

DOI: <https://doi.org/10.36719/2663-4619/126/146-151>

Nijat Verdiyev

Azerbaijan State Oil and Industry University

PhD student

<https://orcid.org/009-000-8618-5533>

nicat.verdiyev.2020@gmail.com

Optimization of the Operating Parameters of Steam-Gas Turbines

Abstract

In recent times, interest in the energy sector in our country has been increasing. One of the main reasons for this is that our country's energy potential is showing itself with an increasing graph against the background of investments made by our country in energy production for both domestic consumption and the foreign market. Along with renewable energy sources, interest in traditional energy production areas has increased significantly in recent years. An example of this is the reconstruction of the newly commissioned 1280 MW Azerbaijan Thermal Power Plant and the construction of new power units. Steam-gas plants are important parts of modern energy systems in terms of high profitability, rational use of fuel, and renewal of environmental indicators. The efficiency of the plants depends on the optimality of temperature, pressure, flow, and loading regimes. The inlet temperature of the gas turbine, the compression level (degree), heat exchange in the steam generator, steam parameters, and condensation regime determine the useful work coefficient. In the article, the improvement of regime parameters is studied using thermodynamic and exergy approaches, the main sources of energy and exergy losses are identified, and optimal work areas are formed. Optimized parameters reduce fuel consumption, increase electricity generation, minimize equipment loading, and increase operational reliability, which is of practical importance in terms of increasing energy efficiency and minimizing environmental impact. At the same time, the results obtained make a significant contribution to flexible management of energy systems, ensuring long-term sustainability, reducing maintenance costs, and ensuring stable operation of facilities in an environment of changing load schedules. This approach creates broad opportunities in the modern industrial environment for improving regional energy security and continuously increasing economic efficiency.

Keywords: *steam-gas power plant, operating parameters, optimization, exergy analysis, energy efficiency*

Nicat Verdiyev

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

doktorant

<https://orcid.org/009-000-8618-5533>

nicat.verdiyev.2020@gmail.com

Buxar-qaz turbinlərinin rejim parametrlətinin optimallaşdırılması

Xülasə

Son dövrlərdə ölkəmizdə enerji sektoruna maraq getdikcə artmaqdadır. Bunun əsas səbəblərindən biri ölkəmizin həm daxili istehlak üçün enerji istehsalı, həm də xarici bazar üçün etdiyi investisiyalar fonunda enerji potensialımız getdikcə yüksələn qrafik ilə özünü göstərir. Bərpaolunan enerji mənbələri ilə yanaşı son illərdə ənənəvi enerji istehsalı sahələrinə maraq ciddi şəkildə artmışdır. Buna misal olaraq yeni istifadəyə verilmiş 1280 MVt gücündə Azərbaycan İES-nin rekonstruksiyası və yeni enerji bloklarının tikintisi nümunə göstərə bilərik.

Buxar-qaz qurğuları yüksək sərfəlilik, yanacaqdan rəşional istifadə və ekoloji göstəricilərin yenilənməsi baxımdan müasir enerji sistemlərinin vacib hissələrindəndir. Qurğuların səmərəliliyi temperatur, təzyiq, axın və yüklənmə rejimlərinin optimallığından asılıdır. Qaz turbininin giriş temperaturu, sıxılma səviyyəsi (dərəcəsi), buxar generatorunda istilik mübadiləsi, buxarın parametrləri və kondensasiya rejimi faydalı iş əmsalını müəyyənləşdirir. Məqalədə rejim parametrlərinin təkmilləşdirilməsi termodinamik və ekserji yanaşmalarla tədqiq olunur, enerji və ekserji itkilərinin əsas qaynaqları müəyyən edilir və optimal iş sahələri formalaşdırılır. Optimallaşdırılmış parametrlər yanacaq sərfiyyatının səviyyəsini aşağı salır, elektrik istehsalının səviyyəsini çoxaldır, avadanlıqların yüklənməsini minimuma salır və istismar etibarlılığını genişləndirir, enerji səmərəliliyinin artırılması və ətraf mühitə təsirin minimuma endirilməsi aspektindən praktik əhəmiyyət kəsb etməkdədir. Eyni zamanda, əldə edilən nəticələr enerji sistemlərinin çevik idarə edilməsinə, uzunmüddətli dayanıqlığın təmininə, texniki xidmət məsrəflərinin azaldılmasına və dəyişən yük qrafikləri mühitində qurğuların sabit çalışmasının təmin edilməsinə mühüm töhfə verir. Bu yanaşma regional enerji təhlükəsizliyinin təkmilləşdirilməsinə və iqtisadi səmərəliliyin mütəmadi artırılmasına müasir sənaye mühitində geniş imkanlar formalaşdırır.

Açar sözlər: buxar-qaz qurğusu, rejim parametrləri, optimallaşdırma, ekserji analizi, enerji səmərəliliyi

Giriş

Buxar-qaz qurğuları müasir enerji istehsalında həm elektrik enerjisinin kütləvi istehsalını, həm də yanacağın əlverişli istifadəsini şərait yaradan aparıcı texnologiyalardır. Qlobal enerji tələbinin çoxalması və ekoloji tələblərin ağırlaşması enerji çevrilməsinin səmərəliliyini çoxaltmaq və tullantı emissiyalarının miqdarını aşağı salmaq ehtiyacını aktuallaşdırmışdır. Buxar-qaz dövrlərinin integrasiya edilmiş çalışması və termodinamik parametrlərinin optimallaşdırılması enerji səmərəliliyinin səviyyəsinin çoxaldılmasında əsas amillərdəndir.

Mexanizmlərin performansı qaz turbinlərinin giriş temperaturu, sıxılma dərəcəsi, buxar generatorunun istilik prosesi, buxarın təzyiq və temperaturu və kondensasiya mühitindən birbaşa asılıdır. Rejim parametrlərinin düzgün seçilməsi faydalı iş əmsalını yüksəldir, avadanlıqların mexaniki və istilik yüklənməsinin səviyyəsini aşağı salır və xidmət müddətini uzadır.

Məqalədə rejim parametrlərinin optimallaşdırılması termodinamik və ekserji yanaşmalar əsasında tədqiq edilir. Məqsəd enerji və ekserji itkilərinin mənbələrini müəyyənləşdirmək, optimal iş sahələrini müəyyən etmək və əməliyyat səmərəliliyini çoxaltmaqdır. Nəticələr yanacaq sərfiyyatının aşağı salınması, elektrik enerjisi istehsalının çoxaldılması və ətraf mühit təsirinə minimuma endirilməsi aspektindən zəruridir.

Tədqiqat

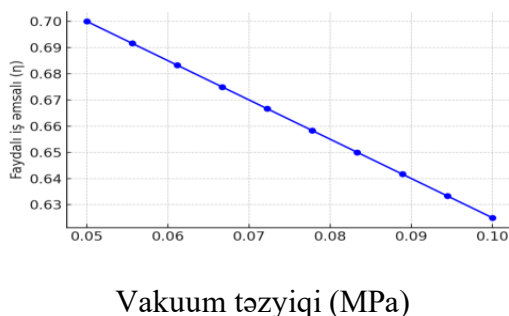
Azərbaycanda buxar və qaz turbinli stansiyalar enerji istehsalatında əhəmiyyətli yer tutur. Bu növ yeni istilik elektrik stansiyalarının istifadəsinin üstünlük təşkil etməsi həmin stansiyaların texniki baxımdan inkişaf etdirilməsinin nəticəsidir. Bu da əsas olaraq texniki-iqtisadi göstəricilərin daim təkmilləşdirilməsi, enerji vahidinə düşən yanacağın səviyyəsinin aşağı salınması və qiymətin sərfəli olması ilə izah edilir (Abdullayev və b., 2013; Britannica, n.d.). Hazırda ölkəmizin enerji sahəsində yüksək faydalılıqla istismar edilən buxar-qaz qurğulu “Şimal” ES xüsusi çəkiyə sahibdir. “Şimal” Elektrik Stansiyasının birinci mərhələsi 1988-ci ildə, ikinci mərhələsi isə 1998-ci ildə tam yararsız hala düşdüyündən istismardan çıxarılmışdı. “Şimal-1” Elektrik Stansiyasının yaradılmasına investisiyanın cəlb edilməsi Prezident Heydər Əliyevin təşəbbüsü ilə 1998-ci ildə onun Yaponiyaya işgüzar səfərə getdiyi zaman baş vermişdir. Stansiyaların vahid mərkəzdən idarə edilməsi məqsədilə idarəetmənin Mərkəzi binasında vahid dispetçer mərkəzi formalaşdırılmışdır. “Şimal-1” və “Şimal-2” Elektrik Stansiyalarının məcmu enerji məhsuldarlığı illik 6,0 milyard kilovat-saata yaxındır.

Stansiyada Yaponiyanın “Mitsubishi” şirkətinin istehsalı olan qaz və buxar turbinləri istismar edilir (Abdullayev və b., 2013). Qaz turbin aqreqatının gücü 267 MVt, buxar turbin aqreqatının gücü isə 138 MVt-dır. Stansiyada 560 MVt gücündə elektrik generatoru vasitəsilə bəzi köməkçi mexanizmlər quraşdırılmışdır. “Şimal” ES Azərbaycanın enerji istehsalı sahəsində müasir və

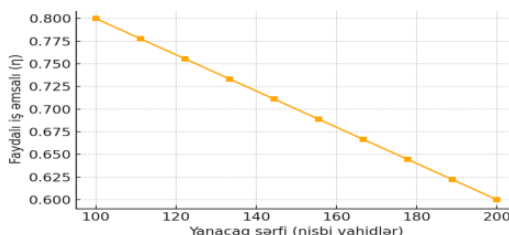
əhəmiyyətli stansiya olduğu üçün onun iş prinsipinin tədqiqi aktualdır. “Şimal-1” ES-də qurulmuş buxar–qaz qurğusunun gücü 400 MVt-dır. Qaz turbin qurğusunun faydalı gücü turbin və kompressorun axın sahələrindəki aerodinamik göstəricilərdən də bilavasitə asılıdır. Belə ki, turbin və kompressordakı aerodinamik itkilərin miqdarının aşağı olması qaz turbininin faydalı gücünün səviyyəsini çoxaldır. Əlaqələndirilmiş buxar–qaz qurğularının faydalılığında buxar tsiklinin faydalı gücünün hissəsini buxarın birincil parametrlərini yüksəltməklə, son parametrləri aşağı salmaqla və kondensatordakı təzyiqi optimal olaraq sabit saxlamaqla yüksəltmək mümkündür.

Kondensatordakı təzyiq isə soyuducu suyun kondensatora giriş-çıxış temperatur dərəcəsiindən, o cümlədən, kondensatordakı istilik mübadiləsi prosesinin sıxlığından asılıdır. İstilik mübadiləsi prosesinin intensivliyi fərqli yollarla — damcılı kondensasiya, istilik mübadilə səthlərinin profilənməsi və s. vasitəsilə əldə olunur (Dick, 2015; Kostyuk və b., 2008). İşdə qeyd edilənlər vacib qeydə alınaraq, BQTQ-nin tsiklinin faydalılığına təsir göstərən nüanslardan kondensatorun xarakteristikalarının təsirini dəyərləndirmək məqsədilə qutu kondensatorun təcrübə dəyərlərə dayanan rejim xarakteristikaları təhlil olunur. Nəzərdən keçirilən qutu formalı kondensator son zamanlarda xarici firmalar tərəfindən buxar–qaz bloklarında tətbiq olunmuşdur (Britannica, n.d.).

Faydalı iş əmsalının (η) vakuum təzyiqi (p - vac)
Faydalı iş əmsalının vakuum təzyiqindən asılılığı

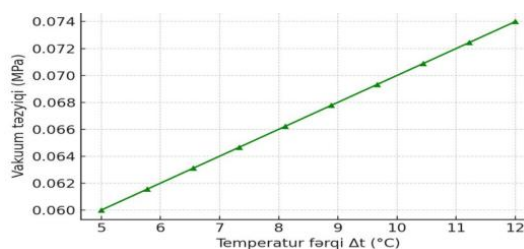


Faydalı iş əmsalının (η) yanacaq sərfi (Q - yanacaq)
Faydalı iş əmsalının yanacaq sərfindən asılılığı



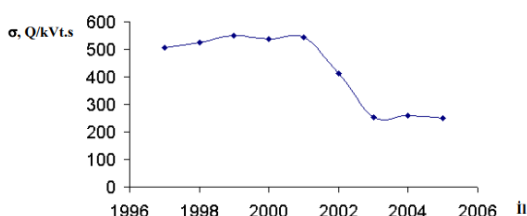
İES-də kondensatorun funksiyası turbinin sonuncu təbəqəsindən çıxan buxarı kondensatlaşdırmaqla səmərəli vakuum yaratmaqdan və o cümlədən, vakuumu ejektorlar ilə saxlamaqdan ibarətdir. Bundan əlavə olaraq qeyd etmək lazımdır ki, baypas funksiyasında da işlənmiş buxar kondensatora verilərək həmin hissədə kondensatlaşır. Adi qayda üzrə buxar kondensatlaşarkən ayrılmış buxarlanma istiliyi boru dəstəsinin içi vasitəsilə axan soyuducu su tərəfindən qəbul olunur (Gülen, 2019).

Vakuum təzyiqində suyun temperatur fərqi (asıllığı)



Hər bir boru dəstəsinin ortasında deaerasiya hissəsi vardır. Bu zona sızılan havanı və buxarla gələn aşağı miqdarda kondensatlaşmayan qazları bir-birindən ayırmaq üçün istifadə olunur. Tədqiq edilən qurğuda iki ədəd kondensatordan istifadə edilir. Kondensatorlar başlıq hissələri ilə birlikdə turbinə möhkəm şəkildə birləşdirilir. Turbindən çıxarılan işlənmiş buxar seli kondensatora horizontal şəkildə istiqamətlənir. Kondensatora ötürülən dövrən suyu seli isə turbinin oxuna paralel formada hərəkət edir (Kanaev və Korneev, 2004). Tədqiq olunan kondensatorun konstruktiv xarakteri onun səthinin qutu formasında olmasıdır. Qutu formalı konstruksiyada hər həcmdə istilik mübadiləsi optimal gedir. Nasazlıq vəziyyətində kondensatorun borularından su buraxarsa, itkiləri dayandırmaq üçün kondensatora soyuq suyun ötürülməsinin qarşısı alınır. Dövrən suyu kondensatora iki keçiddən yönləndirilir. Giriş birləşmələri ilə ön su kamerasına daxil olur və birinci keçidin borularından keçərək geriye doğru yönəlir, əks istiqamətdə ikinci keçidin borularından keçir. Arxa su kamerasına çatdıqdan sonra dövrən suyu çıxış birləşmələrinin köməyi ilə xaric olur. Kondensatorun borularının materialı paslanmayan poladdan və yaxud titan materialdan hazırlanır. Kondensatorun hava çıxışı şəraitində kondensat qazla təmasda olur.

Avadanlığı korroziyadan qorumaq məqsədilə kondensatın daxilində oksigenin miqdarını minimal dərəcədə sabit formada saxlamaq mütləqdir. Deaerasiya hadisəsi horizontal boru dəstəsində yaranır. Buxar horizontal boru dəstəsinə aşağı hissədən ötürülərək boru dəstəsinin üzəri ilə axan kondensatı isidir və onu deaerasiya edir. Bu vaxt kondensatdan oksigen və digər həll edilmiş qazlar xaric olunur (Lapte və b., 2011). Nominal prosesdə BQQ-nin geniş iş prosesinə baxılmışdır. Xarici hava girişdə hava süzgəcindən axaraq kompressorun girişinə ötürülür və 17 mərtəbəli oxlu kompressorda sıxılmaqla yanma kamerasına istiqamətləndirilir. Dörd mərtəbəsi olan reaktiv qaz turbinində yanma məhsulları genişlənərək iş görür. Qazın potensial enerjisindən kinetik enerjiyə çevrilmə hadisəsi turbinin soplolarında, kinetik enerjiden mexaniki enerjiyə dönmə prosesi isə işçi kürəklərdə yaranır. Turbində götürülən enerjinin bir sahəsi kompressorun pərinin fırlanmasına, qalan qismi isə elektrik generatorunun köməyi ilə elektrik enerjisinə çevrilir. Yanma məhsulları qaz turbinində genişləndikdən dərhal sonra utilizasiyalı qazana istiqamətlənir. Utilizasiyalı qazanda yüksək, orta və alçaq təzyiqli barabanlar mövcuddur. İstismar vaxtı yanma kamerasında məhsulların temperatur dərəcəsi 1325 °C-yə qədər çatır və qaz turbininə istiqamətlənir. Turbində götürülən enerjinin bir qismi kompressorun pərinin fırlanmasına, qalan qismi isə generatorun fırlanmasına sərf olunur.



1997-2005-ci illərdə “Şimal” DRES-in buraxılan elektrik enerjisinə şərti yanacaqın xüsusi sərfi

1997–2001-ci illər ərzində “Şimal” DRES-in spesifik yanacaq sərfi 500–550 Q/kVt.s səviyyəsində sabit dayanaraq qurğunun optimal vəziyyətdə çalışdığını və istilik-itki dərəcəsinin

minimal olduğunu sübut edir. 2002-ci ildən etibarən sərf kəskin şəkildə azalaraq 250–260 Q/kVt·s-ə enmiş, 2003–2005-ci illər ərzində isə stabil qalmışdır. Bu dəyişiklik texniki təmirilər, avadanlıqların təkmilləşdirilməsi və rejim parametrlərinin elmi dayaqlarla optimallaşdırılması nəticəsində yanacağın daha sərfəli istifadə edildiyini göstərir. Qrafik xüsusi yanacaq sərfi vasitəsilə qurğunun termodinamik sərfəliliyinin birbaşa şəkildə əlaqəli olduğunu sübut edir.

Cədvəl 1.

Buxar-qaz turbinlərinin rejim parametrlərinin optimallaşdırılması həddləri.

Parametr	Simvol	İstismar diapazonu	Optimal diapazon	Qeyd
Buxar təzyiqi	P_b	5-15 bar	10-12 bar	Enerji səmərəliliyi üçün kritik hədd
Qaz təzyiqi	P_q	1-5 bar	2-3 bar	Yanacaq istifadəsini normallaşdırır
Buxar temperaturu	T_b	150-350 °C	250-300 °C	Turbin effektivliyi üçün optimal haldır
Qaz temperaturu	T_q	50-200 °C	120-150 °C	Emissiyaların azaldılması üçün
Turbin sürəti	n	3000-3600 rpm	3200-3400 rpm	Mexaniki yük balansını qoruyur
İstilik mübadiləsi	Q	100-500 MW	300-400 MW	Səmərəliliyi artırır
Yanacaq axını	G	10-50 kg/s	25-35 kg/s	Yanacaq sərfiyyatını azaldır

Cədvəldə göstərilmiş parametrlər buxar-qaz mexanizminin optimal çalışma rejimini təmin etmək məqsədi üçün seçilmişdir. Buxar və qaz təzyiqi (P_b , P_q) səmərəlilik və yanacaq sərfiyyatını tarazlaşdırır, temperaturlar (T_b , T_q) turbin çıxış gücünü və istilik effektivliyinin səviyyəsini artırır, turbin sürəti (n) mexaniki balansını təmin edir, istilik mübadiləsi (Q) enerjinin sərfəli istifadəsini sübut edir, yanacaq axını (G) isə sərfiyyatı optimallaşdırır. Bütün parametrlər bir-biri ilə sıx formada əlaqədər və optimallaşdırma qurğunun səmərəliliyinin dərəcəsini yüksəldir və ekoloji göstəriciləri təkmilləşdirir (Abdullayev, Məmmədov, & Əliyev, 2013).

Nəticə

Buxar-qaz qurğularında rejim parametrlərinin optimallaşdırılması qurğunun enerji səmərəliliyinin səviyyəsini artırmaqda və yanacaq sərfiyyatını azaltmaqda əhəmiyyətli rola malikdir. Rejim parametrlərinin, həmçinin təzyiq, temperatur və istilik mübadiləsi göstəricilərinin balanslaşdırılmış formatda seçilməsi faydalı iş əmsalının yüksəlməsinə, istilik və ekserji itkilərinin azalmasına, avadanlıqların mexaniki və istilik yüklənməsinin optimallaşdırılmasına və xidmət müddətinin uzanmasına səbəb olur.

Tədqiqat göstərir ki, qurğuda optimal çalışma rejiminin təmin olunması sadəcə enerji istehsalını çoxaltmaqla dayanmır, həmçinin yanacağın rəşional istehlakını və ətraf mühitə təsirin minimuma endirilməsini təmin edir. Bu nəticələr istilik elektrik stansiyalarının idarə edilməsində elmi dayaqly yanaşmaların tətbiq olunmasının zəruriliyini və enerji səmərəliliyinin artırılması istiqamətində praktik əhəmiyyətini vurğulayır.

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. Abdullayev, R. A., Məmmədov, T. H., & Əliyev, S. Q. (2013). *İstilik elektrik stansiyalarının istismarı və səmərəliliyinin artırılması*. Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti nəşriyyatı.
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. Dick, E. (2015). *Fundamentals of turbomachines*. Ghent University.
5. Edison Tech Center. (n.d.). *Gas turbines*. <http://www.edisontechcenter.org/gasturbines.html>
6. Encyclopaedia Britannica. (n.d.). *Gas turbine engine*. <https://www.britannica.com/technology/gas-turbineengine>
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. Laptev, A. G., Nikolaev, N. A., & Basharov, M. M. (2011). Metody intensivatsii modelirovaniya teplomassoobmennyykh protsessov. *Teplotekhnika*.
11. Spravochnik: Teplovye i atomnye elektricheskie stantsii. (2009). In I. A. Grigor'ev & V. M. Zorin (Eds.). Energoatomizdat.
12. 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: 28.10.2025

Qəbul edildi: 24.01.2026