

QAZ - TURBIN QURĞULARININ EFFEKTİVLİYİ

Əhmədova C.A., Əlişanbəyli T.V.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

AZI010, Bakı şəh., Azadlıq pr., 34

E-mail: ahmedova_cahan1975@mail.ru, alisanbeyloo@mail.ru

Xülasə. Məqalədə GT8C2 növlu qaz turbininin effektivliyi tədqiq edilərək, qaz - turbininin faydalılığının təhlil edilməsi imkanı nəzərdən keçirilir. Bu təhlilin müqayisəli üstünlükləri və perspektivləri müəyyən edilir. Məqalədə eyni zamanda 53.3 MVt gücündə GT8C2 növlu qaz turbininin istilik və elektrik enerji təchizatı sistemlərində İES-lərdə istifadəsinin faydalılıq göstəricilərinin hesablamalarının nəticələri təqdim olunur.

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

Abstract. The article examines the efficiency of a GT8C2 gas turbine and considers the possibility of analyzing the efficiency of a gas turbine. The comparative advantages and perspectives of this analysis are identified. The article also presents the results of calculations of the efficiency of the use of 53.3 MW GT8C2 gas turbine in thermal power plants in thermal power plants.

The selection of gas turbine equipment and the determination of efficiency are also reflected in the article. The efficiency of the gas turbine unit in accordance with the reporting regime was analyzed and presented in accordance with the selected parameters of the outside air.

Аннотация. В статье исследуется КПД газовой турбины GT8C2 и рассматривается возможность анализа КПД газовой турбины. Определены сравнительные преимущества и перспективы такого анализа. Также в статье представлены результаты расчетов эффективности использования газовой турбины GT8C2 мощностью 53,3 МВт в тепловых электростанциях на тепловых электростанциях.

В статье также отражен выбор газотурбинного оборудования и определение эффективности. Эффективность газотурбинной установки в соответствии с отчетным режимом была проанализирована и представлена в соответствии с выбранными параметрами наружного воздуха.

Açar sözlər: qaz turbinli mühərrik, effektivlik, termodinamik və iqtisadi faydalılıq, utilizasiya qazanı, hesabat rejimi, ətraf mühit temperaturu, buxar qaz qurğusu

Key words: gas turbine engine, efficiency, thermodynamic and economic efficiency, utilization boiler, reporting mode, ambient temperature, steam gas plant

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

Giriş. Müasir dövrdə inkişaf etmiş ölkələrdə elektrik və istilik enerjisi istehsal etmək üçün şəhərlərin enerji təchizatı sistemlərinə qaz turbinli (GT) mühərriklər əsasında İEM-lər geniş tətbiq olunur. Eyni zamanda belə aqreqatlar gəmi energetikasında, gücündən asılı olaraq baş aqreqat kimi istifadə olunmaqdadır. Belə mühərriklər yeni mənbələrin tikintisi zamanı mövcud İEM-lərin yerlərində quraşdırılır, enerji istehsalından yanacağa qənaət edir. Dünyada energetik qaz turbinlərinin inkişafı çox yüksək tempolə gedir, qaz turbininin girişində qazın temperaturu 1200-1300°C və kompressorda hava təzyiqinin artım dərəcəsi 15-25 aralığında olmaqla xeyli sayda qaz turbinləri hazırlanmışdır. Elektrik stansiyasının effektivliyini tədqiq etmək üçün, Bakı 1 №-li İEM-də hər

birinin gücü 53,3 MVt olan, GT8C-2 tipli “ALSTOM POÜER LTD” firmasının quraşdırdığı 2 qaz turbin qurğusu seçilmişdir. “Bakı İEM 1” MMC–nin istehsal gücü – 106,6 MVt–dır [1-4].

“Bakı İEM 1” şəhərin sənaye müəssisələri yerləşən zonada yerləşir və həmin müəssisələrin enerji təminatında vacib stansiyadır. Bu baxımdan onun effektivliyinin tədqiqi aktual hesab olunur.

Qaz turbinində işçi cisim kimi yanacağın yanma məhsullarının hava ilə qarışığı, yüksək temperatura qədər qızdırılmış hava və yaxud başqa qazlardan istifadə olunur. Qaz turbininin iş prinsipi buxar turbinindəki ilə eynidir. Onun axma hissəsinin soplolarında işçi cismin genişlənməsi nəticəsində istilik enerjisi kinetik enerjiyə, işçi kürəklərində isə kinetik enerji mexaniki enerjiyə çevrilir.

İEM-də ABB firmasının istehsalı olan Ev tipli qorelkalılarla təchiz edilmiş 2 ədəd GT8C2 qaz turbinini qurşdırılıb.

Əsas hissə. Aşağıdakı cədvəldə (cədvəl 1) GT8C2 növlü qaz turbininin xarakteristikası verilmişdir.

Qaz-turbin qurğusunda yandırılan qaz yanacağı 4-8 bar təzyiqdə BEOC-dən qaz kəməri ilə verilir. Qaz əvvəl nəmlikdən təmizlənməsi üçün adsorberə daxil olur. Adsorberdə alınan qalıqlar ayrıca çənə yığılır və oradan çənlərə doldurulur. Təmizlənməmiş qaz kompressora verilir. Kompresorda qaz qızdırılır və 27 bar təzyiqə kimi sıxılır. Bu parametrdə qaz qaz-turbin qurğusunun yanma kamerasına verilir. Yanma prosesi hava artıqlıq əmsalı 2,8 olmaqla 1100°C-də baş verir. Yanma prosesində əmələ gələn qazlar 540°C-də qazan utilizatorlara daxil olur. Qazanın 110 t/saat artıq yüklənməsi tələb olunan hallarda qazana gələn qaz yolunda əlavə olaraq odluq quraşdırılmışdır. Qaz yolunda olan odluğa qaz kompressorun qabağından götürülmüşdür. Qaz kompressoru tam avtomatik idarə olunur. Soyutma sistemi qapalı tsikllə işləyir.

Cədvəl 1

GT8C2-qaz turbininin texniki xarakteristikaları

Yüklənmə tipi	GT8C2	
	Normal rejim	Pik rejim
Turbinin dövrlər sayı, dövr/dəq	6209	6209
Maksimal gücü, MVt	52,8	56,8
Maksimal elektrik f.i.ə., %	34,4	34,8
İstiliyin xüsusi sərfi, kC/kV	10463	10343
Təzyiqlər nisbəti	15,7	15,9
Çıxan tüstü qazlarının sərfi, kq/s	179	179
Çıxan tüstü qazlarının temperaturu, °C	517	541

Kompressor 12 pilləlidir, vurulan havanın sürəti səs sürətinə yaxındır. Kameralıdır, kiçik həcmi sıxılma dərəcəsi 17,6 geniş həddə pompajsız işləyir, işə qoşulma gücünü azaltmaq üçün tənzimlənən giriş istiqamətləndirici aparatla (TGİA) təchiz olunmuşdur. TGİA kombinəlaşdırılmış tsikldə və qismən yüklənmə rejimlərində f.i.ə. artmasını təmin edir. Girişdə tənzimləyici istiqamətləndirici qurğu ilə təchiz edilmişdir. Yanma üçün verilən havanın miqdarı istiqamətləndirici qurğunun kürəklərinin dönmə bucağını dəyişdirməklə tənzimlənir.

Yanma kamerası daxilə qoyulmuş həlqəvaridir. Yanma kamerasının 18 ekoloji sadə olduqları var. Onlar əvvəlcədən hazırlanmış qaz hava qarışığı və NO_x –in çox kiçik qiymətləri və quru külləmə ilə işləyir.

ABB firmasının istehsalı olan GT8C2 turbinini yüksək keyfiyyətli üç pilləli qaz turbinindən və səs tezlikli 12 pilləli kompressordan ibarətdir. Yanma kamerası vintvari axında əvvəlcədən qarışdırılmış sabit tərkibli qaz qarışığının yanmasını təmin edir ki, bu da quru yanmada NO_x-in miqdarını minimuma endirir.

Beləliklə qaz turbininin yükü yanma kamerasına verilən hava və yanacağın miqdarının dəyişdirilməsi ilə tənzimlənir.

Qaz turbinini işə buraxan zaman turbinin və generatorun valı hidravlik qaz nasosu vasitəsilə qaldırılır. Qaz turbinini generatoru kompressor tərəfdən qoşulmuş reduktor vasitəsilə hərəkətə gətirir.

Tüstü qazlarının oxboyu çıxışı qazan utilizator ilə birgə işləməyə imkan yaradır. Düz axım təzyiq itkisini azaldır və bunun nəticəsində də axımın döndərilməsi üçün deflektora ehtiyac qalmır.

İEM-in f.i.ə.-nı artırmaq, həmçinin də tələbatçılara buxarla təmin etmək üçün qaz turbin qurğusu istiliyi utilizasiya edən buxar generatoru ilə təchiz edilmişdir. Almaniyanın Stork firmasının istehsalı olan təbii sirkulyasiyalı bu qazan sabit təzyiqdə qızışmış buxar istehsal edir. Bu qazan iki pilləli ekonomayzerdən və buxar qızdırıcısından ibarətdir. İstilik mənbəyi kimi burada qaz turbinindən çıxan tüstü qazlarından istifadə edilir. Qazanda, həmçinin də əlavə qaz yandırmaq üçün qaz yolunun girişində qorelkarlar qoyulmuşdur. Qazana ancaq qaz turbinindən çıxan istilik verildikdə onun məhsuldarlığı 110 t/saat olur. Əlavə yanacaq yandırmaqla qazanın məhsuldarlığını 220 t/saata qədər yüksəltmək olur.

Aşağıdakı cədvəldə (cədvəl 2) qazan utilizatorun texnoloji parametrləri verilmişdir.

Qazanda suyun və buxarın keyfiyyətini normada saxlamaq üçün həm fasiləli, həm də fasiləsiz olaraq üfürülmədən istifadə edilir.

QTQ-İEM-dən istilik təchizatı sistemlərində istifadənin effektivliyinin qiymətləndirilməsi xalis cari dəyər (XCD), rentabellik indeksi, müddət meyarından istifadə etməklə həyata keçirilmişdir [3].

Qaz turbinlərinin müxtəlif istismar rejimlərindəki göstəricilərinə görə effektivlikləri təhlil olunmuşdur.

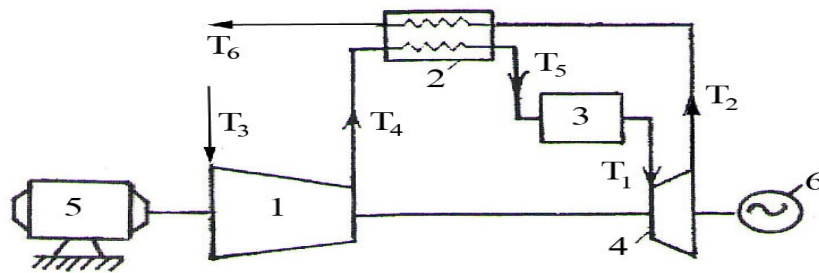
Cədvəl 2

Qazan utilizatorun texnoloji parametrləri

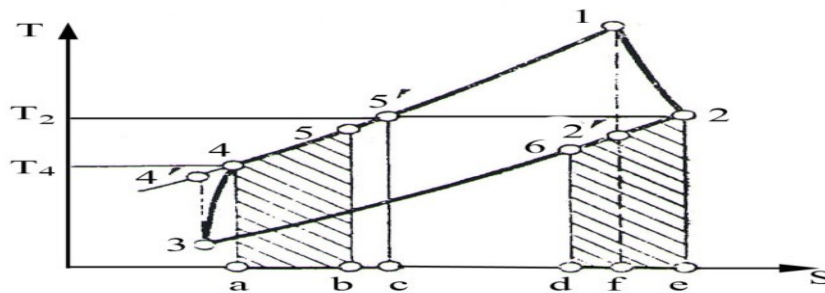
QT- nın çıxış gücü	53,3 MVt el.
İstiliyin əlavə sərfi	75,5 MVt ist.
Qazanın məhsuldarlığı	61,5 kq/san
Buxarın təzyiqi	20 bar
Buxarın temperaturu	280°C
Deaeratorun buxar sərfi	50 kq/san
Deaeratora təzyiq	1,2 bar
Bəsləyici suyun temperaturu	105°C
Kondensatın temperaturu	40°C
Tüstü qazlarının çıxış temperaturu	129°C

QTQ-larının faydalılığını artırmaq üçün istifadə olunan üsullardan biri, yanma kamerasına verilən havanı turbindən çıxan işlənmiş qazların istiliyi hesabına qızdırmaq hesab olunur (şəkil 1). Bu sxemlərdə kompressordan (1) sonra hava əvvəlcə regeneratorda (2) verilir. Regenerator – səthli tipli istilikdəyişdirici aparatdır, burada hava turbinini tərk edən qazların istiliyi hesabına qızdırılır. Regeneratorda qaz öz istiliyini havanın qızdırılmasına sərf edib, atmosfərə atılır. Qızdırılmış hava isə yanma kamerasına (3) verilir.

Şəkil 2-də T,S koordinat sistemində regenerasiyalı OTQ-nın tsikli göstərilmişdir: 3-4 kompressorda havanın sıxılması; 4-5 regeneratorda sabit təzyiqdə havanın qızdırılması; 5-1 yanma kamerasında sabit təzyiqdə yanacağın yandırılması və tsiklə istiliyin verilməsi; 1-2 turbində yanma məhsulunun genişlənmə prosesi; 2-6 regeneratorda sabit təzyiqdə yanma məhsullarından istiliyin alınması; 6-3 sabit təzyiqdə yanma məhsullarından istiliyin alınması və tsiklin şərti qapanmasıdır. Ştrixlənmiş a-4-5-b sahəsi 1 kq havanın aldığı istiliyə ekvivalentdir. d-6-2-e sahəsi isə 1 kq qazın verdiyi istiliyə ekvivalentdir.



Şəkil 1. Regenerasiyalı qaz-turbin qurğusu: 1 – kompressor; 2 – regeneratör; 3 – yanma kamerası; 4 – qaz turbini; 5 – elektrik generatoru; 6 – işəburaxma mühərriki



Şəkil 2. Regenerasiyalı qaz-turbin qurğusunun T, S diaqramında tsikli

Bu sahələr o vaxt bərabər olar ki, ətraf mühitə istilik itkisi olmasın. Yanma məhsullarının istiliyindən o vaxt tam istifadə olunardı ki, regeneratorda hava $T_5' = T_2$ qədər, yəni turbindən çıxan qazların temperaturuna qədər qızdırılırdı. T, S diaqramında $a - 4 - 5' - c$ sahəsi bu istilik miqdarına ekvivalentdir. Maksimum istilik miqdarı ölçüləri sonsuz böyük olan regeneratorda verilə bilər. Regenerasiya dərəcəsi

$$R = \frac{q_h}{q_{\max}} = \frac{a - 4 - 5 - b \text{ sah}}{a - 4 - 5' - c \text{ sah}}, \quad (1)$$

ifadəsi ilə tapılır. Burada q_h - regeneratorda 1 kq havanın qəbul etdiyi həqiqi istiliyin miqdarı; $q_{\max}$ - regeneratorda havanın qaz turbindən çıxan qazların temperaturuna qədər qızdırıla bilməsi halı üçün verilə biləcək istiliyin miqdarıdır.

q_h və $q_{\max}$ qiymətlərini $T-S$ diaqramındakı (şəkil 7.3) həqiqi tsiklin parametrləri ilə ifadə edək:

$$q_h = C_p (T_5 - T_4), \quad (2)$$

burada T_4, T_5 - regeneratordan əvvəl və sonra havanın temperaturudur.

$$q_{\max} = C_p (T_2 - T_4) \quad (3)$$

burada T_2 - turbindən sonra qazların temperaturudur.

Onda regenerasiya dərəcəsi

$$R = \frac{T_5 - T_4}{T_2 - T_4} \quad (4)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Əgər regeneratorda qazın və havanın təzyiq itkiləri nəzərə alınmasa, hesab etmək olar ki, regenerasiyanın tətbiqi QTQ-də faydalı işə (ℓ_i -yə) təsir göstərmir. Lakin regenerasiyalı qurğularda yanma kamerasından işçi cismə verilən istiliyin miqdarı (q_r) azalır.

$$q_r = q_{yk} - q_h, \quad (5)$$

burada q_{yk} -regenerasiyasız qurğularda yanma kamerasında sıxılmış havaya verilən istilikdir və

$$q_{yk} = C_p(T_1 - T_4) \left(\frac{1}{\eta_{yk}^i} \right) \quad (6)$$

ifadəsi ilə təyin edilir. Burada η_{yk}^i - yanma kamerasının istilik f.i.ə.-dir və (10.2.2)-ni nəzərə alsaq, q_h üçün yanma kamerasındakı itkiləri η_{yk}^i -nin köməyi ilə nəzərə ala bilərik. Beləliklə regenerasiyalı qurğularda yanma kamerasında sıxılmış havaya verilən istilik miqdarı

$$q_r = \frac{C_p(T_1 - T_4)}{\eta_{yk}^i} - \frac{C_p(T_5 - T_4)}{\eta_{yk}^i} = \frac{C_p(T_1 - T_5)}{\eta_{yk}^i} = \frac{C_p T_1 \left(1 - \frac{T_5}{T_1} \right)}{\eta_{yk}^i} \quad (7)$$

ifadəsi ilə təyin edilir.

Regenerasiyalı QTQ-lərin daxili f.i.ə. isə aşağıdakı ifadədən tapılır:

$$\eta_{ir} = \frac{\ell_i}{q_r} = \frac{\left(1 - \frac{1}{\beta^m} \right) \eta_{ni} - \frac{1}{\eta_k \tau} (\beta^m - 1)}{1 - \frac{T_5}{T_1}} \cdot \eta_{yk}^i \quad (8)$$

(4)-dən T_5 – i təyin edib

$$T_5 = R(T_2 - T_4) + T_4 \quad (9)$$

(8)-də nəzərə alsaq regenerasiyalı QTQ-nin daxili f.i.ə.

$$\eta_{ir} = \frac{\ell_i}{q_r} = \frac{\left(1 - \frac{1}{\beta^m} \right) \eta_{ni} - \frac{1}{\eta_k \tau} (\beta^m - 1)}{1 - \frac{RT_2 + (1-R)T_4}{T_1}} \cdot \eta_{yk}^i \quad (10)$$

ifadəsi ilə təyin edilir.

Regenerasiyanın tətbiqi faydalı iş əmsalını (φ) artırır. $R < 0,5$ qiymətlərində regenerasiyanın QTQ-nin f.i.ə.-na təsiri az olur. Regenerasiya dərəcəsinin qiyməti praktiki olaraq regeneratörün qızma səthlərinin sahəsi ilə təyin olunur. Müasir QTQ-lərdə $R = 0,6 - 0,8$ olur, regenerasiya hesabına yanacaq sərfində alınan qənaət 22-28% təşkil edir. $R > 0,8$ olanda regeneratörün qızma səthi və onun ölçüləri adətən böyük olur.

Buna görə R -in əlverişli qiyməti texniki-iqtisadi hesabatlar nəticəsində QTQ-nin sxemi və təyinatından, T_1 , η_{ni} və η_k nəzərə alınmaqla təyin olunur. Regeneratörün qurulması hava və qaz yolunda əlavə hidravlik müqavimətlər yaradır, bunun da nəticəsində QTQ-nin f.i.ə.-ı azalır. Böyük hidravlik itkilərdə regenerasiyadan alınan faydalılıq sıfıra enir.

Regenerasiyanın tətbiqi qaz-turbin qurğularının faydalılığına həm də qismən yüklənmə rejimlərində təsir göstərir, çünki regenerasiyalı qurğularda turbinin gücü azalanda f.i.ə.-nin azalması regenerasiyasız qurğulara nisbətən daha az olur. Regenerasiya nəinki birvəllı QTQ-lərdə, eyni zamanda mürəkkəb çoxvəllı qurğularda da, faydalılıqda qazanc alınan bütün hallarda tətbiq olunur.

Qaz turbinlərinin işinin tədqiqindən alınan nəticələr qaz turbinlərinin layihə hesabatında istifadə edilir.

Nəticə.

1. Müəyyən edilmişdir ki, regenerasiyanın tətbiqi faydalı iş əmsalını (φ) artırır. $R < 0,5$ qiymətlərində regenerasiyanın QTQ-nin f.i.ə.-na təsiri az olur. Regenerasiya dərəcəsinin qiyməti praktiki olaraq regeneratörün qızma səthlərinin sahəsi ilə təyin olunur.
2. Müəyyən edilmişdir ki, müasir QTQ-lərdə $R = 0,6 - 0,8$ olanda, regenerasiya hesabına yanacaq sərfində alınan qənaət 22-28% təşkil edir. $R > 0,8$ olanda regeneratörün qızma səthi və onun ölçüləri adətən böyük olur.
3. Müəyyən edilmişdir ki, R -in əlverişli qiyməti texniki-iqtisadi hesabatlar nəticəsində QTQ-nin sxemi və təyinatından, T_1 , η_{ni} və η_k nəzərə alınmaqla təyin olunur.

Ədəbiyyat

1. Abdullayev, K.M. İstilik elektrik stansiyasının buxar və qaz turbinləri / K.M.Abdullayev, F.İ. Kəlbəliyev, C.P. Məmmədova, Ş.N. Nəsirov. – Bakı: «Zaman – 3». - 2013. - 531s.
2. Григорьева, И.А. Тепловые и атомные электрические станции / Справочник под редакцией И.А.Григорьевой и В.М.Зорина. – Москва: Энергоатомиздат, - 2009. - 608 с.
3. Канаев, А.А. «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, – 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