



**ENERGIYA TEJAMKOR TEXNOLOGIYALAR VA QURILMALAR//  
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСТАНОВКИ//ENERGY  
SAVING TECHNOLOGIES AND INSTALLATIONS**

**BUG‘-GAZ QURILMALARIDAGI TERMODINAMIK JARAYONLARNI  
MODELLASHTIRISH BO‘YICHA ILMIY TADQIQOTLAR TAHLILI**

**Xujakulov S.M.**

*Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi, O‘zbekiston*

**Annotatsiya:** Maqolada kobinatsiyalashgan bug‘-gaz qurilmali issiqlik elektr stansiyalarining ishlash jarayonida termodinamik tavsifnomalar, ish rejimlari o‘zgarishining foydali ish koeffitsiyenti, energetik va eksergetik samaradorlik ko‘rsatkichlariga ta‘sirini modellashtirish masalalari bo‘yicha olib borilgan ilmiy izlanishlar natijalari tahlil qilingan hamda ikki konturli qozon-utilizatoriga ega bug‘-gaz qurilmasida qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish jarayonlarining matematik modeli taklif etilgan.

**Kalit so‘zlar:** bug‘-gazli sikl, bug‘-gaz qurilmali elektr stansiyalari, qozon-utilizatori, yuqori va past bosimli bug‘ konturlari, kondensat haydash nasosi, gazli kondensat qizdirgichi.

**АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ  
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПАРОГАЗОВЫХ  
УСТАНОВКАХ**

**Худжакулов С.М.**

*Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан*

**Аннотация:** В статье анализируются результаты научных исследований, проводимых по термодинамическим характеристикам при работе тепловых электростанций с комбинированными парогазовыми установками, моделируется влияние изменения режимов работы на коэффициент полезного действия, показатели энергетической и эксергетической эффективности, а также предложена математическая модель двухконтурного котла-утилизатора с дожиганием топлива.

**Ключевые слова:** парогазовый цикл, парогазовые установки электростанции, котлы-утилизаторы, паровые контуры высокого и низкого давления, конденсатный насос, газовый подогреватель конденсата.

**ANALYSIS OF SCIENTIFIC RESEARCH ON MODELING OF  
THERMODYNAMIC PROCESSES IN STEAM-GAS DEVICES**

**Khujakulov S.M.**

*Karshi Engineering Economics Institute, Karshi, Uzbekistan*

**Abstract:** The article analyzes the results of scientific research carried out on the thermodynamic characteristics of the operation of thermal power plants with combined cycle gas plants, models the effect of changing operating modes on the efficiency coefficients, energy and exergy efficiency indicators, and also proposes a mathematical model of a double-circuit waste heat boiler with additional combustion fuel.





**Key words:** *steam-gas cycle, steam-gas power plant units, waste heat boilers, high and low pressure steam circuits, condensate pump, gas condensate heater.*

#### **Kirish.**

Har xil elektr stansiyalarini tasniflashda bug‘-gaz siklli elektr stansiyasidan bazaviy yuklamali elektr stansiyasi yoki elektr tarmog‘idagi chastota rostlovchi (yuklamadan keyingi) elektr stansiyasi sifatida foydalanish imkoniyatlari yuqori hisoblanadi. Qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish mexanizmi, ayniqsa, elektr tarmog‘ida iste‘mol talabining sekin o‘zgarishida bug‘-gazli energobloklarning ishlab chiqarish quvvatini oshirishning keng tarqalgan usullaridan biri hisoblanadi [1].

Energetik va eksergetik nuqtai nazardan, turli ish rejimida qo‘shimcha yoqilg‘i yoqishli va qo‘shimcha yoqilg‘i ishlatilmaydigan real bug‘-gaz siklli bloklarning ish unumdorligi tahliliga e‘tibor qilsak, o‘zgaruvchan ish rejimlarida qo‘shimcha yoqilg‘i yoqishdan foydalanish energiya ishlab chiqarish hajmini 26,3 MVtgacha va bug‘ siklining energetik samaradorligini taxminan 2,43 % gacha oshirishga hamda bug‘ sarfini rostlash klapanlarining eksergetik yo‘qotishlariga barham beradi. Ammo bu holat kombinatsiyalashgan siklning energetik va eksergetik foydali ish koeffitsiyenti(FIK)ni taxminan 1,17 % ga kamayishiga olib keladi. Bundan tashqari, elektr stansiyalarining qisman yuklamalarida qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish tizimi bug‘ siklini to‘liq kompensatsiya qila olmasligi sababli, yuqori darajali eksergetik yo‘qotishlarni keltirib chiqaradi [1].

#### **Materiallar va usullar.**

Kombinatsiyalashgan siklli elektr stansiyalari (BGQES) bug‘ yoki gaz turbinali elektr stansiyalariga nisbatan yuqori samaradorlikka egaligi tufayli dunyoda elektr energiyasini ishlab chiqarishning takomillashgan va afzal usullaridan biri hisoblanadi. Tahliliy ma‘lumotlarga ko‘ra, elektr energiyasini ishlab chiqarishning bu usuli, kelajakda dunyodagi energiya ishlab chiqarishning asosiy usuliga aylanadi. Shu sababli, ushbu sikllarning optimal loyihalanishi, ayniqsa, yoqilg‘i narxining oshib borishi bilan bog‘liq holda, dolzarb masala hisoblanadi.

Ozon-utilizatoriga kiritiladigan yuqori issiqlik potensialiga ega gazlardan maksimal darajada foydalanish uchun ishchi parametrlarning yaxshilanishi, zarur miqdorda bug‘ ishlab chiqarish hajmining oshirilishiga olib keladi [2]. Boshqa tomondan, yilning turli fasllarida iste‘mol darajasi va elektr energiyasi narxi orasidagi farq, loyihachilardan, elektr stansiyalarining cho‘qqili energiya iste‘moli talab qilinadigan soatlarda elektr energiyasi ishlab chiqarishni vaqtinchalik ko‘paytirishga jiddiy yondashilishini talab qiladi.

Sutkaning ma‘lum vaqtlarida va yil mavsumlarida elektr energiyasini iste‘mol grafigidagi farqlanishlar, elektr energiyasi ishlab chiqarishning optimal rejimini tanlashni loyihalash va amalga oshirishni dolzarb muhandislik masalasiga aylantiradi.

Albatta qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish mexanizmlaridan foydalanib qozon-utilizatorlarining energetiya ishlab chiqarish darajasini oshirish keng tarqalgan usul hisoblanadi. Ushbu usulning BGQES tarkibiy qismlarining ishlashiga ta‘sir qilish darajasi so‘nggi vaqtlarda tadqiqotchilar uchun ilmiy izlanishlarning asosiy sohasi bo‘lib bormoqda. Ishlab chiqarish quvvatlarining o‘shish sur‘atlariga nisbatan investitsiyalar qiymatining kichik ekanligi loyihachilarni ushbu usuldan yuqorida ko‘rsatilgan elektr stansiyalarida foydalanishga undab turadi [3].

Bug‘-gaz qurilmali (BGQ) texnologiyalaridan foydalanishning an‘anaviy issiqlik elektr stansiyasiga ta‘siri Z. Aminov va boshqalar [4] tomonidan baholangan. Epsilon Professional 11.01 dasturiy ta‘minoti bilan an‘anaviy va kombinatsiyalangan elektr stansiyalarida tizimning termodinamik sikli va energetik balansini modellashtirilgan. Kombinatsiyalashgan siklning umumiy FIKi 58,28 %, an‘anaviy sikl FIK esa 34,5 %ga teng bo‘lishi hisob natijasi sifatida ko‘rsatilgan.

Frank Sisela va boshqalar [5] tomonidan, tashqi yoqishga ega kombinatsiyalashgan bug‘-gaz siklli elektr stansiyasining samaradorligi va xarajatlari o‘rganib chiqilgan. Siklning ishlab chiqarish unumdorligi issiqlik almashingichlarda harorat farqini kamaytirish, yuqori va o‘rta bosimli bug‘ traktidagi haroratni oshirish va qayta qizdirish jarayonini qo‘shish kabi usullar bilan siklning ishlab chiqarish unumdorligini oshirish mumkinligi aniqlangan. Gaz turbinalarining yonish kameralarida eksergiyani pasayishi boshqa komponentlardagiga qaraganda ko‘proq bo‘lib, turbinaga kiradigan qaynoq gazlar haroratining ko‘tarilishi eksergiyani yomonlashuv darajasini kamaytirishga imkon





beradi. Boshqa tomondan, qozon-utilizatori (QU) da siqilish nuqtalari sonining ortishi ham siklning eksergetik FIK ni pasaytiradi.

Gaz turbinasiga kirish havosini sovitish va kompressorni oraliq sovutish mexanizmlari hisobiga an'anaviy kombinatsiyalashgan siklli elektr stansiyasining ishlab chiqarish unumdorligini oshirish uchun integratsiyalashgan energetik tizim Xiaojun va boshqalar tomonidan taklif qilingan [6]. An'anaviy kombinatsiyalashgan sikl bilan taqqoslaganda tizim 75,8 kg/s tabiiy gaz yetkazib berish uchun taklif etilayotgan kombinatsiyalashgan siklning sof elektr FIK va umumiy ishlab chiqarish unumdorligini 2,8 %, ya'ni 77,9 MVt ga oshirish, hamda suv nasoslariga bo'lgan ehtiyojni bartaraf etish orqali 0,9 MVt elektr energiyasini tejash imkonini beradi.

Jarayonni modellashtirish uchun zamonaviy dasturiy vositalardan foydalangan holda, ishga tushirish vaqtini qisqartirish maqsadida qo'shimcha yoqilg'i yoqiladigan QU ga ega bug'-gaz siklli elektr stansiyasining dinamik imitatsion modelini Falah Alobaid [7] taqdim etgan. To'liq yuklama sharoitida qozon-utilizatorida qo'shimcha 50 MVt quvvat hosil qilish uchun yetarli bo'lgan qo'shimcha yoqilg'i yoqish mumkin, bu esa 50 % quvvat qo'shimcha yoqilg'i yoqmasdan olinishini bildiradi.

Qo'shimcha yoqilg'i yoqishning qo'llanishi qurilmaning yuqori darajada ekspluatatsion moslashuvchanligini ta'minlashi va katta diapazondagi qisman yuklama sharoitlarida yuqori samaradorlikni ta'minlashi Dechamps va boshqalar [8] tomonidan aniqlangan. Gaz turbinasiga kirish haroratining o'zgarishi bilan bir vaqtning o'zida qo'shimcha yoqilg'i sarfining o'zgarishi eksergetik nuqtai-nazardan o'rganilganda kombinatsiyalashgan siklda eksergetik holat yomonlashuvining asosiy manbai gaz turbinasini yonish kamerasi hisoblanadi, bu holatda bosim nisbatini oshirish orqali eksergiyani yaxshilash mumkin. Bosimning teng nisbatida gaz turbinasiga kiruvchi issiq gazning harorati qanchalik yuqori bo'lsa, energiya ishlab chiqarish shunchalik yuqori bo'ladi va eksergetik yo'qotishni kamaytiradi [9]. Bundan tashqari, yoqilg'ini yonishi uchun beriladigan havoni oldindan qizdirish hisobiga eksergetik yo'qotishlarni kamaytirish mumkin [10, 13].

Sreedharan va boshqalar [11] tomonidan turbinaning kirish harorati va bosim nisbati kabi gaz turbinasi ishchi parametrlarining qo'shimcha yoqilg'i sarfisiz kombinatsiyalashgan sikldagi ta'sirini o'rganib chiqilgan va ko'rsatilgan parametrlarni o'zgartirish bilan kombinatsiyalashgan siklning energetik samaradorligi 42% dan 55% gacha o'zgarishi ko'rsatib o'tilgan. Javadi va Gholmasi [12] tomonidan, BGSES ning termodinamik tahlili va SPECO usuli bilan takomillashuvi ko'rib chiqilgan. Ular gaz turbinasining izentropik FIK oshirish va gaz turbinasi bosimlar nisbatini oshirish kombinatsiyalashgan siklning eksergetik samaradorligini oshirishini aniqlangan.

Akbari va boshqalar [14] tomonidan o'tkazilgan, QU bosim darajalarining oldindan mavjud qozon va turbinalar ishlashiga ta'sirini aniqlash maqsadida, uchta alohida QU sxemasi asosida ko'p parametrlil tahlilga ko'ra, oraliq qizdirgichli bir konturli qozon-utilizatoridan foydalanilganda foydali energetik FIK 52,19%, eksergetik FIK 50,9% va ishlab chiqarish quvvati 485,8 MVt ga tenglashadi.

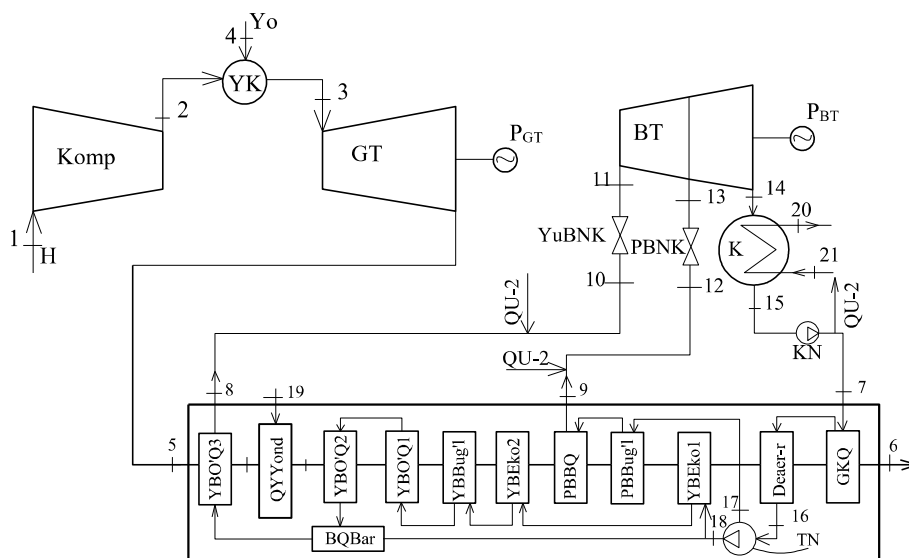
Bundan tashqari, BGQlarning energetik va eksergetik parametrlari, komponentlarning ishlashi Thamir [15], Dubey va Mishra [16], DatHoanga va Pawluskiewicz [17], Ameri va Ahmadi [18] kabi olimlar tomonidan o'rganilgan va batafsil tahlil qilingan. Asosiy fikrlar qozon-utilizator qurilmasi, uni takomillashtirish orqali BGQ quvvatini oshirishga qaratilgan (1-rasm).

Bug'-gaz siklli energetik blok, xalqaro standartlarga muvofiq, gaz uchastkasi 160 MVt quvvatli Siemens V94.2 tipidagi gaz turbina agregatlaridan, bug' uchastkasi esa Siemens kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilgan to'rtta nominal 160 MVt quvvatga ega agregatlardan tarkib topgan. Energoblokning asosiy yoqilg'isi tabiiy gaz va zahira yoqilg'i sifatida benzindan foydalanish mumkin. Gaz turbinasidan chiqadigan tutun gazlari, bug' turbinasiga beriladigan bug'ni ishlab chiqaruvchi QU ga uzatiladi. Ikkala QU ham zaruriy holatlarda foydalaniladigan qo'shimcha yoqilg'i yoqish tizimi bilan jihozlangan. Bunda bug' siklining kondensatsiyalash tizimi havo bilan sovutiladigan kondensatorga (HSK) ega.

Qozon-utilizatorlari (QU) yuqori (YuB) va past (PB) bosimli bug' ishlab chiqarishi sababli ikki bosimli (konturli) turga kiradi. Turbina kondensatorida kondensatsiyalanish natijasida

to'plangan suv QU uchun ta'minot suvi bo'lib hisoblanadi, u kondensat haydash nasosi (KN) yordamida dastlabki kondensat qizdirgich yoki gazli kondensat qizdirgichi (GKQ) deb ataladigan qismga kiritiladi va keyin deaeratorga uzatiladi. Deaeratorda suv tarkibidagi erimaydigan gazlar, ayniqsa kislorod suvdan ajratiladi. Erimaydigan gazlardan tozalash usuli deaerator kolonkasida suvni qizdirish va suvga bug'ning bevosita aralashtirilishi orqali amalga oshiriladi. Deaeratsiyalashdan keyin ta'minot suvi ta'minot nasosiga (TN) kiradi. Ta'minot nasosi ta'minot suvining bosimini QUning yuqori va past bosimli konturlari uchun zaruriy bosimlargacha ko'tarib konturlarga haydaydi. Yuqori bosimli traktida harakatlanadigan suv avval yuqori bosim ekonomayzerida (YuB EKO) qizdiriladi, so'ngra yuqori bosim bug'latgichida (YuB BUG'L) to'yinish holatiga keltiriladi va nihoyat o'ta qizdirgich qismida (YuB O'Q) o'ta qizigan bug'iga aylantiriladi va tegishli bug' quvur yo'llari orqali bug' turbinasiga yo'naltiriladi. Qozon-utilizatorning past bosimli kontur traktida suvning o'ta qizigan bug'ga aylantirish jarayoni yuqori bosimli traktidagi kabi kechadi, bu traktning YUB traktidan farqi bu yo'nalishda ekonomayzer bo'lmaydi. Mos keluvchi quvur yo'llaridan o'tgandan so'ng, bug' turbinasiga bug' sarfini rostlagich klapaniga kirishdan oldin bug' past va yuqori bosimli quvur yo'llariga ajraladi. Energetik qurilmani boshqarish tizimining konstruktiv tuzilishiga asoslangan ushbu klapanlar turli xil ekspluatatsiya sharoitlarida turbinaga kiruvchi bug' sarfini rostlash vazifasini bajaradi. Bu qurilmalarning QUlarida qo'shimcha yoqilg'i yoqish tizimi yuqori bosimli konturning o'ta qizdirgich qismida joylashtirilgan bo'lib, zarur bo'lganda yoqilg'ini QUga purkaydi. Qo'shimcha yoqilg'i yoqish tizimi QUning ikkita o'ziga xos balandligida, o'ta qizdirgichning ikkinchi va uchinchi pog'onalari o'rtasida o'rnatilgan, ikkita gaz purkovchi yondirgichlarni o'z ichiga oladi. Ushbu yondirgichlarga purkaladiogan yoqilg'i sarfi boshqaruv tizimi tomonidan rostlanadi.

Qo'shimcha yoqilg'i yoqish tizimida, tutun gazlari tarkibidagi kisloroddan, qozon-utilizatorida bug' ishlab chiqarishni ko'paytirish, tejamkorlikni va barqaror ishlashni yaxshilash maqsadida foydalaniladi. Ruxsat etilgan sharoitlarda bug' ishlab chiqarishni talab qiladigan ko'plab qurilmalarda, ushbu tizimdan foydalanish, atrof-muhit sharoitining o'zgarishi natijasida gaz turbinasi ishlashidagi o'zgarishlar tufayli paydo bo'ladigan yetishmovchiliklarni qoplaydi.



**1-rasm. Bug'-gaz siklli elektr stansiyasi sxemasi:**

1-atmosfera havosi; 2-kompressorda siqilgan havo; 3-yonish mahsulotlari; 4-tabiyy gaz yoqilg'isi; 5-GTQdan chiqish gazlari; 6-QUdan chiqish gazlari; 7-kondensat, ta'minot suvi; 8,10,11-YuB o'ta qizigan bug'; 9,12,13-PB o'ta qizigan bug'; 14-ishlatilgan bug' (chiqish); 15-kondensat; 16-ta'minot suvi; 17-PB konturi ta'minot suvi; 18-YuB ta'minot suvi; 19-qo'shimcha yoqilg'i; 20,21-sovutish agenti (havo); 22-qo'shimcha yoqilg'i yoqish kamerasiga kirishdagi; 23-u yerdan chiqishdagi tutun gazlari.

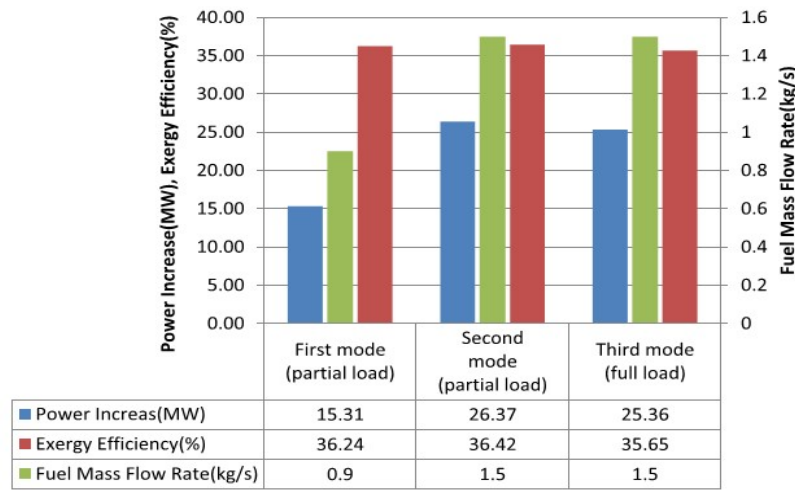
Tarmoqda iste'mol ko'rsatkichlari tez o'zgargan holatda gaz turbinasi elektr energiyasi ishlab chiqarish ko'rsatkichlarini tez rostlash imkoniga ega bo'lganligi sababli, ular tarmoqda iste'mol



ko‘rsatkichlari o‘zgarishini roslash vazifasini bajaradi, QUlardagi qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish tizimlari roslash jarayoniga sekin ta’sir ko‘rsatganligi uchun jarayonda ishtirok etmaydi. Ammo aytib o‘tilgan tizim, elektr energiyasi ishlab chiqarish ko‘rsatkichlari o‘zgarishlarini boshqarishning umumiy holatida, qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish tizimi bilan birgalikda ko‘rib chiqiladi.

BGQda qo‘llaniladigan qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish tizimining ta’sir qilish tavsifi va tezligini uchta holatda ko‘rib chiqish mumkin:

1. Birinchi rejim: qisman yuklama bilan ishlaydigan (yarim yuklama) bug‘-gaz siklli blokda qisman yuklamalarda (to‘liq yuklamaning 85 % i) ishlaydigan gaz turbinasidan foydalanish;
2. Ikkinchi rejim: ikkita qisman yuklamada (to‘liq yuklamaning 85 %i) ishlaydigan gaz turbinali qurilmadan foydalaniladigan qisman yuklamali (to‘liq yuklamaning 85 %i) bug‘-gaz siklli energetik blok;
3. Uchinchi rejim: ikkita to‘liq yuklamada ishlaydigan gaz turbinalari bilan ishlaydigan to‘liq yuklamali bug‘-gaz siklli energetik blok (2-rasm).



2-rasm. Qo‘shimcha yoqilg‘i yoqishning uchta ish rejimida ishlash ko‘rsatkichlari.

Termodinamik jarayonni modellashtirishda model quyidagi farazlarga asoslanib ishlab chiqiladi [19-21]:

1. Barcha jarayonlar barqaror oqim - barqaror holat deb hisoblangan;
2. Kinetik va potensial energiyaning o‘zgarishi e‘tiborga olinmagan;
3. Turbinalar, kompressorlar va nasoslar adiabatik deb hisoblangan;
4. Boshlang‘ich shartlar  $p_0 = 1 \text{ bar}$  va  $T_0 = 298 \text{ K}$  deb qabul qilingan.

**Natijalar va muhokamalar.**

Elektr stansiyasining turli komponentlari uchun barqaror holatdagi energiya va eksgergiya balansining asosiy tenglamalari (1) va (2) tenglamalar asosida yoziladi:

$$\sum m_{kir} \cdot h_{kir} - \sum m_{chiq} \cdot h_{chiq} - W + Q = 0 \tag{1}$$

$$\sum Q_{kir} \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) - W + \sum m_{kir} \cdot e_{kir} - \sum m_{chiq} \cdot e_{chiq} = E_D \tag{2}$$

Energiya samaradorligi tenglamalari 1-jadvalda, eksergetik balans, samaradorlik tenglamalari 2-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

**Kombinatsiyalashgan sikl asosiy komponentlarining energetik samaradorlik ko‘rsatkichlari.**

Sikl turi	Energetik samaradorlik tenglamalari
Kombinatsiyalashgan sikl	$\eta_{KS} = \frac{(P_{GT} + P_{ST})}{(Q_{GT} + Q_{SF})}$ (3)
Brayton sikli	$\eta_{GT} = \frac{P_{GT}}{Q_{GT}}$ (4)
Renkin sikli	$\eta_{BT} = \frac{P_{BT}}{Q_{chiq} + Q_{SF}}$ (5)



Bug' sarfini rostdash klapanining energetik balans tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$h_{kir} = h_{chiq} \quad (6)$$

2-jadval.

**Kombinatsiyalashgan siklning komponentlarini eksergetik balans va samaradorlik tenglamalari.**

Eksergetik balans tenglamasi	Eksergetik samaradorlik	Komponent turi
$\dot{E}_{F.GT} - \dot{E}_{P.GT} = \dot{E}_{D.GT}$	$\varepsilon_{GT} = \frac{\dot{E}_{P.GT}}{\dot{E}_{F.GT}}$	(GT) gaz turbinasi
$\dot{E}_{F.QU} - \dot{E}_{P.QU} = \dot{E}_{D.QU}$	$\varepsilon_{QU} = \frac{\dot{E}_{P.QU}}{\dot{E}_{F.QU}}$	(QU) qozon-utilizatori
$\dot{E}_{F.BT} - \dot{E}_{P.BT} = \dot{E}_{D.BT}$	$\varepsilon_{BT} = \frac{\dot{E}_{P.BT}}{\dot{E}_{F.BT}}$	(BT) bug' turbinasi
$\dot{E}_{F.KS} - \dot{E}_{P.KS} = \dot{E}_{D.KS}$	$\varepsilon_{KS} = \frac{\dot{E}_{P.KS}}{\dot{E}_{F.KS}}$	(KS) kombinatsiyalashgan sikl
$\dot{E}_{F.RK} - \dot{E}_{P.RK} = \dot{E}_{D.RK}$	-	(RK) bug' sarfini rostdash klapani

Shuni ta'kidlash kerakki, (3), (4) va (5) tenglamalardagi  $aQ_{chiq}$ ,  $Q_{SF}$ ,  $Q_{GT}$ ,  $P_{GT}$  va  $P_{BT}$  parametrlarini (7) – (11) tenglamalar orqali hisoblash mumkin. Shuningdek, gaz va bug' turbinalarini elektr generatorlarining FIK 98,5% deb hisoblangan va ishlab chiqarilgan elektr quvvati to'g'ridan-to'g'ri boshqaruv tizimida hisobga olinadi.

$$\dot{Q}_{GT} = \dot{m}_{yo} \cdot Q_q^i \quad (7)$$

$$\dot{Q}_{BT} = \dot{m}_{b.s} \cdot Q_q^i \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{chiq} \cong \dot{Q}_{GT} \cdot (1 - \eta_{GT}) \quad (9)$$

$$P_{GT} = N_{GT}^e / \eta_{gen} \quad (10)$$

$$P_{ST} = N_{ST}^e / \eta_{gen} \quad (11)$$

Yuqoridagi jadvalda ba'zi tenglamalar 3-jadvalda keltirilgan:

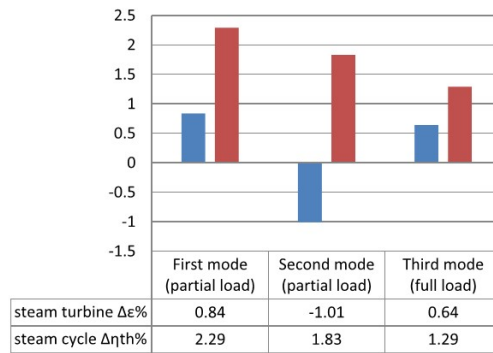
Foydalaniladigan yoqilg'i – yonish issiqligi  $Q_q^i = 45445 \frac{kJ}{kg}$  va eksergiyasi  $E = 47189 \frac{kJ}{kg}$  bo'lgan tabiiy gaz.

3-jadval.

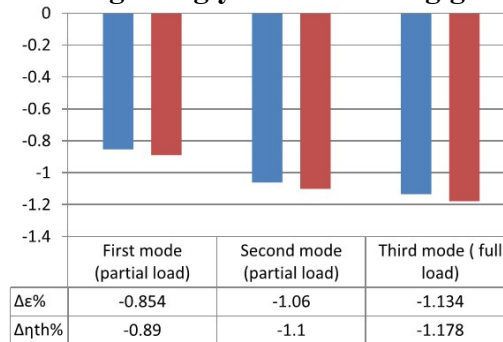
**Kombinatsiyalangan sikl elektr stansiyasi komponentlarining kirishdagi va ishlab chiqarishdagi eksergiyasini hisobga olish tenglamalari.**

Tenglamalar	Nazorat komponenti
$\dot{E}_{F.GT} = \dot{m}_{yo} \cdot e_{yo}$	Gaz turbinasi (GT)
$\dot{E}_{P.GT} = \dot{W}_{net} = P_{GT} = GT_{po}$	
$\dot{E}_{F.QU} = \dot{m}_{SF} \cdot e_{yo} + \dot{E}_{t.g.kir} - \dot{E}_{t.g.ch}$	Qozon-utilizatori (QU)
$\dot{E}_{P.QU} = \dot{E}_{YuB.bug'.ch} + \dot{E}_{PB.bug'.ch} - \dot{E}_{cnd.kir}$	
$\dot{E}_{F.BT} = \dot{E}_{bug'.kir} - \dot{E}_{bug'.ch}$	Bug' turbinasi (BT)
$\dot{E}_{P.BT} = \dot{W}_{BT} = P_{ST}$	
$\dot{E}_{F.BGQ} = \dot{m}_{SF} \cdot e_{yo} + \dot{m}_{yo.GT} \cdot e_{yo}$	Kombinatsiyalashgan sikl (BGQ)
$\dot{E}_{P.BGQ} = \dot{W}_{BT} + \dot{W}_{GT(s)}$	
$\dot{E}_{F.RK} = \dot{E}_{bug'.kir}$	Bug' sarfini rostdash klapani
$\dot{E}_{P.RK} = \dot{E}_{bug'.ch}$	(RK)





**3-rasm. Qo‘shimcha yoqishning bug‘ turbinasining eksergiya samaradorligiga va bug‘ aylanishining energiya samaradorligiga ta’siri.**



**4-rasm. Qo‘shimcha yoqishning eksergiya va siklning FIK o‘zgarishiga ta’siri.**

O‘tkazilgan tadqiqotlar bo‘yicha adabiyotlarda keltirilgan ma’lumotlarga ko‘ra, BGQli elektr stansiyalarining an’anaviy issiqlik elektr stansiyalariga nisbatan termodinamik afzalliklari, BGQning ishlab chiqarish unumdorligini umumiy baholanishi, BGQning ish unumdorligiga, atrof-muhit harorati, gaz harorati, bosim darajasi kabi ta’sir qiluvchi parametrlarni hisobga olgan holda, gaz turbinasi va QU ning ishlash rejimlarining ta’siri o‘rganilgan (3, 4-rasmlar). To‘liq yuklama sharoitida ishlaganda, BGQning FIK va ishlab chiqarish quvvatiga qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish tizimining ko‘rsatadigan ta’siri tadqiq qilingan. Tadqiqotchilar tomonidan, oldingi ilmiy va ilmiy-texnik manbalarda keltirilmagan, ya’ni tadqiq etilmagan yo‘nalishda, masalan qanday ish rejimlarida (qisman yoki to‘liq yuklama) qo‘shimcha yoqilg‘i yoqishdan foydalanishning ta’siri foydali ekanligini va samaradorlikning pasayishiga kam ta’sir ko‘rsatishi to‘g‘risidagi tushunchalar berilmagan.

**Xulosa.**

Tahliliy ma’lumotlarga ko‘ra, qisman yuklama sharoitida qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish tizimining BGQES ishlashiga ta’siri hamda energetik va eksergetik nuqtai nazardan, to‘liq yuklama ostida ishlash sharoitlari bilan solishtirish bo‘yicha hech qanday tadqiqot berilmagan. Bundan tashqari, qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish tizimining bug‘ sikliga, bug‘ turbinasiga, BGQga va bug‘ oqimini rostlash armaturalarining eksergetik yo‘qotishlarning o‘zgarishiga ta’siri, hamda qisman yuklama va qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish tizimi o‘rnatilishining eksergetik nuqtai nazaridan ekspluatatsiya jarayonini buzuvchi ta’sirini kamaytirish o‘rganilmagan.

Lekin, ko‘rib chiqilgan ishlarda – gaz turbinasi to‘liq yoki qisman yuklama sharoitlarida ishlatilganda chiqish gazlari haroratining o‘zgarish diapazoni, GT kurak mexanizmlarining yuqori haroratlarga bardosh berish mexanizmlari, qozon-utilizatoridagi avariya holatlarda taxminan 600 °C haroratli gazlarning atmosferaga qo‘yib yuborilishining ekologik oqibatlari, qo‘shimcha yoqilg‘i yoqish kamerasi va qo‘shimcha issiqlik almashinuv yuzalarining o‘rnatilishini qozon-utilizatorining gabarit o‘lchamlariga ta’siri, issiqlik almashinuv yuzalarining farqlanishi, past haroratli yuzalarda kondensatsiyalanish natijasida korroziya holatlarning yuzaga kelishi, tutun gazlarining haroratini pasayib ketishi natijasida kelib chiqadigan ekologik xavf masalalari ham yetarlicha o‘rganilmagan.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Afshin Abdollahian, Mehran Ameri. Effect of supplementary firing on the performance of a combined cycle power plant. *Applied Thermal Engineering* 193 (2021) 117049. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117049>.
2. M. Ameri, P. Ahmadi, S. Khanmohammadi, Exergy analysis of a 420MW combined cycle power plant, *Int. J. Energy Res.* 32 (2) (2008) 175–183.
3. D. Ghorbanzadeh, B. Ghashami, S. Masoudi, S.H. Khanmohammadi, Exergy Analysis of Neka-Iran Heat Recovery Steam Generator at Different Ambient Temperatures, in: *Proc. of the 3rd IASME/WSEAS Int. Conf. on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development*, AgiosNikolaos, Greece, July (24–26) 2007.
4. Z. Aminov, N. Nakagoshi, T.D. Xuan, O. Higashi, K. Alikulov, Evaluation of the energy efficiency of combined cycle gas turbine. Casestudy of Tashkent thermal power plant, Uzbekistan, *Appl. Therm. Eng.* 103 (2016) 501–509.
5. F. Czesla, G. Tsatsaronis, Z. Gao, Avoidable thermodynamic inefficiencies and costs in an externally fired combined cycle power plant, *Energy* 31 (10-11) (2006) 1472–1489.
6. X. Shi, B. Agnew, D. Che, J. Gao, Performance enhancement of conventional combined cycle power plant by inlet air cooling, inter-cooling and LNG cold energy utilization, *Appl. Therm. Eng.* 30 (2010) 2003-2010.
7. F. Alobaid, Start-up improvement of a supplementary-fired large combined-cycle power plant, *J. Process Control* 64 (2018) 71–88.
8. P.J. Dechamps, N. Pirard, Ph Mathieu, Part-load operation of combined cycle plants with and without supplementary firing, *J. Eng. Gas Turb. Power* 117/475 (1995).
9. B.V. Reddy, K. Mohamed, Exergy analysis of a natural gas fired combined cycle power generation unit, *Int. J. Energy Res.* 4 (2) (2007) 180, <https://doi.org/10.1504/IJEX.2007.012065>.
10. A. Almutairi, P. Pilidis, N. Al-Mutawa, Energetic and exergetic analysis of combined cycle power plant: Part-1 operation and performance, *Energies* 8 (12) (2015) 14118–14135.
11. H. Sreedharan, J.R. Reshma, J.K. Jacob, V.V. Sivakumar, Energy and exergy analysis on 350MW combined cycle power plant, *Eur. J. Technol. Des.* 12 (2016) 2.
12. M.A. Javadi, H. Ghomashi, Thermodynamics analysis and optimization of Abadan combined cycle power plant, *Indian J. Sci. Technol.* 9 (2016) 7.
13. I.H. Aljundi, Aljundi, Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan, *Appl. Therm. Eng.* 29 (2-3) (2009) 324–328.
14. O. Akbari, A. Marzban, G. Ahmadi, GholamrezaAhmadi, Evaluation of supply boiler repowering of an existing natural gas-fired steam power plant, *Appl. Therm. Eng.* 124 (2017) 897–910.
15. K. Thamir, A. Ibrahim, M.K. Mohammed, I. Omar, N.A. Awad, F. Abdalla, N. M. Basrawi, G. Marwah, R.M. Najafi, A comprehensive review on the exergy analysis of combined cycle power plants, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 90 (2018) 835–850.
16. K.K. Dubey, R.S. Mishra, Energy-exergy analysis of combined reheating regenerative Rankine cycle using entropy generation principle, *Int. J. Recent Technol. Eng.* 8 (September (3)) (2019) 277–3878.
17. T. DatHoanga, D.K. Pawluskiewicz, The efficiency analysis of different combined cycle power plants based on the impact of selected parameters, *Manuscript* (2016).
18. M. Ameri, P. Ahmadi, The study of ambient temperature effects on exergy losses of a heat recovery steam generator, in: *International Conference on Power Engineering*, October (23–27) 2007, Hangzhou, China.
19. V. Rohani, M. Ahmadi, Using double pressure heat recovery steam generator equipped with duct burner for full repowering a steam power plant and its analysis by exergy method, *Int. J. Mater. Mech. Manuf.* 2 (November) (2014) 4.
20. R. Kehlhofer, *Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plants*. PennWell Books, 2009.
21. A. Bejan, *Advanced Engineering Thermodynamics*, third ed., John Wiley & Sons, Inc., 2006 (All rights reserved).