

TEXNİKA ELMLƏRİ TECHNICAL SCIENCES

DOI: <https://doi.org/10.36719/2663-4619/124/184-190>

Şükür Nəsirov

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
texnika üzrə elmlər doktoru
<https://orcid.org/0000-0001-6421-7549>
shukur.nasirov@asoiu.edu.az

Sənan Neymətov

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
<https://orcid.org/0009-0002-5378-5289>
nemetovsenan89@gmail.com

“ŞİMAL-1” buxar-qaz qurğusu kondensatorunun iş rejiminin analizi

Xülasə

Məqalədə Respublikamızda istismar olunan yeni buxar-qaz turbinli qurğuların (BQTQ) müasir texnoloji sxemlərinin enerji istehsalında vacib olduğu qeyd edilərək, onların tsikli, istilik sxemi, istilik sxemi avadanlıqlarının işi, avadanlıqların normal iş rejimi araşdırılır və kombinəlaşdırılmış şəkildə qaz turbinli qurğu (QTQ) ilə buxar turbin qurğusunun (BTQ) birlikdə işi analiz edilir. Buxar və qaz turbinli qurğunun istismar şəraitində göstəricilərinin optimallaşdırılması məqsədilə kondensatorun iş və istismar rejiminin xarakteristikaları təhlil edilir. Kombinəlaşdırılmış buxar–qaz qurğularının faydalılığının buxar və qaz tsikllərinin ayrılıqda faydalılıqlarından asılılığı əsas götürülərək, hər tsiklin faydalılığına təsir edən faktorlara baxılır. Xüsusi olaraq BTQ-nin faydalılığına kondensatorun xarakteristikalarının təsirini qiymətləndirmək üçün qutu kondensatorunun təcrübi qiymətlərə əsaslanan rejim xarakteristikaları analiz edilir.

Eyni zamanda bu qurğuların istilik mübadilə aparatlarında profillənmiş borulardan istifadə edilməsi hesabına istilik mübadiləsinin intensivləşdirməklə onların faydalılıq göstəricilərinin yaxşılaşdırılmasının əldə olunması da vurğulanır.

Açar sözlər: buxar–qaz qurğusu, kondensatorun iş göstəriciləri, kombinə edilmiş tsiklin faydalılığı, qaz turbin qurğusu (QTQ), buxar turbin qurğusu (BTQ), istilik mübadiləsinin intensivləşdirilməsi, istilik tsiklinin analizi, profillənmiş borular

Shukur Nasirov

Azerbaijan State Oil and Industry University
Doctor of Technical Sciences
<https://orcid.org/0000-0001-6421-7549>
shukur.nasirov@asoiu.edu.az

Senan Neymatov

Azerbaijan State Oil and Industry University
<https://orcid.org/0009-0002-5378-5289>
nemetovsenan89@gmail.com

Analysis of the Operating Mode of the “SHIMAL-1” Steam–Gas Plant Condenser

Abstract

The article emphasizes the importance of modern technological schemes of newly operated combined-cycle gas turbine (CCGT) plants in energy production in our country. By examining their cycle, thermal scheme, the operation of thermal equipment, and the normal operating modes of the equipment, the joint operation of a gas turbine unit (GTU) and a steam turbine unit (STU) in a combined configuration is analyzed. In order to optimize the performance indicators of a steam–gas plant under operating conditions, the characteristics of the condenser’s operating and service modes are evaluated. Considering that the efficiency of combined steam–gas plants depends on the individual efficiencies of the steam and gas cycles, the factors influencing each cycle’s efficiency are discussed. In particular, to assess the impact of condenser characteristics on the effectiveness of the STU, the operational characteristics of a box-type condenser based on experimental data are analyzed.

Additionally, it is highlighted that the use of profiled tubes in the heat-exchange equipment of these plants can enhance heat transfer, thereby improving their efficiency indicators.

Keywords: *steam–gas plant, condenser performance, combined-cycle efficiency, Gas turbine unit (GTU), Steam turbine unit (STU), heat exchange intensification, thermal cycle analysis, profiled tubes*

Giriş

Hazırda respublikamızın enerji sistemində yüksək faydalılığı olan buxar–qaz qurğuları geniş istismar olunur. Eyni zamanda yeni buxar–qaz qurğularının da istismara qəbul edilməsi planlaşdırılır. Bu, buxar–qaz qurğularının faydalılığının buxar turbinli qurğulara nisbətən yüksək olması ilə bağlıdır. Müasir buxar–qaz qurğuları həm də yığcamlığı, asan istismar olunması, idarəetmənin tam avtomatlaşdırılması və normal mühafizə sisteminin olması ilə fərqlənilir. Bu baxımdan onların tədqiqi aktual hesab olunur.

Tədqiqat

Azərbaycanda buxar və qaz qurğusu olan stansiyalar enerji istehsalında xüsusi yer tutur. Bu növ yeni istilik elektrik stansiyalarının istismarının üstünlük təşkil etməsi həmin stansiyaların texniki cəhətdən təkmilləşdirilməsinin nəticəsidir. Bu da əsas olaraq texniki–iqtisadi göstəricilərin daim mükəmməlləşdirilməsi, enerji vahidinə düşən yanacağın miqdarının azaldılması və qiymətin ucuz olması ilə izah olunur (Abdullayev, Kəlbəliyev, Məmmədova, & Nəsirov, 2013; *Britannica*, n.d.).

Hazırda respublikamızın enerji sistemində yüksək faydalılıqla istismar olunan buxar–qaz qurğulu “Şimal” ES xüsusi çəkiyə malikdir. “Şimal” Elektrik Stansiyasının birinci növbəsi 1988-ci ildə, ikinci növbəsi isə 1998-ci ildə tam köhnəldiyindən istismardan çıxarılmışdı. “Şimal-1” Elektrik Stansiyasının tikintisinə investisiyanın cəlb olunması Prezident Heydər Əliyevin təşəbbüsü nəticəsində 1998-ci ildə onun Yaponiyaya səfəri zamanı baş vermişdir. 400 meqavat gücündə “Şimal-1” stansiyası 2002-ci ildə istismara verilmişdir. 400 meqavat gücü olan “Şimal-2” Elektrik Stansiyasının əsası 2011-ci ildə qoyulmuş, 2019-cu ildə tikinti işləri tamamlanmışdır. “Şimal-1” və “Şimal-2” stansiyalarının birlikdə gücü 800 meqavat təşkil edir.

Stansiyaların vahid mərkəzdən idarə olunması məqsədilə idarəetmənin Mərkəzi binasında vahid dispetçer mərkəzi yaradılmışdır. “Şimal-1” və “Şimal-2” Elektrik Stansiyalarının cəm enerji məhsuldarlığı illik 6,0 milyard kilovat-saata yaxındır. Stansiyada Yaponiyanın “Mitsubishi” firmasının istehsalı olan qaz və buxar turbinləri istismar edilir (Abdullayev, Kəlbəliyev, Məmmədova, & Nəsirov, 2013). Qaz turbin aqreqatının gücü 267 MVt, buxar turbin aqreqatının gücü isə 138 MVt-dır. Stansiyada 560 MVt gücündə elektrik generatoru ilə bəzi köməkçi sistemlər quraşdırılmışdır. İki ədəd avtotransformatorun quraşdırılmasında məqsəd fərqli gərginliyi olan paylayıcı avadanlıqların əlaqələndirilməsidir.

“Şimal” Elektrik Stansiyası respublikamızın elektrik enerjisi tələbatının 20 faizdən artığını ödəyir. Hazırda istismar rejimində “Şimal” ES 57,4 faiz faydalı iş əmsalı ilə işləyir. Stansiyanı yüksək təzyiqli qazla təchiz etmək məqsədilə yeraltı qaz kəməri, qaz tənzimləyicisi olan tənzimləyici qovşağ, qazqızdırıcı qurğu və kompressor stansiyası istismar edilir. Stansiyada avadanlıqların soyudulması məqsədilə Xəzər dənizi suyundan istifadə olunur. Ətraf mühitin mühafizəsi məqsədilə əlavə suyun hazırlanmasında əks-osmos qurğusu, sənaye tullantıları və çirkab suların təmizlənməsi qurğuları istismar edilir (*Alstom*, n.d.).

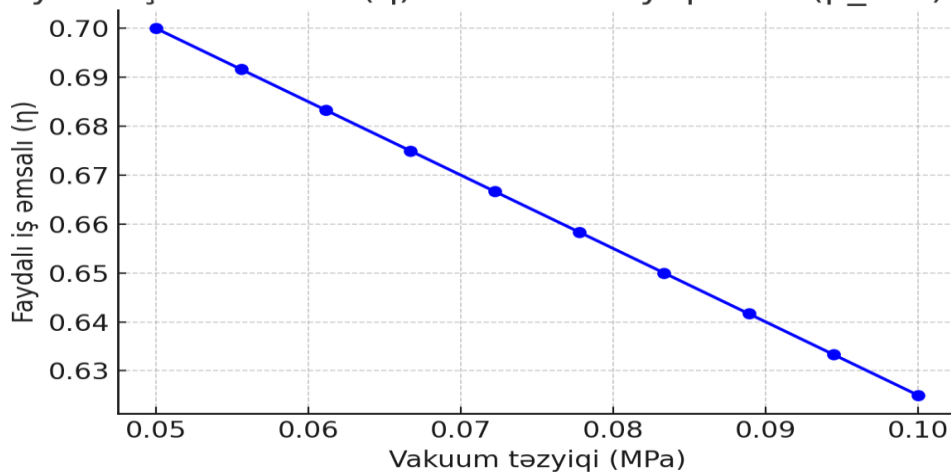
“Şimal” ES Azərbaycanın enerji istehsalı sistemində müasir və mühüm stansiya olduğundan onun işinin tədqiqi aktualdır. “Şimal-1” ES-də quraşdırılan buxar–qaz qurğusunun gücü 400 MVt-dır. Qurğunun tərkibinə 1 ədəd qaz turbin (M701-F, *Mitsubishi* modeli), 1 ədəd util-qazanı və 1 ədəd buxar turbin (TC2F–35,4 tipli) daxildir.

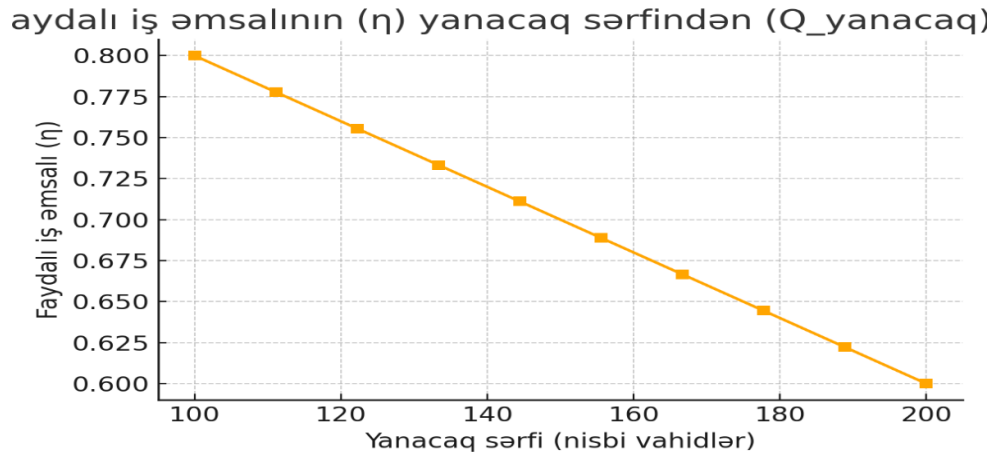
İşin məqsədi “Şimal-1” ES buxar–qaz qurğusunun faydalılığına təsir edən rejim faktorlarının araşdırılmasıdır. Kombinəlaşdırılmış buxar–qaz qurğularının faydalılığı buxar və qaz tsikllərinin ayrılıqda faydalılıqlarından asılıdır. Kombinəlaşdırılmış buxar–qaz qurğularının faydalılığında qaz tsiklinin səmərəli gücünün payını turbinin girişindəki qazın (yanma məhsullarının) temperaturunu yüksəltməklə və ya kompressordan sovrulan havanın temperaturunu azaltmaqla artırmaq olar. Birinci halda qaz turbinində qazın genişlənməsi işi artır, ikinci halda isə kompressorun havanın sıxılmasına sərf etdiyi iş azalır. Bu üsullar BQTQ-nin faydalı gücündə QTQ-nin faydalı güc hissəsinin yüksəlməsinə gətirib çıxarır (Bordov, Ryabchikov, & Aronson, 2002).

Qaz turbin qurğusunun faydalı gücü turbin və kompressorun axın hissələrindəki aerodinamik göstəricilərdən də asılıdır. Belə ki, turbin və kompressordakı aerodinamik itkilərin az olması qaz turbininin faydalı gücünü artırır. Kombinəlaşdırılmış buxar–qaz qurğularının faydalılığında buxar tsiklinin faydalı gücünün payını buxarın ilkin parametrlərini artırmaqla, son parametrləri azaltmaqla və kondensatordakı təzyiqi optimal saxlamaqla artırmaq olar. Kondensatordakı təzyiq isə soyuducu suyun kondensatora giriş və çıxış temperaturundan, həmçinin kondensatordakı istilik mübadiləsi prosesinin intensivliyindən asılıdır. İstilik mübadiləsi prosesinin intensivliyi müxtəlif üsullarla — damcılı kondensasiya, istilik mübadilə səthlərinin profilənməsi və s. hesabına əldə edilir (Dick, 2015; Kostyuk, Frolov, Bulkin, & Trukhniy, 2008).

İşdə qeyd olunanlar əsas götürülərək, BQTQ-nin tsiklinin faydalılığına təsir edən faktorlardan kondensatorun xarakteristikalarının təsirini qiymətləndirmək üçün qutu kondensatorun təcrübi qiymətlərə əsaslanan rejim xarakteristikaları analiz edilir. Nəzərdən keçirilən qutu şəkilli kondensator son illərdə xarici firmalar tərəfindən buxar–qaz bloklarında tətbiq edilmişdir (*Britannica*, n.d.).

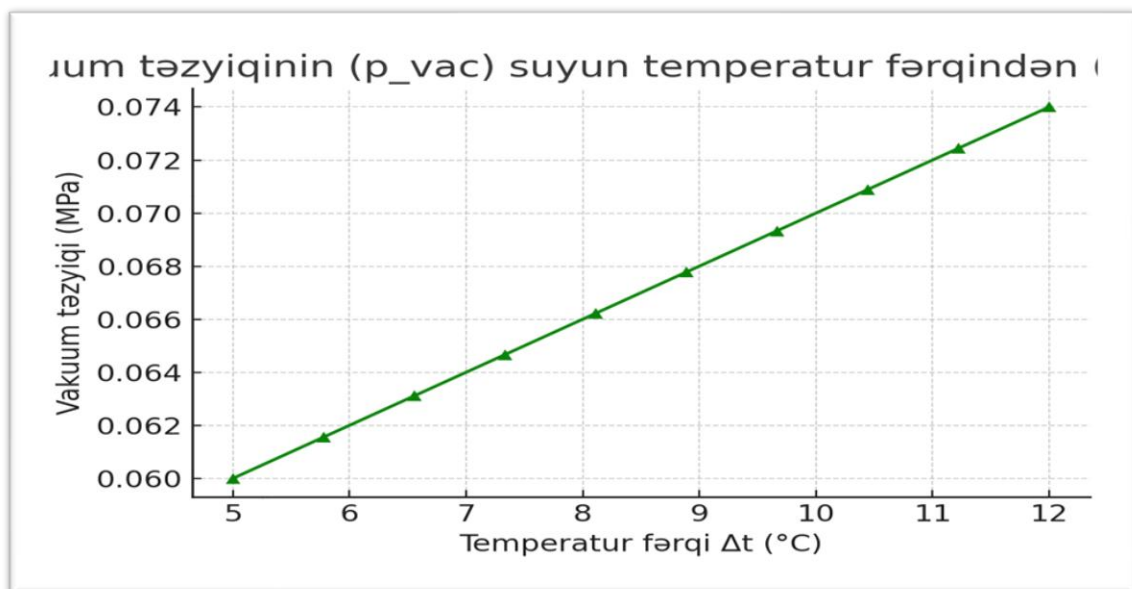
Faydalı iş əmsalının (η) vakuum təzyiqindən (p_{vac}) a





İES-də kondensatorun vəzifəsi turbinin sonuncu pilləsindən çıxan buxarı kondensatlaşdırmaqla əlverişli vakuum yaratmaqdan və həmçinin vakuumu ejektorlar vasitəsilə saxlamaqdan ibarətdir. Bundan əlavə, baypas rejimində də işlənmiş buxar kondensatora verilərək orada kondensatlaşır. Adı qayda üzrə buxar kondensatlaşarkən ayrılan buxarlanma istiliyi boru dəstəsinin içi ilə axan soyuducu su tərəfindən qəbul edilir (Gülen, 2019).

Nazik divarlı borular yüksək istilikkeçirmə qabiliyyətinə malik olurlar. Boru dəstələrinin arası ilə buxarın sərbəst hərəkəti üçün keçidlər qoyulur. Buxarın kondensatı boruların üzərində damcılar şəklində toplanır. Hər boru dəstəsinin altında damcıtoplayıcı yerləşdirilir ki, bu da damcıların aşağı borulara axmasının qarşısını alır. Beləliklə, alınan kondensat boruların uzunluğu boyu yerləşdirilən drenaj kanalı və ya damcıtoplayıcı vasitəsilə toplanır. Bundan sonra toplanmış kondensat kondensat nasoslarına verilir. Bu sistemdə drenajın idarə edilməsinin tətbiqi kondensatın lazımi səviyyədə saxlanılmasına imkan yaradır (Edison Tech Center, n.d.).



Hər bir boru dəstəsinin ortasında deaerasiya zonası mövcuddur. Bu zona sızan havanı və buxarla gələ bilən az miqdarda kondensatlaşmayan qazları ayırmaq üçün istifadə edilir. Tədqiq olunan qurğuda iki kondensatordan istifadə olunur. Onlar başlıq hissələri vasitəsilə turbinə sərt birləşdirilirlər. Turbindən çıxan işlənmiş buxar seli kondensatora horizontal istiqamətdə yönəlir. Kondensatora verilən dövrən suyu seli isə turbinin oxuna paralel hərəkət edir. Bu da dövr edən soyuducu suyun giriş və çıxışını asanlaşdırmaq üçün tətbiq edilir (Kanaev & Korneev, 2004).

Tədqiq edilən kondensatorun konstruktiv xüsusiyyəti onun səthinin qutu şəkilli olmasıdır. Qutu şəkilli konstruksiyada bütün həcmdə istilik mübadiləsi optimal şəkildə gedir. İki kondensatorlu turbinin konstruksiyası elə qurulmuşdur ki, hətta kondensatorlardan biri sıradan çıxsa belə aqreqatı

istismar etmək mümkün olur. Nasazlıq halında kondensatorun borularından su sızarsa, itkilərin qarşısını almaq məqsədilə kondensatora soyuq suyun verilməsi dayandırılır. Dövrən suyu kondensatora iki keçiddən istiqamətləndirilir. Giriş birləşmələri vasitəsilə ön su kamerasına daxil olur və birinci keçidin borularından keçərək geriye istiqamətlənir, əks istiqamətdə ikinci keçidin borularından keçir. Arxa su kamerasına çataraq dövrən suyu çıxış birləşmələri vasitəsilə xaric olur. Kondensatorda korroziyanın qarşısını almaq və istilikkeçirmə əmsalını tələb olunan səviyyədə saxlamaq məqsədilə kondensatorun borularını daima təmizləmək lazım olur.

Adətən kondensatorun borularının materialı paslanmayan poladdan və ya titandan hazırlanır. İstifadə olunan poladın konkret növünün seçilməsi dövrən edən suyun tərkibindən asılıdır. Xüsusi hallarda, məsələn, soyuducu su dəniz suyu olduqda titan borulardan istifadə edilir.

Boruların buxar həcmində yerləşdirilməsi kondensatorun işinin effektivliyinə təsir edir. Belə ki, kondensatorda buxar istilik mübadiləsi səthləri üzrə bərabər paylanmalı, borular arasında onun optimal sürəti saxlanılmalı, həmçinin boruların yuxarı və aşağı cərgələri arasında istilik düşgüsü mümkün qədər minimuma çatdırılmalıdır (Kehlhofer, Rukes, Hannemann, & Stirnimann, 2009).

Kondensatorun hava çıxışı mühitində kondensat qazlarla təmasda olur. Yerli qızmama hesabına oksigen yarana bilər. Avadanlığın korroziyadan qorunması üçün kondensatın tərkibində oksigenin miqdarını minimal səviyyədə saxlamaq lazımdır. Ona görə də kondensatorda kondensatın qızdırılması və deaerasiyası təşkil edilir.

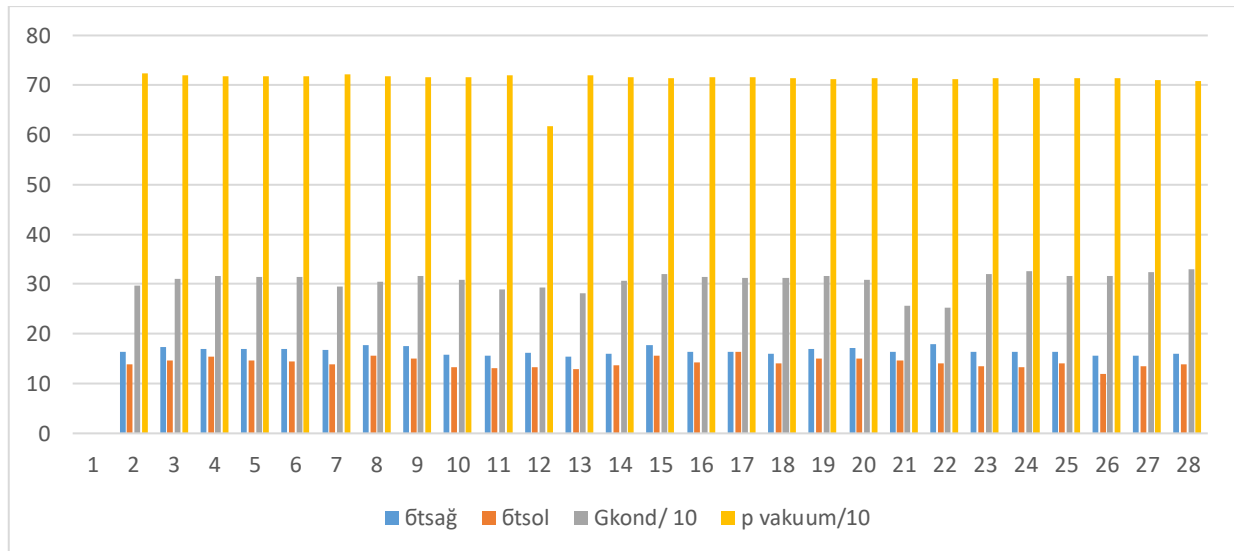
Deaerasiya prosesi horizontal boru dəstəsində baş verir. Buxar horizontal boru dəstəsinə aşağıdan verilərək boru dəstəsinin üzəri ilə axan kondensatı qızdırır və onu deaerasiya edir. Bu zaman kondensatdan oksigen və digər həll olunmuş qazlar xaric edilir (Lapte, Nikolaev, & Basharov, 2011).

Nominal rejimdə BQQ-nin geniş iş prosesinə baxılmışdır. Xarici hava girişdə hava süzgəcindən keçərək kompressorun girişinə verilir və 17 pilləli oxlu kompressorda sıxılmaqla yanma kamerasına yönəldilir. Dörd pilləsi olan reaktiv qaz turbinində yanma məhsulları genişlənərək iş görür. Qazın potensial enerjisinin kinetik enerjiyə çevrilmə prosesi turbinin soplolarında, kinetik enerjinin mexaniki enerjiyə çevrilmə prosesi isə işçi kürəklərdə baş verir. Turbində alınan enerjinin bir hissəsi kompressorun fırlanmasına, qalan hissəsi isə elektrik generatoru vasitəsilə elektrik enerjisinə çevrilir. Yanma məhsulları qaz turbinində genişləndikdən sonra utilizasiyalı qazana ötürülür. Utilizasiyalı qazanın yüksək, orta və alçaq təzyiqli barabanları vardır. Utilizasiyalı qazanın barabanları ilə qızma səthlərində hasil edilən buxar turbininin yüksək, orta və alçaq təzyiqli silindrlərinə verilərək iş görülməsi üçün istifadə edilir.

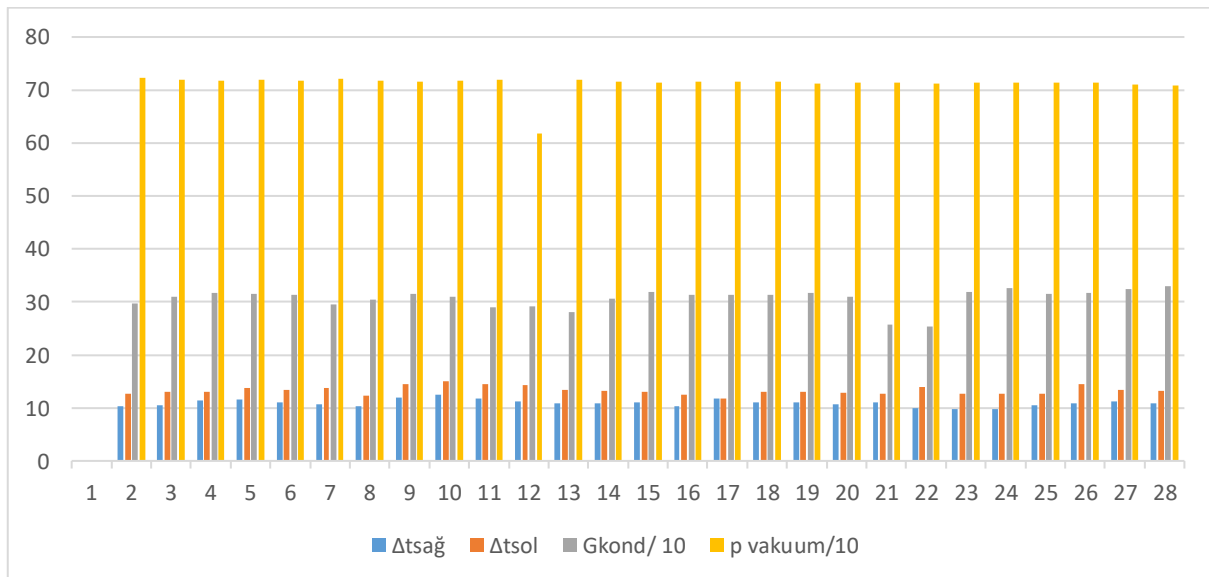
Nəticədə elektrik generatorunda elektrik enerjisi alınır (*Teplomassoobmen i teplogidravlicheskaya effektivnost' vikhrevykh i zakruchennykh potokov*, 2005).

M701–F növlü qaz turbinini dörd pilləli reaktiv turbindir və *Mitsubishi* firmasının istehsalıdır. Giriş tərəfdən baxdıqda turbinin saat əqrəbi istiqamətində fırlanması məlum olur. Turbin tərəfdən onun oxu generatorun oxu ilə elastik, generator tərəfindən isə sərt birləşir. İstismar zamanı yanma kamerasında məhsulların temperaturu 1325 °C-yə çatır və qaz turbininə ötürülür. Turbində alınan enerjinin bir hissəsi kompressorun fırlanmasına, qalan hissəsi isə generatorun fırlanmasına sərf edilir. Turbinin soyudulması və normal istismar xarakteristikası almaq üçün kompressorun 6-cı və 11-ci pillələrindən sonra aralıq ayrımlar istifadə edilir. Qaz turbininin metal hissəsində işçi temperaturun saxlanması məqsədilə turbinin rotoru soyudulur. Soyudulma üçün soyuducu havanın məcburi selindən istifadə edilir. Kompressorda sıxılmış hava rotora verilməmişdən öncə soyudulmalı və təmizlənməlidir (Kalinin, Dreytsər, Kop, & Myakochin, 1998; Yusupov & Zakirov, 2017).

İşdə əsasən BQTQ-nin qutu kondensatorunun təcrübi qiymətlərə əsaslanan rejim xarakteristikaları analiz edilmişdir.



Şəkil 1. $P=F(\sigma_{tsağ}, \sigma_{tsol}, G_{kon})$ asılılığının histoqramı.



Şəkil 2. $P=F(\Delta_{tright}, (\Delta_{tleft}, G_{kon})$ asılılığının histoqramı.

Şəkil 1 və Şəkil 2-də “Şimal-1” ES buxar–qaz qurğusunun kondensatorundakı vakuumin kondensatlaşan buxar sərfindən, kondensatorun sağ və sol çıxışlarına uyğun olaraq soyuducu suyun qızmasından və temperatur basqısından asılılığının yaz ayları üçün histoqramları verilmişdir. Histoqramlardan görünür ki, kondensatordakı vakuumin istismar rejimindəki nisbətən sabit qiymətlərində soyuducu suyun qızmasının və temperatur basqısının qiymətləri nominal rejim qiymətlərinə nisbətən uyğundur. Optimal faydalılıq almaq üçün baxılan parametrlər nəzarətdə saxlanılmalıdır.

Nəticə

Analiz göstərir ki, yeni buxar–qaz turbinli qurğuların (BQTQ) effektivliyi onların tsikllərinin və istilik sxemlərinin düzgün işləməsindən birbaşa asılıdır. Kombinəlaşdırılmış şəkildə QTQ və BTQ-nin birlikdə işləməsi sistemin ümumi faydalılığını artırır. Kondensatorun iş və istismar rejiminin optimallaşdırılması BTQ-nin faydalılığına mühüm təsir göstərir. İstilik mübadilə aparatlarında profillənmiş boruların tətbiqi isə istilik ötürülməsini intensivləşdirərək qurğuların səmərəliliyini artırır. Ümumilikdə, bu yanaşmalar BQTQ-ların enerji istehsalında daha stabil və optimal performans göstərməsini təmin edir.

Ədəbiyyat

1. Abdullayev, K. M., Kəlbəliyev, F. İ., Məmmədova, C. P., & Nəsirov, Ş. N. (2013). *İstilik elektrik stansiyasının buxar və qaz turbinləri*. Zaman-3.
2. Alstom. (n.d.). *Company website*. <http://www.alstom.com/>
3. Bordov, Yu. M., Ryabchikov, A. Yu., & Aronson, K. E. (2002). Issledovanie ryada metodov intensivatsii teploobmena v energeticheskikh teploobmennyykh apparatakh. *Trudy Tret'ey Rossiyskoy Natsional'noy Konferentsii po Teploobmenu*, 6, 49–52.
4. Britannica. (n.d.). *Gas turbine engine*. <https://www.britannica.com/technology/gas-turbine-engine>
5. Dick, E. (2015). *Fundamentals of turbomachines*. Ghent University.
6. Edison Tech Center. (n.d.). *Gas turbines*. <http://www.edisontechcenter.org/gasturbines.html>
7. Gülen, S. C. (2019). *Gas turbines for electric power generation*. Cambridge University Press.
8. Kanaev, A. A., & Korneev, M. I. (2004). *Parogazovye ustanovki*. Mashinostroenie.
9. Kostyuk, A. G., Frolov, V. V., Bulkin, A. E., & Trukhniy, A. D. (2008). *Parovye i gazovye turbiny dlya elektrostantsiy*. Izdatel'skiy dom MEI.
10. Kalinin, E. K., Dreytsep, G. A., Kop, I. Z., & Myakochin, A. S. (1998). *Effektivnye poverkhnosti teploobmena*. Energoatomizdat.
11. Kehlhofer, R., Rukes, B., Hannemann, F., & Stirnimann, F. (2009). *Combined-cycle gas & steam turbine power plants*. PennWell Corporation.
12. Lapte v, A. G., Nikolaev, N. A., & Basharov, M. M. (2011). *Metody intensivatsii i modelirovaniya teplomassoobmennyykh protsessov*. Teplotekhnika.
13. Spravochnik: Teplovye i atomnye elektricheskie stantsii. (2009). In I. A. Grigor'ev & V. M. Zorin (Eds.). Energoatomizdat.
14. Teplomassoobmen i teplogidravlicheskaya effektivnost' vikhrevykh i zakruchennykh potokov. (2005).
15. Yusupov, O. R., & Zakirov, S. G. (2017). Intensifikatsiya teploobmena v kanalah s kol'tsevyimi turbulizatorami pri perekhodnom rezhime. *Molodoy uchenyy*, 17, 91–95.

Daxil oldu: 01.07.2025

Qəbul edildi: 19.10.2025