვირთვის გრაფიკში მათი განთავსების ზონა. ეკონომიურობის ყველაზე მკვეთრი დაცემა მოხდება მაშინ, როცა აღნიშნული პარამეტრიც იქნება 1500 სთ/წლ-ზე ნაკლები, ამიტომ ეს სიდიდე უნდა განვიხილოთ როგორც ქვედა ზღვარი [3]. მაქსიმალური ეფექტურობა ექნებათ ატ-თეცებს, რომლებიც შეიქმნება სამრეწველო საქვაბეების ბაზაზე, ვინაიდან ტექნოლოგიური თბური დატვირთვა უფრო ხანგრძლივი და სტაბილურია წლის განმავლობაში, ვიდრე გათბობის დატვირთვა.

აირტურბინული თეცების გამოყენების მასშტაბების ზრდას მსოფლიოში ხელს უწყობს ელექტროენერგიაზე ფასების გადიდების არსებული ტენდენცია, მიუხედავად ელექტროსადგურებში დადგმული სიმძლავრეების არსებული რეზერვებისა, აშშ-ში ყოველწლიურად ექსპლუატაციაში შედის ახალი ატ-თეცები. შენდება ისინი აგრეთვე გერმანიაში, იაპონიაში, დანიაში და სხვა განვითარებულ ქვეყნებში. რუსეთი, აგრეთვე დსთ-ში შემავალი სხვა ქვეყნები, ბლოკ-თეცების შექმნის თვალსაზრისით ბევრად ჩამორჩნენ მოწინავე კაპიტალისტურ ქვეყნებს.

აირტურბინული თეცების გამოყენების პრობლემის აქტუალურობა განისაზღვრება იმით, რომ უმარტივესი სქემის ატდ-ებიც კი, რომლებიც მუშაობენ აირების შედარებით დაბალი საწყისი ტემპერატურით ( $750...900^{\circ}C$ ), უზრუნველყოფენ თბოენერგომომარაგების კომბინირებული სქემის ყველა მაჩვენებლის გაუმჯობესებას [3,6,9]. ამ ტემპერატურის გადიდებისას ატ-თეცების თბური ეკონომიურობა მნიშვნელოვნად იზრდება. ამჟამად სტაციონარულ ატდ-ებში მიღწეულია აირების საწყისი ტემპერატურის მაქსიმალური მნიშვნელობა –  $1150...1200^{\circ}C$ . უკვე გამოშვებულია ექსპერიმენტული დანადგარები ტემპერატურით  $1250...1400^{\circ}C$ . დასაბუთებულია [6,9], რომ ენერგეტიკის განვითარების დღევანდელ ეტაპზე ატ-თეცების შექმნა მიზანშეწონილია უპირატესად უმარტივესი სქემის ატდ-ების ბაზაზე, ვინაიდან ჰაერის შუალედური გაცივების გამოყენება მნიშვნელოვნად ართულებს და აძვირებს ატ-თეცების ტექნოლოგიურ მოწყობილობას. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ სხვადასხვა ტიპის რთული სქემების აირტურბინული დანადგარების გამოყენება ატ-თეცებში უზრუნველყოფს სათბობის ეკონომიის გაზრდას ენერგოსისტემაში საშუალოდ  $20 \div 25\%$ -ით, უმარტივესი სქემის ატდ-ების გამოყენებასთან შედარებით.

ატდ-დან სითბოს გაცემის პირობებს აქვს რამდენიმე სპეციფიკური თავისებურება, რომლებითაც აირტურბინული თეცები ძლიერ განსხვავდება ტრადიციული ორთქლტურბინული თეცებისგან. ატდ-ის წარმავალი აირების ტემპერატურა შეადგენს  $400...550^{\circ}C$ -ს; ამ აირების

სითბო სავსებით საკმარისია, როგორც ტექნოლოგიური ორთქლის მისაღებად ქვაბ-უტილიზატორებში, ასევე გათბობის სისტემების ქსელის წყლის გასაცხელებლად. ვინაიდან ატდ-ში აირებმა უკვე იმუშავეს ძალოვან ციკლში, ამიტომ გაცემული წყლის (ან ორთქლის) ტემპერატურული დონე გავლენას არ ახდენს სათბობის ხარჯზე, ე.ი. ის პრაქტიკულად ისეთივე რჩება, როგორც ატდ-ის მუშაობისას წმინდა ძალურ რეჟიმში. ამრიგად, სათბობის ხარჯი ატდ-ის წვის კამერაში განისაზღვრება მხოლოდ მისი ელექტრული დატვირთვით და არ არის დამოკიდებული გაცემული სითბოს რაოდენობაზე, ე.ი. სითბოს გაცემა თბოფიკაციურ ატდ-ებიდან არ მოითხოვს სათბობის დამატებით ხარჯს. ამით ისინი მკვეთრად განსხვავდება თბოფიკაციური ორთქლის ტურბინებისგან: მათგან სითბოს გაცემა, მუდმივი ელექტრული სიმძლავრის პირობებში, დაკავშირებულია სათბობის ხარჯის გადიდებასთან [2].

ვინაიდან აირტურბინული ატ-თეცებიდან გაცემული ცხელი წყლის ტემპერატურა გავლენას არ ახდენს სათბობის ეკონომიაზე ამიტომ თბოქსელში მიმავალი ცხელი წყლის ეკონომიურად ოპტიმალური ტემპერატურა გაცილებით უფრო მაღალია- $200...230^{\circ}C$ , ვიდრე ორთქლტურბინულ თეცებში. ეს 20...40%-ით ამცირებს თბოქსელების ღირებულებას, აგრეთვე ელექტროენერჯის ხარჯს ქსელის წყლის გადაქაჩვაზე.

მსოფლიო პრაქტიკაში ატდ-ებით აღჭურვილი ელექტროსადგურების ხვედრითი ღირებულება ორთქლტურბინული თეცების ღირებულების  $58\pm 60\%$ -ს შეადგენს, ხოლო ორთქლაირული თეცებისა -  $70\pm 80\%$ -ს. დიზელდანადგარები ატდ-ებთან შედარებით, ხასიათდება უფრო მაღალი ლითონტევადობით და გაბარიტებით, ამიტომ მათი ხვედრითი ღირებულება 30%-ით მეტია, ვიდრე ატდ-ებისა [12].

აქედან გამომდინარე, ნათელია, რომ არსებული სხვადასხვა ტიპის კოგენერაციული სადგურებიდან ყველაზე იაფი, ამასთან ენერგოეფექტური და ეკოლოგიურად სუფთაა აირტურბინული თეცები. თრადიციულ ორთქლტურბინულ თეცებთან შედარებით მათ ის უპირატესობაც აქვთ,

რომ მოცემული თბური დატვირთვის ბაზაზე შეუძლიათ ~50%-ით მეტი ელექტროენერჯის გამომუშავება [10].

საქართველოში აირტურბინული თეცები უნდა აშენდეს ეტაპობრივად, ადრე არსებული რაიონული, კვარტალური და სამრეწველო საქვებების ბაზაზე თბილისში, რუსთავში, ქუთაისში, ბათუმში, ზუგდიდში, თელავში, გორში და სხვ. [8]. მარტო თბილისში პირველ ეტაპზე შეიძლება შეიქმნას 5÷6 ასეთი თეცი დადგული ჯამური სიმძლავრით არანაკლებ 500 მგვტ. ისინი უნდა აღიჭურვოს მოწინავე უცხოური ფირმების (სიმენსი, ჯენერალ-ელექტრიკი, როლს-როისი და სხვ.) მაღალეფექტური აირტურბინული დანადგარებით. პერსპექტივაში საქართველომ აირტურბინული კოგენერაციის ბაზაზე შეიძლება მიიღოს 1500 მგვტ-მდე ბაზისური სიმძლავრეები, რომელთა ამოქმედება საშუალებას მოგვცემს ყოველწლიურად დაფზოგოთ დაახლოებით 1 მლრდ. კუბ. მეტრი ბუნებრივი აირი. გათბობის დატვირთვის გარდა, ჩვენთან საკმაოდ დიდია მთელი წლის განმავლობაში არსებული ცხელწყალმომარაგების დატვირთვა (თბილისში მაგალითად, ის 27,4%-ს შეადგენს) [3], რის გამოც თეცის თბური სიმძლავრის მაქსიმუმის გამოყენების საათების რიცხვი წელიწადში  $T_{\text{წლ}}$  საკმაოდ დიდი გამოდის. ასე, მაგალითად, თბილისში, სადაც გათბობის სეზონი 152 დღე გრძელდება, პროფ. ლ. კულოიანის გამოკვლევების თანახმად [13],  $T_{\text{წლ}}$  სიდიდე აჭარბებს 3000 საათს, ქუთაისში კი-2600 საათს, რაც ბევრად აღემატება ეკონომიკურად მიზანშეწონილ მინიმუმს-1500 სთ/წლ [3]. განსაკუთრებით ეფექტური იქნება კოგენერაცია იმ შემთხვევაში, როდესაც გათბობა-ცხელწყალმომარაგების გარდა, აირტურბინული თეცები დაფარავენ აგრეთვე სამრეწველო-ტექნოლოგიურ დატვირთვას, რომელიც წლიურ ხასიათს ატარებს.

ზაფხულის პერიოდში წმინდა სათბიერებელი თეცების ატდების ნაწილი დაფარავს მხოლოდ ცხელწყალმომარაგების დატვირთვას, დანარჩენი აგრეგატები კი გადაყვანილი უნდა იქნეს რეზერვში, მაგრამ საჭიროების შემთხვევაში ისინი შეიძლება ვამუშაოთ წმინდა ძალურ რეჟიმში (მხოლოდ ელექტროენერჯის გამოსამუშავებლად) და გამოვიყენოთ როგორც ბაზისური სიმძლავრის ეფექტური წყარო. სწორედ

ამიტომ აირტურბინული თეცების შექმნისას ისინი უნდა დაგაკომპლექტოთ თანამედროვე მაღალეკონომიური ატდ-ებით (მქ კოეფიციენტით  $26\div 38\%$ ); ამჟამად უპირატესობა უნდა მიენიჭოს მცირე და საშუალო სიმძლავრის, ენერგოეფექტური და ნაკლებად კაპიტალტევადი აირტურბინული კოგენერაციული სადგურების შექმნას.

აირტურბინული თეცების ფართომასშტაბიანი დანერგვით გადაწყდება რამდენიმე მნიშვნელოვანი პრობლემა: გაუმჯობესდება ენერგოსისტემის მაგენერირებელი სიმძლავრეების სტრუქტურა და შემცირდება ბაზისური სიმძლავრეების დეფიციტი, ამალდება მომხმარებლების ელექტრო და თბომომარაგების ეფექტურობა და საიმედოობა, გაუმჯობესდება ქალაქებისა და დასახლებული პუნქტების ეკოლოგიური მდგომარეობა და, რაც მეტად მნიშვნელოვანია, დიდი რაოდენობით დაიზოგება ძვირადღირებული და დეფიციტური ორგანული სათბობი (ძირითადად ბუნებრივი აირი).

## 1.2. მსოფლიო ენერგეტიკაში აირტურბინული და ორთქლაირული დანადგარების გამოყენების მასშტაბები

შედარებით დაბალი ეკონომიურობის გამო, XX საუკუნის 60-70-იან წლებამდე აირტურბინული დანადგარები გამოიყენებოდა ძირითადად როგორც სარეზერვო და პიკური აგრეგატები. ატდ-ების მქ კოეფიციენტი არ აღემატებოდა 27-28%-ს. მაგრამ ბოლო დროს მსოფლიოს წამყვანმა ტურბომშენებელმა ფირმებმა უდიდეს პროგრესს მიაღწიეს ენერგეტიკული ატდ-ებისა და მათ ბაზაზე ოად-ების წარმოებაში. აღნიშნულ პერიოდში თანამედროვე ატდ-ების მქ კოეფიციენტი 37-38%-მდე გაიზარდა, მაქსიმალურმა ერთეულმა სიმძლავრემ 300-350 მგვტ-ს მიაღწია. საუკეთესო ოად-ებისათვის ეს მაჩვენებლები შესაბამისად 58-60%-ს და 450-500 მგვტ-ს შეადგენს.

ატდ-ების უმეტესი ნაწილი, რომლებიც ბოლო წლებში მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნებში შევიდა და შედის ექსპლუატაციაში, გამიზნულია ელექტროენერჯის და სითბოს კომბინირებული გამომუშავებისათვის კოგენერაციულ სადგურებსა და ორთქლაირული დანადგარების შემადგენლობაში სამუშაოდ. ატდ-ების და ოად-ების წილის მკვეთრი გადიდე-





	ბელი	ტურბოძრავების ქარხანა (რუსეთი)				წვეის ქარხანა (რუსეთი)	TM3 (რუსეთი)	H3L (რუსეთი)	ტურბოატომი (უკრაინა)	LM3 (რუსეთი)	ტურბოატომი (უკრაინა)	LM3 (რუსეთი)	LM3 (რუსეთი)
1	ელექტრო სიმძლავრე მგვტ	6,5	6,74	16,8	25,0	31,3	42,5	43	57,7	105,0	119,0	157,6	180
2	ელექტრო მქ კოეფიციენტი, %	30,5	24,0	31,0	31,0	27,0	35,0	30,03	30,0	28,0	33,8	31,0	36,5
3	ჰაერის წნევის ამადლების ხარისხი	12,0	6,2	11,5	13,5	13,0	13,5	13,8	8,2	26,8	12,3	12,0	15,0
4	აირების ხარჯი გამოსასვლელზე, კგ/წმ	33,0	46,0	85,0	101,0	195,0	125,0	222,0	303,3	458,0	401	600	535
5	აირების ტემპერატურა, °C: ტურბინის წინ ტურბინის მიღმა	920	780	920	1090	922	1227	950	850	750	1170	1100	1250
		420	410	420	400	433	550	435	448	398	520	506	552
6	ატდ-ს მასა, ტ	26	45	50	60	90	70	-	183	367	200	190	-

ცხრილი 3

უკრაინის და უცხოური ფორმების ატდ-ების მონაცემები

№	მაჩვენებლები	ატდ-ს ტიპი (დამაზადებელი ფირმა)					
		ГТУ-6 (მაშპროექტი)	Tornado (Alstom)	ГТУ-16 (მაშპროექტი)	GT-35 (ABB)	ГТУ-25 (მაშპროექტი)	RB211-DLN (Rolls-Royce)
1	ატდ-ს ელექტრო სიმძლავრე მგვტ	6,0	6,25	16,0	16,9	25,0	27,2
2	ელექტრო მქ კოეფიციენტი, %	30,1	30,3	32,8	32,0	34,8	35,8
3	წარმავალი აირების ტემპერატურა, °C	414	460	423	375	497	490
4	აირების ხარჯი, კგ/წმ	30,4	27,5	70,0	91,5	89,5	92,5
5	სათბობის (ბუნებრივი აირის, $Q_{\text{უდ}}^{\text{მ}} = 50050 \text{ კვ/კგ}$ ) ხარჯი, კგ/სთ	1434	1484	3508	3798	5167	5465
6	ატდ-ს კუთრი ღირებულება, დოლ/კვტ	448	510	304	479	284	480
7	ატდ-თევის ელექტრო	12,0	12,5	32,0	33,8	50,0	54,4

	სიმძლავრე, მგვტ						
8	ელექტრული სიმძლავრის გამოყენების წლიური საათების რიცხვი, სთ/წელი	6000	5760	6000	5680	6000	5514
9	ელექტროენერჯის წლიური გამომუშავება, ათასი კვტ.სთ	72000	72000	192000	192000	300000	300000
10	სათბობის წლიური ხარჯი, ათასი ტ/წლ	17,21	17,21	42,1	43,1	62,0	60,3
11	ატდ-თეცის კუთრი ღირებულება, დოლ/კვტ	627	684	425	594	398	584
12	ატდ-თეცის ღირებულება, ათასი დოლ	7524	8550	13600	20077	19880	31769
13	ჯამური წლიური დანახარჯები (ექსპლუატაცია, ამორტიზაცია და სხვ), ათასი დოლ.	2235	2472,4	4946,2	6061,5	7270,9	8919,4
14	ელექტროენერჯის თვითღირებულება, ცენტ/(კვტ.სთ)	3,10	3,43	2,58	3,16	2,42	2,97

მე-2 და მე-3 ცხრილებში [16] შედარებულია უკრაინული წარმოების („მაშპროექტი“) და ზოგიერთი უცხოური ფირმების ატდ-ების ტექნიკური მონაცემები. ამასთან, ყველა ატდ შესრულებულია უმარტივესი თერმოდინამიკური ციკლით; ელექტროენერჯის გამომუშავება ვარიანტების მიხედვით ერთნაირია; ყველა ატდ-ს აქვს კონტეინერული შესრულება და ისინი განლაგდება ღია შეთანხმებით; უცხოური ატდ-ების ფასი მიღებულია სატრანსპორტო ხარჯების 20%-ის დანარიცხის და 20%-იანი საბაჟო გადასახადის გათვალისწინებით. როგორც ცხრილიდან ჩანს, ერთი თაობის უკრაინულ და უცხოურ ატდ-ებს აქვს თბური ეკონომიურობის დაახლოებით ერთნაირი მაჩვენებლები, თუმცა, მეორე ვარიანტში (უცხოური ატდ-ები) გამომუშავებული ელექტროენერჯის თვითღირებულება რამდენადმე მეტია.

მსოფლიოში ენერგეტიკული აირტურბომშენებლობა განსაკუთრებით ინტენსიურად ვითარდებოდა ბოლო 30-35 წლის განმავლობაში [15,16,17,18], ამასთან, ყველაზე დინამიკურად-ბრაიტონის მარტივი თერმოდინამიკური ციკლით მომუშავე ატდ-ები. აირის საწყისი ტემპერატურის მკვეთრი გადიდების გამო ასეთი ატდ-ების ეკონომიურობა თითქმის გაუტოლდა თანამედროვე ზეკრიტიკული პარამეტრებით მომუშავე ორთქლტურბინული ენერგობლოკების ეკონომიურობას. აირების საწყის-

სი  $t_3$  ტემპერატურის დონის მიხედვით ატდ-ებს პირობითად ყოფენ ხუთ თაობად [16];

I თაობა -  $t_3 < 850^{\circ}C$ ;

II თაობა -  $t_3 = 850...1050^{\circ}C$ ;

III თაობა -  $t_3 = 1050...1200^{\circ}C$ ;

IV თაობა -  $t_3 = 1200...1350^{\circ}C$ ;

V თაობა -  $t_3 > 1350^{\circ}C$ .

ერთეული სიმძლავრის მიხედვით აირტურბინული დანადგარები რამდენადმე ჩამოუვარდება მძლავრ ორთქლტურბინულ ენერგობლოკებს, თუმცა, ამჟამად უკვე აგებულია ატდ-ები მაქსიმალური სიმძლავრით 300-350 მგვტ. აღნიშნული თანაფარდობა აირტურბინულ და ორთქლტურბინულ დანადგართა სიმძლავრებს შორის ადრე ატდ-ების გარკვეულ ხარვეზად ითვლებოდა. ახლა ეს ასე არ არის, ვინაიდან მთელ მსოფლიოში შეიმჩნევა თბოელექტროსადგურების ელექტროდანადგარების სიმძლავრეთა შემცირების ტენდენცია, რაც გარკვეულწილად გამოწვეულია დემონოპოლიზაციით ენერგეტიკაში და თეცების მართვის ოპტიმიზაციის აუცილებლობით. განსაკუთრებით მიზანშეწონილია მცირე და საშუალო სიმძლავრის ატდ-ების გამოყენება კოგენერაციულ სადგურებში.

ამჟამად ბევრ ქვეყანაში მიმდინარეობს სამეცნიერო-კვლევითი და საკონსტრუქტორო სამუშაოები უფრო მძლავრი და ეკონომიური აირტურბინული დანადგარების შესაქმნელად. ამ მიზნით ვარაუდობენ რთული თერმოდინამიკური ციკლების გამოყენებას წარმატალი აირების სითბოს რეგენერაციით, ჰაერის შუალედური გაცივებით, სითბოს შუალედური მიწოდებით და სხვ. მოსალოდნელია, რომ ახლო მომავალში ატდ-ების მქ კოეფიციენტი 45-47%-მდე გაიზრდება.

განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა კომბინირებული ციკლით მომუშავე ორთქლაირული დანადგარების შექმნას და ეფექტურ გამოყენებას. ამჟამად არსებობს ასეთი დანადგარები, რომელთა მქ კოეფიციენტი 60%-ს შეადგენს, ხოლო მაქსიმალური სიმძლავრე 500-600 მგვტ-ს. მომავალში ეს მაჩვენებლები შეიძლება გაიზარდოს 70%-მდე და 1200 მგვტ-მდე [17]. მსოფლიოში 2002 წლის 1 ივნისიდან 2003 წლის 31 მაისამდე შეკვეთილი იყო 597 ენერგეტიკული ატდ ჯამური სიმძლავრით

25,74 მლნ.კვტ [17]. ამერიკაში, ევროპასა და აზიაში ატდ-ების ნახევარზე მეტი განკუთვნილია ხანგრძლივი მუშაობისათვის ბაზურ ან ნახევრად პიკურ რეჟიმებში. სარეზერვო ატდ-ებად გამოიყენება 60 მგვტ-ზე ნაკლები სიმძლავრის დანადგარები, ძირითადად 3,5 მგვტ-ზე მცირე სიმძლავრის ხანგრძლივ ექსპლუატაციაში მომუშავე ატდ-ები იყენებენ ძირითადად ბუნებრივ აირს, სარეზერვო სათბობად გამიზნულია თხევადი სათბობი. მსოფლიოს წამყვანი ფირმები ითვისებენ ახალი თაობის აირტურბინულ დანადგარებს (ტექნოლოგია G). ყველაზე მძლავრი ატდ-ების პარამეტრები და მაჩვენებლები მოყვანილია მე-4 ცხრილში [17].

ცხრილი 4

მსოფლიოში ათვისებული მძლავრი ატდ-ების მაჩვენებლები

მაჩვენებლები	ფირმა და ატდ-ს მოდელი			
	Alstom, GT26	General Electric, M9FA	Mitsubishi M701 F3	Siemens, V94 3A
ატდ-ს სიმძლავრე, მგვტ	280,9	255,6	270,3	272,4
ატდ-ს მქ კოეფიციენტი, %	38,3	36,9	38,2	39,0
კუმშვის ხარისხი	32	17	17	17,2
აირების ხარჯი, კგ/წმ	632,4	641	651,5	671,5
ნამუშევარი აირების ტემპერატურა, °C	615	602	586	582
ორთქლაირული დანადგარის სიმძლავრე (ერთი ატდ-ით), მგვტ	410,3	390,8	397,7	397,6
ორთქლაირული დანადგარის მქ კოეფიციენტი, %	57,8	56,7	57,0	57,5

ამჟამად უკვე გამოშვებულია G ტექნოლოგიის ყველაზე მძლავრი ატდ-მოდელი M701 G2 (ფირმა Mitsubishi). მისი სიმძლავრეა 334 მგვტ, მქ კოეფიციენტი 39,5%, აირების საწყისი ტემპერატურა 1500°C. ორი ასეთი ატდ-ით აღჭურვილი ორთქლაირული დანადგარის სიმძლავრემ მიაღწია 982 მგვტ-ს, მქ კოეფიციენტმა-58,9%-ს [17]. ინგლისში Baglan Bay თბოელექტროსადგურზე ექსპლუატაციაში შევიდა ფირმა General Electric-ის უკანასკნელი თაობის ატდ-ით აღჭურვილი ორთქლაირული დანადგარი 480 მგვტ სიმძლავრით [17]. ამ ოად-ს მქ კოეფიციენტი ნეტო 60%-ია. მო-

მაგალში მსოფლიოში ნავარაუდევია შექმნა ასეთივე ეფექტურობის უფრო მძლავრი აოდ-ებისა, რომლებიც გამოყენებული იქნება 180 მგვტ-ის და მეტი სიმძლავრის ახალი თაობის ატდ-ები, რომელთა მქ კოეფიციენტი 40%-მდე იქნება გაზრდილი. საავიაციო ძრავების ბაზაზე შექმნილი 40-45 მგვტ სიმძლავრის ატდ-ების მქ კოეფიციენტმა უკვე 40-44%-ს მიაღწია (უმარტივეს ციკლში) [17].

აირტურბინული დანადგარები გამოიყენება სხვადასხვა დანიშნულებით: ბაზისური დატვირთვების დასაფარავად, როგორც ავარიული რეზერვი, ატდ-თეცებსა და აოდ-თეცებში სამუშაოდ და სხვ.

საქართველოში აირტურბინული და ორთქლაირული დანადგარების პერსპექტიული გამოყენების ძირითადი მიმართულებები გაანალიზებულია [19]-ში, ხოლო ამ დანადგარების ბაზაზე კოგენერაციული სადგურების შექმნის პრობლემა განხილულია [18]-ში.

### 1.3. კოგენერაციის ეფექტურობის მაჩვენებლების განსაზღვრის მეთოდების შედარებითი ანალიზი

სითბოსა და ელექტროენერჯის კომბინირებული წარმოებით ენერგოსისტემაში მიიღწევა სათბობის მნიშვნელოვანი ეკონომია მათი განცალკევებული მეთოდით გამომუშავებასთან შედარებით. თბოფიკაცია (კოგენერაცია) სითბური ენერჯის წარმოების ეკონომიკური და ეკოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესების [20,21] აღიარებული საშუალებაა. თბოფიკაციის ენერგოეკოლოგიური ეფექტურობის დამადასტურებელია მიღებული შედეგებიც.

კოგენერაციის განხორციელებისას, სათბობის საერთო ეკონომიის განსაზღვრასთან ერთად, უაღრესად მნიშვნელოვანია თბოელექტროცენტრალებში სათბობის ხარჯის განაწილება წარმოებულ ელექტროენერჯიასა და სითბოს შორის, შესაბამისი კოგენერაციის ეფექტურობის მახასიათებელი მაჩვენებლების დადგენის გზით.

უაღრესად მნიშვნელოვანია სხვადასხვა ტიპის თბოელექტროცენტრალებში გამომუშავებულ ელექტრულ და სითბურ ენერჯიებს შორის საწარმოო დანახარჯების განაწილების ცოდნა, მათ შორის განსაკუთ-

რებით სათბობის ხარჯისა, რადგანაც ძირითადად ის ახდენს უშუალო გავლენას თეციდან ელექტროენერჯისა და სითბოს გასაცემი ტარიფის სიდიდეზე.

თეცში სათბობის ხარჯის განაწილების არსებული მეთოდებიდან ყოფილ საბჭოთა კავშირსა და სოციალისტური ბანაკის სხვა ქვეყნებში, საბჭოთა კავშირის დაშლამდე, უპირატესობა ენიჭებოდა დაღირეპტიული გადაწყვეტილების საფუძველზე გამოიყენებოდა ე.წ. „ფიზიკური“ მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ენერჯის მუდმივობის პრინციპზე, ანუ თერმოდინამიკის პირველ კანონზე.

„ფიზიკური“ მეთოდისაგან განსხვავებით, თერმოდინამიკის როგორც პირველ, ასევე მეორე კანონს და, შესაბამისად, სითბოს ხარისხობრივ მხარეს ითვალისწინებს თეცში სათბობის ხარჯის განაწილების ექსპერგეტიკული მეთოდი [22], რომლის გამოყენება ყოფილ საბჭოთა კავშირში ფაქტიურად არ ხდებოდა.

უკუწნევიანი ტურბინით აღჭურვილი თეცის ენერგეტიკული ბალანსი ზოგადად ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$BQ_{\text{ელ}}^{\beta} = \mathcal{E} + Q_{\sigma}, \quad (1)$$

სადაც  $B$  არის სათბობის ხარჯი თეცში;  $Q_{\text{ელ}}^{\beta}$ -სათბობის უდაბლესი დაწვის სითბო;  $\mathcal{E}$ -თეცში გამომუშავებული ელექტროენერჯის რაოდენობა;  $Q_{\sigma}$ -თეციდან თბომომარაგებაში გაცემული სითბოს რაოდენობა.

„ფიზიკური“ მეთოდის თანახმად, სათბობის საერთო ხარჯი თეცში ნაწილდება  $\mathcal{E}$ -სა და  $Q_{\sigma}$ -ს პროპორციულად. (1) ფორმულიდან მიიღება, რომ თეცში სათბობის ფარდობითი ხარჯები სათანადოდ ტოლია ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე:

$$b_{\text{ელ}} = \mathcal{E} / (\mathcal{E} + Q_{\sigma}); \quad (2)$$

თბომომარაგებაზე გაცემულ სითბოზე:

$$b_{\sigma} = Q_{\sigma} / (\mathcal{E} + Q_{\sigma}). \quad (3)$$

ექსპერგეტიკული ბალანსი უკუწნევიანი ტურბინით აღჭურვილი თეცისთვის ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$Be_{\text{სათ}} = \mathcal{E} + E_{\sigma} = \mathcal{E} + Q_{\sigma} (1 - T_0 / T_{\text{სთ}}), \quad (4)$$

სადაც  $e_{\text{საო}}$  ერთეული მასის სათბობის სითბოს ექსერგიაა;  $E_{\text{ო}}$  - კოგენერაციულ ციკლში გაცემული სითბოს ექსერგია;  $T_{\text{საშ}}$  - ციკლში თბომომარაგებაზე გასაცემი სითბოს საშუალო ტემპერატურა.

ექსერგეტიკული მეთოდის თანახმად, სათბობის ფარდობითი ხარჯები სათანადოდ ტოლია

- ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე:

$$b_{\text{ელ}}^{\text{ქ}} = \mathcal{Q} / [\mathcal{Q} + Q_{\text{ო}}(1 - T_0 / T_{\text{საშ}})]; \quad (5)$$

- თბომომარაგებაზე გაცემულ სითბოზე:

$$b_{\text{ო}}^{\text{ქ}} = E_{\text{ო}} / [\mathcal{Q} + Q_{\text{ო}}(1 - T_0 / T_{\text{საშ}})]. \quad (6)$$

აღნიშნულის გარდა, „ფიზიკურ“ მეთოდს აქვს შემდეგი პრინციპული ხასიათის ნაკლოვანებები: 1) თეციის ენერგეტიკული ბალანსის განტოლებაში ჯამდება ხარისხობრივად არაერთგვაროვანი სიდიდეები: ექსერგეტიკული – გამომუშავებული ელექტროენერგია და სითბური ენერგია, რაც ეწინააღმდეგება თერმოდინამიკის მეორე კანონს; 2) სათბობის ხარჯის ეკონომია მიეკუთვნება ელექტროენერგიის გამომუშავებას. შედეგად ვღებულობთ, რომ სათბობის კუთრი ხარჯი თეცში ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე მნიშვნელოვნად ნაკლები სიდიდისაა, ვიდრე კონდენსაციურ ციკლში, მაშინ როდესაც ციკლში საბოლოო ტემპერატურის გადიდებით, მოცემული საწყისი პარამეტრებისას, მცირდება გამომუშავებული ელექტროენერგიის სიდიდე და შესაბამისად უნდა გაიზარდოს სათბობის კუთრი ხარჯის სიდიდე.

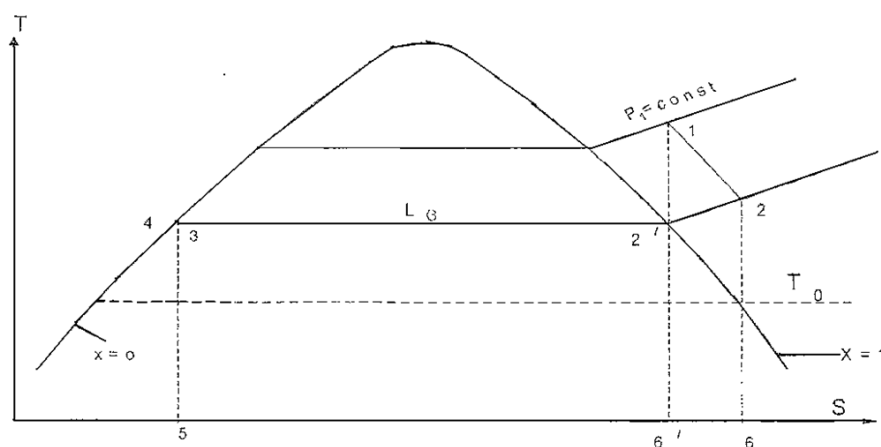
განვიხილოთ, თუ რამდენად გამოსადეგია უკუწნევიანი ტურბინით აღჭურვილი თეციის თბოფიკაციურ ციკლის ანალიზისათვის ენერგეტიკული ბალანსის საფუძველზე შედგენილი თეციის ისეთი ძირითადი მაჩვენებლები [23], როგორცაა სრული მქ კოეფიციენტი  $\eta_{\text{თეც}} = (\mathcal{Q} + Q_{\text{ო}}) / B \cdot Q_{\text{ულ}}$ , რომელსაც ხშირად სათბობის სითბოს გამოყენების კოეფიციენტსაც უწოდებენ, და თეციის ელექტრული მქ კოეფიციენტი  $\eta_{\text{თეც}}^{\text{ელ}} = \mathcal{Q} / (BQ_{\text{ულ}} - Q_{\text{ო}})$ .

თეციის უკუწნევიანი თბოფიკაციური დანადგარის რეალური ციკლი წარმოდგენილია ნახ. 1., საიდანაც ჩანს, რომ თეციის ელექტრუ-



ლი მქ კოეფიციენტის სიდიდეს თეორიულ და ნამდვილ ციკლებში ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვს და იგი ერთის ტოლია, რადგან თეორიული ციკლის მუშაობა  $l_G^o = q_1^o - q_o^o$ , ხოლო რეალური ციკლის შემთხვევაში -  $l_G^r = q_1 - q_o^r$ , გვექნება

$$\eta_{\text{თვც}}^{\text{მლ}} = \frac{l_G^o}{q_1^o - q_o^o} = \frac{l_G^r}{q_1 - q_o^r} = 1. \quad (7)$$



ნახ. 1. უეუწნევიანი ტურბინით აღჭურვილი თეცის, რეალური ციკლი TS დიაგრამაზე

ასევე ერთის ტოლია სათბობის სითბოს გამოყენების კოეფიციენტის სიდიდე როგორც თეორიულ, ისე რეალურ ციკლში, რადგან  $l_G^o + q_o^o = q_1^o$  და  $l_G^r + q_o^r = q_1$ , ე.ი.

$$\eta_{\text{თვც}}^{\text{სრ}} = \frac{l_G^o + q_o^o}{q_1^o} = \frac{l_G^r + q_o^r}{q_1} = 1. \quad (8)$$

ა. ანდრიუშჩენკოს აზრით [1] ენერგეტიკული ბალანსის საფუძველზე შედგენილი მაჩვენებლებით შეუძლებელია თეცის ეფექტურობის შეფასება. აქვე შენიშნავთ, რომ  $\eta_{\text{თვც}}$  და  $\eta_{\text{თვც}}^{\text{მლ}}$  ერთზე ნაკლებ მნიშვნელობას იძენს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც კოეფიციენტულ ციკლში ჩნდება კონდენსაციური გამომუშავება.

თეცის ექსერგეტიკული მქ კოეფიციენტი განისაზღვრება (4) ფორმულის საფუძველზე, ე.ი.

$$\eta_{\text{თვც}}^{\text{მბ}} = \frac{\mathcal{E} + E_{\sigma}}{E_{\text{საო}}} = \frac{l_{\text{ც}} + e_{\sigma}}{e_{\text{საო}}}. \quad (9)$$

ცხადია,  $\eta_{\text{თვც}}^{\text{მბ}}$ , განსხვავებით  $\eta_{\text{თვც}}$  და  $\eta_{\text{თვც}}^{\text{მლ}}$ -საგან, ითვალისწინებს როგორც მუშაობის შიგაციკლურ დანადგარებს, ასევე თეცის საწყისი პარამეტრების გავლენას მის ეფექტურობაზე. მიუხედავად ამისა, არც თეცის ექსერგეტიკული მქ კოეფიციენტი იძლევა კოგენერაციის ეფექტურობისა და მის დროს ენერგოსისტემაში სათბობის ეკონომიის განსაზღვრის საშუალებას, რადგან  $\eta_{\text{თვც}}^{\text{მბ}}$  მიეკუთვნება მხოლოდ ელექტროსადგურებს და ამიტომ ამ კოეფიციენტით შეუძლებელია კოგენერაციის დროს ლიკვიდირებულ საქვებებში მიმდინარე პროცესების სრულყოფილი გათვალისწინება.

[1]-ის თანახმად, კოგენერაციის დროს სათბობის სითბოს ეკონომიის სიდიდე ენერგოსისტემაში განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$\Delta Q_{\text{კ}} = \left( \mathcal{E} + \sum E_{\sigma} \right) \left( \frac{1}{\eta_{\text{განც}}^{\text{მბ}}} - \frac{1}{\eta_{\text{თვც}}^{\text{მბ}}} \right), \quad (10)$$

სადაც ელექტროენერგიისა და სითბური ენერგიის განცალკევებულად წარმოების ექსერგეტიკული მქ კოეფიციენტი ტოლია:

$$\eta_{\text{განც}}^{\text{მბ}} = \frac{\mathcal{E} + \sum E_{\sigma}}{B_{\text{კს}} \cdot Q_{\text{უდ}}^{\text{მ}} + B_{\text{საქ}} \cdot Q_{\text{უდ}}^{\text{მ}}} \quad (11)$$

აქ  $B_{\text{კს}}$  სათბობის ხარჯია კონდენსაციურ თბოელექტროსადგურში;  $B_{\text{საქ}}$  - სათბობის ხარჯი საქვებში.

ექსერგეტიკული მქ კოეფიციენტის გარდა, თეცის თერმოდინამიკური ციკლების სრულყოფილების ობიექტური შეფასების საშუალებას იძლევა აგრეთვე თბურ მოხმარებაზე ელექტროენერგიის კუთრი გამომუშავების სიდიდეც  $y = l_{\text{ც}} / q_{\sigma}$  [2]

აღნიშნულ მაჩვენებელს, ისევე როგორც მის ექსერგეტიკულ ანალოგს  $y = l_{\text{ც}} / q_{\sigma} (1 - T_0 / T_{\text{საშ}})$ , მნიშვნელოვანი ნაკლი აქვს, კერძოდ, არ ითვალისწინებს ექსერგიის დანაკარგებს შეუქცევად თბოცვლაზე თეცის ქსელის შემთბობებში. ამდენად, საჭიროა ისეთი მაჩვენებელი, რომელიც

გაითვალისწინებს ექსერჯის დანაკარგებს მოლიანად თეცის მასშტაბით, ე.ი.

$$Z_e = Y_e \cdot \eta_{em} = Y_e \cdot \frac{(1 - T_0 / T_{ქა})}{(1 - T_0 / T_{საქ})}, \quad (12)$$

სადაც  $T_{ქა}$  თბოგადამტანის (წყლის) ტემპერატურაა ქსელის შემთბობის გამოსასვლელზე.

შევნიშნავთ, რომ (12) ფორმულის თანახმად, სამრეწველო თბომომარაგებისას, ე.ი. როდესაც თეცის ტურბინიდან ნამუშევარი ორთქლი გაიცემა,  $\eta_{em} = 1$ .

როგორც აკად. ლ. პოპირინი და მისი თანამოაზრენი ასაბუთებენ [24,25], არც ფიზიკური და არც ექსერჯეტიკული მეთოდი არ შეიძლება ჩაითვალოს დამაკმაყოფილებლად. ფიზიკური მეთოდი ხელს არ აძლევს თბური ენერჯის მწარმოებლებს, ხოლო ექსერჯეტიკული – ელექტროენერჯის მწარმოებლებს. საჭიროა დამუშავდეს ახალი მეთოდი, რომელიც დააკმაყოფილებს ორივე სახის ენერჯის მწარმოებელს, ასახავს თეცში კომბინირებული ენერგომწარმოების ენერჯეტიკულ ეფექტიანობას, ექნება მკაფიო ეკონომიკური შინაარსი და გაანგარიშების გასაგები მეთოდოლოგია [25]. თეცების მუშაობა უნდა შეფასდეს უწინარესად ჯამური შედეგით–სათბობის ეკონომიით თბოელექტრომო-მარაგების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით [26]. რუსეთში 1996 წლიდან მოქმედებს ახალი ОПСЭС-ის მეთოდი, რომელიც განიხილება როგორც გარდამავალი მეთოდი ფიზიკურიდან უფრო სრულყოფილ-ზე. ეს მეთოდი არ არის მეცნიერულად დასაბუთებული, მისი გამოყენება მოითხოვს რთული გაანგარიშებების ჩატარებას, ამიტომ იწვევს სპეციალისტების სამართლიან კრიტიკას [27,28]. შემოთავაზებულია [25] ორთქლტურბინული თეცების ეფექტურობა შეფასდეს პროპორციული მეთოდით, რომელიც ითვალისწინებს თეცში ყველა დანახარჯის გაყოფას ორი სახის ენერჯიას შორის შეაბამისი ხარჯების პროპორციულად სითბოსა და ელექტროენერჯის გამომუშავებისას განცალკევებული მეთოდით (საქვაბესა და კონდენსაციურ ელექტროსადგურში).

ლოგიკურია, რომ ასეთივე პროპორციული მეთოდით გავანაწი-

ლოთ სათბობის ხარჯი თეცში  $B_{\text{თეც}}$  ორ შემდგენად:  $B_{\text{თეც}}^{\text{ელ}}$  ელექტროენერჯის წარმოებაზე და  $B_{\text{თეც}}^{\text{სითბოს}}$  სითბოს გამომუშავებაზე:

$$B_{\text{თეც}}^{\text{ელ}} = B_{\text{თეც}} \cdot \frac{B_{\text{კეს}}}{B_{\text{კეს}} + B_{\text{საქ}}}; \quad (13)$$

$$B_{\text{თეც}}^{\text{სითბოს}} = B_{\text{თეც}} \cdot \frac{B_{\text{საქ}}}{B_{\text{კეს}} + B_{\text{საქ}}}; \quad (14)$$

ამრიგად, ყველა დანახარჯი თეცში იყოფა შესაბამისი ხარჯების პროპორციულად მოცემული რაოდენობის ელექტროენერჯი-სა და სითბოს წარმოებისას განცალკევებული მეთოდით. ამიტომ დანახარჯების დაყოფის აღნიშნულ მეთოდს ეუწოდოთ პროპორციული.

აგნიშნოთ ჯამი  $B_{\text{კეს}} + B_{\text{საქ}} = B_{\text{განც}}$  სათბობის ჯამური ხარჯი განცალკევებულ მეთოდში და წარმოვადგინოთ (13) და (14) გამოსახულებები შემდეგნაირად:

$$B_{\text{თეც}}^{\text{ელ}} = B_{\text{თეც}} \cdot \frac{B_{\text{კეს}}}{B_{\text{განც}}} = B_{\text{კეს}} \cdot \bar{B}_{\text{თეც}}; \quad (15)$$

$$B_{\text{თეც}}^{\text{სითბოს}} = B_{\text{თეც}} \cdot \frac{B_{\text{საქ}}}{B_{\text{განც}}} = B_{\text{საქ}} \cdot \bar{B}_{\text{თეც}}, \quad (16)$$

სადაც  $\bar{B}_{\text{თეც}} = B_{\text{თეც}}/B_{\text{განც}}$  არის სათბობის ფარდობითი ხარჯი თეცში სათბობის ჯამურ ხარჯთან შედარებით განცალკევებულ ვარიანტში. სათბობის ფარდობითი ეკონომია (ამ ვარიანტთან შედარებით), რომელსაც უზრუნველყოფს თეცის ფუნქციონირება ენერგოსისტემაში,  $\bar{B}_{\text{კეს}} = 1 - \bar{B}_{\text{თეც}}$ . ამრიგად სათბობის კუთრი ხარჯები თეცში ელექტროენერჯისა და სითბოს გამომუშავებაზე (15) და (16)-ის გამოყენებით იქნება:

$$b_{\text{თეც}}^{\text{ელ}} = \frac{B_{\text{თეც}}^{\text{ელ}}}{N_{\text{ელ}}} = \frac{B_{\text{კეს}}}{N_{\text{ელ}}} \bar{B}_{\text{თეც}} = b_{\text{კეს}} (1 - \bar{B}_{\text{კეს}}); \quad (17)$$

$$b_{\text{თეც}}^{\text{სითბოს}} = \frac{B_{\text{თეც}}^{\text{სითბოს}}}{Q_{\text{გა}}} = \frac{B_{\text{საქ}}}{Q_{\text{გა}}} \bar{B}_{\text{თეც}} = b_{\text{საქ}} (1 - \bar{B}_{\text{კეს}}), \quad (18)$$

სადაც  $N_{\text{ელ}}$  არის თეცის ელექტრული სიმძლავრე, კვტ;  $Q_{\text{გა}}$  – თეცის თბური სიმძლავრე, გჯ/სთ;  $b_{\text{კეს}}$  სათბობის კუთრი ხარჯი კესში, კვ პ.ს./კვტ.სთ;  $b_{\text{საქ}}$  სათბობის კუთრი ხარჯი საქვაბეში, კვ პ.ს./გჯ.

ფორმულები (17) და (18) გამოსადეგია ნებისმიერი ტიპის თეცისათვის–ორთქლტურბინული, აირტურბინული, ორთქლაირული. ამ დამოკიდებულებების საშუალებით ადვილად განისაზღვრება თეცის კერძო მქ კოეფიციენტები ელექტროენერჯისა და სითბოს გამომუშავებაზე:

$$\eta_{თეც}^{შლ} = \frac{0,123}{b_{თეც}^{შლ}} = \frac{0,123}{b_{კეს}(1-\bar{B}_{შლ})} = \frac{\eta_{კეს}}{1-\bar{B}_{შლ}}; \quad (19)$$

$$\eta_{თეც}^{სო} = \frac{34,1}{b_{თეც}^{სო}} = \frac{34,1}{b_{საქ}(1-\bar{B}_{საქ})} = \frac{\eta_{საქ}}{1-\bar{B}_{საქ}}. \quad (20)$$

გამოვიყენოთ განხილული პროპორციული მეთოდი აირტურბინული თეცების (ბლოკ-თეცების) ენერგოეფექტურობის გამოსაკვლევადასეთი თეცებისთვის  $\bar{B}_{შლ}$ -ის სიდიდე განსაზღვრულია [10] – ში:

$$\bar{B}_{თეც} = 1 - \bar{B}_{შლ} = \frac{\eta_{საქ}/\eta_{აღდ}}{1/\omega + \eta_{საქ}/\eta_{კეს}}, \quad (21)$$

სადაც  $\eta_{საქ}$  და  $\eta_{კეს}$  არის ჩასანაცვლებელი საქვებისა და კესის მქ კოეფიციენტები;  $\omega$ -ელექტროენერჯის კუთრი გამომუშავება სითბოს მოხმარების ბაზაზე [29].

აირტურბინული თეცისათვის (19) და (20) ფორმულებში (21)-ის შეტანით მარტივი გარდაქმნების შედეგად მიღებულია:

$$\eta_{თეც}^{შლ} = \eta_{აღდ} \left[ 1 + \eta_{კეს} / (\omega \eta_{საქ}) \right] \quad (22)$$

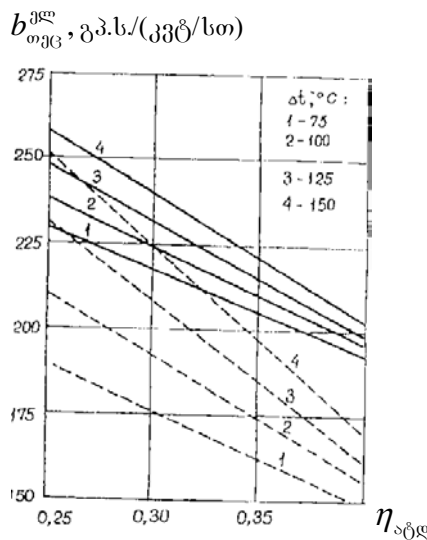
$$\eta_{თეც}^{სო} = \eta_{აღდ} (1/\omega + \eta_{საქ}/\eta_{კეს}). \quad (23)$$

ნახ. 2-ზე შედარებულია სათბობის კუთრი ხარჯები  $b_{აღდ}^{შლ}$  აირტურბინულ თეცში ( $\eta_{აღდ}$ -ზე დამოკიდებულებით), რომლებიც მიღებულია ორი მეთოდით–პროპორციული და ფიზიკური. ორივე ჯგუფის

მრუდებს აქვს წრფივი ხასიათი. ამასთან, ისევე როგორც  $\eta_{აღდ}^{შლ}$  მქ კოეფიციენტზე  $\eta_{აღდ}$ -ს გაზრდა უფრო ნაკლებ გავლენას ახდენს  $b_{აღდ}^{შლ}$ -ის “პროპორციულ” მნიშვნელობებზე, ვიდრე “ფიზიკურზე”. ეს იმით აიხსნება რომ ფიზიკური მეთოდისაგან განსხვავებით, რომელიც კოეფიციენტ-

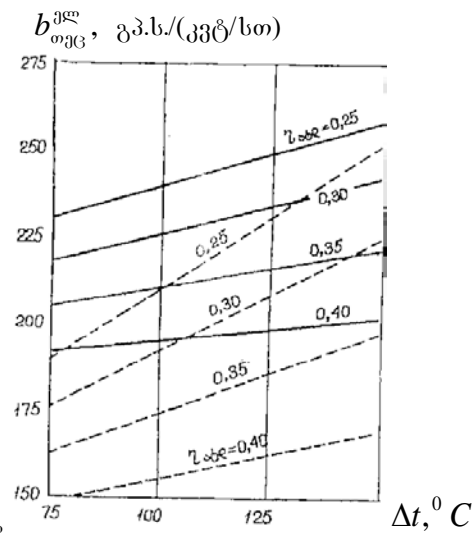
ციით განპირობებულ სათბობის ეკონომიას მთლიანად მიაკუთვნებს ელექტროენერჯის გამომუშავებას, პროპორციული მეთოდის გამოყენებისას ეს ეკონომია ნაწილდება გამომუშავებულ სითბოსა და ელექტროენერჯიას შორის.

ნახ. 3-ზე მოცემულია სათბობის კუთრი „ელექტრული“ ხარჯის  $b_{\text{თეც}}^{\text{ელ}}$  მნიშვნელობები  $\Delta t$  სხვაობაზე დამოკიდებულებებით. ჩანს, რომ პროპორციული მეთოდით მიღებული სიდიდეები საშუალოდ მეტია, ვიდრე ფიზიკური მეთოდით მიღებული.



ნახ. 2. აირტურბინულ თეცში სათბობის კუთრი ხარჯების (ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე) შედარება  $\Delta t$ -ს ოთხი

ლობისთვის:  $\eta_{\text{კეს}}=0.37$ ,  $\eta_{\text{საქ}}=0.8$



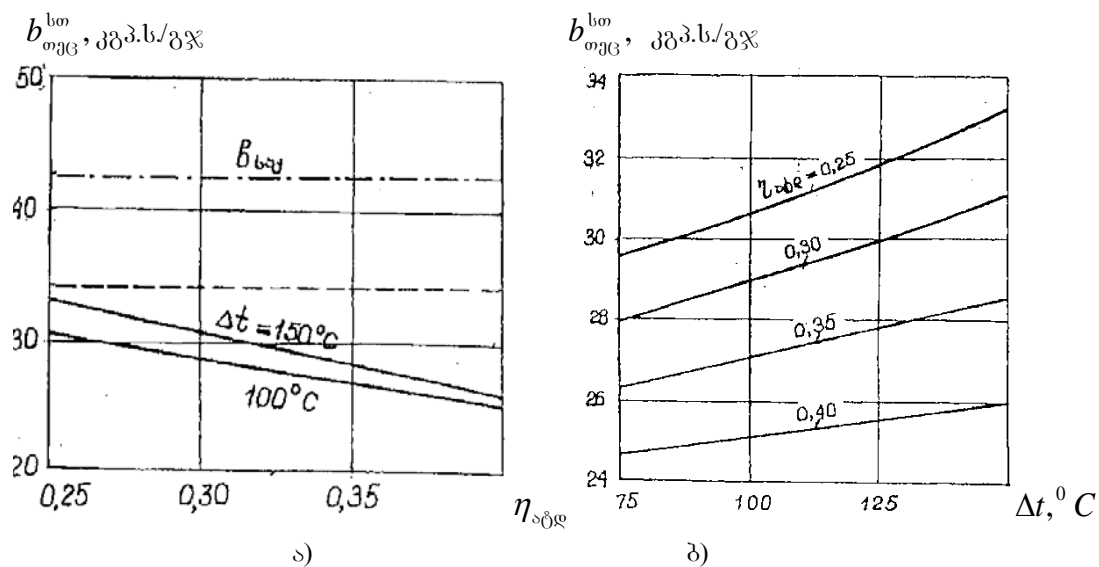
ნახ. 3. სათბობის კუთრი ხარჯები ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე აირტურბინულ თეცში  $\Delta t$ -ზე მნიშვნე-

დამოკიდებულებით  $\eta_{\text{აბღ}}$ -ს ოთხი

მნიშვნელობისთვის:  $\eta_{\text{კეს}}=0.37$ ,  $\eta_{\text{საქ}}=0.8$

ნახ. 4-ზე მოცემულია სითბოს გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის  $b_{\text{თეც}}^{\text{სო}}$  დამოკიდებულებები  $b_{\text{თეც}}^{\text{სო}} = f(\eta_{\text{აბღ}})$  და  $b_{\text{თეც}}^{\text{სო}} = f(\Delta t)$ . ამ მრუდებს წრფივი ხასიათი აქვთ. ამასთან, პროპორციული მეთოდით მიღებული მნიშვნელობები ყოველთვის ნაკლებია როგორც რაიონული საქვების მაჩვენებელზე  $b_{\text{საქ}}$ , ასევე ფიზიკური მეთოდით განსაზღვრულ სიდიდეზე (პუნქტირის ხაზით); როგორც ცნობილია [29], ამ მეთოდის თანახმად, აირტურბინული თეცებისთვის  $b_{\text{თეც}}^{\text{სო}}$  მუდმივია (არ არის დამო-

კიდებული  $\Delta t$ -სა და  $\eta_{აბღ}$ -ზე) და პრაქტიკულად თბური ენერგიის ფიზიკური ექვივალენტის ტოლია - 34.1 კკ პ.ს./გჯ.



ნახ. 4. სათბობის კუთრი ხარჯი აირტურბინულ თეცში თბური ენერგიის გამომუშავებაზე:

ა -  $\eta_{აბღ}$  და ბ -  $\Delta t$  პარამეტრებზე დამოკიდებულებით ( $\eta_{კეს} = 0.37, \eta_{საყ} = 0.8$ )





## თავი II. ორთქლტურბინული კოგენერაცია

### 2.1. ორთქლტურბინული თეცების ენერგეტიკული

#### ეფექტურობის თერმოდინამიკური ანალიზი

ტრადიციულმა ორთქლტურბინულმა თეცებმა დიდი გამოყენება ჰპოვა როგორც ყოფილი საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკებში, ასევე ბევრ განვითარებულ ქვეყნებში [1,3]. ამის მთავარი მიზეზი ის არის, რომ ელექტრული და თბური ენერჯის კომბინირებული გამომუშავება (კოგენერაცია) უზრუნველყოფს ორგანული სათბობის დიდ ეკონომიას. ორთქლტურბინული თეცების ენერგეტიკული ეფექტურობის მაჩვენებლებად მიღებულია [1,28,30,31] სრული მქ კოეფიციენტი (სათბობის სითბოს გამოყენების ხარისხი)  $\eta_{თეც}^{სრ}$ , კერძო მქ კოეფიციენტები  $\eta_{თეც}^{მლ}$ ,  $\eta_{თეც}^{სო}$  და პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯები  $b_{თეც}^{მლ}$ ,  $b_{თეც}^{სო}$  ელექტროენერჯის და სითბოს წარმოებაზე, ელექტროენერჯის კუთრი გამომუშავება სითბოს მოხმარების ბაზაზე  $\omega$  და სათბობის ფარდობითი ეკონომია  $\overline{B_{კკ}}$  - ენერგოწარმოების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით. მიუხედავად იმისა, რომ ეს მაჩვენებლები განხილული და გაანალიზებულია მრავალ მონოგრაფიასა და სამეცნიერო სტატიაში, არსებობს საკითხები, რომლებიც მოითხოვს შემდგომ ანალიზურ გამოკვლევასა და დაზუსტებას. კერძოდ, არ არის მკაფიოდ გამოვლენილი ტურბინიდან ართმეული ორთქლის  $\alpha_a$  წილის და  $\omega$  პარამეტრის გავლენა თეცის ეფექტურობის მაჩვენებლებზე, მწირია მონაცემები სათბობის ფარდობითი ეკონომიის  $\overline{B_{კკ}}$  სიდიდეზე და სხვ. ეს პარამეტრი  $\overline{B_{კკ}}$  განსაზღვრულია მხოლოდ [30]-სა და [32]-ში. ისიც მარტო უკუწნევიანი ტურბინებით აღჭურვილი თეცებისთვის.

განვიხილოთ ენერგეტიკული ეფექტურობის მაჩვენებლები თეცისთვის, რომელიც დაკომპლექტებულია T ან II ტიპის ერთრეგულირებადართმევიანი ტურბოდანადგარებით. ასეთი ტურბინის შიგა აბ-

სოლუტური მქ კოეფიციენტის (ელექტრონეგრიის გამომუშავებაზე) განსაზღვრისთვის გამოიყენება ფორმულა [2,31]:

$$\eta_{\text{ბღ}}^1 = \frac{N_j + N_m}{Q_{\text{ბღ}}^j + N_m} = \eta_{\text{ბღ}}^{1(j)} \cdot \frac{1 + A_m}{1 + A_m \eta_{\text{ბღ}}^{1(j)}} = \frac{1 + A_m}{1/\eta_{\text{ბღ}}^{1(j)} + A_m}, \quad (24)$$

სადაც  $N_j$  და  $N_m$  ორთქლის კონდენსაციური და თბოფიკაციური ნაკადების შიგა სიმძლავრეებია, კვტ;

$Q_{\text{ბღ}}^j$  – სითბოს ხარჯი ორთქლის კონდენსაციურ ნაკადზე, კვტ/წმ;

$\eta_{\text{ბღ}}^{1(j)} = N_j / Q_{\text{ბღ}}^j$  - ტურბოდანადგარის შიგა აბსოლუტური მქ კოეფიციენტი კონდენსაციური რეჟიმში მუშაობისას;

$A_m = N_m / N_j$  - ორთქლის ართმევის ენერგეტიკული კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრულია [33]:

$$y = \frac{i_3 - i_j}{i_0 - i_j}, \text{ საიდანაც } 1 - y = \frac{i_0 - i_a}{i_0 - i_j}; \quad (25)$$

$$A_m = \frac{N_m}{N_j} = \frac{\alpha_a (i_0 - i_a)}{\alpha_j (i_0 - i_j)} = \frac{\alpha_a}{1 - \alpha_a} (1 - y), \quad (26)$$

სადაც  $\alpha_a$  და  $\alpha_j$  მომხმარებლისთვის მიწოდებული და კონდენსატორში შემავალი ორთქლის ფარდობითი ხარჯებია (წილები);

$y$  – ართმეული ორთქლის სიმძლავრის უკმარგამომუშავების კოეფიციენტი;

$i_0$  და  $i_j$  - ორთქლის საწყისი და საბოლოო ენთალპიები (ტურბინის შესასვლელსა და გამოსასვლელზე);

$i_a$  – რეგულირებადი ართმევიდან სითბოს მომხმარებელზე გაცემული ორთქლის ენთალპია. (26)-დან გამოვრიცხოთ  $y$  პარამეტრი და გადავიდეთ სხვა, უფრო გავრცელებული  $\omega$  მაჩვენებელზე-ელექტრონეგრიის კუთრ გამომუშავებაზე სითბოს მოხმარების ბაზაზე.  $A_m$  იცვლება 0 – დან კონდენსაციურ რეჟიმში ( $\alpha_a = 0$ ) ∞-მდე უკუწნევის რეჟიმში ( $\alpha_a = 1$ ) [33]. ეს სიდიდე გაიანგარეშება ფორმულით:

$$\omega = \frac{N_{\sigma}}{Q_{\gamma a}} \eta_{\gamma a} = \frac{i_0 - i_a}{i_a - i_a^1} \eta_{\gamma a} = \frac{(1-y)\eta_{\gamma a}}{1/\eta_{\delta\epsilon}^{(j)} - (1-y)}, \quad (27)$$

სადაც  $i_a^1$  ართმეული ორთქლის კონდენსატის ენთალპიაა ( $i_a \approx i_a^1$ ),

$\eta_{\gamma a}$  – ტურბოდანადგარის ელექტრომექანიკური მქ კოეფიციენტი.

გარდაქმნის შედეგად საბოლოოდ ვიღებთ:

$$\eta_{\delta\epsilon}^{\text{მლ}} = \frac{\eta_{\delta\epsilon}^{\text{მლ}(j)}(1-\alpha_a)(\eta_{\gamma a}/\omega + 1) + \alpha_a \eta_{\gamma a}}{(1-\alpha_a)(\eta_{\gamma a}/\omega + 1) + \alpha_a}. \quad (28)$$

ამ ფორმულით, შეგვიძლია გავაანალიზოთ  $\omega$  პარამეტრისა და ართმეული ორთქლის  $\alpha_a$  წილის გავლენა თბოფიკაციური ტურბინის  $\eta_{\delta\epsilon}^{\text{მლ}}$  მქ კოეფიციენტზე. როდესაც  $\alpha_a = 1$  ე.ი. ტურბინა მუშაობს უკუწნევის რეჟიმში, მაშინ (28)-ის თანახმად  $\eta_{\delta\epsilon}^{\text{მლ}} = \eta_{\gamma a} = \eta_{\delta\epsilon}^{\text{შბ}}$ . თუ ტურბინა მუშაობს წმინდა კონდენსაციურ რეჟიმში ( $\alpha_a = 0$ ), მაშინ (28)-დან გამომდინარეობს, რომ  $\eta_{\delta\epsilon}^{\text{მლ}} = \eta_{\delta\epsilon}^{\text{მლ}(j)}$  ე.ი.  $\eta_{\delta\epsilon}^{\text{მლ}}$  ის ცვლილების დიაპაზონია  $\eta_{\delta\epsilon}^{\text{მლ}(j)}$ -დან  $\eta_{\delta\epsilon}^{\text{შბ}} = \eta_{\gamma a}$ -მდე.

განვიხილოთ თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრული მქ კოეფიციენტი. [33] თანახმად:

$$\eta_{\delta\epsilon}^{\text{სრ}} = \frac{N_{\text{მლ}} + Q_{\gamma a}}{Q_{\delta\epsilon}} = \frac{N_{\text{მლ}} + Q_{\gamma a}}{Q_{\text{მლ}} + Q_{\text{სო}}}, \quad (29)$$

სადაც  $Q_{\delta\epsilon}$  სითბოს სრული ხარჯია ტურბოდანადგარზე,

$Q_{\text{მლ}}$  და  $Q_{\text{სო}}$  – სითბოს ხარჯები ელექტროენერჯისა და სითბოს გამომუშავებაზე, კჯ/წმ;

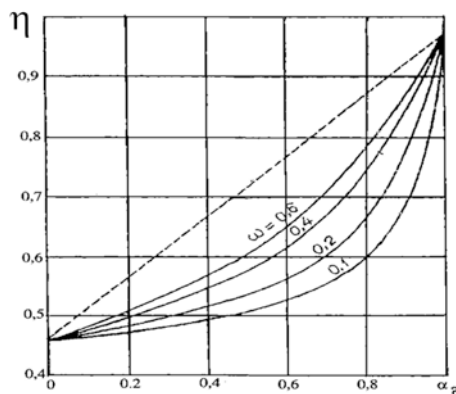
$\eta_{\delta\epsilon}^{\text{მლ}}$ ,  $\eta_{\delta\epsilon}^{\text{სო}}$  – შესაბამისი მქ კოეფიციენტები. (29)-დან მიღებულია:

$$\eta_{\delta\epsilon}^{\text{სრ}} = \eta_{\delta\epsilon}^{\text{მლ}(j)} + \alpha_a (\eta_{\gamma a} - \eta_{\delta\epsilon}^{\text{მლ}(j)}) \quad (30)$$

ფორმულა (30) გვიჩვენებს ართმეული ორთქლის  $\alpha_a$  წილის გავლენას ერთართმევიანი თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრულ მქ კოეფიციენტზე.  $\eta_{\delta\epsilon}^{\text{სრ}} = f(\alpha_a)$  ფუნქცია წრფივი ხასიათისაა. ამ ფორმულის თანახმად, როდესაც  $\alpha_a = 0$  (კონდენსაციური რეჟიმი), მაშინ

$\eta_{\text{ტელ}}^{\text{სრ}} = \eta_{\text{ტელ}}^{\text{შლ}(\omega)}$ , ხოლო როცა  $\alpha_a = 1$  (უკუწნევის რეჟიმი), მაშინ  $\eta_{\text{ტელ}}^{\text{სრ}} = \eta_{\text{გა}} = \eta_{\text{ტელ}}^{\text{შპ}} = \eta_{\text{ტელ}}^{\text{შლ}}$ . უკანასკნელი ტოლობა როგორც (30)-დან ჩანს,  $\eta_{\text{ტელ}}^{\text{სრ}}$  მქ კოეფიციენტი,  $\eta_{\text{ტელ}}^{\text{შლ}(\omega)}$ -ის გარდა, დამოკიდებულია მხოლოდ ართმეული ორთქლის წილზე და არა  $\omega$  პარამეტრზე. ეს იმაზე მეტყველებს, რომ თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრული მქ კოეფიციენტი არ ახასიათებს სითბოსა და ელექტროენერჯის გამომუშავების პროცესის თურ ეკონომიურობას;  $\eta_{\text{ტელ}}^{\text{სრ}}$  შეიძლება გამოყენებული იქნეს მხოლოდ თეცში სითბოს მოხმარების ზოგადი შედარებისათვის და სხვადასხვა ტექნიკური გადაწყვეტილების შედარებისათვის (როცა  $N_{\text{ელ}}$  და  $Q_{\text{გა}}$  ერთნაირია).

ნახ. 5-ზე (28)-სა და (30)-ის მიხედვით აგებულია  $\eta_{\text{ტელ}}^{\text{შლ}} = f(\alpha_a, \omega)$  და  $\eta_{\text{ტელ}}^{\text{სრ}} = f(\alpha_a)$  ფუნქციების გრაფიკები. მიღებულია, რომ კონდენსაციურ რეჟიმში ( $\alpha_a = 0$ )  $\eta_{\text{ტელ}}^{\text{სრ}} = \eta_{\text{ტელ}}^{\text{შლ}} = \eta_{\text{ტელ}}^{\text{შლ}(\omega)} = 0,46$ , ხოლო უკუწნევის რეჟიმში ( $\alpha_a = 1$ )  $\eta_{\text{ტელ}}^{\text{სრ}} = \eta_{\text{ტელ}}^{\text{შლ}} = \eta_{\text{ტელ}}^{\text{შპ}} = \eta_{\text{გა}} = 0,97$ . ამ რეჟიმში ტურბოდანადგარზე მიწოდებული სითბოს ნაწილი გარდაიქმნება შიგა მუშაობად, დანარჩენი სითბო კი გადაეცემა სითბოს მომხმარებელს; სითბოს დანაკარგი ცივ წყაროში არ არის.



ნახ. 5. ორთქლის ართმევის  $\alpha_a$  წილის და  $\omega$  პარამეტრის გავლენა თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრული  $\eta_{\text{ტელ}}^{\text{სრ}}$  (---) და კერძო  $\eta_{\text{ტელ}}^{\text{შლ}}$  (—) მქ კოეფიციენტებზე

ნახ. 5-დან ჩანს, რომ მცირე  $\alpha_a$ -ის დროს ( $\alpha_a \leq 0,2 \dots 0,3$ )  $\eta_{\text{ტღ}}^{\text{პლ}}$  მქ კოეფიციენტი უმნიშვნელოდ იზრდება კონდენსაციური რეჟიმის  $\eta_{\text{ტღ}}^{\text{პლ(კ)}}$  მქ კოეფიციენტთან შედარებით; როცა  $\alpha_a = 0,4 \dots 0,5$ , მაშინ  $\eta_{\text{ტღ}}^{\text{პლ}} \cong 0,5 \dots 0,6$ . მქ კოეფიციენტის განსაკუთრებით დიდი ნამატი ( $\eta_{\text{ტღ}}^{\text{პლ(კ)}}$ -სთან შედარებით) გვაქვს, როცა  $\alpha_a \geq 0,7 \dots 0,8$  და  $\omega = 0,4 \dots 0,6$ . როდესაც თბოფიკაციური ტურბინა მუშაობს ორთქლის მაქსიმალური ართმევით ( $\alpha_a = 0,95$ ) და მინიმალური სავენტილაციო ხარჯით დაბალი წნევის ნაწილში, მაშინ  $\eta_{\text{ტღ}}^{\text{პლ}}$  მქ კოეფიციენტი მაქსიმალურია (0.85...0.90)  $\omega$ -ს თითქმის ყველა მნიშვნელობის დროს ( $\omega \geq 0,25 \dots 0,30$ )

$\eta_{\text{ტღ}}^{\text{პლ}}$  და  $\eta_{\text{ტღ}}^{\text{სრ}}$  მქ კოეფიციენტების მიხედვით ადვილად განისაზღვრება თეცის ელექტრული და სრული მქ კოეფიციენტები “ნეტო”:

$$\eta_{\text{თეც}}^{\text{პლ(ნბ)}} = \eta_{\text{ტღ}}^{\text{პლ}} \eta_{\text{თგ}} \eta_{\text{ტრ}} (1 - k_{\text{სმ}}), \quad \eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ(ნბ)}} = \eta_{\text{ტღ}}^{\text{სრ}} \eta_{\text{თგ}} \eta_{\text{ტრ}} (1 - k_{\text{სმ}}) \quad (31)$$

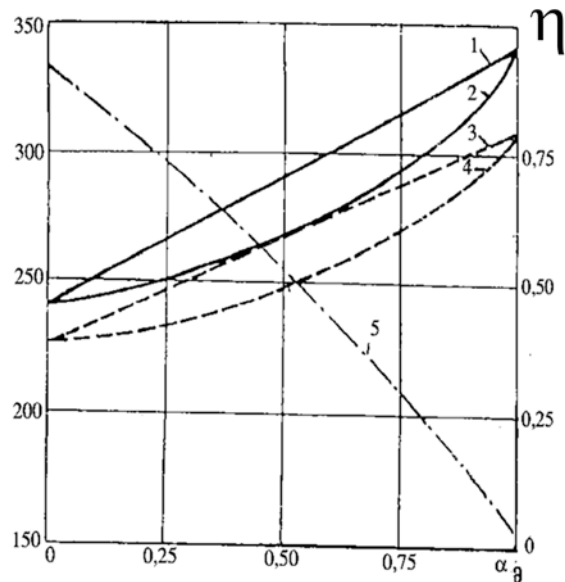
ამ მქ კოეფიციენტების მნიშვნელობები  $\alpha_a$ -ზე დამოკიდებულებით მოყვანილია ნახ. 6-ზე. გაანგარიშებაში მიღებულია:  $\omega = 0,6$ , ორთქლგუნერატორის მქ კოეფიციენტი  $\eta_{\text{თგ}} = 0,9$ , სითბოს ტრანსპორტირების მქ კოეფიციენტი  $\eta_{\text{ტრ}} = 0,98$ ,  $\eta_{\text{ტღ}}^{\text{პლ(კ)}} = 0,46$ ,  $\eta_{\text{გმ}} = 0,97$ , საკუთარ მოხმარებაზე ელექტროენერჯის ფარდობითი ხარჯი  $k_{\text{სმ}} = 0,07$ . ნახ. 6-ზე უწყვეტი ხაზებით 1 და 2 მოცემულია ტურბოდანადგარის სრული და ელექტრული მქ კოეფიციენტები “ბრუტო” (გამომუშავებულ ენერჯიაზე), ხოლო წყვეტილი ხაზებით 3 და 4 – იგივე მქ კოეფიციენტები “ნეტო” (გაცემულ ენერჯიაზე). ანალოგიური მრუდები ნახ. 5-ზე მოყვანილი მონაცემების საფუძველზე შეიძლება აიგოს  $\omega$ -ს სხვა მნიშვნელობის-თვისაც.

ნახ. 6-ზე შტრიხ-წერტილოვანი ხაზით წარმოდგენილია აგრეთვე სათბობის კუთრი ელექტრული ხარჯები “ნეტო”  $b_{\text{თგ}}^{\text{პლ(ნბ)}} = 123 / \eta_{\text{თგ}}^{\text{პლ(ნბ)}}$ , გპ.ს./კვტ.სთ. ეს მაჩვენებელი მცირდება 332.4-დან კონდენსაციურ რეჟიმ-

ში ( $\alpha_a = 0$ ) 153 გპ.ს./კვტ.სთ-მდე უკუწნევის რეჟიმში ( $\alpha_a = 1$ ); როცა  $\alpha_a = 0,7 \dots 0,8$ , მაშინ  $b_{თეც}^{მლ(ნბ)} \cong 200 \dots 210$  გპ.ს./კვტ.სთ.

სათბობის კუთრი ელექტრული ხარჯი “ნეტო”  $b_{თეც}^{მლ(ნბ)}$  თეცში  $\omega$ -სა და  $\alpha_a$ -ზე დამოკიდებულებით წარმოდგენილია ნახ. 7-ზე. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, მიღებულ პირობებში  $\eta_{თგ} = 0,9, \eta_{ტრ} = 0,98$  და სხვ. აღნიშნული მაჩვენებელი იცვლება ფართო დიაპაზონში - 150-დან უკუწნევის რეჟიმში 330 გპ.ს./კვტ.სთ-მდე კონდენსაციურ რეჟიმში.

$b_{თეც}^{მლ}$ , გპ.ს./კვტ.სთ



ნახ. 6. ორთქლტურბინული თეცის (T და II ტიპის ტურბინებით) ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლები ართმევის  $\alpha_a$  წილზე დამოკიდებულებით ( $\omega = 0,6$ ):

$$1 - \eta_{ტდ}^{სრ(ბრ)}; 2 - \eta_{ტდ}^{მლ(ბრ)}; 3 - \eta_{თეც}^{სრ(ნბ)}; 4 - \eta_{თეც}^{მლ(ნბ)}; 5 - b_{თეც}^{მლ(ნბ)}$$

[33]-ში დამუშავებული მეთოდის საფუძველზე შესაძლებელია განისაზღვროს ენერგოსისტემაში თეცის მუშაობით განპირობებული სათბობის ფარდობითი ეკონომია  $\overline{B_{პპ}}$ :

$$\overline{B_{პპ}} = \frac{B_{პპ}}{B_{განც}} = 1 - \frac{1}{\eta_{თეც}^{სრ}} \cdot \frac{\overline{N_{თ}} + \omega}{\overline{N_{თ}} / \eta_{საქ} + \omega / \eta_{აქს}}, \quad (32)$$

სადაც  $B_{კკ} = B_{განც} - B_{თეც}$  სათბობის აბსოლუტური ეკონომიაა;

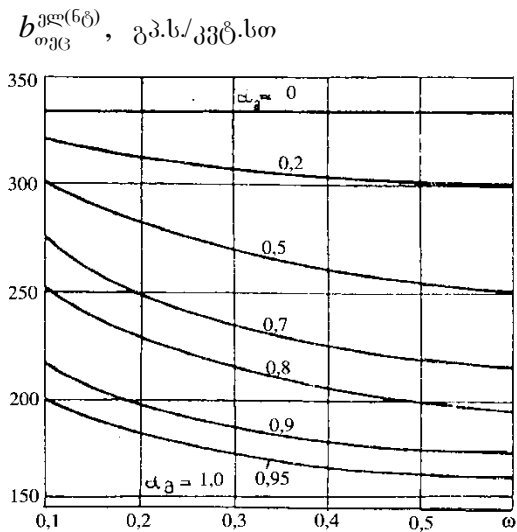
$B_{კკს}, B_{საქ}$  - სათბობის ხარჯებია ჩასანაცვლებელ კესსა და საქვაბეში;

კოეფიციენტი  $\bar{N}_m$  წარმოადგენს ტურბოდანადგარის ფარდობით თბოფიკაციურ სიმძლავრეს:

$$\bar{N}_m^{ქლ} = \frac{N_m^{ქლ}}{N_{ქლ}} = \frac{N_m \eta_{ქმ}}{N_{ქლ}} = \frac{A_m}{1 + A_m}. \quad (33)$$

ეს კოეფიციენტი იცვლება 0-დან კონდენსაციურ რეჟიმში ( $N_m^{ქლ} = 0$ )

1-მდე უკუწნევის რეჟიმში ( $N_m^{ქლ} = N_{ქლ}$ ).



ნახ. 7 თეცში სათბობის კუთრი ხარჯის  $b_{თეც}^{ქლ(6\delta)}$  დამოკიდებულება  $\omega$  და  $\alpha_{გ}$  პარამეტრებზე.

## 2.2. სათბობის ეკონომიის გაანგარიშება ენერგოსისტემაში, განპირობებული ორრეგულირებადართმევიანი ტურბინებით აღჭურვილი თეცების ფუნქციონირებით

ორთქლტურბინული თეცი ყველაზე გავრცელებული ტიპის კოგენერაციული ელექტროსადგურია. ისინი ფუნქციონირებენ მრავალი ქვეყნის ენერგოსისტემებში და უზრუნველყოფენ სათბობის მნიშვნელოვან ეკონომიას. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთ თეცებს ახასიათებს გარკვეული ხარვეზები. მაგალითად, დაბალი მქ კოეფიციენტი კონდენ-

საციურ რეჟიმში, ორთქლის რეგულირებადი ართმევების არასრული დატვირთვა წლიურ ჭრილში, გაზრდილი კუთრი კაპიტალტევადობა და სხვ. ყველა ზემოთ ჩამოთვლილის მიუხედავად ისინი მაინც რჩება ენერგოსისტემაში ბაზისური ენერჯის მიღების მნიშვნელოვან წყაროდ.

ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების განსაზღვრის მეთოდისა ორთქლტურბინულ თეცვებში თბოფიკაციური ტურბინებით, ერთი რეგულირებადი ორთქლის ართმევით, KO(T და Π) ტიპისა დამუშავებულია [34,35]-ში. ენერგეტიკაში ასევე ფართოდ არის გავრცელებული KOO(Π T) ტიპის თბოფიკაციური ტურბინები, რომლებსაც აქვთ ორთქლის ორი რეგულირებადი ართმევა. ასეთი ტურბინები მომხმარებლებს ამარაგებს ელექტროენერჯის გარდა ორი პოტენციალის ორთქლით: Π-ართმევიდან სამრეწველო საჭიროებისათვის და T-ართმევიდან თბოფიკაციისათვის (გათბობა და ცხელი წყალი). ასეთი თეცის ენერგოეფექტურობის ანგარიში რთულია და შრომატევადი. აქ საჭიროა გამოვიყენოთ წყლის და წყლის ორთქლის თერმოდინამიკური თვისებების ცხრილი. ამიტომ წარმოვიდგენთ შედარებით მარტივი ანგარიშის მეთოდისას. როგორც ცნობილია, მქ კოეფიციენტი KO ტიპის ორთქლტურბინული დანადგარისთვის იანგარიშება ასე [2]:

$$\eta_{\text{ბღ}}^i = \eta_{\text{ბღ}}^{i(j)} \frac{1 + A_{\text{ო}}}{1 + A_{\text{ო}} \eta_{\text{ბღ}}^{i(j)}}, \quad (34)$$

სადაც  $A_{\text{ო}}$  არის ორთქლის ართმევის ენერგეტიკული კოეფიციენტი. ანალოგიურად KOO ტიპის ტურბინებისთვის შეიძლება დავწეროთ:

$$\eta_{\text{ბღ}}^i = \eta_{\text{ბღ}}^{i(j)} \frac{1 + A_{\text{ო}} + A_{\text{ა}}}{1 + \eta_{\text{ბღ}}^{i(j)} (A_{\text{ო}} + A_{\text{ა}})}, \quad (35)$$

სადაც  $A_{\text{ო}}$  და  $A_{\text{ა}}$  ზედა Π და ქვედა T ართმევების ენერგეტიკული კოეფიციენტებია:

$$A_{\text{ო}} = \frac{1}{\eta_{\text{ბღ}}^{i(j)}} \cdot \frac{\alpha_{\text{ო}}}{1 - \alpha_{\text{ო}} - \alpha_{\text{ა}}} \cdot \frac{\omega_{\text{ო}}}{\eta_{\text{ა}} + \omega_{\text{ო}}}, \quad (36)$$

$$A_{\text{ა}} = \frac{1}{\eta_{\text{ბღ}}^{i(j)}} \cdot \frac{\alpha_{\text{ა}}}{1 - \alpha_{\text{ო}} - \alpha_{\text{ა}}} \cdot \frac{\omega_{\text{ა}}}{\eta_{\text{ა}} + \omega_{\text{ა}}}, \quad (37)$$



სადაც  $\omega_o$  და  $\omega_a$  – არის ელექტრონერგიის კუთრი გამომუშავება, შესაბამისად  $\Pi$  და  $T$  ართმევისათვის,

$\eta_{\text{გა}}$ –ტურბოდანადგარის ელექტრომექანიკური მქ კოეფიციენტი.

$\Pi T$  ტიპის ტურბინებისთვის  $\omega_{\text{კვ}}$ -ის ექვივალენტური მნიშვნელობა მიახლოებით შეიძლება შევავსოთ, როგორც საშუალო არითმეტიკული,

$$\omega_{\text{კვ}} = \frac{\omega_o + \omega_a}{2}. \quad (38)$$

ამრიგად,  $\Pi T$  ტიპის ტურბინას ორი ართმევით თუ შევცვლით ექვივალენტური ტურბინით ერთი ართმევით, შეიძლება გამოვიყენოთ [35]-ში მიღებული ანალიზის შედეგები და გავიანგარიშოთ ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლები  $\Pi T$  ტიპის ტურბინისათვის.

$$\eta_{\text{ტდ}}^{\text{ბრ}} = \eta_{\text{ტდ}}^{\text{მლ(ა)}} + (\alpha_o + \alpha_a)(\eta_{\text{გა}} - \eta_{\text{ტდ}}^{\text{მლ(ა)}}); \quad (39)$$

სადაც  $\eta_{\text{ტდ}}^{\text{ბრ}}$ –არის თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრული მქ კოეფიციენტი:

$\eta_{\text{ტდ}}^{\text{მლ(ა)}}$ –თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის აბსოლუტური ელექტრული მქ კოეფიციენტი, როცა ის მუშაობს კონდენსაციურ რეჟიმში.

$\eta_{\text{ტგ}}$  და  $\eta_{\text{ტრ}}$ –არის შესაბამისად ორთქლგენერატორისა და სითბოს ტრანსპორტირების მქ კოეფიციენტები. ტურბოდანადგარის მუშაობის დროს წმინდა კონდენსაციურ რეჟიმში, როცა  $\alpha_a + \alpha_o = 0$ , მისი სრული მქ კოეფიციენტი  $\eta_{\text{ტდ}}^{\text{ბრ}} = \eta_{\text{ტდ}}^{\text{მლ(ა)}}$ , ხოლო როცა  $\alpha_a + \alpha_o = 1$  გვაქვს:  $\eta_{\text{ტდ}}^{\text{ბრ}} = \eta_{\text{გა}}$ .

თეცისთვის  $\Pi T$  ტიპის ტურბინით სათბობის ფარდობითი ეკონომია  $\bar{N}_o$  შეიძლება განვსაზღვროთ (38) [35] ფორმულით, რომელ-შიც  $\omega_{\text{კვ}}$ –ს მნიშვნელობა უნდა ჩავსვათ (5) ფორმულიდან, ხოლო ფარდობითი თბოფიკაციური სიმძლავრე  $KO$  ტიპის ტურბოდანადგარისა იანგარიშება გამოსახულებიდან (39) [35]:

$$\bar{N}_o = \frac{\sum A_o}{1 + \sum A_o} = \frac{A_o + A_a}{1 + A_o + A_a}. \quad (40)$$

ენერგოსისტემაში სათბობის ფარდობითი ეკონომია იანგარიშება ფორმულით (32).

Π T ტიპის თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის აბსოლუტური ელექტრული მქ კოეფიციენტი შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$\eta_{\text{ტდ}}^{\text{მლ}} = \frac{\eta_{\text{ტდ}}^{\text{მლ}(\alpha)}(1 - \alpha_{\text{ს}} - \alpha_{\text{ა}})(\eta_{\text{გმ}}/\omega_{\text{მგ}} + 1) + (\alpha_{\text{ს}} + \alpha_{\text{ა}})\eta_{\text{გმ}}}{(1 - \alpha_{\text{ს}} - \alpha_{\text{ა}})(\eta_{\text{გმ}}/\omega_{\text{მგ}} + 1) + (\alpha_{\text{ს}} + \alpha_{\text{ა}})}. \quad (41)$$

თუ გამოვიყენებთ გაანგარიშების წარმოდგენილ მეთოდებს, განვსაზღვრავთ თეცის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლებს KO (T და Π) და KOO (Π T) ტიპის ტურბინებისათვის [36].

მე-5 ცხრილში მოცემულია KO ტიპის ტურბინის გაანგარიშების შედეგები. ანგარიშში მიღებულია, რომ ორთქლის საწყისი პარამეტრებია:  $p_0=10$  მგპა;  $t_0=550^\circ\text{C}$ ; კონდენსატორში წნევა  $p_j=0.004$  მგპა; ორთქლის რეგულირებადი ართმეების რიცხვი  $n=1$ ; ართმეის წნევა  $p_{\text{ართ}}=0.14$  მგპა; ტურბინის შიგა ფარდობითი მქ კოეფიციენტი  $\eta_{\text{გი}}=0.8$ ; თეცის ორთქლგენერატორის მქ კოეფიციენტი  $\eta_{\text{თგ}}=0.9$ ;  $\eta_{\text{გმ}}=0.97$ ;  $\omega \cong 0.4$ ;  $\eta_{\text{ტდ}}^{\text{მლ}(\alpha)}=0.3456$ ;  $\eta_{\text{ტდ}}^{\text{მლ}}=0.3352$ . ორთქლის ართმეის წილი კონდენსაციურ რეჟიმში  $\alpha_{\text{ა}}=0$ , ხოლო უკუწნევის რეჟიმში  $\alpha=1$ .

ცხრილი 5

გაანგარიშების შედეგები KO ტიპის ტურბინებისთვის, როცა  $p_{\text{ართ}}=0.14$  მგპა

პარამეტრები	$\alpha$ -ს მნიშვნელობები					
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$\eta_{\text{ტდ}}^{\text{სრ}}$	-	0.4622	0.589	0.7161	0.843	0.97
$\eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ}}$	-	0.4076	0.5195	0.6316	0.7435	0.8554
$A_{\text{ს}}$	-	0.2112	0.5632	1.267	3.379	$\infty$
$\bar{N}_{\text{ს}}^{\text{მლ}}$	-	0.1744	0.3603	0.559	0.7716	1.0
$\bar{B}_{\text{მგ}}$	0	0.102	0.188	0.256	0.320	0.371
$\bar{B}_{\text{მგ}}[4]$	0	0.098	0.182	0.254	0.316	0.370

მე-6 ცხრილში მოცემულია გაანგარიშების ანალოგიური მონაცემები, სადაც შეცვლილია მხოლოდ ართმეის წნევა- $p_{\text{ართ}}=0.26$  მგპა. ამ დროს  $\omega \cong 0.35$ . დანარჩენი პარამეტრები კი იგივეა.

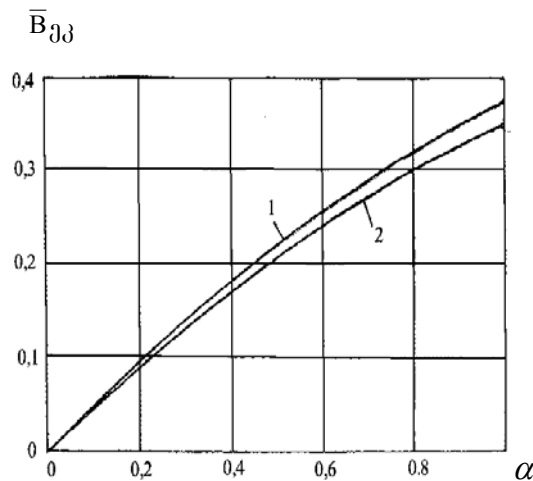
გაანგარიშების შედეგები KO ტიპის ტურბინებისთვის, როცა  $p_{\text{არო}}=0.26$  მგპა

პარამეტრები	$\alpha$ -ს მნიშვნელობები					
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$\eta_{\text{ტდ}}^{\text{სრ}}$	-	0.4622	0.589	0.7161	0.843	0.97
$\eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ}}$	-	0.4076	0.5195	0.6316	0.7435	0.855
$A_{\text{ო}}$	-	0.1918	0.5115	1.1508	3.0689	$\infty$
$\bar{N}_{\text{ო}}^{\text{შლ}}$	-	0.1609	0.3384	0.5351	0.75423	1.0
$\bar{B}_{\text{გკ}}$	0	0.095	0.1754	0.2437	0.302	0.351
$\bar{B}_{\text{გკ}}[4]$	0	0.091	0.172	0.243	0.308	0.365

მე-5 და მე-6 ცხრილებში მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ ჩვენი მეთოდიკით გაანგარიშებული სათბობის ფარდობითი ეკონომია პრაქტიკულად ემთხვევა [36]-ის მონაცემებს. მაქსიმალური განსხვავება შეადგენს 0.4%-ს. ისიც მაშინ როდესაც ადგილი აქვს ორთქლის ართმევას მცირე წილით ( $\alpha = 0.2$ ).

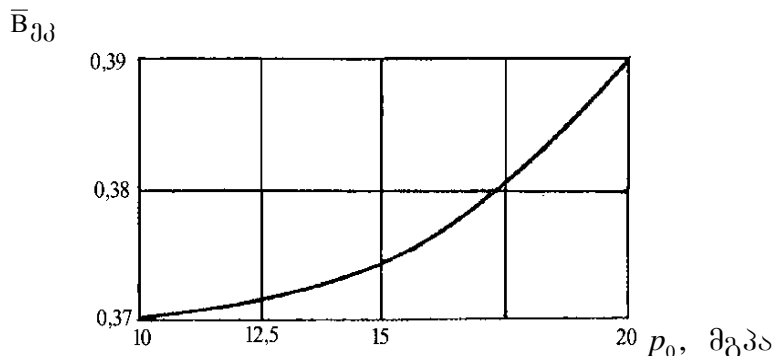
აეგოთ გრაფიკი  $\bar{B}_{\text{გკ}} = f(\alpha)$  ორი შემთხვევისათვის როცა: 1)

$p_{\text{არო}}=0.14$  მგპა და 2)  $p_{\text{არო}}=0.26$  მგპა. როგორც გრაფიკიდან ჩანს,  $\alpha$ -ის გადიდებისას  $\bar{B}_{\text{გკ}}$  იზრდება.



ნახ. 8. ართმეული ორთქლის წილის გაგლეზა სათბობის ფარდობით ეკონომიაზე; მიღებულია:  $p_0=10$  მგპა;  $t_0=550^{\circ}\text{C}$ ;  $p_j=0.004$  მგპა;  $p_{\text{არო}}$ , მგპა: 1 - 0.14; 2 - 0.26

მაქსიმუმს ( $35 \pm 37\%$ ) აღწევს, მაშინ როცა  $\alpha = 1$ . ართმევის წნევის გაზრდისას (0.14-დან 0.26-მდე)  $\bar{B}_{\text{გკ}}$  რამდენადმე მცირდება, რაც განსაკუთრებით შეიმჩნევა მაშინ, როცა  $\alpha \geq 0.4$ .



ნახ. 9. ორთქლის საწყისი წნევის გავლენა სათბობის ფარდობით ეკონომიაზე; მიღებულია:  $t_0 = 550^\circ C$ ;  $p_{\text{სრო}} = 0.14$  მგპა;  $\alpha = 1$ .

ნახ. 9-ზე მოცემულია ორთქლის საწყისი წნევის გავლენის დამოკიდებულება სათბობის აბსოლუტურ ეკონომიაზე. ამ დროს საწყისი ტემპერატურა უცვლელია  $t_0 = 550^\circ C$ ; გრაფიკი აგებულია, როცა ტურბინა მუშაობს უკუწნევის რეჟიმში ( $\alpha = 1$ ), როცა ართმეული ორთქლის წნევა  $p_{\text{სრო}} = 0.14$  მგპა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, როცა საწყისი წნევა იზრდება 10-დან 13 მგპა-მდე,  $\bar{B}_{\text{გკ}}$  პრაქტიკულად არ იცვლება. როცა  $p_0 = 15$  მგპა,  $\bar{B}_{\text{გკ}}$  სიდიდე იცვლება უმნიშვნელოდ, ხოლო როცა წნევა მატულობს  $p_0 = 19 \div 20$  მგპა-მდე, მაშინ აღინიშნება  $\bar{B}_{\text{გკ}}$ -ის მნიშვნელობის გაზრდა -  $4.5 \div 5\%$ -ით.

საინტერესოა  $\bar{B}_{\text{გკ}}$ -ის დამოკიდებულება ორთქლის ართმევათა რიცხვზე.

მიღებულია, რომ  $\sum = 0.6$ :

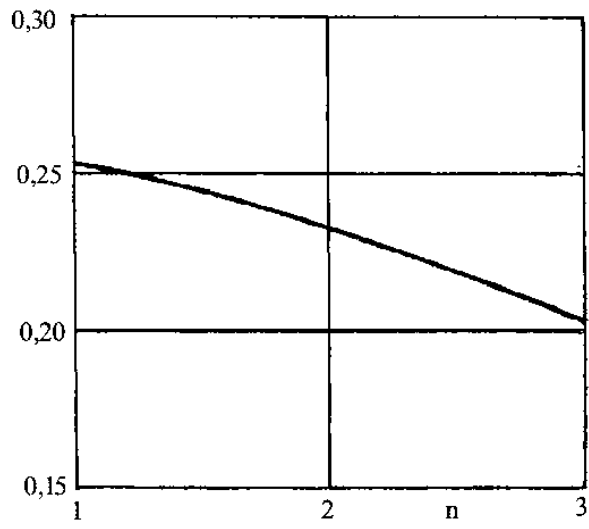
როცა  $n = 1; \alpha_1 = 0.6; p_{\text{სრო}} = 0.14$  მგპა.

როცა  $n = 2; \alpha_1 = 0.4; \alpha_2 = 0.2; p_{\text{სრო}} = 0.26$  მგპა.

როცა  $n = 3; \alpha_1 = 0.3; \alpha_2 = 0.1; p_{\text{სრო}} = 0.5$  მგპა.

ეს ნახ. 10-ზე შემდგენიარად აისახება:

$$\bar{B}_{\text{გკ}}$$



ნახ. 10. ართმეული ორთქლის რაოდენობის გავლენა სათბობის ფარდობით ეკონომიაზე; მიღებულია:  $p_0 = 10$  მგპა;  $t_0 = 550^0 C$ ;  $\sum \alpha = 0,6$ .

როგორც ჩანს, თუ გავზრდით ართმევათა რიცხვს, მაგრამ უცვლელს დავტოვებთ ართმეული ორთქლის რაოდენობას და ართმევიდან ართმევამდე გავზრდით ორთქლის წნევას, სათბობის ეკონომია შედარებით შემცირდება. ასე მაგალითად: თუ ართმევათა რიცხვს გავზრდით 1-დან 3-მდე,  $\bar{B}_{\text{კ}}$  მცირდება 25-დან 20%-მდე. ეს ამტკიცებს ცნობილ ფაქტს, რომ ორთქლის ართმევა ტექნოლოგიური საჭიროებისათვის, როცა  $p_{\text{ათ}} = 0.5$  მგპა კოგენერაციის ეფექტურობა ნაკლებია, ვიდრე ართმევა განკუთვნილი გათბობისათვის და ცხელი წყლით მომარაგებისთვის.

გაანგარიშებები ჩატარდა ასევე KOO (Π T) ტიპის ტურბინებისთვის, როცა ორთქლის რეგულირებადი ართმევათა რიცხვი  $n = 2$ . დანარჩენი პირობები იგივეა, რაც წინა ანგარიშში. მივიღეთ, რომ  $\bar{B}_{\text{კ}} \cong 0.24$ ; ასეთივე პირობებში [36]-ში ანგარიშით მიღებული  $\bar{B}_{\text{კ}} = 0.233$ . როგორც ვხედავთ, განსხვავება 3%-ია.

ასე რომ წარმოდგენილი მეთოდიკა შეიძლება გამოვიყენოთ ნებისმიერი ტიპის თბოფოკაციური ტურბინებით აღჭურვილი თეცის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების განსაზღვრისათვის. მათ შორის სათბობის ფარდობითი ეკონომიის გასაგებად, რომელიც მიიღწევა ენერგოსისტემაში.

### 2.3. ორთქლტურბინული კოგენერაციული სადგურების გამოკვლევა პროპორციული მეთოდით

გავიანგარიშოთ პროპორციული მეთოდით ორთქლტურბინული თეცის ეკონომიურობის მაჩვენებლები იმ პირობებისთვის, როდესაც ჩასანაცვლებელი საქვების მქ კოეფიციენტი  $\eta_{საქ} = 0.8$ , ხოლო კონდენსაციური ენერგობლოკის მქ კოეფიციენტი  $\eta_{კეს} = 0.332$  (თბილსრესის №3 და №4 ენერგობლოკების მაგალითზე).

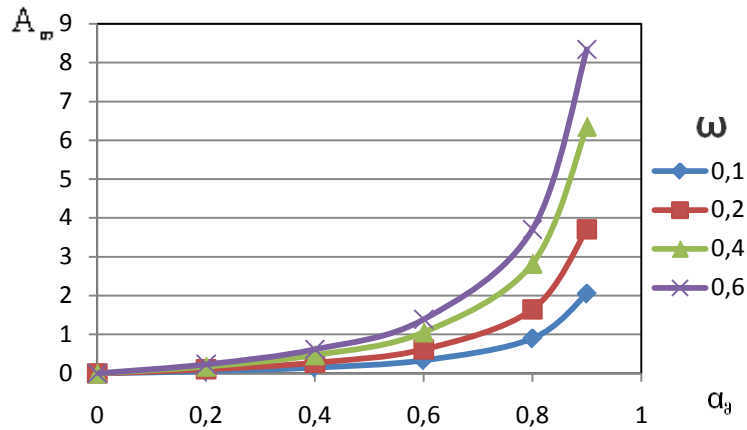
ორთქლის ართმევის ენერგეტიკული კოეფიციენტი  $A_{\sigma}$  იცვლება 0-დან კონდენსაციურ რეჟიმში ( $\alpha_{ა} = 0$ )  $\infty$ -მდე უკუწნევის რეჟიმში ( $\alpha_{ა} = 1$ ).

კოეფიციენტი  $\bar{N}_{\sigma}$  წარმოადგენს ტურბოდანადგარის ფარდობით თბოფიკაციურ სიმძლავრეს. ფორმულა (35)-ის გამოყენებით  $\bar{N}_{\sigma}$ -ს შედეგები მოცემულია მე-8 ცხრილში და შესაბამისი გრაფიკები აგებულია ნახ. 12-ზე.

ცხრილი 7

$A_{\sigma}$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{კეს} = 0.332$ )

$\alpha_{ა}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0	0	0	0	0
0.2	0.0561	0.1029	0.1765	0.2316
0.4	0.1497	0.2746	0.4706	0.6177
0.6	0.3369	0.6179	1.0589	1.3899
0.8	0.8984	1.6476	2.8238	3.7064
0.9	2.0215	3.7072	6.3536	8.3395
1.0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$

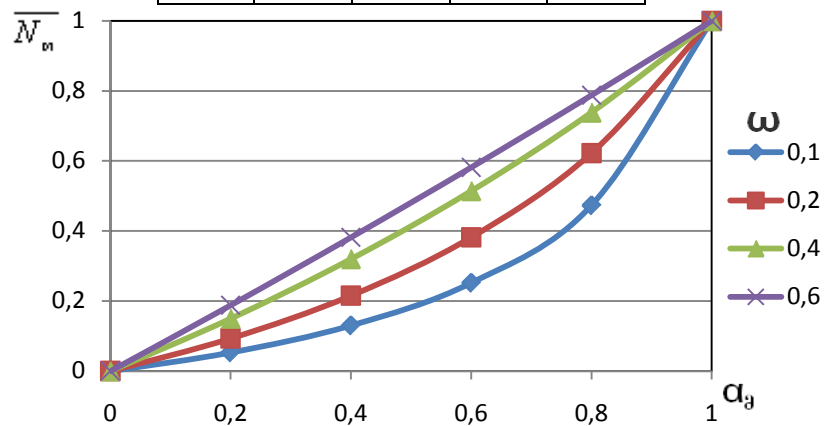


ნახ. 11. ორთქლის ართმევის ენერგეტიკული კოეფიციენტის  $A_{\sigma}$ -ს დამოკიდებულება  $\alpha_{\beta}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე. (მიღებულია  $\eta_{საქ} = 0.8$ ,  $\eta_{კეს} = 0.332$ )

ცხრილი 8

$\bar{N}_{\sigma}$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{კეს} = 0.332$ )

$\omega$ \ $\alpha_{\beta}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	0.0531	0.0933	0.1500	0.1880
0.4	0.1302	0.2154	0.3200	0.3818
0.6	0.2520	0.3819	0.5143	0.5816
0.8	0.4732	0.6222	0.7385	0.7875
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0



ნახ. 12. ორთქტურბინული დანადგარის ფარდობითი თბოფიკაციური სიმძლავრე სხვადასხვა რეჟიმებში ( $\alpha_{\beta}=0-1$ )  $\omega$ -ს ოთხი მნიშვნელობისთვის ( $\eta_{ტლ}^{I(ა)}=0.4047$ ,  $\eta_{კმ}=0.981$ )

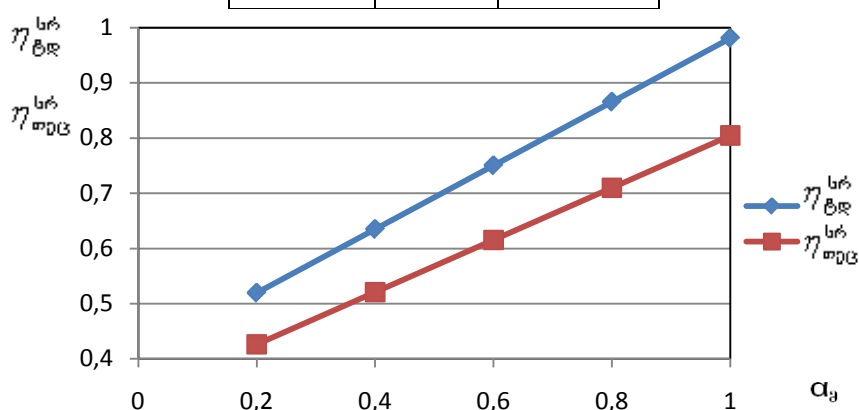
თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრული მარგი ქმედების კოეფიციენტი და თეცის სრული მარგი ქმედების კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულებით (30), (31) [37]-დან. სადაც ორთქლგენერატორის მქ კოეფიციენტი  $\eta_{თეც}=0.9$ , სითბოს ტრანსპორტირების მქ კოეფიციენტი  $\eta_{ტდ}=0.98$ , საკუთარ მოხმარებაზე ელექტროენერჯის ფარდობითი ხარჯი  $k_{სა}=0.07$ .

$\eta_{ტდ}^{სრ}$ -სა და  $\eta_{თეც}^{სრ}$ -ის მნიშვნელობები შეტანილია მე-9 ცხრილში; შესაბამისი გრაფიკები აგებულია ნახ. 13-ზე.

ცხრილი 9

$\eta_{ტდ}^{სრ}$ -სა და  $\eta_{თეც}^{სრ}$ -ის მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{კეს} = 0.332$ )

$\alpha_a$	$\eta_{ტდ}^{სრ}$	$\eta_{თეც}^{სრ}$
0	0.4047	0.332
0.2	0.5199	0.4264
0.4	0.6358	0.5210
0.6	0.7505	0.6156
0.8	0.8657	0.7101
1.0	0.981	0.8047



ნახ. 13. ორთქლის ართმევის  $\alpha_a$  წილის გავლენა თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრულ  $\eta_{ტდ}^{სრ}$  და თეცის სრულ  $\eta_{თეც}^{სრ}$  მქ კოეფიციენტებზე

ენერგოსისტემაში თეცის მუშაობით განპირობებული სათბობის ფარდობითი ეკონომია  $\bar{B}_{კეს}$  გაიანგარიშება ფორმულით (32).



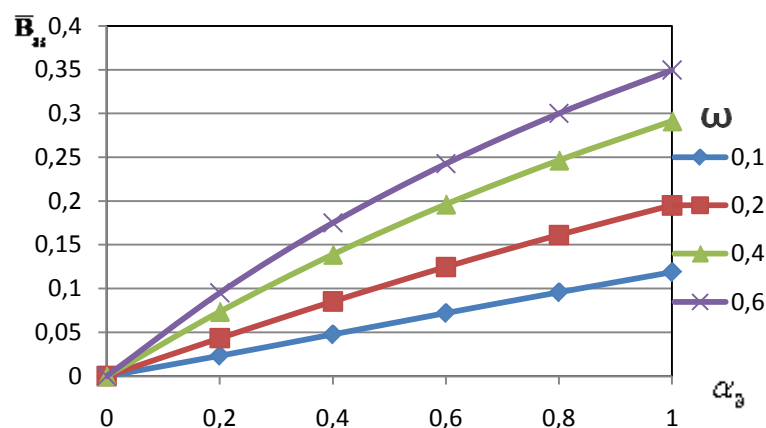
$\bar{B}_{\text{კკ}}$ -ს მნიშვნელობები შეტანილია მე-10 ცხრილში; შესაბამისი გრაფიკი აგებულია ნახ. 14-ზე.

თეცის კერძო მქ კოეფიციენტები ელექტროენერჯისა და სითბოს გამომუშავებაზე გაიანგარიშება ფორმულებით (19), (20). შედეგები შეტანილია ცხრილში 11 და გრაფიკული სახით წარმოდგენილია ნახ. 15-ზე.

ცხრილი 10

$\bar{B}_{\text{კკ}}$ -ს მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{\text{კკს}} = 0.332$ )

$\alpha_{\text{გ}}$ \backslash $\omega$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	0.0233	0.0433	0.0736	0.0951
0.4	0.0477	0.0852	0.1389	0.1751
0.6	0.0721	0.1246	0.1962	0.2426
0.8	0.0958	0.1611	0.2465	0.3001
1.0	0.1188	0.195	0.2913	0.3496



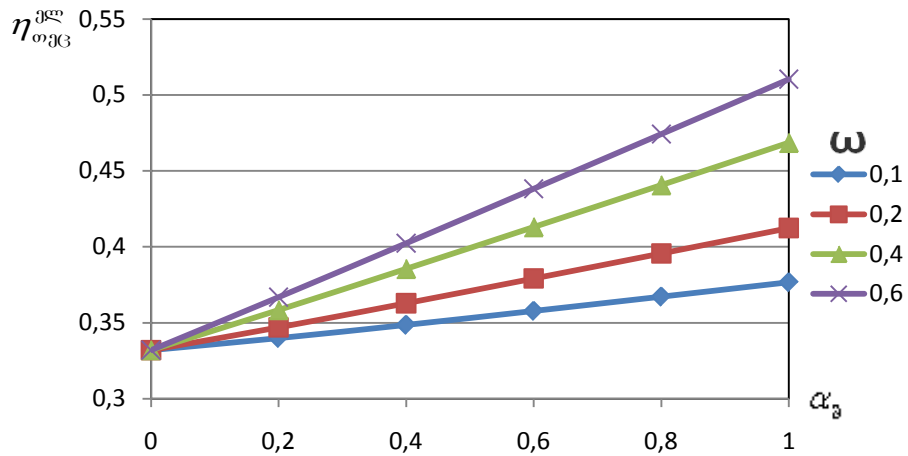
ნახ. 14. გრაფიკი თეცის ფუნქციონირებით გამოწვეული სითბოს ფარდობითი ეკონომიის განსაზღვრისათვის -  $\bar{B}_{\text{კკ}} = f(\alpha_{\text{გ}}, \omega)$  (მიღებულია  $\eta_{\text{კკს}} = 0.332$ ,

თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{\text{კკს}} = 0.332$ )

ცხრილი 11

$\eta_{\text{თეც}}^{\text{მლ}}$ 

$\omega$ $\alpha_{\text{ფ}}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0	0.332	0.332	0.332	0.332
0.2	0.3399	0.3470	0.3584	0.3669
0.4	0.3486	0.3629	0.3855	0.4024
0.6	0.3578	0.3792	0.4130	0.4383
0.8	0.3672	0.3957	0.4406	0.4743
1.0	0.3767	0.4124	0.4685	0.5124



ნახ. 15. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება  $\alpha_{\text{ფ}}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კეს}} = 0.332$ ,  $\eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )

თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები სიბოლს გამომუშავებაზე ცხრილი 12 (რო-  
( $\eta_{\text{კეს}} = 0.332$ )

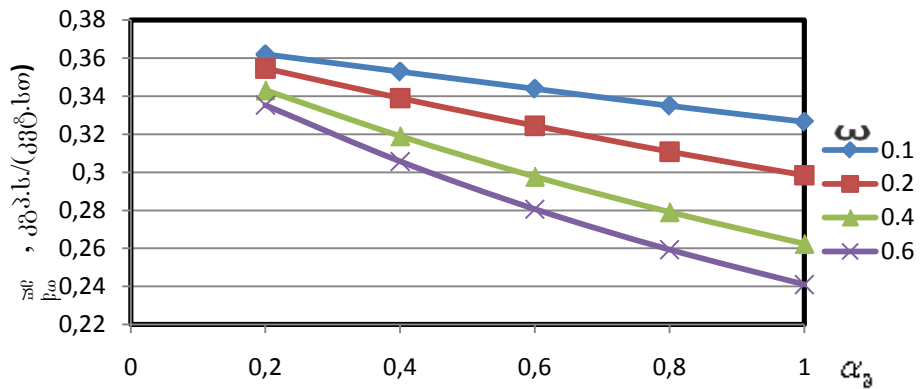
 $\eta_{\text{თეც}}^{\text{სო}}$ 

$\omega$ $\alpha_{\text{ფ}}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0	0.8	0.8	0.8	0.8
0.2	0.8191	0.8362	0.8635	0.8841
0.4	0.8401	0.8745	0.9290	0.9698
0.6	0.8622	0.9139	0.9953	1.0562
0.8	0.8848	0.9536	1.0617	1.1430
1.0	0.9078	0.9939	1.1288	1.2300

სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები ელექტროენერჯიის გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0.332$ )

$b_{თეც}^{ელ}$ , კვ.ს/(კვტ.სთ)

$\omega$ $\alpha_{გ}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	0.3619	0.3545	0.3432	0.3352
0.4	0.3528	0.3389	0.3191	0.3057
0.6	0.3438	0.3244	0.2978	0.2806
0.8	0.3349	0.3108	0.2792	0.2593
1.0	0.3265	0.2984	0.2625	0.2410

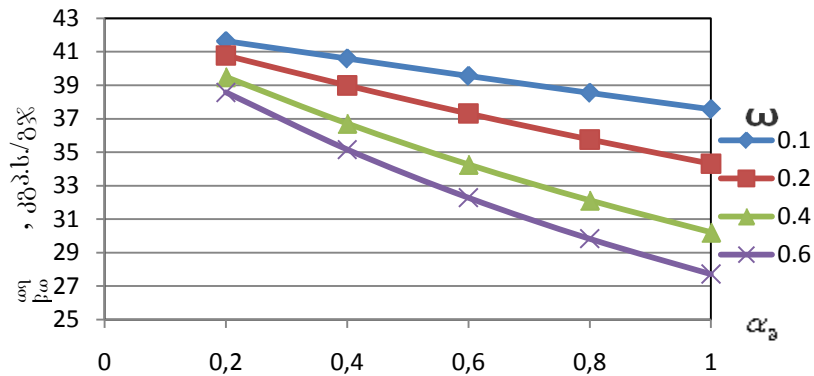


ნახ. 16. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯიის გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_{გ}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{კეს} = 0.332$ ,  $\eta_{საქ} = 0.8$ )

სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები სითბოს გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0.332$ )

$b_{თეც}^{სთ}$ , კვ.ს/გჯ

$\omega$ $\alpha_{გ}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	41.63	40.78	39.49	38.57
0.4	40.59	38.39	36.71	35.16
0.6	39.55	37.31	34.26	32.28
0.8	38.54	35.76	32.12	29.83
1.0	37.56	34.31	30.21	27.72



ნახ. 17. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული სითბოს გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_3$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{კეს} = 0.332$ ,  $\eta_{საქ} = 0.8$ )

სათბობის კუთრი ხარჯები თეცში ელექტროენერჯისა და სითბოს გამომუშავებაზე გაიანგარიშება ფორმულებით (17) და (18). შედეგები შეტანილია მე-13 და მე-14 ცხრილებში და გრაფიკული სახით წარმოდგენილია ნახ. 16-ზე და ნახ. 17-ზე.

გაიანგარიშთ პროპორციული მეთოდით ორთქლტურბინული თეცის ეკონომიურობის მაჩვენებლები იმ პირობებისთვის, როდესაც ჩასანაცვლებელი საქვაბის მქ კოეფიციენტი  $\eta_{საქ}=0.8$ , ხოლო კონდენსაციური ენერგობლოკის მქ კოეფიციენტი  $\eta_{კეს}=0.37$  (თბილსრესის №9 ენერგობლოკის მაგალითზე).

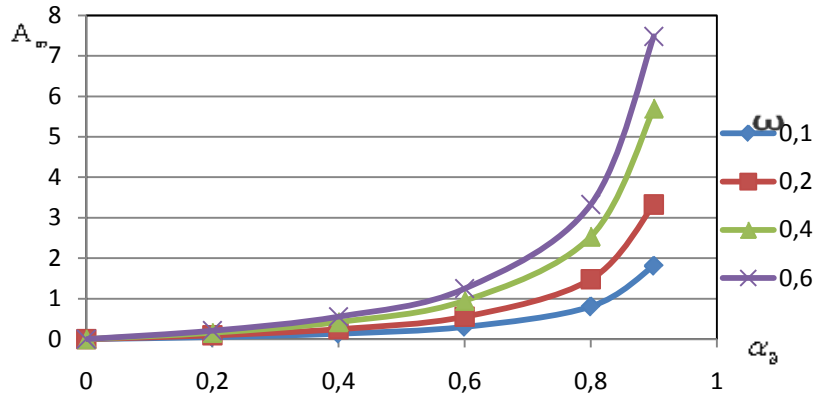
ორთქლის ართმევის ენერგეტიკული კოეფიციენტი  $A_{თ}$  იცვლება 0-დან კონდენსაციურ რეჟიმში ( $\alpha_3=0$ )  $\infty$ -მდე უკუწნევის რეჟიმში ( $\alpha_3=1$ ).

ცხრილი 15

$A_{თ}$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{კეს} = 0.37$ )

$\omega \backslash \alpha_3$	0.1	0.2	0.4	0.6
0	0	0	0	0
0.2	0.0504	0.0924	0.1583	0.2078
0.4	0.1343	0.2464	0.4222	0.5542
0.6	0.3023	0.5543	0.9500	1.2469

0.8	0.806	1.4782	2.5334	3.3252
0.9	1.8136	3.3259	5.7000	7.4817
1.0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$

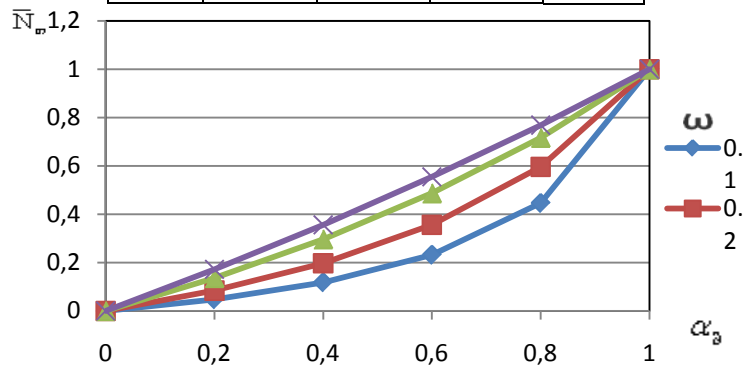


ნახ. 18. ორთქლის ართმევის ენერგეტიკული კოეფიციენტის  $A_m$ -ს დამოკიდებულება  $\alpha_3$  და  $\lambda$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{საქ} = 0.8$ ,  $\eta_{კეს} = 0.37$ )

ცხრილი 16

$\overline{N}_m$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{კეს} = 0.37$ )

$\lambda$ $\alpha_3$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	0.0480	0.0846	0.1367	0.1720
0.4	0.1184	0.1977	0.2969	0.3566
0.6	0.2321	0.3566	0.4872	0.5549
0.8	0.4463	0.5965	0.7170	0.7688
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0



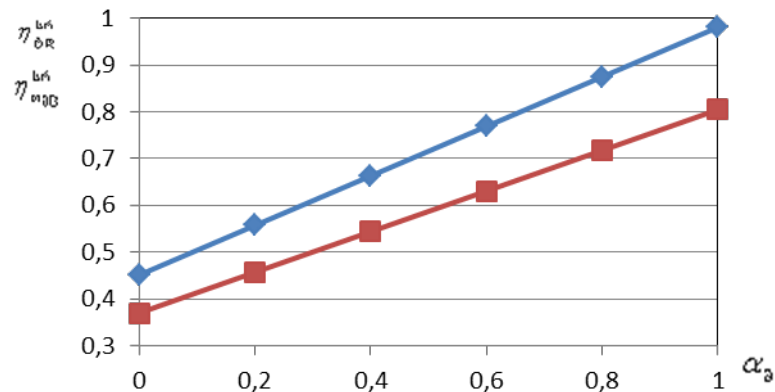
ნახ. 19. ორთქტურბინული დანადგარის ფარდობითი თბოფიკაციური სიმძლავრე სხვადასხვა რეჟიმებში ( $\alpha_g=0-1$ )  $\omega$ -ს ოთხი მნიშვნელობისთვის ( $\eta_{\text{ტლ}}^{(g)}=0.4511$ ,  $\eta_{\text{გე}}=0.981$ )

$\eta_{\text{ტლ}}^{\text{სრ}}$ -სა და  $\eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ}}$ -ის მნიშვნელობები შეტანილია ცხრილში 17; შესაბამისი გრაფიკები აგებულია ნახ. 20-ზე.

ცხრილი 17

$\eta_{\text{ტლ}}^{\text{სრ}}$ -სა და  $\eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ}}$ -ის მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{\text{კეს}} = 0.37$ )

$\alpha_g$	$\eta_{\text{ტლ}}^{\text{სრ}}$	$\eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ}}$
0	0.4511	0.37
0.2	0.5571	0.4570
0.4	0.6631	0.5439
0.6	0.7690	0.6308
0.8	0.8750	0.7177
1.0	0.9810	0.8047



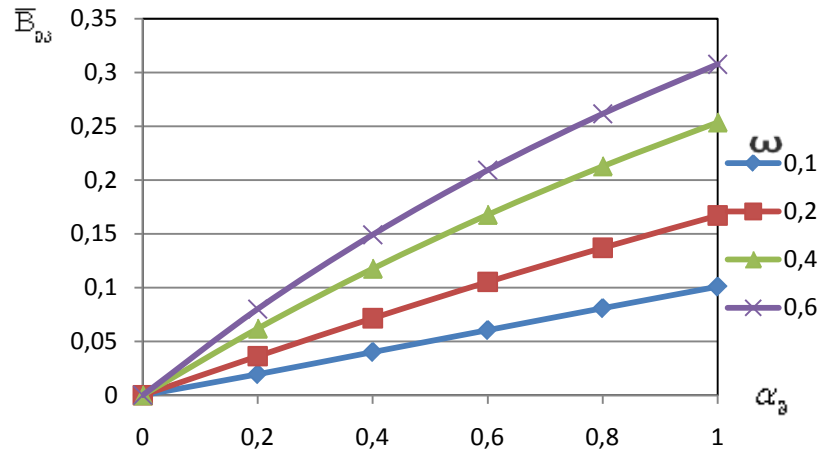
ნახ. 20. ორთქლის ართმევის  $\alpha_g$  წილის გავლენა თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრულ  $\eta_{\text{ტლ}}^{\text{სრ}}$  და თეცის სრულ  $\eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ}}$  მქ კოეფიციენტებზე

ცხრილი 18

$\bar{B}_{\text{კკ}}$ -ს მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{\text{კეს}} = 0.37$ )

$\omega$ \ $\alpha_g$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	0.0195	0.0363	0.0620	0.0802

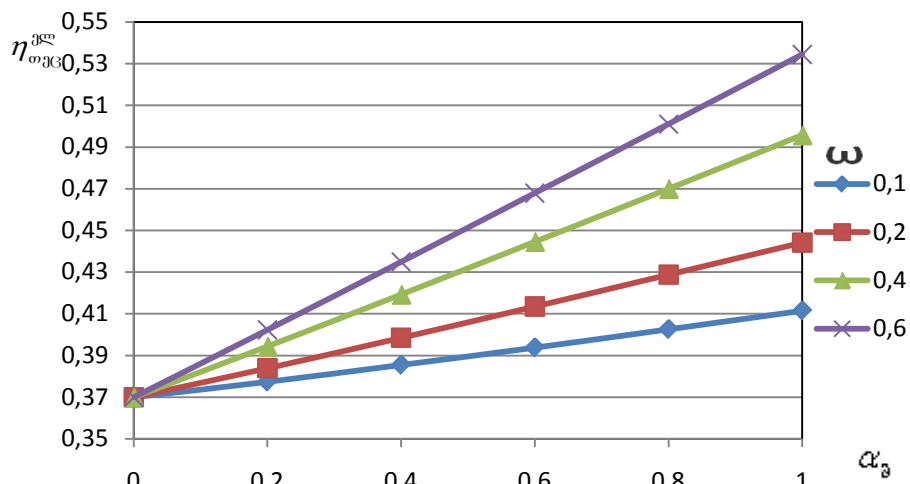
0.4	0.0401	0.0716	0.1177	0.1492
0.6	0.0605	0.1053	0.1678	0.2092
0.8	0.0809	0.1371	0.2129	0.2615
1.0	0.1009	0.1671	0.2537	0.3076



ნახ. 21. გრაფიკი თეცის ფუნქციონირებით გამოწვეული სათბობის ფარდობითი ეკონომიის განსაზღვრისათვის -  $\bar{B}_{\text{გა}} = f(\alpha_{\text{გ}}, \omega)$  (მიღებულია  $\eta_{\text{კეს}} = 0.37$ ,

ცხრილი 19  
 თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე  
 (როცა  $\eta_{\text{კეს}} = 0.37$ )

$\omega \backslash \alpha_{\text{გ}}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0	0.37	0.37	0.37	0.37
0.2	0.3774	0.3839	0.3944	0.4023
0.4	0.3855	0.3985	0.4193	0.4349
0.6	0.3938	0.4135	0.4446	0.4679
0.8	0.4026	0.4288	0.4700	0.5010
1.0	0.4115	0.4442	0.4958	0.5344



ნახ. 22. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება  $\alpha_{\theta}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{კეს} = 0.37, \eta_{საქ} = 0.8$ )

ცხრილი 20

თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები სითბოს გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0.37$ )

$$\eta_{თეც}^{სთ}$$

$\omega$ $\alpha_{\theta}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0	0.8	0.8	0.8	0.8
0.2	0.8159	0.8301	0.8529	0.8697
0.4	0.8334	0.8617	0.9067	0.9403
0.6	0.8515	0.8941	0.9613	1.0116
0.8	0.8704	0.9271	1.0164	1.0833
1.0	0.8979	0.9605	1.0719	1.1554

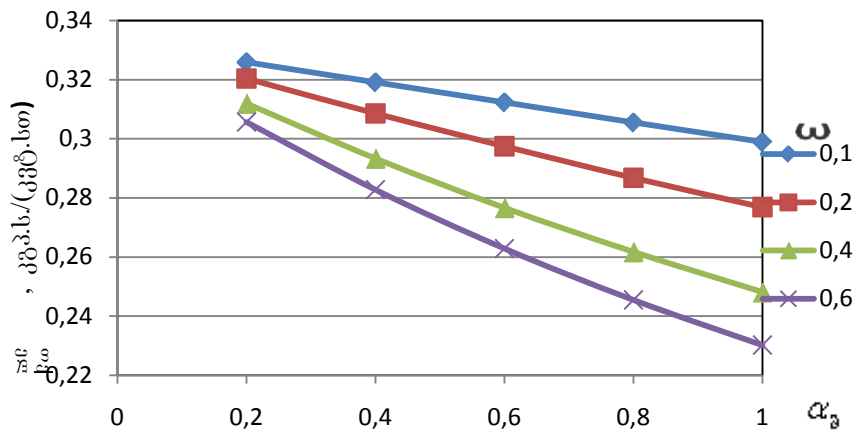
ცხრილი 21

სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0.37$ )

$$b_{თეც}^{მლ}, \text{ კვ.ს.}/(\text{კვტ.სთ})$$

$\omega$ $\alpha_{\theta}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	0.3259	0.3204	0.3119	0.3057
0.4	0.3191	0.3086	0.2933	0.2828
0.6	0.3123	0.2975	0.2766	0.2629
0.8	0.3055	0.2868	0.2617	0.2455
1.0	0.2989	0.2769	0.2481	0.2302



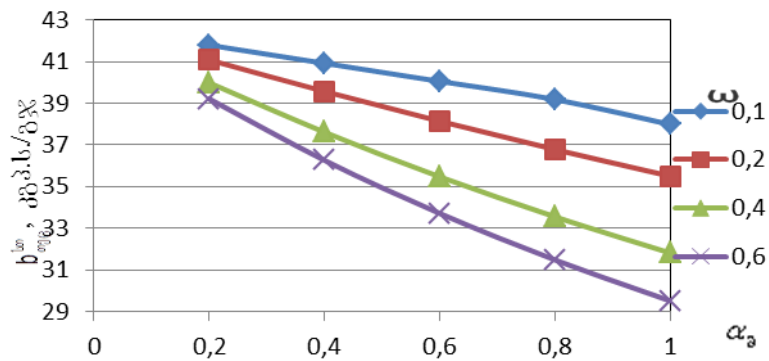


ნახ. 23. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_g$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{კეს} = 0.37$ ,  $\eta_{საქ} = 0.8$ )

ცხრილი 22

სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები სითბოს გამომუშავებაზე  
(როცა  $\eta_{კეს} = 0.37$ )

$\omega$ \ $\alpha_g$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	41.79	40.08	39.98	39.21
0.4	40.92	39.57	37.61	36.26
0.6	40.05	38.14	35.47	33.71
0.8	39.18	36.78	33.55	31.48
1.0	37.98	35.50	31.81	29.51



ნახ. 24. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული სითბოს გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_{\text{გ}}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კეს}} = 0.37, \eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )

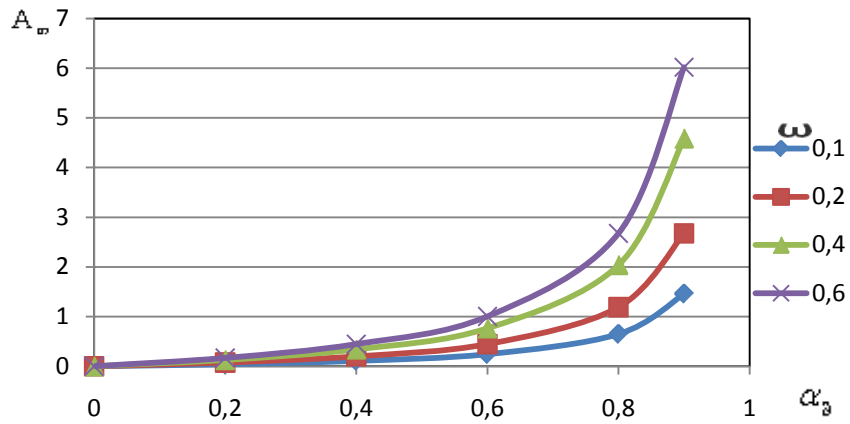
გაგვიანგარიშით პროპორციული მეთოდით ორთქლტურბინული თეცის ეკონომიურობის მაჩვენებლები იმ პირობებისთვის, როდესაც ჩასანაცვლებელი საქვების მქ კოეფიციენტი  $\eta_{\text{საქ}}=0.8$ , ხოლო კონდენსაციური ენერგობლოკის მქ კოეფიციენტი  $\eta_{\text{კეს}}=0.46$ .

ორთქლის ართმევის ენერგეტიკული კოეფიციენტი  $A_{\text{თ}}$  იცვლება 0-დან კონდენსაციურ რეჟიმში ( $\alpha_{\text{გ}}=0$ )  $\infty$ -მდე უკუწნევის რეჟიმში ( $\alpha_{\text{გ}}=1$ ).

ცხრილი 23

$A_{\text{თ}}$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{\text{კეს}} = 0.46$ )

$\omega$ $\alpha_{\text{გ}}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0	0	0	0	0
0.2	0.0405	0.0743	0.1274	0.1672
0.4	0.1081	0.1982	0.3396	0.4458
0.6	0.2431	0.4459	0.7642	1.0030
0.8	0.6483	1.1890	2.0378	2.6747
0.9	1.4588	2.6753	4.5850	6.0182
1.0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$



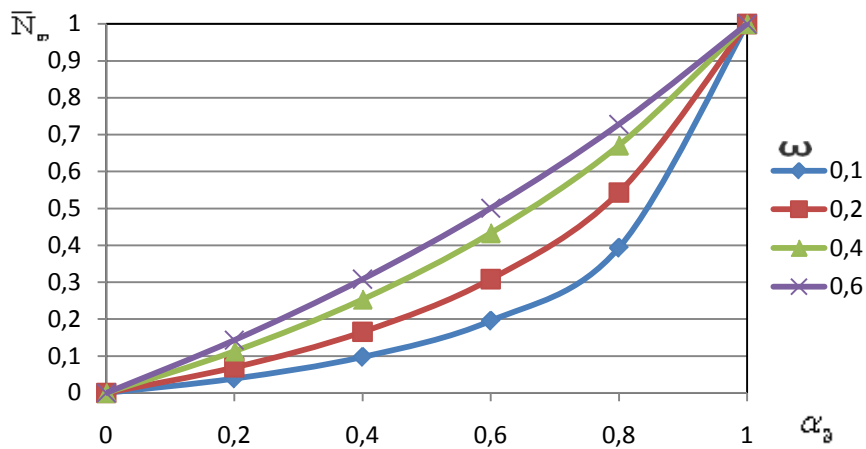
ნახ. 25. ორთქლის ართმევის ენერგეტიკული კოეფიციენტის  $A_{\sigma}$ -ს დამოკიდებულება  $\alpha_{\beta}$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{საქ} = 0.8$ ,  $\eta_{კეს} = 0.46$ )

ცხრილი 24

$\bar{N}_{\sigma}$  სიდიდეები (როცა  $\eta_{კეს} = 0.46$ )

$\bar{N}_{\sigma}$

$\omega$ $\alpha_{\beta}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	0.0389	0.0692	0.113	0.1432
0.4	0.0975	0.1654	0.2535	0.3083
0.6	0.1955	0.3084	0.4332	0.5007
0.8	0.3933	0.5432	0.6708	0.7279
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

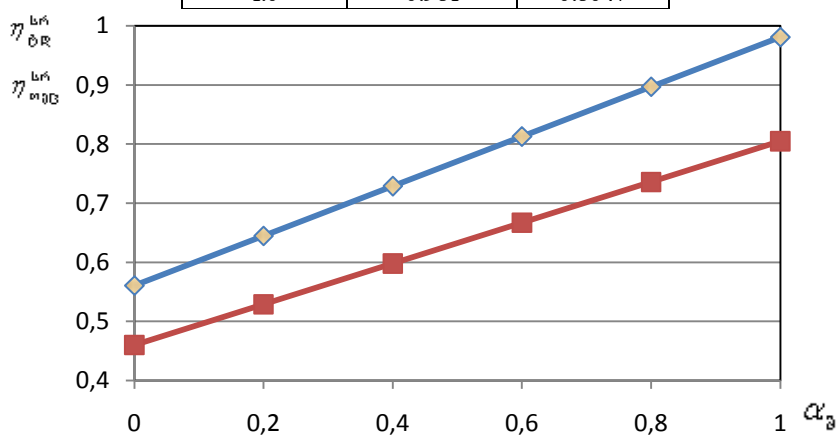


ნახ. 26. ორთქტურბინული დანადგარის ფარდობითი თბოფიკაციური სიმძლავრე სხვადასხვა რეჟიმებში ( $\alpha_g=0-1$ )  $\omega$ -ს ოთხი მნიშვნელობისთვის ( $\eta_{\text{ტღ}}^{(1)}=0,5608$ ,  $\eta_{\text{გე}}=0,981$ )

ცხრილი 25

$\eta_{\text{ტღ}}^{\text{სრ}}$ -სა და  $\eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ}}$ -ის მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{\text{კეს}} = 0.46$ )

$\alpha_g$	$\eta_{\text{ტღ}}^{\text{სრ}}$	$\eta_{\text{თეც}}^{\text{სრ}}$
0	0.5608	0.46
0.2	0.6448	0.5289
0.4	0.7289	0.5979
0.6	0.8129	0.6668
0.8	0.8970	0.7358
1.0	0.981	0.8047



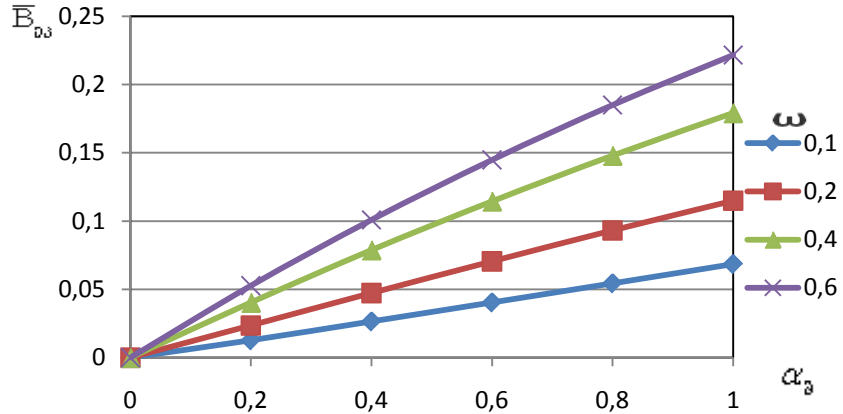
ნახ. 27. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება  $\alpha_g$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კეს}} = 0.46$ ,  $\eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )

ცხრილი 26

$\bar{B}_{\text{კკ}}$ -ს მნიშვნელობები (როცა  $\eta_{\text{კეს}} = 0.46$ )

$\omega$ $\alpha_g$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	0.0127	0.0236	0.0404	0.0527
0.4	0.0265	0.0473	0.0788	0.1009

0.6	0.0404	0.0705	0.1145	0.1448
0.8	0.0544	0.0932	0.148	0.185
1.0	0.0685	0.1149	0.1792	0.2216

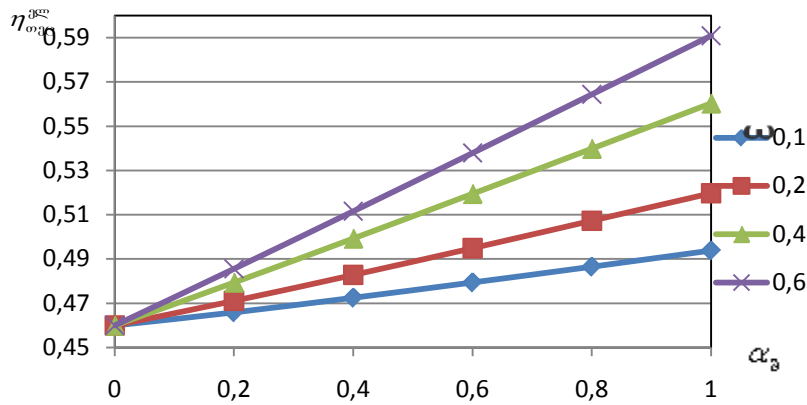


ნახ. 28. გრაფიკი თეცის ფუნქციონირებით გამოწვეული სათბობის ფარდობითი ეკონომიის განსაზღვრისათვის -  $\bar{B}_{\beta} = f(\alpha_{\beta}, \omega)$  (მიღებულია  $\eta_{\text{ეც}} = 0.46$ )

ცხრილი 27  
 თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე  
 (როცა  $\eta_{\text{ეც}} = 0.46$ )

$\eta_{\text{თეც}}^{\text{ელ}}$

$\omega \backslash \alpha_{\beta}$	0.1	0.2	0.4	0.6
0	0.46	0.46	0.46	0.46
0.2	0.4659	0.4711	0.4794	0.4856
0.4	0.4725	0.4828	0.4993	0.5116
0.6	0.4794	0.4949	0.5195	0.5379
0.8	0.4865	0.5073	0.5399	0.5644
1.0	0.4938	0.5197	0.5604	0.5909



ნახ. 29. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე თევსის კერძო მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება  $\alpha_a$  და  $\omega$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{კეს} = 0.46$ ,  $\eta_{საქ} = 0.8$ )

თევსის კერძო მქ კოეფიციენტის სიდიდეები სითბოს გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0.46$ )

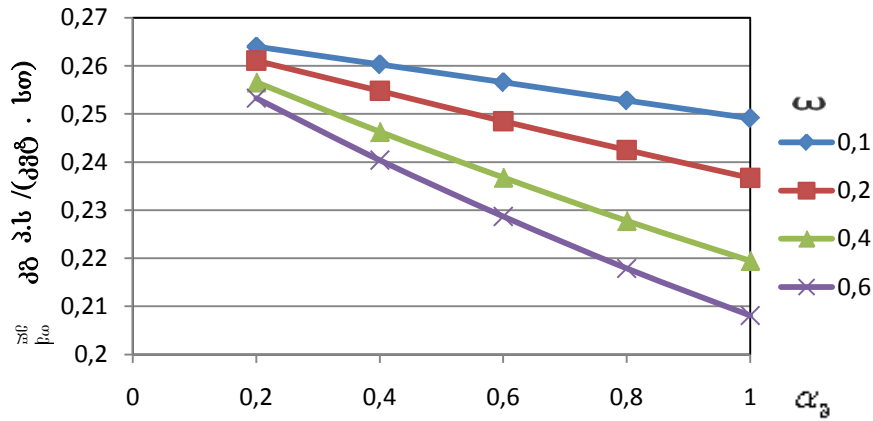
ცხრილი 28

$\omega$ $\alpha_a \square$	0.1	0.2	0.4	0.6
0	0.8	0.8	0.8	0.8
0.2	0.8103	0.8193	0.8337	0.8445
0.4	0.8218	0.8397	0.8684	0.8898
0.6	0.8337	0.8607	0.9034	0.9354
0.8	0.8460	0.8822	0.9390	0.9816
1.0	0.8588	0.9038	0.9746	1.0277

სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე (როცა  $\eta_{კეს} = 0.46$ )

ცხრილი 29

$\omega$ $\alpha_a \square$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	0.2640	0.2611	0.2566	0.2533
0.4	0.2603	0.2548	0.2463	0.2404
0.6	0.2566	0.2485	0.2368	0.2287
0.8	0.2528	0.2425	0.2278	0.2179
1.0	0.2491	0.2367	0.2195	0.2081



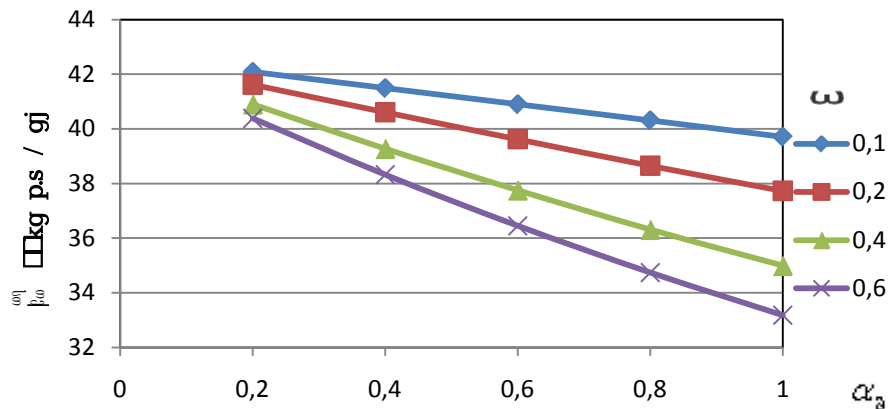
ნახ. 30. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_g$  და  $\lambda$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კეს}} = 0.46$ ,  $\eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )

ცხრილი 30

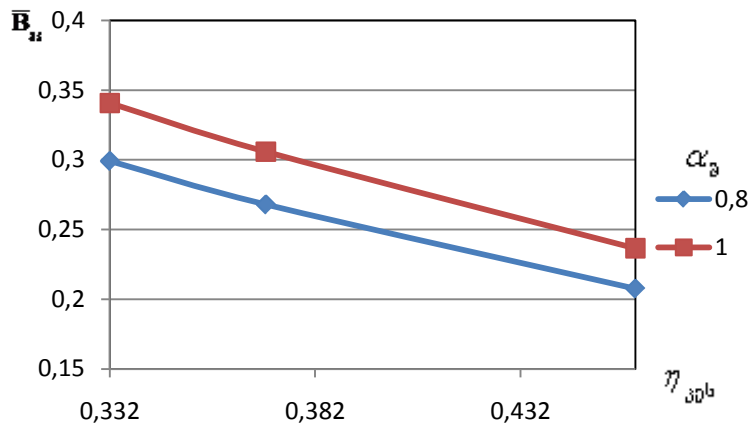
სათბობის კუთრი ხარჯების მნიშვნელობები სითბოს გამომუშავებაზე  
(როცა  $\eta_{\text{კეს}} = 0.46$ )

$b_{\text{თეც}}^{\text{სთ}}$ , კგ.პ.ს/გჯ

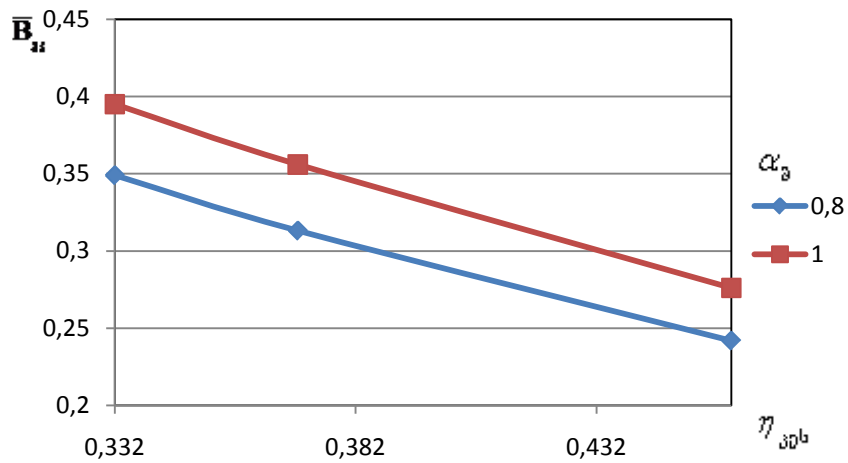
$\lambda$ $\alpha_g$	0.1	0.2	0.4	0.6
0.2	42.08	41.62	40.90	40.38
0.4	41.49	40.61	39.27	38.32
0.6	40.90	39.62	37.75	36.45
0.8	40.31	38.65	36.31	34.74
1.0	39.71	37.73	34.99	33.18



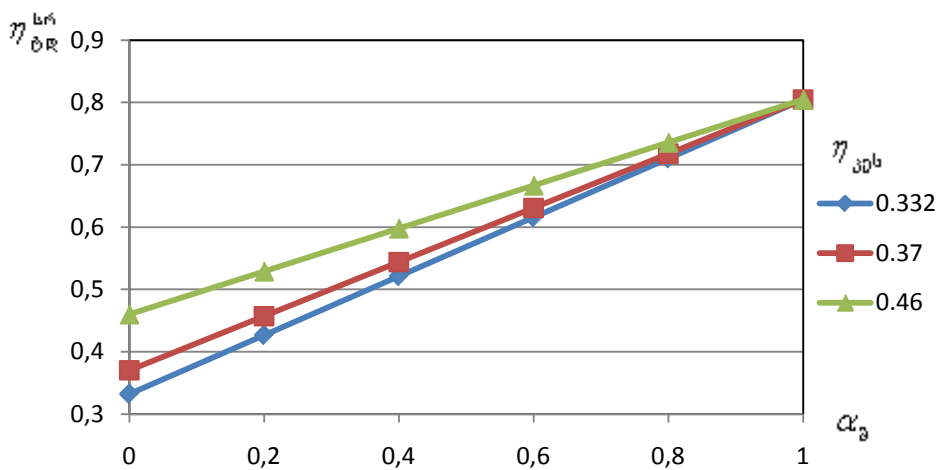
ნახ. 31. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული სითბოს გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება  $\alpha_g$  და  $\lambda$  პარამეტრებზე (მიღებულია  $\eta_{\text{კეს}} = 0.46$ ,  $\eta_{\text{საქ}} = 0.8$ )



ნახ. 32. სათბობის ფარდობითი ეკონომიის დამოკიდებულება ორთქლტურბინულ თეც-ში ჩასანაცვლებელი კეს-ის მქ კოეფიციენტზე (მიღებულია  $\omega = 0.4$ )



ნახ. 33. სათბობის ფარდობითი ეკონომიის დამოკიდებულება ორთქლტურბინულ თეც-ში ჩასანაცვლებელი კეს-ის მქ კოეფიციენტზე (მიღებულია  $\omega = 0.6$ )





ნახ. 34. ოტდ-თეცის სრული მქ კოეფიციენტის ორთქლის ართმევის წილზე დამოკიდებულება

ნახ. 32-ში წარმოდგენილია სათბობის ფარდობითი ეკონომიის დამოკიდებულება ენერგოსისტემაში ჩასანაცვლებელი კესის მქ კოეფიციენტზე სხვადასხვა პირობებში, სხვადასხვა პირობებში,  $\eta_{კეს}$  იცვლება 0,332-დან 0,46 დიაპაზონში,  $\alpha_{წ-ის}$  ორი მნიშვნელობისთვის (0,8 და 1) და  $\alpha-ს$  ორი სიდიდისათვის (0,4 და 0,6).

## 2.4. კოგენერაციაში კეს-ის ტურბინების გამოყენების ეფექტურობა

კოგენერაცია თეც-ში წარმოადგენს მომხმარებლების ენერგომომარაგების გაცილებით ეფექტურ საშუალებას, ვიდრე განცალკევებულ სქემებთან (კეს-ი და რაიონული საქვებზე). ამასთან ერთად კომბინირებული ენერგომომარაგება მცირე თბური დატვირთვების დროს მომხმარებლებისათვის შეიძლება განხორციელდეს კეს-დან სითბოს გაცემით ტურბინის არარეგულირებადი ართმევიდან.

კეს-ის მუშაობის ეფექტურობას, როცა ხდება მომხმარებელზე ორი სახის ენერჯის (თბური და ელექტრული) მიწოდება, აფასებდნენ მოძველებული ფიზიკური მეთოდით. დღეისათვის თეც-ის ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშება ფიზიკური მეთოდით შეცვლილია OPIPC-ის მეთოდით, რომელიც ეფუძნება მომხმარებელზე მიწოდებული და უკან დაბრუნებული ორთქლის ენერგოდირებულებით. [38] სტატიაში მოცემულია მცდელობა ამ მეთოდით შეფასდეს კეს-ის ეფექტურობა.

თბილსრესის ენერგობლოკის სქემა მოცემულია ნახ. 35-ზე.

(ციფრები მიუთითებს ართმევების ნომრებს). ტურბინა K-150-130 შედგება მ.წ.ც და ორნაკადიანი დ.წ.ც-გან. ორთქლის საწყისი პარამეტრებია:

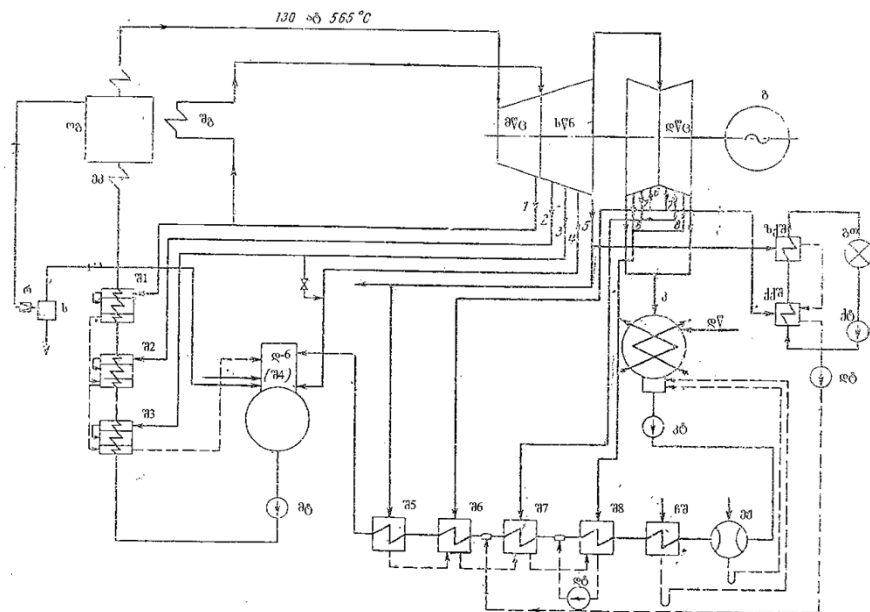
$p_0 = 12,75$  მგპა,  $t_0 = 565^{\circ}C$ . შუალედური გადახურების პარამეტრებია:

$p'_{შგ} = 2,793$  მგპა,  $t'_{შგ} = 565^{\circ}C$ . კონდენსატორში ორთქლის წნევა

$p_3 = 0,00343$  მგპა. საკვები წყლის ტემპერატურა -  $229^{\circ}C$ . ენერგობლიკი

მუშაობს აირად სათბობზე; ქვების რეალური მქ კოეფიციენტი შეადგენს 90%-ს, თუმცა საანგარიშო სიდიდე შეადგენს 91,4%-ს ბუნებრივ აირზე

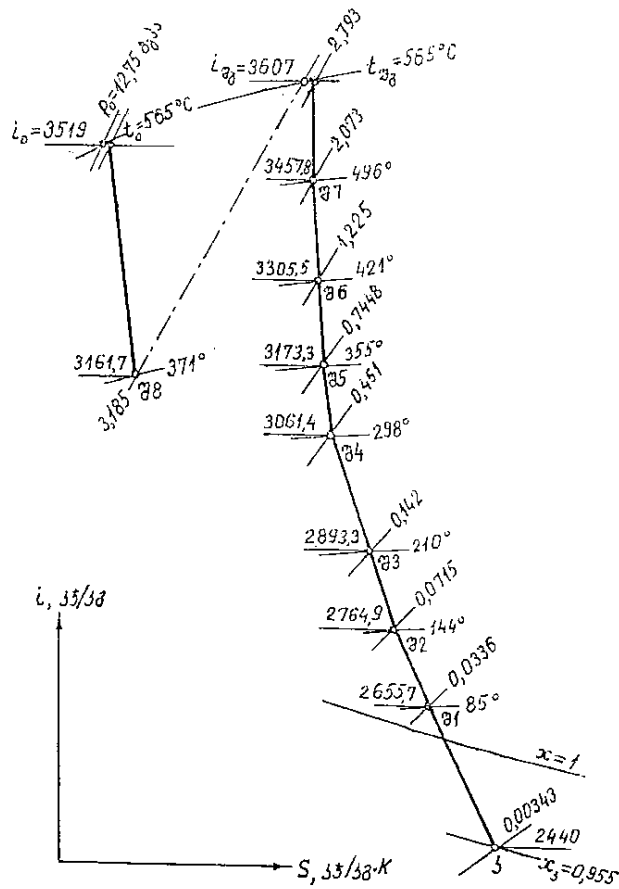
მუშაობისას, ენერგობლოკის საანგარიშო მქ კოეფიციენტი შეადგენს დღევანდელ პირობებში 33,2% კონდენსაციურ რეჟიმში.



ნახ. 35. კონდენსაციური K-150-130 ტურბინის პრინციპული თბური სქემა

თბურ სქემაში არის ორთქლის არარეგულირებადი ართმევა, დ.წ.ც.-დან პარამეტრებით  $p_s = 0,142$  მგპა,  $t_s = 210^{\circ}C$ . ამ ორთქლით ხდება PCB-500-23 ტიპის შემთბობში ქსელის წყლის შეთბობა. ქსელის წყლის ხარჯი არის 376 მ<sup>3</sup>/სთ-ში. თბური დატვირთვა ამ დროს შეადგენს  $Q_m = 25,14$  მგგტ, ქსელის ტემპერატურული გრაფიკი კი  $130/70^{\circ}C$  -ია.

ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაანგარიშება მომხმარებელთან გაცემული სითბოს გათვალისწინებით შესრულებულია [38] მეთოდის გამოყენებით.



ნახ. 36. თბური პროცესი K-150-130 ტურბინისთვის is – დიაგრამაზე.

ამასთან ელექტრული მქ კოეფიციენტი ნეტო არის 33,2%, ხოლო სათბობის კუთრი ხარჯი სითბოს გაცემაზე შეადგენს 36,59 კვ/გჯ. ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაანგარიშება შესრულებულია OPIPC-ის [39] მეთოდით, როგორც პირობითი ისე ნატურალური სათბობისათვის. ბლოკის ნომინალური ელექტრული სიმძლავრე  $N_{ელ} = 150$  მგვტ. ამჟამად №3 და №4 ენერგობლოკების ფიზიკური და მორალური მოძველების გამო მათ რეალურ სიმძლავრედ მიღებულია 130±135 მგვტ. ჩვენ გაანგარიშებაში ავიღეთ 133 მგვტ. ელექტროენერჯის ხარჯს საკუთარ მოხმარებაზე ვიღებთ  $\Delta_{ს.ა} = 5\%$ .

ტურბინაზე ორთქლის ხარჯი მოხმარებლებზე მიწოდებული სითბოს ხარჯის გათვალისწინებით გაიანგარიშება ფორმულით:

$$D_0 = k_6 \left( \frac{N_{ელ} \cdot 10^3}{H_i \cdot \eta_a \cdot \eta_b} + y_m D_m \right), \quad (42)$$

სადაც,  $k_6$  – არის რეგენერაციის კოეფიციენტი;  $N_{\text{გლ}}$  – ტურბინის ელექტრული სიმძლავრე;  $H_i$  – ტურბინაში გამოყენებული თბოვარდნა;  $\eta_3$  და  $\eta_6$  – შესაბამისად მექანიკური და გენერატორის მქ კოეფიციენტები.  $y_m$  – უკმარგამომუშავეების კოეფიციენტი;  $D_m$  – ართმეული ორთქლის თბოფიკაციური ხარჯი.

ორთქლის ხარჯი ქსელის შემთბობზე იანგარიშება

$$D_m = \frac{Q_m \cdot 10^3}{(h_3 - h_{j3}) \cdot \eta_{\text{ღან}}}, \quad (43)$$

სადაც  $Q_m$  – არის თბური დატვირთვა,  $h_3$  და  $h_{j3}$  – არის თბოფიკაციური ართმევისას ორთქლისა და კონდენსატის ენთალპია.  $\eta_{\text{ღან}}$  – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დანაკარგებს ქსელის შემთბობში. თუ მივიღებთ, რომ  $Q_m = 25,14$  მგვტ,  $h_3 = 2893,3$  კჯ/კგ,  $h_{j3} = 449,7$  კჯ/კგ,  $\eta_{\text{ღან}} = 0,98$  მივიღებთ  $D_m = 10,5$  ტ/სთ.

ელექტროენერგიის უკმარგამომუშავეების კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით:

$$y_m = \frac{h_3 - h_j}{h_0 - h_j + \Delta h_{\text{გბ}}}, \quad (44)$$

სადაც  $h_0$  და  $h_j$  – არის უხმარი ორთქლისა და ტურბინის კონდენსატორში ორთქლის ენთალპია.  $\Delta h_{\text{გბ}}$  – თბოვარდნის გადიდება ორთქლის შუალედურ გადახურებაზე (მას საზღვრავენ, როგორც გადახურების წინ და მის შემდეგ ენთალპიათა სხვაობით  $\Delta h_{\text{გბ}} = h_0 - h_1 = 3607 - 3161,7 = 445,3$  კჯ/კგ). h-s დიაგრამიდან ავიღოთ ტურბინაში ორთქლის საწყისი ენთალპია  $h_0 = 3607$  კჯ/კგ,  $\Delta h_{\text{გბ}} = 445,3$  კჯ/კგ, მივიღებთ: რომ  $y_m = 0,297$ .

ქვაბაგრეგატზე სითბოს ხარჯი გამოითვლება ფორმულით:

$$Q_{\text{გბ}} = D_0 (h_0 - h_{\text{ს.წ.}}) + D_{\text{თ1}} \Delta h_1, \quad (45)$$

სადაც  $D_{01} = D_0 - D_1$  არის ორთქლის ხარჯი შუალედურ გადახურებაზე.  $D_1$  - არის ორთქლის ხარჯი რეგენერაციულ შემთბობში [40].  $h_{ს.წ.}$  - არის საკვები წყლის ენთალპია. თუ ჩავსვამთ (45) გამოსახულებაში  $D_1 = 113,86$  კგ/წმ და შესაბამის ენთალპიებს  $h_0 = 3519$  კჯ/კგ,  $h_{ს.წ.} = 993$  კჯ/კგ,  $\Delta h_{შბ} = 445,3$  კჯ/კგ, მივიღებთ  $Q_{შბ} = 353,1$  მგვტ.

ქვაბაგრეგატში დამწვარი სათბობის ხარჯი იქნება

$$B = \frac{Q_{შბ} \cdot 10^3}{\eta_{საქ} \cdot Q_{ულ}^{\text{მ}}}, \quad (46)$$

სადაც  $\eta_{საქ}$  - არის ქვაბაგრეგატის მქ კოეფიციენტი,  $Q_{ულ}^{\text{მ}}$  - არის პირობითი სათბობის დაწვის უდაბლესი სითბო, როცა  $Q_{შბ} = 353,1$  მგვტ,  $\eta_{საქ} = 0,9$ , მაშინ  $Q_{ულ}^{\text{მ}} = 29300$  კჯ/კგ გვაქვს  $B = 13,39$  კგ/წმ.

სითბოს დანაკარგების ქვაბიდან ტურბინამდე ორთქლის ტრანსპორტირებისას, აგრეთვე ორთქლის გაპარვების გამო თბურ სქემაში ( $\eta_{ტრ} = 0,98$ ) სითბოს ხარჯი ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე იქნება ტოლი:  $Q_{ელ} = Q_{შბ} \cdot \eta_{ტრ} - Q_{თ} = 353,126 \cdot 0,98 - 25,14 = 321$  მგვტ.

ელექტროენერგისა და თბური ენერგიის კომბინირებული გამომუშავებისას დამატებითი ეკონომია ტოლია  $\Delta Q_{ელ} = Q_{თ}(1 - \xi_{თ})$ , სადაც  $\xi_{თ}$  არის თბოფიკაციისთვის გამოყენებული არარეგულირებადი ართმევის სითბოს ღირებულების კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით:

$$\xi_{თ} = y_{თ} \left( 1 + k_{სქ} \frac{h_0 - h_3 + \Delta h_{შბ}}{h_0 - h_3 + \Delta h_{შბ}} \right) = 0,297 \cdot \left( 1 + 0,44 \cdot \frac{3519 - 2893,3 + 445,3}{3519 - 449,6 + 445,3} \right) = 0,337. \quad (47)$$

აქ მიღებულია, რომ სქემური კოეფიციენტი  $k_{სქ} = 0,44$ ,  $y_{თ} = 0,297$  და შესაბამის ენთალპიათა მნიშვნელობები  $h_0$ ,  $h_3$  და  $\Delta h_{შბ}$ , მაშინ  $\Delta Q_{ელ} = 25,14 \cdot (1 - 0,337) = 16,67$  მგვტ.

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე დახარჯული სათბობის წილს, გამოითვლება ფორმულით

$$k_{\text{ელ}} = \frac{Q_{\text{ელ}} + \Delta Q_{\text{ელ}}}{Q_{\text{ელ}} + \Delta Q_{\text{ელ}} + Q_{\text{თ}}} \quad (48)$$

ჩავსვათ ამ ფორმულაში  $Q_{\text{ელ}} = 321$  მგვტ,  $\Delta Q_{\text{ელ}} = 16,67$  მგვტ და  $Q_{\text{თ}} = 25,14$  მგვტ, მივიღებთ  $k_{\text{ელ}} = 0,931$ . ამასთან სათბობის ხარჯი ელექტროენერგიისა და სითბოს გამომუშავებაზე იქნება ტოლი  $B_{\text{ელ}} = Bk_{\text{ელ}} = 13,39 \cdot 0,931 = 12,47$  კვ/წმ, როცა  $\eta_{\text{საქ}} = 0,9$ .

კეს-ის მქ კოეფიციენტი ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე  $\eta_{\text{ელ}}$  და სათბობის კუთრი ხარჯები ორივე სახის ენერგიის გამომუშავებაზე -  $b_{\text{ელ}}$  და  $b_{\text{თ}}$  განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\eta_{\text{ელ}} = \frac{N_{\text{ელ}} \cdot (1 - \mathcal{A}_{\text{ს.მ}})}{B_{\text{ელ}} Q_{\text{ელ}}^{\text{მ}}} = \frac{133000 \cdot (1 - 0,06)}{12,47 \cdot 29300} = 0,3424; \quad (49)$$

$$b_{\text{ელ}} = 0,123 / \eta_{\text{ელ}} = 0,3592 \text{ კვ}/(\text{კვტ}\cdot\text{სთ}); \quad (50)$$

$$b_{\text{თ}} = B_{\text{თ}} \cdot 10^3 / Q_{\text{თ}} = 36,59 \text{ კვ}/\text{გვ}, \quad (51)$$

სადაც  $\mathcal{A}_{\text{ს.მ}}$  - არის კეს-ის საკუთარ მოხმარებაზე დახარჯული ელექტროენერგიის წილი (მიიღება 5%).

კეს-ის მოცემული პარამეტრებით თეც-ის ფიზიკური მეთოდით ანგარიშმა გვიჩვენა, რომ  $\eta_{\text{ელ}} = 0,3424$ ;  $b_{\text{ელ}} = 0,3592$ ;  $b_{\text{თ}} = 36,59$  კვ/გვ.

ცხრილი 31

თბილსრესის ენერგობლოკის კოგენერაციის მიზნით გამოყენების ეფექტურობის მაჩვენებლები

$N_{\text{ელ}}, \text{მგვტ}$	$\eta_{\text{საქ}}$	ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები		
		$\eta_{\text{ელ}}$		
133	0,9	$\eta_{\text{ელ}}$	-	0,3424
		$b_{\text{ელ}}$	კვპ.ს/(კვტ.სთ)	0,3592
		$b_{\text{თ}}$	კვპ.ს/გვ	36,59
150	0,914	$\eta_{\text{ელ}}$	-	0,3922
		$b_{\text{ელ}}$	კვპ.ს/(კვტ.სთ)	0,3136
		$b_{\text{თ}}$	კვპ.ს/გვ	36,20

31-ე ცხრილში მოცემულია თეც-ის და კეს-ის ანგარიში პირობითი და ნატურალური სათბობისათვის, როცა მქ კოეფიციენტი აიღება 0,9 და 0,914.

განვსაზღვროთ სათბობის ფარდობითი ეკონომია კონდენსაციური ტურბინის თბოფიკაციურად გადაკეთების გამო - ენერგომომარაგების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით.

$$B_{კეს} = \frac{133000}{0.332 \cdot 29300} = 13,6 \text{ კგპ.ს./წმ},$$

$$B_{საქ} = \frac{25140}{0,9 \cdot 29300} = 0,953 \text{ კგპ.ს./წმ}.$$

$$B_{განც} = 13,6 + 0,953 = 14,553 \text{ კგპ.ს./წმ},$$

$$\bar{B}_{კეს} = \frac{14,553 - 13,39}{14,553} = 0,0799 = 0,08.$$

ამავე ფორმულებით (32), (46) ვიანგარიშეთ სათბობის ფარდობითი ეკონომია, როცა  $N_{ჯლ} = 150$  მგვტ და  $\eta_{საქ} = 0,914$  და გაანგარიშების შედეგად მივიღეთ:  $B_{საქ} = 0,939$  კგპ.ს./წმ,  $B_{განც} = 16,21$  კგპ.ს./წმ,  $\bar{B}_{კეს} = 0,186$

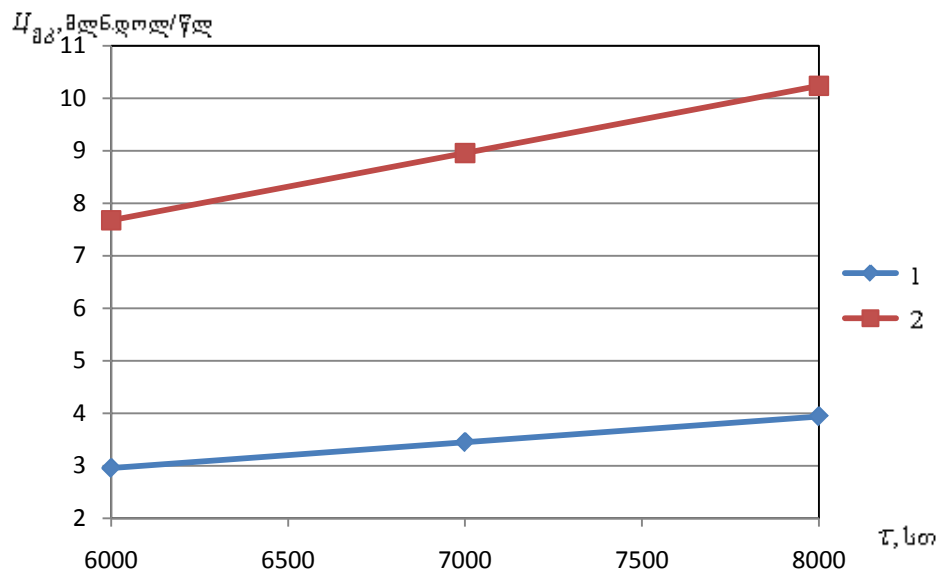
$$B_{კეს} = 15,27 \text{ კგპ.ს./წმ}.$$

კონდენსაციური ტურბინების გამოყენება კოგენერაციისთვის განხილულ ორ შემთხვევაში გვაძლევს სათბობის ფარდობით ეკონომიას ა) 8 % და ბ) 18,6 %.

განვსაზღვროთ პირობითი სათბობის და ბუნებრივი აირის წლიური ეკონომია და ფულადი სახსრების სათანადო ეკონომია შემდეგი ვარიანტებისთვის: როცა 1- $N_{ჯლ} = 133$  მგვტ,  $\eta_{ბლ} = 33,2$  % და 2- $N_{ჯლ} = 150$  მგვტ,  $\eta_{ბლ} = 33,53\%$  იმ პირობებში, როცა ენერგობლოკის მუშაობის წლიური ხანგრძლივობა შეადგენს:  $\tau=6000$  სთ,  $\tau=7000$  სთ,  $\tau=8000$  სთ.

ბუნებრივი აირის და მის შექმნაზე ფულადი სახსრების ეკონომიის მაჩვენებლები

სიდიდე	განზომილება	τ, სთ					
		6000		7000		8000	
$N_{ბლ}$	მგვტ	133	150	133	150	133	150
$\eta_{ბლ}$	%	33,2	33,53	33,2	33,53	33,2	33,53
$B_{კ(პ.ს)}^{წლ}$	კპ.ს./წლ	$25,12 \cdot 10^6$	$65,23 \cdot 10^6$	$29,31 \cdot 10^6$	$76,10 \cdot 10^6$	$33,49 \cdot 10^6$	$86,98 \cdot 10^6$
$B_{კ(აირ)}^{წლ}$	მპ/წლ	$20,67 \cdot 10^6$	$53,69 \cdot 10^6$	$24,12 \cdot 10^6$	$62,64 \cdot 10^6$	$27,56 \cdot 10^6$	$71,58 \cdot 10^6$
$U_{კ}^{წლ}$	მლნ.დოლ/წლ	$2,96 \cdot 10^6$	$7,68 \cdot 10^6$	$3,45 \cdot 10^6$	$8,96 \cdot 10^6$	$3,94 \cdot 10^6$	$10,24 \cdot 10^6$



ნახ. 37. სათბობის წლიური ეკონომიის ღირებულების დამოკიდებულება ენერგობლოკის მუშაობის წლიურ ხანგრძლივობაზე, როცა  $u_s = 0,143$  დოლ/მ<sup>3</sup> და 1 -  $N_{კლ} = 133$  მგვტ,  $\eta_{ბლ} = 33,2$  % და 2 -  $N_{კლ} = 150$  მგვტ,  $\eta_{ბლ} = 33,53$  %

პირველ შემთხვევაში ბუნებრივი აირის შექმნაზე წლიური ეკონომია შეადგენს 3÷4 მლნ. დოლ/წლ, მეორე ვარიანტში ეს ეკონომია გაცილუ-



ბით მეტია და იცვლება დიაპაზონში 7,7÷10,2 მლნ. დოლ/წლ.

### თავი III. აირტურბინული დანადგარების და შიგაწვის ძრავების გამოყენება კოგენერაციაში

#### 3.1. სხვადასხვა ტიპის თეცების ზოგადი დახასიათება და ენერგეტიკული ეფექტურობის შედარებითი ანალიზი

აირტურბინული თეცების გამოყენების შესაძლებლობის განხილვის აქტუალურობა გამოწვეულია უპირველესყოვლისა ენერგოსისტემებში მაღალეკონომიური ელექტროსადგურების შექმნის აუცილებლობით, რომლებსაც ექნებათ მაღალი მანევრირების თვისებები, ასევე იმასთან დაკავშირებით, რომ სულ უფრო მწვავედ დგას პრობლემები შედარებით პატარა ქალაქების თბური დატვირთვის დასაფარავად.

აირტურბინული დანადგარები ადრე ძირითადად ელექტრული დატვირთვის ცვლადი ნაწილის დასაფარავად გამოიყენებოდა [28]. აირტურბინული დანადგარების თბური ეკონომიურობა მნიშვნელოვნად იზრდება, როცა წარმავალი აირების სითბოს იყენებენ თბომომარაგების მიზნებისთვის.

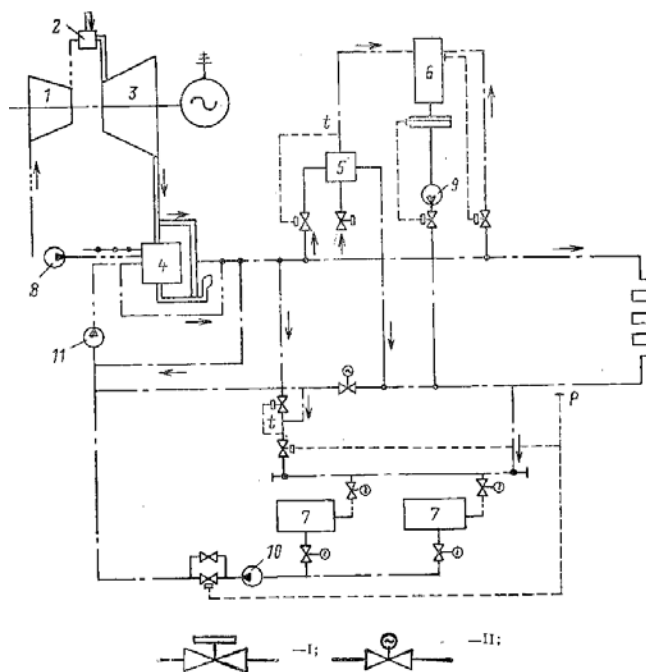
აირტურბინული დანადგარები კოგენერაციულ სისტემებში შეიძლება გამოვიყენოთ: 1) ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში ცვლადი ელექტრული დატვირთვების გადასაფარავად, როგორც სამანევრო დანადგარები. 2) როგორც ბაზისური დანადგარები ზომიერი ელექტრული სიმძლავრით.

აირტურბინულ თეცის გამოყენების ოპტიმალური არეების განსაზღვრისათვის აუცილებელია გამოვავლინოთ მათი ეფექტურობა ქალაქებისა და სამრეწველო ცენტრების განცალკევებული სქემით ენერგომომარაგებასთან შედარებით.

თბომომარაგების სისტემებში ატდ-ების გამოყენება უზრუნველყოფს ეკონომიურობის მნიშვნელოვნად ამაღლებას: მქ კოეფიციენტი იზრდება 35 ÷ 38%-დან (მათი ავტონომიურად მუშაობისას) 60 ÷ 80%-მდე,

ე.ი. ეკონომიურობის მაჩვენებლები უახლოვდება თანამედროვე ორთქლტურბინულ თეცების მაჩვენებლებს (ზოგჯერ აჭარბებს კიდევ). უნდა აღინიშნოს, რომ სათბობის გამოყენების მქ კოეფიციენტი სრულად არ ახასიათებს თბოფიკაციური ატდ-ების თბურ ეკონომიურობას, სათბობის გამოყენების მქ კოეფიციენტი ნაკლებადაა დამოკიდებული დანადგარის ელექტრულ მქ კოეფიციენტზე  $\eta_{ელ}$  და შესაბამისად მის ელექტრულ სიმძლავრეზე თბოფიკაციური ატდები-სათვის, ისევე როგორც სხვა სახის თბოფიკაციური ენერგოდანადგარებისათვის, ეკონომიურობის ძირითად მაჩვენებლად ითვლება სათბობის ეკონომია 1 მგვტ თბური დატვირთვაზე განცალკევებულ სქემით მომუშავე დანადგართან შედარებით.

სათბიერებელი ატ-თეცის პრინციპული სქემა მოცემულია ნახ. 38-ზე წარმავალი აირების სითბოს უტილიზაცია ხდება ქსელის წყლის აირშემთბობში, რომელიც გათვლილია ქსელის წყლის შეთბობაზე საჭირო ტემპერატურამდე.



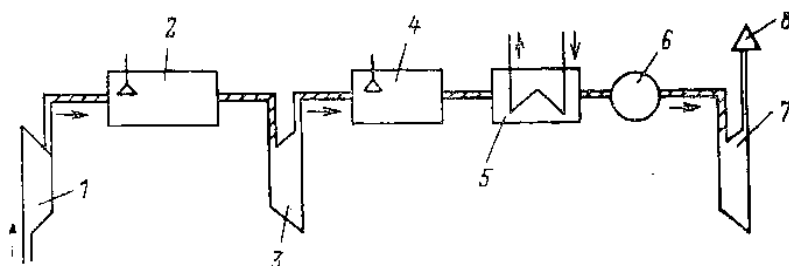
ნახ. 38. ნახევრადპიკური აირტურბინული თეცის პრინციპული სქემა

- · — · — ქსელის წყალი; — · · — · ხისტი წყალი; — · · · · · პაერი; — · — · —
- — — სათბობი; — — — — — ნამწვი აირები; იმპულსური საზები;
- — — ტემპერატურა; p-წნევა;

I-რეგულატორი, II-ურდული ელექტროამძრავით; 1-კომპრესორი; 2-წვის კამერა; 3-აირის ტურბინა; 4-ქსელის წყლის აირული შემთბობი; 5-წყალ-წყლიანი შემთბობი; 6-ვაკუუმური დეაერატორი; 7-აკუმულატორული ავზები; 8-შემბერი ვენტილატორი; 9-დამატებითი წყლის ტუმბო; 10-მარეგულირებელი ტუმბო; 11-ქსელის ტუმბო

შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ აირტურბინული დანადგარისთვის წარმავალი აირების არსებული ტემპერატურის დონის დროს თეცის მახასიათებლები პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული თბოგადამტანის ტემპერატურაზე, რაც ქმნის იმის წინაპირობას, რომ გადავიდეთ თბური ქსელის უფრო მაღალი ტემპერატურულ გრაფიკზე და შევამციროთ ქსელის წყლის ხარჯი, რაც გამოიწვევს თბური ქსელების გათბობას. მომხმარებლის საიმედო თბომომარაგების უზრუნველყოფისათვის, კოგენერაციის ოპტიმალური კოეფიციენტის პირობებში, ქსელის წყლის აირულმა შემთბობმა უნდა უზრუნველყოს სითბოს გაცემა შემდეგ ძირითად რეჟიმებში: საუტილიზაციო რეჟიმში სათბობის დამატებითი მიწოდების გარეშე; ავტონომიურ რეჟიმში, როცა სათბობი იწვის ცივი ჰაერის მასაში; ციკლში სათბობის დამატებითი მიწოდებით და მისი დაწვით ან წარმავალ აირების არეში (თუ მათში საკმარისია ჟანგბადის რაოდენობა) ან კიდევ ცივ ჰაერში წვით, როცა ცივი ჰაერის მიწოდება ხდება ავტონომიური რეჟიმის ვენტილატორიდან.

განვიხილოთ ატ-თეცის უმარტივესი სქემა, რომელიც მოცემულია ნახ. 39-ზე.



ნახ. 39. თბომარეგულირებელი ენერგოდანადგარის უმარტივესი პრინციპული სქემა წარმავალი აირების ღრმა გაცივებით  
1-კომპრესორი; 2-წვის კამერა; 3-აირის ტურბინა; 4-დამატებითი წვის კამერა; 5-დაწნეითი ეკონომიზერი; 6-წვეთოვანი ტენის სეპარატორი; 7-ტურბოდეტანდერი; 8-ატმოსფეროში გაფრქვევა

ასეთი თეცის ძირითადი თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ წვის პროდუქტების სითბოს დაწნეითი უტილიზაცია თბომარეგულირებელი

ბელ მოწყობილობაში ხდება მაღალი და დაბალი წნევის აირის ტურბინებს შორის ტრაქტში. მაღალი წნევის აირის ტურბინა გამოიყენება კომპრესორის ასამუშავებლად, ხოლო დაბალი წნევის აირტურბინა (ტურბოდეტანდერი) - ელექტროგენერატორის ასაძრავად, როცა ის ცალკე ლილვზე არის განთავსებული. ასეთი ტიპის დანადგარში სითბოს უტილიზაცია უზრუნველყოფს გადიდებულ თბურ ეკონომიურობას, რადგან გამოიყენება სათბობის დაწვის უმაღლესი სითბო. ამრიგად ატმეცი წარმატალი აირების ღრმა გაცივების ენერგოდანადგარებით წარმოადგენს ფაქტიურად ახალი ტიპის საქვებს, რომელიც გამოირჩევა ჩვეულებრივისაგან გადიდებული ეკონომიურობით.

ასეთი დანადგარებიდან მომხმარებლებზე სითბოს გაცემის რეგულირება შეიძლება განხორციელდეს ატდ-ის წვის კამერაში წყლის ან ორთქლის შეფრქვევით. ორთქლწარმოქმნის ფარული სითბოს შემდგომი გამოყენებით ან სათბობის წვის განხორციელებით წარმატალი აირებში მაღალი წნევის აირტურბინის შემდეგ. ასევე შესაძლებელია აღნიშნული მეთოდების კომბინაცია, რაც უზრუნველყოფს ატდ-ის შედარებით სტაბილურ მუშაობას. ერთდროულად ხდება აზოტის ოქსიდების წარმოშობის ჩახშობა. შესაძლებელია შეიქმნას განხილული ტიპის დანადგარები 10-25 მგვტ სიმძლავრის აგრეგატების ბაზაზე, რომლებიც გამოიყენება მაგისტრალურ გაზსადენებზე კომპრესორების გაზგადასაქაჩი მოწყობილობის ასაძრავად. ამისთვის კი საჭირო იქნება ამ აგრეგატების კორპუსისა და ძალური ტურბინის გარკვეული მოცულობის მოდერნიზაციის ჩატარება.

ახალი ტიპის ატ-თეცის შექმნა უზრუნველყოფს პირობითი სათბობის წლიურ ეკონომიის დაახლოებით 125 ტ 1 მგვტ მიერთებულ თბურ დატვირთვაზე, ანუ 20-25%.

თბოფიკაციური ატდ-ების მაღალი თბური ეკონომიურობა და ზომიერი კუთრი კაპიტალდაბანდება განსაზრვრავს მათი გამოყენების ეფექტურობას. ამასთან ეფექტურობის მაჩვენებელი დამოკიდებული იქნება ატ-თეცის დანიშნულებაზე, მიერთებულ თბურ დატვირთვაზე, მოწყობილობათა შემადგენლობაზე და ატდ-ის ელექტრული სიმძლავრის

განთავსების პირობებზე ელექტროენერგეტიკული სისტემის ჯამურ გრაფიკში.

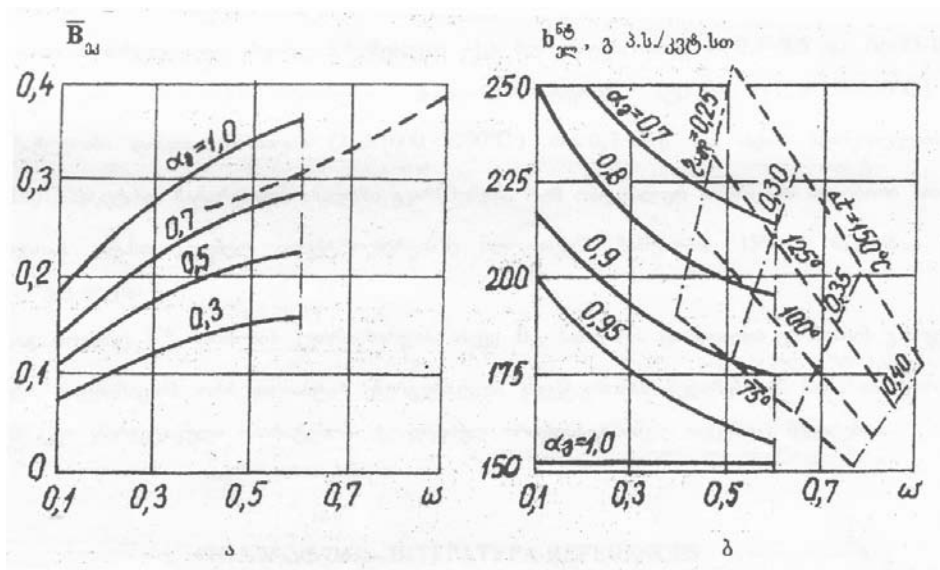
მოცემული რაიონის ენერგომომარაგების ოპტიმალური ვარიანტის შესარჩევად საჭიროა სხვადასხვა ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების განსაზღვრა და შედარება. ამას წინ უნდა უძღოდეს ენერგომომარაგების სხვადასხვა მეთოდების ენერგოეფექტურობის შედარებითი ანალიზის ჩატარება.

კოგენერაციული სისტემების ორი ვარიანტი – აირტურბინული ბლოკ-თეცების და უკუწნევიანი ტურბინებით აღჭურვილი ორთქლტურბინული თეცების ენერგოეფექტურობა შედარებულია ლიტერატურაში [32,41]. შედარების ძირითად კრიტერიუმად მიღებულია სათბობის ფარდობითი ეკონომია  $\overline{B}_{33}$ , ენერგომომარაგების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით. ნახ. 40 (ა)-ზე შედარებულია სათბობის ფარდობითი ეკონომია  $\overline{B}_{33} = f(\omega)$ , რომელიც მიიღწევა ენერგოსისტემაში აღნიშნული ორი ტიპის თეცის ფუნქციონირებისას. წყვეტილი ხაზით მოცემულია [42]-ში გამოთვლილი დამოკიდებულება აირტურბინული ბლოკ-თეცისათვის, როცა  $\eta_{33} = 0,37$  და  $\eta_{საქ} = 0,8$ . როგორც ვხედავთ,  $\overline{B}_{33}^{\max}$  ამ პირობებში ~40% (როცა  $\omega \cong 0,9$ ) აღწევს. უწყვეტი ხაზებით ნაჩვენებია  $\overline{B}_{33} = f(\omega)$  დამოკიდებულების (2) მრუდები ჩვეულებრივი თეცისათვის ორთქლის ართმევის  $\alpha_a$  წილის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის. ოპტიმალურ პირობებში ( $\omega = 0,5-0,6$ ,  $\alpha_a = 0,9-1,0$ ) ორთქლტურბინული თეცი უზრუნველყოფს სათბობის მაქსიმალურ საანგარიშო ეკონომიას, 35-37%. სინამდვილეში, მთელი რიგი მიზეზების გამო (რომელთა გავლენა განაწილებულია [43]-ში, სათბობის რეალური ეკონომია ნაკლებია. განსაკუთრებით დიდ გავლენას ახდენს მაგისტრალური თბოქსელების სიგრძე. მცირე  $\omega$ -ს ( $\omega \leq 0,4$ ) და  $\alpha_a$  -ის ( $\alpha_a \leq 0,5$ ) დროს სათბობის საანგარიშო ფარდობითი ეკონომია 20%-ს არ აღემატება, რაც ~25%-ით ნაკლებია, ვიდრე ბლოკ-თეცისათვის ყველაზე არახელსაყრელ პირობებში ( $\omega = 0,3-0,4$ ). უნდა აღინიშნოს, რომ ბლოკ-თეცის მომხმარებლებ-

თან სიახლოვეში განლაგების გამო თბოქსელების გავლენას სათბობის ეკონომიაზე ადგილი არა აქვს და ეს ეკონომია პრაქტიკულად ისეთივეა, როგორც (ა) ნახ. 40-ზეა მოცემული.

შევიდართ ახლა სათბობის კუთრი ხარჯები  $b_{კლ}$  ჩვეულებრივ თეცსა და აირტურბინულ ბლოკ-თეცში. ამასთან უნდა შევადარდეს არა მაჩვენებელი „ბრუტო“ (ენერჯის გამოძევაზე), არამედ „ნეტო“ (გაცემაზე), ვინაიდან ელექტროენერჯის საკუთარი მოხმარებაზე ხარჯი მნიშვნელოვნად განსხვავდება ორთქლტურბინულ თეცსა და აირტურბინულ ბლოკ-თეცში.

აირტურბინულ ბლოკ-თეცებში  $k_{სმ}$  კოეფიციენტი გაცილებით ნაკ-



ნახ. 40. სათბობის ფარდობითი ეკონომიის (ა)  $\overline{B}_{სმ} = f(\omega)$  და კუთრი ხარჯები (ბ)

$b_{კლ}^{ნტ} = f(\omega)$  შედარება ორთქლტურბინულ თეცსა (უწყვეტი ხაზები) და აირტურბინულ ბლოკ-თეცში (წყვეტილი ხაზები); მიღებულია:  $\eta_{კეს} = 0,37$ ;

$\eta_{საქ} = 0,8$ ;  $\eta_{ოგ} = 0,9$ ;  $\eta_{გმ} = 0,97$ ;  $\eta_{ტრ} = 0,98$

ლებია. ეს იმით აიხსნება, რომ მარტივი სქემის ატდ-ებს, რომლებითაც ძირითადად აღიჭურვება ბლოკ-თეცები, არა აქვთ ჰაერსაცივრები ჰაერის შუალედური გაცივებისათვის, აგრეთვე მკვებავი და კონდენსატის ტუმბოები, კვამლმწოვები და სხვ. ამიტომ მათთვის რეკომენდებულია [44] მივიღოთ  $k_{სმ} = 0,01-0,015$ . ამავე დროს იმ შემთხვევაში, როდესაც ატდ მუშაობს ბუნებრივ აირზე და ბლოკ-თეცის განლაგების ზონაში არ გადის

მაღალი წნევის აირსადენი, საჭირო ხდება დამატებით აირსაჭირხნი კომპრესორის დაყენება. ეს ზრდის ელექტროენერგიის ხარჯს საკუთარ მოხმარებაზე 3-3,5%-მდე. მაგალითად, [45]-ში მიღებულია  $k_{\text{სა}}=3,35$ . ჩვენ გაანგარიშებებში მივიღოთ საშუალო მნიშვნელობა  $k_{\text{სა}} \cong 2\%$ , ვინაიდან ბლოკ-თეცი იმუშავებს როგორც აირად, ასევე თხევად სათბობზე.

ნახ. 40-ზე (ბ) შედარებულია  $b_{\text{გლ}}^{\text{ნბ}}$ -ის მნიშვნელობები ორთქლტურბი ნულ თეცსა და აირტურბინულ ბლოკ-თეცში. ამასთან ჩვეულებრივი თეცისათვის გამოიყენებულია [35]-ში მიღებული მონაცემები, ხოლო ბლოკ-თეცისათვის – ფორმულა (14) [29]. გაანგარიშებებში მიღებულია: ბლოკ-თეცისათვის  $k_{\text{სა}}=0,02$ , თეცისათვის  $k_{\text{სა}}=0,07$ ;  $\eta_{\text{ოგ}}=0,9$ ,  $\eta_{\text{ტრ}}=0,98$ ,  $\eta_{\text{გა}}=0,97$ . ელექტროენერგიის კუთრი გამომუშავება სითბოს მოხმარების ბაზაზე იცვლება თეცისთვის 0,1-დან 0,6-მდე [44], ბლოკ-თეცისათვის – 0,4-დან~0,9-მდე [29].

მოყვანილი გრაფიკიდან ჩანს, რომ ფიზიკური მეთოდის გამოყენებით გაანგარიშებული  $b_{\text{გლ}}^{\text{ნბ}}$  სიდიდეები არსებითად განსხვავდება ჩვეულებრივ თეცსა და აირტურბინულ ბლოკ-თეცში. პირველისთვის  $b_{\text{გლ}}^{\text{ნბ}}$ -ის საშუალო მნიშვნელობა მეტია, ვიდრე ბლოკ-თეცში. საუკეთესო შემთხვევაში, როცა  $\omega=0,5-0,6$  და  $\alpha_{\text{გ}}=0,8-0,9$ , თეცში სათბობის კუთრი ხარჯი  $b_{\text{გლ}}^{\text{ნბ}}$  იცვლება 175-დან 200 გპს/კვტ.სთ-მდე. ეს არის მძლავრი თბოფიკაციური ტურბოდანადგარების მანვენებლები. ასეთივე მანვენებლები აქვს ბლოკ-თეცს, როცა  $\omega=0,5-0,6$  და  $\Delta t=75-100^{\circ}\text{C}$ .  $\omega$ -ს ეს სიდიდეები ახასიათებს შედარებით დაბალტემპერატურიან ატდ-ებს ( $t_3=750-850^{\circ}\text{C}$ ) [29]. მაღალტემპერატურიანი დანადგარებისათვის ( $t_3 \geq 1000-1100^{\circ}\text{C}$ )  $\omega \cong 0,7-0,8$  და ასეთი ბლოკ-თეცებისათვის  $b_{\text{გლ}}^{\text{ნბ}} \approx 150-180$  გპს./კვტ.სთ. ჩატარებული ანალიზი გვარწმუნებს, რომ ოპტიმალურ პირობებში პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯი 1 კვტ.სთ გაცემულ ელექტროენერგიაზე ბლოკ-თეცში საშუალოდ 15%-ით ნაკლებია, ვიდრე ორთქლტურბინულ თეცში.

ამრიგად, როგორც  $b_{\text{ელ}}^{\text{ნბ}}$  სათბობის კუთრი ხარჯის, ასევე  $\overline{B}_{\text{კ}}$  სათბობის ფარდობითი ეკონომიის გამოყენებით შესრულებული კოგენერაციის ორი ვარიანტის ენერგეტიკული ეფექტურობის შედარებიდან ჩანს, აირტურბინულ ბლოკ-თეცებს აქვთ ენერგეტიკული უპირატესობა ტრადიციულ ორთქლტურბინულ თეცებთან შედარებით.



### 3.2. გარდაბნის აირტურბინული ელექტროსადგურის კოგენერაციულ სადგურად ტრანსფორმაციის ტექნიკურ - ეკონომიკური მაჩვენებლების შეფასება

გარდაბნის ელექტროსადგურის ტერიტორიაზე დამონტაჟებულია ორი აირტურბინული ენერგობლოკი. თითოეულის ძალოვანი ნაწილი შეიცავს ორ აირტურბინულ მოწყობილობას, რომლებიც მუშაობენ ერთ ელექტროგენერატორზე, თავის მხრივ, ბლოკის საგენერატორო ამომრთველების საშუალებით მიერთებულია ბლოკის ძალოვან ტრანსფორმატორთან და შემდეგ – სადგურის ღია გამანაწილებელ მოწყობილობის 110 კვ სალტეზე. ელექტროსადგურის თბო-ტექნიკური ნაწილი წარმოდგენილია FT8-1 ტიპის ოთხი აირტურბინული დანადგარით, დამზადებული აშშ-ში ფირმა Prat and Witney-ის მიერ. საკუთრივ აირტურბინა განეკუთვნება აირტურბინების ტიპს "გაჭრილი" ლილვით. მაღალტემპერატურულ აირტურბინას მოქმედებაში მოჰყავს საერთო ლილვზე განთავსებული ჰაერის კომპრესორი, ხოლო ძალოვანს – მის ლილვზე განთავსებული ელექტროგენერატორი. ჰაერის კომპრესორის გაშვება ხორციელდება ჰიდრაულიკური ამძრავით. აირტურბინული დანადგარების აირმომარაგება ხორციელდება გარდაბნის აირგამანაწილებელ სადგურიდან. სადგურის ტერიტორიაზე განთავსებულია ბუნებრივი აირის წნევის ამწევი ბუსტერული კომპრესორები, რომელთა საშუალებით ხორციელდება აირის წნევის აწევა 0.8÷1.0 მგპა-დან (წნევა გაზის მაგისტრალში) 3.2÷3.4 მგპა-მდე (წნევა აირტურბინული დანადგარის წვის კამერის წინ).

- 1) ატ - თეცის ელექტრული სიმძლავრე -  $N_{ელ} = 109400$  კვტ (2x54700);
- 2) აირტურბინული დანადგარების რაოდენობა -  $z = 2$ ;
- 3) ატ - თეცის თბური სიმძლავრე -  $Q_{max} = 64390$  კვტ(თბ);
- 4) გათბობის სეზონის ხანგრძლივობა - 152 დღე-ღამე (3648 სთ) [3];
- 5) გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა (გათბობისათვის)  $t_{გომ} = -8^{\circ}C$ ;
- 6) ჩასანაცვლებელი კონდენსაციური ენერგობლოკის ტიპი- K-300-240;
- 7) K – 300 – 240 ბლოკის (თბილსრესი) მქ კოეფიციენტი -  $\eta_{ბლო} = 0,37$  და

სათბობის კუთრი ხარჯი -  $b_{ბლ} = 332$  გპ.ს/(კვტ.სთ);

8) ჩასანაცვლებელი წყალსათბობი ქვების საშუალო წლიური მქ  
კოეფიციენტი  $\eta_{საქ} = 0,88$  და სათბობის კუთრი ხარჯი  $b_{საქ} = 38,75$   
კგპ.ს/გჯ;

9) აირტურბინული დანადგარის რეკონსტრუქციისათვის საჭირო დამატე-  
ბითი კაპიტალდაბანდების ხვედრითი ღირებულება:

$k_{დსა} = 200$  დოლ/კვტ;

10) ატდ - ის მქ კოეფიციენტი:  $\eta_{ატდ} = 0,38$  და სათბობის კუთრი ხარჯი  
(ძალურ რეჟიმში) -  $b_{ატდ} = 323,7$  გპ.ს/(კვტ.სთ) [46];

11) წარმავალი აირების ტემპერატურა (ატდ-ის უტილიზატორის მიღმა):  
 $t_{წარ} = 110^{\circ} C$ .

12) ცხელწყალმომარაგების დატვირთვის წილი ჯამურ თბურ დატ-  
ვირთვაში -  $\gamma_{ცწ} = 27,4\%$  [3];

13) სათბობის კუთრი ხარჯი ატ - თეცში თბური ენერჯის გაცემაზე:  
 $b_{სით} = 25,28$  კგ პ.ს/გჯ (თეორიულად დასაბუთებული);

14) ბუნებრივი აირის შესასყიდი ფასი (დღგ-ს გარეშე):  
 $c_{აირ} = 143$  დოლ/1000მ<sup>3</sup> = 14,3 ცენტ/მ<sup>3</sup>;

15) ბუნებრივი აირის დაწვის სითბო  $Q_{უღ}^0 = 35600$  კჯ/მ<sup>3</sup>;

ატ - თეცი იმუშავებს ბაზისურ რეჟიმში. მივიღოთ მისი დადგ-  
მული სიმძლავრის გამოყენების საათების რიცხვი:  $h_{წლ} = 7800$  სთ.

1) ელექტროენერჯის წლიური გამომუშავება:

$$\mathcal{E}_{წლ}^{ბაძ} = N_{ელ} \cdot h_{წლ} = 109400 \cdot 7800 = 853,32 \cdot 10^6 \text{ კვტ.სთ}; \quad (52)$$

2) ელექტროენერჯის ხარჯი საკუთარ მოხმარებაზე მივიღოთ - 2,5%.  
ამრიგად, ელექტროენერჯის წლიური გაცემა ატ-თეციდან:

$$\mathcal{E}_{წლ}^{ბაგ} = 0,975 \cdot \mathcal{E}_{წლ}^{ბაძ} = 0,975 \cdot 853,32 \cdot 10^6 = 831,99 \cdot 10^6 \text{ კვტ.სთ}; \quad (53)$$

3) პირობითი სათბობის წლიური ხარჯი ატ - თეცში:

$$B_{პ.ს}^{წლ} = b_{ატდ} \cdot \mathcal{E}_{წლ}^{ბაძ} = 0,3237 \cdot 853,32 \cdot 10^6 = 276,22 \cdot 10^6 \text{ კგპ.ს/წლ}; \quad (54)$$

4) ბუნებრივი აირის წლიური ხარჯი

$$B_{\text{აირ}}^{\text{წლ}} = B_{\text{პ.ს}}^{\text{წლ}} \cdot \frac{Q_{\text{უღ(პ.ს)}}^{\text{მ}}}{Q_{\text{უღ(აირ)}}^{\text{მ}}} = 276,22 \cdot 10^6 \frac{29300}{35600} = 227,34 \cdot 10^6 \text{ მ}^3/\text{წლ}; \quad (55)$$

5) წლის განმავლობაში დახარჯული ბუნებრივი აირის საბაზრო ღირებულება:

$$U_{\text{აირ}}^{\text{წლ}} = c_{\text{აირ}} \cdot B_{\text{აირ}}^{\text{წლ}} = 0,143 \cdot 227,34 \cdot 10^6 = 32,51 \cdot 10^6 \text{ დოლ/წლ}; \quad (56)$$

6) გათბობის სეზონში გამომუშავებული ელექტროენერჯის რაოდენობა:

$$\mathcal{E}_{\text{გამ}}^{\text{გათ.სეზ}} = N_{\text{ელ}} \cdot 3648 = 109400 \cdot 3648 \cong 399,1 \cdot 10^6 \text{ კვტ.სთ}; \quad (57)$$

7) გათბობის სეზონში ატ - თეციდან გაცემული ელექტროენერჯის რაოდენობა:

$$\mathcal{E}_{\text{გაც}}^{\text{გათ.სეზ}} = 0,975 \cdot 399,1 \cdot 10^6 = 389,12 \cdot 10^6 \text{ კვტ.სთ};$$

8) გათბობის სეზონში დახარჯული პირობითი სათბობის რაოდენობა:

$$B_{\text{პ.ს}}^{\text{გათ.სეზ}} = b_{\text{ატდ}} \cdot \mathcal{E}_{\text{გამ}}^{\text{გათ.სეზ}} = 0,3237 \cdot 399,1 \cdot 10^6 = 129,19 \cdot 10^6 \text{ კვპ.ს/სეზ}; \quad (58)$$

9) აქედან ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე იხარჯება 66,9% (ეს ციფრი მოიძებნა  $\eta_{\text{ატდ}} = 0,38$ -სა და  $\Delta t = t_{\text{წარ}} - t_{\text{გარ}} = 110 - (-8) = 118^{\circ} \text{ C}$ -ის მიხედვით):

$$B_{\text{პ.ს(ელ)}}^{\text{გათ.სეზ}} = 0,669 \cdot 129,19 \cdot 10^6 = 86,43 \cdot 10^6 \text{ კვპ.ს/სეზ};$$

10) არაგათბობის სეზონში გამომუშავებული ელექტროენერჯის რაოდენობა:

$$\mathcal{E}_{\text{გამ}}^{\text{არაგათ}} = \mathcal{E}_{\text{წლ}}^{\text{გამ}} - \mathcal{E}_{\text{გამ}}^{\text{გათ.სეზ}} = 853,32 \cdot 10^6 - 399,1 \cdot 10^6 = 454,22 \cdot 10^6 \text{ კვტ.სთ}; \quad (59)$$

11) არაგათბობის სეზონში ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე დახარჯული პ.ს. რაოდენობა:

$$B_{\text{პ.ს(ელ)}}^{\text{არაგათ}} = b_{\text{ატდ}} \cdot \mathcal{E}_{\text{გამ}}^{\text{არაგათ}} = 0,3237 \cdot 454,22 \cdot 10^6 = 147,03 \cdot 10^6 \text{ კვპ.ს}; \quad (60)$$

12) პირობითი სათბობის სრული წლიური ხარჯი ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე:

$$B_{\text{პ.ს(ელ)}}^{\text{წლ}} = B_{\text{პ.ს(ელ)}}^{\text{გათ.სეზ}} + B_{\text{პ.ს(ელ)}}^{\text{არაგათ}} = 86,43 \cdot 10^6 + 147,03 \cdot 10^6 = 233,46 \cdot 10^6 \text{ კვპ.ს/წლ}; \quad (61)$$

13) ატ - თეცში პირობითი სათბობის საშუალო წლიური კუთრი ხარჯი ელექტროენერჯის გაცემაზე (ნეტო):

$$b_{საშ}^{შლ} = \frac{B_{პ.ს(შლ)}^{წლ}}{\mathfrak{E}_{წლ}^{ბაც}} = \frac{233,46 \cdot 10^6}{831,99 \cdot 10^6} = 0,2806 \text{ კგპ.ს.}/(\text{კვტ.სთ}); \quad (62)$$

14) ატ - თეცის კერძო მქ კოეფიციენტი (ნეტო) ელექტროენერჯის გაცემაზე:

$$\eta_{შლ}^{ნტ} = \frac{0,123}{b_{საშ}^{შლ}} = \frac{0,123}{0,2806} = 0,438; \quad (63)$$

ე.ი. ატ - თეცის ეფექტურობა უტოლდება საუკეთესო კონდენსაციური ენერგობლოკის ეფექტურობას.

15) ბუნებრივი აირის წლიური ხარჯი ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე:

$$B_{აირ(შლ)}^{წლ} = B_{პ.ს(შლ)}^{წლ} \cdot \frac{29300}{35600} = 233,46 \cdot 10^6 \cdot \frac{29300}{35600} = 192,15 \cdot 10^6 \text{ მ}^3/\text{წლ};$$

16) ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე ატ - თეცში დახარჯული ბუნებრივი აირის საბაზრო ღირებულება:

$$U_{აირ(შლ)}^{წლ} = B_{აირ(შლ)}^{წლ} \cdot c_{აირ} = 192,15 \cdot 10^6 \cdot 0,143 = 27,48 \cdot 10^6 \text{ დოლ}/\text{წლ}; \quad (64)$$

17) გაცემული ელექტროენერჯის თვითღირებულებაში სათბობის მდგენელი:

$$C_{სათ}^{შლ} = \frac{U_{აირ(შლ)}^{წლ}}{\mathfrak{E}_{წლ}^{ბაც}} = \frac{27,48 \cdot 10^6}{831,99 \cdot 10^6} = 0,033 \text{ დოლ}/(\text{კვტ.სთ}) = 3,3 \text{ ცენტი}/(\text{კვტ.სთ}); \quad (65)$$

18) ვინაიდან ელექტროენერჯის თვითღირებულებაში სათბობზე მოდის ლომის წილი - 70...80% (ავიღოთ საშუალო სიდიდე-75%), ამიტომ გაცემული ელექტროენერჯის სრული თვითღირებულება იქნება ტოლი:

$$C_{შლ}^{შლ} \cong \frac{C_{სათ}^{შლ}}{0,75} = \frac{3,3}{0,75} = 4,4 \text{ ცენტი}/(\text{კვტ.სთ});$$

19) ბუნებრივი აირის წლიური ხარჯი თბური ენერჯის გამომუშავებაზე:

$$B_{აირ(სთ)}^{წლ} = B_{აირ}^{წლ} - B_{აირ(შლ)}^{წლ} = 227,34 \cdot 10^6 - 192,15 \cdot 10^6 = 35,19 \cdot 10^6 \text{ მ}^3/\text{წლ};$$

20) თბურ ენერჯიაზე დახარჯული ბუნებრივი აირის ღირებულება:

$$U_{აირ(სთ)}^{წლ} = B_{აირ(სთ)}^{წლ} \cdot c_{აირ} = 35,19 \cdot 10^6 \cdot 0,143 = 5,032 \cdot 10^6 \text{ დოლ}/\text{წლ};$$

21) თბური ენერჯის წლიური გამომუშავება გათბობისათვის:

$$Q_{წლ}^{ბათ} = 3648 \cdot Q_{საშ}, \quad (66)$$

სადაც  $Q_{საშ} = \bar{Q}_{საშ} \cdot Q_{\max} = 0,576 \cdot 64390 = 37088,64$  კვტ(თბ)

( $\bar{Q}_{საშ}$  - ფარდობითი საშუალო თბური დატვირთვაა (დამოკიდებულია კლიმატურ ზონაზე; თბილისისათვის  $\bar{Q}_{საშ} = 0,576$ ) [3];

$$Q_{\text{წლ}}^{\text{ბაო}} = 3648 \cdot 37088,64 = 135,3 \cdot 10^6 = \text{კვტ.სთ/წლ (487080 გჯ/წლ)}$$

22) თუ ატ - თეცის მახლობლად (მისი ჩათვლით) იქნება ცხელი წყლის მომხმარებლები, უნდა გავითვალისწინოთ ეს დატვირთვაც. იგი შეადგენს საერთო თბური დატვირთვის 27,4%, ანუ გათბობის დატვირთვის ~ 38%. ცხელწყალმომარაგება საჭიროა მთელი წლის განმავლობაში (7800 სთ), ამიტომ ამისათვის სითბოს წლიური გამომუშავება შეადგენს:

$$Q_{\text{ცწ}}^{\text{წლ}} = 7800 \cdot 0,38 \cdot 643900 = 190,85 \cdot 10^6 \text{ კვტსთ/წლ (687060 გჯ/წლ);}$$

23) თბური ენერჯის ჯამური წლიური გამომუშავება

$$Q_{\text{წლ}} = Q_{\text{წლ}}^{\text{ბაო}} + Q_{\text{ცწ}}^{\text{წლ}} = 487080 + 687060 = 1174140 \text{ გჯ/წლ; (67)}$$

24) პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯი თბური ენერჯის გამომუშავებაზე:

$$B_{\text{პ.ს(სთთ)}}^{\text{წლ}} = B_{\text{აირ(სთთ)}}^{\text{წლ}} \cdot \frac{35600}{29300} = 35,19 \cdot 10^6 \cdot \frac{35600}{29300} = 42,76 \cdot 10^6 \text{ კვპ.ს/წლ;}$$

25) პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯი თბური ენერჯის გამომუშავებაზე:

$$b_{\text{სთთ}} = \frac{42,76 \cdot 10^6}{1174140} \cong 36,4 \text{ კვპ.ს/გჯ (30,16 მ}^3\text{/გჯ);}$$

26) ატ - თეცის სრული მქ კოეფიციენტი (საშუალო წლიური):

$$\begin{aligned} \eta_{\text{სრ}}^{\text{ბრ}} &= \frac{\mathcal{Q}_{\text{წლ}} + Q_{\text{წლ}}}{B_{\text{პ.ს}}^{\text{წლ}} Q_{\text{უდ}}^{\text{მ}}} = \frac{(853,32 \cdot 10^6 + 135,3 \cdot 10^6 + 190,85 \cdot 10^6) \cdot 3600}{276,22 \cdot 10^6 \cdot 29300} = \\ &= \frac{1179,47 \cdot 10^6 \cdot 3600}{276,22 \cdot 10^6 \cdot 29300} = 0,525, \\ \text{ე.ი } \eta_{\text{სრ}}^{\text{ბრ}} &\cong 53\%; \end{aligned} \quad (68)$$

27) ატ - თეცის სრული მქ კოეფიციენტი გათბობის სეზონში:

$$\eta_{\text{სრ}(გათ.სეზ)}^{\text{ბრ}} = \frac{(\mathcal{E}_{\text{გამ}}^{\text{გათ.სეზ}} + Q_{\text{წლ}}^{\text{გათ}} + Q_{\text{ცწ}(გათ.სეზ)}) \cdot 3600}{B_{\text{პ.ს}}^{\text{გათ.სეზ}} \cdot 29300} =$$

$$= \frac{(389,12 \cdot 10^6 + 135,3 \cdot 10^6 + 89,26 \cdot 10^6) \cdot 3600}{129,19 \cdot 10^6 \cdot 29300} = 0,5838 \approx 58,4\%, \quad (69)$$

სადაც  $Q_{\text{ცწ}}^{\text{გათ.სეზ}} = 24468,2 \cdot 3648 = 89,26 \cdot 10^6$  კვტ.სთ–ცხელწყალმომარაგებაზე გაცემული სითბოს რაოდენობა გათბობის სეზონში.

28) განვსაზღვროთ რამდენი ცენტი დაიზოგება ყოველ კვტ.სთ-ზე ატდ-ის ძალურ რეჟიმში მუშაობასთან შედარებით ტარიფის ოთხი მნიშვნელობის დროს: 8 თეთრი/(კვტ.სთ) (~ 4,79 ცენტი/(კვტ.სთ)), 8,48 თეთრი/(კვტ.სთ) (~ 5,08 ცენტი/(კვტ.სთ)), 9 თეთრი/(კვტ.სთ) (~ 5,39 ცენტი/(კვტ.სთ)), 9,5 თეთრი/(კვტ.სთ) (~ 5,69 ცენტი/(კვტ.სთ)). ჩამოთვლილი ტარიფებიდან ამჟამად მოქმედებს ერთი: 8,48 თეთრი/(კვტ.სთ). გაანგარიშებებში მიღებულია დოლარის კურსი 1,67 თეთრი

$$\Delta C_{\text{კვლ}} = 4,79 - 4,4 = 0,39 \text{ ცენტს/(კვტ.სთ);}$$

$$\Delta C_{\text{კვლ}} = 5,08 - 4,4 = 0,68 \text{ ცენტს/(კვტ.სთ);}$$

$$\Delta C_{\text{კვლ}} = 5,39 - 4,4 = 0,99 \text{ ცენტს/(კვტ.სთ);}$$

$$\Delta C_{\text{კვლ}} = 5,69 - 4,4 = 1,29 \text{ ცენტს/(კვტ.სთ);}$$

წლის განმავლობაში, როცა გაიცემა  $\mathcal{E}_{\text{წლ}}^{\text{პ.ს}} = 831,99 \cdot 10^6$  კვტ.სთ ელ.ენერგია, სულ დაიზოგება

$$\Delta \mathcal{U} = 831,99 \cdot 10^6 \cdot 0,39 = 324,48 \cdot 10^4 \text{ დოლ/წლ;}$$

$$\Delta \mathcal{U} = 831,99 \cdot 10^6 \cdot 0,68 = 565,75 \cdot 10^4 \text{ დოლ/წლ;}$$

$$\Delta \mathcal{U} = 831,99 \cdot 10^6 \cdot 0,99 = 823,67 \cdot 10^4 \text{ დოლ/წლ;}$$

$$\Delta \mathcal{U} = 831,99 \cdot 10^6 \cdot 1,29 = 1073,27 \cdot 10^4 \text{ დოლ/წლ;}$$

29) ატ - თეცში კაპიტალდაბანდება შეადგენს

$$K = k_{\text{დამ}} \cdot N_{\text{კვლ}} = 200 \cdot 109400 = 21880000 \text{ დოლ.}$$

30) ორთქლიანი დანადგარის ანალოგიურად, რომლისთვისაც მიღებულია  $k=700$  დოლ/კვტ [47]. დამატებითი კაპიტალდაბანდება ატ-თეცის

მოსაწყობად მივიღოთ  $k_{ლამ} = 200$  დოლ/კვტ შესაბამისად კაპიტალდაბან-  
დების გამოსყიდვის ვადა

$$T = \frac{K_{ლამ}}{\Delta U} = \frac{21880000}{324,48.18 \cdot 10^4} = 6,74 \text{ წელი};$$

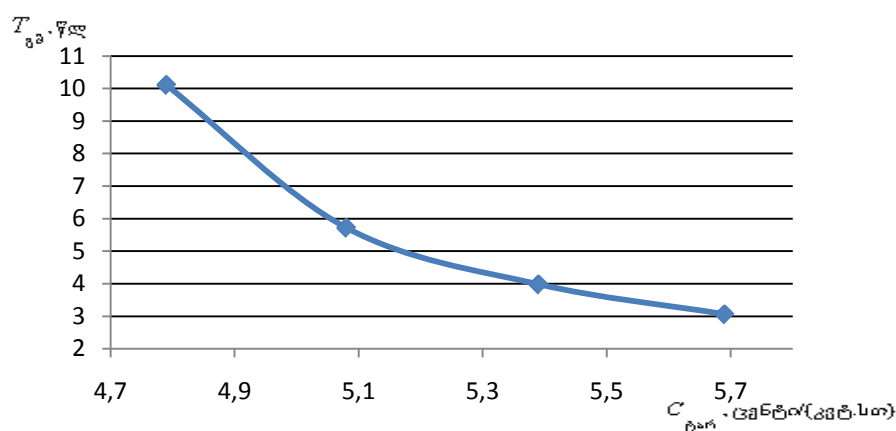
$$T = \frac{K_{ლამ}}{\Delta U} = \frac{21880000}{565,75 \cdot 10^4} = 3,81 \text{ წელი};$$

$$T = \frac{K_{dam}}{\Delta U} = \frac{21880000}{823,67 \cdot 10^4} = 2,65 \text{ წელი};$$

$$T = \frac{K_{ლამ}}{\Delta U} = \frac{21880000}{1073,27 \cdot 10^4} = 2,03 \text{ წელი};$$

თუ გავითვალისწინებთ თბური ენერჯის რეალიზაციით მიღებულ მოგე-  
ბას, კაპიტალდაბანდების გამოსყიდვის ვადა უდრო ნაკლები იქნება.

ნახ. 41-ზე ნაჩვენებია ელექტროენერჯის ტარიფის  $C_{ტარ}$  გავლენა  
კაპიტალდაბანდების გამოსყიდვის ვადაზე.



ნახ. 41. ელექტროენერჯის ტარიფის  $C_{ტარ}$  გავლენა კაპიტალდაბანდების გამოსყიდვის  
ვადაზე  $T_{გა}$

ცხრილი 33

გარდაბნის ატ-თეცის მანქანებლები

№	პარამეტრი	განზომილება	სიდიდე
1	ელექტრული სიმძლავრე	კვტ	54700
2	ელ. ენერჯის წლიური გამომუშავება	კვტ-სთ/წლ	$853,12 \cdot 10^6$
3	ელ. ენერჯის წლიური გაცემა	კვტ-სთ/წლ	$831,99 \cdot 10^6$
4	თბური სიმძლავრე	კვტ	64390
5	პირობითი სათბობის ხარჯი (წლიური)	კგპ.ს/წლ	$276,22 \cdot 10^6$
6	ბუნებრივი აირის წლიური ხარჯი	მ <sup>3</sup> /წლ	$227,34 \cdot 10^6$

7	გათბობის სეზონში გაცემული ელ.ენერჯის რაოდენობა	კვტ.სთ	389,12 · 10 <sup>6</sup>
8	ატდ-თეცში პირობითი სათბობის საშუალო წლიური კუთრი ხარჯი ელ.ენერჯის გაცემაზე	კვპ.ს/(კვტ.სთ)	0,2806
9	ელ.ენერჯის თვითღირებულება	ცენტ/(კვტ.სთ)	4,4
10	ბუნებრივი აირის წლიური ხარჯი თბური ენერჯის გამომუშავებაზე	მ <sup>3</sup> /წლ	35,19 · 10 <sup>6</sup>
11	თბური ენერჯის ჯამური წლიური გამომუშავება	გჯ/წლ	1174140
12	პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯი თბური ენერჯის გამომუშავებაზე	კვპ.ს/გჯ	36,4
13	ატდ-თეცის სრული მქ კოეფიციენტი (საშუალო წლიური)	%	53
14	ატდ-თეცის სრული მქ კოეფიციენტი გათბობის სეზონში	%	58,4
15	კაპიტალდაბანდების გამოსყიდვის ვადა, როცა ელ.ენერჯის ტარიფია; ცენტი/(კვტ.სთ): ა) 4,79 ბ) 5,08 გ) 5,39 დ) 5,69	წელი	6,74 3,81 2,65 2,03

გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია 34-ე ცხრილში, აგრეთვე გრაფიკული სახით ნახ. 42.

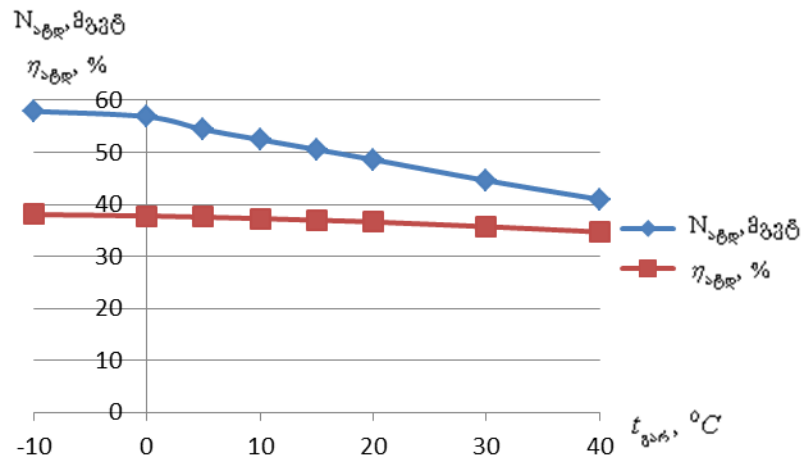
ცხრილი 34

FT8 Twin Pas აირტურბინების ძირითადი მახასიათებლები გარემოს ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით

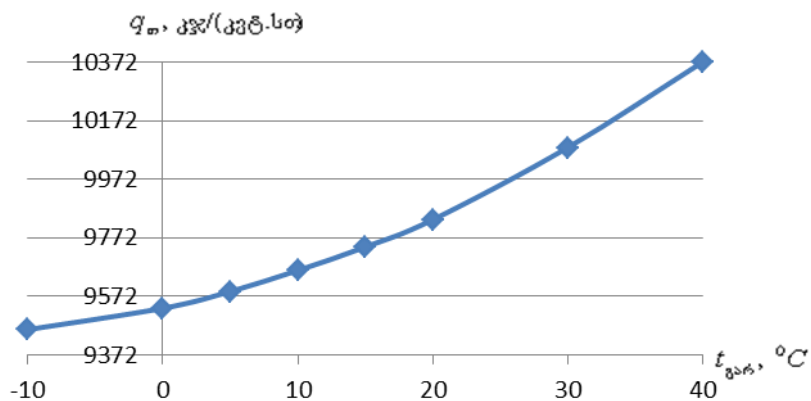
№	დასახელება	გარემოს ტემპერატურა, C <sup>0</sup>							
		-10	0	5	10	15	20	30	40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	მაქსიმალური ელექტრული სიმძლავრე, მგვტ	57,92	56,88	54,41	52,47	50,55	48,61	44,59	40,96
2	მქ კოეფიციენტი, %	38,06	37,77	37,54	37,26	36,96	36,61	35,71	34,71
3	სითბოს კუთრი ხარჯი, კვ/(კვტ.სთ)	9459	9532	9589	9661	9741	9834	10080	10372
4	აირტურბინიდან გამოსული წვის აირადი ნაწარმის მასური ხარჯი, კგ/წმ	183,5	178,8	174,4	170,5	166,2	161,7	152,1	142,9
5	აირტურბინიდან გამოსული წვის აირადი ნაწარმის ტემპერატურა °C	439	456	455	457	462	468	481	495
6	სათბობის ხარჯი, კვ/სთ	11412	11297	10871	10562	10260	9960	9365	8851
7	ატდ-ის თბური სიმძლავრე Q <sub>გა</sub> , მგვტ	63,99	65,58	63,78	62,71	62,01	61,36	56,2	58,32
8	ატ-თეცის კუთრი თბური სიმძლავრე q <sub>გა</sub> / ω	1,05 0,952	1,153 0,867	1,172 0,853	1,195 0,839	1,227 0,815	1,262 0,792	1,260 0,794	1,424 0,702
9	β <sub>ელ</sub> სათბობის ხარჯის წილი ელ.ენერჯის გამომუშავებაზე	0,683	0,673	0,670	0,666	0,660	0,653	0,654	0,625



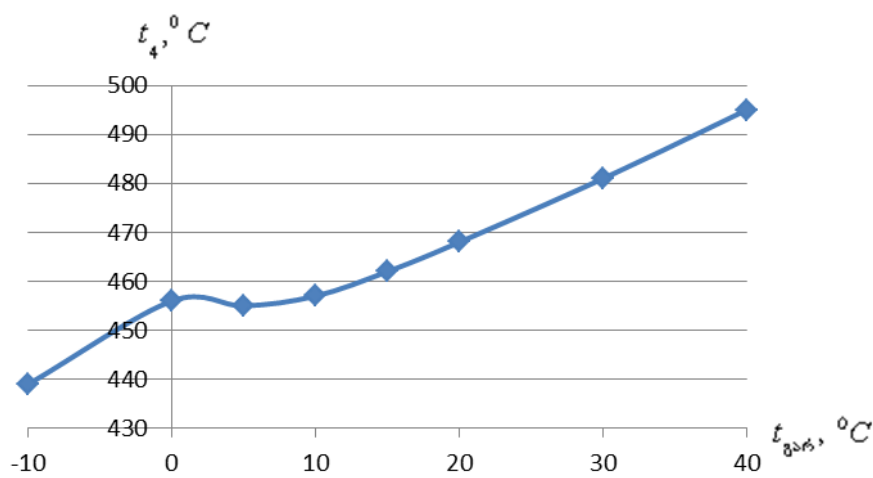
10	$\beta_{სთ}$ სათბობის ხარჯის წილი სითბოს გამომუშავებაზე	0,317	0,327	0,33	0,334	0,34	0,347	0,346	0,375
11	სათბობის ხარჯი ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე $B_{თეც}^{მლ}$ , კვ/სთ	7794,4	7602,9	7283,6	7034,3	6771,6	6503,9	6124,7	5531,9
12	სათბობის ხარჯი სითბოს გამომუშავებაზე $B_{თეც}^{სთ}$ , კვ/სთ	3617,6	3694,1	3587,4	3527,7	3488,8	3456,1	3240,3	3319,1
13	სათბობის კუთრი ხარჯი ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე $b_{თეც}^{მლ}$ , კვ/(კვტ.სთ)	0,2048	0,2013	0,1940	0,1888	0,1832	0,1777	0,1715	0,1594
14	სათბობის კუთრი ხარჯი სითბოს გამომუშავებაზე $b_{თეც}^{სთ}$ , კვ/გვჯ	15,7	15,65	15,62	15,63	15,63	15,65	16,01	15,81
15	სათბობის ფარდობითი ეკონომია $\bar{B}_{მპ}$	0,3256	0,3403	0,3398	0,3386	0,3400	0,3401	0,3227	0,3333



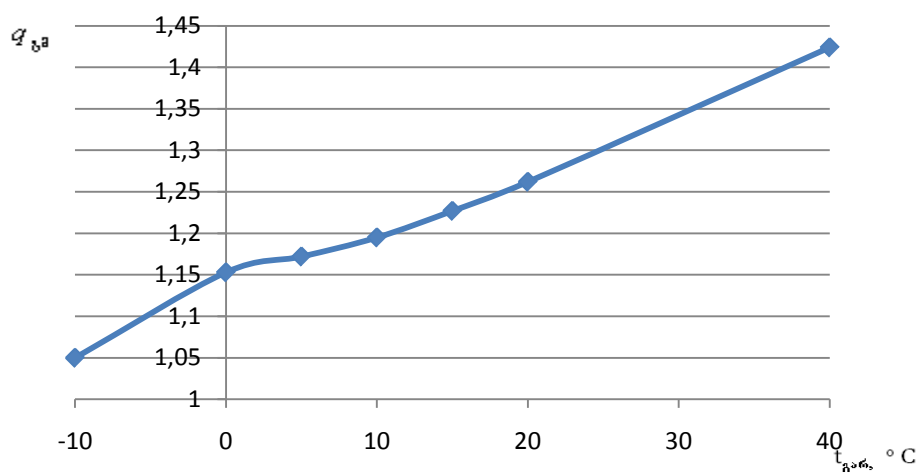
ნახ. 42. FT8 Twin Pas ატდ-ის ელექტრული სიმძლავრისა და მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



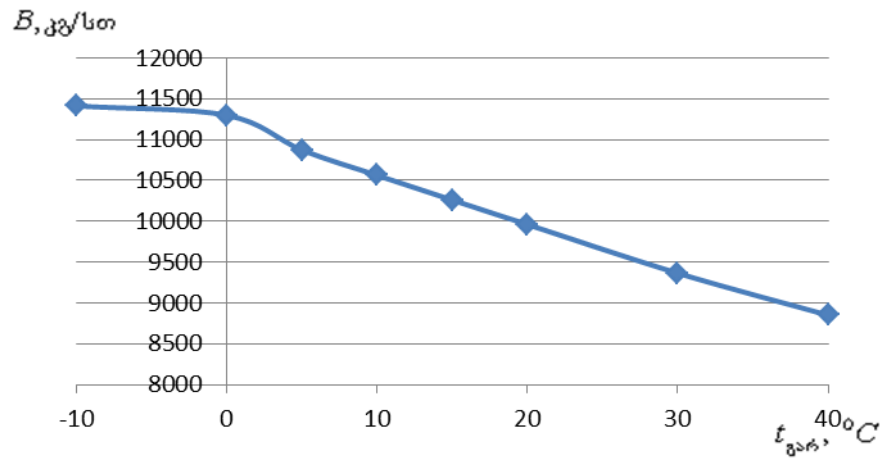
ნახ. 43. გარე ჰაერის ტემპერატურის გავლენა FT8 Twin Pas ატდ-ის სიბოხს კუთრ სარჯზე



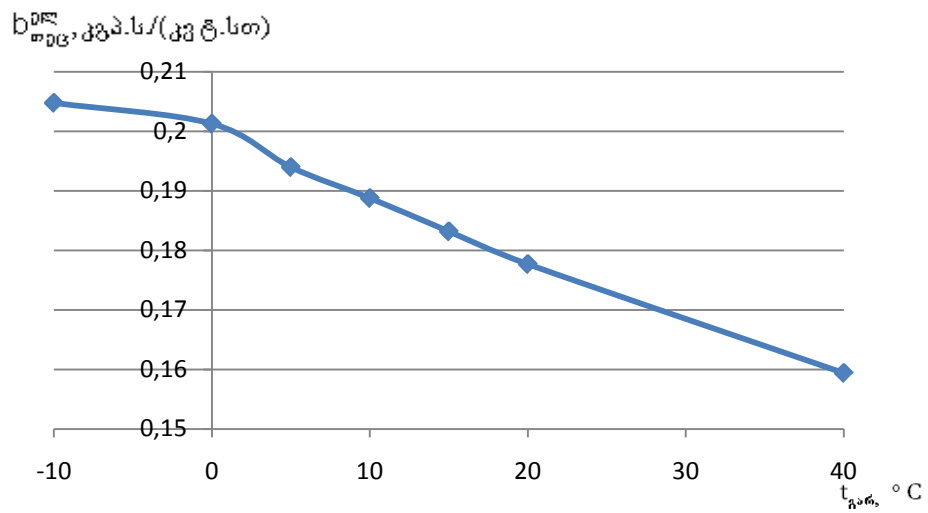
ნახ. 44. FT8 Twin Pas ატდ-ის წარმავალი აირების ტემპერატურის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



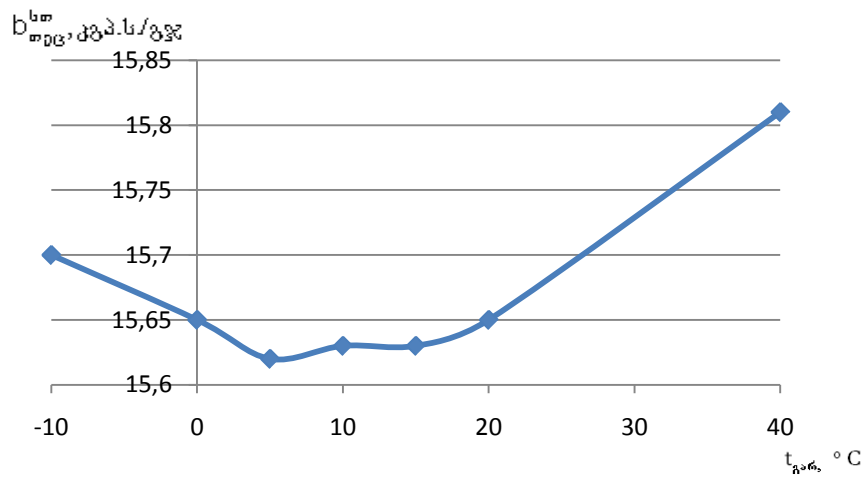
ნახ. 45. ატ-თეცის თბური სიმძლავრის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



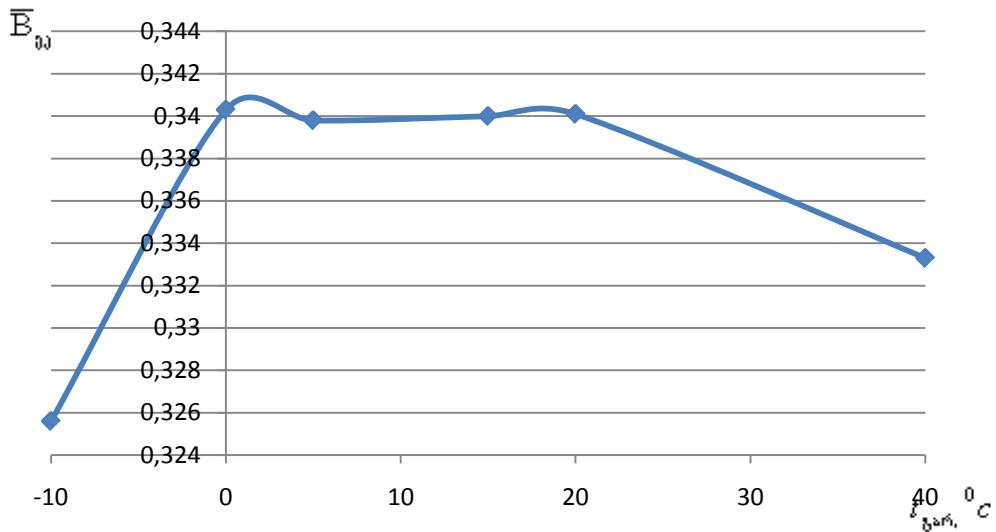
ნახ. 46. FT8 Twin Pas ატდ-ის სათბობის ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



ნახ. 47. FT8 Twin Pas ატდ-ის ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



ნახ. 48. FT8 Twin Pas ატდ-ის სითბოს გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



ნახ. 49. სათბობის ფარდობითი ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე

### 3.2.1. პროექტის წმინდა დისკონტირებული ღირებულების ანგარიში

ენერგეტიკული პროექტების ეკონომიკურ ეფექტურობის შესაფასებლად საჭიროა განისაზღვროს წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი, რომელიც პირველადი კაპიტალდაბანდების (IC) და დისკონტირებული ფულადი ნაკადების ჯამის სხვაობაა. რადგან ფულადი ნაკადები განაწილებულია დროში, ამიტომ ინვესტორის მიერ პროგნოზირდება ისეთი საპროცენტო განაკვეთი, რომელიც არსებულ პირობებში შეიძლება მომგებიანად ჩაითვალოს.

წმინდა დისკონტირებული ღირებულების (Net Present Value, NPV) გაანგარიშება ეყრდნობა ფულადი სახსრების ნაკადის დისკონტირების მეთოდოლოგიას [48]. აქ ფაქტობრივად ერთმანეთს ვადარებთ ინვესტიციის რაოდენობას და ამ ინვესტიციის შედეგად მიღებული შემოსავლების მიმდინარე ღირებულებას. ანგარიშის შედეგად მიღებული NPV დადებითია, მაშინ არჩეული უნდა იქნეს ის პროექტი, რომლის NPV მეტი იქნება.

ცხრილი 35

ფულადი ნაკადების მიმდინარე ღირებულება, თუ საპროცენტო განაკვეთი 20%-ია,  
 $C_{ტარ} = 4,79$  ცენტი/(კვტ.სთ)

წელი	კოეფიციენტი 20%-ის პირობებში	ფულის ნაკადი (აშშ დოლარი)	მიმდინარე ღირებულება
0	-	-	-
1	0,8333	$2656,82 \cdot 10^4$	$2213,9 \cdot 10^4$
2	0,6944	$2656,82 \cdot 10^4$	$1844,9 \cdot 10^4$
3	0,5787	$2656,82 \cdot 10^4$	$1537,5 \cdot 10^4$
4	0,4823	$2656,82 \cdot 10^4$	$1281,4 \cdot 10^4$
5	0,4019	$2656,82 \cdot 10^4$	$1067,8 \cdot 10^4$
			$7945,5 \cdot 10^4$

$NPV = 7945,5 \cdot 10^4 - 2188 \cdot 10^4 = 5757,5 \cdot 10^4$  დოლარი

ცხრილი 36

ფულადი ნაკადების მიმდინარე ღირებულება, თუ საპროცენტო განაკვეთი 20%-ია,  
 $C_{ტარ} = 5,08$  ცენტი/(კვტ.სთ)

წელი	კოეფიციენტი 20%-ის პირობებში	ფულის ნაკადი (აშშ დოლარი)	მიმდინარე ღირებულება
0	-	-	-
1	0,8333	$2817,67 \cdot 10^4$	$2347,96 \cdot 10^4$
2	0,6944	$2817,67 \cdot 10^4$	$1956,6 \cdot 10^4$
3	0,5787	$2817,67 \cdot 10^4$	$1629,76 \cdot 10^4$
4	0,4823	$2817,67 \cdot 10^4$	$1358,96 \cdot 10^4$
5	0,4019	$2817,67 \cdot 10^4$	$1132,42 \cdot 10^4$
			$8425,70 \cdot 10^4$

$NPV = 8425,70 \cdot 10^4 - 2188 \cdot 10^4 = 6237,7 \cdot 10^4$  დოლარი

ცხრილი 37

ფულადი ნაკადების მიმდინარე ღირებულება, თუ საპროცენტო განაკვეთი 20%-ია,  
 $C_{ტარ} = 5,39$  ცენტი/(კვტ.სთ)

წელი	კოეფიციენტი 20%-ის პირობებში	ფულის ნაკადი (აშშ დოლარი)	მიმდინარე ღირებულება
------	------------------------------	---------------------------	----------------------

0	-	-	-
1	0,8333	2989,6·10 <sup>4</sup>	2491,2·10 <sup>4</sup>
2	0,6944	2989,6·10 <sup>4</sup>	2076·10 <sup>4</sup>
3	0,5787	2989,6·10 <sup>4</sup>	1729,2·10 <sup>4</sup>
4	0,4823	2989,6·10 <sup>4</sup>	1441,9·10 <sup>4</sup>
5	0,4019	2989,6·10 <sup>4</sup>	1201,5·10 <sup>4</sup>
			8939,8·10 <sup>4</sup>

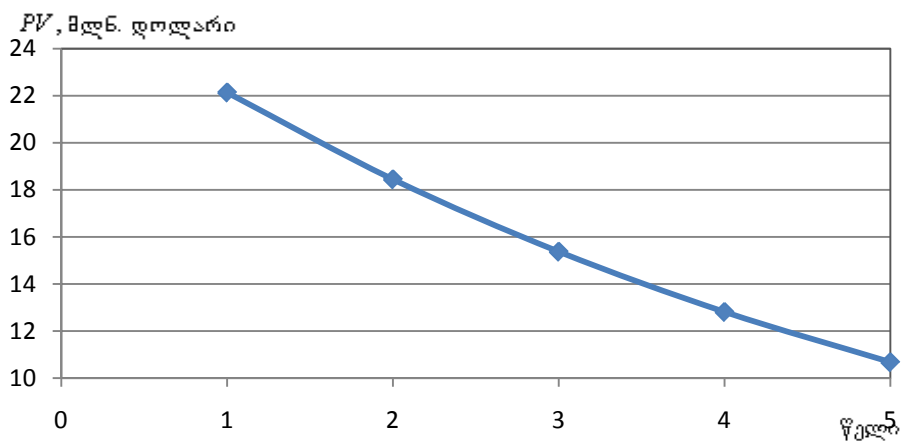
NPV=8939,8·10<sup>4</sup>-2188·10<sup>4</sup>=6751,8·10<sup>4</sup> დოლარი

ცხრილი 38

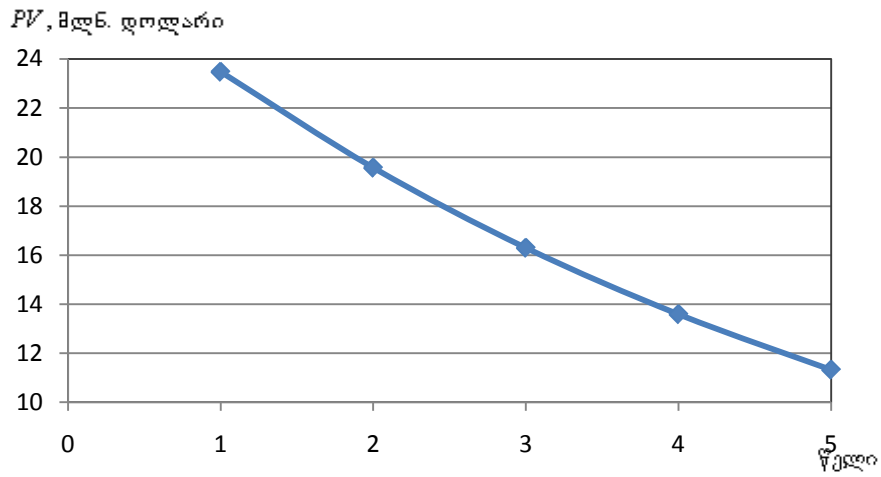
ფულადი ნაკადების მიმდინარე ღირებულება, თუ საპროცენტო განაკვეთი 20%-ია,  
C<sub>ბარ</sub> =5,69ცენტი/(კვტ.სთ)

წელი	კოეფიციენტი 20%-ის პირობებში	ფულის ნაკადი (აშშ დოლარი)	მიმდინარე ღირებულება
0	-	-	-
1	0,8333	3156·10 <sup>4</sup>	2629,9·10 <sup>4</sup>
2	0,6944	3156·10 <sup>4</sup>	2191,5·10 <sup>4</sup>
3	0,5787	3156·10 <sup>4</sup>	1825,4·10 <sup>4</sup>
4	0,4823	3156·10 <sup>4</sup>	1522,1·10 <sup>4</sup>
5	0,4019	3156·10 <sup>4</sup>	1268,4·10 <sup>4</sup>
			9437,3·10 <sup>4</sup>

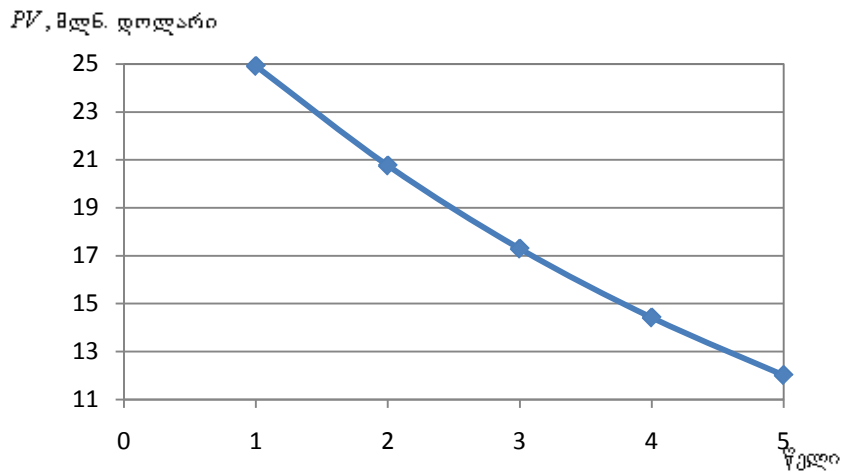
NPV=9437,3·10<sup>4</sup>-2188·10<sup>4</sup>=7249,3·10<sup>4</sup> დოლარი



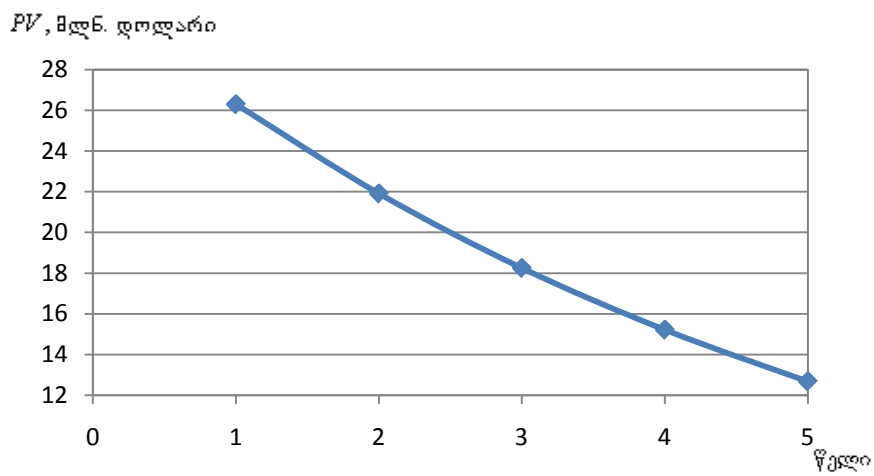
ნახ. 50. დისკონტირებული შემოსავალი 5 წლის განმავლობაში, როცა  
C<sub>ბარ</sub> =4,79 ცენტი/(კვტ.სთ)



ნახ. 51. დისკონტირებული შემოსავალი 5 წლის განმავლობაში, როცა  $C_{ტარ} = 5,08$  ცენტი/(კვტ.სთ)

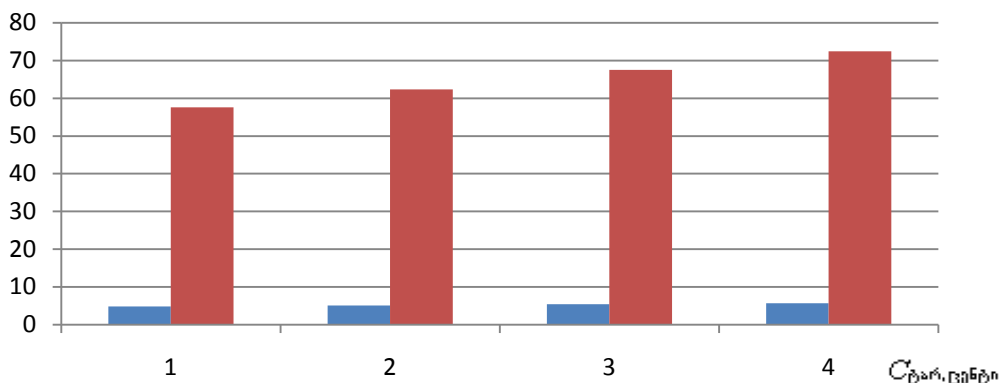


ნახ. 52. დისკონტირებული შემოსავალი 5 წლის განმავლობაში, როცა  $C_{ტარ} = 5,39$  ცენტი/(კვტ.სთ)



ნახ. 53. დისკონტირებული შემოსავალი 5 წლის განმავლობაში, როცა  $C_{ბარ} = 5,69$  ცენტი/(კვტ.სთ)

NPV, მლნ. დოლარი



ნახ. 54. ელექტროენერჯის ტარიფის  $C_{ბარ}$  გავლენა NPV, მლნ. დოლარი -ზე

### 3.3. კოგენერაციულ სისტემებში რთული სქემების აირტურბინული დანადგარების გამოყენების ეფექტურობა

ამჟამად მთელ მსოფლიოში დიდი ყურადღება ეთმობა ელექტრული და თბური ენერჯიების კომბინირებული გამომუშავების (კოგენერაციის) სისტემების განვითარებას [48,49]. ამერიკის შეერთებულ შტატებში უკვე კარგა ხანია, ინჟინერ-ენერჯეტიკოსთა ასოციაციის შემადგენლობაში მოქმედებს “ენერჯის კომბინირებული გამომუშავების ინსტიტუტი.” ცალკე გამოდის ჟურნალი “Gogeneration”, რომელიც გამოეყო ჟურნალ “Gas Turbine World”-ს.

გასული საუკუნის 80-იან წლებამდე კოგენერაცია მსოფლიოში ძირითადად ორთქლტურბინულ თეცებზე იყო დაფუძნებული. მათი ეფექტურობა საკმაოდ მაღალია დიდი თბური დატვირთვების დროს. მცირე და საშუალო თბური დატვირთვების პირობებში კი უპირატესობა ენიჭებათ აირტურბინულ თეცებს. ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზით დადგინდა [50], რომ აირტურბინული დანადგარების (ატდ) წარმავალი აირების სითბოს უტილიზაცია კომბინირებულ დანადგარებში ეკონომიკურად გამართლებულია არა მხოლოდ მძლავრი ატდებისთვის არამედ ბევრად უფრო ნაკლები სიმძლავრის (2 მგვტ-მდე) დანადგარებისთვის. მათი გამოყენება მიზანშეწონილია რაიონული თბომომარაგების სისტე-



მებში, სხვადასხვა მასალების შრობისათვის და ტექნოლოგიური ორთქლის მისაღებად.

ამჟამად აირტურბინულ კოგენერაციულ სადგურებში ძირითადად გამოიყენება უმარტივესი თერმოდინამიკური ციკლის აირტურბინული დანადგარები. ასეთი თეცების ენერგოეფექტურობა საკმაოდ მაღალია, რაც დასტურდება როგორც მეცნიერთა გამოკვლევებით (მაგ, [51,52], ასევე უკვე არსებული სადგურების ექსპლუატაციის მონაცემებით [16]. უფრო მეტი ეკონომიკური ეფექტის მიღებაა შესაძლებელი, თუ კოგენერაციისთვის გამოყენებული იქნება რთული სქემების მრავალგარეგანი ატდ-ები სითბოს შუალედური მიწოდებით და ჰაერის შუალედური გაცივებით, ვინაიდან ასეთი დანადგარები გამოირჩევა გარკვეული თერმოდინამიკური უპირატესობებით [53,54]. კერძოდ, შესაძლებელია შუალედურ ჰაერსაცივრებში გამოყოფილი სითბოს გამოყენება კოგენერაციის სისტემებში და წარმატალი აირების ტემპერატურის რეგულირება. არსებობს ატდ-ების თბური სქემების მრავალი სახეობა, ამიტომ კოგენერაციაში მათი გამოყენების ეფექტურობის ზოგადი ანალიზი გაძნელებულია. ამის გამო ხშირად იხილავენ კონკრეტული, შედარებით მარტივი სქემის ატდ-ს, მაგალითად ერთი შუალედური ჰაერსაცივრით, რეგენერატორით და ერთი შუალედური წვის კამერით. უფრო მეტი ჰაერსაცივრების და წვის კამერების გამოყენება კი იძლევა გარკვეულ თერმოდინამიკურ უპირატესობას, მაგრამ ეს ძალიან ართულებს და აძვირებს დანადგარს. ამერიკის მეცნიერი ი.რაისი თვლის [55], რომ ჰაერის შუალედური გაცივების (შგ) განხორციელება გაცილებით უფრო ადვილია, ვიდრე სითბოს შუალედური მიწოდების რეალიზება. შგ-ის გამოყენება ამცირებს ჰაერის შეკუმშვაზე დახარჯულ მუშაობას. შგ-სთან ერთად ხშირად იყენებენ რეგენერაციას. კიდევ ერთი უპირატესობა, რომელიც გააჩნია ატდ-ის ციკლს შუალედური გაცივებით და რეგენერაციით, იმაში მდგომარეობს, რომ მისი მქ კოეფიციენტი 50%-იანი დატვირთვის დროს თითქმის ისეთივე რჩება, როგორც სრული, 100%-იანი დატვირთვისას [55], ე.ი. შენარჩუნდება დანადგარის მაღალი თბური ეკონომიურობა ნაწილობრივი დატვირთვების დროს.

სითბოს შუალედური მიწოდებით ატდ-ის დიდი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ, გარდა წარმავალი აირების მაღალი ტემპერატურის მიღებისა, რაც მნიშვნელოვანია კოგენერაციისთვის, უზრუნველყოფილი იქნება კუთრი ეფექტური მუშაობის (1 კვ მუშა სხეულზე გათვლით) მნიშვნელოვანი გადიდება. ი. რაისის აზრით საკმაოდ გართულებული ციკლებით მომუშავე ატდ-ები შეიძლება გამოყენებული იქნას მრეწველობაში, აგრეთვე უპირატესად სითბოსა და ელექტროენერჯის ერთობლივი გამომუშავებისთვის, ე.ი. კოგენერაციულ სისტემაში.

სათბობის ეკონომიის განსაზღვრა, რომელსაც უზრუნველყოფს აირტურბინული თეცი (ატ-თეცი) თბოელექტრომომარაგების განცალკევებულ ვარიანტთან შედარებით (კესი + რაიონული საქვაბე), უფრო მარტივია ვიდრე ორთქლტურბინული თეცის შემთხვევაში. ეს იმით აიხსნება, რომ სათბობის ხარჯი ატდ-ზე განისაზღვრება მხოლოდ მისი ელექტრული სიმძლავრით და საერთოდ არ არის დამოკიდებული სითბოს რაოდენობაზე, რომელიც გაიცემა ატ-თეციდან. სათბობის აღნიშნული ეკონომია შეიძლება შეფასდეს სითბოს ფარდობითი ეკონომიის მეშვეობით  $q_{გვ} = Q_{გვ} / Q_{გვ}^*$ , სადაც  $Q_{გვ}$  არის სითბოს აბსოლუტური ეკონომია

$$Q_{გვ} = (Q_{კეს} + Q_{საქ}) - Q_{ატდ} \quad (70)$$

$Q_{კეს}$ ,  $Q_{საქ}$ ,  $Q_{ატდ}$  -სათბობის სითბოს ხარჯები შესაბამისად ჩასანაცვლებელ კესსა და საქვაბეში და ატდ-ზე;

$Q_{გვ}^*$  - ატდ-ის თბური სიმძლავრე - სითბოს მაქსიმალური რაოდენობა, რომელიც შეიძლება გაიცეს გარე მომხმარებლებზე ატდ-დან დროის ერთეულში მისი სრული ელექტრული სიმძლავრის დროს.  $q_{გვ}$  -ის გამოსათვლელათ [63] -ში მიღებულია ფორმულით

$$q_{გვ} = \frac{1}{\eta_{საქ}} - \frac{1/\eta_{ატდ} - 1/\eta_{კეს}}{1/\eta_{ატდ} - 1/\eta_{გვ} - q_{წარ}}, \quad (71)$$

სადაც  $\eta_{საქ}$  და  $\eta_{კეს}$  -ჩასანაცვლებელი საქვაბის და კესის მქ კოეფიციენტებია;  $\eta_{ატდ}$  და  $\eta_{გვ}$  -ატდ-ისა და მისი ელექტრომექანიკური მქ კოეფი-

ციენტები;  $q_{\text{წარ}}$  -წარმავალი აირებით სითბოს კუთრი დანაკარგი (1კვტ სიმძლავრეზე), (კვტ/წმ) /კვტ [56]:

$$q_{\text{წარ}} = \frac{c_p d (t_{\text{წარ}} - t_{\text{გარ}})}{3600}, \quad (72)$$

სადაც  $c_p$  -მუშა სხეულის (აირის) კუთრი სითბოტევადობაა, კვტ/(კგ.K),  
 $d$  – ატდ-ის მუშა სხეულის (აირის) კუთრი ხარჯი , კვტ/(კვტ.სთ),

$t_{\text{წარ}}$  -წარმავალი აირების ტემპერატურა საუტილიზაციო თბოგადამცემის მიღმა, °C,  $t_{\text{გარ}}$  -გარემოს ჰაერის ტემპერატურა, °C  
 (71) ფორმულის მნიშვნელში მოთავსებული სამწევრი წარმოადგენს ატ-თეცის კუთრ თბურ სიმძლავრეს, ანუ ელექტრული სიმძლავრის ერთეულზე გაცემულ სითბოს რაოდენობას  $q_{\text{გა}} = Q_{\text{გა}}/N_{\text{ელ}}$ ; ეს პარამეტრი გაიანგარიშება ფორმულით [56]:

$$q_{\text{გა}} = 1/\eta_{\text{ატდ}} - 1/\eta_{\text{გა}} - q_{\text{წარ}}. \quad (73)$$

სათბობის ფარდობითი ეკონომიის გასაანგარიშებლად რომელსაც უზრუნველყოფს ატ-თეცი თბოელექტრომომარაგების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით, გამოიყენება ფორმულა [56]:

$$\bar{B}_{\text{გა}} = 1 - \frac{\eta_{\text{საქ}}/\eta_{\text{ატდ}}}{q_{\text{გა}} + \eta_{\text{საქ}}/\eta_{\text{კეს}}}. \quad (74)$$

მოყვანილი მეთოდიკით [57] შეიძლება განისაზღვროს სათბობის ფარდობითი ეკონომია  $\bar{B}_{\text{გა}}$  ნებისმიერი სქემის ატდ-თი აღჭურვილი თეცისათვის (როგორც მარტივი, ასევე რთული – ნახ. 56-58), მათ შორის იმ შემთხვევაშიც, როდესაც სქემაში გათვალისწინებულია შუალედური ჰაერსაცვივარი. მასში გამოყოფილი სითბო გამოიყენება თბოქსელში ქიმიურად გაწმენდილი დასამატებელი წყლის და დაბრუნებული ქსელის წყლის შესათბობათ.

განვსაზღვროთ  $q_{\text{კეს}}$  და  $B_{\text{კეს}}$  ორი შემთხვევისთვის: 1) როდესაც ატ-თეცში გამოყენებულია უმარტივესი სქემის ატდ და 2) როდესაც აქ

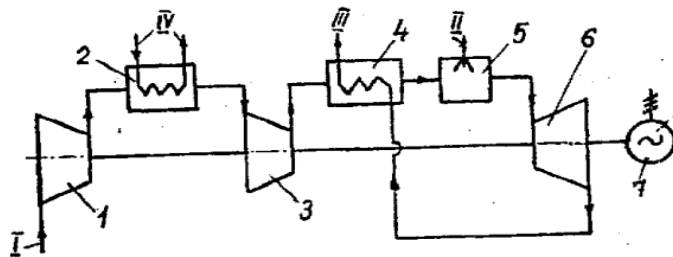
გამოყენებულია რთული სქემის ატდ ერთი შუალედური ჰაერსაცივრით, რეგენერაციით და ერთი შუალედური წვის კამერით (ნახ. 57).

ატდ-თეცის მეორე ვარიანტში  $\eta_{ატდ}$  მეტია. ხოლო  $d$  – ნაკლები, ვიდრე პირველში.

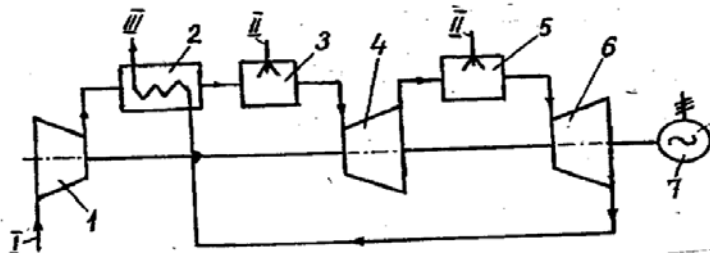
მიღებულია [44], პირველ ვარიანტში:  $\eta_{ატდ} = 0.294$ ,  $d = 25.2$  კგ/(კვტ.სთ);

მეორე ვარიანტში:  $\eta_{ატდ} = 0.32$ ,  $d = 18.2$  კგ/(კვტ.სთ);

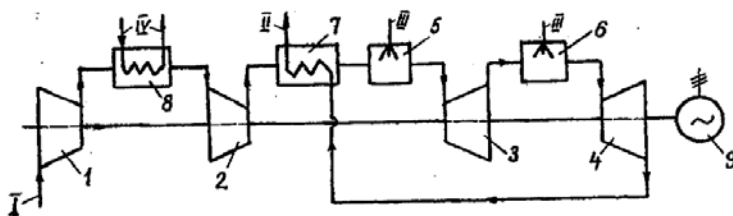
მესამე ვარიანტში:  $\eta_{ატდ} = 0.38$ ,  $d = 11.6$  კგ/(კვტ.სთ);



ნახ. 55. ატდ-ის რთული სქემა ჰაერის ორსაფეხურიანი შეკუმშვით, შუალედური გაცივებით და რეგენერაციით; 1, 3 – დაბალი და მაღალი წნევის კომპრესორები; 2 – ჰაერსაცივარი, 4 – რეგენერატორი, 5 – წვის კამერა, 6 – აირტურბინა; 7 – ელ. გენერატორი.  
I – ჰაერი, II – სათბობი, III – წარმავალი აირები, IV – მაცივებელი (ან ქსელის) წყალი



ნახ. 56. ატდ-ის რთული სქემა ჰაერის ერთსაფეხურიანი შეკუმშვით, რეგენერაციით და სითბოს შუალედური მიწოდებით:  
I – კომპრესორი, 2 – რეგენერატორი, 3, 5 – წვის კამერები, 4, 6 – მაღალი და დაბალი წნევის ტურბინები, 7 – ელექტროგენერატორი; I – ჰაერი, II – სათბობი, III – წარმავალი აირები



ნახ. 57. ატდ-ის რთული სქემა ჰაერის ორსაფეხურიანი შეკუმშვით, შუალედური გაცივებით, რეგენერაციით და სითბოს შუალედური მიწოდებით:  
1, 2 – დაბალი და მაღალი წნევის კომპრესორები; 3, 4 – მაღალი და დაბალი წნევის ტურბინები; 5, 6 – წვის კამერები; 7 – რეგენერატორი; 8 – ჰაერსაცივარი; 9 – ელ. გენერატორი;

I–ჰაერი, II–წარმავალი აირები, III–სათბობი, IV–მაცივებელი (ან ქსელის) წყალი  
 დანარჩენი პარამეტრები სამივე ვარიანტისთვის მივიღოთ ერთნაირი:

$$\eta_{საქ} = 0.88, \eta_{კეს} = 0.37, \eta_{ემ} = 0.97, t_{წარ} = 110^{\circ}\text{C}, t_{გარ} = 0^{\circ}\text{C}.$$

გაანგარიშების შედეგები სამივე ვარიანტისთვის მოყვანილია ცხრილში 40, საიდანაც ჩანს, რომ განხილულ პირობებში უმარტივესი სქემის ატდ–ის მაგივრად რთული სქემის ატდ–ის გამოყენება აირტურბინულ თეცში უზრუნველყოფს როგორც სათბობის ფარდობითი ეკონომიის გაზრდის (გაცემული სითბოს ერთეულზე გაანგარიშებით), ისე სათბობის ეკონომიის გადიდებას – თბოელექტრომომარაგების განცალკევებულ ვარიანტთან შედარებით.

ცხრილი 39

ატ-თეცის მაჩვენებლები სხვადასხვა პირობებში

პარამეტრი	I ვარიანტი	II ვარიანტი	III ვარიანტი
		$\eta_{ატდ} = 0.294,$ $d = 25.2 \text{ კგ/(კვტ.სთ)}$	$\eta_{ატდ} = 0.32,$ $d = 18.2 \text{ კგ/(კვტ.სთ)}$
$q_{წარ}$	0.816	0.589	0.3776
$q_{კეს}$	0.687	0.856	1.1945
$q_{ემ}$	1.514	1.505	1.223
$\bar{B}_{კეს}$	0.231	0.292	0.357

სახელდობრ,  $q_{კეს}$  იზრდება

$$\Delta q_{კეს} = \frac{0.856 - 0.687}{0.687} \cdot 100\% = 24.6\% - \text{ით},$$

$$\Delta q_{კეს} = \frac{1.1945 - 0.856}{0.856} \cdot 100\% = 39.54\% - \text{ით},$$

ხოლო სათბობის ეკონომია

$$\Delta \overline{B}_{\text{პ3}} = \frac{0.292 - 0.231}{0.231} \cdot 100\% = 26.4\% - \text{ით},$$

$$\Delta \overline{B}_{\text{პ3}} = \frac{0.357 - 0.292}{0.292} \cdot 100\% = 22.26\% - \text{ით}.$$

40-ე ცხრილის მონაცემების გამოყენებით ნაჩვენებია ატდ-ის მქ კოეფიციენტის გაგვლენა სათბობის ფარდობით ეკონომიასა და  $q_{\text{გა}}$ -ზე.

როგორც ჩანს, ატდ მქ კოეფიციენტის გადიდებისას სათბობის ეკონომია მნიშვნელოვნად იზრდება  $q_{\text{გა}}$  კი მცირდება.

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სხვადასხვა ტიპის რთული სქემების აირტურბინული დანადგარების გამოყენება ატ-თეცებში უზრუნველყოფს სათბობის ეკონომიის გაზრდას ენერგოსისტემაში საშუალოდ 20 ÷ 25%-ით, უმარტივესი სქემის ატდ-ების გამოყენებასთან შედარებით.

ატდ-თეცის თბური ეკონომიურობის მაჩვენებლების დასადგენად (პირობითი სათბობის საათური და კუთრი ხარჯები, სრული და კერძო მქ კოეფიციენტები, გაცემული სითბოს რაოდენობა ჰაერსაცივირიდან და წარმავალი აირებით და სხვ.) საჭიროა ატდ-ის თბური სქემის დეტალური გაანგარიშება ერთ-ერთი არსებული მეთოდის გამოყენებით.

ატ-თეცის კონკრეტული პროექტის შედგენისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს მისი ფუნქციონირების რაიონში ელექტრული და თბური დატვირთვის სიდიდეები და მათი ცვალებადობა წლის სეზონის მიხედვით, ბუნებრივი აირით მომარაგების პირობები და სხვა.

პიკური თბური დატვირთვების დასაფარავად საჭირო არ იქნება სპეციალური პიკური წყალსათბობი ქვების დაყენება, ვინაიდან ამ მიზნით შეიძლება გამოყენებული იქნეს ე.წ. კმაწვა, როდესაც დამატებითი სათბობის დაწვით წარმავალი აირების არეში ხდება მისი ტემპერატურის გაზრდა საჭირო დონემდე.

აირტურბინული დანადგარის ტიპის და თბური სქემის შერჩევა დასაპროექტებელი ატ-თეცისათვის საბოლოოდ უნდა მოხდეს დეტალური ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის საფუძველზე, რომელშიც ერთმანეთს უნდა შედარდეს ასეთი თეცის სხვადასხვა ვარიანტები და დადგინდეს ოპტიმალური, განისაზღვროს სითბოსა და ელექტროენერჯის

თვითღირებულება, კაპიტალდაბანდებების გამოსყიდვის ვადა და სხვ.

### 3.4. ქ. თბილისის ტიპური საქვების ბაზაზე აირტურბინული თეცის შექმნის ტექნიკურ-ეკონომიკური ასპექტები

საქართველოს მძლავრი სათბიერებელი და სამრეწველო საქვების ტერიტორიებზე შეიძლება შეიქმნას რამდენიმე მძლავრი აირტურბინული თეცი, რაც მნიშვნელოვნად გაზრდის ენერგოსისტემაში ელექტროენერჯის წლიურ გამომუშავებას. სითბოს და ელექტროენერჯის კომბინირებული გამომუშავება უზრუნველყოფს დაახლოებით 80 მილიონი დოლარის ღირებულების 1 მილიარდ კუბურ მეტრზე მეტი ბუნებრივი აირის ეკონომიას. ელექტროენერჯის გამომუშავების თვითღირებულება იქნება მცირე 2...2,5 ცენტი/(კვტ.სთ). აღნიშნული თეცების მშენებლობა, რაც ეტაპობრივად უნდა განხორციელდეს, დაჯდება დაახლოებით 2-ჯერ იაფი, ვიდრე ისეთივე სიმძლავრის მსხვილი ორთქლტურბინული თეცის აგება, ატ-თეცების ამოქმედება განსაკუთრებით ეფექტური იქნება შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში, როდესაც ერთდროულად ადგილი აქვს ელექტრული და თბური დატვირთვების პიკებს. ცენტრალიზებული თბომომარაგების აღდგენას-თან ერთად ატ-თეცები სტაბილურად მოამარაგებენ ელექტროენერჯით პირველი კატეგორიის უმნიშვნელოვანეს ობიექტებს, გააუმჯობესებენ ქალაქების ეკოლოგიურ მდგომარეობას, შეამცირებენ სითბოს და ელექტროენერჯის თვითღირებულებას.

აირტურბინული თეცები პირველ რიგში უნდა შეიქმნას ქ. თბილისში, სადაც მათი საშუალებით შეიძლება მივიღოთ 300...500 მგვტ ბაზისური სიმძლავრე.

პირველ ეტაპზე ატ-თეცად უნდა გადაკეთდეს ერთი სათბიერებელი რაიონული საქვაბე ტიპიური თბური დატვირთვით 110...140 მგვტ. აირტურბინული დანადგარების მუშაობის ხანგრძლივობის მაქსიმუმის მისაღწევად დაშვებული იქნა მათი მუშაობა ზამთრის პერიოდში 24 სთ. განმავლობაში და დანარჩენ პერიოდში – 3000 სთ. ცხელწყალმომარა-

გების დატვირთვის დასაფარავად. მუშაობის ასეთი რეჟიმი ითვალისწინებს აირტურბინული დანადგარების ექსპლუატაციას ელექტროენერჯის გამომუშავებით თბური დატვირთვის პირობებში, და გამორიცხავს ძალოვან რეჟიმებს. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ბლოკ-თეცის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების საფუძველზე საინვესტიციო პირობების განსაზღვრა სესხის გადახდის სტრატეგიის შემუშავება, მისი ხანგრძლივობის და წლიური საპროცენტო დანარიცხის გაანგარიშება მიღებული გადაწყვეტილების ეკონომიკური დასაბუთება.

სესხის დაფარვის ხანგრძლივობა და წლიური საპროცენტო გადასახადი ძირითადად განისაზღვრება სამი მაჩვენებლით: ელექტროენერჯის 1 კილოვატსაათის და 1 გიგაჯოულის სითბოს სარეალიზაციო ფასით და ერთეული დადგმული სიმძლავრის კუთრი ღირებულებით (ატ-თეცის აგებისათვის კაპიტალდაბანდებების ჩათვლით).

მაგალითისთვის განვიხილოთ, გლდანში ადრე არსებული №17 საქვამბე, რომლის ძირითადი მონაცემები მოყვანილია [45]. ამასთან იქ მოყვანილი პარამეტრების ბაზაზე, ჩვენ განვახორციელებთ განმეორებითი გაანგარიშება [45] მოყვანილი მეთოდის გაანგარიშებით.

ქ. თბილისის გლდანის რაიონის სითბოთი მომარაგება დასახული იყო არსებული №44 საქვამბიდან, ჯამური დადგმული სიმძლავრით ცხელ წყალზე 419 – 544.7 გჯ/სთ-ში, ორთქლზე 20 ტ/სთ-ში. პროექტირების შესაბამისად რაიონის თბური დატვირთვები შეადგენს ზამთრის პერიოდში: გათბობაზე 419 – 544.7 გჯ/სთ-ში; ცხელი წყალით მომარაგებაზე – 167.6 გჯ/სთ-ში; ზაფხულის პერიოდში: ცხელი წყლით მომარაგებაზე 167.6 გჯ/სთ-ში.

№44 საქვამბის დახასიათება:

საქვამბეში დგას შემდეგი ძირითადი მოწყობილობანი: 2 ДКВР – 10-13 ტიპის ქვამბი;

2 KB-ГМ-50 ტიპის წყალშემთბობი ქვამბი;

1 ПТБМ – 30 ტიპის წყალშემთბობი ქვამბი;

საქვამბის დადგმული თბური სიმძლავრე ტოლია: ცხელ წყალზე 544.7 გჯ/სთ; ორთქლზე 20 ტ/სთ-ში. საქვამბე ექსპლუატაციაშია გაშვებული 1983 წელს. სათბობის ძირითადი სახეა ბუნებრივი აირი, სათადარი-



გო სათბობი – მაზუთი. ზამთრის პერიოდში მუშაობს ყველა წყალშემთბობი ქვაბი. ორთქლის ქვაბები გამოიყენება საქვაბის საკუთარი მოხმარებისათვის (მაზუთის შესათბობად, დეაირებული წყლის მოსამზადებლად, და შეივსოს საკვები წყლის დონე და ასევე თბური ქსელებიც. ზაფხულის პერიოდში მუშაობს ერთი წყალშემთბობი ქვაბი (KB-ГМ-50) და ერთი ორთქლის ქვაბი საკუთარი მოხმარებისათვის. თბომომარაგების სისტემა ჩაკეტილია.

### **3.4.1. რაიონის თბომომარაგების სქემაში აირტურბინული თეცის მუშაობის რეჟიმი**

აირტურბინული თეცის ჩართვის შემდეგ რაიონის თბომომარაგება განხორციელდება სითბოს ორი წყაროდან: №44 საქვაბიდან და აირტურბინული თეციდან ერთდროულად. ვითვალისწინებთ, რომ თეცის აირტურბინულ დანადგარში სითბოსა და ელექტროენერჯიის ერთდროულად გამომუშავება უფრო ეფექტური და ეკონომიურია, თეცმა უნდა იმუშაოს როგორც თბური დატვირთვის საბაზისო ნაწილმა, ამასთან ტემპერატურული გრაფიკის შესაბამისად ქსელი წყლის დამატება მოხდება №44 საქვაბიდან (ე.წ. პიკური რეჟიმების დროს). ატ-თეცის აირტურბინული დანადგარიდან ცხელი წყლის მიწოდება ხდება შესაბამის №44 საქვაბის ქსელის წყლის კოლექტორებში. №44 საქვაბე-ში თეცის აირტურბინული დანადგარის მუშაობისას ორთქლის ქვაბები უნდა მუშაობდეს საკუთარი მოხმარებისათვის (საკვები და დასამატებელი წყლების შესათბობად, მაზუთის გასაცხელებლად). გათბობის პერიოდში რაიონის მთელი თბური დატვირთვა ხორციელდება, როგორც თეცის აირტურბინული დანადგარიდან, ისე №44 საქვაბიდან, ხოლო ზაფხულის პერიოდში მუშაობს მარტო თეცის აირტურბინული დანადგარი. ატ-თეცის თბური ქსელების შევსება ხდება №44 საქვაბის შემავსებელი კვანძიდან.

### **3.4.2. სათბობი**

აირტურბინულ თეცში ძირითად სათბობად გამოიყენება ბუნებრივი აირი, ავარიული რეჟიმის დროს კი დიზელის საწვავი. ბუნებრივი აირის შემადგენლობა და დახასიათება:

$CH_4 - 95,41$ ;  $C_2H_6 - 1,67$ ;  $C_3H_8 - 0,5867$ ;  $C_4H_{10} - 0,1323$ ;

$C_5H_{12} - 0,0412$ ;  $N_2 - 1,9329$ ;  $CO_2 - 0,2259$ .

სათბობის დაწვის სითბო (ბუნებრივი აირის-36000 კჯ/ნმ<sup>3</sup>). ბუნებრივი აირის სიმკვრივე ნორმალურ პირობებში 0,75 კგ/ნმ<sup>3</sup>. ავარიული სათბობი – დიზელის საწვავი „ზაფხულის“ – ГОСТ 305-82.

### 3.4.3. ძირითადი მოწყობილობის შედგენილობა და დახასიათება

აირტურბინული თეცის დანიშნულებაა გამოიმუშაოს ელექტროენერგია და სითბო ცხელი წყლით. ძირითადი და დამხმარე მოწყობილობანი განლაგებულია №44 საქვების მოედანზე ახლად დაპროექტებულ შენობაში. რაიონის თბოქსელში ცხელი წყლის მიწოდება ხდება №44 საქვების კოლექტორიდან. აირტურბინულ თეცში გათვალისწინებულია ორი აირტურბინა GTM, რომელთაგან თითოეული შედგება „ДженералЭлектрик“ ენერგეტიკული მოდულური MS6001B ტიპის დანადგარისაგან და ქსელის წყლის აირული შემთბობისაგან, რომელიც ქ. ტაგანროგის АО „Красный котельщик“ -ის მიერ არის დამზადებული.

### 3.4.4. MS6001B ტიპის ენერგეტიკული მოდულური დანადგარი

MS6001B-ს შეუძლია ელექტროენერგიაზე მოთხოვნა დაფაროს როგორც ბაზისურ, ნახევრად პიკურ და პიკურ რეჟიმებისას, ასევე საერთო სარგებლობის ელექტროსადგურებში, სადაც ელექტროენერგია-სა და თბური ენერგიის კომბინირებული წარმოება ხდება. ჩარჩოზე დამაგრებული მარტივი ციკლის ერთდერძიანი დანადგარი (PG6541-B) შეიცავს: 17 საფეხურიან ღებულ კომპრესორს; სათბობის წვის მრავალ-კამერიან სისტემას (ორსათბობიანი-აირი, დიზელის სათბობი); სამსაფეხურიანი აირული ტურბინა.

აირტურბინული დანადგარის ბრუნთა რიცხვის შესამცირებლად 5094 ბრ/წთ-დან ელექტროგენერატორის ბრუნთა რიცხვამდე 3000 ბრ/წთ-

ში გათვალისწინებულია ერთსაფურიანი კბილანური რედუქტორი, რომელიც ტურბინასთან მიერთებულია მოქნილი, ღუნვადი ქუროთი, ხოლო ელექტროგენერატორთან ხისტი ქუროთი.

PG6541-B ტიპის აირტურბინულ დანადგარს აქვს შემდეგი სისტემები: საერთო შეზეთვისის სისტემა აირტურბინისათვის, რედუქტორისთვის, ელექტროგენერატორის და დამხმარე მოწყობილობისთვის. აქ გამოიყენება მინერალური ზეთი (GEK-568); გამშვები სისტემა, რომელიც ნორმალური გაშვებისას უზრუნველყოფს 100% დატვირთვას 16 წუთში, დაჩქარებულ გაშვებისას კი 9 წუთში; ამძრავი სისტემა დამხმარე მოწყობილობისათვის (ზეთის ტუმბო, თხევადი სათბობის ტუმბო, რეგულირების ზეთის ტუმბო, თხევადი სათბობის გამფრქვევი აირკომპრესორი); ორმაგი თბური სისტემა (ბუნებრივ აირზე და თხევად სათბობზე ძირითადი სათბობიდან სათადარიგო სათბობზე გადართვის ავტომატური უზრუნველყოფით); ჰაერის მომზადების სისტემა, რომელიც დაყენებულია აირტურბინული დანადგარის შესასვლელთან. ეს სისტემა შედგება ფილტრის ნაკვეთურისაგან, მაყუჩისა და ჰაერსაგაღისაგან.

აირტურბინული დანადგარის მუშაობის საპასპორტო (საანგარიშო) მონაცემები, როცა გარემოს ტემპერატურა  $+15^{\circ}\text{C}$ -ია, ხოლო ბარომეტრული წნევა 10330 მმ.წყ.სვ. და დანადგარი მუშაობს ბუნებრივ აირზე მოცემულია ცხრილში 41.

ცხრილი 40

ატდ-ის მუშაობის საპასპორტო მონაცემები ( $t_{\text{გარ}} = +15^{\circ}\text{C}$ )

№	პარამეტრების დასახელება	განზომილება	მანვენებელი
1.	სიმძლავრე	მგვტ	39,16
2.	ძრავის მქც	%	31,8
3.	სითბოს კუთრი ხარჯი	კჯ/(კვტ.სთ)	11329,8
4.	წნევის მომატების ხარისხი	-	11,8
5.	წარმავალი აირების ხარჯი	კგ/სთ	141,5
6.	წვის კამერაში მუშა აირის ტემპერატურა	$^{\circ}\text{C}$	1104
7.	წარმავალი აირების ტემპერატურა	$^{\circ}\text{C}$	541
8.	დერძის ბრუნვის სისშირე	ბრ/წთ	5094
9.	ჰაერის წნევის დანაკარგი შესასვლელთან	მმწყ.სვ.	102
10.	წარმავალი აირების წნევის დანაკარგი გამოსასვლელთან	მმწყ.სვ.	63,5

წარმავალი აირებით გატანილი სითბო ~ 284.92 გჯ/სთ.

აზოტის ოქსიდის (NOx) შემცველობა ნამუშევარ აირებში, ქანგბადის 85%-იანი პირობითი კონცენტრაციისას, მშრალ პროდუქტებში არ აღემატება 50 მგ/მ<sup>3</sup>.

### 3.4.5. ქსელის წყლის აირშემთბობი (ქწაშ)

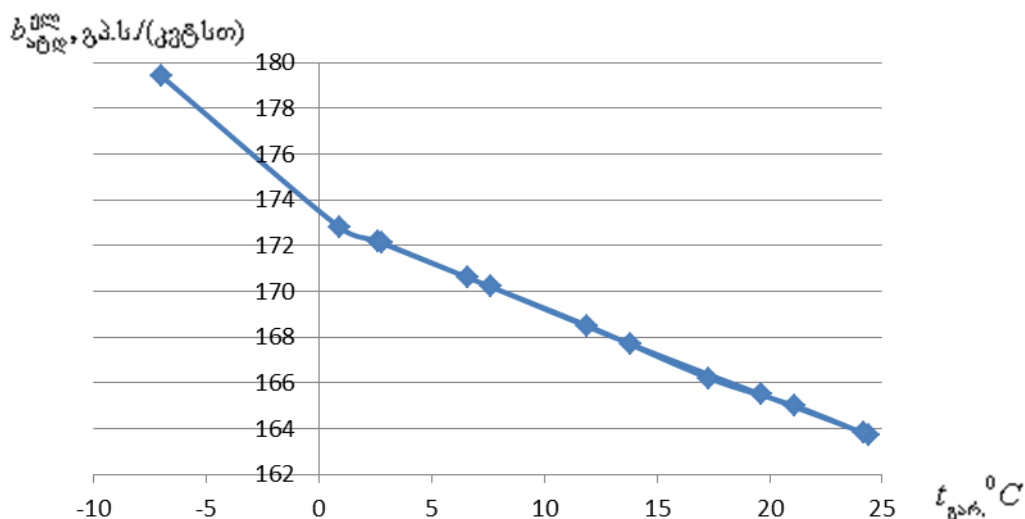
ქსელის წყლის აირშემთბობი დამზადებულია ტაგანროგის „Красный котельщик“-ის АО-ს მიერ და განკუთვნილია ქსელის წყლის შესატბობად, მხოლოდ წარმავალი აირების სითბოს ხარჯზე, აქ დამატებითი სატბობის ხარჯი არ არის გათვალისწინებული. ქსელის წყლის აირშემთბობი დამზადებულია ბლოკის სახით და წარმოადგენს თბოგადამცემს და დამზადებულია განივი სპირალ-ლენტიანი შეწიბოვებულ მილებით. თბოგადამცემის ზედაპირი წარმოადგენს ჰორიზონტალურ კლაკნილა პაკეტს, სადაც მილები ჭადრაკულად არის განლაგებული. პაკეტში მილების დაშორება და მათი დამაგრება ხორციელდება მილების სამაგრი დაფით.

აირშემთბობს ზევიდან აქვს კონფუზორი, რომელიც აირშემთბობს აერთებს საკვამლე მილში მიმავალ აირსავალთან.

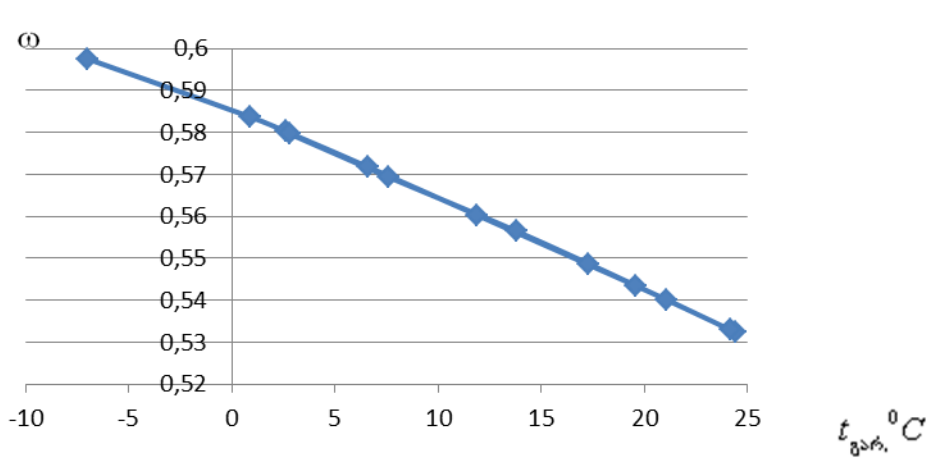
საპასპორტო (საანგარიშო) მონაცემები აირშემთბობისა, როცა აირტურბინული დანადგარი მუშაობს 100%-ით დატვირთვით და გარემოს ტემპერატურა არის -7°C მოცემულია ცხრილში 41.

ატ-თეცის მუშაობის წლიური მაჩვენებლები

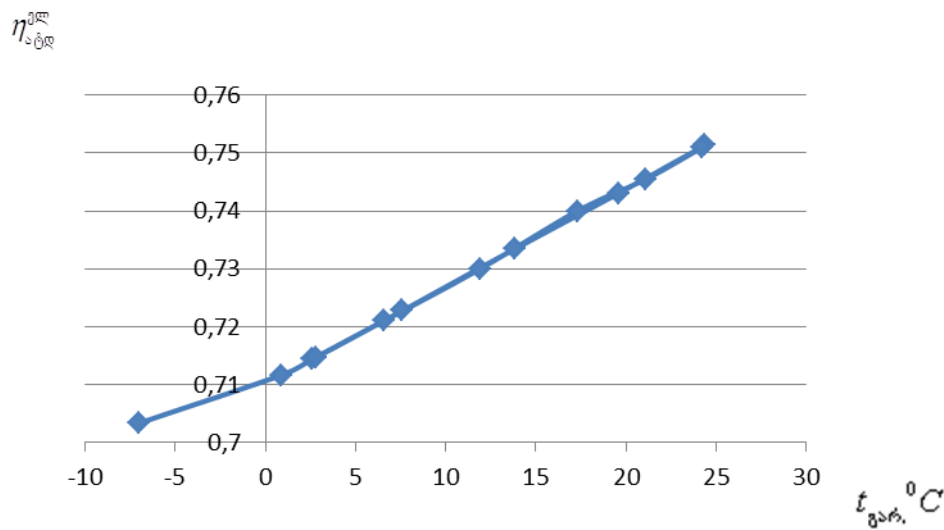
№	მაჩვენებლების დასახელება	განზომილება	სიდიდე
1	ელექტროენერჯის გამომუშავება ატ-თეცში	მლნ.კვტ.სთ/წელ	609,4
2	ატ-თეცის საღებებიდან გაცემული ელექტროენერჯია	მლნ.კვტ.სთ/წელ	589,01
3	ცხელი წყლით გაცემული სითბო	ათას.გკალ/წელ	695,18
4	ატ-თეცში საკუთარ მოხმარებაზე დახარჯული ელექტროენერჯია	მლნ.კვტ.სთ/წელ %	20,39 3,35
	მათ შორის		
5	ელექტროენერჯის წარმოებაზე	მლნ.კვტ.სთ/წელ %	17,82 2,92
6	სითბოს წარმოებაზე	მლნ.კვტ.სთ/წელ %	2,57 0,42
7	პირობითი სათბობის ხარჯი	ათას.ტპ.ს	236,11
	მათ შორის		
8	ელექტროენერჯის წარმოებაზე	ათას.ტპ.ს	126,24
9	სითბოს წარმოებაზე	ათას.ტპ.ს	109,87
10	სათბობის პირობითი ხარჯი სითბოს წარმოებაზე	კვტ.ს/გკალ	170,0
11	იგივე ელექტროენერჯის წარმოებაზე	გპ.ს/კვტ.სთ	214,33



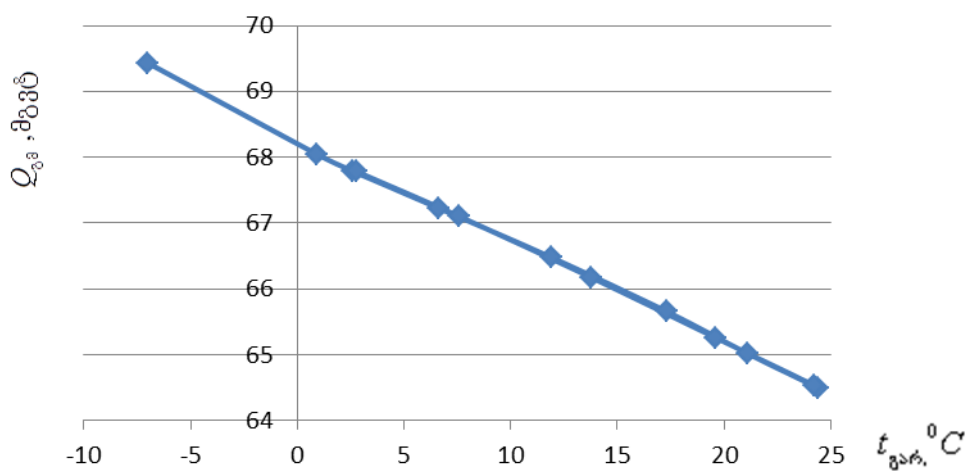
ნახ. 59. ატდ-თეცის მიერ ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



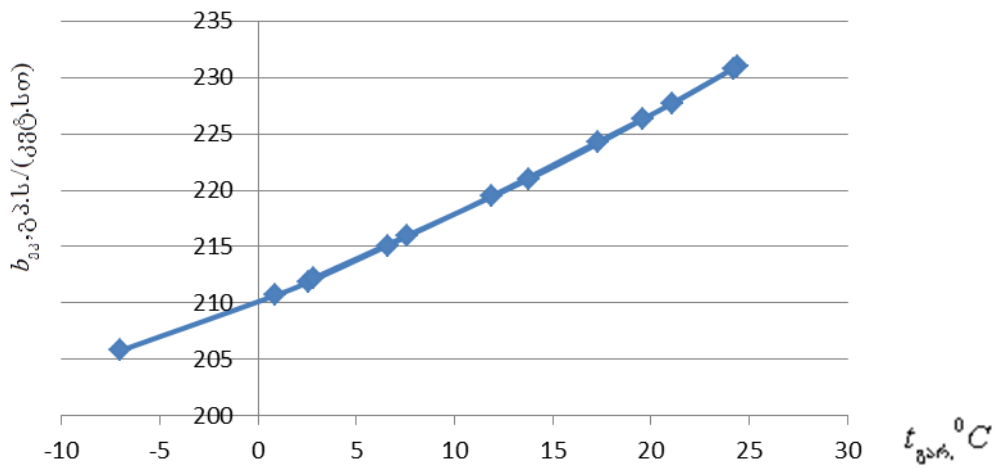
ნახ. 60. გარე ჰაერის ტემპერატურის გავლენა  $\omega$  პარამეტრზე



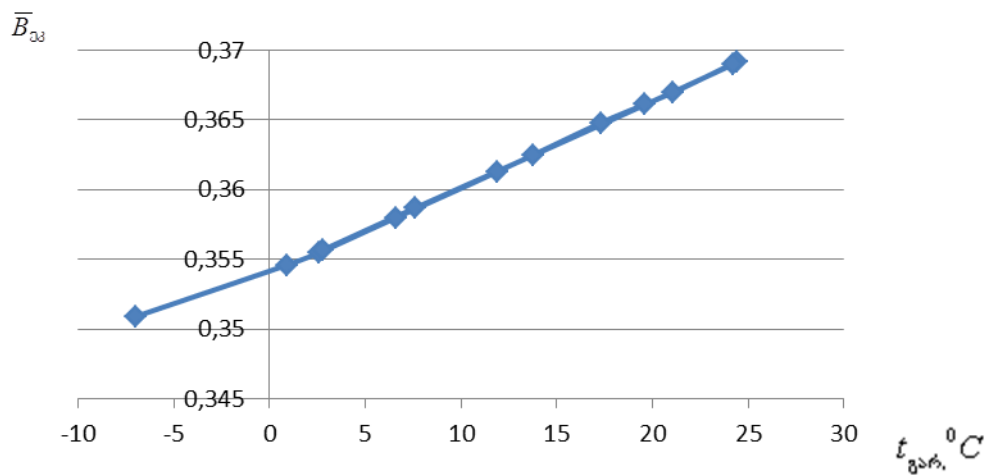
ნახ. 61. ატდ-თეცის ელექტრული მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



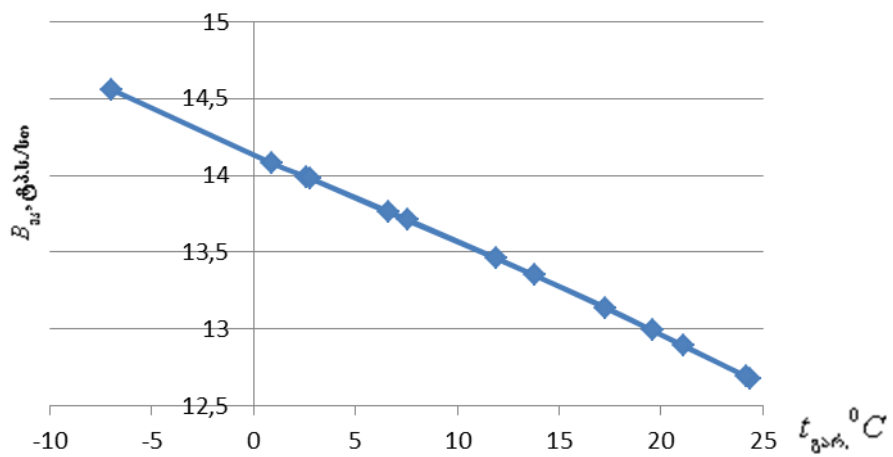
ნახ. 62. ატდ-თეცის თბური სიმძლავრის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



ნახ. 63. პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯის ეკონომიის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



ნახ. 64. სათბობის ფარდობითი ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



ნახ.65. სათბობის ეკონომიის ხარჯის დამოკიდებულება გარე ჰაერის ტემპერატურაზე

### 3.5. დიზელ-დანადგარების ნარჩენი სითბოს გამოყენება კოგენერაციაში

#### 3.5.1. დიზელის ნამუშევარი სითბოს გამოყენების გზები და შესაძლებლობა

მძლავრი თეცების გარდა კოგენერაციული სადგურები შეიძლება შეიქმნას მცირე სიმძლავრის ენერგოდანადგარების ბაზაზეც [59]. ერთ-ერთი ასეთი დანადგარია მცირე სიმძლავრის დიზელი.

დიზელის მუშა ცილინდრებში საწვავის წვის შედეგად მიღებული სითბო მთლიანად არ გარდაიქმნება სასარგებლო მუშაობად, ამ სითბოს დიდი ნაწილი იკარგება ნამუშევარი აირებით და მაცივებელი წყლით. თანამედროვე დიზელებში ეფექტური მქ კოეფიციენტი  $\eta_{კლ}$  არ აღემატება 40-45%-ს, ხოლო ძველი კონსტრუქციის, განსაკუთრებით ამორტიზებულ დიზელებში ის კიდევ უფრო ნაკლებია. ამრიგად, სითბოს დიდი ნაწილი (55% და მეტი) იკარგება, არადა ეს სითბო შეიძლება მოხმარდეს საწარმოო და სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო საჭიროებას თვით ელექტროსადგურებში [60].

დიზელის თბური ბალანსიდან ჩანს, რომ მისი დაკარგული სითბო შედგება ნამუშევარი აირებით და მაცივებელი წყლის მიერ გატანილი სითბოსგან, აგრეთვე სათბობის არასრული წვის შედეგად დაკარგული სითბოსგან და გარემოში გადაცემული სითბოსგან. უკანასკნელი არ ემორჩილება უტილიზაციის პროგრამას, თუმცა ის ჩვენგან დამოუკიდებლად ხან სასიკეთოდ მოქმედებს, ხან კი ზიანს გვაყენებს: ზამთარში იგი ათბობს სანამქანო დარბაზს და მიმდებარე სათავსებს ისე, რომ გათბობა საჭირო აღარ არის, მაგრამ ზაფხულში ძალიან აცხელებს შენობებში ჰაერს.

ნამუშევარი აირებით და მაცივებელი წყლით გატანილი სითბო შეიძლება გამოვიყენოთ სასარგებლო. ამასთან მაცივებელი წყლის სითბო შეიძლება გამოყენებულ იქნეს უფრო სრულად, ვიდრე წარმავალი აირების სითბო. ნამუშევარმა აირებმა სითბოს ნაწილი შეიძლება გადასცეს ნებისმიერ თბოგადამტანს (წყალს, ორთქლს, ჰაერს და სხვ.)



აპარატ-უტილიზატორის მეშვეობით. ნამუშევარი აირებიდან 1 სთ-ში გაცემული სითბო შეიძლება ვიანგარიშოთ ფორმულით:

$$Q_2 = (1 - \varphi) \cdot g_{\text{გვ}} \cdot N_{\text{გვ}} \cdot (i_{s1} - i_{s2}), \quad \text{კჯ/სთ} \quad (75)$$

სადაც  $g_{\text{გვ}}$  - სათბობის კუთრი ხარჯია, კგ/(კვტ.სთ);

$N_{\text{გვ}}$  - დიზელის სიმძლავრე, კვტ;

$i_{s1}, i_{s2}$  - აირის ენთალპია საუტილიზაციო ქვაბში შესვლისას და გამოსვლისას დიზელში დამწვარ 1 კგ სათბობზე შეფარდებით, კჯ/კგ;

$\varphi$  - სითბოს დანაკარგის კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება 3-5%-ის ტოლი ან განისაზღვრება ექსპერიმენტულად.

ნამუშევარი აირების ენთალპია დამოკიდებულია უტილიზატორში აირის შესვლის და გამოსვლის ტემპერატურაზე, აგრეთვე აირში ნახშირორჟანგისა და წყლის ორთქლის შემცველობაზე:

$$i_2 = \left[ v_{\text{გვ.ა}} C_{p\text{გვ.ა}} + v_{H_2O} C_{pH_2O} \right] \cdot t_s \cdot 4,19, \quad \text{კჯ/სთ} \quad (76)$$

სადაც  $v_{\text{გვ.ა}}$  - აირის წვის მშრალი პროდუქტების მოცულობა 1 კგ სათბობზე, მ<sup>3</sup>;

$v_{H_2O}$  - წყლის ორთქლის მოცულობა 1 კგ დამწვარ სათბობზე, მ<sup>3</sup>;

$C_{p\text{გვ.ა}}$  და  $C_{pH_2O}$  - მშრალი აირებისა და წყლის ორთქლის მოცულობითი

სითბოტევადობა;  $t_s$  - აირის ტემპერატურა, °C.

მაცივებელი წყლით წადებული სითბო შეიძლება უფრო სრულად გამოვიყენოთ, ვიდრე ნამუშევარი აირით გატანილი სითბო, რადგან წყლით წადებული სითბო შეიძლება გამოვიყებოთ აბანოში, საშხაპეში, სამრეცხაოში, მაგრამ ეს გზა დაკავშირებულია ელექტროსადგურში წყლის დანაკარგთან და დასაშვებია მხოლოდ მაშინ, როცა ელექტროსადგური კარგად არის უზრუნველყოფილი რბილი მცირემინარალიზებული წყლით. მომხმარებელზე მიწოდებული წყლის ტემპერატურის ლიმიტირდება დიზელის შემდეგ წყლის ზღვრული ტემპერატურით და ბოილერის ტემპერატურული ვარდნით.

ამ ტემპერატურების სავარაუდო მნიშვნელობები, 1 კგ დამწვარი სათბობის სითბოს რაოდენობა და სხვა პარამეტრები მოცემულია 46-ე

ცხრილში. ეს მონაცემები არის საშუალო სიდიდისა, რომელებიც მიღებულია სხვადასხვა ქვაბ-უტილიზატორის გამოცდისას.

ცხრილი 45

საუტილიზაციო ქვაბების გამოცდისას მიღებული მონაცემები

პარამეტრები	ოთხტაქტიანი დიზელი		ორტაქტიანი დიზელი	
	ნელსვლიანი	სწრაფსვლიანი	ნელსვლიანი	სწრაფსვლიანი
საანგარიშო სიმძლავრე, როგორც ნომინალური სიმძლავრის პროცენტული სიდიდე $N_N$ , %	90,0	85	85	80
უტილიზატორში შემაჯავალი აირების საგარაუდო ტემპერატურა, $^{\circ}C$	340-380	380-450	250-280	280-350
სითბოს საგარაუდო რაოდენობა, კჯ/კვტ.სთ	1230-1310	1310-1390	1610-1850	1850-2000
უტილიზატორიდან გამომავალი ნამუშევარი აირების ტემპერატურა, $^{\circ}C (t_s)$	140*	150*	140*	150*
აირის და ორთქლის ტემპერატურათა სხვაობა	50-60	50-60	50-60	50-60
წვის პროდუქტების საორიენტაციო მასა, კგ/ცხ.ძ. იგივე კგ/(კვტ.სთ)	5,0 6,8	5,0 6,8	10,0 13,6	10,0 13,6
უტილიზატორის ჩართვისას სასარგებლოდ გამოყენებული სითბო კჯ/(კვტ.სთ)	554-770	620-920	430-520	520-620
პრაქტიკულად მიღებული ორთქლის რაოდენობა კგ/(ცხ.ძ.სთ). იგივე კგ/(კვტ.სთ)	0,30-0,335 0,41-0,48	0,35-0,40 0,48-0,54	0,2-0,25 0,27-0,54	0,25-0,30 0,37-0,41

\*-ამაზე უფრო დაბალ ტემპერატურაზე წყლის ორთქლი კონდენსირდება

### 3.5.2. ნამუშევარი სითბოს გამოყენების გავლენა დანადგარის ეკონომიურობაზე

დიზელის ეკონომიურობა ხასიათდება ეფექტური მქ კოეფიციენტით. ნამუშევარი აირების სითბოს გამოყენების გავლენა დანადგარის ეკონომიურობაზე გამოვიკვლიოთ 4 ტაქტიან 4Y 42, 5/60 და 2 ტაქტიანი 6D 30/50 აგრეგატის მაგალითზე, საიდანაც ნამუშევარი აირები მიემართება ქვაბ-უტილიზატორში.

4Y42,5/60 დიზელისათვის ნომინალური სიმძლავრით  $N_{გვ} = 500$  ცხ.ძ,

როცა სათბობის კუთრი ხარჯი არის  $b_{\text{გვ}}=0,180$  კვ/ევ.ცხ.ძ., ამასთან, როცა გვაქვს სათბობის საათური ხარჯი  $B=0,18 \cdot 500=90$  კვ/სთ და დაწვის სითბო არის  $Q_{\text{უღ}}^{\text{ა}}=42000$  კჯ/კვ ეფექტური მქ კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით:

$$\eta_{\text{გვ}} = \frac{632 \cdot 4,19}{b_{\text{გვ}} Q_{\text{უღ}}^{\text{ა}}} = \frac{632 \cdot 4,19}{0,18 \cdot 42000} = 0,35 = 35\%.$$

შემდეგ ვღებულობთ, რომ ქვაბ-უტილიზატორი იკვებება წყლით, რომლის ტემპერატურა  $t_{\text{ს.წ}}=45^{\circ}\text{C}$  და იძლევა  $D=180$  კვ ორთქლს საათში, როცა აბსოლუტური წნევა არის 4 ბარი და სიმშრალის ხარისხი  $x=0,97$ . ასეთი ორთქლის ენთალპია  $i_x = i' + rx = 604 + 2140 \cdot 0,97 = 2680$  კჯ/კვ და ენთალპია საკვები წყლის  $i_{\text{ს.წ}} = c_{\text{წ}} t_{\text{ს.წ}} = 4,19 \cdot 45 = 189$  კჯ/კვ. მთელი სითბო, რომელიც გამოიყენება ქვაბ-უტილიზატორში  $Q = D \cdot (i_x - i_{\text{ს.წ}}) = 180(2680 - 189) = 448000$  კჯ/სთ. დანადგარის ეკონომიურობა ქვაბ-უტილიზატორის მუშაობის ხარჯზე იზრდება:

$$\Delta \eta \% = 100 \frac{Q}{B Q_{\text{უღ}}^{\text{ა}}} = 100 \frac{448000}{90 \cdot 42000} = 11,8\% \text{ -ით.} \quad (77)$$

6Д 30/50 დიზელისათვის, რომლის ნომინალური სიმძლავრე  $N_{\text{გვ}}=600$  ცხ.ძ, ხოლო სათბობის კუთრი ხარჯი  $b_{\text{გვ}}=0,185$  კვ/ცხ.ძ.სთ. გვაქვს სათბობის ხარჯი  $B = b_{\text{გვ}} N_{\text{გვ}} = 0,185 \cdot 600 = 111$  კვ/სთ ასეთი დიზელისათვის ეფექტური მქ კოეფიციენტი:

$$\eta_{\text{გვ}} = \frac{632 \cdot 4,19}{0,185 \cdot 42000} = 0,341 = 34,1\%.$$

ვთვლით რა, რომ ნამუშევარი აირი შედის ქვაბ-უტილიზატორში, რომელშიც გადის 3500 კვ წყალი საათში და ის ცხელდება  $65^{\circ}\text{C}$ -დან  $85^{\circ}\text{C}$ -მდე, მაშინ მთელი სითბო, რომელიც გამოიყენება ქვაბ-უტილიზატორში  $Q = G_{\text{წ}} c_{\text{წ}} \cdot (t_{2\text{წ}} - t_{1\text{წ}}) = 3500 \cdot 4,19 \cdot 20 = 293000$  კჯ/სთ.

ამრიგად თეცებში, სადაც გამოვიყენებთ ნამუშევარი აირების სითბოს დანადგარის მქ კოეფიციენტი გაიზრდება სიდიდით:

$$\Delta\eta = 100 \frac{Q}{BQ_{\text{უღ}}} = 100 \cdot \frac{293000}{111 \cdot 42000} = 6,3\% \text{-ით.} \quad (78)$$

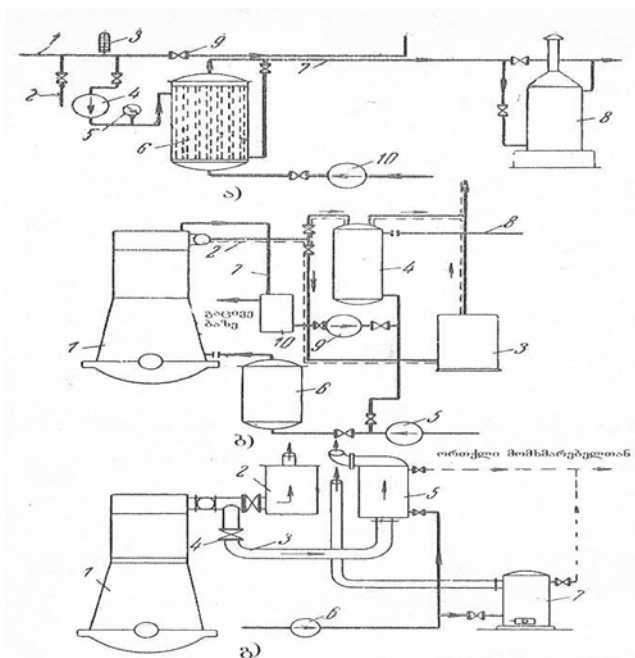
### 3.5.3. ნამუშევარი სითბოს გამოსაყენებელი დანადგარების სქემები და ელემენტები

იმ დანადგარის ელემენტები, რომელიც გამოიყენება ნამუშევარი სითბოს უტილიზაციისათვის ყველაზე უკეთ გავეცნობით ტიპური სქემებით. ნახ. 66 (ა)-ზე მოცემულია ასეთი სქემა, რომლითაც შეიძლება გამოვიყენოთ გამაცივებელი წყლის სითბო. ცხელი წყალი (პირველი კონტურის წყალი) დიზელის გამაცივებელი არედან ჩაედინება მილსადენ 1-ში და ხვდება ცენტრიდანულ ტუმბო 4-ში, რომელიც გარკვეული წნევით აწვდის წყალწყლიან ბოილერს 6. ამ ბოილერშივე ხდება (მეორე კონტურიდან) ტუმბოთი 10 შემოსული წყლის გაცხელება. საიდანაც, ტუმბოთი 7 წყალი მიეწოდება მომხმარებელს. პირველი კონტურის წყალი ანუ თბილი წყალი, რომელიც გამაცივებელიდან მოდის, გასცემს რა თავის სითბოს, მიდის შემდეგ ე.წ. შემკრებში და კვლავ გამოიყენება დიზელის გამაცივებელში (ნახაზზე ეს არ არის ნაჩვენები). თუ მომხმარებელს ცხელი წყალი არ უნდა, მაშინ ტუმბოს 4 აჩერებენ, ხოლო წყალწყლიან ბოილერში წყლის მიწოდებას ურდულით კეტავენ. თუ ურდული 9 ღიაა ცხელი წყალი მიემართება შემკრებში ან კვლავ გამაცივებელ მოწყობილობაში და შემდეგ შემკრებში. თუ მომხმარებელს სჭირდება უფრო მეტი ტემპერატურის მქონე წყალი, ვიდრე ამას იძლევა წყალწყლიანი ბოილერი, მაშინ მილით 7 წყალი შეიძლება შევათბოთ წყლის შემათბობელ ქვაბში 8. თბილი წყლის მიწოდება წყლის შემათბობელ ქვაბში, ასევე თბილი წყლის გაშვება ამ ქვაბის გვერდის ავლით ხდება შესაბამისი ურდულების მეშვეობით. შემათბობელი ქვაბის ნაცვლად ნებისმიერი სათბობის შემთხვევაში შეიძლება გამოვიყენოთ საუტილიზაციო ქვაბი. სადაც ხდება ნამუშევარი სითბოს კომბინირებული გამოყენება, ამ დროს დანადგარის  $\eta_{\text{კლ}}$  იქნება მაქსიმალური. ელექტროსადგურის საკუთარი მომხმარებლისათვის (დიზელის შესაბამისად გაშვების წინ, სათბობის შესაბამისად, წყლისა და ზეთის შე-

სათბობად) მილსადენს 1 აქვს განშტოება 2. დანადგარის მუშაობას, რომ დაუკვირდეთ მას აქვს თერმომეტრი 3 და მანომეტრი 5.

ნახ. 66. (ბ)-ზე მოცემულია დანადგარის პრინციპული სქემა, რომლითაც ხდება ნამუშევარი აირების სითბოს გამოყენება წყლის გასაცხელებლად.

დიზელის 1 ნამუშევარი აირები 2 მილსადენით ხვდება მაყუნში 3, შემდეგ ატმოსფეროში ან კიდევ ქვაბ-უტილიზატორში 4. აქედან კი ისევ ატმოსფეროში. აირების მოძრაობის მიმართულება დგინდება ურდულეების საშუალებით მილსადენზე 2. დიზელის გასაცვივებლად



ნახ. 66. დიზელ-დანადგარის ნამუშევარი სითბოს გამოყენების პრინციპული სქემა. ა - მაცივებელი წყლის სითბოს გამოყენება; ბ - წყლის გასათბობად ნამუშევარი აირების სითბოს გამოყენება; გ - ორთქლის მისაღებას ნამუშევარი აირების გამოყენება.

ცენტრიდანული ტუმბოთი 5 მიეწოდება  $35-50^{\circ}C$  ტემპერატურის მქონე წყალი, ეს წყალი ხვდება ზეთის მაცივარში 6, შემდეგ კი დიზელის გაცივების სისტემიდან ცხელი წყალი მილსადენით 7 იღვრება შემკრებში 10. შემკრებიდან  $55-70^{\circ}C$  ტემპერატურის მქონე წყალი მიდის გამაცივებელ მოწყობილობაში, ხოლო ამ წყლის ნაწილი მეორე ტუმბოთი 9 შეიძლება მივაწოდოთ ქვაბ-უტილიზატორს. ქვაბიდან ცხელი წყალი მილსადენით 8 მიეწოდება მომხმარებელს. ასე, რომ ამ სქემით წყალსათბობი საუტილიზაციო ქვაბი შეიძლება ვაკვებოთ როგორც თბილი,

ასევე ცხელი წყლით. ეს დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორი უნდა იყოს წყლის საბოლოო ტემპერატურა. ნამუშევარი აირების სითბოს გამოყენების ეს სქემა ითხოვს რბილი წყლის მიწოდებას.

ნახ. 66. (გ)-ზე მოცემულია პრინციპული სქემა, რომელშიც ნამუშევარი აირების სითბო გამოიყენება დაბალი და საშუალო წნევის ნაჯერი ორთქლის საწარმოებლად. ნამუშევარი აირები დიზელის კოლექტორიდან 1 ხვდება მაყუჩში 2 ან ურდულით 4 და მილსადენით 3 ქვაბ-უტილიზატორში 5. ქვაბში მიწოდებული აირის რაოდენობა რეგულირდება ურდულის 4 და მაყუჩის ურდულის გაღების ხარისხით (ანუ თუ მეტად გავაღებთ ურდულს მეტი აირი მიეწოდება, თუ დავკეტავთ ნაკლები).

ქვაბის კვებისათვის დაყენებულია სპეციალური ტუმბო 6. დიზელის გაცივებისას მომხმარებელს, რომ ორთქლი მიეწოდოს შეუფერხებლად დაყენებულია დამხმარე ორთქლის ქვაბი 7, რომელსაც აქვს საჭირო მწარმოებლობა. ქვაბების წყლით კვება, ტუმბოს გარდა შეიძლება მოვახდინოთ ეფექტორით. ნებისმიერ შემთხვევაში და ნებისმიერი ქვაბისათვის საკვები წყალი უნდა იყოს რბილი.

ქვაბ-უტილიზატორი და დამხმარე ორთქლის ქვაბი უნდა იყოს აღჭურვილი ყველა იმ არმატურითა და ხელსაწყოთი, რომელსაც ითხოვს სახელმწიფო ზედამხედველობის ინსპექცია.

### 3.5.4 A-41 დიზელის ნარჩენი სითბოს უტილიზაციის შესაძლებლობის გაანგარიშება

[60] მოცემული მეთოდის საფუძველზე გავიანგარიშოთ A-41 დიზელის კოგენერაციისათვის გამოყენების ეფექტურობის მაჩვენებლები.

დიზელის ეფექტური სიმძლავრე  $N_{\text{გგ}} = 37,5 \text{ კვტ}$ ; საანგარიშო სიმძლავრედ მივიღოთ:

$$N'_{\text{გგ}} = 0,85 \cdot N_{\text{გგ}} \cong 31,875 \text{ კვტ} \approx 32 \text{ კვტ.}$$

ეფექტურ მქ კოეფიციენტს დიზელისთვის ვიღებთ  $\eta_{\text{გგ}} = 0,35$  [60], მაშინ სათბობის მიერ შეტანილი სითბო :

$$Q_1 = \frac{N'_{\text{გზ}}}{\eta_{\text{გზ}}} = \frac{32}{0,35} \cong 91 \text{ კვტ} = 327600 \text{ კვჯ/სთ.} \quad (79)$$

პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯი

$$b_{\text{გზ}} = \frac{123}{\eta_{\text{გზ}}} = \frac{123}{0,35} = 351,4 \text{ გ.ს.}/(\text{კვტ.სთ}) \quad (80)$$

დიზელის სათბობის უდაბლესი დაწვის სითბო მივიღოთ

$Q_{\text{უღ}}^{\text{d}} = 10000 \text{ კკალ/კგ} = 41,9 \text{ მგჯ/კგ}$  [61]; ნატურალური (დიზელის) სათბობის კუთრი ხარჯი ტოლი იქნება

$$b_{\text{გზ}}^{\text{ნაბ}} = \frac{7}{10} \cdot 351,4 \approx 246 \text{ გ.ს.}/(\text{კვტ.სთ}).$$

დიზელის სათბობის საათური ხარჯი:

$$B = b_{\text{გზ}}^{\text{ნაბ}} \cdot N'_{\text{გზ}} = 0,246 \cdot 32 = 7,872 \text{ კვ/სთ;} \quad (81)$$

დიზელის სათბობის სიმკვრივე ( $15^{\circ}\text{C}$  დროს)  $\rho = 0,87 \text{ გ/სმ}^3 = 0,87 \text{ კგ/დმ}^3$  [61];

დიზელის სათბობის საათური ხარჯი ლიტრებში:

$$B_{\text{ლ}} = \frac{7,872}{0,87} \cong 9,05 \text{ ლ/სთ.}$$

სითბოს კუთრი  $q_{\text{ბაგ}}$ , რაოდენობა, რომელიც დიზელიდან გადაეცემა გარემოს [62]:

- ა) სწრაფსვლიანი დიზელებისთვის  $2270 \div 3700 \text{ კვჯ}/(\text{კვტ.სთ})$
- ბ) ნელსვლიანი დიზელებისთვის  $1890 \div 3130 \text{ კვჯ}/(\text{კვტ.სთ})$

ეს მონაცემები საერთო სითბოს რაოდენობის 13,2-19,2% და 10-18,2%-ს შეადგენს, ნაკლები მნიშვნელობები ეხება სწრაფსვლიან მძლავრ დიზელებს, მეტი სიდიდეები – მცირე სიმძლავრის ორტაქტიან დიზელებს.

ორლინის [62] მონაცემებით იმ დიზელებისათვის, რომლებიც მუშაობენ ჩაბერვის გარეშე,  $q_{\text{ბაგ}} = 0,20 \div 0,35$ ;  $q_{\text{წარ}} = 0,25 \div 0,40$ . ანგარიშისათვის ავიღოთ უმცირესი მნიშვნელობა  $q_{\text{ბაგ}} \approx 0,2$ . მაშინ სითბოს საათური ხარჯი, რომელიც აირინება გაცეცხვის სისტემიდან

$$Q_{\text{ბაგ}} = q_{\text{ბაგ}} \cdot Q_1 = 0,2 \cdot 91 = 18,2 \text{ კვტ} = 65520 \text{ კვჯ/სთ} \quad (82)$$

შენობისთვის, რომლის საერთო ფართობი შეადგენს  $F=800$  მ<sup>2</sup> და ჭერის სიმაღლე 3 მ-ია, საერთო მოცულობა ტოლია:

$$V=800 \cdot 3 \cdot 1,1=2640\text{მ}^3,$$

სადაც 1,1 არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს შენობის მოცულობას გარე გაბარიტებით. საანგარიშო თბური დატვირთვა:

$$Q_{\text{გათ}} = q_0 \cdot V(t_{\text{შობ}} - t_{\text{გარ}}); \quad (83)$$

მივიღოთ:  $t_{\text{შობ}} = 18^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{გარ}} = -8^{\circ}\text{C}$ ;  $q_0 \cong 1,25$  კჯ/(მ<sup>3</sup>სთ.К)=0,347 ვტ/(მ<sup>3</sup>К) [3], მაშინ

$$Q_{\text{გათ}} = 1,25 \cdot 2640 \cdot 26 = 85800 \text{კჯ/სთ} \text{ (23,8 კვტ)}.$$

გათბობის სეზონში საშუალო თბური დატვირთვა:

$$Q_{\text{გათ}}^{\text{საშ}} = Q_{\text{გათ}} \cdot \frac{t_{\text{შობ}} - t_{\text{გარ}}^{\text{საშ}}}{t_{\text{შობ}} - t_{\text{გარ}}} = 23,8 \cdot \frac{18 - 4,2}{18 + 8} = 12,6 \text{ კვტ}, \quad (84)$$

სადაც  $t_{\text{გარ}}^{\text{საშ}} = 4,2^{\circ}\text{C}$  - არის თბილისში ყველაზე ცივი თვისთვის გარემოს საშუალო ტემპერატურა [3].

გათბობის სისტემისათვის ქსელის წყლის საჭირო ხარჯი გაიანგარიშება ფორმულით:

$$G_{\text{ქსელ}} = \frac{Q_{\text{გათ}}}{c(t_1 - t_2)}; \quad (85)$$

მივიღოთ პირდაპირი ქსელის წყლის ტემპერატურა  $t_1 = 85^{\circ}\text{C}$ , დაბრუნებული ქსელის წყლის ტემპერატურა  $t_2 = 65^{\circ}\text{C}$ , ე.ი.  $\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$ , მაშინ

$$G_{\text{ქსელ}} = \frac{23,8}{4,19 \cdot 20} = 0,284 \text{ კგ/წმ} \cong 1,023 \text{ ტ/სთ}.$$

ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ განხილული A-41 ტიპის დიზელ-დანადგარის გაცივების სისტემიდან შეიძლება უზრუნველ-ყოფილ იქნეს თბური დატვირთვა 12,6 კვტ., რაც საკმარისია 800 კვ.მ. შენობის გათბობის სისტემის მოსაწყობად.





## თავი IV. ორთქლაირული კოგენერაცია

### 4.1. არსებული კომბინირებული დანადგარების მოკლე დახასიათება

თბოენერგეტიკული დანადგარების რაციონალური განვითარების მთავარ მიმართულებას წარმოადგენს კომბინირებული ციკლების დამუშავება და გამოყენება. ასეთი ციკლების შექმნის მიზანია დანადგარების თბური ეკონომიურობის გაზრდა და საჭირო კაპიტალდაბანდებების შემცირება. კომბინირებული ციკლი იძლევა მაქსიმალურ დადებით ეფექტს, როდესაც ერთიანდება ორი ან რამდენიმე თერმოდინამიკური ციკლი, რომელთაგან ერთ-ერთს ექნება სითბოს მიწოდების მაღალი (მაქსიმალურად დასაშვები) ტემპერატურა - ზედა ციკლი, ხოლო მეორეს (ქვედა ციკლი)-სითბოს არინების რაც შეიძლება დაბალი ტემპერატურა.

მქ კოეფიციენტის ზრდა მიიღება ორთქლტურბინული ციკლის მაღალტემპერატურიანი აირტურბინით თერმოდინამიკური დაშენების გზით. სითბოს მიწოდების პრინციპების შესაბამისად კომბინირებული ციკლები შეიძლება იყოს დაყოფილი სამ ძირითად ჯგუფად: ნაწილობრივ-ბინარული, ბინარული და მონარული [54,64].

კომბინირებული ციკლის ეფექტურობა ბევრად არის დამოკიდებული აირების ტემპერატურაზე აირტურბინის წინ. როდესაც აღნიშნული ტემპერატურა არ აღემატება  $1000-1100^{\circ}C$ -ს ყველაზე ეფექტურია ნაწილობრივ ბინარული ციკლი მაღალი დაწნევის ორთქლგენერატორით (ნახ. 67.ა) მაღალი დაწნევით მომუშავე ორთქლგენერატორი შეითავსებს აგრეთვე წვის კამერის როლს აირტურბინული დანადგარისათვის, და სითბო ორთქლტურბინულ ციკლს მიეწოდება აირების მაღალი წნევის პირობებში. ამასთან ორთქლტურბინული ციკლი მარტივდება, რადგან ტურბინის რეგენერაციის უმეტესი ნაწილი აღარ იქნება საჭირო.

T-S დიაგრამის შესაბამისად ორთქლტურბინულ ციკლში აორთქლების ( $Q_{\text{აორ}}$ ) და გადახურების ( $Q_{\text{გაღ}}$ ) სითბო გადაეცემა თბოგადამტანს მაღალი წნევის იზობარულ პროცესში 1-1 და მხოლოდ წყლის შეთბო-

ბის სითბო  $Q_{\text{შო}}$  გადაეცემა დაბალი წნევით-იზობარა 5-2. სითბოს რაოდენობა, რომელიც გადაეცემა ორთქლტურბინულ ციკლს, 4-5-ჯერ აღემატება აირტურბინულ ნაწილში გადაცემული სითბოს რაოდენობას. შესაბამისად ორთქლის ტურბინას გააჩნია მეტი სიმძლავრე, ვიდრე აირტურბინას. განხილული ციკლის უარყოფით მხარეთ უნდა ჩაითვალოს ბუნებრივი აირის ან სპეციალური აირტურბინული სათბობის გამოყენების აუცილებლობა. ამ ციკლის მთავარ უპირატესობად უნდა ჩაითვალოს მქ კოეფიციენტის გადიდება ორთქლტურბინულ დანადგართან შედარებით (~5-6%-ით) და ორთქლგენერატორის კომპაქტურობა, რაც მნიშვნელოვნად (15-20%-ით) ამცირებს მის კაპიტალდაბანდებებს. ეს ციკლი უნდა მივაკუთვნოთ ნაწილობრივ ბინარულ ციკლებს. მეორე ნაწილობრივ-ბინარული ციკლი (ნახ. 67.ბ) ხასიათდება რამდენადმე ნაკლები ეკონომიურობით (4-5%-ით) პირველთან შედარებით.

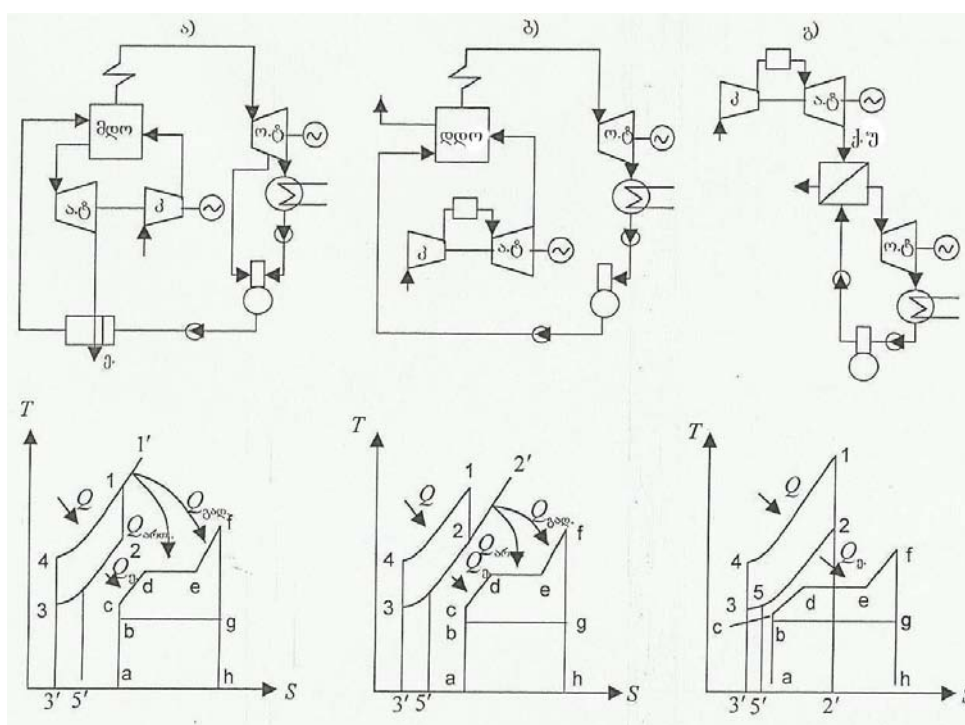
აირტურბინის წარმავალი აირები შეიცავენ 15-18% რაოდენობის ჟანგბადს და, თუ გავითვალისწინებთ მათ მაღალ ტემპერატურას- $500\div 550^{\circ}C$ , შესაძლებელი ხდება ამ აირების გამოყენება ჰაერის მაგივრად ჩვეულებრივ ქვაბში, ანუ დაბალი დაწნევის ორთქლგენერატორებში (დღო). ამ შემთხვევაში აღნიშნული აირების ფიზიკური სითბო ეფექტურად იქნება გამოყენებული და ორთქლგენერატორს აღარ დასჭირდება ჰაერშემთბობი. წარმავალი აირების გაცივება წარმოებს საკვები წყლის საშუალებით დამატებით ეკონომიაზერში. მათი ეფექტური გაცივება ხდება შესაძლებელი, თუ მნიშვნელოვნად შეიზღუდება ორთქლური რეგენერაცია ორთქლის ტურბინაში.

აღნიშნული ციკლის ძირითადი უპირატესობანი შემდეგია:

1. შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ჩვეულებრივი კონსტრუქციის ორთქლგენერატორი უმნიშვნელო გადაკეთებით (დამატებითი ეკონომიაზერის მონტაჟი) და მას შეუძლია იმუშაოს პრაქტიკულად ნებისმიერი სახის სათბობზე.
2. შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს სერიული დანადგარები, რაც ბევრად აადვილებს კომბინირებული ციკლის განხორციელებას.

3. მაღალი საიმედოობა, რაც დაკავშირებულია ორთქლტურბინული და აირტურბინული დანადგარების მუშაობის შესაძლებლობასთან როგორც ერთობლივად, ასევე ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად, ანუ ავტონომიურ რეჟიმში.

4. განხილული კომბინირებული ციკლების (ნახ. 43.) თერმოდინამიკური ანალიზით შეფასებულია სათბობის ეკონომიის სიდიდე 9 და 8% შესაბამისად [65] ჩვეულებრივ ორთქლტურბინულ ციკლთან შედარებით.



ნახ.67. ბინარული და მონარული ორთქლაირული დანადგარების ძირითადი სქემები:

ა)

ბ)

გ)

ა.ტ.-აირ ტურბინა; მდ.ო-მაღალი წნევის ორთქლგენერატორი; კ-კომპრესორი; ე-ეკონომიზერი; ო.ტ-ორთქლის ტურბინა; დდ.ო-დაბალი დაწნევის ორთქლგენერატორი; წკ-წვის კამერა; ქ.უ-ქვაბ-უტილიზატორი.

მესამე ციკლი არის წმინდა ბინარული (ნახ. 67.გ) იგი ითვალისწინებს აირტურბინული დანადგარის სრულ დაშენებას ორთქლტურბინულ ციკლზე (აირორთქლტურბინული ციკლი). ნაწილობრივ ბინარული ციკლებში ორთქლტურბინულ დანადგარში მიეწოდება სითბოს უმეტესი ნაწილი და მხოლოდ სითბოს 15-20% იხარჯება აირტურბინულ დანადგარზე. ბინარული ციკლი ითვალისწინებს სითბოს მიწოდებას მარტო აირტურბინული დანადგარის წვის კამერაში, ე.ი. მაღალი ტემპერატუ-

რის პირობებში ( $1200 \div 1400^{\circ}C$ ). თერმოდინამიკის კანონების შესაბამისად ეს განაპირობებს მაქსიმალური მქ კოეფიციენტის მიღებას კომბინირებულ ციკლში. ამრიგად, განხილულ ბინარულ ციკლში ორთქლტურბინული დანადგარის ორთქლგენერატორში (ქვაბ-უტილიზატორში) არ წარმოებს სათბობის წვა და გამომუშავებული ორთქლი მიიღება აირტურბინის წარმავალი აირების ფიზიკური სითბოს ხარჯზე [66].

თანამედროვე აირტურბინულ დანადგარებში აირების საწყისი ტემპერატურა აღწევს  $1200 \div 1400^{\circ}C$  და შესაბამისად ატდ-ის მქ კოეფიციენტი  $\eta_{ატდ} = 36-38\%$  ამ შემთხვევაში წარმავალი აირების ტემპერატურა  $510 \div 550^{\circ}C$ -ს შეადგენს, ამიტომ სავსებით შესაძლებელია ამ აირების ფიზიკური სითბოს ხარჯზე ქვაბ-უტილიზატორში მიღებულ იქნეს მაღალი პარამეტრების წყლის ორთქლი [65], რის გამოც იზრდება ორთქლტურბინული ციკლის მქ კოეფიციენტი. ბინარული ციკლით მომუშავე დანადგარის მქ კოეფიციენტი შეიძლება შეფასდეს ფორმულით [65].

$$\eta_{ათდ} \cong \eta_{ატდ} + (1 - \eta_{ატდ}) \eta_{ქუ} \eta_{ოტდ}, \quad (86)$$

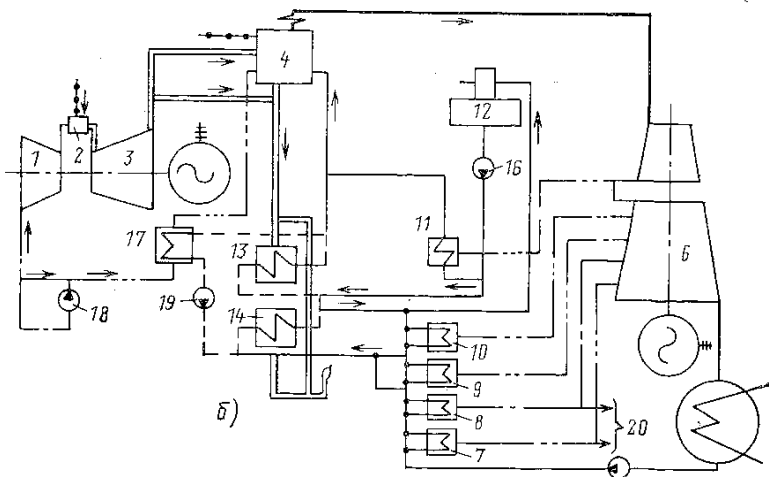
სადაც  $\eta_{ქუ}$  და  $\eta_{ოტდ}$  წარმოადგენს ქვაბ-უტილიზატორის და ორთქლტურბინული დანადგარების მქ კოეფიციენტებს.

განხილული სამი კომბინირებული ციკლიდან, ყველაზე პერსპექტიულია ბინარული ციკლი სრული აირტურბინული დაშენებით ორთქლტურბინულ ციკლზე. ასეთი კომბინირებული ციკლის დანადგარებში მიღებულია მქ კოეფიციენტის მნიშვნელობები  $55-58\%$  [67]. ბინარული ციკლის შემდეგი განვითარება და სრულყოფა წარმოებს ძირითადად ორი ღონისძიების საშუალებით: ორთქლის ტურბინის მუშაობით ორი სხვადასხვა წნევის ორთქლით და სითბოს შუალედური მიწოდებით აირტურბინულ ციკლში.

მიღებული შედეგები ეხება მარტივი სქემის მაღალტემპერატურიან აირტურბინულ დანადგარებს. ამ ციკლში გათვალისწინებულია, რომ ქვაბ-უტილიზატორი გამოიმუშავებს ორი წნევის წყლის ორთქლს. მისი გამოყენება ორთქლის ტურბინაში განაპირობებს ორთქლტურბინული

ციკლის მქ კოეფიციენტის გაზრდას საშუალოდ 2% [67], ერთი წნევის ორთქლის გამოყენებასთან შედარებით.

როგორც კონდენსაციური, ისე თბოფიკაციური ელექტროსადგურების თერმოდინამიკური სრულყოფის შემდგომი მნიშვნელოვანი მიმართულებაა ორთქლაირულ ციკლზე გადასვლა. ძირითადად გამოიყენება ჩვეულებრივი ენერგეტიკული ქვაბი ანუ დაბალი დაწნევის ორთქლგენერატორი, (მდოგ) რომელშიც სათბობის ნაწილის წვა ხდება ატმოსფერულ წნევაზე. მაღალი დაწნევის ორთქლგენერატორის (მდოგ) გამოყენებამ ექსპლუატაციაში არ გაამართლა [28]. ბოლო პერიოდში მდოგ-ს თითქმის აღარსად იყენებენ მსოფლიოში, ვინაიდან თავი იჩინა დიდმა სირთულეებმა ასეთი დანადგარის ქვაბის ექსპლუატაციის პროცესში.



ნახ. 68. ორთქლაირული თეცის პრინციპული სქემა T ტიპის ტურბინით

1-კომპრესორი; 2-წვის კამერა; 3-აირტურბინა; 4-ქვაბი; 5-მდოგ; 6-T ტიპის ორთქლის ტურბინა; 7-10-შესაბამისი დწმ-დწმ; 11-მწმ-ს ჯგუფი; 12-დეაერატორი; 13-I საფეხურის ეკონომიზერი; 14-II საფეხურის ეკონომიზერი; 15-III საფეხურის ეკონომიზერი; 16-მკვებავი ელექტროტუმბო; 17-ჰაერშემთბობი; 18-ჰაერის ვენტილატორი; 19-რეციკლაციური ტუმბო; 20-ორთქლის მიწოდება ქსელის შემთბობზე;

— — — — — უხმარი ორთქლი; — — — — — ორთქლი ართმევიდან; — — — — —საკვები წყალი; — — — — — ჰაერი; — — — — — წარმავალი აირები; • • — სათბობი; — — — — — ჰაერშემთბობის გაცივების კონტური ოტდ-ის ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობისას.

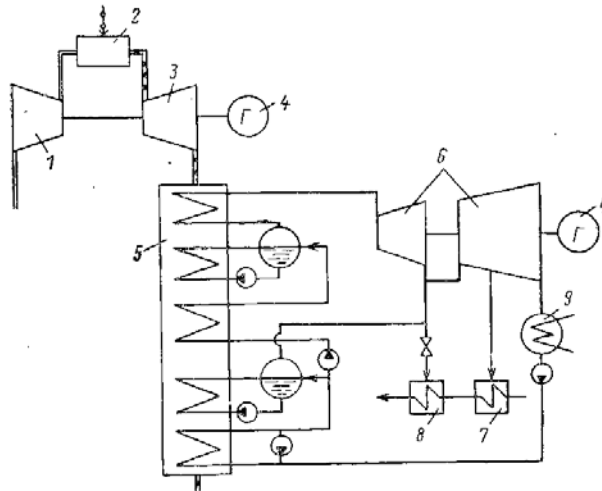
უკანასკნელ დრომდე ოატდ-ს დდოგ-ით მუშაობის ძირითად უპირატესობად თვლიდნენ როგორც აირული, ისე ორთქლძალღვანი ციკ-

ლის საფეხურების მუშაობას ავტონომიურ რეჟიმში და დაახლოებით 3-ჯერ ნაკლები კეთილშობილი სათბობის მოთხოვნილებას ოატდ-სათვის. ეს იმით არის განპირობებული, რომ ენერგეტიკული ქვაბის საცეცხლეში შეიძლება დაიწვას მაზუთი ან ნახშირი. მაგრამ ახლა ამან დაკარგა ფაქტობრივად თავისი მნიშვნელობა, რადგან თხევადი სათბობის გამოყენება ენერგეტიკაში მნიშვნელოვნად შემცირდა, ბუნებრივი აირის მოხმარებასთან შედარებით. ასევე საწვავად შეიძლება გამოვიყენოთ დაბალი ხარისხის ნახშირი, რომელთა გამოყენება საწვავად როგორც ეკონომიური, ისე ეკოლოგიური თვალსაზრისით მიზანშეწონილია ოატდ-ს ციკლში მდოგ-ით.

ბოლო დროს დიდი ყურადღება ექცევა ოატდ-ს სქემას ქვაბ-უტილიზატორით (ოატდ-ქუტ-თი), სადაც ორთქლის გენერაციისათვის გამოიყენება მხოლოდ წარმავალი აირების საითბოს უტილიზაცია. კონდენსაციურ დანადგართან შედარებით ოატდ-ქუტ-თი შეიძლება იყოს უფრო მაღალეფექტური, ვიდრე სხვა ტიპის ოატდ, ამასთან ეკონომიურობის ამაღლება მიიღწევა ბაზისური რეჟიმის დროს, ხოლო სამანევრო რეჟიმების დროს საჭირო იქნება ბლოკში 3-4 ატდ-ს ჩართვა, რომელიც გამოირთვება დატვირთვის შემცირებისას, რომ არ მოხდეს მქ კოეფიციენტის დაუშვებელი შემცირება. თბოფიკაციური ოატდ-სათვის ქუტ-ით თანაბარეკონომიურობა სხვადასხვა ოატდ-ში მიიღწევა ატდ-ს წინ აირის შედარებით დაბალი ტემპერატურისას (დაახლოებით  $1000^{\circ}\text{C}$ ), რაც იმის შედეგია, რომ იზრდება ელექტროენერჯის კუთრი გამომუშავება თბურ მოხმარებაზე. გარდა ამისა, ასეთი დანადგარები უკეთესია ყველა ტიპის ოატდ-სთან შედარებით, რაც გამოიხატება იმაში, რომ მქ კოეფიციენტი ნაკლებადაა დამოკიდებული სიმძლავრის შემცირებაზე, რადგან სათბობის ენერჯის 50-60% ნომინალურ რეჟიმში გამოიყენება თბური დატვირთვების დასაფარავად.

პრინციპში თბოფიკაციური ოატდ-თვის ქუტ-ით შეიძლება შევიმუშაოთ სხვადასხვა სქემები, მაგრამ შესრულებულმა ანალიზმა დაადასტურა [28], რომ ყველაზე მიზანშეწონილია ისეთი ოატდ-ს შექმნა ორთქლის ორსაფეხურიანი წნევით, როცა თბოფიკაციის პირობითი

კოეფიციენტი  $\alpha_{ტ.ტ} = 1$  (მთელი თბური დატვირთვა იფარება ქუტ-დან და ტურბინის ართმევიდან) თბოფიკაციურ თეცში საკვები წყლის დამატებითი შეთბობა განხორციელება ხდება ტურბოდანადგარის შემდეგ პიკურ ქსელის შემთბობებში დაბალი წნევის ორთქლით. ასეთი თეცის სქემა მოცემულია ნახ. 69-ზე.



ნახ. 69. ქვაბ-უტილიზატორიანი თბოფიკაციური ოატდ-ის პრინციპული სქემა  
 1-კომპრესორი; 2-წვის კამერა; 3-აირის ტურბინა; 4-ელექტროგენერატორი;  
 5-ქვაბ-უტილიზატორი (ორწნევიანი); 6-ორთქლის ტურბინა; 7-8-ქსელის  
 შემთბობები; 9- კონდენსატორი; — ჰაერი; • — სათბობი; ••• წვის  
 პროდუქტები; — ორთქლი; — წყალი;

აღნიშნული მიდგომის ძირითად თავისებურებას ოატდ-ს მოწყობილობის არჩევისას წარმოადგენს ის, რომ ამ დროს გვექმნება საშუალება ატდ-ის სიმძლავრის შემცირებისას, როცა გარემოს ტემპერატურა იზრდება, მისი კომპენსაცია მოვახდინოთ ორთქლის ტურბინის სიმძლავრის ზრდით.

ორთქლაირულ ციკლზე გადასვლა ორთქლძალოვანთან შედარებით უზრუნველყოფს ეკონომიურობის მკვეთრ ზრდას. ის თავის გამოხატულებას პოულობს ორი ძირითადი მაჩვენებლის ერთობლივ გავლენაში, რომელიც ახასიათებს ენერგომომარაგების კომბინირებულ სქემას, ესენია: ელექტრული ენერჯის კუთრი გამომუშავება თბურ მოხმარებაზე და სათბობის კუთრი ხარჯი ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე.

გარდა ციკლის თერმოდინამიკური ეფექტურობის გაზრდისა, ორთქლაირიან დანადგარზე გადასვლა უზრუნველყოფს თეცში დანად-



გარის კუთრი კაპიტალდაბანდების მნიშვნელოვან შემცირებას დადგმული ელექტრული სიმძლავრის ერთეულზე.

ასე, მაგალითად: ოატდ-ში მდოგ-თი, იმის მიხედვით თუ რომელი ორთქლის ტურბინაა გამოყენებული და შესაბამისად როგორია ორთქლისა და აირის ციკლის საფეხურთა სიმძლავრის თანაფარდობა კაპიტალდაბანდება ერთეულ ელექტრულ სიმძლავრეზე მცირდება 10-20%-ით, ხოლო ოატდ-ში ქუტ-თი დაახლოებით 50%-ით. ეს განსაზღვრავს მისი გამოყენების მაღალ ტექნიკურ-ეკონომიურ ეფექტურობას.

თბოფიკაციური ოატდ-ს ქუტ-თი გამოყენება შეიძლება თბური დატვირთვების კონცენტრაციის ნებისმიერ ზონაში, რაც გამოწვეულია მათი შედარებით დაბალი თბური სიმძლავრით.

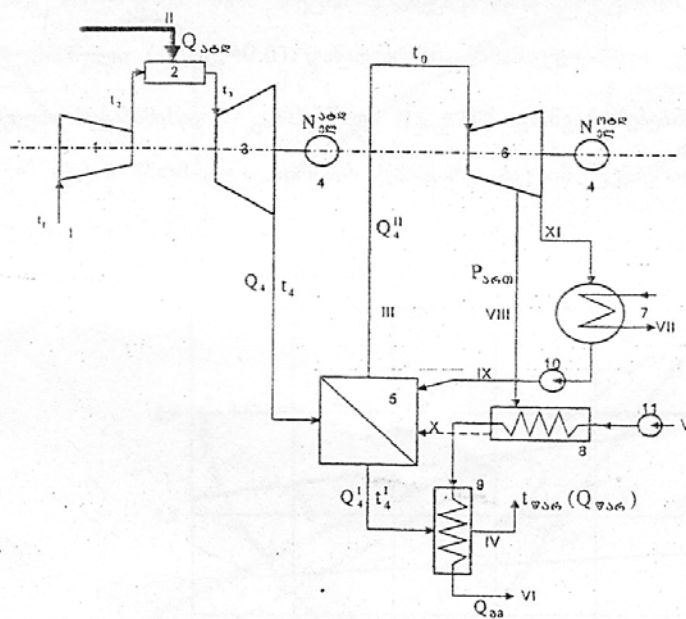
მიღებული მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს [28], რომ ატდ-ის გამოყენება თბოელექტრომომარაგების სისტემაში უზრუნველყოფს მნიშვნელოვან ეფექტს ისე, რომ არ იქნება დამოკიდებული თბური დატვირთვების კონცენტრაციაზე და ენერგოდანადგარების მუშაობის რეჟიმზე. თბური დატვირთვების მნიშვნელოვანი კონცენტრაციის ზონაში შედარებით პერსპექტიულია ოატდ-ს მდოგ-თი გამოყენება.

#### 4.2. ქვებ-უტილიზატორიანი ორთქლაირული თეცის პრინციპული თბური სქემები და ეფექტურობის ძირითადი მაჩვენებლები

კოგენერაცია წარმოადგენს მსოფლიო ენერგეტიკის განვითარების და ენერგოდამზოვი პოლიტიკის უმნიშვნელოვანეს სტრატეგიულ მიმართულებას. ტრადიციულმა ორთქლტურბინულმა თეცებმა, სიძვირისა და შედარებით დაბალი ეფექტურობის გამო, პრაქტიკულად უკვე ამოწურეს თავისი შესაძლებლობები და შემდგომი განვითარების პერსპექტივები აღარ აქვთ [42]. გაცილებით ენერგოეფექტური, იაფი და ეკოლოგიურად უსაფრთხოა აირტურბინულ, ორთქლაირულ და აირდგუშიან ტექნოლოგიებზე დაფუძნებული კოგენერაციული სადგურები. ბინარული ტიპის ქვებ-უტილიზატორიანი თბოფიკაციური ორთქლაირული დანადგარები გამოირჩევა ელექტროენერჯის მაქსიმალური გა-

მომუშავეებით თბური მოხმარების ბაზაზე და ყველა პერსპექტიულია თეციებისათვის [16,42].

ნახ. 70-ზე მოყვანილია ასეთი ტიპის დანაგარებით აღჭურვილი თეცის პრინციპული თბური სქემა [42], სადაც გამოყენებულია უმარტივესი ტიპის აირტურბინული დანადგარი (ატდ), KO ტიპის (T ან II) ერთრეგულირებადართმევიანი თბოფიკაციური ორთქლის ტურბინა, რომელსაც არა აქვს ორთქლის რეგენერაციული ართმევეები.



ნახ. 70. ქვაბ-უტილიზატორიანი ატდ-თეცის პრინციპული თბური სქემა

1- ატდ-ს ჰაერის კომპრესორი; 2- წვის კამერა; 3- აირტურბინა; 4- ელექტროგენერატორი; 5- ქვაბ-უტილიზატორი; 6- ორთქლის ტურბინა; 7- კონდენსატორი; 8- ორთქლწელიანი ქსელის შემთბობი; 9- აირწელიანი ქსელის შემთბობი; 10- კონდენსატის ტუმბო; 11- ქსელის წყლის ტუმბო; I- ჰაერის შეწოვა კომპრესორში; II- სათბობის მიწოდება წვის კამერაში; III- ორთქლი ქვაბ-უტილიზატორიდან; IV- წარმავალი აირები ატმოსფეროში; V- დაბრუნებული ქსელის წყალი; VI- პირდაპირი ქსელის წყალი; VII- საცირკულაციო წყალი; VIII- ორთქლის რეგულირებადი ართმევა; IX-კონდენსატი; X- ართმეული ორთქლის დრენაჟი; XI- ნამუშევარი ორთქლი.

ატდ-ის წარმავალი აირების სითბოს უტილიზაცია ხდება თანმიმდევრულად ჯერ ქვაბ-უტილიზატორში 5 ორთქლის ტურბინისათვის 6 დაბალი ან საშუალო წნევის ორთქლის მისაღებად, შემდეგ კი აირწელიან შემთბობში 9. ამის შედეგად წარმავალი აირების ტემპერატურა მცირდება 450...550°C-დან (ატდ-ის გამოსასვლელზე) 100...150°C-მდე (ატმოსფე-

როში გატყორცნისას). გათბობაცხელწყალ-მომარაგების სისტემაში მისაწოდებელი ქსელის წყალი შეთბება ჯერ ორთქლწყლიან შემთბობში (ბოილერში) 8 ორთქლის ტურბინიდან ართმეული ორთქლით, შემდეგ კი აირწყლიან შემთბობში 9 ატდ-ის წარმავალი აირებით.

წარმოდგენილი ტიპის ორთქლაირული თეცის ენერგოეფექტურობის თერმოდინამიკური ანალიზის საფუძველზე, განსაზღვრულია [68,69] ასეთი თეცის თბური ეკონომიურობის ძირითადი მაჩვენებლები:

$$ა) \eta_{აოტდ}^{სრ} = \eta_{ატდ} \left[ 1 + \beta_{გმ} \left( 1/\eta_{ატდ} - 1/\eta_{გმ} - q_{წარ} \right) + \bar{N}_{ს}^{შლ} \left( 1 + \bar{N}_{ს}^{შლ} / \omega_{აოტდ} \right) \right]; \quad (87)$$

ბ) თეცის კერძო მქ კოეფიციენტი „ბრუტო“ ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე

$$\eta_{აოტდ}^{შლ} = \left( 1 + \bar{N}_{შლ}^{აოტდ} \right) / \left[ \left( 1 - \eta_{აოტდ}^{სრ} \right) / \eta_{ატდ} + 1 + \bar{N}_{შლ}^{აოტდ} \right], \quad (88)$$

გ) თეცში ელექტროენერჯის კუთრი გამომუშავება თბური მოხმარების ბაზაზე

$$\omega_{აოტდ} = \left( 1 + \bar{N}_{შლ}^{აოტდ} \cdot \bar{N}_{ს}^{შლ} \right) / \left[ \left( \eta_{აოტდ}^{სრ} / \eta_{ატდ} - \left( 1 + \bar{N}_{შლ}^{აოტდ} \right) \right) \right]; \quad (89)$$

დ) პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯი ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე, კგპ.ს/(კგტ.სთ)

$$b_{აოტდ}^{შლ} = 0,123 \left\{ 1 + \left( 1 - \eta_{აოტდ}^{სრ} \right) / \left[ \eta_{ატდ} \left( 1 + \bar{N}_{შლ}^{აოტდ} \right) \right] \right\}; \quad (90)$$

ე) თეცში ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე დახარჯული სათბობის წილი

$$\beta_{აოტდ}^{შლ} = \left( 1 - \eta_{აოტდ}^{სრ} \right) + \eta_{ატდ} \left( 1 + \bar{N}_{შლ}^{აოტდ} \right); \quad (91)$$

ვ) ენერგოსისტემაში ორთქლაირული თეცის ფუნქციონირებით განპირობებული სათბობის ფარდობითი ეკონომია – ენერგოწარმოების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით (ელექტროენერჯია კონდენსაციურ ელექტროსადგურში, სითბო – რაიონულ საქვაბეში):

$$\bar{B}_{გმ} = 1 - 1 / \left[ \eta_{ატდ} \left( 1/\eta_{გმ} - 1/\eta_{საქ} \right) \left( 1 + \bar{N}_{შლ}^{აოტდ} \right) + \eta_{აოტდ}^{სრ} / \eta_{საქ} \right]; \quad (92)$$

$\eta_{გმ}$  - ატდ-ის და ოტდ-ის ელექტრომექანიკური მქ კოეფიციენტია

( $\eta_{გმ} \cong 0,97$ );  $\eta_{ატდ}$ ,  $\eta_{გმ}$ ,  $\eta_{საქ}$  შესაბამისად აირტურბინული დანადგარის,

კონდენსაციური ელექტროსადგურის და რაიონული საქვების მქ კოეფიციენტები;  $\omega_{\text{ოტდ}}$  - ორთქლტურბინულ დანადგარში ელექტროენერჯის კუთრი გამომუშავება თბური მოხმარების ბაზაზე [44];  $\beta_{\text{გა}}$  - ატდ-ის წარმავალი აირების სითბოს წილი, რომელიც მიეწოდება აირწყლიან შემთბობს;  $\bar{N}_{\text{ელ}}^{\text{ოტდ}}$  - ორთქლაირულ თეცში შემავალი ორთქლტურბინული და აირტურბინული დანადგარების ელექტრულ სიმძლავრეთა ფარდობა [68];  $\bar{N}_{\text{თ}}^{\text{ელ}}$  ორთქლის ტურბინაში თბოფიკაციური ნაკადით გამომუშავებული ფარდობითი ელექტრული სიმძლავრე [35];  $q_{\text{წარ}}$  ატდ-ის წარმავალი აირებით სითბოს კუთრი დანაკარგი – ატდ-ის 1 კვტ სიმძლავრეზე გაანგარიშებით [29].

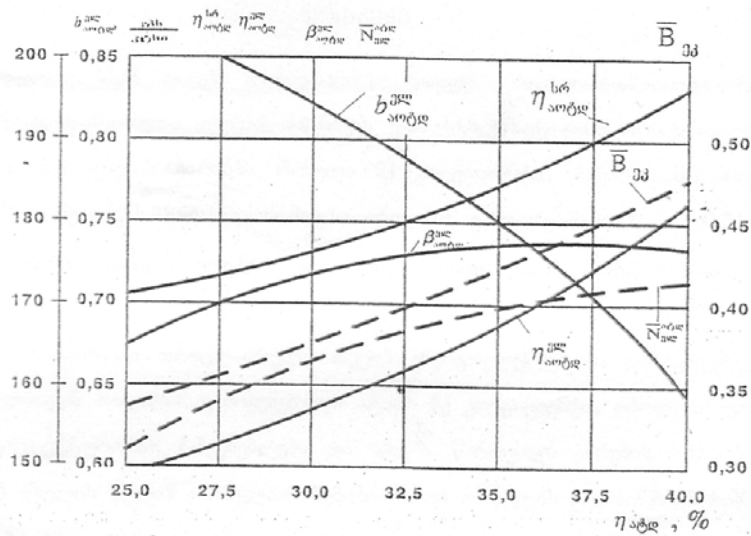
ზემოთ მოყვანილი ფორმულების და [68]-ში დამუშავებული მეთოდის გამოყენებით აგებულია გრაფიკები, რომლებიც ასახავენ განხილული ტიპის ორთქლაირული თეცის ენერგოეფექტურობის ძირითადი მაჩვენებლების დამოკიდებულებას მახასიათებელ პარამეტრებზე.

$\beta_{\text{გა}}$  - კოეფიციენტი შეიძლება იცვლებოდეს დიაპაზონში 0-დან 1-მდე, როცა  $\beta_{\text{გა}} = 0$ , მაშინ ატდ-ის წარმავალი აირების სითბო მთლიანად გამოიყენება ქვაბ-უტილიზატორში ორთქლის მისაღებად. ამ შემთხვევაში ოტდ-ის ელექტრული სიმძლავრე მაქსიმალურია. შესაბამისად ელექტროენერჯის კუთრი გამომუშავება  $\omega_{\text{ოტდ}}$  ძალიან მაღალი გამოდის  $\omega_{\text{ოტდ}} = 2,0 \dots 2,3$ , სათბობის ფარდობითი ეკონომიაც მაქსიმალურია:

$\bar{B}_{\text{გა}} = 0,47$ . როდესაც,  $\beta_{\text{გა}} = 1$ , მაშინ ატდ-ის წარმავალი აირების სითბო გამოიყენება მხოლოდ ქსელის წყლის შესათბობად, აირწყლიან შემთბობში, ორთქლი ქვაბ-უტილიზატორში არ გამომუშავდება, ამიტომ ორთქლის ტურბინა სქემიდან გამოირიცხება და აოტდ აირტურბინულ თეცად გარდაიქმდება [29]. ამ შემთხვევაში ელექტრული სიმძლავრის გენერირება წარმოებს მხოლოდ აირტურბინულ დანადგარში, შესაბამისად

სად პარამეტრიც  $\omega$  გამოდის მინიმალური -  $\omega \approx 0,8$ , სათბობის ფარდობითი ეკონომიაც რამდენადმე შემცირებულია:  $\bar{B}_{\text{კ}} = 0,41$ .

ამრიგად,  $\beta_{\text{გმ}}$  პარამეტრის გადიდებისას იზრდება აოტდ-თეცის როგორც სრული, ასევე კერძო (ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე) მქ კოეფიციენტი, თუმცა უკანასკნელი უფრო ნაკლები ინტენსიურობით, ვიდრე  $\eta_{\text{აოტდ}}^{\text{სრ}}$ .



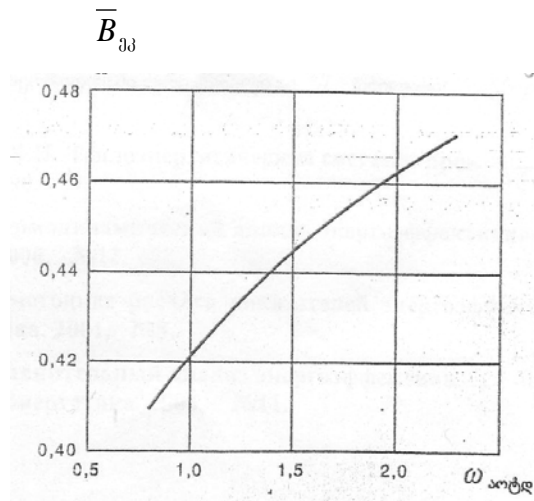
ნახ. 71. აოტდ-თეცის მაჩვენებლები აბტდ-ის მქ კოეფიციენტზე დამოკიდებულებით,

$$\text{როცა } \eta_{\text{აბტდ}}^{\text{კ}} = 0,46, \alpha = 0,7, \omega_{\text{აბტდ}} = 0,6, \beta_{\text{გმ}} = 0,2, \eta_{\text{კეს}} = 0,37, \eta_{\text{საქ}} = 0,8, \eta_{\text{ემ}} = 0,97$$

ნახ. 71-ზე წარმოდგენილია აოტდ-თეცის ენერგოეფექტურობის განხილული მაჩვენებლები აირტურბინული დანადგარის  $\eta_{\text{აბტდ}}$  მქ კოეფიციენტზე დამოკიდებულებით. ამასთან  $\eta_{\text{აბტდ}}$ -ის ცვლილების დიაპაზონი მიღებულია 25%-დან 40%-მდე, ხოლო დანარჩენი განმსაზღვრელი პარამეტრები:  $\eta_{\text{კეს}} = 0,37$ ;  $\eta_{\text{საქ}} = 0,8$ ;  $\beta_{\text{გმ}} = 0,2$ ;  $\omega_{\text{აბტდ}} = 0,6$ . როგორც ნახაზიდან ჩანს,  $\eta_{\text{აბტდ}}$ -ის გადიდებისას ორთქლაირული თეცის პრაქტიკულად ყველა პარამეტრი ინტენსიურად იზრდება. გამონაკლისს წარმოადგენს მხოლოდ  $\beta_{\text{აბტდ}}^{\text{კ}}$  სიდიდე, რომელიც  $\eta_{\text{აბტდ}}$ -ის გადიდებისას 25%-დან 32,5%-

მდე ჯერ იზრდება (0,67-დან 0,73-მდე), ხოლო  $\eta_{\text{ატლ}}$ -ის შემდგომი გაზრდისას პრაქტიკულად უცვლელი რჩება.

მიღებულ პირობებში  $\eta_{\text{ატლ}}$ -ის გადიდება მითითებულ დიაპაზონში იწვევს კერძო  $\eta_{\text{ატლ}}^{\text{მლ}}$  მქ კოეფიციენტის გაზრდას ~ 60%-დან (როცა  $\eta_{\text{ატლ}} = 25\%$ ) 77%-მდე ( $\eta_{\text{ატლ}} = 40\%$ ), იზრდება აგრეთვე აოტლ-თეცის სრული მქ კოეფიციენტი – 71,5%-დან 83,5%-მდე.



ნახ. 72. დამოკიდებულება  $\bar{B}_{33} = f(\omega_{\text{ათლ}})$  აოტლ-თეცისათვის, როცა  $\eta_{\text{კეს}} = 0,37$ ,  $\eta_{\text{საქ}} = 0,8$ ,  $\eta_{\text{ატლ}} = 0,4$ ,  $\omega_{\text{ოტლ}} = 0,6$ ,  $\Delta t_{\text{წარ}} = 100^{\circ}\text{C}$

ნახ. 72–ზე ნაჩვენებია სათბობის ფარდობითი  $\bar{B}_{33}$  ეკონომიის დამოკიდებულება  $\omega_{\text{ათლ}}$  პარამეტრზე. ამ ფუნქციას მკვეთრად ზრდადი ხასიათი აქვს. ეს მრუდი ადასტურებს, რომ ელექტროენერგიის კუთრი გამომუშავება თბური მოხმარების ბაზაზე არსებითად განსაზღვრავს სათბობის იმ ეკონომიას, რომელიც მიიღწევა ენერგოსისტემაში ორთქლაირული თეცის ფუნქციონირებისას – თბოელექტრომომარაგების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით.

### 4.3. აირტურბინული და ორთქლაირული თეცების ფუნქციონირების ეკოლოგიური ასპექტები

ამჟამად ენერგეტიკაში ძირითადი ყურადღება ორგანული სათბობის წვის პროდუქტების უტილიზაციის პრობლემას ექცევა. ორგანული სათბობის წვის შედეგად მიღებული - ნახშირორჟანგი ყოველგვარი შეზღუდვის გარეშე გაიტყორცნება ატმოსფეროში. თუ 2030 წლისათვის ატმოსფეროში  $CO_2$  -ის შემადგენლობა 2-ჯერ გაიზრდება, ეს გამოიწვევს დედამიწაზე ტემპერატურის საშუალოდ  $2^{\circ}C$  -ით გაზრდას, ამიტომ  $CO_2$  -ის პრობლემა აუცილებლად უნდა გადაწყდეს უახლოეს პერიოდში.

თბოელექტროსადგურებში ორგანული სათბობის კუთრი ხარჯისა და საწყისი კაპიტალდაბანდების შემცირების რადიკალური საშუალებაა ელექტროენერჯის წარმოება ორთქლაირული დანადგარებით [70]. საზღვარგარეთ ამჟამად განხორციელებული ბინარული ციკლის საუკეთესო ორთქლაირული დანადგარებით აღჭურვილი თესების მქოეფიციენტის სიდიდემ 58-60%-ს მიაღწია, პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯი ასეთ თესებში შეადგენს  $205 \pm 210$  გპ.ს/(კვტ.სთ), მაშინ, როდესაც ეს ძირითადი მაჩვენებელი ტრადიციული ზეკრიტიკული პარამეტრებით მომუშავე ორთქლტურბინული თესებისათვის,  $320 \pm 330$  გპ.ს/(კვტ.სთ)-ის ტოლია. თბილსრესისთვის იგი უფრო მაღალია -  $332 \pm 370$  გპ.ს/(კვტ.სთ).

აღნიშნულთან ერთად, ბინარული ციკლით მომუშავე ორთქლაირული დანადგარი ხასიათდება შემდეგი მნიშვნელოვანი უპირატესობებით:

- ა) ორთქლაირული დანადგარის კუთრი ღირებულება 1,5-2-ჯერ ნაკლებია თანაბარი სიმძლავრის, აირსა და მაზუთზე მომუშავე, ორთქლტურბინულ ენერგობლოკებთან შედარებით;
- ბ) ორთქლაირულ თბოელექტროცენტრალებში სითბოს გამოყენების კოეფიციენტის სიდიდე 90%-ს აღწევს;
- გ) ორთქლაირული დანადგარი (აირტურბინის სიმძლავრის დიდი წილით) ტრადიციულ თბოელექტროსადგურთან შედარებით მოითხოვს მაცივებელი წყლის თითქმის 2-ჯერ ნაკლებ რაოდენობას;

არსებობს მცდარი შეხედულება, განსაკუთრებით არასპეციალისტებს და ხშირად ჰიდროენერგეტიკოსებს შორისაც კი, რომ თითქოს და თბოელექტროსადგურები გარემოს გატუჭყიანების ძირითადი წყაროა, რაც არ შეესაბამება სინამდვილეს და ეს ნათლად ჩანს აშშ-ის მაგალითზე.

46-ე ცხრილში მოყვანილი მონაცემებიდან თესებისათვის მოცემულია გამონატყორცნის ჯამური სიდიდეები, გამოყენებული სათბობის სახეობის გაუთვალისწინებლად, თუმცა ეს უკანასკნელი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს გარემოს გატუჭყიანების ხარისხს.

ბუნებრივი აირი ხასიათდება მინიმალური უარყოფითი ზემოქმედებით გარემოზე. მეორე მხრივ, ენერგეტიკული დანადგარების აირით მომარაგებას აქვს მნიშვნელოვანი ხარვეზი - სადგურის ტერიტორიაზე შეუძლებელია საჭირო მარაგის აირის შენახვა.

ცხრილი 46

გარემოში მავნე გამონატყორცნების განაწილება აშშ-ს მაგალითზე [70]

გატუჭყიანების წყარო	გატუჭყიანების სახეობა, მლნ ტონა						
	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	აზოტის ოქსიდები	ნახშირ წყალბადი	მყარი ნაწილაკები	მლნ ტონა	%
ტრანსპორტი (მოტორიზებული)	66	1	6	12	1	86	60.6
მრეწველობა	2	9	2	4	6	23	16.2
თბოელექტროსადგურები	1	12	3	1	3	20	14.2
სხვა გათბობის ჩათვლით	3	4	2	2	2	13	9.1

მაგისტრალში აირის ხარჯის მკვეთრი ცვალებადობის გამო, აუცილებელია სარეზერვო სათბობის - მაზუთის გამოყენება. ეს კი მნიშვნელოვნად აუარესებს სადგურის ეკონომიკურ მაჩვენებლებს (ბუნებრივი აირი მაზუთზე უფრო იაფია) და ამასთან, მკვეთრად ზრდის გარემოზე უარყოფით ზემოქმედებას (ცხრილი 43).

ზემოთ მოყვანილი მოსაზრების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ თბოენერგეტიკის ეკოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტის ეფექტური გზებია: 1) თბოენერგეტიკის განვითარება თანამედროვე აირტურბინული ტექნოლოგიების გამოყენების ბაზაზე [21]; 2) თბოელექტროსადგურების წვის პროდუქტებზე NO<sub>x</sub>-ის შემცირება, SO<sub>2</sub>-ის და



CO<sub>2</sub>-ის სრული ან ნაწილობრივი უტილიზაცია; 3) თესვებში მაზუთის, როგორც სარეზერვო სათბობის გამოყენების გამორიცხვა, რაც შესაძლებელია განხორციელდეს თესვების სქემაში ბუნებრივი აირის გამოთხევადებელი დანადგარის ჩართვით [70].

თხევადი აირის შენახვა არ წარმოადგენს დიდ სირთულეს. საჭიროების შემთხვევაში, გათხევადებული აირი რეგაზიფიკაციის შემდეგ მიეწოდება სადგურს. ასეთი სქემით შესაძლებელია მიღწეულ იქნეს ეკოლოგიური სიტუაციის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება.

გარემოში CO<sub>2</sub>-ის გამოტყორცნილი რაოდენობის კუთრი სიდიდე ასევე დამოკიდებულია სათბობის სახეობასა და ტექნოლოგიის ეფექტურობაზე. ყოველი კვტ.სთ ელექტროენერჯის წარმოებისას ქვანახშირზე მომუშავე თესებიდან ატმოსფეროში გაიტყორცნება 850-900გ CO<sub>2</sub>, ბუნებრივი აირის გამოყენებისას - 500-600 გ CO<sub>2</sub>, ხოლო მაზუთის შემთხვევაში ეს სიდიდე 750-850 გ-ს შეადგენს.

თბოელექტროსადგურებში CO<sub>2</sub>-ის სრული უტილიზაცია სავსებით შესაძლებელია თანამედროვე, აპრობირებული ტექნოლოგიების გამოყენებით. მაგრამ ეს გამოიწვევს თესების მქ კოეფიციენტის მნიშვნელოვან შემცირებას, კერძოდ, ბუნებრივ აირზე მომუშავე თესებისათვის მქ კოეფიციენტი შემცირდება -  $\Delta\eta_{კვს} \cong 6.5\%$  -ით, ხოლო მაზუთზე -  $\Delta\eta_{კვს} \cong 9\%$  -ით.

ყოველივე აღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ ბუნებრივი აირი ყველაზე ეკოლოგიურად სუფთა სათბობის სახეობაა და ამიტომ მიზანშეწონილია ისეთი გადაწყვეტილების მიღება, რომ საქართველოს თბოელექტროსადგურები (არსებული და ახალი) ფუნქციონირებდეს მხოლოდ ბუნებრივ აირზე; მით უმეტეს, რომ საქართველო, 30÷50-წლიანი პერსპექტივით, იაფი ბუნებრივი აირის ზონაში იმყოფება.

თბოელექტროსადგურის უწყვეტი და დარეგულირებული გაზმომარაგების უზრუნველყოფისთვის, ერთ-ერთ ეფექტურ გადაწყვეტილებად, შესაძლებელია მიჩნეულ იქნეს ბუნებრივი აირის გათხევადების განხორციელება უშუალო თეს-ის ამს-ში.

აირტურბინული დანადგარებით გამოწვეული ხმაური ყველაზე ძლიერია თეს-ის სხვა დანადგარების მიერ გამოწვეულ ხმაურთა შორის. გარემოზე ზემოქმედების თვალსაზრისით ყველაზე ძლიერ ხმაურს გამოსცემს ატდ-ის შემწოვი და გამოსაბოლქვი ტრაქტები, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში - გენერატორის კორპუსი და ტურბომანქანა.

გრიგალური ხმაურის ძირითადი სიხშირე ბრუნთა რიცხვის  $n$  ( $1/\sqrt{m}$ ) პროპორციულია, იგი აირტურბინული დანადგარებისათვის იცვლება 50...100 ჰც-ის დიაპაზონში.

აირტურბინული დანადგარის შემწოვი სისტემის ხმაურის ჯამური ბგერითი სიმძლავრე დამოკიდებულია კომპრესორში ჰაერის მასურ ხარჯზე, წნევაზე, კომპრესორის პირველი საფეხურის მუშა თვლის გარე დიამეტრზე და კომპრესორის მქ კოეფიციენტზე.

100 მგვტ სიმძლავრის ატდ-ის კომპრესორის ბგერის დონე, რომელიც სხივდება ჰაერმიმდებიდან ჩამსშობის გარეშე, მისგან 120 მ-ის დაშორებით, 110 დბ-ის ტოლია. ეს სიდიდე საკმაოდ მაღალია და ამიტომ ატდ-ის ჰაერის შესასვლელში ყოველთვის აყენებენ მაყუნს.

აირტურბინული დანადგარების ზედაპირიდან 1 მ-ის დაშორებით ბგერის საშუალო დონე  $98 \pm 5$  დბ ტოლია, რაც მნიშვნელოვნად აღარბებს საწარმოში სამუშაო ადგილებისათვის დასაშვებ ნორმებს. ამიტომ, აირტურბინული დანადგარების ნორმალური ექსპლუატაცია შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როდესაც მათ კორპუსებზე დაყენებულია ხმაურმაყუნი გარსაცმები.

მიუხედავად დადგენილი მკაცრი ნორმებისა და გატარებული ღონისძიებებისა, თბოენერგეტიკული დანადგარები მაინც რჩებიან ატმოსფეროს დაბინძურების ერთ-ერთ ძირითად წყაროდ. მაგალითად, ევროპაში მძლავრ სითბურ დანადგარებზე მოდის ატმოსფეროში გამობოლქვილი  $SO_2$ -ის 63% და  $NO_x$ -ის 21% [71]. ამიტომ, 2001 წლის წოლოს ევროპული თანამეგობრობის (ეთ) ოფიციალურმა ორგანომ Official Jurnal გამოაქვეყნა ორი დირექტივა, რომლებსაც ამ თანამეგობრობაში შემავალი 15 ქვეყნისათვის ამავე წლის 27 ნოემბრიდან მიეცა საკანონმდებლო აქტის სახე.

$NO_x$ -ის დასაშვები კონცენტრაცია წვის აირად ნაწარმში, მგ/მ<sup>3</sup>

სათბობის სახე	ჰაერის საანგარიშო სიჭარბე $O_2$ %	საქვებზე დანადგარის თბური სიმძლავრე, მგვტ			
		2015 წლის 30 დეკემბრამდე		2016 წლის 1 იანვრის შემდეგ	
		50-500	500-ზე მეტი	50-500	500-ზე მეტი
მყარი	6 ( $\alpha=1,4$ )	600	500	600	200
თხევადი	3 ( $\alpha=1,167$ )	450	400	450	400
აირადი	3 ( $\alpha=1,167$ )	300	200	300	200

$NO_x$ -ის ზღვრული კონცენტრაცია წვის აირად ნაწარმში, მგ/მ<sup>3</sup>

სათბობის სახე	ჰაერის საანგარიშო სიჭარბე $O_2$ %	საქვებზე დანადგარის თბური სიმძლავრე, მგვტ		
		50-100	100-300	300-ზე მეტი
მყარი	6 ( $\alpha=1,4$ )	400	300	200
ბიომასა	6 ( $\alpha=1,4$ )	400	200	200
თხევადი	3 ( $\alpha=1,167$ )	400	200	200
ბუნებრივი აირი	3 ( $\alpha=1,167$ )	150	150	100
სხვა აირადი სათბობი	3 ( $\alpha=1,167$ )	200	200	200

აზოტის ჟანგეულობის  $NO_x$ -ის დასაშვები კონცენტრაცია წვის აირად ნაწარმში საქვებზე დანადგარებისათვის, რომლებიც უკვე მუშაობენ, ან ლიცენზია 2002 წლის 27 ნოემბრამდე მიიღეს და ესქპლუატაციაში 2033 წლის 27 ნოემბრიდან შევიდნენ, არ უნდა აღემატებოდეს ცხრ. 48-ში და ცხრ. 49-ში მოყვანილ სიდიდეს.

აირტურბინული დანადგარებისათვის  $NO_x$ -ის დასაშვები კონცენტრაცია დგინდება  $O_2=15\%$  ( $\alpha=3,5$ ) პირობებისათვის და მხოლოდ იმ დატვირთვებისათვის, რომლებიც ნომინალურის 70%-ს აღემატება. თუ აირტურბინული დანადგარის თბური სიმძლავრე 50 მგვტ-ზე მეტია, მაშინ  $NO_x$ -ის დასაშვები კონცენტრაცია (როდესაც  $O_2=15\%$ ) შეადგენს: ბუნებრივი აირისათვის – 50, თხევადი სათბობისათვის – 120, სხვა აირადი სათბობისათვის – 120 მგ/მ<sup>3</sup>. პიკური აირტურბინული დანადგარებისათვის, რომლებიც წელიწადში 500 სთ-ზე ნაკლები დროის მანძილზე მუშაობენ,  $NO_x$ -ის ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია 75%-ს არ უნდა აღემატებოდეს. თუ აირტურბინული დანადგარი დგას თეცში, რომლის

საერთო მქ კოეფიციენტი 75%-ია და ჩართულია ორთქლაირული და-  
ნადგარის სქემაში, რომლის ელექტრული მქ კოეფიციენტი 55%-ის ტო-  
ლია, ან მექანიკური ამძრავის როლს ასრულებს.

2001 წლის 27 ნოემბრიდან დაკანონდა დირექტივა, ეუთ-ში შემავა-  
ლი 15 ქვეყნისათვის, რომელშიც წარმოდგენილია ატმოსფერული ჰაერ-  
ში ძირითადი მავნე ნივთიერებების მაქსიმალურად დასაშვები საერთო  
გამონაბოლქვების ჩამონათვალი. ცხრ. 50-ში მოცემულია ე.წ. „ემისის  
ეროვნული ზღვრები“ (NECs), რომლის გადალახვა ამ ქვეყნებში აკრძა-  
ლულია 2010 წლიდან.

აღნიშნული დირექტივის მიზანია ატმოსფერული ჰაერის ხა-  
რისხთან დაკავშირებული რისკების შემცირება. გარდა ამისა, ის შეი-  
ცავს გადაწყვეტილებებს, რომლებიც ავალდებულებს ევროპულ კომი-  
სიას მოამზადოს მოხსენებები ევროპარლამენტისა და ევრო-  
საბჭოსათვის როგორც 2004 და 2008 წლებში დასახული ამოცანების  
შესრულების მიმდინარეობის, ასევე შუალედური და გრძელვადიანი  
პროგნოზების შესახებ, რომლებიც 2020 წლისათვის უზრუნველყოფენ  
ჯანმრთელობის დაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის დაგაწვეტილებების  
შესრულებას ატმოსფერული ჰაერის ხარისხზე.

ცხრილი 49

ატმოსფერულ ჰაერში ძირითადი მავნე ნივთიერებების მაქსიმალურად დასაშვები  
საერთო გამონაბოლქვები, ათასი ტ/წლ

ქვეყანა	ზღვრული საერთო გამონაბოლქვი			
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	მყარი ნაწილა- კები	NH <sub>4</sub> N
1	2	3	4	5
ავსტრია	39	103	159	66
ბელგია	99	176	139	74
დანია	55	127	85	69
ფინეთი	110	170	130	31
საფრანგეთი	375	810	1050	780
გერმანია	520	1051	995	550
საბერძნეთი	523	344	261	73
ირლანდია	42	65	55	116
იტალია	475	990	1159	419
ლუქსემბურგი	4	11	9	7
ნიდერლანდი	50	260	185	128
პორტუგალია	160	250	180	90
ესპანეთი	746	847	662	353
შვეცია	67	148	241	57
დიდი ბრიტანეთი	585	1167	1200	297
სულ	3850	6519	6510	3110

ბუნებრივია, რომ ჩვენი ქვეყნის ეკოლოგიური სიტუაციის შეფასების დროს აუცილებლად უნდა იყოს გათვალისწინებული ატმოსფეროში გამოტყორცნილი მავნე მინარევების ზემოთ მოყვანილი დასაშვები ნორმები.

## დასკვნა

1. გაანალიზებულია მსოფლიოში კოგენერაციის განვითარების ძირითადი ეტაპები, მისი ენერგოეკონომიური და ეკოლოგიური უპირატესობანი. აღნიშნულია, რომ ამჟამად კოგენერაცია ვითარდება ძირითადად აირტურბინული და ორთქლიანი ტექნოლოგიების ბაზაზე. მსოფლიო გამოცდილებაზე დაყრდნობით ხაზგასმულია, რომ კოგენერაციის ინტენსიურ განვითარებას სჭირდება გარკვეული პირობები, ხელშემწყობი პოლიტიკური სტრატეგია და საკანონმდებლო ბაზა. კოგენერაციის განვითარებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მიღებული ეკონომიკური მოგების სამართლიან განაწილებას გამომუშავებულ სითბოსა და ელექტროენერგიას შორის. ამჟამად ეს განაწილება უმეტეს ქვეყნებში წარმოებს ე.წ. პროპორციული მეთოდით. საქართველოში, ყველა პირობა არსებობს კოგენერაციის ფართომასშტაბიანი დანერგვისათვის. ამისათვის მას უნდა მიენიჭოს სახელმწიფოებრივი პრიორიტეტი და მოიზიდოს საჭირო ინვესტიციები. კოგენერაცია ხელს შეუწყობს ენერგოკრიზისის დაძლევას ქვეყანაში.

2. დამუშავებულია აირტურბინული თეცების ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების გაანგარიშების ახალი - „პროპორციული“ მეთოდი. დადგენილია, რომ ამ მეთოდით გათვლილ მაჩვენებლებზე ძირითადად გავლენას ახდენს აირტურბინული დანადგარის და ჩასანაცვლებელი კესისა და საქვების მქ კოეფიციენტები. ნაჩვენებია, რომ პროპორციული მეთოდის გამოყენებისას სათბობის ეკონომია ნაწილდება აირტურბინულ თეცში გამომუშავებულ ორი სახის ენერგიას (სითბო და ელექტროენერგია) შორის. შედარებულია პროპორციული და ფიზიკური მეთოდებით განსაზღვრული თეცის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლები.

3. ნორმატიული მეთოდის გამოყენებით ჩატარებულია KO ტიპის ტურბინებით აღჭურვილი ორთქლტურბინული თეცის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების საანგარიშო-ანალიზური გამოკვლევა. განსაზღვრულია სათბობის კუთრი ხარჯი და მისი ფარდობითი ეკონომია ენერგოწარმოების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით.

4. შესწავლილია გარდაბანში ამჟამად მოქმედი აირტურბინული დანადგარების ატდ-თეცად რეკონსტრუქციის ეფექტურობის შესაძლებლობა. დადგენილია, რომ გათბობის სეზონში ასეთი თეცის სრული მქ კოეფიციენტი მიაღწევს 60% -ს. დადგენილია, რომ სათბობის ფარდობითი ეკონომიის საშუალო წლიური სიდიდე შეადგენს 33-34%, ხოლო პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯი ელექტროენერჯის გაცემაზე იქნება 280,6 გპ.ს/(კვტ.სთ), მისი თვითღირებულება – 4,4 ცენტი/(კვტ.სთ).

5. კოგენერაციული სისტემების თეცებში უმარტივესი სქემის აირტურბინული დანადგარის მაგივრად რთული სქემების დანადგარების გამოყენება საშუალოდ 20-25%-ით ზრდის სათბობის ეკონომიას ენერგოსისტემაში, თბოელექტრომომარაგების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით.

6. გაანალიზირებულია ქ. თბილისში გლდანის რაიონში ადრე მოქმედი №44 საქვების აირტურბინულ თეცად რეკონსტრუქციის ეფექტურობა და გათვლილია თეცის ძირითადი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები.

7. მცირე სიმძლავრის A-41 ტიპის დიზელის მაგალითზე გაანალიზებულია ნარჩენი სითბოს უტილიზაციის შესაძლებლობა. დადგენილია, რომ გათბობის სისტემაში ამ დიზელის გამოყენებისას შესაძლებელი იქნება 800 მ<sup>2</sup> ფართობის შენობის გათბობით უზრუნველყოფა.

8. ქვებ-უტილიზატორიან ორთქლაირულ თეცებში სათბობის სითბოს გამოყენების ხარისხი (სრული მქ კოეფიციენტი) მაღალია და სხვადასხვა პირობებში 75...90%-ს შეადგენს. მაღალეკონომიური ატდ-ების გამოყენებისას აოტდ-თეცში სათბობის კუთრი ხარჯი ელექტროენერჯის გამომუშავებაზე მინიმალურია – 160...180 გპ.ს/(კვტ.სთ). სხვა ტიპის კოგენერაციულ სადგურებთან შედარებით, ელექტროენერჯის კუთრი გამომუშავება თბური მოხმარების ბაზაზე (პარამეტრი  $\alpha$ ) ყველაზე მაღალია და 2,0...2,3-ს აღწევს. შესაბამისად ყველაზე მეტია სათბობის ფარდობითი ეკონომია ენერგოსისტემაში -0,35...0,47%.

## გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა

1. Андрющенко А.И. и др. Теплофикационные установки и их использование. М.: Высшая школа. 1989, 256 с.
2. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.Энергоатомиздат. 1987. 328с.
3. Работа ТЭЦ в объединенных энергосистемах/Под ред. В.П.Корытникова. М.:Энергия. 1976, 216 с.
4. Чоговадзе Г.И., Хачатурян Р.А. Использование нетрадиционных возобновляемых источников в энергетике Грузинской ССР. Тбилиси: Мецნიერება. 1989, 248 с.
5. Читашвили Г.П., Гоциридзе В.Д. Современное состояние и перспективы развития централизованного теплоснабжения г. Тбилиси. Тбилиси: Груз НИИНТИ. 1989, 65 с.
6. Андрющенко А.и. Энергетическая эффективность теплофикации от блок-ТЭЦ на базе районных котельных. –Известия Вузов –Энергетика. 1991, №6. с.3-7.
7. Исследование теплоснабжения Грузии на примере г. Тбилиси. Lahmeyr International, август 1997, 77 с.
8. ჩიტაშვილი გ., გოცირიძე დ. აირტურბინული ბლოკ-თეცების შექმნის პრობლემა საქართველოში - მეცნიერება და ტექნიკა. -თბილისი/ 1993, №9,10. გვ. 31-34.
9. Ириков В.А. и др. Научно-технический прогресс в электроэнергетике и теплоснабжении.- Известия АН СССР. -Энергетика и транспорт. М., 1988, №4. с. 125-133.
10. Читашвили Г.П. Расчет показателей тепловой экономичности и удельных расходов топлива на газотурбинных блок-ТЭЦ//Теплоэнергетика. 1996, №6. с. 14-17.
11. Читашвили Г.П. Номограмма для определения экономии топлива в энергосистеме при функционировании газотурбинных ТЭЦ/Теплоэнергетика. М., 2003, №4, с. 68-71.
12. Хрилев Л.С. Основные направления и эффективность развития теплофикации// Теплоэнергетика. 1998, №4, с. 2-12.
13. Кулоян Л.Т. Тепло - и холодоснабжение в условиях теплого климата. Ереван: Айастан. 1973, 282 с.
14. ჩიტაშვილი გ., გოცირიძე ვ., პაპავა ლ., მჭედლიძე ქ., ფანცხავა ე. მსოფლიო ენერგეტიკაში აირტურბინული და ორთქლაირული და-ნადგარების გამოყენების მასშტაბები და პერსპექტივები // პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტი”, 2007, №1(27). გვ. 24-27.
15. Ольховский Г.Г. Масштабы и особенности применения газотурбинных и парогазовых установок за рубежом//Теплоэнергетика. 2002, №9. с. 72-77.
16. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. М.:изд-во МЭИ. 2002, 584 с.
17. Ольховский Г.Г. Энергетические ГТУ за рубежом// Теплоэнергетика,2004, №11. с. 71-76.
18. Читашвили Г.П. Когенерация – эффективный метод энергосбережения и преодоления энергетического кризиса в Грузии//Georgian EngineeringNEWS. 2001, №3. с. 40-46.



19. Мерабишвили П., Читашвили Г. Перспективы развития энергетики Грузии на базе применения новейших технологий с газотурбинными и парогазовыми установками//Сб. докладов международной научной конференции „Проблемы управления и энергетики„ Тбилиси, 2004, №8. с. 271-274.
20. ყიფშიძე მ., ჯამარჯაშვილი ვ., არაბიძე გ. საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები. თბილისი: გამ. “ტექნიკური უნივერსიტეტი”. 2004, 325 გვ.
21. Парогазовые установки – путь к повышению экономической эффективности и экологической чистоты теплоэнергетики// Теплоэнергетика, №3, 1990, с.2-8.
22. Бродянский В. М. Фратшер В. Михалек К. Эксергетический метод и его приложения, - М.: Энергоатомиздат, 1988, 288 с.
23. ჩიტაშვილი გ. სამხრეთ რეგიონებში აირტურბინული ბლოკ-თეცების ბაზაზე კომბინირებული ენერგოწარმოების განვითარება და თბოენერგეტიკული დანადგარების ოპტიმიზაცია. დისერტაცია ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად, სტუ. თბილისი, 1995, გვ. 248.
24. ჩიტაშვილი გ., გოცირიძე გ., აირტურბინული თეცების ენერგოეფექტურობის გამოკვლევა პროპორციული მეთოდით // ენერჯია, 2003, №4(28). გვ. 71-78.
25. Попырин Л.С., Денисов В.И., Светлов К.С. О методах распределения затрат на ТЭЦ // Электрические станции. 1989, №11. с. 20-25.
26. Горшков А.С. О недостатках эксергетического подхода к оценке работы ТЭЦ//Электрические станции. 1990, №8. с. 57-61.
27. Безлепкин В.П., Вайнзихер Б.Ф. Рабочие процессы в теплофикационных установках и расход топлива на каждый вид производимой энергии// Теплоэнергетика. 2002, №9. с. 56-62.
28. Хрилев Л.С. Теплофикационные системы. М.: Энергоатомиздат. 1988, 272 с.
29. Читашвили Г.П. К. методике расчета показателей энергоэффективности газотурбинных ТЭЦ// Теплоэнергетика.2001, №8. с. 60-64.
30. Шубин Е.П. Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов. М.: Энергия. 1979, 360 с.
31. Тепловые и атомные электростанции /Л.С. Стерман. и др./М.: Энергоиздат. 1982. 496 с.
32. ჩიტაშვილი გ. უკუწნევიანი ტურბინებით აღჭურვილი თეცის და აირტურბინული ბლოკ-თეცის თბური ეკონომიურობის შედარება // ენერჯია. 1997, №4. გვ. 61-65.
33. ჩიტაშვილი გ., ორთქლტურბინული თეცების ენერგეტიკული ეფექტურობის თერმოდინამიკური ანალიზი// ენერჯია. 1999, №1(9). გვ. 66-70.
34. Читашвили Г., Мchedlidze K., Panichava E., Расчет экономии топлива в энергосистеме с паротурбинными ТЭЦ// ურნალი „ენერჯია“. 2009, №2 (50), ნაწ.2. გვ. 8-13.
35. Читашвили Г.П. Термодинамический анализ энергоэффективности паротурбинных ТЭЦ/Теплоэнергетика. 2000, №12. с.40-44.
36. Евенко В.И. Оценка термодинамической эффективности теплофикационных паротурбинных установок//Теплоэнергетика. 1999, №12.

37. Читашвили Г.П. Пропорциональный метод расчета КПД и удельных расходов топлива на газотурбинных ТЭЦ//Теплоэнергетика. 2006, №12. с.36-40.
38. Хлебалин Ю. М., Эффективность использования турбин КЭС для теплофикации// Промышленная энергетика. 2008, №11. с.52-54.
39. РД 34.08.552-95. Методические указания по составлению отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования. – М.: СПО ОРГРЭС.
40. Шляхин П.Н. и Бершадский М.Л. Краткий справочник по паротурбинным установкам. М., „Энергия,, 1970, 216 с.
41. ჩიტაშვილი გ., არაბიძე გ., მინდელი ზ., გოცირიძე დ. აირტურბინული ბლოკ-თეცების და ორთქლტურბინული თეცების ენერგეტიკული ეფექტურობის შედარება// სტუ-ს შრომები. 2003, №4(45). გვ. 66-69.
42. Боровков В.М., Демидов О.Н., Казаров С.А. и др. Тепловые схемы ТЭС и АЭС. СПб.: Энергоатомиздат. 1995, 392 с.
43. Андрущенко А.И. Комбинированные системы энергоснабжения //Теплоэнергетика. 1997, №5. с. 2-6.
44. Сазанов Б.В., Ситас В.И. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий. М.:Энергоатомиздат. 1990, 304 с.
45. Станция теплоэлектронабжения Глданского района г. Тбилиси (СТЭС „Глдანი,, - 2xMS 6001 В). Техничко-ეკონომიკური ობოსნოვანი ტომ 1. М:Энерგოპერსპექტივა, 1996. 51 ს.
46. მირიანაშვილი დ. ინოვაცია-ტექნოლოგიური განვითარების მნიშვნელოვანი ასპექტი// ენერჯია. 2008, №1(45). გვ. 98-102.
47. ჯაფარიძე დ., გაჩეჩილაძე ზ. ენერგოსაწარმოების მშენებლობაზე განხორციელებული კერძო ინვესტიციების ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება// საქართველოს ეკონომიკა. 2010, №7(151). გვ. 72-77.
48. ბოჭორიშვილი ლ., გუდიაშვილი მ. კაპიტალდაბანდების ეკონომიკური შეფასების მეთოდები ენერგეტიკაში. თბილისი: გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“ 2011, 144 გვ.
49. От холода к теплу – политика в сфере теплоснабжения в странах с переходной экономикой/Изд. Международного энергетического агентства. Париж. январь 2005, 301 с.
50. Фиалко Н.М. Когенерационные технологии и повышение эффективности использования топлива в энергетическом оборудовании//Труды международной конференции «Когенерация в промышленности и коммунальной энергетике», 18-20 октября 2004. Киев. 5 с.
51. Gasturbinenbetrieb Die nachgeschalteten Abhitze – oder Kombikessel machen den Prozess wirtschaftlich – auch bei kleineren Leistungen (<2MW)//Brenst-Wärwe-Kraft-1988-40 №11.
52. Качан А.Д., Смирнов И.А. и др. Условия повышения термодинамической эффективности утилизационных ГТУ//Теплоэнергетика. 1992, №12. с. 38-42.
53. ჩიტაშვილი გ. აირტურბინული ბლოკ-თეცების თბური ეკონომიკურობის გაანგარიშების მეთოდიკა // სტუ-ს შრომები. 1993, №8(401). გვ. 79-89.
54. Манушин Э.А. Комбинированные энергетические установки с паровыми и газовыми турбинами//Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Турбостроение. 1990, Т. 4. 184 с.

55. Каплан М.П. Тепловая эффективность энергетических теплофикационных ГТУ с промежуточным охлаждением воздуха и регенерацией // Тепло-энергетика. 2002, №8. с. 51-58.
56. Rice I.G. Thermodynamic Evaluation of Gas Turbine Cogeneration Cycles: Part II-Complex Cycle Analysis. Энергетическимашиниустановки. 1987, №1. с. 10-20.
57. ჩიტაშვილი გ. აირტურბინულ ბლოკ-თეცებში სათბობის ეკონომიის და კუთრი ხარჯების გაანგარიშების მეთოდის // სტუ-ს შრომები. თბილისი. 1993, №8 (401). გვ. 91-99.
58. ჩიტაშვილი გ., მჭედლიძე ქ. კოგენერაციულ სისტემებში რთული სქემების აირტურბინული დანადგარების გამოყენების შესახებ // ენერჯია. 2011, №1(57). გვ. 5-9.
59. Михалин Г. И. Эксплуатация дизельных электрических станций// Энергия. Москва. 1968, 358 с.
60. ჩიტაშვილი გ., არაბიძე გ., ხეთაგური ა. საქართველოში კოგენერაციის განვითარების სოციალურ-ეკონომიკური ასპექტები // პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“, 2006, №2(25). გვ. 104-106.
61. Орлин А.С. и др. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. „Машиностроение“, 1970, 400 с.
62. Андрищенко А.И., Лапшов В.Н. Парогазовые установки электростанций. М.:Энергия. 1965, 247 с.
63. Кушниренко К.Ф. Краткий справочник по горючему, техническим средствам и складам. М., Военное издательство. 1968, 272 с.
64. Зысин В.А. Комбинированные парогазовые установки и циклы. Л.:Госэнергоиздат. 1962, 186 с.
65. Ольховский Г.Г., Чернецкий Н.С., Святлов В.А., Трушин С.Г. Перспективные ПГУ для крупных электростанций/Теплоэнергетика. 1985, №9. с.5-12.
66. Андрищенко А.И. Системная эффективность бинарных ПГУ-ТЭЦ/Теплоэнергетика. 2000, №12. с.11-15.
67. Эль-Масри. Термодинамика газотурбинных циклов. Ч.1. Анализ бинарных циклов на основе второго закона термодинамики/Энергетич. машины и установки. 1985, №4. с.45-55.
68. ჩიტაშვილი გ., ჯიშკარიანი თ. ქვაბ-უტილიზატორიანი ორთლაირული თბოელექტროცენტრალების ენერგოეფექტურობის თერმოდინამიკური ანალიზი თბილისი:// ენერჯია (საიუბილეო კრებული). 2004, გვ. 99-107.
69. ჩიტაშვილი გ., არაბიძე გ., ჯიშკარიანი თ., ხეთაგური ა. ქვაბ-უტილიზატორიანი ორთლაირული თეცების ენერგოეფექტურობის ძირითადი მაჩვენებლების ანალიზი//ენერჯია. 2006, №2(38). გვ. 79-84.
70. Газовые турбины в теплоэнергетике// Теплоэнергетика. 1996, №4. с.2-11.
71. პაპავა ლ., რაზმაძე მ., კეკელიძე ნ., ფანცხავა ე., მჭედლიძე ქ. ატმოსფეროში გამოტყორცნილი მანე მინარეგების დასაშვები ნორმები. ენერჯია. 2007, №1(41). გვ. 44-49.