

UOT 620. 424.1

GT8C2 NÖVLÜ QAZ TURBINİNİN REJİM PARAMETRLƏRİNİN TƏDQIQI

Nəsirov Ş.N., Verdiyev N.M.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
Az.1010, Bakı şəh., Azadlıq pr., 34

E-mail:sh.nasirov62@inbox.ru, nicat.verdiyev.2020@gmail.com

Xülasə. Məqalədə GT8C2 növü qaz turbininin iş rejimi tədqiq edilərək, qaz turbininin rejim parametrlərinin təhlil edilməsi imkanı nəzərdən keçirilir. Bu istiqamətin müqayisəli üstünlükləri və perspektivləri müəyyən edilir. Məqalədə eyni zamanda 53.3 MVt gücündə GT8C2 növü qaz turbininin istilik və elektrik enerji təchizatı sistemlərində İES-lərdə istifadəsinin termodinamik və iqtisadi səmərəliliyinin hesablamalarının nəticələri təqdim olunur.

Qaz - turbin qurğusunun avadanlıqlarının seçilməsi və hesabat rejiminin təyin edilməsi də məqalədə öz əksini tapmışdır. Qaz - turbin qurğusunun hesabat rejiminə uyğun texniki iqtisadi göstəriciləri xarici havanın seçilmiş parametrlərinə uyğun təhlil olunaraq təqdim edilmişdir.

Abstract. The article examines the mode of operation of the gas turbine GT8S2 and considers the possibility of analyzing the mode parameters of the gas turbine. The comparative advantages and prospects of this direction are determined. The article also presents the results of calculations of the thermodynamic and economic efficiency of using the GT8S2 gas turbine with a capacity of 53.3 MW in heat and power supply systems of thermal power plants.

The article also reflects the selection of equipment for a gas turbine plant and the definition of the reporting mode. The technical and economic indicators of the gas turbine plant are analyzed in accordance with the reporting regime and presented in accordance with the selected parameters of the outside air.

Аннотация. В статье исследуется режим работы газовой турбины GT8C2 и рассматривается возможность анализа режимных параметров газовой турбины. Определены сравнительные преимущества и перспективы этого направления. Также в статье представлены результаты расчетов термодинамической и экономической эффективности использования газовой турбины GT8C2 мощностью 53,3 МВт в системах тепло- и энергоснабжения тепловых электростанций.

В статье также отражен подбор оборудования для газотурбинной установки и определение отчетного режима. Проанализированы технико-экономические показатели газотурбинной установки в соответствии с отчетным режимом и представлены в соответствии с выбранными параметрами наружного воздуха.

Açar sözlər: qaz turbinli mühərrik, iş rejimləri, termodinamik və iqtisadi səmərəlilik, utilizasiya qazanı, hesabat rejimi, ətraf mühit temperaturu, buxar qaz qurğusu

Key words: gas turbine engine, operating modes, thermodynamic and economic efficiency, utilization boiler, reporting mode, ambient temperature, combined cycle plant

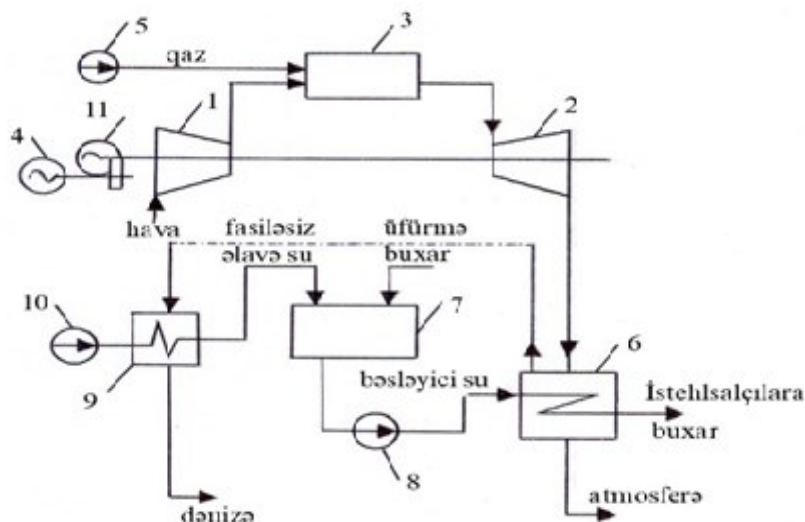
Ключевые слова: газотурбинный двигатель, режимы работы, термодинамическая и экономическая эффективность, утилизационный котел, отчетный режим, температура окружающего воздуха, парогазовая установка

Giriş. Hazırda inkişaf etmiş ölkələrdə yüksək faydalılığı olan qaz turbin qurğuları geniş istismar olunur. Bu həmin qurğuların elektrik enerjisi ilə bərabər istilik rejimində istilik enerjisi isehsalı prosesində yüksək faydalılıqlarının olması ilə bağlıdır. Eyni zamanda belə aqreqatlar gəmi energetikasında, gücündən asılı olaraq baş aqreqat kimi istifadə olunmaqdadır. Digər tərəfdən müasir qaz turbin qurğuları yığcamlığı, asan istismar olunması, tam avtomatlaşdırılması və normal mühafizə

sisteminin olması ilə fərqlənilir. Bu baxımdan onların rejim parametrlərinin tədqiqi aktual hesab olunur [1-4].

Energetikada yaranan böhranı aradan qaldırmaq məqsədilə, az f.i.ə-yə malik olan avadanlıqların istismardan dayandırılması, onların əvəzinə müasir, ekoloji cəhətdən az zərərli QTQ və BQQ-lərin istifadə edilməsi nöqtəyi-nəzərindən 1999-cu ildə ABB kompaniyası tərəfindən Bakı 1 №-li İEM -də hər birinin gücü 53,3 MVt olan 2 QTQ qurğusu quraşdırılmışdı. “Bakı İEM 1” MMC-nin istehsal gücü – 106,6 MVt-dır. “Bakı İEM 1” şəhərin sənaye müəssisələri yerləşən zonada, bilavasitə “Azərneftyağ” İB, “Azenko” ASC, Z.Tağıyev adını "Toxuculuq kombinatı" ilə həmsərhəddir. Müəssisənin yaxınlığında yaşayış və istirahət zonası, dövlət abidələri, qoruqlar, yaşıllıqlar və s. xüsusi mühafizə olunan obyektlər yoxdur.

Əsas hissə. Stansiyada yanacağın yandırılması hesabına alınan elektrik enerjisi “Azərenerji”-nin elektrik sisteminə ötürülür. Əlavə olaraq “Bakı İEM 1” buxar şəklində “Azərneftyağ” İB-ni bütün il boyu, payız və qış mövsümündə isə isti su şəklində Yeni Əhmədli qəsəbəsini istilik enerjisi ilə təmin edir (şəkil 1).



Şəkil 1. Qaz turbinli qurğunun sxemi

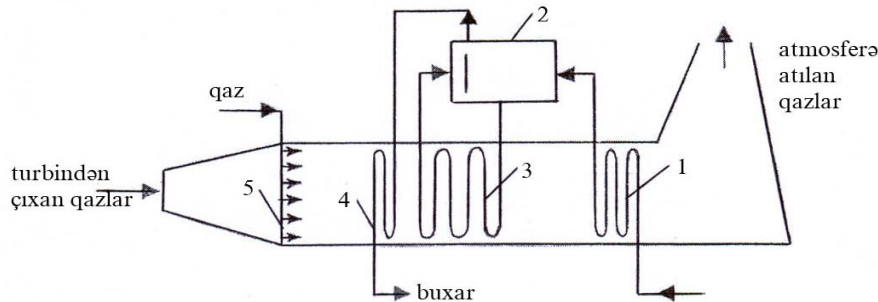
Qaz turbini ilə eyni val üzərində olan 12 pillədən ibarət hava kompressoru (1) atmosfer havasını götürərək 17 bar təzyiqə kimi sıxır və onu yanma kamerasına (3) verir.

Yanma kamerasında digər tərəfdən qaz kompressorundan (5) yüksək təzyiqə (≈ 28 bar) qaz verilir. Yanma kamerasının aktiv zonasında adətən temperatur 1800-2300 K-ə bərabər olur. Hazırda etibarlılıq və davamlılıq nöqtəyi-nəzərincə turbinin qarşısındakı qazların temperaturunun buraxılan qiyməti yanacağın növündən asılı olaraq 900-1700 K arasında götürülür. Kamerada yanma prosesi zamanı alınan yanma məhsulları qaz turbininə (2) verilir. Turbinin dövrlər sayı reduktor (11) vasitəsilə aşağı salınır (3000 dövr/dəq.). Soyutma sistemi qapalı tsikllə işləyir.

Qaz turbinində qazların genişlənməsi zamanı görülməli işin nəticəsində elektrik generatorunda (4) elektrik enerjisi alınır. Turbindən çıxan qazlar isə utilizator qazana (6) verilir. Qazana digər tərəfdən deaqeratordan (7) bəsləyici nasos (8) vasitəsilə su verilir. Su qazanın ekonomayzerindən (1) keçərək (şəkil 2) barabana (2), oradan isə 3 ədəd daxili diametri 419 mm olan endirici borularla buxarlandırıcıya (3) verilir. Turbindən çıxan qazların istiliyi hesabına su buxara çevrilir və buxar qızdırıcıda (4) qızıdırılaraq tələbatçılara verilir. Qazanın sxemi aşağıda verilmişdir (şəkil 2).

Qazanda suyun və buxarın keyfiyyətini normada saxlamaq üçün həm fasiləli, həm də fasiləsiz olaraq üfürülmə mövcuddur. Deaqerata kimya sexindən əlavə su nasosu (10) (şəkil 1) vasitəsilə kimyəvi təmizlənmiş su verilir. Həmin suyu qızdırmaq üçün və həm də qazandan üfürülən fasiləsiz

üfurmənin istiliyindən istifadə etmək üçün deaeratora qabaq əlavə su qızdırıcısı (9) (şəkil 1) qoyulmuşdur.



Şəkil 2. Utilizator qazanının sxemi

Util qazanlarda istifadə olunan su kimyəvi təmizləmə prosesindən keçir. Kimyəvi təmizlənmiş su sxeminin dekarbonizatorla karbonsuzlaşdırıldıqdan sonra suyun tərkibində olan dəmiri tutan süzgeclərə verilir. Dəmindən təmizlənmiş su, su qızdırıcısında qızdıqdan sonra deaeratora deaerasiya olunaraq bəsləyici nasoslarla qazan utilizatora verilir. Suyun pH göstəricisini normada saxlamaq məqsədilə bəsləyici nasosların qəbuluna amiak məhlulu dozırovka olunur. Qazana verilən bəsləyici suyun tərkibində qalan ərp əmələ gətirən duzları neytrallaşdırmaq məqsədilə qazanın barabanına fosfat məhlulu verilir.

Həmdövrəli kombinə edilmiş qurğular üçün iş rejimi və səmərəlilik göstəriciləri istilik yükü ayrıləri, axın sürəti və şəbəkə suyunun temperaturu ilə müəyyən edilir. İstiliyin sərbəst buraxılması, birbaşa və geri şəbəkə suyunun temperaturu t_{vx} , t_{qx} və su istehlakı, xarici hava istiliyi, istilik və isti su təchizatının yük nisbəti ilə müəyyən edilir. Uyğun olaraq istiliyin buraxılması yük qrafikinə uyğun olaraq magistral şəbəkə qızdırıcılarında və pik istilik mənbələrində şəbəkə suyunun qızdırılması ilə istiləşdirmə turbinləri ilə təmin edilir. İstilik yükü qrafiklərinin qurulması texniki ədəbiyyatda [5]-də təqdim olunur. Temperatur qrafikinə yuxarı həddi olanda, istilik şəbəkəsindəki soyuducunun sabit temperaturu xarici havanın temperaturundan asılı olmayaraq saxlanılır. Bu, istilik təchizatı məntəqələrinin tez-tez istilik daşıyıcısının yüksək temperaturunu təmin edə bilməməsi ilə bağlıdır. Ancaq müasir reallıqlarda belə temperaturda soyuducu mayenin buraxılması effektiv deyil. Qızdırılan binaların birdəfəlik ventilyasiyasını nəzərə alaraq binaların istilik itkilərinin hesablanması tənzimləyən mövcud normalar, istilik sistemlərinin layihəsi istilik itkisinin binaların istilik üçün istilik enerjisinə olan faktiki ehtiyaclarını üstələdiyi bir vəziyyətə gətirib çıxarır. Təchizat xəttində temperaturun azaldılması istilik şəbəkələrində həddindən artıq istiləşməni aradan qaldırmağa və itkiləri azaltmağa imkan verir. Daha aşağı temperaturda bir soyuducu ilə təmin etmək imkanı, binaların istilik itkilərini hesablayarkən nəzərə alınan qeyri-kafi tək hava mübadiləsi ilə əlaqədardır. QTQ-lərin göstəricilərinin əsas xüsusiyyəti onların ətraf mühit parametrlərindən asılılığıdır. Buna görə də, BQTQ-nin hesablanması müxtəlif rejimlərdə aparılmalıdır. Beləliklə, birləşmiş istilik və elektrik stansiyası üçün rejimlər adətən istilik yükü ayrıləri ilə müəyyən edilir:

- kondensasiya rejimi;
- PSQQ keçid nöqtəsi;
- istiləşdirmə dövründə orta hava temperaturu;
- hesablanmış hava istiliyi.

Kondensasiya tipli kombinə edilmiş dövrəli qurğular üçün adətən aşağıdakı rejimlər təyin edilir:

- nominal yük rejimi [6], ona uyğun olaraq köməkçi avadanlıq seçilir;
- texniki minimum yük rejimi;
- zavodun qismən yüklənməsi rejimi. ISO-ya uyğun dizayn rejimi qaz turbininin əsas rejimi kimi qəbul edilmişdir. Aşağıdakı xarici hava parametrləri ilə:

$$t_h = 15 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

$p_h = 0,1013 \text{ MPa,}$

$\phi_h = 60\% [6]$

Birkonturlu utilizasiyalı BQQ-lərdə qaz turbinindən çıxan qazların istilik enerjisindən tam istifadə etmək mümkün olmur. Ona görə də hesabat rejimini təyin etmək məqsədilə BQQ-nın hesabı üçün daha sadə sxemlərdən istifadə edilir.

Qaz turbinində işçi cisim kimi yanacağın yanma məhsullarının hava ilə qarışığı, yüksək temperatura qədər qızdırılmış hava və yaxud başqa (tələb olunan xassələrə malik) isti qazlardan istifadə olunur. Qaz turbininin iş prinsipi ilə buxar turbininin iş prinsipi eynidir. Onun axma hissəsinin soplolarında işçi cismin genişlənməsi nəticəsində istilik enerjisi kinetik enerjiyə, işçi kürəklərində isə kinetik enerji mexaniki enerjiyə çevrilir. Lakin qazın və buxarın xassələri müxtəlif olduğuna görə buxar və qaz turbinlərinin konstruksiyası bir qədər fərqlənir. Ümumiyyətlə, qaz turbinlərinin sxemləri və istifadə olunan avadanlıqları buxar turbin qurğularının avadanlıqlarından kəskin fərqlənir. Digər tərəfdən qaz turbin qurğularının buxar turbin qurğularına nisbətən bir sıra üstünlükləri vardır:

1. Qaz turbin qurğuları yığcam olur, çünki əsas etibarilə burada yanacağın yandırılması üçün buxar generatorunun əvəzinə ölçüləri kiçik olan yanma kamerasından istifadə edilir;
2. Qaz turbinləri tez işə qoşulur və yüklənir (30 saniyədən 30 dəqiqəyə qədər);
3. Konstruksiyası və istismarı daha sadədir;
4. Buxar turbini ilə eyni gücdə olan qaz turbininə metal və digər materialların sərfi azdır;
5. Qiyməti daha kiçikdir;
6. Soyudulması üçün demək olar ki, heç su tələb olunmur;
7. Qaz turbin qurğularında kondensator qurğusu yoxdur;

Bu müsbət cəhətlərlə yanaşı qaz turbin qurğularının buxar turbinlərinə nisbətən mənfi cəhətləri vardır:

1. vahid gücü və f.i.ə.-sı kiçikdir; 2. istismar müddəti azdır; 3. yanacağın keyfiyyətinə tələbi daha yüksəkdir.

İndiyə kimi qaz turbin qurğularında bərk yanacaqdan istifadə olunmur. Mazutun istifadəsi isə qurğunun həm konstruksiyasını, həm də istismarını çətinləşdirir. Ancaq ildən-ilə qaz turbinləri energetikada daha geniş yayılır. Səbəbi qaz turbin qurğularının tez işə qoşulması, pik, yarı pik və ehtiyat qurğuları kimi istifadə olunmasıdır.

Qaz turbinlərini tərk edən yüksək temperaturlu qazlardan istiləşdirmə və digər məqsədlər üçün istifadə olunur. Yığcam alındığı üçün və asan istismarına görə qaz turbin qurğuları son illərdə elektrik stansiyalarında, o cümlədən respublikamızın enerji sistemində də geniş istifadə edilir. Qaz turbinlərinin gələcək inkişafı onların vahid gücünün, faydalılığının, etibarlılığının və davamlılığının artırılmasına yönəldilib. Gələcəkdə qaz turbinləri və qaz istilikdaşıyıcısı ilə işləyən nüvə reaktorlu atom enerji qurğuları yaradılması nəzərdə tutulur. Hesab edirlər ki, onların faydalılığı su-buxar tsikli üzrə işləyən AES-lərdən yüksək olmaqla daha yığcam, konstruksiyası və istismarı isə daha sadə olacaq.

Hal-hazırda fərdi olaraq qaz turbinli energetik qurğular f.i.ə.-nin kiçik olması səbəbindən praktiki olaraq az tətbiq edilir. Qaz turbinləri buxar turbinləri ilə birlikdə istifadədə olunduqda isə yüksək faydalılığa malik olduğundan energetikada daha geniş tətbiqini tapmış və tapmaqdadır.

Həqiqi şəraitdə kompressorda sıxılma, turbində isə genişlənmə prosesləri bir sıra itkilərlə əlaqədardır, çünki proseslər adiabata üzrə getmir. Real kompressorda 1 kq qazın sıxılmasına sərf olunan həqiqi iş

$$\ell_k = C_p(T_4 - T_3) \quad (1)$$

Qaz turbinində 1 kq qazın gördüyü faydalı iş isə

$$\ell_T = C_p(T_1 - T_2) \quad (2)$$

ifadələri ilə təyin edilir. Havanın sıxılması zamanı kompressorda yaranan daxili itkilər kompressorun daxili FİƏ ilə nəzərə alınır:

$$\eta_k = \frac{L_k}{\ell_k} = \frac{T'_4 - T_3}{T_4 - T_3}, \quad (3)$$

burada L_k və ℓ_k - 1 kq havanın adiabatik və həqiqi sıxılmasına sərf olunan işdir, $\frac{kC}{kq}$. Uyğun olaraq turbindəki daxili itkiləri onun nisbi daxili FİƏ nəzərə alır:

$$\eta_{ni} = \frac{\ell_T}{L_T} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T'_2}, \quad (4)$$

L_T, ℓ_T - 1 kq qazın adiabatik və həqiqi genişlənmədə turbində gördüyü faydalı işdir, $\frac{kC}{kq}$. (2) və (4) tənliklərini nəzərə almaqla kompressorda həqiqi sıxılma işi

$$\ell_k = \frac{L_k}{\eta_k}, \quad (5)$$

və turbində genişlənmə zamanı görülən iş

$$\ell_T = (1 + \mu)L_T \cdot \eta_{ni} \quad (6)$$

ifadələri ilə tapılır. Burada μ - yanma kamerasına verilən 1 kq havaya düşən yanacağın miqdarıdır, $\frac{kq}{kq}$. μ -nün qiyməti təxminən 0,01 – 0,018 $\frac{kq}{kq}$ olduğu üçün çox vaxt nəzərə alınmır (4 və 5 nəzərə alınmaqla). Qaz-turbin qurğusunun daxili faydalı işi real tsikldə turbində 1 kq qazın genişlənmə işi $\left(\ell_T, \frac{kC}{kq}\right)$ ilə kompressorda 1 kq havanın sıxılmasına sərf olunan işin $\left(\ell_k, \frac{kC}{kq}\right)$ fərqi kimi tapılır və

$$\begin{aligned} \ell_i = \ell_T - \ell_k &= L_T \eta_{ni} - \frac{L_k}{\eta_k} = C_p (T_1 - T'_2) \eta_{ni} - C_p (T'_4 - T_3) \frac{1}{\eta_k} = \\ &= C_p T_1 \left(1 - \frac{T'_2}{T_1}\right) \eta_{ni} - C_p T_3 \left(\frac{T'_4}{T_3} - 1\right) \frac{1}{\eta_k} = C_p T_1 \left[\left(1 - \frac{1}{\beta^m}\right) \eta_{ni} - \frac{1}{\eta_k \tau} (\beta^m - 1)\right]. \end{aligned} \quad (7)$$

ifadəsi ilə təyin edilir. Burada $\ell_T = L_T \cdot \eta_{ni}$, $\ell_k = \frac{L_k}{\eta_k}$ və $\tau = \frac{T_1}{T_3}$ - tsikldə temperaturun artma

dərəcəsidir. Real QTQ-lərdə ideal QTQ tsikllərinə nisbətən xeyli itkilər olur ki, onlar da daxili və xarici itkilərə bölünür. Daxili itkilər işçi cismin halının dəyişməsi ilə əlaqədardır ki, bunlar da kompressorda, qaz turbinində, yanma kamerasında QTQ-nin hava qaz yolundakı müqavimətə sərf olunan və turbinin detallarının soyudulmasına hava sərfi ilə əlaqədar yaranan itkilərdir. Xarici itkilərə turbinin və kompressorun yastıqlarındakı itkilər, sızma itkiləri və köməkçi mexanizmlərə enerji itkiləri (sərfi) ilə əlaqədardır. Bu itkilərin qismən və tam aradan qaldırılması QTQ-nin faydalılığını artırır. Bunun üçün müxtəlif üsullardan: a) turbində işlənmiş qazların istiliyinin regenerasiyası; b) aralıq soyudulma tətbiq edilməklə pilləli sıxılma; v) pilləli yanma (pilləli qızdırılma); q) buxar qaz

tsikli ilə işləyən kombinəlaşdırılmış qurğulardan istifadə;d) çıxan tüstü qazlarının hesabına buxar və isti suyun alınması və s. istifadə olunur.

Qaz-turbin qurğusunun istismar rejimlərindən işə buraxma və dayandırma rejimləri tədqiq olunmuşdur. İşə buraxma rejimləri dayanma müddətindən asılı olaraq, qaynar (8 saat dayanma müddəti), isti (8-48 saat dayanma müddəti), və soyuq (72 saatdan çox dayanma müddəti), vəziyyətlərdən işə buraxılımlar təhlil olunmuşdur [1,3].

Nəticə

1. Müxtəlif təzyiqlərdə buxarın qızdırma mərhələlərinin sayını artırmağa yönəlmiş BQTQ-nin istifadə edilməsi istilik sxeminin təkmilləşdirilməsi üçün iqtisadi cəhətdən əlverişli hesab edilir.
2. Tüstü qazlarının temperaturunun artması (150...170 °C) hesabına birdövrəli BQTQ-lərin istifadəsi gücü 100...150 MVt olan və bir qayda olaraq, kombinə edilmiş sənaye istilik stansiyalarında istilik (buxar) və elektrik enerjisinin birgə istehsalı zamanı yüksək faydalılıq alınır.
3. İki dövrəli sxemə əsasən, 48...55% səmərəliliyi təmin edən BQTQ-lərdən istifadə edilməsi müxtəlif rejimlərdə yüksək faydalılığın alınmasına imkan verir.

“Bakı İEM 1“-dəki 106 MVt-lıq qaz turbin qurğusunun işinin tədqiqindən faydalılıq göstəriciləri alınmışdır. Qurğunun işinin tədqiqindən alınan nəticələr qaz turbinli İEM-lərin layihə hesabatında istifadə edilir.

Ədəbiyyat

1. Abdullayev, K.M. İstilik elektrik stansiyasının buxar və qaz turbinləri. Dərslik. / K.M.Abdullayev, F.İ.Kəlbəliyev, C.P.Məmmədova, Ş.N.Nəsirov. - Bakı: «Zaman – 3», - 2013. – 531s.
2. Тепловые и атомные электрические станции / Справочник под редакцией И.А.Григорьева и В.М.Зорина. Москва: Энергоатомиздат – 2009. - 608 с.
3. Канаев, А.А. Корнеев М.И. Парогазовые установки / А.А.Канаев, М.И.Корнеев. – Ленинград: Машиностроение, – 2004. - 285 с.
4. <https://www.britannica.com/technology/gas-turbine-engine>
5. Григорьева, О.К. Расчет тепловых схем теплофикационных паротурбинных установок. Учеб.метод.пособие / О.К. Григорьева, О.В. Боруш. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, - 2014. – 63 с.
6. ГОСТ Р 52200-2004 (ИСО 3977-2:1997). Установки газотурбинные Нормальные условия и номинальные показатели (дата введения 01.08.2004). – Москва: Изд-во стандартов. - 2004.– 7 с.
7. Трухний, А.Д. Современная теплоэнергетика. Учебник для вузов. [в 2-х частях] / А.Д.Трухний, А.А.Макаров, В.В.Клименко. // под общ. ред. чл. корр. РАН Е.В.Аметистова. - М.: Изд-во МЭИ. – ч.1. - 2003. – 376 с.
8. Ольховский, Г.Г. Газотурбинные и парогазовые установки за рубежом // Теплоэнергетика. – 1999. № 1. – с. 71–80.
9. Ольховский, Г.Г. Масштабы и особенности применения газотурбинных и парогазовых установок за рубежом // Теплоэнергетика. – 2002. № 9. – с. 72–77.
10. Боруш, О.В. Эффективность применения парогазовых установок в условиях топливно-энергетического баланса региона: / дис.канд. техн. наук. / – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 160 с.

Мəqalə qəbul olunub: 12.05.2022
Təvsiyə edib: t.e.d., prof. V.H.Həsənov