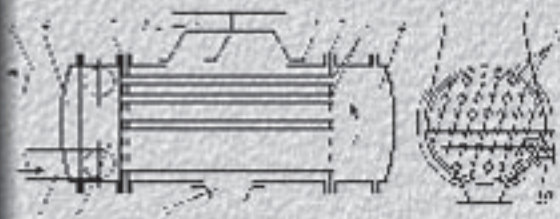
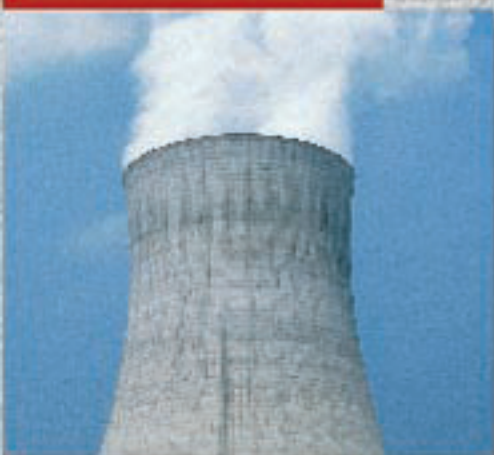
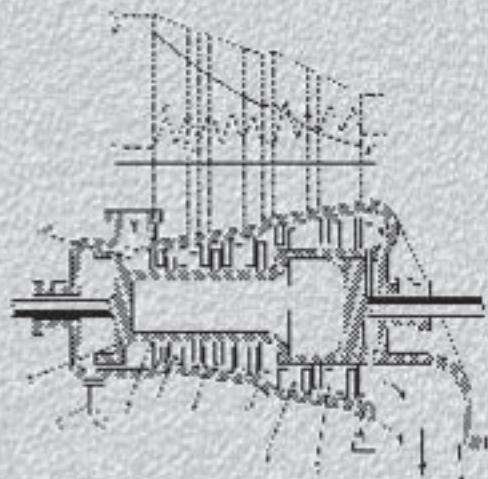


D.N. MUXIDDINOV  
E.K. MATJANOV

# ISSIQLIK ELEKTR STANSIYALARINING TURBINALI QURILMALARI



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIV VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI  
O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI

---

**D. N. MUHIDDINOV, E. K. MATJANOV**

**ISSIQLIK ELEKTR  
STANSIYALARINING  
TURBINALI QURILMALARI**

*Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma*

«SHARQ» NASHRIYOT-MATBAA AKSIYADORLIK  
KOMPANIYASI BOSH TAHRIRIYATI  
TOSHKENT — 2007

O‘zbekiston Respublikasi oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligining oliy va o‘rta maxsus, kasb-hunar ta’limi ilmiy-metodik birlashmalari faoliyatini muvofiqlashtiruvchi kengashi tomonidan nashrga tavsiya etilgan.

Taqrizchilar:

**Badalov A.A.** — texnika fanlari nomzodi, dotsent;  
**Xudoyqulov X.** — texnika fanlari doktori, professor.

**Muhiddinov D. va boshq.**

Issiqlik elektr stansiyalarining turbinalari qurilmalari: Kasb-hunar kollejlari uchun o‘quv qo‘llanma./D. N. Muxiddinov, E. K. Matjanov. — T.: «SHARQ», 2007. — 104 b.

O‘quv qo‘llanmada bug‘ turbinalari haqida umumiy ma’lumotlar, ishchi kurakchalarda energiyaning bir turdan boshqa turga aylanishi, turbina pog‘onalaridagi yo‘qotishlar, bug‘ turbina qurilmalari, bug‘ turbinasining FIK va quvvati, bug‘ turbinalar ish rejimlari, bug‘ turbinasining issiqlik hisobi, bug‘ turbinalar konstruksiyasi, bug‘ turbinasini rostdash va moylash sxemalari, bug‘ turbinalar kondensatsion qurilmalari, gaz-turbina qurilmalari mavzulari bayon etilgan.

Kasb-hunar kollejlari talabalari uchun mo‘ljallangan.

**ISBN 978-9943-00-185-5**

© «SHARQ» nashriyot-matbaa aksiyadorlik kompaniyasi Bosh tahririyati, 2007-y.

---

---

## SO‘ZBOSHI

Issiqlik elektr stansiyalarida issiqlik energiyasini mexanik energiyaga aylantirishda qo‘llaniladigan asosiy yuritgich bug‘ turbinasi hisoblanadi.

«Issiqlik energetikasi» yo‘nalishida tahsil olayotgan talabalar uchun bug‘ va gaz turbinalarining hamda bug‘ turbinasi qurilmasining tuzilishi, ishlash prinsipi va unda sodir bo‘ladigan termodinamik jarayonlarni o‘rganish hamda ularni tahlil qilish muhim ahamiyatga egadir. Chunonchi, O‘zbekiston energetikasida quvvati 25 MW dan 800 MW gacha bo‘lgan bug‘ turbinalari ishlatilyapti va bir nechta IESlarda, shu jumladan, Toshkent IES, Navoiy IES va Muborak IEMlarida gaz turbinalari va bug‘-gaz qurilmalari asosidagi bloklarni qurish mo‘ljallanyapti.

Bug‘ va gaz turbinalari qurilmalarining samaradorligini oshirish, ularga yoqilg‘i sarfini kamaytirish, atrof-muhitni zararli chiqindilardan himoyalash kabi dolzarb muammolarni hal etish issiqlik energetikasi mutaxassislari zimmasiga yuklanadi. Shu sababli «Issiqlik elektr stansiyalarining turbinali qurilmalari» fanida yoritiladigan nazariy va amaliy bilimlarni chuqur egallash va hayotga tatbiq etish muhim amaliy ahamiyatga ega.

Mazkur o‘quv qo‘llanmada «Issiqlik elektr stansiyalarining turbinali qurilmalari» kursi bo‘yicha nazariy bilimlar majmuasi jamlangan bo‘lib, unda bug‘ va gaz turbinalari, ularning soddalashtirilgan sxemalari, turbina eskizlari hamda turbinada bug‘ taqsimlash organlarining o‘rni va vazifalari bayon etilgan. Bundan tashqari, qo‘llanmada bug‘ turbinasining pog‘onalarida sodir bo‘ladigan issiqlik jarayonlari haqida nazariy tushunchalar, turbinadagi yo‘qotishlar va ularni hisoblash yo‘llari keltirilgan hamda turbinaning foydali ish koeffitsiyenti va turbinaga bug‘ sarfini aniqlash formulalari berilgan. Gaz turbinasi qurilmalari sxemalari va ularda sodir bo‘ladigan jarayonlar yoritilgan.

Mazkur o‘quv qo‘llanma energetika kollejlarida tahsil olayotgan talabalar uchun mo‘ljallangan.

*Mualliflar*

---

---

## KIRISH

Har qanday energiya turini mexanik ishga aylantirib beruvchi mashinalar *yuritgichlar* (dvigatellar) deyiladi. Issiqlik miqdorini mexanik ishga aylantirib beruvchi mashinalar *issiqlik yuritgichlari* deyiladi.

Yuritgichlar uchun issiqlik miqdori hozirgi paytda organik yoqilg'i hisobidan, kimyoviy reaksiya orqali va yadro yoqilg'isidan, ya'ni yadroviy reaksiya orqali olinadi. Issiqlik energetikasida qo'llaniladigan organik yoqilg'ilarga ko'mirning barcha turlari, antrasit, torf, yonuvchi slaneslar, yog'och, neft, tabiiy gaz va ishlab chiqarish orqali olinadigan boshqa organik mahsulotlar kiradi.

Shuning uchun issiqlik elektr stansiyalarida yoki texnikaning issiqlik ishlatiladigan boshqa sohalarida issiqlik yuritgichlarisiz kuchli agregatlarni ishlatib bo'lmaydi.

Issiqlik miqdorini mexanik ishga aylantirish qurilmalari xilma-xildir. Ulardan keng tarqalganlari quyidagilar:

- 1) bug' mashinalari;
- 2) bug' turbinalari;
- 3) ichki yonuv yuritgichlari;
- 4) gaz turbinalari;
- 5) reaktiv yuritgichlar.

U yoki bu tipdagi yuritgichlarning qo'llanilishi xalq xo'jaligining ehtiyojlari, kerakli quvvatlar, mavjud yoqilg'i turlari, yuritgich ishiga qo'yiladigan talablar va boshqa shartlarga bog'liqdir.

Porshenli bug' mashinalari issiqlik yuritgichlari ichida birinchi bo'lib (XVIII asr boshlaridayoq) sanoatda qo'llanila boshladi. Bug' mashinalari 100 yildan ko'proq temiryo'l va kemasozlikda asosiy qurilma hisoblanib keldi. Vaqt o'tishi bilan bu tipdagi mashinalar o'zidan mukammalroq tipdagi mashinalarga o'rnini bo'shatib berdi va hozirgi paytda juda kam qo'llaniladi.

Yirik issiqlik elektr stansiyalarida va ulkan issiqlik energetikasi inshootlarida bug' turbinali qurilmalar asosiy va kam xarajatli qurilma

hisoblanadi. Deyarli barcha yirik issiqlik elektr stansiyalari va, hatto, atom elektr stansiyalari bug‘-turbinali qurilmalar bilan ta’minlangan.

Transport uchun va boshqa hollarda kichik va o‘rta quvvatli kuch qurilmasi talab etilib, ularda ichki yonuv yuritgichlari qo‘llaniladi. Gaz turbinalari XX asrning 90-yillarigacha alohida tip hisobida, asosan, aviatsiyada ko‘proq qo‘llanilgan edi. Hozirga kelib esa deyarli barcha yangi qurilayotgan issiqlik elektr stansiyalarida gaz turbinalari va bug‘-gaz qurilmalaridan foydalanilmoqda.

# 1-bob. BUG‘ TURBINALARI HAQIDA UMUMIY MA’LUMOTLAR

---

---

## 1.1. BUG‘ TURBINALARINING GURUHLANISHI

Bug‘ turbinalari konstruksiyasi, issiqlik jarayoni xarakteri, bug‘ parametrlari va sanoatda ishlatilishiga qarab quyidagicha asosiy guruhlariga bo‘linadi:

### 1) pog‘onalar soniga ko‘ra:

a) bir pog‘onali turbinalar; bu turbinalar kichik quvvatga ega bo‘lib, odatda, markazdan qochma nasoslar va ventilatorlarni aylantirish uchun qo‘llaniladi;

b) kichik, o‘rta va katta quvvatli aktiv va reaktiv ko‘p pog‘onali turbinalar.

### 2) bug‘ oqimi harakatiga ko‘ra:

a) bug‘ oqimi turbina o‘qi bo‘yicha yo‘naluvchi turbinalar;

b) radial turbinalar; bu turbinalarda bug‘ turbina aylanish o‘qiga perpendikular tekislik bo‘ylab harakatlanadi. Ayrim hollarda katta quvvatli kondensatsion radial turbinalarning oxirgi pog‘onalari o‘q bo‘yicha yo‘naluvchi qilib bajariladi. Radial turbinalar qo‘zg‘almas yo‘naltiruvchi kurakchalarga va faqat aylanuvchi ishchi kurakchalarga ega bo‘lishi mumkin.

### 3) silindrlar (korpuslar) soniga ko‘ra:

a) bir korpusli (bir silindrli);

b) ikki korpusli (ikki silindrli);

d) ko‘p korpusli (ko‘p silindrli).

Ko‘p silindrli turbinalar silindrlarining vallari bitta generatorga birlashtirilgan bo‘lsa, *bir valli turbinalar* deyiladi, agar har bir silindr ayrim generatorga birlashtirilsa, *ko‘p valli turbinalar* deyiladi.

### 4) bug‘ taqsimlanish prinsipiga ko‘ra:

a) aktiv turbinalar; bu turbinalarda bug‘ning potensial energiyasi kinetik energiyaga qo‘zg‘almas kurakchalarda yoki soploda aylantiriladi; ishchi kurakchalarda esa bug‘ning kinetik energiyasi mexanik ishga aylantiriladi;

b) reaktiv turbinalar; bu turbinalarda bug‘ kengayishi yo‘naltiruvchi va ishchi kurakchalarda bir xilda amalga oshiriladi.

### 5) issiqlik jarayoni xarakteriga ko'ra:

a) regeneratsiyali kondensatsion turbinalar; bu turbinalarda ishlatilgan bug' atmosfera bosimidan past bosimda kondensatorga kiritiladi;

b) bitta yoki ikkita rostlanadigan bug' olinadigan kondensatsion turbinalar; olingan bug' ishlab chiqarish yoki turarjoylarni isitish uchun ishlatiladi, qolgan qismi kondensatorga kiritiladi;

d) qarshi bosimli turbinalar; bu turbinalarda ishlatilgan bug' bir necha atmosfera bosimida sanoat yoki isitish uchun yuboriladi;

e) qo'shimcha ulanadigan turbinalar; bunda ishlatilgan bug' o'rta yoki past bosimli silindrlarga kiritiladi.

### 6) bug' bosimiga ko'ra:

a) o'rta bosimli turbinalar,  $p = 3,43 \text{ MPa}$ ,  $t = 345^\circ\text{C}$ ;

b) orttirilgan bosimli turbinalar,  $p = 8,8 \text{ MPa}$ ,  $t = 535^\circ\text{C}$ ;

d) yuqori bosimli turbinalar,  $p = 12,7 \text{ MPa}$ ,  $t = 565^\circ\text{C}$ ;

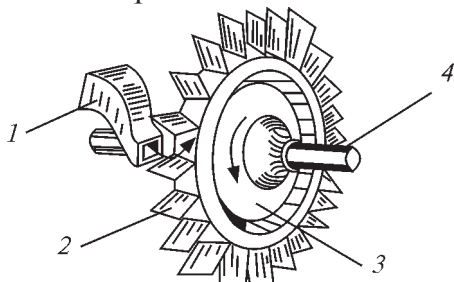
e) kritik bosimdan yuqori bosimli turbina,  $p = 23,5 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 560^\circ\text{C}$ ;  $t_{kk} = 565^\circ\text{C}$ .

## 1.2. BUG' TURBINASINING ISHLASH PRINSIPI

Bug' turbinasida bug'ning potensial energiyasi kinetik energiyaga, kinetik energiya esa turbina valining mexanik energiyasiga aylantiriladi. Turbina vali bevosita yoki uzatma moslama orqali ishchi mashina bilan ulanadi.

Turbinada bug'ning potensial energiyasini val aylanishining mexanik energiyasiga aylantirishning turli xil usullari mavjud. Bug' potensial energiyasini kinetik energiyaga o'zgartirish xarakteriga ko'ra *aktiv, reaktiv va aktiv-reaktiv turbinalar* farqlanadi.

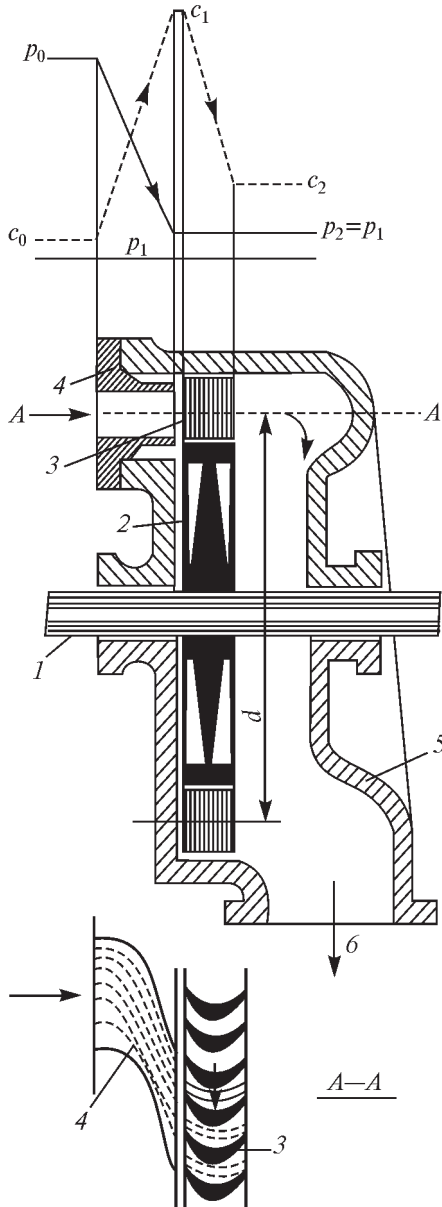
Turbinaning bug' oqib o'tish qismi ikkita asosiy qismdan — soplo apparati 1 va val 4 ga o'rnatilgan disk 3 dan tashkil topgan (1.1-rasm). Diskning aylanasi bo'ylab ishchi kurakchalar 2 mahkamlangan bo'lib, ular kanallar hosil qiladi.



1.1-rasm. Bug' turbinasining soplosi va ish g'ildiragi.



Birinchi jarayon soplo apparatida sodir bo'ladi, bu yerga yuqori bosimli bug' kiradi va kengayadi, uning bosimi pasayadi va tegishli tezligi ortadi, ya'ni soplo apparatida bug'ning ichki energiyasi kinetik energiyaga aylanadi. Ikkinchi jarayon ishchi kurakchalari kanallarida sodir bo'ladi, bu yerda: bug'ning kinetik energiyasi diskning va u bilan bog'langan turbina valining mexanik ishiga aylanadi.



1.2-rasm. Bir pog'onali bug' turbinasi sxemasi.

Bir pog'onali bug' turbinasi quyidagi asosiy qismlardan iborat (1.2-rasm): soplo 4, val 1, disk 2 va unda o'rnatilgan ishchi kurakchalar 3, chiqaruv quvuri 6. Val 1 unga o'rnatilgan disk 2 bilan turbinaning asosiy qismi hisoblanadi va rotor deb nomlanadi. Rotor korpus 5 da o'rnatilgan. Val korpusga tirgovuch podshipniklar orqali o'rnatiladi.

Bug' boshlang'ich  $p_0$  bosimdan oxirgi  $p_2$  bosimgacha bitta yoki bir guruh soplolarda kengayadi. Soplolar aylanuvchi diskka o'rnatilgan ishchi kurakchalar oldida korpusga o'rnatilgan.

Bug' boshlang'ich  $p_0$  bosimdan oxirgi  $p_2$  bosimgacha bitta yoki bir guruh soplolarda kengayadi. Soplolar aylanuvchi diskka o'rnatilgan ishchi kurakchalar oldida korpusga o'rnatilgan.

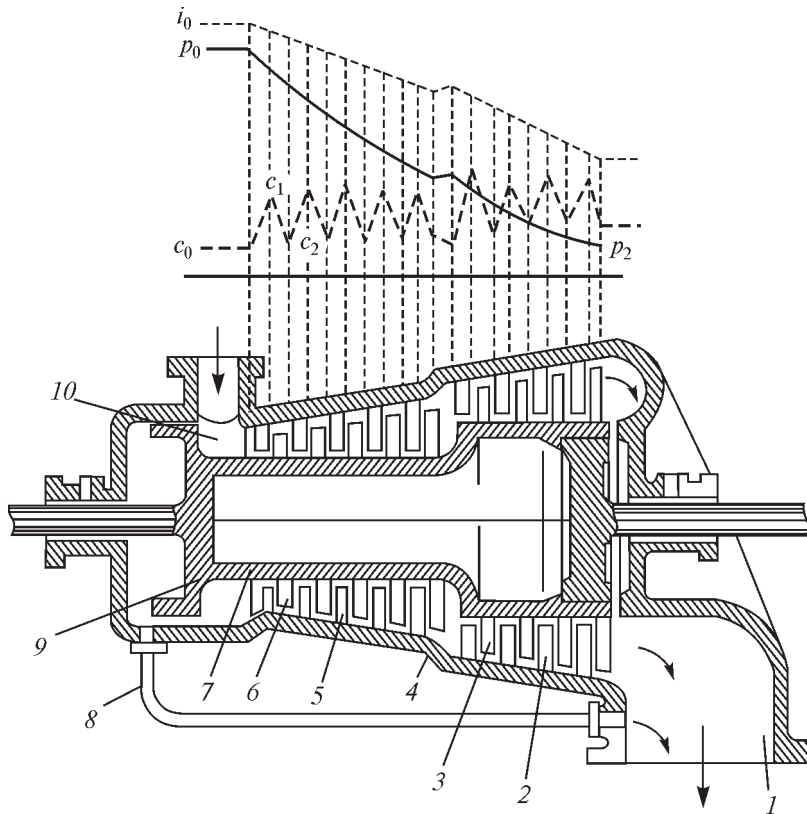
Soploda bug' bosimi pasayishi bilan uning entalpiyasi ham kamayadi, ya'ni soplolarda bug' is-siqlik energiyasiga aylanadi. Bug'ning soplodagi kengayishi natijasida tezligi  $c_0$  dan  $c_1$  gacha ortadi. Ishchi kurakchalar kanallarida esa bug' tezligi  $c_1$  dan  $c_2$  gacha pasayadi, ya'ni bug' kinetik energiyasi kamayadi. Bunda bug'ning kinetik energiyasi rotorni aylantirish uchun sarflanadi, ya'ni rotor aylanish mexanik energiyasiga aylanadi.

Bug'ning butun kengayish jarayoni faqat qo'zg'almas kanallarda, ya'ni soplolarda, kinetik energiyaning mexanik energiyaga aylanish jarayoni esa faqat ishchi kurakchalarda (bug' kengaymasdan) sodir bo'ladigan turbinalar aktiv turbinalar deyiladi.

Bir pog'onali aktiv turbinalar quvvati  $500 \div 800$  kW dan oshmaydi.

Kichik quvvatli reaktiv turbina ish prinsipini ko'rib chiqamiz.

Birlamchi bug' halqasimon bug' kamerasi *10* orqali kiritiladi (1.3-rasm). Rotorda ishchi va korpusda yo'naltiruvchi kurakchalar o'rnatilgan bo'lib, bu kurakchalar orasida bug' o'tishi uchun kanal mavjud. Bug' kurakchalar orqali o'tib, chiqarish quvuri *1* orqali kondensatorga kiritiladi.



**1.3-rasm. Kichik quvvatli reaktiv turbina sxemasi:**

*1* — chiqish quvuri; *2* — ikkinchi qator yo'naltiruvchi kurakchalar; *3* — ikkinchi qator ishchi kurakchalari; *4* — korpus; *5* — birinchi qator yo'naltiruvchi kurakchalar; *6* — birinchi qator ishchi kurakchalar; *7* — rotor; *8* — bug' quvuri; *9* — porshen; *10* — bug' kirish halqasimon kamerasi.

Bug' harakatlanishi davomida  $p_0$  dan  $p_2$  bosimgacha kengayadi. Bug' kengayishi va entalpiya kamayishi ishchi va yo'naltiruvchi kurakchalarda bir xilda sodir bo'ladi. Turbina old qismidagi bug' quvur  $\delta$  orqali chiqarib yuboriladi.

Turbina korpusi va rotorda joylashgan ikki qo'shni kurakchalar qatorlari — pog'onani tashkil qiladi. Bir nechta ketma-ket joylashgan ishchi va yo'naltiruvchi kurakchalarga ega bo'lgan turbinalar *ko'p pog'onali turbinalar* deyiladi. Hozir ko'rib chiqilgan turbinada bug'ning kengayish jarayoni ishchi kurakchalar orasidagi kanallarda va yo'naltiruvchi kurakchalar orasidagi kanallarda bir xilda sodir bo'ladi. Bunday turbinalar *reaktiv turbinalar* deyiladi.

$p_0-p_2$  egri chiziq bug' bosimi o'zgarishini ko'rsatadi,  $c_0-c_1-c_2$  punktir chiziq esa bug' absolut tezligi o'zgarishini ko'rsatadi. Yo'naltiruvchi kurakchalarda entalpiya  $h_0$  kamayishi hisobiga bug' tezligi ortadi. Yo'naltiruvchi va ishchi kurakchalarida entalpiya o'zgarishi hisobiga turbina aylanish mexanik energiyasi yuzaga kelaydi. Reaktiv turbinada entalpiya ishchi va yo'naltiruvchi kurakchalarda bir xilda kamayadi.

## 2-bob. ISHCHI KURAKCHALARDA ENERGIYANING BIR TURDAN BOSHQA TURGA AYLANISHI

---

### 2.1. AKTIV POG‘ONA

Aktiv pog‘onada bug‘ kengayishi faqat soploda amalga oshiriladi. Pog‘onaning issiqliklar farqi  $h_0$  kinetik energiyaga faqat soplolarda aylantiriladi. Ishchi kurakchalarda esa faqatgina kinetik energiyaning mexanik energiyaga aylantirish jarayoni sodir bo‘ladi. Bug‘ oqimi soplo kanallaridan aylanish tekisligiga  $\alpha_1$  burchak ostida  $c_1$  absolut tezlik bilan chiqadi va ishchi kurakchalar kanaliga kiradi. Ishchi kurakchalar aylanib turganligi sababli bug‘ kanallariga kirishida ularning devorlariga nisbatan boshqacha tezlik va yo‘nalishga ega bo‘ladi. Bu tezlik *nisbiy tezlik* deb ataladi va  $\omega_1$  bilan belgilanadi. Nisbiy tezlik qiymatini va yo‘nalishini tezliklar uchburchagini qurish bilan osonlikcha topish mumkin.

Bug‘ absolut tezligi  $c_1$  dan kurakchalar o‘rtacha diametriga nisbatan aniqlangan aylanish tezligi  $u$  ni geometrik ayirish natijasida nisbiy tezlik  $\omega_1$  aniqlanadi.

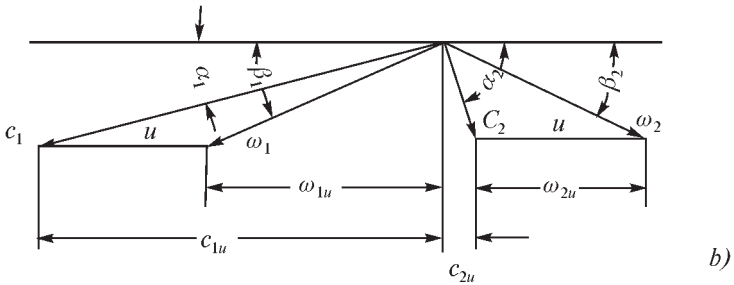
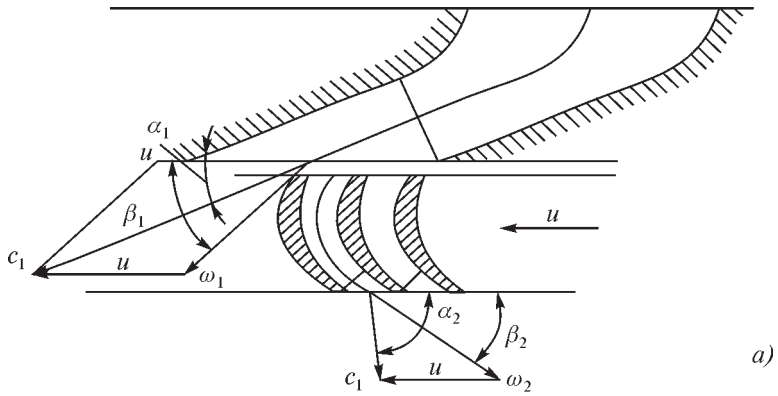
Geometrik ayirish qoidasiga ko‘ra  $c_1$  tezlik parallelogramming diagonali hisoblanadi, tezlik  $u$  esa uning bir tomoni. Demak, nisbiy tezlik  $\omega_1$  ning qiymati va yo‘nalishi parallelogramming ikkinchi tomoni bilan aniqlanadi.

Bug‘ oqimining ishchi kurakchalar kanallariga kirishdagi yo‘nalishini belgilovchi  $\beta_1$  burchak *kirish burchagi* deyiladi. Bug‘ning ishchi kurakchalar kanallariga zarbasiz kirishini ta‘minlash uchun ishchi kurakchalarning chekka qismlari aylanish tekisligiga nisbatan  $\beta_1$  burchakka og‘ma qilib yasalishi kerak.

Tezlik  $\omega_1$  va burchak  $\beta_1$  ning qiymatlarini uchburchaklar formulasidan foydalanib analitik usulda aniqlaymiz:

$$\omega_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2uc_1 \cos \alpha_1};$$

$$\sin \beta_1 = \frac{c_1}{\omega_1} \sin \alpha_1.$$



2.1-rasm. Aktiv turbina ishchi kurakchalarida bug' tezligi o'zgarishi:  
 a — kurakchalardagi oqim sxemasi; b — tezliklar uchburchagi.

Kanalning egriligi sababli bug' oqimi o'z yo'nalishini o'zgartiradi va kurakchalardan  $\omega_2$  burchak ostida chiqib ketadi.  $\beta_2$  tezlik *chiqish tezligi* deb ataladi.  $\beta_2$  burchak, odatda,  $\beta_1$  burchakdan kichik, ya'ni

$$\beta_2 = \beta_1 - (2^\circ \div 10^\circ).$$

Kurakchalar kanallarida bug' energiyasi yo'qotilishi tufayli  $\omega_2$  nisbiy tezlik  $\omega_1$  nisbiy tezlikdan kichik, ya'ni

$$\omega_2 = \psi \omega_1,$$

bu yerda:  $\psi < 1$  tezlik koeffitsiyenti bo'lib, bug'ning ishchi kurakchalar kanallarida harakatlanishidagi zararli qarshiliklarni hisobga oladi.

Bug'ning ishchi kurakchalarni tark etishidagi absolut tezlik  $c_2$  ni chiquvchi tezliklar uchburchagini qurib, nisbiy tezlik  $\omega_2$  dan aylanish tezligi  $u$  ni geometrik ayirish orqali aniqlanadi.

Geometriya qoidasiga ko'ra  $c_2$  tezlik  $\omega_2$  va  $u$  tezliklarga qurilgan parallelogrammning diagonali hisoblanadi.

Absolut tezlik  $c_2$  va burchak  $\alpha_2$  ni quyidagi formulalar orqali analitik aniqlash mumkin:

$$c_2 = \sqrt{\omega_2^2 + u^2 - 2u\omega_2 \cos \beta_2};$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{\omega_2}{c_2} \sin \beta_2.$$

Pog'onadagi bug' harakati tezligining o'zgarishini bilgach, uning kinetik energiyasi o'zgarishini ham aniqlash mumkin.

Bug' ishchi kurakchalar kanallaridan o'tishdagi zararli qarshilikni yengishga sarflaydi. Ishchi kurakchalardagi kinetik energiya yo'qotilishi  $h_A$  quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$h_A = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2} = (1 - \psi^2) \frac{\omega_1^2}{2}, \text{ kJ/kg,}$$

bu yerda:  $\frac{\omega_1^2}{2}$  — 1 kg bug'ning ishchi kurakchalarga kirishdagi kinetik energiyasi;

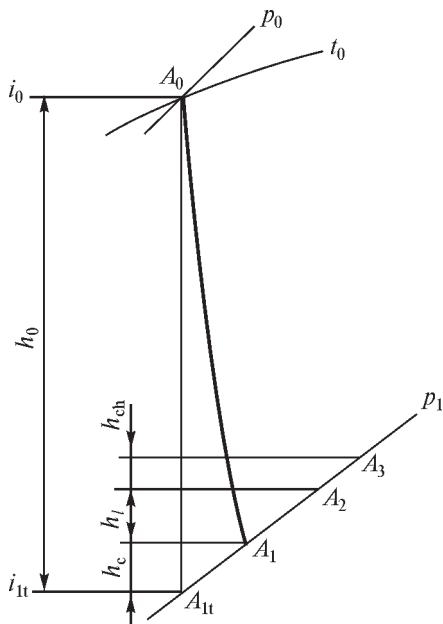
$\frac{\omega_2^2}{2}$  — 1 kg bug'ning ishchi kurakchalardan chiqishdagi kinetik energiyasi.

Ishchi kurakchalar kanallaridagi ishqalanishni va boshqa qarshiliklarni yengish uchun sarflanadigan energiya issiqlikka aylanadi va bug'ning ishchi kurakchalardan chiqishidagi issiqlik miqdorini  $h_A$  kattalikka oshiradi.  $c_2$  tezlik va  $\frac{c_2^2}{2}$  energiya ham mazkur pog'ona uchun yo'qotish hisoblanadi. Bu yo'qotish *chiquvchi tezlik bilan yo'qotish* deb ataladi va quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$h_{ch} = \frac{c_2^2}{2}, \text{ J/kg.}$$

Aktiv pog'ona kurakchalaridagi issiqlik jarayoni barcha yo'qotishlar bilan birga 2.2-rasmda ko'rsatilgan.

Bu rasmda  $A_{it}$  nuqtadan yuqori  $h_C$ ,  $h_A$ ,  $h_{ch}$  yo'qotishlar ko'rsatilgan.  $A_1$ ,  $A_2$  va  $A_3$  nuqtalar bug'ning soplodan va ishchi kurakchalardan chiqishdagi va undan keyingi holatlarini ifodalaydi.



2.2-rasm. Aktiv pog‘ona kurakchalaridagi issiqlik jarayonining yo‘qotishlarini hisobga olgan holdagi  $i-s$  diagrammadagi tasviri.

## 2.2. REAKTIV POG‘ONA

Aksial reaktiv pog‘onada nazariy issiqlik tushishi:

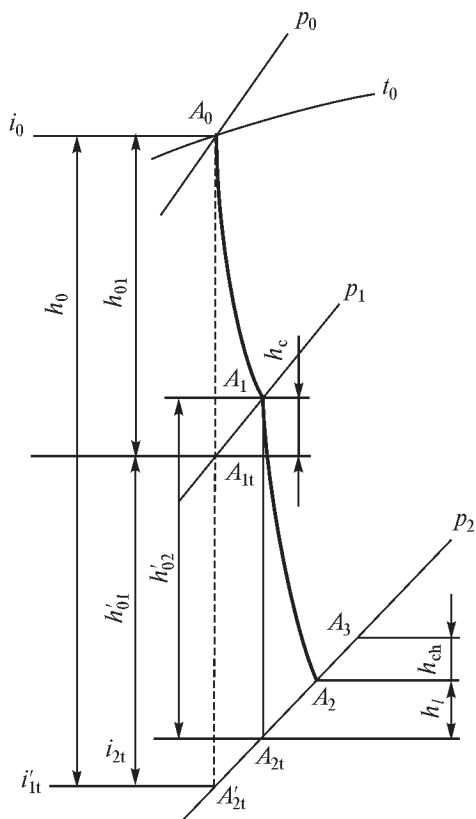
$$h_0 = i_0 - i'_{2t} = h_{01} + h'_{02},$$

bu yerda:  $h_{01}$  va  $h'_{02}$  — yo‘naltiruvchi va ishchi kurakchalardagi asosiy adiabatada  $A_0A'_{2t}$  bo‘yicha issiqlikning nazariy sarflari. Aksial reaktiv pog‘onada nazariy issiqlik tushishi yo‘naltiruvchi va ishchi kurakchalar orasida teng taqsimlanadi, ya‘ni  $h_{01} \approx h'_{02}$ .

Yo‘naltiruvchi kurakchalar kanallarida issiqlik yo‘qotilishi  $h_c$  mavjudligi sababli ishchi kurakchalardagi haqiqiy issiqlik tushishi  $h'_{02}$  emas, balki  $h_{02}$  ga teng (2.3-rasm).

Ishchi kurakchalardagi issiqlik tushishining butun pog‘ona nazariy issiqlik tushishiga nisbati reaktivlik darajasi deyiladi va  $\rho$  harfi bilan belgilanadi:

$$\rho = \frac{h_{02}}{h_0}$$



2.3-rasm. Reaktiv pog‘ona kurakchalaridagi yo‘qotishlar hisobga olingan holdagi issiqlik jarayonining  $i$ – $s$  diagrammadagi tasviri.

yoki

$$h_{02} = \rho \cdot h_0.$$

Yo‘naltiruvchi kurakchalarda  $h_{01} = i_0 - i_{1t}$  miqdordagi issiqlik tushishi ro‘y beradi va bosim  $p_0$  dan  $p_1$  gacha pasayadi.

Bug‘ oqimi yo‘naltiruvchi kurakchalar kanallaridan  $c_1$  absolut tezlikda  $\alpha_1$  burchak ostida chiqadi va ishchi kurakchalar kanallariga kiradi.

Bug‘ning yo‘naltiruvchi kurakchalar kanallaridan chiqishdagi tezligi quyidagi tenglama bo‘yicha aniqlanadi:

$$c_1 = \varphi c_{1t} = \varphi \sqrt{2h_{01} + c_0^2} = \varphi \sqrt{2(1 - \rho)h_0 + c_0^2}.$$



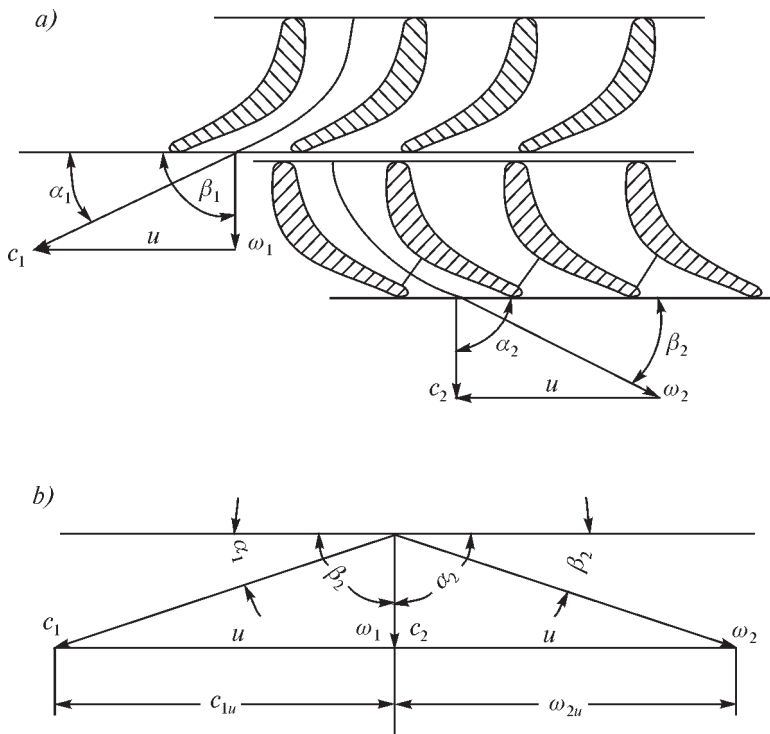
Bug' oqimi tezligi  $\omega_1$  va  $\beta_1$  burchak tezliklar uchburchagini (2.4-rasm) yasash orqali aniqlanadi. Shuningdek, analitik usulda quyidagi formulalar bo'yicha ham aniqlash mumkin:

$$\omega_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2uc_1 \cos \alpha_1};$$

$$\sin \beta_1 = \frac{c_1}{\omega_1} \sin \alpha_1.$$

Pog'onaning ishchi kurakchalari kanallarida bug'ning kengayishi davom etib, tezligi ortadi va bosimi  $p_1$  dan  $p_2$  gacha kamayadi.

Ishchi kurakchalardagi 1 kg bug' kinetik energiyasi oqimning ishchi kurakchalarga kirishdagi kinetik energiyasi  $\left(\frac{\omega_1^2}{2}\right)$  va issiqlik



2.4-rasm. Reaktiv pog'ona ishchi kurakchalarida bug' tezligi o'zgarishi:  
a — kurakchalardagi oqim sxemasi; b — tezliklar uchburchaklari.

tushishi  $h_{02}$  lar yig'indisiga teng, ya'ni:  $\frac{\omega_{2t}^2}{2} = \frac{\omega_1^2}{2} + h_{02}$ , bu yerda:  $\omega_{2t}^2$  — bug'ning ishchi kurakchalar chiqish kesimidagi nazariy nisbiy tezligi. Bu yerdan

$$\omega_{2t}^2 = \sqrt{2h_{02} + \omega_1^2}.$$

Bug'ning ishchi kurakchalardan chiqishidagi haqiqiy nisbiy tezligi, ya'ni ishchi kurakchalardagi energiya yo'qotilishini hisobga olgan holdagi tezlik quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\omega_2 = \psi \omega_{2t} = \psi \sqrt{2h_{02} + \omega_1^2}.$$

$c_2$  tezlik va  $\alpha_2$  burchak chiquvchi tezliklar uchburchagini qurish orqali aniqlanadi.

Reaktiv bug' turbinalari hamisha ko'p pog'onali qilib yasaladi va ular pog'onalarida  $p = 0,5$  saqlanadi. Har bir oraliq pog'ona uchun  $c_0 = c_2$  bo'lganligi sababli reaktiv pog'ona yo'naltiruvchi va ishchi kurakchalarini konstruksiyalashda  $\alpha_1 = \beta_2$  va  $\alpha_2 = \beta_1$  qabul qilinadi. Bu holda  $\varphi = \psi$ , demak,  $\omega_2 = c_1$ . Bu shuni ko'rsatadiki, chiquvchi tezliklar uchburchagi kiruvchi tezliklar uchburchagining aksidir (2.4-rasm).

Ishchi kurakchalarda issiqlik yo'qotilishi quyidagi tenglamaga binoan aniqlanadi:

$$h_A = \frac{\omega_{2t}^2 - \omega_2^2}{2} = (1 - \psi^2) \frac{\omega_{2t}^2}{2} = \left( \frac{1}{\psi^2} - 1 \right) \frac{\omega_2^2}{2}.$$

Chiquvchi tezlik bilan issiqlik yo'qotilishi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$h_{ch} = c_2^2 / 2.$$

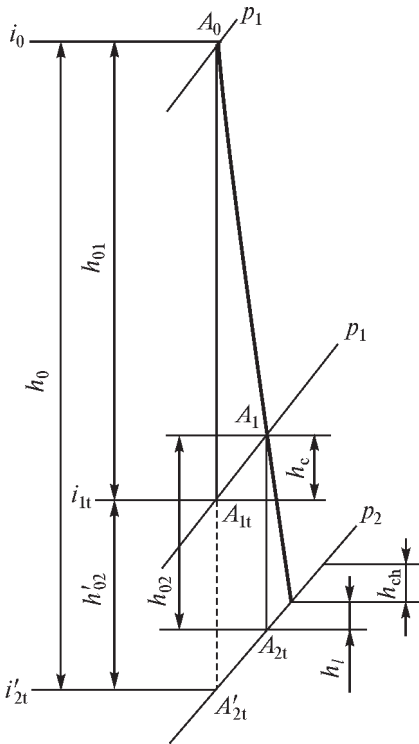
Reaktiv pog'onadagi issiqlik jarayoni  $i-s$  diagrammada quyidagicha quriladi (2.3-rasm). Bug'ning boshlang'ich holatini ifodalovchi  $p_0$  va  $t_0$  parametrli  $A_0$  nuqtadan oxirgi bosim izobarasi  $p_2$  bilan kesishgunicha adiabatada o'tkaziladi.  $A_0 A'_{2t}$  issiqlik tushishi pog'ona kurakchalarida sodir bo'ladi.  $A_{1t}$  nuqta bug'ning yo'naltiruvchi kurakchalardan keyingi holatini yo'qotishlarni hisobga olmasdan ko'r-

satadi. Yo‘qotishlarni hisobga olgan holda bug‘ning yo‘naltiruvchi kurakchalardan keyingi holati  $A_1$  nuqta orqali aniqlanadi, bu holda yo‘naltiruvchi kurakchalarda energiya yo‘qotilishi quyidagi formulaga ko‘ra aniqlanadi:

$$h_c = (1 - \varphi^2) \left( h_{01} + \frac{c_0^2}{2} \right).$$

Ishchi kurakchalarda bug‘  $p_1$  bosimdan  $p_2$  bosimgacha kengayadi. Bu jarayondagi nazariy issiqlik tushishi  $i-s$  diagrammada  $A_1 A_{2t}$  adiabata orqali ko‘rsatiladi. Ishchi kurakchalardagi yo‘qotish  $h_A$  ni  $A_{2t}$  nuqtadan yuqoriga qo‘yish orqali  $A_2$  nuqta topiladi va bu nuqta bug‘ning reaktiv pog‘onadan keyingi holatini ifodalaydi.

### 2.3. ERKIN REAKTIVLIK DARAJALI POG‘ONA



2.5-rasm.

**Reaktivlik darajasi taxminan 30% li pog‘ona kurakchalaridagi issiqlik jarayoni.**

Hozirgi aktiv turbinalarda har xil reaktivlik darajasiga ega bo‘lgan pog‘onalar keng qo‘llaniladi.

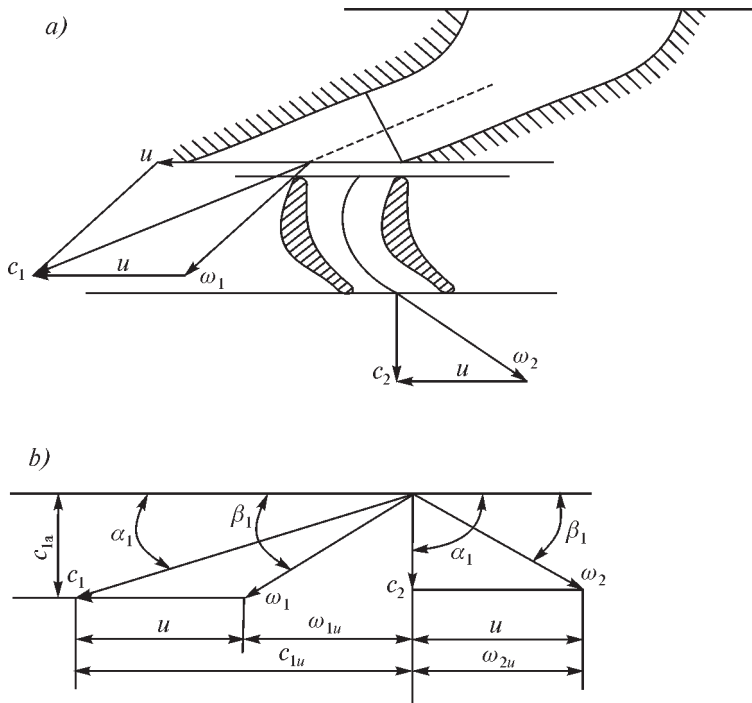
Istalgan reaktivlik darajasili pog‘ona ishchi kurakchalarida energiyani bir turdan boshqa turga aylantirish prinsipi reaktivlik darajasi  $p = 0,5$  bo‘lgan reaktiv pog‘ona prinsipi bilan bir xil bo‘lib, farqi pog‘ona nazariy issiqlik tushishining asosiy qismi kichik reaktivlik darajasida qo‘zg‘almas yo‘naltiruvchi kurakchalar (soplo)ga to‘g‘ri keladi.

Erkin reaktivlik darajasili pog‘ona uchun yuqorida ko‘rib o‘tilgan reaktiv pog‘ona tengliklari to‘g‘ri keladi.

Reaktivlik darajasi taxminan 30% ga teng pog‘onaning issiqlik jarayoni 2.5-rasmda ko‘rsatilgan.

Rasmdan ko‘rinadiki,  $h_{01} > h_{02}$ , ya‘ni pog‘ona energiyasi  $h_0$  ning taxminan 70% qismi soplo ka-

nallarida ishlatilgan, qolgan qismi esa ishchi kurakchalar kanallarida ishlatilgan. Bu pog'onaning tezliklar uchburchagi 2.6-rasmda ko'rsatilgan.



2.6-rasm. Reaktivlik darajasili pog'ona kurakchalarida bug' tezligi o'zgarishi:  
 a — kurakchalardagi oqim sxemasi; b — tezliklar uchburchagi.

## **3-bob. TURBINA POG‘ONALARIDAGI YO‘QOTISHLAR**

---

---

### **3.1. YO‘QOTISHLARNING GURUHLANISHI**

Bug‘ turbinalarida sodir bo‘ladigan yo‘qotishlarni ikki guruhga ajratish mumkin:

1) ichki yo‘qotishlar. Turbinada ishchi jism kengayishida uning holati o‘zgarishiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi;

2) tashqi yo‘qotishlar. Bu yo‘qotishlar turbinada ishchi jism kengayishida uning holati o‘zgarishiga ta’sir ko‘rsatmaydi.

Ichki yo‘qotishlarga quyidagilar kiradi: klapanlardagi yo‘qotishlar, soplodagi yo‘qotishlar, chiquvchi tezlik bilan disk ishqalanishi va ventilatsiyasidagi yo‘qotishlar, ichki tirqishlar orqali yo‘qotishlar, bug‘ namligi sababli yo‘qotishlar, chiqish quvuridagi yo‘qotishlar.

Tashqi yo‘qotishlarga quyidagilar kiradi: mexanik yo‘qotishlar, tirqishdagi bug‘ yo‘qotishlar sababli sodir bo‘ladigan yo‘qotishlar.

### **3.2. ICHKI YO‘QOTISHLAR**

**3.2.1. Klapanlardagi yo‘qotishlar.** Turbinaga kiruvchi bug‘ berkituvchi va rostlovchi qurilmalardan o‘tishi kerak. Bular turbinaning kirish qismida joylashgan stopor (to‘xtatuvchi) va rostlovchi klapanlardir. Bu qurilmalar turbinaning konstruktiv qismlaridan biri hisoblanadi. Demak, turbinaga kirishdagi bug‘ holati deganda stopor klapani oldidagi bug‘ holati tushuniladi.

Bug‘ stopor va rostlovchi klapanlardan o‘tishida uning bosimida yo‘qotish sodir bo‘ladi, ya’ni bug‘ drossellanadi. Drossellanganda bug‘ entalpiyasi o‘zgarmaydi,  $h_0 = \text{const}$ . Lekin bu drossellash sababli turbinadagi issiqlik pasayishi kamayadi, ya’ni drossellanishdan issiqlik yo‘qotilishi sodir bo‘ladi:

$$\Delta h_k = h_0 - \Delta h_{i,y}.$$

O‘rta bosimli turbinalarda drossellash tufayli sodir bo‘ladigan bosim yo‘qotilishi klapanlar butunlay ochiq bo‘lganida birlamchi

bug' bosimining 5% ini tashkil qilishi mumkin. Zamonaviy bug' turbinalarida bu yo'qotishlar 3% va undan ham kamroq. Hisob-kitoblar uchun drossellashdagi bosim yo'qotilishini quyidagicha qabul qilinadi:

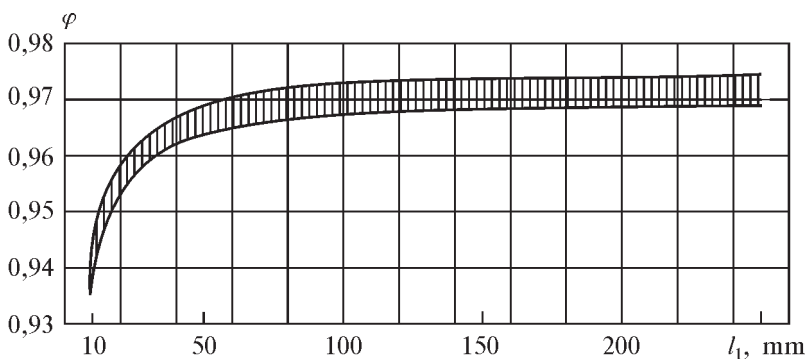
$$\Delta p_k = (0,03 \div 0,05)p_0.$$

**3.2.2. Soplolardagi yo'qotishlar.** Soplodagi bug' kinetik energiyasining yo'qotilishi bug'ning soploga kirishidagi yo'qotilishi tufayli, bug' zarrachalarining soplo devoriga ishqalanishi tufayli, bug' oqimi yo'nalishi o'zgarishi tufayli va bug' uyurma harakati tufayli sodir bo'ladi.

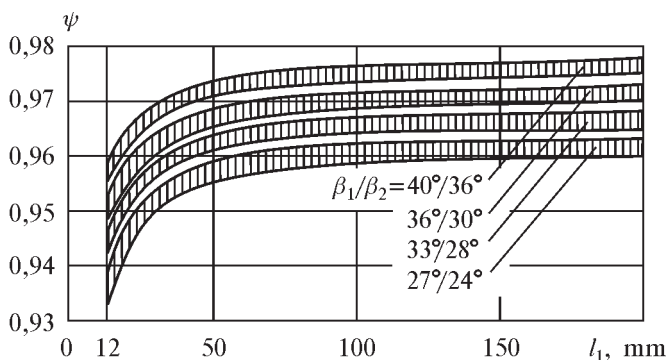
Bug' harakatlanish tezligi sababli sodir bo'ladigan yo'qotish tezlik koeffitsiyenti  $\varphi$  orqali ifodalanadi. Tezlik koeffitsiyenti soplo kanali o'lchamlariga (uzunligi, balandligi va radiusi), soplo devorlari yuzasi g'adir-budirlik darajasiga, bug' tezligiga va soplo shakliga bog'liq. Tezlik koeffitsiyenti  $\varphi$  soplo balandligiga juda kuchli bog'liq: balandlik kamayishi bilan  $\varphi$  kamayadi.

Tezlik koeffitsiyenti  $\varphi$  ning qiymatini qo'pol ishlangan soplolar uchun  $0,93 \div 0,94$ , yaxshi qo'yilgan va ishlov berilgan soplolar uchun  $0,95 \div 0,96$  va frezerlangan soplolar uchun  $0,96 \div 0,975$  oralig'ida qabul qilish mumkin.

**3.2.3. Ishchi kurakchalardagi yo'qotishlar.** Kurakchalardagi energiya yo'qotishlari tezlik koeffitsiyenti  $\psi$  orqali hisobga olinadi. Tezlik



3.1-rasm. Siqiluvchi kanalli soplo kurakchalari uchun tezlik koeffitsiyentining soplo balandligiga bog'liqligi.



3.2-rasm. Aktiv turbina ishchi kurakchalari uchun tezlik koeffitsiyentining har xil egiriklik darajasili kurakchalar balandligiga bog‘liqligi.

koeffitsiyenti  $\psi$  ning qiymati aktiv turbinalar uchun  $\psi = 0,94 \div 0,95$ , reaktiv turbinalar uchun  $\psi = 0,96 \div 0,975$  oralig‘ida qabul qilinadi.

Ishchi kurakchalardagi energiya yo‘qotilishini quyidagi formulalar yordamida aniqlash mumkin:

aktiv turbinalar uchun:

$$h_{i.k.} = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2000} = (1 - \psi^2) \frac{\omega_1^2}{2000};$$

reaktiv turbinalar uchun:

$$h_{i.k.} = (1 - \psi^2) \left( \frac{\omega_1^2}{2000} + h_{02} \right),$$

bu yerda:  $\frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2000}$  — 1 kg bug‘ning ishchi kurakchaga kirishdagi va

chiqishdagi kinetik energiyasi, kJ/kg;

$h_{02}$  — reaktiv turbina ishchi kurakchalaridagi bug‘ adiabatik kengayishidagi entalpiyalar farqi, kJ/kg.

**3.2.4. Ishchi kurakchalardan chiqish tezligidagi yo‘qotishlar.** Bug‘ ishchi kurakchalardan chiqishida uning absolut tezligi  $c_2$  bo‘ladi. Bug‘ chiqishidagi tezlik energiyasidan to‘liq foydalanish uchun oldingi va keyingi pog‘ona ishchi kurakchalar orasidagi tirqish kichik bo‘lishi kerak, shunda bug‘ ishchi kurakchalar kanallariga zarbasiz kiritiladi va kurakchalarga ishqalanishi kam bo‘ladi. Ko‘p pog‘onali bug‘ turbi-

nalarida bir pog'onadan chiqqan bug' tezligi energiyasi keyingi pog'ona ishchi kurakchalarida to'liq yoki qisman ishlatilishi mumkin.

Ishchi kurakchalar va keyingi pog'ona soplolari orasida tirqish katta bo'lganida chiquvchi tezlik energiyasi butunlay yo'qotiladi, masalan, rostlovchi halqa ishchi kurakchalaridan chiqishda, bug' olish kamerasidan oldingi pog'onada, diametr to'satdan ortishida va oxirgi pog'ona kurakchalaridan chiqishda.

Chiquvchi tezlik bilan yo'qotiladigan energiya quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$h_{ch} = c_2^2 / 2000.$$

Oxirgi pog'onadan chiquvchi bug' tezligi bilan yo'qotiladigan energiya miqdori kichik va o'rta quvvatli turbinalar uchun turbinadagi adiabatik entalpiyalar farqining 1—2% idan oshmaydi. Katta quvvatli va chuqur vakuumda ishlaydigan turbinalar uchun bu ko'rsatkich 3—4% va undan ham yuqori bo'ladi.

**3.2.5. Disk ishqalanishi va ventilatsion yo'qotishlari.** Aylanuvchi disk va uni o'rab turgan bug' orasida ishqalanish sodir bo'ladi. Aylanayotgan disk o'ziga yaqin bug' zarralariga tezlanish beradi. Ishqalanishni yengish va bug' zarralariga tezlanish berish uchun ma'lum miqdordagi ish sarflanadi. Bu sarflangan ish qaytadan issiqlikka aylanadi va bug' issiqlik miqdorini oshiradi.

Bug'ni soplolar bilan band bo'lmagan qatlamga parsial kiritilganda ishchi kurakchalar kanalida uyurmali harakat vujudga keladi va ventilatsion yo'qotishlar sodir bo'ladi. Ventilatsion yo'qotishlarga quyidagilar kiradi: bug'ning ishchi kurakchalarga ishqalanishi va zarbasi (urilishi), ishchi kurakchalarning ventilator sifatidagi harakati, parsial disk kurakchalariga bug'ning uzilishlar bilan berilishi.

Bundan tashqari, bug'ni soplodan parsial ravishda kiritilganda faqat soplo to'g'risidagi qarshisidan ishchi kurakchalar kanallarigagina bug' beriladi. Ishchi kurakchalarning boshqa barcha kanallarni ishchi jism emas, balki boshqa muhit to'ldirib turadi. Bu kanallar soplo qarshisiga kelganida, ishchi bug' energiyasining bir qismi kanallardan ishchi emas, jismni surib chiqarishga sarflanadi. Bu energiya sarfi *surib chiqarish uchun yo'qotish* deyiladi. Bu ko'rsatilgan qarshiliklarni yengish uchun mexanik ish sarflanadi, bu esa bug' issiqlik miqdorini oshiradi.



Ishqalanish va ventilatsiya yo‘qotishlarni aniqlash uchun Stodan formulasidan foydalaniladi:

$$N_{i.v.} = [1,07d^2 + 0,61z(1 - E)dl_2^{1,5}]u^3 \cdot 10^{-6}\rho,$$

bu yerda:  $N_{i.v.}$  — ishqalanish va ventilatsiyaga sarflanadigan quvvat, kW;  
 $\lambda$  — koeffitsiyent, havo va yuqori darajada qizdirilgan bug‘ uchun  $\lambda = 1$ , o‘ta qizigan bug‘ uchun  $\lambda = 1,1 \div 1,2$ , to‘yingan bug‘ uchun  $\lambda = 1,3$ ;  
 $d$  — disk diametri, m;  
 $z$  — tezlik pog‘onalari soni;  
 $E$  — bug‘ kiritilishi parsiallik darajasi;  
 $l_2$  — kurakchalar balandligi, sm;  
 $u$  — o‘rtacha diametr atrofidagi aylanma tezlik, m/s;  
 $\rho$  — disk aylanayotgan muhim zichligi, kg/m<sup>3</sup>.

Ishqalanish va ventilatsiya yo‘qotishlari issiqlik birliklarida quyidagicha aniqlanadi:

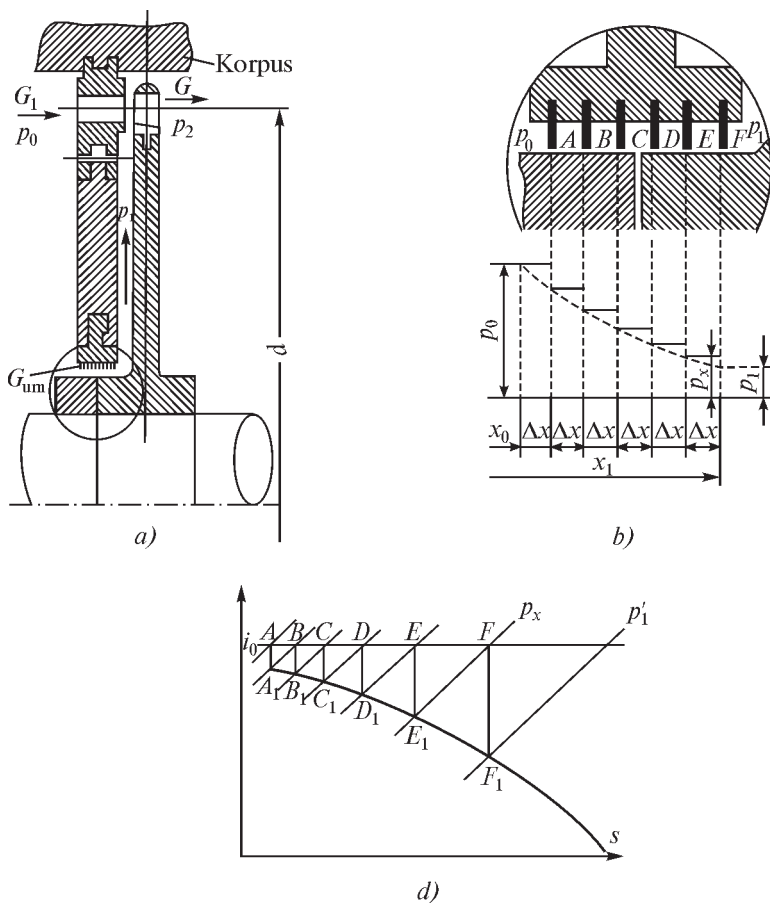
$$h_{i.v.} = N_{i.v.} / G,$$

bu yerda:  $G$  — pog‘onadagi bug‘ sarfi, kg/s;  
 $h_{i.v.}$  — ishqalanish va ventilatsiyani yengishga sarflangan ishga ekvivalent bug‘ issiqlik miqdori ortishi, kJ/kg.

Reaktiv turbinalarda disklar yo‘qligi va kurakchalarga bug‘ning to‘liq berilishi sababli ishqalanish tufayli yo‘qotishlarni hisobga olinmaydi, sababi, barabansimon konstruksiyada ularning qiymati juda kichik. Ventilatsiya yo‘qotishlari esa umuman yo‘q.

**3.2.6. Aktiv turbina ichki tirqishidagi yo‘qotishlar.** Diafragmaning ikki tomonida soploda bug‘ kengayishi natijasida bosim farqi vujudga keladi. Diafragma korpusga mahkamlanganligi sababli va disk val bilan birga aylanishi tufayli disk gupchagi va diafragma oralig‘ida tirqish hosil bo‘ladi.

3.3-rasmda aktiv turbina bosim pog‘onasi sxemasi ko‘rsatilgan. Diafragmaning ikki tomonida hosil bo‘ladigan bosim farqi tufayli tirqish orqali soplodan o‘tmasdan va ish bajarmasdan ma‘lum miqdordagi bug‘ o‘tadi. Bu yo‘qotishlar bug‘ning issiqlik saqlanuvchanligini oshishiga va FIKning tushishiga olib keladi. Bu yo‘qotishlarni kamaytirish uchun maxsus labirint zichlagichlar o‘rnatiladi.



3.3-rasm. Aktiv turbina bosim pog'onasi sxemasi.

Issiqlik energiyasining diafragma va turbina validagi tirqishlaridan yo'qolishi bir qator omillarga: zichlagich qirralari soni, ko'ndalang tirqishlar kattaligi, keyingi pog'ona disklaridagi yengillatish moslamalarining bor-yo'qligi va h. k.larga bog'liq.

Bu sarfni grafik usulda nomogrammalardan topish mumkin. Injenerlik hisoblarida quyidagi formuladan foydalanish ham mumkin:

$$G_t = f_b c/v = 316,2 \mu f_s \sqrt{2(p' - p'')/v}$$

bu yerda:  $f_s = \pi ds$  — aylana ko'rinishidagi tirqish yuzasi;  
 $c$  — adiabatik kengayishdagi bug'ning tirqishdagi tezligi, m/s;

- $s$  — ko'ndalang tirqish kattaligi, m;
- $d$  — disk gupchagi diametri;
- $\mu$  — bug' kengayishi va tezligi o'zgarishini e'tiborga oluvchi miqdoriy koeffitsiyent;
- $\nu$  — tirqishdagi bug'ning nisbiy hajmi;
- $(p' - p'')$  — tirqish zichligining ikki tomondagi bosimlar farqi.

**3.2.7. Bug' namligidagi yo'qotishlar.** Kondensatsion tipdagi turbinalar keyingi pog'onalari, asosan, to'yingan nam bug' rejimida ishlaydi, natijada suv tomchilari hosil bo'ladi. Bu tomchilar markazdan qochma kuchlar ta'sirida periferiyaga uloqtiriladi, shu bilan birga, asosiy bug' oqimidan tezlanish oladi. Shunday qilib, tomchilarga tezlanish berish uchun ma'lum miqdorda energiya sarflanadi. Bug' absolut tezligining nisbiy vektoridan katta bug'ning ishchi kuraklariga yo'nalish turlicha bo'ladi, ya'ni suv tomchilari yo'nalishi ishchi kuraklarining pastki qismiga to'g'ri keladi, bu turbina pog'onasining ishiga ta'sir ko'rsatadi. Bir tomondan, suv tomchilari ishchi kuraklari korpusini yemiradi, ikkinchi tomondan, suv tomchilari ishchi kuraklariga ta'sir etayotgan tormozlash effektining yangilanishi uchun ma'lum miqdorda energiya sarfini talab etadi. Nam bug' rejimida suv tomchilarining ajralib chiqishi natijasida ish jarayonini berilgan bug' miqdorining hammasi bajarmaydi. Bug' miqdorining bug' kengayishi jarayonida va suv tomchilariga aylanadigan qismi namlik tufayli sarf bo'ladigan energiya sarfining miqdorini tashkil etadi. Injenerlik hisoblari uchun bu sarf:

$$h_{\text{nn}} = (1 - x)h_i, \text{ kJ/kg},$$

bu yerda:  $h_i$  — pog'onadagi hamma yo'qotishlarni e'tiborga olingandagi issiqlik kJ/kg miqdori farqi;  
 $x$  — bug' pog'onadagi bug'ning quruqlik darajasi.

**3.2.8. Chiqish quvuridagi yo'qotishlar.** Ishlatilgan ikkilamchi bug' turbinadan chiqarish quvuri orqali ma'lum tezlik bilan chiqariladi. Buning uchun ma'lum miqdorda bosim sarflanadi.

Bug' turbinadagi chiqaruvchi tezlik 40—60 m/s bo'lsa, kondensatsion turbinalarda 100—120 m/s ga yetadi. Turbinadan chiqadigan bug'ning kinetik energiyasi bosim farqlari bilan ifodalanadi. Chiqaruv qismi quvuridagi bosim sarfi quyidagi empirik formula bilan aniqlanadi:

$$\Delta p_n = p_2 - p_{2k} = \lambda(c_n/100)^2 p_{2k},$$

bu yerda:  $p_2$  — bug‘ning turbina kuraklaridan keyingi bosimi;  
 $p_{2k}$  — bug‘ning kondensatordan keyingi bosimi;  
 $c_n$  — bug‘ning chiqarish quvuridagi tezligi;  
 $\lambda$  — qo‘shimcha koeffitsiyent (0,07 – 0,1).

### 3.3. TASHQI YO‘QOTISHLAR

**3.3.1. Mexanik yo‘qotishlar.** Podshipniklarning tayanch va tirgak qismlarida generatorning boshqa mashinalaridagi qarshiliklarini yengish uchun ketadigan energiya sarfi mexanik yo‘qotishlarni tashkil etadi. Bundan tashqari, turbinaning qismlarini birlashtiruvchi zichlagichlari qarshiligini yengish uchun ham energiya sarf bo‘ladi. Turbogeneratordagi mexanik yo‘qotishlar mexanik FIKni aniqlashda e‘tiborga olinadi. Mexanik yo‘qotishlarni tajriba yo‘li bilan topiladi. Bunda har xil FIKli va har xil quvvatdagi turbinalar uchun qo‘llaniladigan nomogrammalardan foydalanish mumkin.

**3.3.2. Val zichlagichlari orasidan chiqadigan yo‘qotishlar.** Turbinadagi bug‘ bosimining atmosfera bosimidan yuqori bo‘lishi natijasida val zichlagichi orasidan bug‘ tashqariga oqib chiqadi. Buning oldini olish uchun zichlagichlar turbina valiga o‘rnatilgach tekshiriladi.

## 4-bob. BUG‘ TURBINA QURILMALARI

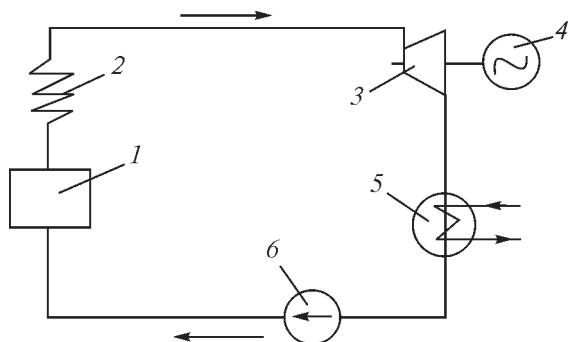
### 4.1. BUG‘ TURBINA QURILMASI HAQIDA UMUMIY MA‘LUMOTLAR

Hozirgi vaqtda elektr energiyasining asosiy qismi (80% ga yaqini) bug‘ turbinasi qurilmalarida ishlab chiqariladi, ularda ishchi jism sifatida suv va suv bug‘i ishlatiladi. Bug‘ turbinali elektr stansiyasining energetik jarayoni Renkin sikliga, ya’ni ishchi jismga o‘zgarmas bosimda issiqlik berish va issiqlikni olish termodinamik sikliga asoslangan.

Bug‘ qozon  $1$  da o‘zgarmas bosim ostida ( $p = \text{const}$ ) temperaturasi  $t_1$  bo‘lgan quruq to‘yingan bug‘ hosil bo‘ladi. Hosil bo‘lgan bug‘ bug‘ qizdirgich  $2$  ga o‘tadi va u yerda o‘zgarmas bosim ostida temperaturasi oshadi, ya’ni bug‘ belgilangan temperaturagacha qizdiriladi. O‘ta qizigan bug‘ turbinaga yo‘naltiriladi, u yerda adiabatik kengayib ish bajaradi. Mexanik ish elektr generator valiga uzatiladi, ishlab bo‘lgan bug‘ esa turbinadan kondensatorga o‘tib kondensatsiyalanadi. Turbinadan chiqqan bug‘ning parametrlari  $x = 0,86$ ,  $t_2 = 27-35^\circ\text{C}$ ,  $p_2 = 0,03 - 0,05$  at.

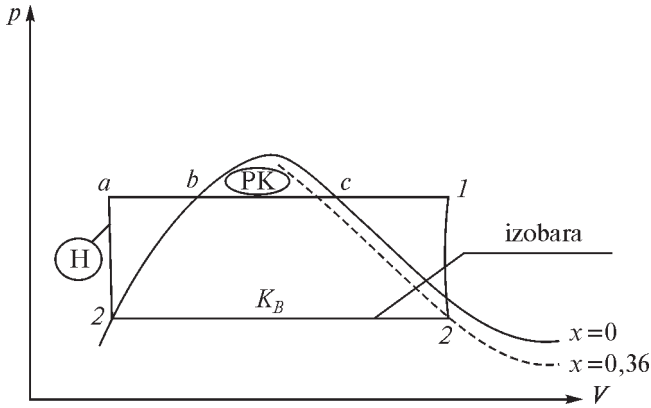
So‘ngra ta‘minlash nasosi  $6$  yordamida bosimini berilgan qiymatgacha oshirib, keyingi sikl uchun qozonga uzatib beradi. Kondensatordagi jarayon izobarik-izotermik jarayon hisoblanadi.

Renkin sikli  $pV$ -diagrammasi 4.2-rasmda berilgan. Bu diagrammada  $a-b$  izobarik jarayon bo‘lib, kondensatni bug‘ qozonida qaynash



4.1-rasm. Bug‘ turbina qurilmasining elementar sxemasi:

$1$  – bug‘ qozoni;  $2$  – bug‘ qizdirgich;  $3$  – bug‘ turbinali;  $4$  – elektr generatori;  $5$  – kondensator;  $6$  – nasos.



4.2-rasm. Renkin siklining  $pV$  diagrammasi.

temperaturasigacha isitish jarayoni;  $b-c$  izobarik-izotermik jarayon bo'lib, bug' qozonida quruq bug' hosil qilish jarayoni;  $c$  nuqtada  $x = 1$  bo'ladi;  $c-1$  bug'ning bug' qizdirgichda izobarik o'ta qizish jarayoni;  $1-2$  bug'ning bug' turbinasida adiabatik kengayish jarayoni;  $2-2'$  kondensatorda bug'ning kondensatsiyalanish jarayoni ( $p = \text{const}$ ,  $t = \text{const}$ );  $2'$  nuqtada  $x = 0$  bo'ladi;  $2'-a$  adiabatik jarayon, ya'ni suvni nasos yordamida bug' qozoniga haydash jarayoni.

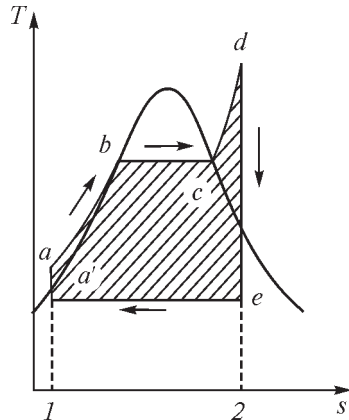
Renkin siklining  $T-S$  diagrammadagi tasviri 4.3-rasmda keltirilgan. Bu rasmdan ko'rinadiki, bug' kondensatordagi bosimgacha kengayib, turbinada faqat mexanik energiya ishlab chiqarishda mexanik energiyaga aylangan issiqlik  $a'-a-b-c-d-e-a'$  yuza bilan, atrof-muhitga yo'qotilgan issiqlik esa  $1-a'-e-2-1$  yuza bilan ifodalanadi.

Bug'ning turbinada kengayish jarayoni 4.4-rasmda keltirilgan.

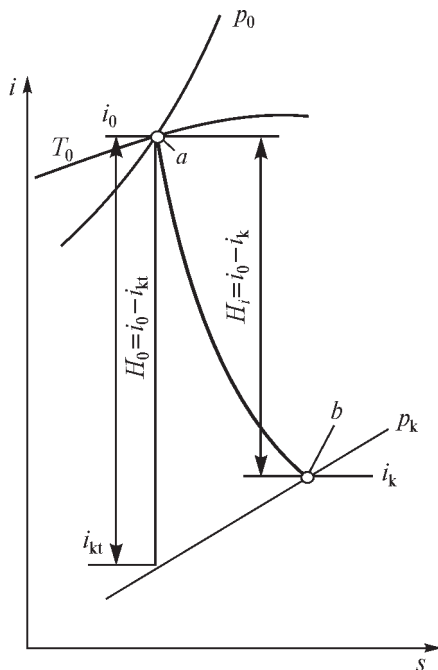
Renkin siklining termik foydali ish koeffitsiyentini aniqlash formulasi quyidagicha:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1},$$

bu yerda:  $q_1$  — bug' qozonida o'ta qizilgan bug' hosil qilish uchun sarflangan issiqlik miqdori;



4.3-rasm. Renkin siklining  $T-S$  diagrammasi.



4.4-rasm. Bug‘ning turbinada kengayish jarayoni.

$q_2$  — kondensatorda atrof-muhitga yo‘qotilgan issiqlik miqdori.

Bu siklning 1 kg ishchi jism uchun termik FIK:

$$\eta_t = \frac{Q_0 - Q_k}{Q_0} = \frac{(h_0 - h_{t.s}) - (h_{k.a} - h'_k)}{h_0 - h_{t.s}},$$

bu yerda:  $h_{t.s}$  — ta‘minot suvi entalpiyasi;

$h'_k$  — kondensatordan keyingi kondensat entalpiyasi;

$Q_0$  va  $Q_k$  — issiqlik berish va olinishi;

$h_0$  va  $h_{k.a}$  — bug‘ning turbinaga kirishdagi va turbinada adiabatik kengayish oxiridagi entalpiyalari.

## 4.2. BUG‘ TURBINASI QURILMALARINING ENERGETIK KO‘RSATKICHLARI

Bug‘ turbinasi qurilmalarining (BTQ) asosiy energetik ko‘rsatkichi elektr energiyasini berish bo‘yicha FIKdir. U ma‘lum vaqt davomida

iste'molchilarga berilgan elektr energiyasining shu elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun sarflangan energiyaga nisbati, ya'ni shu vaqt davomida stansiyada yoqilgan yoqilg'i issiqligiga nisbati bilan aniqlanadi va BTQning *absolut FIKi* deb ataladi.

BTQning iste'molchilarga elektr energiyasini berish bo'yicha aniqlanadigan FIK — *netto FIK* deb ataladi:

$$\eta_{BTQ}^n = E_{ber} / Q_{yoq} = (E_{i.ch.} - E_{o'.e.}) / Q_{yoq},$$

bu yerda:  $E_{ber}$  — iste'molchilarga berilgan elektr energiyasi miqdori;  
 $E_{i.ch.}$  — stansiyada ma'lum vaqt davomida ishlab chiqarilgan elektr energiyasi miqdori;  
 $E_{o'.e.}$  — stansiya o'z ehtiyojlariga ishlatgan elektr energiyasi miqdori;  
 $Q_{yoq}$  — BTQ qozonida ma'lum vaqt davomida yoqilgan yoqilg'i issiqligi.  
 $E_{o'.e.}$  — quyidagicha aniqlanadi:

$$E_{o'.e.} = E_{o'.e.} / E_{i.ch.} = 0,04 \div 0,06,$$

bu yerda:  $E_{o'.e.}$  — elektr energiyasining stansiya o'z ehtiyoji uchun ishlatgan qismi.

Bundan kelib chiqadiki:

$$\eta_{BTQ}^n = \frac{E_{i.ch.}(1-E_{o'.e.})}{Q_{yoq}}.$$

Umumiy holda qaralganda, BTQning energetik tejamkorligi brutto FIK bilan ifodalanadi:

$$\eta_{BTQ}^{br} = \frac{E_{i.ch.}}{Q_{yoq}}.$$

Bir soat vaqt uchun quyidagi ifodalar o'rinli:

$$\eta_{BTQ}^n = \frac{3600 N_e(1-e_{o'.e.})}{Q_{BTQ}} = \frac{3600 N_e(1-e_{o'.e.})}{BQ_q^i},$$



$$\eta_{\text{BTQ}}^{\text{br}} = \frac{3600 N_e}{Q_{\text{BTQ}}} = \frac{3600 N_e}{B Q_q^i},$$

bu yerda:  $Q_{\text{BTQ}}$  — bir soatda BTQ qozonlarida yoqilgan yoqilg‘i issiqligi, kJ/soat;

$V$  — bir soatda yoqilgan yoqilg‘i sarfi, kg/soat;

$N_e$  — BTQning elektr quvvati, kW;

$Q_q^i$  — yoqilg‘i yonish quyi issiqligi, kJ/kg.

Brutto FIK BTQda elektr energiyasi ishlab chiqarish tejamkorligini ko‘rsatadi. Brutto va netto FIKlar bog‘liqligini quyidagicha ifodalash mumkin:  $\eta_{\text{BTQ}}^{\text{n}} = \eta_{\text{BTQ}}^{\text{br}}(1 - E_{\text{o.e.}})$ .

### 5.1. BUG‘ TURBINASINING FIK VA QUUVATI

Bug‘ turbinasi issiqlik jarayonini  $h-s$  diagrammada quyidagicha tasvirlash mumkin (5.1-rasm).

Turbinaning ichki nisbiy FIK quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_{oi} = \frac{H_i}{H_0} = \frac{\sum_{i=1}^z h_i}{H_0},$$

bu yerda:  $\sum_{i=1}^z h_i$  — turbina pog‘onalaridagi haqiqiy entalpiya tushishlari yig‘indisi.

Turbinaning nazariy quvvati quyidagicha aniqlanadi:

$$N_0 = D_0 \cdot H_0; \text{ kW},$$

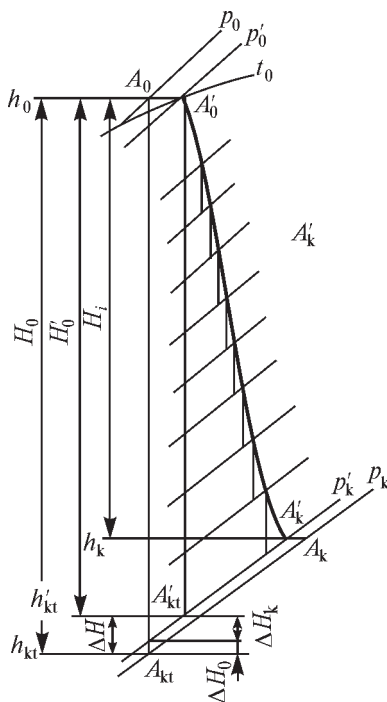
bu yerda:  $D_0$  — turbinaga bug‘ sarfi; kg/s.

Turbinaning ichki quvvati:

$$N_i = D_0 \cdot H_i = D_0 \cdot H_0 \eta_{oi} = N_0 \cdot \eta_{oi}.$$

**5.1-rasm. Bug‘ turbinasida bug‘ kengayishi jarayonining  $h-s$  diagrammada tasvirlanishi:**

$h_0$  — bug‘ning turbinaga kirishdagi entalpiyasi;  $h_{kt}$  — bug‘ning turbinadagi adiabatik kengayish oxiridagi entalpiyasi;  $h_k$  — bug‘ning turbinadan chiqishdagi entalpiyasi;  $H_0 = h_0 - h_{kt}$  — turbinadagi nazariy entalpiyalar tushishi, kJ/kg;  $H_i = h_0 - h_k$  — turbinadagi haqiqiy entalpiyalar tushishi, kJ/kg.



Turbinaning effektiv quvvati:

$$N_e = N_i - \Delta N_m,$$

bu yerda:  $\Delta N_m$  — podshipnik mexanik qarshiliklarini yengishga va moy nasosini aylantirishga yo‘qotilgan quvvat.

Turbina mexanik FIK quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_m = N_e / N_i.$$

Bundan kelib chiqadiki:

$$N_e = N_i \cdot \eta_m = N_0 \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m.$$

Effektiv quvvatning nazariy quvvatga nisbati turbinaning *nisbiy effektiv FIK* deyiladi:

$$\eta_{0e} = \frac{N_e}{N_0} = \frac{N_0 \eta_{oi} \eta_m}{N_0} = \eta_{oi} \eta_m.$$

Elektr generator klemmlaridagi quvvatning turbina effektiv quvvatiga nisbati *elektr generatori FIK* deyiladi:

$$\eta_t = N_{eg} / N_e.$$

Elektr quvvati uchun quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$N_{eg} = N_e \cdot \eta_g = N_0 \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_g.$$

Nisbiy elektr FIK quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_{0e} = N_e / N_0 = \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_g = \eta_{0e} \cdot \eta_g.$$

Odatda, podshipniklardagi mexanik yo‘qotishlar va generatordagi elektr yo‘qotishlarni birgalikda turbina elektromexanik FIK  $\eta_{em}$  orqali hisobga olinadi.

Elektr quvvati  $N_e = 200$  MW va bug‘ning boshlang‘ich parametrlari 130 at/565°C bo‘lgan K-200-130 bug‘ turbinasining absolut (mutlaq) FIKi 42% ga teng.

## 5.2. TURBINAGA BUG‘ VA ISSIQLIK SARFI

Turbinaga bug‘ sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$D_0 = \frac{3600 N_e}{H_0 \cdot \eta_{0i} \cdot \eta_m \cdot \eta_g} = \frac{3600 N_e}{H_i \cdot \eta_m \cdot \eta_g}; \text{ kg/soat,}$$

bu yerda:  $N_e$  — turbina elektr quvvati, kW;

$N_0$  — adiabatik issiqliklar tushishi, kJ/kg;

$\eta_{0i}, \eta_m$  — turbinaning ichki nisbiy va mexanik FIK;

$\eta_g$  — elektr generatori FIK.

Quvvati 150 MW va undan yuqori quvvatli IESlar ikkilamchi bug‘ qizdirgichiga ega va ikkilamchi o‘ta qizigan bug‘ temperaturasi birlamchi bug‘ temperaturasi teng. Bug‘ni ikkilamchi qizdirish IESning FIKini oshirish maqsadida amalga oshiriladi.

Qayta qizdirish (ikkilamchi) quvurlarida bosim yo‘qotilishi:

$$\Delta R_{q,q.} = (0,1 \div 0,15) P'_{q,q.};$$

$$P_{q,q.} = (P'_{q,q.} - P_{q,q.}).$$

Ikkilamchi bug‘ qizdirgichiga ega, ya‘ni ikki silindrlig bug‘ turbinasiga bug‘ sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$D_0 = \frac{3600 N_e}{(H_a^{y,b} \cdot \eta_{oi}^{y,b} + H_a^{p,b} \cdot \eta_{oi}^{p,b}) \eta_m \cdot \eta_g} = \frac{3600 N_e}{(H_i^{y,b} + H_i^{p,b}) \eta_m \cdot \eta_g}.$$

Ikki silindrlig turbinadagi haqiqiy ish bajarilishi:

$$H_i = H_i^{y,b} + H_i^{p,b} = H_a^{y,b} \cdot \eta_{oi}^{y,b} + H_a^{p,b} \cdot \eta_{oi}^{p,b}.$$

Turbinada bug‘ bajargan ishi samaradorligini ifodalovchi ko‘rsatkich turbinaga bug‘ning solishtirma sarfidir:

$$d_0 = \frac{D_0}{N_e} = \frac{3600}{\sum H_a \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_g}.$$

Kondensatsion turbinalar uchun  $d_0 = 3,1 \div 3,2$  kg/(kW · s).

Turbinada bug' bajargan ishining samaradorligini ifodalovchi keyingi ko'rsatkich turbinaga issiqlikning solishtirma sarfidir:

$$q_{i.y.} = \frac{Q_{BTQ}}{N_e} = \frac{D_0}{N_e} (h_0 - h_{t.s.} + q_{q.q.})$$

yoki

$$q_{i.y.} = d_0 (h_0 - h_{t.s.} + q_{q.q.}).$$

$q_{i.y.}$  va  $\eta_{i.y.}^a$  o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$\eta_{i.y.}^a = \frac{3600}{q_{i.y.}}$$

Agar  $\eta_{i.y.}^a = 0,48$  bo'lsa,  $q_{i.y.} = 7500 \text{ kJ}/(\text{kW} \cdot \text{s})$ .

## **6-bob. BUG‘ TURBINALAR ISH REJIMLARI**

---

### **6.1. UMUMIY MA'LUMOTLAR**

Turbinaning eng kichik solishtirma issiqlik sarfi bilan ishlaydigan quvvati *tejamkor* (iqtisodiy) *quvvati* deyiladi. Iqtisodiy quvvatda FIK yuqori qiymatida bo‘ladi.

Turbina uzoq muddat davomida ishlashi mumkin bo‘lgan yuqori chegaraviy quvvati *nominal quvvat* deyiladi. Nominal quvvat iqtisodiy quvvat bilan teng bo‘lishi yoki undan  $5 \div 20\%$  katta bo‘lishi mumkin.

Turbinaning issiqlik hisobi iqtisodiy quvvatga nisbatan olib boriladi. Turbina ishlaganida uning quvvati salt yurishdan tortib nominal quvvatgacha o‘zgarishi mumkin. Turbina quvvati o‘zgarishiga, asosan, bug‘ sarfini, entalpiyalar farqini va bug‘ boshlang‘ich parametrlarini o‘zgartirish orqali erishiladi.

Bug‘ turbinasi quvvatini quyidagi usullarda o‘zgartirish mumkin:

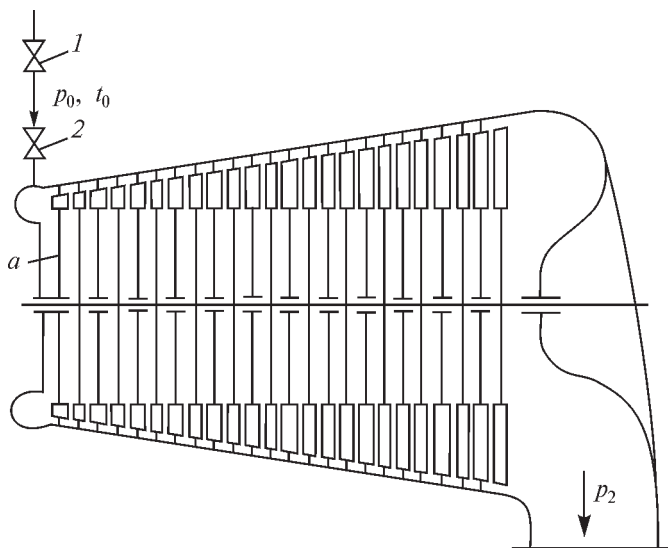
- 1) bug‘ni turbinaga kirishda drossellash yo‘li bilan (drosselli bug‘ taqsimlash);
- 2) turbinaning birinchi boshqariluvchi pog‘onasi ochiq soplolari sonini o‘zgartirish orqali (soplolik bug‘ taqsimlash);
- 3) turbinaning bitta yoki bir nechta oraliq pog‘onalariga birlamchi bug‘ kiritish orqali (tashqi bug‘ taqsimlash).

### **6.2. DROSSELLI BUG‘ TAQSIMLASH**

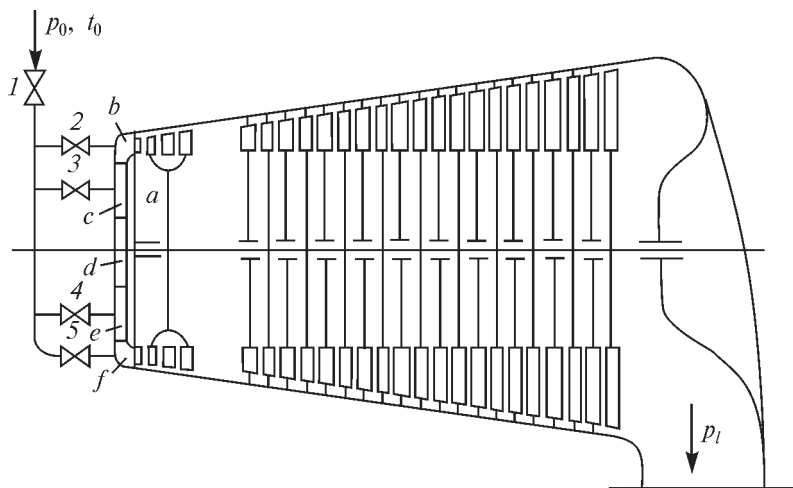
Drosselli bug‘ taqsimlash hozir juda kam qo‘llaniladi. Bug‘ soplolarga butun aylana bo‘ylab halqasimon tarzda bitta yoki ikkita birvarakayiga ochiladigan boshqaruvchi drossel klapanlar orqali kiritiladi. Turbinalar nominal quvvatda ishlaganida drossel klapanlar butunlay ochiladi.

Drosselli bug‘ taqsimlash usuli qo‘llanilganida nominal quvvat iqtisodiy quvvatga teng bo‘ladi.

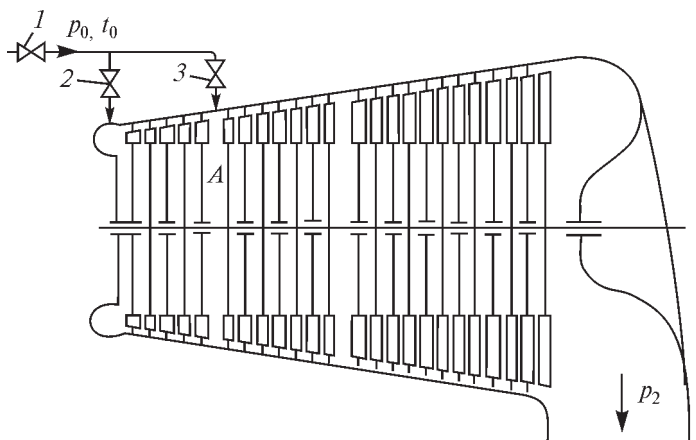
Turbina kichik quvvatda ishlaganida drossel klapanlari qisman yopiq bo‘ladi. Shuning uchun kichik quvvatda turbinaga kiritiladigan bug‘ning hammasi drossellanadi. Bug‘ni drossellashda yo‘qotishlar sodir bo‘ladi va FIK pasayadi.



6.1-rasm. Drosselli bug' taqsimlash sxemasi.



6.2-rasm. Soploli bug' taqsimlash sxemasi:  
2, 3, 4, 5 — to'rtta boshqaruvchi klapanlar.



6.3-rasm. Tashqi bug‘ taqsimlash sxemasi.

### 6.3. SOPLOLI BUG‘ TAQSIMLASH

Soploli bug‘ taqsimlashda bug‘ birinchi pog‘ona soplolariga  $3 \div 10$  ta klapanlar orqali kiritiladi. Bu klapanlar *soploli* yoki *boshqaruvchi klapanlar* deyiladi. Har bir boshqaruvchi klapan ma‘lum soplolar guruhiga xizmat qiladi.

Nominal quvvatda barcha boshqaruvchi klapanlar ochiq bo‘ladi. Quvvat o‘zgarganda boshqaruvchi klapanlar ochiladi yoki yopiladi.

Bunday bug‘ taqsimlanishida bug‘ning faqat bir qismi boshqaruvchi klapanida drossellanadi va shu sababli yo‘qotishlar drosselli bug‘ taqsimlashdagiga qaraganda kichik.

Soploli bug‘ taqsimlanadigan turbinaning FIK drosselli bug‘ taqsimlanadigan turbinanikidan katta.

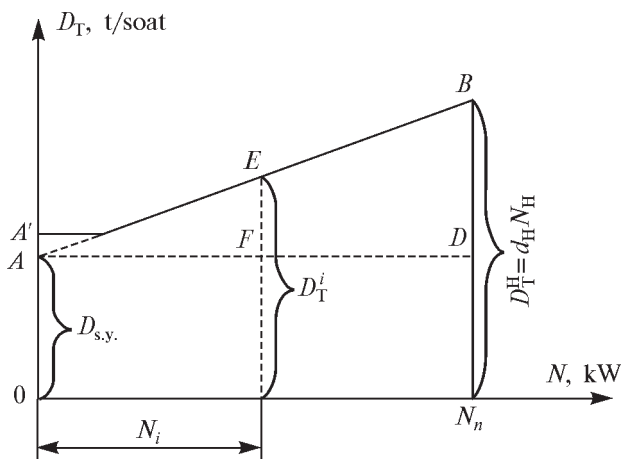
### 6.4. TASHQI BUG‘ TAQSIMLASH

Soploli bug‘ taqsimlovchi turbinalarda ayrim hollarda ichki yoki tashqi aylanib o‘tishlardan foydalaniladi.

### 6.5. BUG‘ TURBINALARNING ENERGETIK XARAKTERISTIKALARI

Turbinaga bug‘ sarfining elektr quvvatga bog‘liqlik grafigi *turbina energetik xarakteristikasi* deyiladi. Bu bog‘liqlik to‘g‘ri chiziq ko‘rinishiga ega (6.4-rasm).





6.4-rasm. Turbina quvvatining bug' sarfiga bog'liqlik grafigi.

Kondensatsion turbina energetik xarakteristikasi tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$D = a + N_e \operatorname{tg} \alpha,$$

bu yerda:  $a$  — elektr quvvati  $N_e = 0$  bo'lgandagi turbinaga bug' sarfi;  
 $\operatorname{tg} \alpha$  — absissa o'qiga nisbatan burchak;

$OA = a = D_{s.y.}$  — turbina salt yurishidagi bug' sarfi.

Salt yurishdagi haqiqiy bug' sarfi  $OA$  kesimdagiga nisbatan biroz katta bo'lib,  $OA'$  kesimga teng. Salt yurishdagi bug' sarfining nominal quvvatdagi bug' sarfiga nisbati *salt yurish koeffitsiyenti* deyiladi:

$$x = \frac{D_{s.y.}}{D_T^H}.$$

Kondensatsion turbina uchun  $x = 0,03 \div 0,05$ .

Turbina nominal quvvatidagi solishtirma bug' sarfi:

$$d_H = \frac{D_T^H}{D_H}.$$

Turbina salt yurishidagi bug' sarfi:

$$D_{s.y.} = x \cdot D_T^H = x d_H \cdot N_H.$$

Bug' sarfining solishtirma foydali o'sishi:

$$b = \frac{D_T^H - D_{s.y.}}{N_H} = \frac{d_H N_H - x d_H N_H}{N_H} = (1-x)d_H, \text{ kg/kW} \cdot \text{soat.}$$

Turbina kondensatsion rejimda ishlaganida xohlagan yuklama uchun bug' sarfi:

$$D'_T = D_{s.y.} + d_H N_H (1-x) \frac{N_i}{N_H} = x d_H N_H + (1-x) d_H N_i.$$

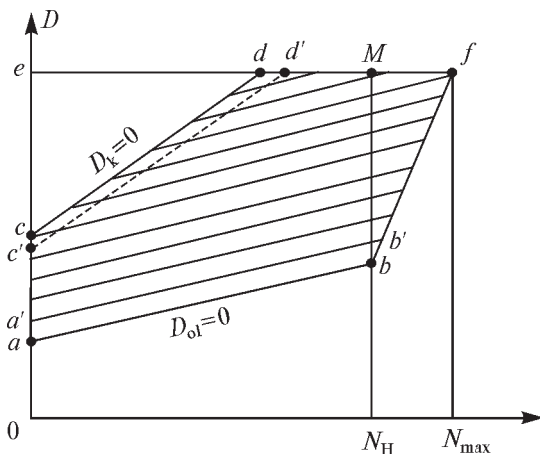
Bug' olinadigan turbina uchun bug' sarfi professor V. I. Grineveskiy tenglamasi orqali aniqlanadi:

$$D_T = D_0 + y_{ol} D_{ol} = x d_H N_H + (1-x) d_H N_i + y_{ol} D_{ol},$$

bu yerda:  $D_0$  — kondensatsion rejimdagi bug' sarfi.

Bu tenglama asosida bug' olinadigan turbina ish holatlari diagrammasini qurish mumkin. Oldin kondensatsion rejim  $D_{ol} = 0$  uchun chiziq chiziladi, keyin har xil miqdorda bug' olinadigan rejimlar uchun chiziladi (6.5-rasm).

Odatda, turbina ish holatlari diagrammasi uchun ikkita asosiy bog'liqlikni, ya'ni kondensatsion rejim va qarshi bosimli rejim uchun bog'liqliklarni qurib olish muhim. Qarshi bosimda bug' kondensator-



6.5-rasm. Bir marta bug' olinadigan kondensatsion turbina ish holatlari diagrammasi.

dagi bosimgacha kengaymaganligi sababli bug‘ sarfi katta bo‘ladi. Sababi  $h_0 - h_{ol} < h_0 - h_k$ .

Qarshi bosim rejimidagi turbina uchun bug‘ sarfi:

$$D_1^{q.b.} = x d_{q.b.} N_H + (1-x) d_{q.b.} N_{q.b.}$$

yoki

$$D_1^{q.b.} = D_{s.y.}^{q.b.} + b_{q.b.} \cdot N_{q.b.}$$

Yoki qarshi bosim rejimidagi turbinaga bug‘ sarfi kondensatsion turbinadagiga nisbatan  $\frac{1}{1-y}$  kattalikka ortiq bo‘ladi:

$$D_1^{q.b.} = \frac{D_1^{kond}}{1-y_{ol}} = \frac{x d_H N_H + (1-x) d_H N_i}{1-y_{ol}}.$$

Aslida kondensatsion turbinalar uchun  $D_k = 0$  bo‘lmaydi.

## **7-bob. BUG‘ TURBINASINING ISSIQLIK HISOBI**

---

### **7.1. LOYIHALANAYOTGAN TURBINAGA QO‘YILADIGAN ASOSIY TALABLAR**

Loyihalalanayotgan turbina bir qator talablarga javob berishi kerak bo‘ladi, jumladan:

— yuqori ishonchlilikka ega bo‘lishi kerak, shuning uchun so‘nggi pog‘onadagi ishchi kurakchalarning diametri ruxsat etilgan qiymatdan oshmasligi shart;

— to‘yingan bug‘ muhitida ishlayotgan ishchi kurakchalarda eroziyaga qarshi choralar ko‘rilgan bo‘lishi kerak;

— nazorat qilish vaqtida turbinaning yuqori iqtisodiy ko‘rsatkichlar berishini ta‘minlash uchun bug‘ parametrlarini to‘g‘ri tanlash lozim;

— pog‘onalar soni, rostlanuvchi pog‘onalar soni, hisobiy quvvat, iqtisodiy vakuum bilan bog‘liq bo‘lgan masalalar uzil-kesil hal qilingan bo‘lishi kerak;

Bug‘ boshlang‘ich parametrlarining oshishi ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasi tannarxini pasaytiradi, elektr stansiyasining umumiy narxini tushiradi. Lekin yuqori parametrlar faqat katta quvvatli turbinalar uchun maqsadga muvofiqdir.

Shuni ham e‘tiborga olish kerakki, kritik bosimdan yuqori bosimda ishlaydigan turbinalarda yuqori bosimli silindrning konstruksiyasi murakkablashadi, bu esa turbinaning tannarxini oshiradi.

### **7.2. KO‘P POG‘ONALI AKTIV TURBINANING DASTLABKI ISSIQLIK HISOBI**

Dastlabki berilgan qiymatlar:

1) nominal elektr quvvat  $N_e$ , kW;

2) turbinadan olinadigan rostlanadigan bug‘ning parametrlari

$G_{ol}, \dots, p_{ol}, \dots, t_{ol}, \dots;$

3) val aylanishlar soni  $n$ , 1/min.

Qilinadigan ish hajmi:

- 1) turbinaga kiradigan bug'ning parametrlarini tanlash va asoslash;
- 2) bug' kengayish jarayonini  $h-s$  diagrammada tasvirlash;
- 3) hisobiy quvvat va bug' sarfini aniqlash;
- 4) rostlanuvchi pog'ona tipini tanlash va asoslash;
- 5) rostlanuvchi pog'ona issiqlik hisobi;
- 6) rostlanmaydigan pog'onalarining issiqlik hisobi.

Loyihaning grafik qismi:

- 1) barcha issiqlik tushishlari va yo'qotishlarni hisobga olgan holda bug'ning kengayish jarayonini  $h-s$  diagrammada tasvirlash;
- 2) tezlik pog'onasining bug' o'tadigan qismini chizish;
- 3) turbinaning ko'ndalang kesim yuzasini chizish.

### 7.3. BUG' KENGAYISHINING $h-s$ DIAGRAMMADA DASTLABKI TASVIRLANISHI

Turbinaning issiqlik hisobini bajarish uchun bug' kengayishining  $h-s$  diagrammadagi dastlabki tasvirini ko'rish kerak. Buning uchun, bug'ning boshlang'ich va oxirgi parametrlarini bilgan holda, berkituvchi va rostlovchi klapanlardagi hamda turbinadan chiqish quvuridagi bosim yo'qotishlarini aniqlash va turbina ichki nisbiy FIKni oldindan taqriban qabul qilish kerak.

Berkituvchi va rostlovchi klapanlardagi bosim yo'qotilishini bug' absolut bosimining 3–5% iga teng deb qabul qilamiz.

Birinci pog'ona soplosiga kiradigan bug'ning bosimi:

$$p'_0 = (0,97 \div 0,95)p_0, \text{ bar.}$$

Turbinadan chiqish quvuridagi bosim yo'qotilishi:

$$\Delta p_k = p_2 - p_k = \lambda \left( -\frac{C_{ch}}{100} \right)^2 p_k, \text{ bar,}$$

bu yerda:  $C_{ch}$  — chiqish quvuridagi bug' tezligi, m/s; kondensatsion turbina uchun;  $C_{ch} = 100 \div 120$  t/s, kondensatorsiz ishlaydigan turbina uchun;  $C_{ch} = 100 \div 120$  t/s.

$\lambda$  — tajriba koeffitsiyenti,  $\lambda = 0,05 \div 0,1$ ;

$p_k$  — kondensatordagi bosim, bar;

$p_2$  — oxirgi pog'onadan chiqishdagi bosim, bar.

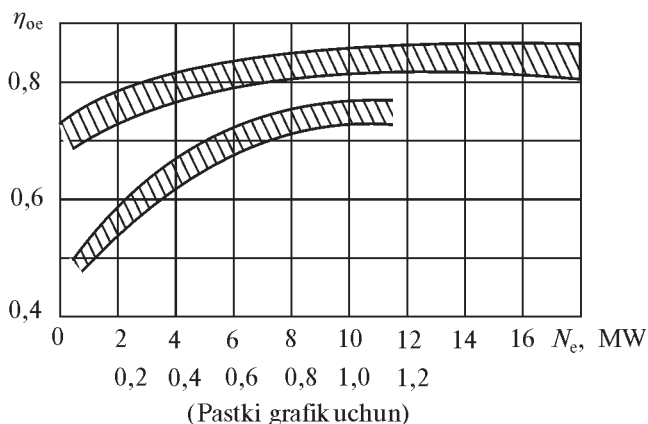
Boshlang'ich va oxirgi parametrlarni bilgan holda  $h-s$  diagrammadan  $H_0$  ning qiymatini hisoblaymiz:

$$H_0 = (h_0 - h_{2t}), \text{ kJ/kg.}$$

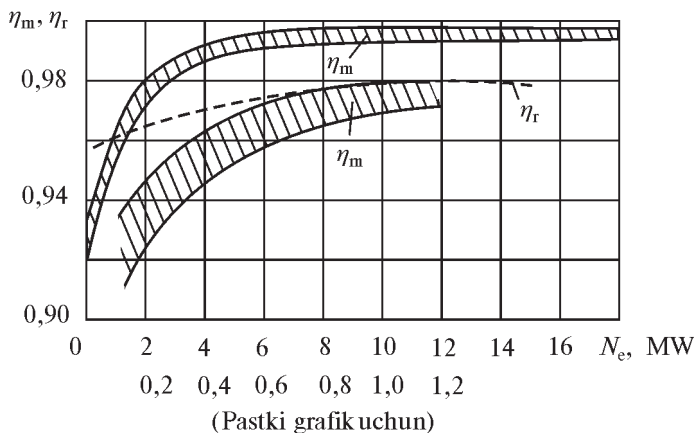
Bug'ning kengayish jarayonini  $h-s$  diagrammada ko'rish va bug' sarfini aniqlash uchun turbinaning ichki nisbiy  $\eta_{oi}$  yoki effektiv FIKni tanlash kerak bo'ladi.

7.1-rasmda turbina nisbiy effektiv FIK  $\eta_{oe}$  ning turbina quvvati  $N_e$  ga bog'liqligi ko'rsatilgan.

7.2-rasmda turbina mexanik FIK  $\eta_m$  ning turbina quvvati  $N_e$  ga bog'liqligi ko'rsatilgan.



7.1-rasm. Turbina nisbiy effektiv FIKning turbina quvvatiga bog'liqligi grafigi.



7.2-rasm. Turbina mexanik FIKning va reduktor FIKning generator quvvatiga bog'liqlik grafigi.

Tanlangan  $\eta_{oe}$  va  $\eta_m$  larga asosan turbina ichki nisbiy FIK hisoblanadi:

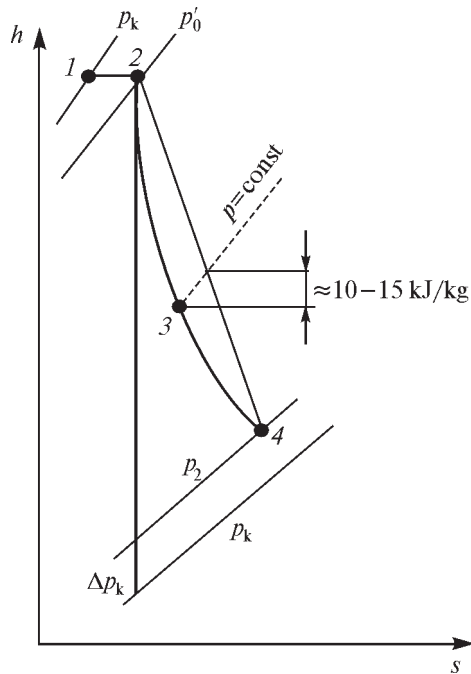
$$\eta_{oi} = \eta_{oe} / \eta_m.$$

Turbinada foydalaniladigan issiqlik tushishi:

$$N_i = H_0 \cdot \eta_{oi}, \text{ kJ/kg.}$$

Kondensatsion turbinada bug‘ning kengayish jarayonini qurish tartibi quyidagicha (7.3-rasm):

- 1) berilgan kattaliklarga asosan dastlabki nuqta (nuqta 1) topiladi;
- 2) klapanlardagi barcha yo‘qotilishlarni hisobga olgan holda  $h = \text{const}$  chizig‘i bo‘ylab  $p'_0$ ,  $t'_0$  larga asosan nuqta 2 topiladi;
- 3) nuqta 2 dan izobara  $p_k$  bilan tutashadigan vertikal chiziq o‘tkaziladi;
- 4)  $p_k$  chizig‘idan yuqoriga qarab  $\Delta p_k$  ning qiymatini qo‘yiladi, keyin izobara  $p_2$  va  $H_0$  ning qiymati topiladi;



7.3-rasm. Turbinada bug‘ kengayish jarayoni.

5)  $H_0$  chizig'ida nuqta 2 dan  $H_i = H_0 \cdot \eta_{oi}$  ning qiymatini qo'yiladi, izobara  $p_2$  gacha gorizontal chiziq o'tkazib, jarayonning oxiri (nuqta 4) topiladi;

6) 2 va 4 nuqtalar tutashtiriladi va ular o'rtasidan taxminan 15 kJ/kg tushirilib, nuqta 3 topiladi. Nuqta 3 bug'ning kengayish jarayonidagi holatini ifodalaydi;

7) 2, 3 va 4 nuqtalarni birlashtiruvchi silliq chiziq o'tkaziladi.

#### 7.4. TURBINAGA BERILADIGAN BUG' SARFINI ANIQLASH

1. Regenerativ bug' olinmaydigan kondensatsion bug' turbinasiga bug' sarfi:

$$G = \frac{N_e K}{H_0 \cdot \eta_{oi} \eta_m \eta_g}.$$

2. Regenerativ bug' olinadigan bug' turbinasi uchun bug' sarfi:

$$G_0 = \frac{N_e}{(H_0 - \Delta H_0) \eta_{oi} \eta_m \eta_g}.$$

3. Issiqlik ta'minoti uchun bir marta bug' olinadigan va elektr energiyasi ishlab chiqaradigan turbina uchun (regenerativ bug' olishlarni hisobga olmagan holda):

$$G_0 = \left( \frac{N_e}{H_0 \cdot \eta_{oi} \eta_m \eta_g} + G_T \frac{H_0^{\text{II}} H_{0i}^{\text{II}}}{H_0 \eta_{oi}} \right) \cdot K,$$

bu yerda:  $K = 1,015 \div 1,02$  zaxira koeffitsiyenti bo'lib, kerakli quvvatni olishni kafolatlaydi;

$\Delta H_0 = C \cdot \Delta T$  — regeneratsiyaga olingan bug' hisobiga issiqlik tushishidagi o'zgarish;

$\Delta T$  — ta'minot suvining to'liq qizdirilganligi;

$C$  — suvning issiqlik sig'imi;

$G_T$  — qizdirish uchun olingan bug'ning hisobiy qiymati, kg/s;



$H_0^{II}$  — past bosimli silindrdagi adiabatik issiqlik tushishi, kJ/kg;

$\eta_{oi}^{II}$  — past bosimli silindr ichki nisbiy FIK.

Zamonaviy turbinalarda regenerativ qizdirishga olingan bug‘ sarfi umumiy bug‘ sarfining 20—30% ini tashkil qiladi. Shunga asosan, turbinaga umumiy bug‘ sarfi:

$$G'_0 = (1, 2 + 1, 3) \cdot G_0.$$

## 7.5. ROSTLANUVCHI POG‘ONANI TANLASH UCHUN KO‘RSATMA

Soploli bug‘ taqsimlashga ega bo‘lgan turbinalarda rostlanuvchi pog‘ona ikki yoki bir kurakchali tezlik pog‘onasidan iborat bo‘ladi. Drosselli bug‘ taqsimlashda ishlovchi bug‘ turbinalarda rostlanuvchi pog‘ona bo‘lmaydi.

Drosselli bug‘ taqsimlashda ishlaydigan bug‘ turbinalari kichik quvvatda ishlaganda soploli bug‘ taqsimlashda ishlovchi turbinalarga qaraganda iqtisodiy ko‘rsatkichlari kichik bo‘ladi. Shunga asoslangan holda bu yo‘nalishda ishlovchi turbinalarni katta quvvatli elektr stansiyalariga o‘rnatish maqsadga muvofiq. Elektr iste‘molchilarning yo‘nalishi va ularning rejimlari o‘zgarishi yirik quvvatli turbinani ham eng kichik quvvatda ishlashga majbur qiladi (kuchlanish grafi-giga asosan).

Drosselli bug‘ taqsimlashda ishlovchi turbinalar faqatgina eng yuqori quvvatda ishlagandagina tejamli ishlaydi. Shuning uchun zamonaviy elektr stansiyalarida soploli bug‘ taqsimlashda ishlovchi turbinalar o‘rnatilgan bo‘lib, ularning birinchi pog‘onasi rostlovchi pog‘ona hisoblanadi.

Turbinaga o‘rnatilgan rostlanuvchi pog‘ona bir yoki ikki qator kurakchali loyihada tayyorlangan bo‘ladi. Rostlanuvchi pog‘onaning kurakchalari qatori sonini oshishi undagi issiqlik tushishini oshiradi, bu esa, o‘z navbatida, turbinaning iqtisodiy samarasini oshiradi.

Rostlanuvchi pog‘onani tanlash bug‘ning boshlang‘ich sarfiga ham bog‘liq, ya‘ni uning qiymati kichik bo‘lgan turbinalar uchun ikki kurakchali rostlanuvchi pog‘ona tanlanib, bu rostlanuvchi kamerada kichik bosim hosil qilish imkonini beradi hamda tirqishdagi bug‘ yo‘qotilishini kamaytiradi.

## 7.6. IKKI QATOR KURAKCHALI ROSTLANUVCHI POG‘ONA ISSIQLIK HISOBI VA $U/C$ NING OPTIMAL QIYMATINI TANLASH

Hisob ishlari  $U/C$  ning bir necha qiymatlarida olib boriladi. Ko‘p hollarda  $U/C$  o‘rniga  $U/C_a$  qabul qilinadi, bu yerda:  $C_a$  — bug‘ning rostlovchi pog‘onadagi issiqlik tushishiga ekvivalent bo‘lgan shartli tezligi.

Optimal qiymati ma’lum hamda ichki nisbiy FIK aniq bo‘lgan rostlanuvchi pog‘onaning issiqlik hisobi tartibi quyida keltirilgan.

Pog‘ona diametri:

$$d = (10,8 \div 1,2) \text{ m.}$$

Ishchi kurakchalaridagi aylanma tezlik:

$$U = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}, \text{ m/s.}$$

Soplodan chiqadigan bug‘ tezligi:

$$C_a = \frac{U}{U/C_a}.$$

Pog‘onadagi adiabatik issiqlik tushishi:

$$h_0 = \frac{C_a}{2000}, \text{ kJ/kg.}$$

Umumiy reaktivlik darajasi:

$\rho < 0,1$  — qabul qilinadi.

Soplo panjaralaridagi adiabatik issiqlik tushishi:

$$h_1 = h_0(1 - \rho).$$

Soplodan chiqadigan bug‘ning nazariy tezligi, m/s:

$$C_{it} = \sqrt{h_{bi} \cdot 2000}.$$

Soplolardagi tezlik koeffitsiyenti:

$\varphi = 0,93 \div 0,97$  (soplolarning tayyorlanishiga bog'liq kattalik).

Soplodan chiqadigan bug'ning haqiqiy tezligi:

$$C_1 = \varphi \cdot C_{1t}, \text{ m/s.}$$

Soplodan chiqadigan bug'ning chiqish burchagi  $\alpha_1$  beriladi.

— bir kurakchali pog'ona uchun:  $\alpha_1 = 11^\circ \div 18^\circ$ ;

— ikki kurakchali pog'ona uchun:  $\alpha_1 = 16^\circ \div 20^\circ$ ;

— uch kurakchali pog'ona uchun:  $\alpha_1 = 20^\circ \div 24^\circ$ .

Birinchi pog'ona ishchi kurakchalariga kiradigan bug'ning nisbiy tezligi:

$$W_1 = \sqrt{C_1^2 + U^2 - 2C_1U \cdot \cos\alpha}.$$

Ishchi kurakchalardagi reaktivlik darajasi  $\rho'_i$  umumiy reaktivlik darajasining 10% iga teng.

Ishchi kurakchalardan chiqadigan bug'ning nazariy nisbiy tezligi:

$$W_{2t} = 44,7 \sqrt{\frac{W_1^2}{2000} + \rho'_i \cdot h_0}.$$

Ishchi kurakchalarga kiradigan bug'ning kirish burchagi:

$$\beta_1 = \arcsin \frac{C_1 \sin \alpha_1}{W_1}.$$

Ishchi kurakchalardan chiqadigan bug'ning chiqish burchagi:

$$\beta_2 = \beta_1 - (3 \div 5)^\circ.$$

Ishchi kurakchalardagi bug'ning tezlik koeffitsiyenti  $\psi$  7.4-rasmdan olinadi. Ishchi kurakchalardan chiqadigan bug'ning haqiqiy nisbiy tezligi:

$$W_2 = \psi \cdot W_{2t}, \text{ m/s.}$$

Birinchi pog'onadan chiqadigan bug'ning absolut tezligi:

$$C_2 = \sqrt{W_2^2 + U^2 - 2WU \cos \beta_2}, \text{ m/s.}$$

Birinchi pog'onadan chiqadigan bug'ning absolut tezligi:

$$\alpha_2 = \arcsin \frac{W_2 \sin \beta_2}{C_2}, \text{ m/s.}$$

Yo'naltiruvchi panjaradan chiqadigan bug'ning chiqish burchagi:

$$\alpha'_1 = \alpha_2 - (3 \div 5)^\circ - \text{qabul qilinadi.}$$

Yo'naltiruvchi panjaraning reaktivlik darajasi  $\rho'_y$  umumiy reaktivlikning 10% iga teng.

Yo'naltiruvchi panjaradan chiqadigan bug'ning nazariy tezligi:

$$C'_{1t} = 44,7 \sqrt{\frac{C_2}{2000} + \rho'_y \cdot h_0}.$$

Yo'naltiruvchi panjaradagi bug'ning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi_y = \varphi_2 + \varphi'_1$  yig'indiga asosan 7.4-rasmdan topiladi. Yo'naltiruvchi panjaradan chiqadigan bug'ning haqiqiy tezligi:

$$C'_1 = \varphi_y \cdot C'_{1t}, \text{ m/s.}$$

Ikkinchi pog'onaga kiradigan bug'ning nisbiy tezligi, m/s:

$$W'_1 = \sqrt{(C'_1)^2 + U^2 - 2U \cdot C'_1 \cdot \cos \alpha'_1}.$$

Ikkinchi pog'ona ishchi kurakchalariga kiradigan bug'ning kirish burchagi:

$$\beta'_1 = \arcsin \frac{C'_1 \sin \alpha'_1}{W'_1}.$$

Ikkinchi pog‘ona ishchi kurakchalarining reaktivlik darajasi  $\rho_i''$  (umumiyning 10%). Ikkinchi pog‘ona ishchi kurakchalaridan chiqadigan bug‘ning nazariy solishtirma tezligi:

$$W_{2t}' = 44,7 \sqrt{\frac{(W_1')^2}{2000} + \rho_i'' \cdot h_0}, \text{ m/s.}$$

Ikkinchi pog‘ona ishchi kurakchalaridan bug‘ning chiqish burchagi:

$$\beta_2' = \beta_1 - (3 \div 5)^\circ.$$

Ikkinchi pog‘ona ishchi kurakchalaridagi bug‘ning tezlik koeffitsiyenti:  $\psi' = \beta_1' + \beta_2'$  ga qarab 7.4-rasmdan olinadi.

Ikkinchi pog‘ona ishchi kurakchalaridan chiqadigan bug‘ning haqiqiy tezligi:

$$W_2' = \psi \cdot W_{2t}'.$$

Ishchi kurakchalar panjarasidan chiqadigan bug‘ning absolut tezligi:

$$C_2' = \sqrt{(W_2')^2 + U^2 - 2W_2' \cdot U \cdot \cos \beta_2'}.$$

Absolut tezlik vektorining chiqish burchagi:

$$\alpha_2' = \arcsin(W_2' \cdot \sin \beta_2' / C_2').$$

Tezliklarni bo‘ylama yo‘nalish bo‘yicha proyeksiyasi:

$$\begin{aligned} C_{1U} &= C_1 \cos \alpha_1; \\ C_{2U} &= C_2 \cos \alpha_2; \\ C_{3U}' &= C_1' \cdot \cos \alpha_2'; \\ C_{2U}' &= C_2' \cos \alpha_2'. \end{aligned}$$

Nisbiy kurakcha FIK:

$$\eta_{nk} = \frac{2U \sum (C_{1U} \pm C_{2U})}{C_{tt}^2}.$$

Soplo balandligi  $l > 2$  sm. Soplo uchun sarf koeffitsiyenti:

$$M = 0,95 \div 0,97.$$

Parsiallilik darajasi:

$$\varepsilon = \frac{G_0 v_1}{\mu \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot C_1 \cdot \sin \alpha_1}.$$

Ishchi kurakchalarning o'rtacha balandligi:

$$l_{i.o'r} = \frac{\sum z l_i}{z} \approx 1,5 l.$$

Ishqalanish kuchini yengishga va ventilatsiyaga sarflangan energiya (Stodola formulasi):

$$N_{i.v.} = \lambda [1,09 d^2 + 0,61(1 - \varepsilon) d \cdot z \cdot l_{i.o'r}^{1,5}] \frac{U}{10^6} \rho \text{ kW},$$

bu yerda:  $\lambda = 1$  — o'ta yuqori qizigan bug' uchun;

$\lambda = 1,10 \div 1,2$  — o'rta qizigan bug' uchun;

$d$  — pog'ona diametri;

$z$  — kurakchalar qatorlari soni;

$\rho$  — bug'ning zichligi.

Ishqalanishga sarflangan solishtirma yo'qolish:

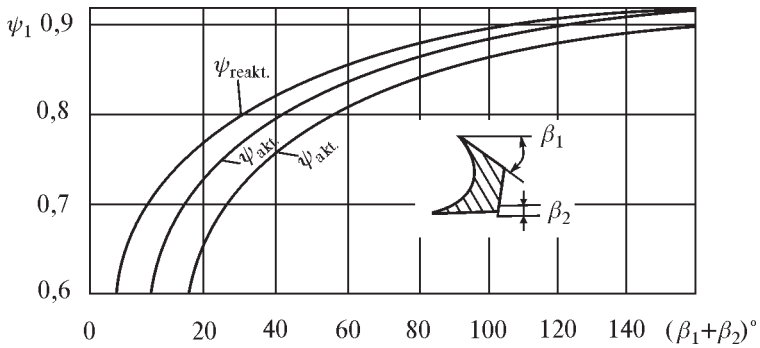
$$h_{i.v.} = \frac{N_{i.v.}}{G}.$$

Ishqalanish va ventilatsiya bilan yo'qotish koeffitsiyenti:

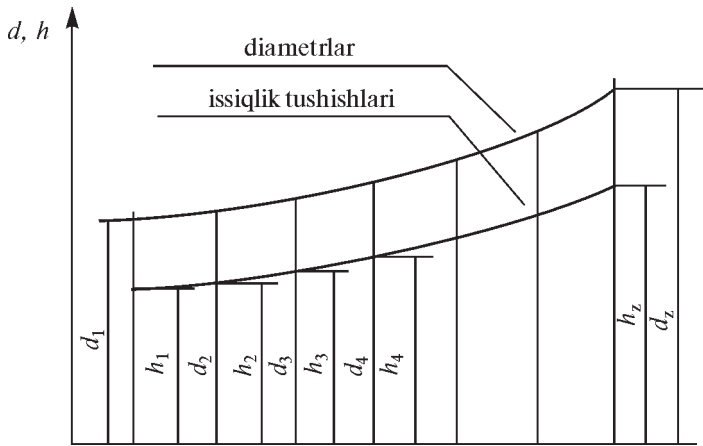
$$\xi_{i.v.} = \frac{h_{i.v.}}{h_0}.$$

Pog'onaning ichki nisbiy FIK:

$$\eta_{0i} = \eta_{ik} - \eta_{iv}.$$



7.4-rasm. Tezlik koeffitsiyenti  $\psi$  ni oqim burchagiga qarab aniqlash grafigi.



7.5-rasm. Pog'onalardagi issiqlik tushishlari.

## 7.7. ROSTLANMAYDIGAN POG'ONANING ISSIQLIK HISOBI

Rostlanuvchi pog'onadan keyingi birinchi pog'onada shunga amal qilish kerakki, turbinaning parsiallik darajasi  $\varepsilon = 1$  bo'lishi kerak. Kondensatsion turbinalarda  $\varepsilon$  ning qiymati kurakchalarning minimal balandligiga erishilganda birga teng bo'ladi.

**7.7.1. Birinchi va oxirgi rostlanmaydigan pog'onalar diametrini hisoblash.** Oraliqdagi pog'onalar diametrini aniqlash uchun birinchi va oxirgi pog'ona o'lchamlarini oldindan baholash kerak.

Birinchi pog‘ona diametri quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$d_1 = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{60 \cdot G_0 \cdot v_{1t} \cdot \frac{u}{c_1}}{\varepsilon \cdot l_1 \cdot n \cdot \sin \alpha_1}}$$

bu yerda:  $G_0$  — birinchi rostlanmaydigan pog‘onadan o‘tadigan bug‘ sarfi, kg/s;

$v_{1t}$  — soplo panjarasidan chiqadigan bug‘ning solishtirma hajmi;

$l_1$  — soplo panjarasining chiqishdagi balandligi, m;

$\varepsilon$  — pog‘onaning parsiallilik darajasi;

$n$  — turbina valining aylanishlar soni, 1/min;

$\alpha_1$  — soplo panjaralaridan chiqadigan bug‘ning chiqish burchagi.

Agar solishtirma soplodagi issiqlik tushishi ma’lum bo‘lsa, solishtirma hajmni oldindan belgilash mumkin. Bu qiymatga keyingi hisobda aniqlik kiritiladi. Soplo kurakchalarining aniqligi balandligi 15–20 mm/dan oshmasligi shart, chiqish burchagi  $u/c$  nisbatning optimal qiymati aktiv pog‘onalar uchun 0,45–0,55 atrofida bo‘ladi.

Bug‘ning sarfini oshirish uchun pog‘onaning bug‘ o‘tadigan qismining o‘lchamlarini o‘zgartirish talab qilinadi. Bu hol, ayniqsa, yirik quvvatli kondensatsion turbinalarga taalluqlidir.

Bug‘ning o‘tish yo‘li o‘lchamlarining qiymatini chegaralovchi asosiy kriteriy, bu ishchi kurakchalarning diametri va balandligidir.

Oqim uzluksizligi tenglamasiga asosan ishchi kurakcha diametri-ni quyidagi formula orqali hisoblash mumkin:

$$d_z = \sqrt{\frac{G \cdot v_2}{\pi \cdot 44,72 \cdot \sqrt{\xi_{\text{ch.t}}} \cdot H_0 \cdot \sin \alpha_2} \frac{d_z}{l_z}}$$

bu yerda:  $v_2$  — ishchi kurakchalardan chiqadigan bug‘ning solishtir-ma hajmi, m<sup>3</sup>/kg;

$H_0$  — turbinadagi umumiy adiabatik issiqlik tushishi, kJ/kg;

$\xi_{\text{ch.t}}$  — chiqishdagi tezlik bilan issiqlik yo‘qotilishini hisobga oluvchi koeffitsiyent;

$\xi_{\text{ch.t}} = 0,2 \div 0,03$ ;

$\xi_{\text{ch.t}} = 0,2 \div 0,03$  — kondensatorsiz ishlovchi turbina uchun;

$\xi_{\text{ch.t}} = 0,005$  — kondensatsion turbina uchun;



$\alpha_2$  — burchak qiymatini  $90^\circ$  ga yaqinlashtirish kerak, chunki bu vaqtda chiqishdagi tezlik bilan yo‘qotish qiymati minimal bo‘ladi;

$d_z/l_z$  — nisbat kichik quvvatli turbinalar uchun 5—6 ga teng, katta quvvatli turbinalarda 2,5—3 oralig‘ida bo‘ladi.

## 7.8. POG‘ONALAR SONINI ANIQLASH VA ISSIQLIK TUSHISHINI ULAR O‘RTASIDA TAQSIMLASH

Turbinaning pog‘onalari sonini tanlash uchun iqtisodiy ko‘rsatkichlarga asoslangan holda yondashish kerak. Agar turbinaning pog‘onalari soni kam bo‘lsa, uning tannarxi arzon bo‘ladi, lekin FIK kichik bo‘ladi. Pog‘onalar sonining oshishi turbinaning tannarxini oshiradi va shu bilan birga FIKni ham oshiradi.

Kichik va o‘rta quvvatli zamonaviy bug‘ turbinalari bir silindri bo‘ladi, ulardagi rostlanmaydigan pog‘onalar soni esa 6—10 dan 20—22 tagacha bo‘ladi. Bir silindrga katta miqdordagi kurakchalar joylashishi (20—22 dan yuqori) turbinaning uzunligini oshiradi, bu esa valdagi aylanishlar sonini ruxsat etilgan qiymatidan pastga tushirib yuboradi.

Yuqori quvvatda ishlaydigan turbinalar olti silindri qilib tayyorlanadi. Yuqori bosimli silindrdagi pog‘onalar soni 12—14 gacha bo‘ladi. Pog‘onadagi issiqlik tushishi  $n = 3000$  1/min bo‘lganda quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$h_0 = 12,325 \left( \frac{d}{u} \right)^2, \text{ kJ/kg.}$$

Shu formulaga asosan bir necha nuqtadagi issiqlik tushishi hisoblanadi, keyin  $CD$  egri chiziq chiziladi. Har bir uchastkani ikkiga bo‘lib, o‘rtacha issiqlik tushishi topiladi.

Turbina pog‘onasiga to‘g‘ri keluvchi o‘rtacha issiqlik tushishi quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$h_{0o'r} = \frac{\sum_{i=1}^m h'_{0i}}{m} = \frac{h'_{01} + h'_{02} + h'_{03} + \dots}{m},$$

bu yerda:  $m$  — diagrammadagi uchastkalar soni.

Rostlanmaydigan pog'onalar soni:

$$z = \frac{H'_0(1+\alpha)}{h_{0\sigma r}},$$

bu yerda:  $H'_0$  — bug'ning rostlanuvchi kameradan chiqish quvurigacha bo'lgan adiabatik issiqlik tushishi, kJ/kg;

$\alpha$  — issiqlikning qaytish koeffitsiyenti, 0,04—0,06.

Agar  $z$  ning qiymati kasr son bo'lsa, uni butun son qilib olinadi.

Issiqlik tushishining yig'indisi barcha rostlanmaydigan pog'onalaridagi issiqlik tushishlariga teng bo'lishi kerak, ya'ni:

$$\sum_{i=1}^z h_{0i} = H'_0(1+\alpha).$$

Agar bu tenglik o'rinli bo'lmasa, tuzatma kiritish kerak:

$$\sum_{i=1}^z h_{0i} + \Delta = H'_0(1+\alpha),$$

bu yerda:  $\Delta$  — pog'onada issiqlik tushishidagi tuzatma yig'indisi.

## 7.9. BOSIM POG'ONASINING HISOBI

Oldindan hisoblangan adiabatik issiqlik tushishi  $h_{0i}$  va tanlangan tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = (0,93 \div 0,97)$  ni hisobga olgan holda soplodan chiqadigan bug' tezligini hisoblaymiz:

$$c_1 = \varphi \cdot 44,7 \sqrt{h_{0i}(1-\rho) + h'_{ch}}$$

Turbinaning berilgan  $u/c$  xarakteristikasida va ma'lum  $c_1$  da bo'ylama tezlikni hisoblaymiz:

$$u = c_1 \frac{u}{c}.$$

Diametr qiymatiga aniqlik kiritamiz:

$$d = \frac{60 \cdot U}{\pi \cdot n}.$$

Tezliklar uchburchagini qurish uchun ishchi kurakchalaridan chiqadigan bug'ning nisbiy tezligini hisoblash kerak:

$$W_2 = \psi \sqrt{\frac{W_1^2}{2000} + h_0 \rho}, \text{ m/s.}$$

Turbinadagi yo'qolishlarni hisoblanadi:

$$h_s = \frac{c_{1t}^2 - c_1^2}{2000} \text{ — soplodagi;}$$

$$h_i = \frac{\left(\frac{W_2}{\psi}\right)^2 - W_2^2}{2000} \text{ — ishchi kurakchalardagi;}$$

$$h_{ch} = \frac{c_2^2}{2000} \text{ — chiqishdagi yo'qotishlar.}$$

Ishchi kurakchalar balandligi quyidagicha aniqlanadi:

$$l_1 = l \frac{C_{1t} \sin \alpha}{W_{2t} \sin \beta_2}, \quad l = \frac{G v_1}{C_1 \pi d \sin \alpha_1},$$

bu yerda:  $G$  — pog'onadan o'tadigan bug' sarfi, kg/s;

$v_1$  — soplodan chiqadigan bug'ning solishtirma hajmi;

$d$  — pog'ona diametri.

Tirqishdagi bug' yo'qotishlari quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$G_m = 0,99 \mu_m F_m \sqrt{\frac{p_0}{v_0}} \sqrt{\frac{1-\varepsilon^2}{z}}, \text{ kg/s,}$$

bu yerda:  $\mu_m$  — sarfining empirik koeffitsiyenti;

$F_m$  — labirint berkitgichdagi minimal tirqish yuzasi, m<sup>2</sup>;

$p_0, v_0$  — berkitgich oldidagi bug‘ parametrlari, N/m<sup>2</sup> yoki m<sup>3</sup>/kg;  
 $\varepsilon$  — berkitgichning ikki yonidagi bosimlar nisbati;  
 $z$  — berkitgichlar soni.

## 7.10. ROTORGA TA’SIR QILAYOTGAN BO‘YLAMA O‘Q KUCHLARINI HISOBLASH

Turbinada bug‘ning kengayishi natijasida bo‘ylama o‘q kuch yuzaga keladi. Bu kuch tirgakli podshipnikka beriladi. Ishchi kurakchalar halqasida yuzaga keladigan bo‘ylama kuch quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$R_0^I = G(C_1 \sin \alpha_1 - C_2 \sin \alpha_2) + \pi dl_1(p_1 - p_i),$$

bu yerda:  $p_1, p_i$  — soplodan va ishchi kurakchalaridan keyingi bosimlar.

Ishchi kurakchalar diskidagi bo‘ylama kuch:

$$R_0^{II} = \frac{\pi}{4} [(d - l)^2 - d_{st}^2] (p_1 - p_i),$$

bu yerda:  $d_{st}$  — disk diametri.

Agar diafragma diametrlari har xil bo‘lsa, u holda disk pog‘onasidagi bo‘ylama kuch:

$$R_0^{III} = \frac{\pi}{4} (d_{kz}^2 - d_{iz}^2) \cdot p_1,$$

bu yerda:  $d_{kz}$  — katta zichlagich diametri;

$d_{iz}$  — kichik zichlagich diametri.

Disk pog‘onasining ikki tomonida bosimlar turlicha bo‘lganligi uchun pog‘ona tomonda yuzaga kelgan bo‘ylama kuch quyidagicha hisoblanadi:

$$R_0^{IV} = \pi \cdot d_z \cdot h \cdot \Delta p, \quad \Delta p \approx 0,5 (p_0 - p_1),$$

bu yerda:  $h$  — zichlagichdagi tirqish balandligi.

Diskka beriladigan bo‘ylama kuchlarning umumiy qiymati quyidagi formula bilan belgilanadi:

$$R_0 = R_0^I + R_0^{II} + R_0^{III} + R_0^{IV} .$$

Turbina validagi bo‘ylama kuchni hisoblash uchun disklardagi kuchlar yig‘indisi olinadi:

$$R = \sum_{i=1}^n R_{0i} .$$

## **8-bob. BUG‘ TURBINALAR KONSTRUKSIYASI**

---

### **8.1. KICHIK VA O‘RTA QUVVATLI TURBINA KONSTRUKSIYASINI TANLASH**

Kichik va o‘rta quvvatli turbinalar uchun katta diametrli disklarni tanlash orqali turbina bosqichlari soni kam, loyihasi ixcham va tannarxi kam bo‘lishiga erishish mumkin. Ammo bu soplo va birinchi bosqich kurakchalari o‘lchamlari kamayishi, rostlovchi bosqich parsiallik darajasi kamayishi va shu sababli keyingi bosqichlarda parsiallikni kiritish zarurati paydo bo‘lishiga olib keladi. Soplo va kurakchalar balandligi kichik bo‘lishi va keyingi bosqichlarda parsiallik kiritish bu bosqichlar va turbina FIKni anchaga kamaytiradi. Shu sababli tejamkorlik nuqtayi nazaridan kichik va o‘rta quvvatli turbinalarda kichik diametrli disklarni qo‘llash foydali, sababi bu holda soplo va kurakchalar balandligi oshadi, rostlovchi bosqich parsialligi ortadi va keyingi bosqichlarga parsiallik kiritishga zarurat qolmaydi. Ammo shuni nazarda tutish kerakki, aylanishlar soni 3000 1/min turbinalarda kichik diametrli disklarni ishlatish turbina tejamkorligini oshirish bilan bir vaqtda bosqichlar soni oshishiga ham olib keladi, bu esa turbina konstruksiyasini murakkablashtiradi.

Turbinaning optimal konstruksiyasini tanlash uchun, ya’ni unga qo‘yiladigan barcha talablarni (yuqori tejamkorlik, ishonchlilik, konstruksiyasi soddaligi va tannarxi arzonligi) qanoatlantirish uchun har xil konstruksiyalar uchun texnik-iqtisodiy hisob-kitoblarni bajarish zarur.

Kichik va o‘rta quvvatli turbinalarda rostlovchi bosqich sifatida, asosan, ikki qator kurakchali (**двухвенечные**) disklar keng qo‘llaniladi. Ikki qator kurakchali disklarning afzalligi turbina konstruksiyasining soddalashuvi va o‘zgaruvchan yuklamalarda yuqori FIKga egaligidir.

Odatda, ikki qator kurakchali diskli turbinalarda issiqliklar farqi katta (165—210 kJ/kg) bo‘ladi. Bu esa turbina korpusi va halqasimon zichlagichlarning konstruksiyasini soddalashtiradi, bug‘ turbinasi ichidagi bosim kamayishi hisobiga bug‘ning solishtirma hajmi oshishi sababli birinchi pog‘onalar kurakchalarini konstruksiyalashni yengillashtiradi.

Issiqliklar farqi kichik bo'lgan (60—85 kJ/kg) bir halqali rostlovchi bosqichlardan foydalanish turbina konstruksiyasini murakkablashtiradi va tannarxini oshiradi, shu sababli, ko'pincha, ulardan foydalanish maqsadga muvofiq bo'lavermaydi.

## **8.2. KATTA QUVVATLI TURBINA KONSTRUKSIYASINI TANLASH**

Katta quvvatli turbina konstruksiyasini tanlash nihoyatda murakkab masala hisoblanadi. Sababi, bunday turbinani konstruksiyalashda faqat rostlovchi pog'ona konstruksiyasini emas, balki oxirgi pog'ona konstruksiyasini ham e'tiborga olish kerak. Turbina ishonchliligi, tejamkorligi va tannarxi oxirgi pog'ona konstruksiyasini to'g'ri tanlashga bog'liq.

Hozirda ishlatilayotgan katta quvvatli turbinalar konstruksiyalari, tejamkorligi va tannarxi nihoyatda xilma-xildir. Drosselli bug' taqsimlash va bug'ni qisman oraliq pog'onalariga kiritish eskirgan konstruksiya hisoblanadi. Sababi, bunday bug' taqsimlash usuli ishlatilgan turbinalar kichik yuklamalarda ishlaganida drossellashdagi yo'qotishlar katta va hatto, nominal yuklamada ishlaganida ham FIK unchalik katta emas.

Soploli bug' taqsimlash va qisman bug'ni oraliq pog'onaga berish tizimiga ega bo'lgan turbinalar nominal yuklamada katta FIKga ega, ammo yuklama ortishi bilan ularning FIK pasayib ketadi va bu asosiy kamchiligi hisoblanadi.

Katta quvvatli turbinalarning nominal yuklamadagi tejamkor ishlashini ta'minlash uchun soplolik bug' taqsimlash usulidan foydalanish keng tarqalgan. Bunday turbinalarda rostlovchi pog'ona sifatida bir qator kurakchali va ikki qator kurakchali rostlovchi disklardan foydalaniladi.

Odatda, ikki qator kurakchali disklardan foydalanish turbina konstruksiyasini soddalashtirgani bilan tejamkorligini yetarlicha ta'minlay olmaydi. Bir qator kurakchali diskdan foydalanish turbina tejamkorligini oshirishi sababli, maqsadga muvofiqdir. Biroq rostlovchi pog'onadagi issiqliklar farqi qanchalik kichik bo'lsa, turbinadagi bosim shunchalik yuqori, pog'onalar soni ko'p, korpus devorlari qalinligi katta va oldingi zichlagichlar konstruksiyasi murakkab bo'ladi. Bu ayniqsa, yuqori va kritik bosimdan yuqori bosimda ishlaydigan turbinalarga tegishli.

Katta quvvatli kondensatsion turbinalarning oxirgi pogʻonalari kurakchalari konstruksiyalari va oʻlchamlari hamda bugʻ kanalizatsiyalari asosan bugʻning kurakchalardan keyingi absolut bosimiga bogʻliq. Turbina tejamkorligini oshirish maqsadida oxirgi pogʻona kurakchalari iloji boricha chuqur vakuumdan foydalanadigan qilib konstruksiyalanadi. Vakuum chuqurlashishi ishlatilgan bugʻ solishtirma hajmining ortishiga olib keladi va oxirgi pogʻona chiqish yuzasi katta boʻlishini taqozo etadi. Quvvati 50 MW dan yuqori chuqur vakuumli turbinalarda oxirgi pogʻonalardagi bugʻ ikki yoki uch oqimga boʻlinadi. Masalan, Sankt-Peterburg Metallurgiya zavodining K-800-240 kondensatsion turbinasida uchta ikki oqimli past bosimli silindrdan foydalanilgan, yaʼni oxirgi pogʻona oltita bir xil oqimlarga boʻlingan.

Zamonaviy turbinani yasash bugʻning yuqori va oʻta yuqori parametrlaridan foydalanishga asoslanadi. Maʼlumki, bugʻ turbina qurilmasi FIK birlamchi bugʻ parametrlari ortishi bilan va taʼminot suvini regenerativ qizdirish tizimi takomillashishi bilan oshadi.

Shuning uchun birlamchi bugʻ harorati va bosimini imkoni boricha oshirish, regenerativ qizdirgichlar uchun turbinadan bugʻ olishlar sonini oshirish va turbinadan olinadigan bugʻ issiqligidan tarmoq suvini isitish va texnologik maqsadlarda foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Birlamchi bugʻ haroratining yuqori chegaraviy qiymati turbinada ishlatiladigan metallar sifati, narxi va unga ishlov berish texnologiyasi bilan belgilanadi. Bosim ortishi ishlatilgan bugʻ namligi ortishiga, turbina konstruksiyasi va yuqori bosimli silindr zichlagichlari murakkablashuviga olib keladi.

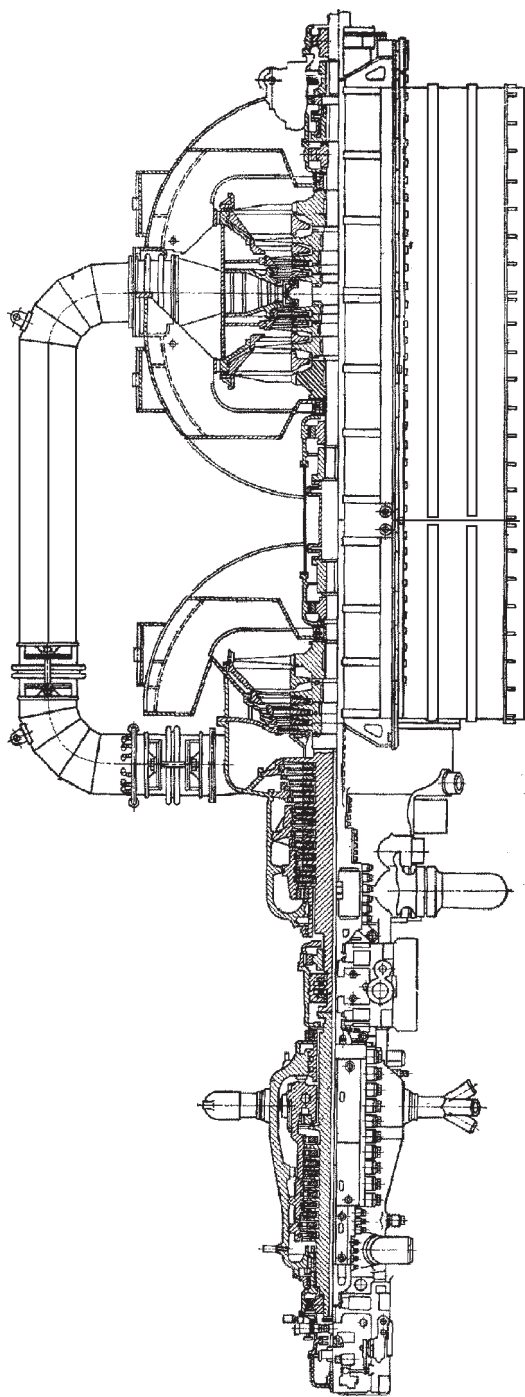
### **8.3. K-300-240 XTF3 BUGʻ TURBINASI**

Quvvati 300 MW boʻlib, aylanishlar soni 3000 1/min. Turbina bir valli boʻlib, uchta kondensator uchun bugʻ chiqarish quvuriga ega. Bugʻ ishlab chiqarish quvvati 900 t/s li bugʻ qozoni bilan blok tarkibida ishlashga moʻljallangan boʻlib, bugʻning boshlangʻich parametrlari 235 bar va 560°C.

Yuqori bosimli silindrdan chiqqan bugʻ 39,2 bar bosimda qayta qizdirgichga yuboriladi va undan 560°C va 34,3 bar parametrlarda qaytib keladi. Kondensatordagi bosim 0,035 bar.

Birinchi K-300-240 XTF3 turbinasi 1960-yilda tayyorlangan.





8.1-rasm. K-300-240 XTT3 bug' turbinasining ko'ndalang kesimi.

Bug' taqsimlash usuli — soplolik. Yuqori bosimli silindr bir qatorlik kurakchali rostlovchi pog'ona va o'rta bosim pog'onasidan iborat. O'rta bosimli silindr o'n yettita pog'onadan iborat bo'lib, ulardan o'n ikkitasi o'rta bosim qismiga, beshtasi esa past bosim qismiga tegishli. Past bosimli silindr ikki oqimli bo'lib, har bir oqim beshta pog'onadan iborat.

Oxirgi pog'ona kurakchalari aylanasing diametri 2550 mm bo'lib, ishchi kurakchalar balandligi 1050 mm.

Turbinadan ta'minot suvini 265°C gacha qizdirish va issiqlik ta'minoti uchun sakkizta boshqarilmaydigan bug' olish mumkin. Shahar turarjoy binolarini isitish uchun turbinadan 63 GJ/s gacha issiqlik olish mumkin.

Turbinaga maksimal bug' sarfi 890 t/s. Turbina qurilmasiga boylerlar va bug'latgichlar ulangan holda kafolatlangan solishtirma bug' sarfi 7680 kJ/(kW·s).

Yuqori bosimli silindr va o'rta bosimli silindr rotorlari qattiq mufta orqali birlashtirilgan. O'rta bosimli silindr va past bosimli silindr hamda past bosimli silindr va generator rotorlari yarim egiluvchan muftalar bilan birlashtirilgan.

Turbinani boshqarish sistemasida moy o'rniga suv (kondensat) qo'llaniladi.

#### **8.4. K-300-240 JM3 BUG' TURBINASI**

K-300-240 JM3 — uch silindrli kondensatsion bug' turbinasi bo'lib, quvvati 300 MW, aylanishlar soni 3000 1/min. «Электросила» zavodining vodorod bilan sovitiladigan TB3-320-2 tipidagi elektrgeneratorni aylantirishga mo'ljallangan.

Bu turbina bir valli, qayta qizdirgichga, kondensatorga, uchta bug' chiqishiga ega. Ta'minot suvini 265°C gacha qizdirish uchun sakkizta regenerativ bug' olinadi. K-300-240 JM3 turbinasi blok tarkibida bug' ishlab chiqarish quvvati 950 t/soat bo'lgan qozon bilan ishlashga mo'ljallangan.

Bug'ning turbinaga kirishdagi parametrlari:  $p_0 = 235$  bar,  $t_0 = 560^\circ\text{C}$ ,  $t_{kk} = 565^\circ\text{C}$ , kondensatoridagi bosim  $p_k = 0,035$  bar.

Undan tashqari, uy-joylarni isitish maqsadida turbinadan 64 GJ/s va yoqilg'ini quritish uchun 5,3 bar bosimli 60 t/soat miqdorida bug' olinadi.

Bug' taqsimlash usuli — soploli. Turbinaga bug' yettita rostlovchi klapan orqali kiritiladi, bu klapanlarga esa ikkita avtomatik stopor klapanlardan kiritiladi.

Bug' yuqori bosimli silindrning o'rtasiga kiritiladi va chap tomondagi beshta pog'onadan o'tadi. Keyin yo'nalishini  $180^\circ$  ga o'zgartirib, yuqori bosimli silindrning o'ng tomoniga kiritiladi va oltita pog'onadan o'tkaziladi.

Yuqori bosimli silindrdan keyin bug' 39 bar bosimda qayta qizdirgichga yuboriladi va undan 35 bar bosim bilan qaytib keladi ( $565^\circ\text{C}$ ). Bu bug' o'rta bosimli silindrga kiritiladi va uning o'n ikkinchi pog'onasidan keyin uch qismga bo'linadi: uchdan bir qismi o'rta bosimli silindrning oxirgi beshta pog'onasidan o'tadi, uchdan ikki qismi esa ikki oqimli past bosimli silindrga yuboriladi.

Past bosimli silindrning har bir oqimida beshta pog'ona bor. Turbinada ishlatib bo'lingan bug' uchta tirqish orqali bitta umumiy kondensatorga kiritiladi.

Turbina oxirgi pog'onasi kurakchalari aylanasing diametri 2480 mm bo'lib, ishchi kurakchalar balandligi 960 mm ga teng.

Turbinani moy bilan ta'minlash markazdan qochma nasos orqali amalga oshiriladi, moy sarfi 7000 l/min ga teng. Bug' turbinasining elektr quvvati 300 MW bo'lganda unga bug' sarfi 890 t/soat ga teng.

Turbinaning maksimal ruxsat etilgan quvvati 320 MW bo'lib, bunda bug' sarfi 930 t/soat ga teng. Turbinaga kafolatlangan solishtirma bug' sarfi  $q_e = 7680 \text{ kJ}/(\text{kW} \cdot \text{s})$  ga teng.

## 9-bob. BUG' TURBINASINI ROSTLASH VA MOYLASH SXEMALARI

---

---

### 9.1. ROSTLASH TO'G'RISIDAGI ASOSIY TUSHUNCHALAR

Turbina aylanishining mexanik energiyasi generatorda elektr energiyasiga aylantiriladi va u iste'molchiga yuboriladi. Shuning uchun turbina validagi mexanik energiya qiymati bilan generatordan olinadigan elektr energiyasi qiymati orasida qat'iy munosabat o'rnatiladi. Bundan kelib chiqadiki, elektr generatoridan olinayotgan elektr yuklama qiymatining har qanday o'zgarishi bilan turbina validagi mexanik energiya ishi o'zgaradi.

Agar bug' turbinasi vali mexanik ishni sarflaydigan qurilma, ya'ni nasos, kompressor bilan bevosita ulangan bo'lsa, bu qurilma yuklamasi o'zgarishi ham bug' turbinasi validagi mexanik ishni o'zgartiradi.

Bug' turbinasi salt yurishdan to maksimal quvvatgacha diapazonda turg'un ishlashi kerak. Bug' turbinasi validagi quvvat bilan turbinadagi bug' sarfi orasida ma'lum munosabat hosil bo'ladi va shu sababli turbina validagi yuklamaning har qanday o'zgarishi turbinaga bug' sarfi o'zgarishiga olib kelishi kerak.

Turbina valining ma'lum yuklamasida bug' sarfi va valdagi aylantiruvchi moment orasida doimiy munosabat saqlanadi. Yuklama o'zgarganda bu munosabat o'zgaradi va turbina valining aylanishlar soni o'zgaradi. Turbina aylanishlar sonini o'rnatilgan kattalikka qaytarish uchun rostlovchi qurilmalar bug' sarfini o'zgartirishi kerak.

Turbina uchun momentlar tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$M_e = M_{e.m} + M_y + (I_t + I_g) \frac{dw}{dt},$$

bu yerda:  $M_e$  — turbina muftasidagi aylantiruvchi moment,  $N \cdot m$ ;  
 $M_{e.m}$  — generatordagi foydali reaktiv moment,  $N \cdot m$ ;  
 $M_y$  — podshipnik va generatordagi yo'qotishlar tufayli kelib chiqadigan tormozlovchi moment,  $N \cdot m$ ;  
 $I_t, I_g$  — turbina va generator rotorlaridagi inersiyalar momentlari,  $N \cdot m \cdot s^2$ ;  
 $dw/dt$  — rotorlar burchak tezlanishi,  $1/s^2$ .

Agar turbina vali aylanishlar soni o'zgaras bo'lsa ( $n = 0$ ), burchak tezlanish  $dw/dt = 0$  bo'lib, quyidagi formulani yozish mumkin:

$$M_e = M_{e.m.} + M_y.$$

Bu tenglamaga quyidagicha o'zgartirish kiritish mumkin:

$$\frac{M_e w}{1000} = \frac{M_{e.m.} w}{1000} + \frac{M_y w}{1000}$$

yoki

$$N_e = N_{e.q} + N_y, \text{ kW}.$$

bu yerda:  $N_e$  — turbina muftasidagi effektiv quvvat, kW;  
 $N_{e.q}$  — iste'molchining elektrgeneratori klemmlaridan olatotgan elektr quvvati, kW;  
 $N_y$  — podshipnik va generatordagi yo'qotishlar, kW.

Elektr generatoridan iste'molchi olatotgan elektr quvvat qiymatining o'zgarishi yuqoridagi tenglikning buzilishiga olib keladi:

$$N_{e.q} + N_y \geq N_e$$

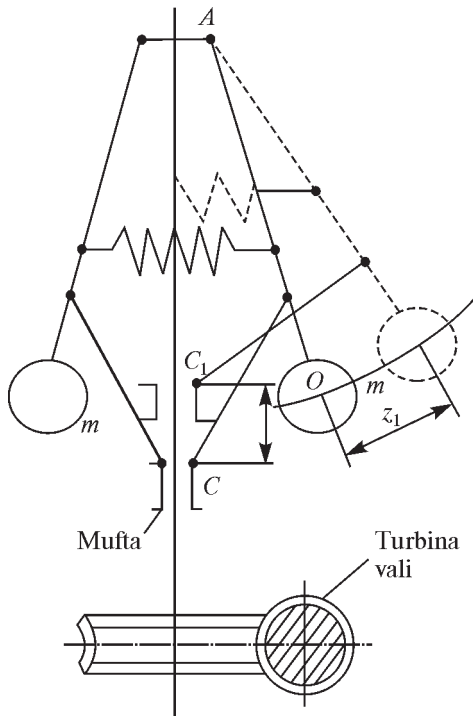
va bu turbina vali aylanishlar sonining ortishiga yoki kamayishiga olib keladi.  $N_{e.q}$  ortishi  $n$  kamayishiga olib keladi. Aksincha,  $N_e$  kamaysa, turbina vali aylanishlar soni ortib ketadi.

Avtomatik rostlanadigan turbinalarda bug' taqsimlash qurilmalari turbina vali aylanishlar soni rostlagichi (regulatori), ya'ni tezlik rostlagichi bilan bog'langan.

Turbina vali aylanishlar soni rostlagichi aylanishlar soniga bog'liq markazdan qochma kuch ishiga asoslanadi (9.1-rasm).

Bug' turbinasi vali aylanishlar soni ortganda  $m$  yuklar markazdan qochma kuchlar ta'sirida  $AO$  radius bo'yicha  $z_1$  masofaga uzoqlashadi. Bunda mufta  $C$  nuqtadan  $C_1$  nuqtaga  $z$  masofaga ko'chadi. Aylanishlar soni kamayganda esa yuklar bir-biriga yaqinlashadi va mufta pasayadi. Muftaning ko'chishidan turbinaga bug' sarfini o'zgartirish uchun foydalaniladi.

Bunday rostlagichlarni harakatga keltirishda tishli uzatish mexanizmidan foydalaniladi va bu ularning katta kamchiligidir.



9.1-rasm. Markazdan qochma rostlagich sxemasi.

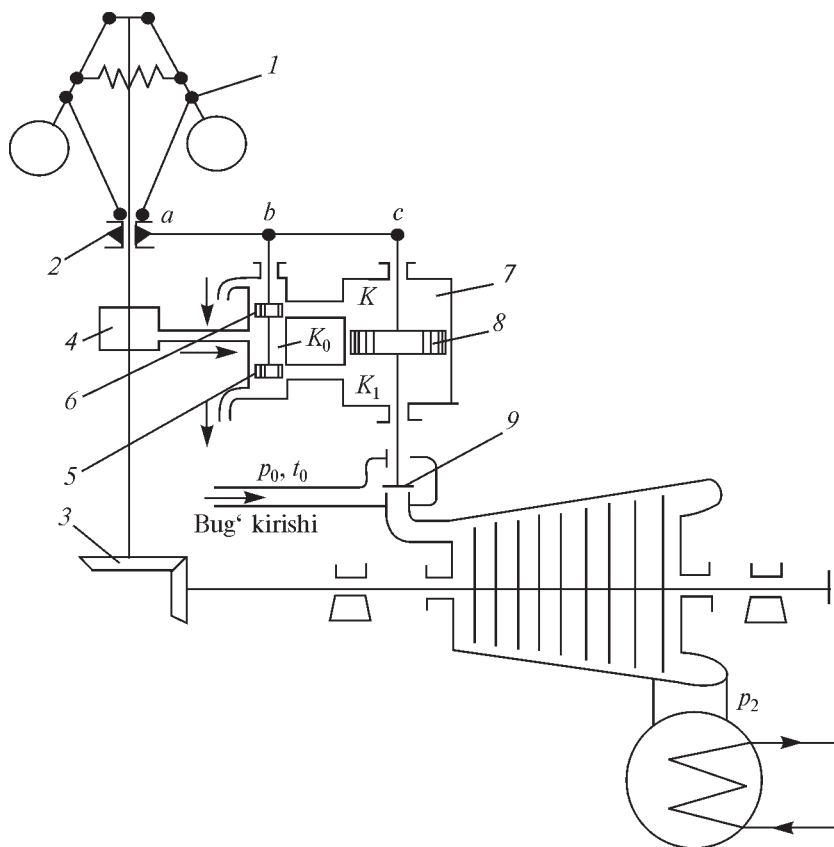
Impuls markazdan qochma rostlagichdan rostlovchi klapanlarga mexanik bog‘lanish (richaglar) yoki gidravlik ta‘sir (moy bosimi) orqali yetkazilishi mumkin.

Amalda keng tarqalgan gidrodinamik rostlagichlarning ishlash prinsipi turbina valida joylashgan markazdan qochma nasos bilan haydalayotgan moy bosimining aylanishlar soni kvadratiga bog‘liqligiga asoslangan.

## 9.2. BILVOSITA ROSTLASH SXEMALARI

Bilvosita rostdash sxemasi sifatida porshenli servomotor sxemasini (9.2-rasm) ko‘rib chiqamiz.

Qaror topgan rejimda servomotor zolotnigi klapani 6 o‘rtacha holatda bo‘lib, zolotnikni servomotor bilan birlashtiruvchi yo‘laklarni yopib turadi. Turbina rostdash klapani 9 bu paytda ma‘lum bir vaziyatda bo‘ladi.



9.2-rasm. Porshenli servomotor sxemasi:

1 — markazdan qochma rostlagich; 2 — mufta; 3 — tishli uzatish mexanizmi; 4 — moy nasosi; 5 — zolotnik; 6 — porshen; 7 — servomotor; 8 — servomotor porsheni; 9 — turbina bug' rostdash klapani.

Markazdan qochma rostlagich muftasi 2 harakatga kelishi bilan porshen 6 harakatga keladi. Zolotnik porsheni 6 ning harakatlanish yo'nalishiga qarab moy nasosi 4 dan moy servomotor 7 ning  $K$  yoki  $K_1$  bo'shlig'iga kiritiladi. Moy  $K$  bo'shliqqa kiritilganda turbina rostlovchi klapani 9 yopiladi va turbinaga bug' sarfi hamda uning quvvati kamayadi. Bu vaqtda  $K_1$  bo'shliqdagi moy zolotnik 5 orqali oqib ketadi. Moy  $K_1$  bo'shliqqa kiritilsa, turbina rostlovchi klapani ochiladi.

Rostlashning bu sxemasida porshen 6 ni harakatlantirish uchun kichik kuch kerak bo'ladi, sababi u zolotnikning o'rta kamerasi  $K_0$  da muvozanat holatida bo'ladi. Rostlash sxemasidagi moy bosimi

3÷7 bar oralig'ida qabul qilinadi. Zamonaviy bug' turbinalarida bu bosim 12÷20 bar gacha boradi.

### 9.3. BUG' TURBINASINI AYLANISHLAR SONI ORTIB KETISHIDAN HIMOYALASH

Generator klemmlaridagi quvvatning oshishi aylanishlar sonini kamaytiradi va aksincha. Rostlash organlarining vazifasi har qanday miqdoriy o'zgarishlarni avtomatik ravishda rostlashdan iborat. Turbinalarda bug' ta'minoti miqdorini rostlash avtomatik ravishda tezlik rostlagichlarida olib boriladi. Bunda aylanishlar soni o'zgarishi impulsi turbina bug' ta'minoti rostlash organlariga uzatiladi. Rostlash sxemalari turbina quvvati va ish rejimiga qarab turli xil bo'ladi.

Zamonaviy IES va IEMlar ulkan energetik sistemalarga birlashib, umumiy elektr tarmog'ini hosil qiladi va parallel ishlaydi. Bu holda elektr uzatish chastotasi doimiy o'zgarmas bo'lib qoladi. Elektr tarmog'idagi chastotalar generator aylanishlar sonini saqlab qolish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Elektr tarmog'idagi yuklamaning o'zgarishi turbina yuklamasi-ning va rotor aylanishlar sonining o'zgarishiga olib keladi. Yuklama o'zgarishi miqdori statik xarakterga bog'liq rostlash organlarining sezish darajasi kam va statik xarakteristikada ochiq uchastkalar bo'lsa, turbina yuklamasi o'z-o'zidan o'zgarib ketishi mumkin. Bu esa turbinaning ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin.

Energetik sistemalarda turbinalarni *statsionar* va *davriy* turlarga ajratiladi. Statsionar turbinalar deb yuqori quvvat, iqtisodiy samarador va doimiy ishlovchi turlariga aytiladi. Davriy turbinalar deb esa past quvvatli davriy ishlovchi turlariga aytiladi. Davriy turbinalar elektr tarmoqlarida hosil bo'ladigan kritik yuklamalarda ishlashi statik xarakteristika ko'rinishi egrilik darajasi oshib ketishiga olib keladi. Bu rostlash organlari ishiga ta'sir qiladi. Shu holatlarni rostlash uchun turbina yuklamasining bir qismi davriy turbinaga beriladi.

Olingan miqdor aylanishlar soni *dinamik tushirish koeffitsiyenti* bilan belgilanadi. Bu koeffitsiyent o'z rostlash darajasiga bog'liq. Statsionar turbinalarda rostlash darajasi 94% qilib qabul qilingan.

Aylanishlar soni dinamik tushirishlar koeffitsiyenti:

$$\Delta n = \delta n_0 / 100,$$

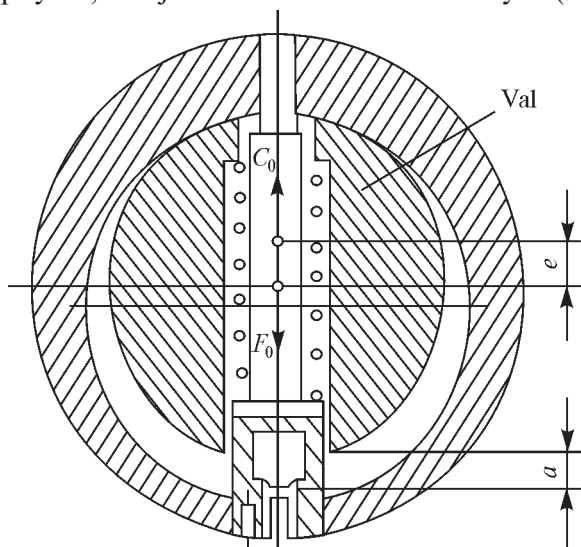
bu yerda:  $\delta$  — rostlash darajasi;  
 $n_0$  — aylanishlar soni.



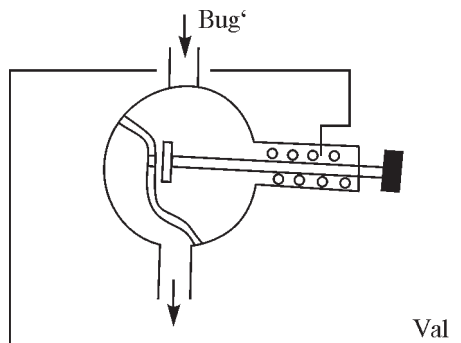
Rotor aylanishlar sonining yuqori chegarasi ishchi aylanishlar sonidan 10—12% katta olinadi. Har bir turbina bir yoki ikki himoya rostlagichi bilan ta'minlanadi. Ularning vazifasi aylanishlar soni kamayib ketganda yoki oshib ketganda turbina ishini to'xtatishdan iborat. Himoya rostlagichlari konstruksiyasiga ko'ra halqali, richagli va gidravlik bo'lishi mumkin. Halqasimon himoya rostlagichi valga o'rnatiladi va aylanishini to'xtatadi (9.2-rasm).

Richagli himoya rostlagichlari va aylanishi soni o'zgarganda richag va zashyolkalar orqali bug' ta'minoti rostlash klapanlarini yopib qo'yadi.

Gidravlik himoya rostlagichlari boshqarish, ta'minot va rostlash organlariga rotor aylanishlar soni o'zgarganda yog'lash suyuqligini yubormay qo'yadi, natijada turbina ishdan to'xtaydi (9.3-rasm).



9.3-rasm. Halqasimon himoya rostlagichi.



9.4-rasm. Gidravlik himoya rostlagichi.

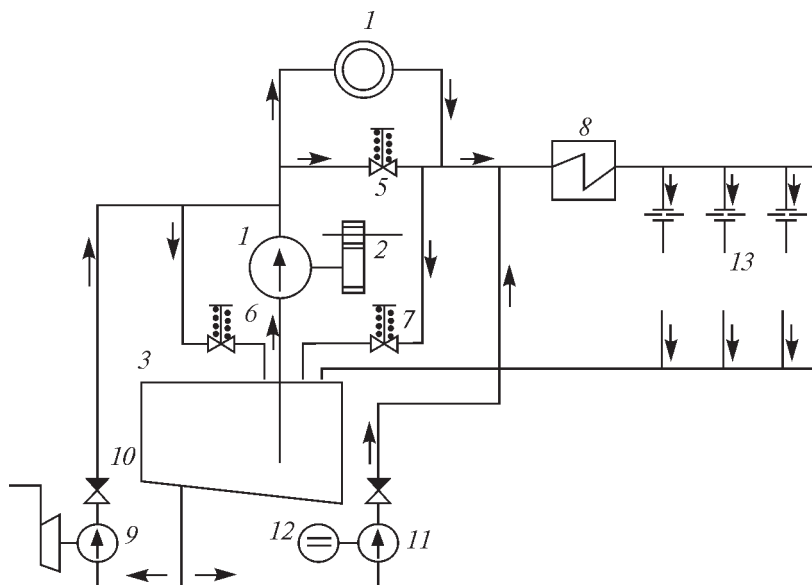
## 9.4. TURBINANI MOY BILAN TA'MINLASH SXEMALARI

Eng ko'p tarqalgan moy ta'minoti sxemalari quyidagilar:

- hajmiy nasosli sxemalar;
- markazdan qochma nasosli sxemalar.

Hajmiy nasoslardan moy ta'minotida tishli va vintli nasoslar ishlatiladi.

Moy bak 3 dan (9.5-rasm) bosh tishli nasos 1 yordamida so'riladi. So'rilgan moyning yuqori bosimli bir qismi turbinani rostlash sxemasi 4 ga yuboriladi. Moyning ikkinchi qismi esa reduksion klapan 5 orqali turbina, generator va uyg'otgich podshipniklariga yuboriladi. Podshipniklarga yuboriladigan moy bosimi 1,4—1,8 bar oralig'ida



9.5-rasm. Hajmiy nasosli moy ta'minoti sxemasi:

1 — bosh moy nasosi; 2 — reduktorli uzatgich; 3 — moy baki; 4 — rostlash sxemasi; 5 — prujinali reduktor; 6 — yuqori bosimli moy tashlab yuborish klapani; 7 — past bosimli moy tashlab yuborish klapani; 8 — moy sovitgich; 9 — yordamchi turbomoy nasosi; 10 — teskari klapan; 11 — avariya viy elektromoy nasosi; 12 — o'zgarmas tok elektr yuritgichi; 13 — moy podshipniklari.

qabul qilinadi. Moy podshipniklarga kiritilishdan oldin moy sovitgich 8 da sovitiladi.

Moy podshipniklarga bir xil miqdorda taqsimlanishi uchun moy quvurlarida chegaralovchi diafragmalar oʻrnatiladi. Podshipniklardan chiqqan moy qaytuvchi moy quvurida yigʻiladi va oʻz oqimi bilan moy nasosiga qaytadi.

Moylash sxemasi moy quvurida saqlovchi klapan oʻrnatilgan boʻlib, podshipniklarga yuboriladigan moy bosimi ortib ketganda ochiladi va ortiqcha moyni bakka qaytarib yuboradi.

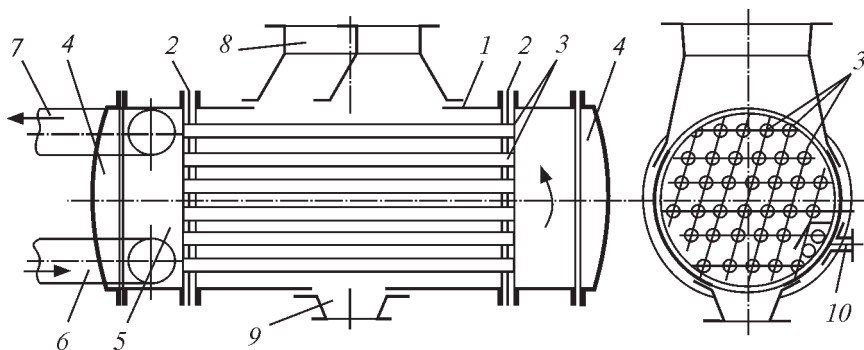
## 10-bob. BUG‘ TURBINALARINING KONDENSATSION QURILMALARI

### 10.1. KONDENSATORLAR

Kondensator deb, bug‘ni suv holatiga o‘tkazadigan maxsus yopiq holatdagi qurilmaga aytiladi. Bug‘ning suv holatiga o‘tishi *kondensatsiya jarayoni* deb ataladi. Bug‘ turbinasining past bosimli silindrida kengaygan bug‘ ishini bajarib bo‘lgach, kondensatorga o‘tadi. Bug‘ kondensatorida sovuq quvurlarga issiqligini berib, kondensatga aylanishi natijasida uning solishtirma hajmi keskin kamayadi va vakuum hosil bo‘ladi.

Kondensatorga sovituvchi suv sarfi qanchalik katta bo‘lsa, kondensatoridagi quvurlar harorati shunchalik past bo‘ladi va vakuum shunchalik chuqur bo‘ladi. Kondensator silindrsimon kameraga ega bo‘lib, bu kameraga quvurlar joylashtirilgan (10.1-rasm).

Kondensator qo‘llanilishi va turbinaning quvvatiga qarab tanlanadi. Kondensatoridagi bosim atmosfera bosimidan kichik bo‘lganligi sababli bug‘ turbinasi oxirgi pog‘onasida, ya‘ni past bosimli silindrda kengaygan bug‘ chiqarish quvuri *1* orqali kondensatorga o‘tadi.



10.1-rasm. Kondensatorning ko‘ndalang kesimi:

1 — kondensator korpusi; 2 — quvur doskalari; 3 — kondensator quvurlari; 4 — va 5 — suv kameralari; 6 — sovituvchi suv kirish quvuri; 7 — sovituvchi suv chiqishi; 8 — kondensator kirish quvuri; 9 — kondensat yig‘gich; 10 — havo so‘rish quvurchasi.

Kondensator 2 hajmiga o'tishda bug' tarkibidagi kislorod aralashmasi ejetor 5 orqali atmosferaga chiqariladi.

Kondensatorda suv yuzali sovitish quvuri 3 orqali bug'ni sovitadi. Quvur ichida ta'minot suvi yuzasida suv bug'i yuradi. 7 bug'-havo aralashmasini tinimsiz korpusdan chiqarib turadi. 4 kondensat nasosi orqali kondensat zaxira idishidan kondensatni past bosimli qizdirgichga uzatadi. Kondensatorda sovutuvchi suv kondensatsiya qilinishi vaqtida  $T_{\text{sov1}}$  dan  $T_{\text{sov2}}$  gacha o'zgaradi. Issiqlik almashgichda takrorlanmas harorat o'zgarishi kondensatsiya natijasida yuzaga keladi:

$$T_k = T_{\text{sov2}} + \delta t.$$

Kondensator issiqlik balansi:

$$D_k(i_k - i'_k) = D_{\text{suv}} C_{\text{suv}} (T_{\text{sov1}} - T_{\text{sov2}}).$$

Sovituvchi suvni qizdirish va bug'ni kondensatsiya qilish formulasi:

$$T_k = T_{\text{sov1}} + D_k(i_k - i'_k)/(D_{\text{suv}} C_{\text{suv}}) + \delta t = T_{\text{sov1}} + (i_k - i'_k)/C_{\text{sov}} m + \delta t,$$

bu yerda:  $D_k$  — kondensatoridagi bug' sarfi;

$D_{\text{suv}}$  — sovutuvchi suvning sarfi, kg/s;

$i_k - i'_k$  — turbinadan keyingi kondensatorning entalpiyasi, kJ/kg;

$T_{\text{sov1}}$  va  $T_{\text{sov2}}$  — haroratlar oralig'idagi sovutuvchi suvning o'rtacha issiqlik sig'imi, kJ/(kg · K).

$m = D_{\text{suv}}/D_k$  sovutish karraligi kondensatoridagi harorat va bosim sovutuvchi suv sovutish karraligiga va kondensatorga oldingi bug'ning namligiga bog'liq farq  $i_k - i'_k$ , bu esa issiqlik tushishi  $\delta t$  bo'lib qabul qilinadi. 3—5 K (ba'zida 10 K) gacha.  $T_k$  birligini baholash uchun bog'lanish issiqligini 3—5 KPa deb qabul qilinadi va 2430 kJ/kg ga teng bo'ladi. Kondensatoridan oldingi bug'ning namligi 9%. Bunda  $i_k - i'_k = 2210$  kJ/kg, sovutuvchi suv issiqlik sig'imi  $C_{\text{suv}} = 4,178$  kJ/(kg · K).

$$T_k = T_{\text{sov1}} + 529/m + \delta t.$$

$m$  zamonaviy elektr stansiyalarida 80 marta sovutish karraligiga teng. Odatda, sovutish karraligi 50—60 marta deb chegaralanadi.

Turbinada ishlatilgan bug'ning entalpiyasi qancha kichik bo'lsa, FIKi shuncha yuqori bo'ladi. Shuning uchun turbinaning yuqori vakuum holatida ishlashi iqtisodiy samara beradi. Chiqaruv qisqa quvurida maxsus sovitgichlar, ya'ni kondensatorlar qo'llaniladi. Bug' turbinasi qurilmasida yuzaviy suvli, havoli va aralashtiruvchi kondensatorlar qo'llaniladi. Yuqori quvvatli bug'-bug' turbinalarida asosan yuzaviy suvli kondensatorlar qo'llaniladi. Bu turdagi kondensatorlarda qozonga yuboriladigan kondensatning parametrlari yuqori bo'lib saqlanib turadi. Havo bilan ishlovchi kondensatorlarda issiqlik o'zgarishi koeffitsiyenti past va ular katta maydonni egallaydi. Bu turdagi kondensatorlar elektropoyezdlarda va suv ta'minoti yo'q hududlarda ishlatiladi. Aralashtiruvchi kondensatorlarda aralashtiruvchi suvga tayyor kondensatning qo'shilib yo'qolishi natijasida, bu turdagi kondensatorlar zamonaviy stansiyalarda ishlatilmaydi.

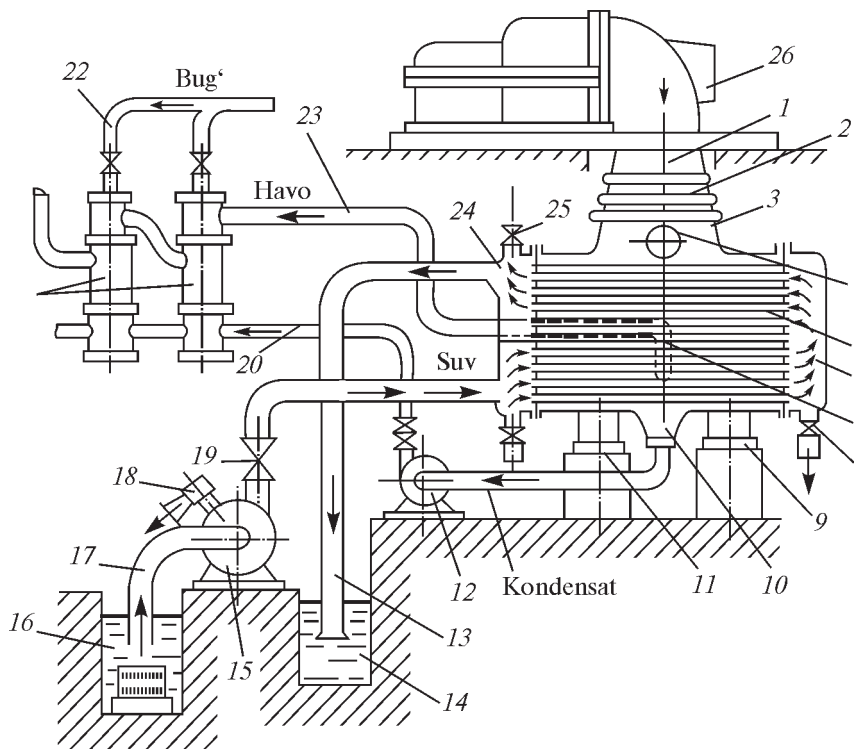
Ishlatilgan bug' turbinadan kondensatorlarga kelib tushadi va kondensator sovuq suv quvurlariga uriladi, kondensatsiyalanadi va sovuq suv bilan kondensatsiyalanishi natijasida nisbiy hajmi kamayadi va vakuum hosil bo'ladi, sovituvchi sirtning harorati qancha kichik bo'lsa, kondensatorida shuncha yuqori vakuum hosil bo'ladi. Germetik zichlik bo'lishi kerak, chunki vakuum sistema-sining ozroq buzilishi ham tashqari havo so'rib olinishiga va foydali ish koeffitsiyenti tushishiga olib keladi. Bu esa kondensat sifatini buzadi. Shuning uchun kondensatorlar tanlanganda turbina ish rejimiga va bosimiga qaraladi. Hozirgi paytda kondensatorlarning ko'plab turlari ishlab chiqarilmoqda. Suv aylanishi sxemasiga qarab 1, 2, 3, 4 yo'nalishli kondensatorlarda bug'lanadi. 2 yo'nalishli kondensatorlar aylanuvchi suv o'z yo'nalishini ikkala kamerada ham o'zgartiradi.

Kondensatorlar konstruksiyasiga ko'ra yaxlit va ikki yo'lakli tipda ishlab chiqariladi. Ikki yo'lakli kondensatorlarda bo'ylama to'siqlardan tashqari, suv kamerasida vertikal to'siq o'rnatiladi. Bu to'siqlar sovituvchi suvni ikkita alohida oqimga ajratadi. Bu turdagi kondensatorlarni tozalash ishlarini olib borish qulay.

## **10.2. KONDENSATSION QURILMANING ISH TARTIBI**

Yuzali kondensatsion qurilmaning soddalashtirilgan sxemasi 10.2-rasmda keltirilgan.

Yuzali kondensator silindr shaklidagi idish bilan birlashtirilgan, uning ichkari qismida quvurlar birlashtirilgan turbina 26 dan ishlab bo'lingan



10.2-rasm. Yuzali kondensatsion qurilmaning soddalashtirilgan sxemasi:

1 — bugʻ turbinasidan bugʻ chiqarish quvuri; 2 — linzali kondensator; 3 — bugʻ qabul qilish quvuri; 4 — atmosfera klapaniga bugʻni berish quvuri; 5 — kondensator quvurlari; 6 — suv kamerasi; 7 — havo soʻrish quvuri; 8 — suv chiqarish kranlari; 9 va 11 — tayanchlar; 10 — kondensat yigʻich; 12 — kondensat nasosi; 13 — sovituvchi suv oqovasi quvuri; 14 — chiqaruvchi kanal; 15 — sirkulyatsion nasos; 16 — sovituvchi suv kirish kanali; 17 — sovituvchi suv soʻrish quvuri; 18 — yordamchi bugʻ oqimli ejektor quvuri; 19 — sovituvchi suv yoʻnalishidagi buragichli qopqoq; 20 — kondensat quvuri; 21 — ikki pogʻonali bugʻ oqimli ejektor; 22 — ejektorga bugʻ berish; 23 — surilgan bugʻ-havo aralashmasini ejektorga berish; 24 — suv kamerasi; 25 — havo chiqarish krani; 26 — bugʻ turbinasi.

bugʻ chiqarish quvuri 1 va qabul qilish quvuri 3 orqali kondensatorga oʻtadi. Bugʻ kondensator quvurlari 5 yuzasida yuvilib, kondensatga aylanadi va bugʻlanish holatidagi yashirincha issiqligini quvurlar ichida harakatlanayotgan suvga beradi. Kondensator quvurlari maxsus doskalarda qotiriladi. Kondensator korpusiga oʻrnatiladi, quvurli doskalarga suv kameralari 6 va 24 (oldingi va orqadagi) suvni qabul qilish va chiqarish kameralari, odatda, toʻsiqlar bilan ajratiladi.

Shunday qilib, pastki kamerada yig'iladigan suv kondensator quvurlar dastasining pastki va yuqorigi qismidan o'tadi. Kondensatordagi sovituvchi aylanuvchi (sirkulatsion) isigan suv kondensatordan oqova quvur 13 orqali chiqariladi. Kondensatorning bunday turi ikki yo'nalishli deb aytiladi.

Kondensatorda ishlab bo'lingan bug' kondensati 10 quvur orqali 12 kondensat nasosi bilan chiqariladi. Kondensatorda chuqur vakuum hosil qilish uchun 7 va 23 quvurlar orqali havo so'riladi. Kondensator, kondensat va sirkulatsion nasoslar, shuningdek, havo so'ruvchi qurilma birgalikda kondensatsion qurilmani tashkil etadi. Kanaldan berilayotgan sovituvchi suv 16 sirkulatsion nasos 15 yordamida kondensatorga beriladi. Havo (aniqrog'i, bug'-havo aralashmasi) kondensatordan ikki pog'onali bug' oqimli ejektor 21 orqali so'riladi.

### 10.3. HAVO SO'RVUCHI QURILMALAR

Kondensatorga kiradigan havoning kichik bir qismi qozondan bug' bilan birga keladi, asosiy qismi esa vakuumda ishlayotgan kran, ventil va boshqa birlashtirgichlarning nozichligi tufayli so'rilishlardan kiradi.

Vakuum sistemasining nozichligini baholash imkoniyati yo'q. Shuning uchun kondensatordan olib ketilishi kerak bo'lgan havo miqdorini nazariy aniqlash ham mumkin emas. Uni faqat tajriba yo'li bilan (eksperimental) aniqlash mumkin.

Y. D. Berman eksperimental natijalarga asoslanib, kondensatordan so'rib tashlanishi kerak bo'lgan havo miqdorini aniqlash uchun quyidagi formulani taklif qilgan:

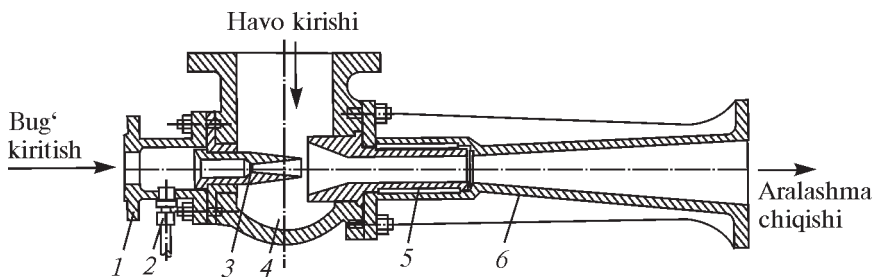
$$G_h = \alpha \left( \frac{D_k}{100} + 1 \right), \text{ kg/soat,}$$

bu yerda:  $D_k$  — nominal yuklamadagi kondensatorga bug' sarfi, t/soat;

$\alpha$  — kondensator vakuum sistemasiga bog'liq koeffitsiyent; u a'lo, yaxshi va o'zaro havo zichlikli sistemalar uchun 1; 2 va 3,5 ga teng.

Bug' turbina qurilmalarida kondensatordan havoni so'rib vakuumni ta'minlab turish uchun quyidagi havo so'rish qurilmalari ishlatiladi:





10.3-rasm. JIM3 ishga tushirish ejektorlari.

- bug' oqimli ejektorlar;
- suv oqimli ejektorlar;
- markazdan qochma havo nasoslari.

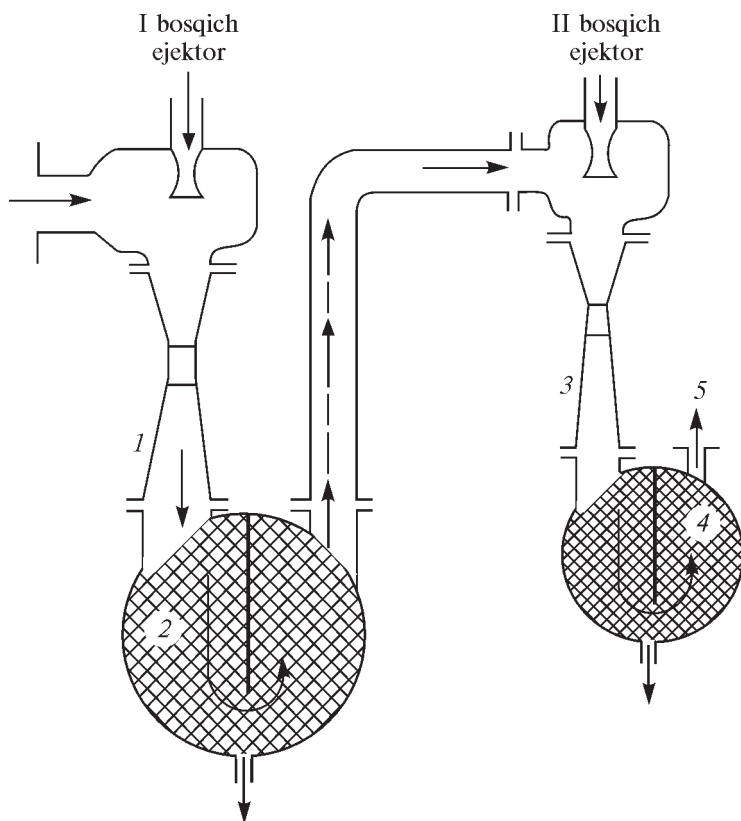
Bug' turbinasi qurilmalarida eng ko'p qo'llaniladigani bug' oqimli ejektorlardir. Nazariya va tajriba ko'rsatadiki, bir pog'onali bug' oqimli ejektor bilan chuqur vakuum hosil qilish mumkin emas. Shuning uchun bug' turbinasi qurilmalarida ikki va uch pog'onali bug' ejektorlaridan foydalaniladi. Bir pog'onali bug' oqimli ejektorlardan faqat turbinani ishga tushirishda foydalaniladi.

10.3-rasmda sovitgichsiz ishlangan JIM3 ishga tushirish ejektorlari ko'rsatilgan. Bug' quvuri 1 dan soplo 3 ga 8—12 bar bosimli ishchi bug' kiritiladi. Katta kinetik energiyaga ega bo'lgan bug' oqimi kamera 4 dan bug'-havo aralashmasini diffuzor torayuvchi qismi 5 ga o'zi bilan olib kiradi. Diffuzor 6 da bug'-havo kinetik energiyasi bosim energiyasiga aylanadi va aralashma atmosferaga chiqib ketadi.

Ikki va uch pog'onali ejektorlarda maxsus sovitgichlar o'rnatilgan bo'lib, ularda ejektorlar bug'i kondensatsiyalanadi va qozonga ta'minot suvi sifatida yuboriladi.

Ikki bosqichli ejektorda I bosqich ejektor 1 bug'-havo aralashmasi bug'i sovitgich 2 da kondensatsiyalanadi, aralashma II bosqich ejektor 3 ga kiritiladi va keyin sovitgich 4 da aralashma bug'i kondensatsiyalanadi. Havo quvur 5 orqali atmosferaga chiqarib yuboriladi. Kondensat esa sovitgichlardan olinib, qozon ta'minot suvi sifatida ishlatiladi.

Bu ejektor qurilmasida sovitgichlarda sovituvchi muhit sifatida asosiy kondensat ishlatiladi. Turbinani ishga tushirishda, salt yurishda va turbina kichik quvvatda ishlaganida resirkulatsiya liniyasi 5 ulanadi (10.5-rasm). Ejektor sovitgichida qizigan kondensatning bir qismi resirkulatsiya liniyasi orqali kondensatorga qaytariladi, u yerda sovitiladi va yana ejektor sovitgichida qayta ishlatiladi.



10.4-rasm. Ikki bosqichli ejektor sxemasi:

1 — I bosqich ejektor; 2 — oraliq sovitgich; 3 — II bosqich ejektor;  
4 — tashqi sovitgich; 5 — atmosferaga chiqarish quvuri.

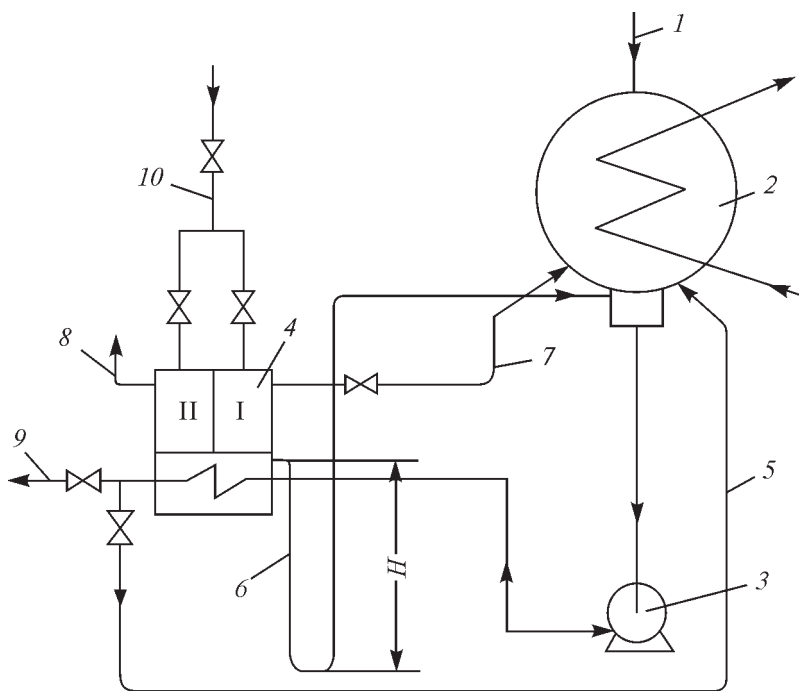
Turbina nominal yuklamada yoki yetarlicha katta yuklamada ishlaganida resirkulatsiya liniyasi ajratiladi.

Bugʻ-havo aralashmasi bugʻi kondensati II bosqich sovitgichdan I bosqich sovitgichiga kiritiladi va undan sifon 6 orqali kondensatorga quyiladi.

Ejektorning uzluksiz ishlashini taʼminlash uchun sifon balandligi quyidagi talabga javob berishi kerak:

$$H \geq 2(P_x - P_k), \text{ m,}$$

bu yerda:  $P_x$  — I bosqich sovitgichdagi bosim, m suv ustuni;  
 $P_k$  — kondensatoridagi bosim, m suv ustuni.



**10.5-rasm. Ejektor qurilmasi ulanish sxemasi:**

1 — bugʻni kondensatorga kiritish; 2 — kondensator; 3 — kondensat nasosi; 4 — ejektor; 5 — resirkulatsiya liniyasi; 6 — sifon; 7 — bugʻ-havo aralashmasini soʻrib olish; 8 — havoni atmosferaga chiqarish; 9 — kondensat liniyasi; 10 — ejektorga bugʻ berish.

# **11-bob. GAZ TURBINA QURILMALARI**

---

## **11.1. GAZ TURBINALARI**

Gaz turbinasi deb, ishchi jismi yonuvchi gaz va havo aralashmasidan iborat bo'lgan issiqlik yuritgichiga aytiladi. Ishlash prinsipi va konstruksiyasi jihatidan bug' turbinasiga o'xshash. Gaz turbinasining oquvchi qismida gaz oqimidan issiqlik energiyasi avval kinetik va so'ng rotor aylanishi mexanik ishiga aylanadi.

Gaz turbina qurilmalari bug' turbinalariga nisbatan quyidagi afzalliklariga ega:

- 1) ixcham;
- 2) kondensat qurilmasining yo'qligi;
- 3) konstruksiyasining soddaligi va qulayligi;
- 4) kam metalliligi, arzonligi;
- 5) sovitish uchun ko'p suv talab qilinmaydi.

Gaz turbinasining quyidagi kamchiliklari mavjud:

- 1) gaz turbinalarining tez ishdan chiqishi;
- 2) ishlatiladigan yoqilg'iga yuqori talabliligi.

Bug' turbinalari kabi gaz turbinalari ham aktiv va reaktiv, bir pog'onali va ko'p pog'onali bo'ladi. Gaz harakatiga qarab o'qli va radial turlariga bo'linadi. Agar gaz turbina o'qi yo'nalishida harakat qilsa, u o'qli gaz turbinasi bo'ladi. Agar gaz turbina o'qiga perpendikular (ko'ndalang) harakat qilsa, unda radial gaz turbinasi bo'ladi. Reaktiv gaz turbinalarining qo'llanilishi FIK va ish rejimining barqarorlanishiga olib keladi. Ishlash rejimi, issiqlik miqdori, ishlatiladigan yoqilg'i turiga qarab ko'p pog'onali gaz turbinalari 2—7 va undan ham ko'p pog'onali bo'lishi mumkin. Kam miqdorli yuklamalar uchun bir pog'onali gaz turbinalari iqtisodiy qulay.

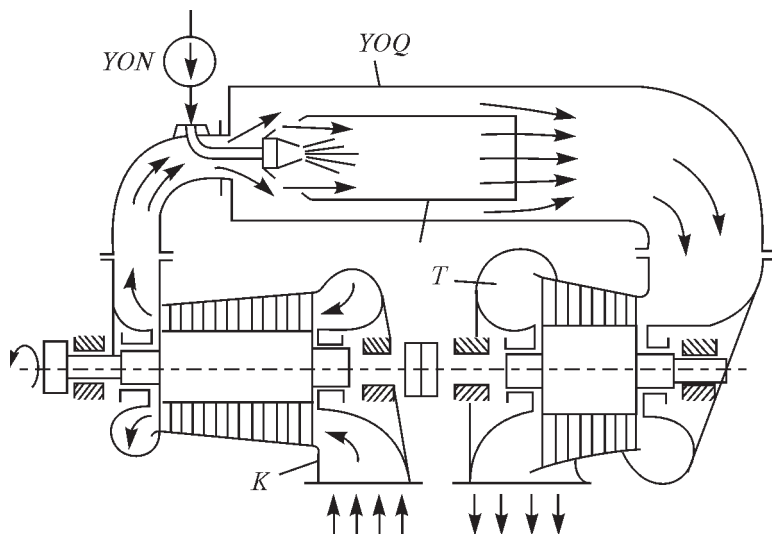
Gaz turbinalari bug' turbinalariga nisbatan yuqori boshlang'ich temperaturada ishlaydi. Shuning uchun uning detallari issiqqa chidamli po'latdan yasaladi, ba'zi holda ishchi kuraklarni sovitish uchun maxsus qurilmalar o'rnatiladi. Gaz turbinalari past boshlang'ich bosimda ishlaydi. Gaz kengayishi natijasida uning hajmi bir necha

yuz barobar oshadi. Shuning uchun gaz turbinasini ishga tushirishdan oldin uning aerodinamikasi tekshirib ko‘riladi. Gaz turbinasining alohida qurilmalarini hisoblash metodikasi bug‘ turbinasi hisobi metodikasi bilan bir xil.

Kompressor atmosferadan havoni so‘rib, kerakli bosimgacha siqib beradi va yonuv kamerasiga uzatadi. Yonish kamerasiga nasos orqali forsunkadan yoqilg‘i keladi va havo bilan aralashib yonadi. Hosil bo‘lgan issiq aralashma turbinaga yo‘naltiriladi (11.1-rasm). Aralashma temperaturasini yonish kamerasida havo miqdori orqali o‘zgartirish mumkin. Masalan, turbina uchun issiq havo temperaturasi 900—1100 K bo‘lsa, u uzoq muddat ishlashi isbotlangan. Yonish temperaturasi esa yonish kamerasida 2000 K ni tashkil etadi. Turbinada gaz kengayib, mexanik ish bajaradi. Turbina validagi quvvatning bir qismi kompressor kuraklarining aylanishiga sarf bo‘ladi, qolgani iste‘molchiga uzatilishi yoki elektr energiyasi olishga sarf bo‘lishi mumkin.

Gaz turbina qurilmasining ish sikli nazariy va haqiqiy sikllarga bo‘linadi. Nazariy termodinamik siklda soddalashtirishlar qabul qilingan:

- 1) sikl yonish deb qaraladi, ideal gaz miqdori, tarkibi va sig‘imi o‘zgarmas;
- 2) sikldagi hamma jarayonlar qaytar, issiqlik va gidravlik yo‘qotishlar yo‘q;
- 3) kompressorda siqilish va turbinada kengayish adiabatik bo‘ladi, entropiya soni o‘zgarmas.



11.1-rasm. Gaz turbinasi qurilmasi sxemasi va sikli.

Yonish kamerasiga issiqlik berilganda izobara bo'yicha (4-1) temperatura  $T_4$  dan  $T_1$  gacha ortadi. 1-2 chizig'i turbinada ishchi jismining izoentropik kengayishini xarakterlaydi. Haqiqiy siklda ichki sarflar hisobiga issiqlik yo'qoladi va sikl 1-2 chizig'i bo'yicha bo'ladi.

Termodinamik siklda issiqlik olinishi 2-3 izobarasi bilan ifodalanadi. Issiqlik olinish natijasida temperatura boshlang'ich holatiga keladi ( $T$ ). Haqiqiy jarayonda esa 2-3 chizig'i turbinadan gazning atmosferaga chiqarib yuborilishidagi sovishini bildiradi.

Termodinamik siklning termik FIK:

$$\eta_1 = (q_1 - q_2)/q_1 = I_0/q_1,$$

bu yerda:  $q_1$  — keltirilgan issiqlik miqdori;

$q_2$  — olingan issiqlik miqdori;

$I_0$  — olingan foydali ish.

Foydali ish turbina va kompressor izoentropik ishlari farqiga teng:

$$I_0 = I_{ot} - I_{ok}.$$

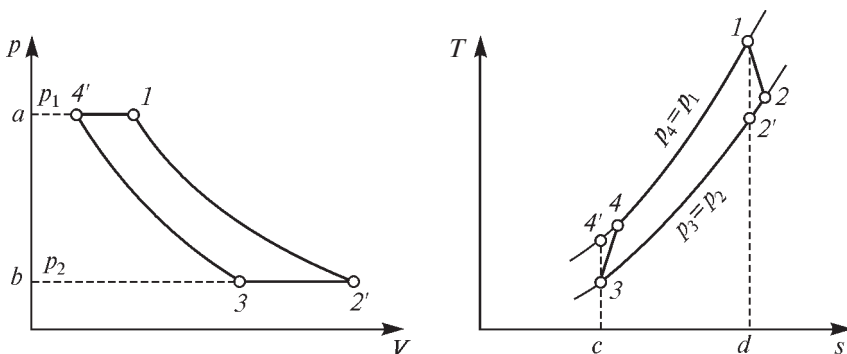
Kompressorda izoentropik siqilish 3-4'-a-b yuza bilan belgilanadi va sikl boshidagi hamda oxiridagi entalpiyalar farqi bilan ifodalanishi mumkin:

$$l_{ok} = i'_4 - i_3 = c_p(T_4 - T_3),$$

bu yerda:  $c$  — o'zgarmas bosimdagi gazning issiqlik sig'imi;

$i'_4 - i_3$  — shakldagi siqilish boshidagi va oxiridagi entalpiya;

$T_4 - T_3$  — 3-4 nuqtadagi absolut temperatura.



11.2-rasm. Gaz turbina qurilmasining  $p-V$  va  $T-S$  diagrammalari.

Turbinada gazning izoentropik kengayishi  $p-V$  diagrammada  $a-1-2-b$  yuza bilan belgilanadi hamda kengayishi boshi va oxiridagi entalpiya farqi bilan ifodalanishi mumkin:

$$l_{ok} = i_1 - i'_2 = c_v(T_1 - T_2),$$

bu yerda:  $c_v$  — o'zgarmas hajmdagi gazning issiqlik sig'imi;  
 $i_1 - i'_2$  — kengayish boshi va oxiridagi entalpiya;  
 $T_1 - T_2$  —  $1-2$  nuqtadagi absolut temperatura.

Siklga keltirilgan issiqlik miqdori  $T-S$  diagrammada  $c-4-l-d$  yuza bilan belgilanadi:

$$q_1 = c_p(T_1 - T_4).$$

Haqiqiy jarayonda kompressorda gazning siqilishi va turbinada kengayishidagi ish miqdori:

$$l_k = c_p(T_4 - T_3);$$

$$l_t = c_p(T_1 - T_2).$$

Kompressor ichki FIK:

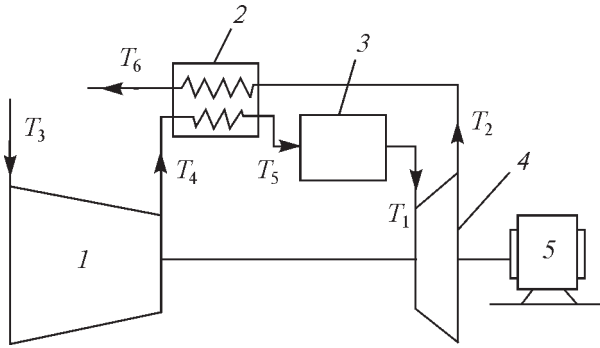
$$\eta_k = l_{ok}/l_k = (T'_4 - T_3)/(T_4 - T_3).$$

## 11.2. REGENERATSIYALI GAZ TURBINA QURILMALARI

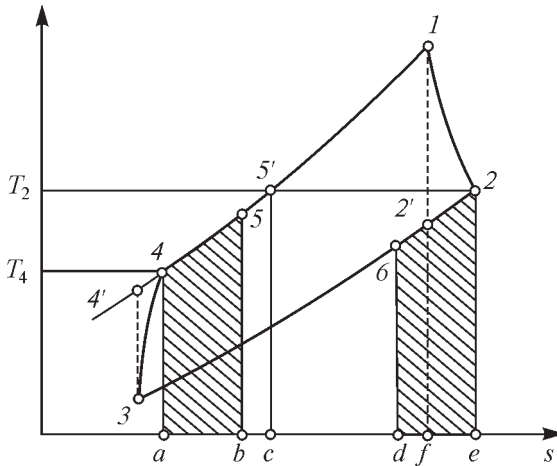
GTQ iqtisodiy samaradorligini oshirish yo'llaridan biri turbinada ishlatiladigan gazlarni yonish kamerasidagi havoni qizdirish uchun ishlatishdir. Buning uchun kompressordan chiquvchi havoni regeneratör (havo qizdiruvchi)dan o'tkaziladi. Xuddi shu regeneratör ga gaz turbinasidan chiquvchi ishlatilgan issiq havo yuboriladi, u o'z issiqligini issiqlik almashinuvi orqali uzatadi va atmosferaga chiqib ketadi (11.3-rasm).

Bu jarayonning  $T-S$  diagrammasidagi jarayoni quyidagicha bo'ladi (11.4-rasm):

- 3—4 — kompressorda havoning siqilishi;
- 4—5 — regeneratörda havoning o'zgarmas bosimda qizishi;
- 5—1 — yonish kamerasida  $p = \text{const}$  issiqlik uzatilishi;



11.3-rasm. Regeneratsiyali gaz turbina qurilmasi sxemasi.



11.4-rasm. Regeneratsiyali gaz turbina qurilmasining  $T-S$  diagrammasi.

- 1—2 — turbinada havoning kengayishi;
- 2—6 — regeneratorda ishlatilgan gazlarning issiqlik almashinuvi;
- 6—3 — atmosferaga chiqariladigan gazlarning izobarik sovishi;
- $q_1$  — 1 kg — havoning regeneratorda olgan issiqlik miqdori;
- $q_2$  — 1 kg — gazning havoga uzatgan issiqlik miqdori

$$q_1 = c_p(T_5 - T_4);$$

$$q_2 = c_p(T_2 - T_4).$$

Regeneratsiya paytida bosim oshirish darajasining optimal qiymati tushadi. Shuning uchun regeneratsiyaning qo‘llanilishi FIKning

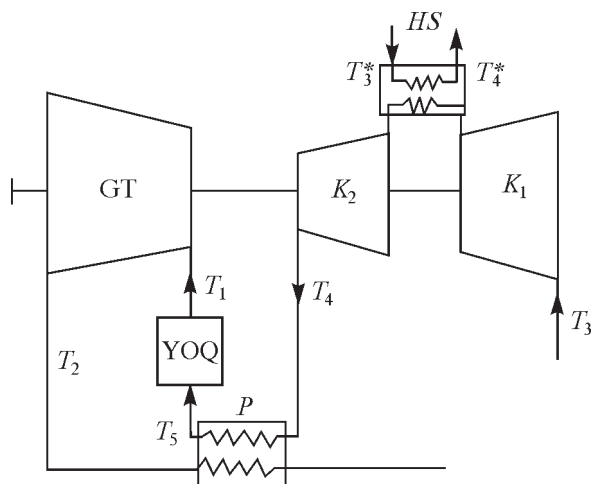


oshishiga olib keladi. Bu turdagi GTQning FIK  $\eta = 0,87 - 0,89$  ga teng. Lekin regeneratsiyaning optimal qiymati olinmasa, regeneratorning yuzasi ortib, metall isrofiga olib kelishi yoki uning aksi bo'lishi mumkin. Bu holni regeneratsiya darajasi xarakterlaydi. Regeneratsiya darajasi  $R < 0,5$  dan kichik bo'lsa, regeneratsiya qo'llanilishidan iqtisodiy samara olinmaydi.

Zamonaviy GTQlarida bu daraja 0,6—0,8 ga teng. Bunda yoqilg'i 22—28% iqtisod qilinadi, chunki yonish kamerasida havoni qizdirish uchun kam yoqilg'i sarf etiladi. Regeneratsiya darajasi texnik iqtisodiy taqqoslash yo'li bilan kompressor FIK boshlang'ich temperatura, gabarit ko'rsatkichlar, ish rejimi e'tiborga olinib qabul qilinadi.

### 11.3. HAVONI POG'ONALI SIQISH VA POG'ONALI YONDIRISHLI GAZ TURBINA QURILMALARI

GTQlarida havoni siqish uchun ketadigan ishni kamaytirish uchun har bir pog'onada havoni sovitish yo'li bilan siqiladi. Bu jarayonlarni oraliq sovitgich (xolodilnik)larda amalga oshiriladi. Qancha ko'p sovitgichli pog'onalar bo'lsa, sikl izotermaga yaqin bo'ladi va kam ish sarf bo'ladi, lekin qurilmaning murakkabligi, qimmatligi va gidravlik qarshiliklari oshishi tufayli quvvat tushadi. Shuning uchun sanoatda GTQ, asosan, ikki pog'onali va kamdan kam uch pog'onali bo'lishi mumkin (11.5-rasm).



11.5-rasm. Havoni pog'onali siqishli gaz turbina qurilmasi sxemasi.

Atmosferadan havo  $K_1$  kompressor orqali soʻrib olinadi va  $Z$  kerakli bosimni siqib, temperaturasi oshirib beradi. U yerdan havo sovitgichga kelib, oʻzgarmas bosimda  $T_3$  temperaturagacha soviydi va  $K_2$  kompressorga kelib tushadi.  $K_2$  da yana  $R_4$  siqiladi, temperaturasi oshadi.  $T_4$  regeneratorda temperaturasi oshgan havo  $T_5$  yonish kamerasiga kelib tushadi. U yerdan kerakli bosim va temperatura olgach, turbinaga tushadi, ish bajarib, yana regeneratordan orqali atmosferaga chiqarib yuboriladi.

Bu qurilma ichki FIK:

$$\eta_0 = l_1 / q_{\text{sov}},$$

bu yerda:  $l_1$  — GTQ ichki foydali ishi;

$q_{\text{sov}}$  — yonish kamerasiga uzatilgan issiqlik miqdori.

$$l_1 = l_t - l_{k1+k2}$$

Jarayonning  $T-S$  diagrammasi 11.6-rasmda koʻrsatilgan.

$3-4^*$  — birinchi kompressorda havoning siqilish jarayoni;

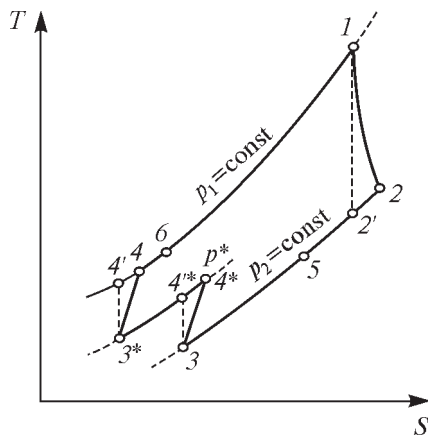
$3^*-4$  — ikkinchi kompressorda havoning siqilishi;

$4^*-3^*$  — havo sovitgichida havoning sovishi;

$4-5$  — regeneratorda havoning qizishi;

$5-1$  — yonish kamerasida issiqlik uzatilishi;

$1-2$  — turbinada havoning kamayishi;



11.6-rasm. Havoni pogʻonali siqishli gaz turbina qurilmasining  $T-S$  diagrammasi.

2—3 — ishlatilgan havoning regeneratorga uzatilishi va atmosfera chiqarilishdagi issiqlik almashinuvi.

Bu sikl regeneratsiyadagi siklga nisbatan ko‘proq samara beradi. Oraliq sovitgichlari o‘rnatilishi qurilma FIK oshishiga va ishlovchi gaz miqdorini kamaytirishga olib keladi.

GTQ iqtisodiy samarasini oshirish oraliq pog‘onalardagi yonish kameralarida yoqilg‘ini yoqish hisobiga bo‘lishi mumkin (11.7-rasm).

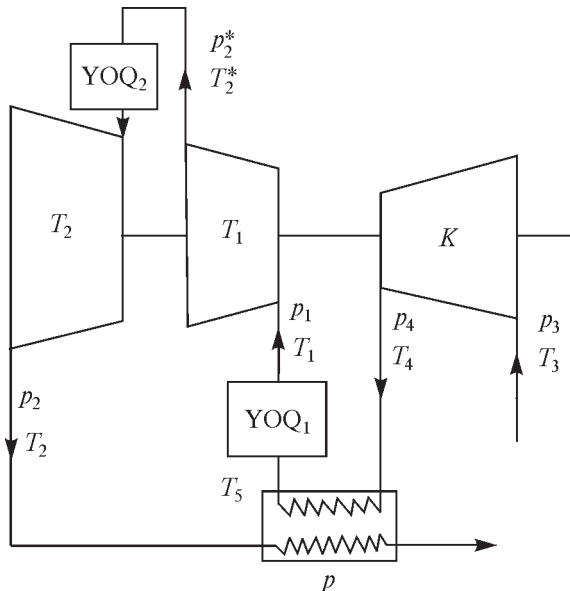
Havo kompressor orqali regeneratorga tushadi, u yerdan kerakli bosim va temperatura olib, birinchi yonish kamerasida yonadi. Yonish gazlari birinchi turbinaga kelib kengayadi. Birinchi turbinada ishlagan gazlar ikkinchi yonish kamerasiga kelib tushadi, bu yerda: qo‘shimcha issiqlik olib (yonish hisobiga) ikkinchi turbinaga tushadi. Turbinada kengayib, regenerator orqali chiqarib yuboriladi.

Bu turdagi GTQning FIK:

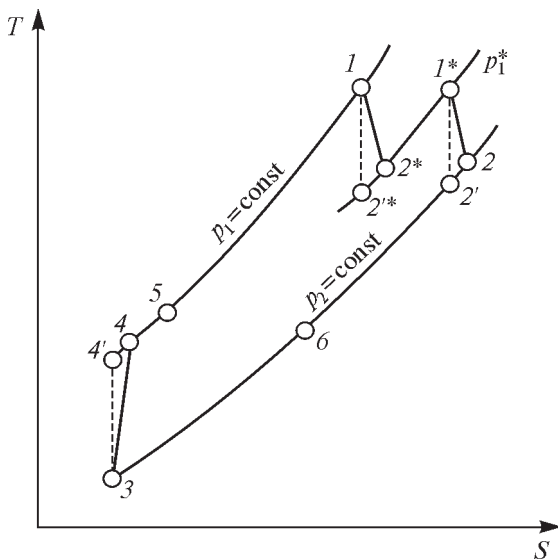
$$\eta_0 = l_1/q_{n1} + q_{n2},$$

bu yerda:  $l_1$  — GTQ ichki foydali ishi;

$q_{n1}$ ,  $q_{n2}$  — birinchi va ikkinchi yonish kameralarida olingan issiqlik miqdori.



11.7-rasm. Yoqilg‘ini pog‘onali yondirishli gaz turbina qurilmasi sxemasi.



11.8-rasm. Yoqilg'ini pog'onali yondirishli gaz turbina qurilmasining  $T-S$  diagrammasi.

Jarayonning  $T-S$  diagrammasi 11.8-rasmda ko'rsatilgan.

3—4 — kompressorda havoning siqilishi;

4—5 — regeneratorda havoning qizishi;

5—1 — birinchi yonish kamerasida issiqlik ajralishi;

1—2\* — birinchi turbinada gazning kengayishi;

2\*—1\* — ikkinchi yonish kamerasida issiqlik ajralishi;

1\*—2 — ikkinchi turbinada gaz kengayishi;

2—6 — regeneratorda gazning issiqlik uzatishi;

6—3 — ishlatilgan gazning atmosferaga chiqarishidagi issiqlik chiqarilishi.

Oraliq pog'onalarda sovitish kabi bu tipdagi qurilmalarda yonish kameralari asosan 2 pog'onali qilib olinadi. U to'rt yonish kamerali qilib olish FIK aydarlik oshmasligini va qurilma murakkab bo'lib ketishini ko'rsatadi.

Yuqori quvvatli GTQ ishlab chiqarishda ba'zan pog'onali sovitish va pog'onali qizdirish sxemalarini birgalikda qo'llaniladi. Bu sxema qurilma murakkab bo'lishiga qaramasdan, yuqori FIK va optimal bosim orttirish darajasi hamda ishlatiladigan havo miqdorining kamligi bilan ham xarakterlanadi.

## 11.4. TURBINALARDA ISHLATILADIGAN MATERIALLAR

Turbina kuraklari, rotorlari yuqori temperatura va bosimda ishlashi tufayli ularning detallarini ishlab chiqarilishiga yuqori talablar qo‘yiladi. Ishlatiladigan materiallar yaxshi mexanik, korroziyaga chidamlilik, mustahkamlik xususiyatlariga, yuqori quvvatlarda va temperaturada doimiy mavjud plastik deformatsiyalarga chidamli bo‘lishi kerak. Bunda metall oquvchanligi bo‘lmasligi kerak. Turbina detallarini tayyorlashga ishlatiladigan materiallar oldin termik, mexanik deformatsiyalarga tekshirib ko‘riladi. Bu detallarning uzoq ish rejimida ishlashiga kafolat beradi.

Turbina detallariga ishlatiladigan materiallar asosan uch guruhga bo‘linadi:

Birinchi guruh 820—870 K (545—595°C) temperaturalarda ishlash uchun mo‘ljallangan materiallar. Bularga kam uglerodli, kam va o‘rta chegaralangan, perlit va martensit klassli po‘latlar kiradi. Ular plastik, egiluvchan va oson ishlov berilishi bilan xarakterlanadi. Chiziqli kengayish koeffitsiyenti kamligi va issiqlik o‘tkazuvchanligining yuqoriligi detallarda issiqlik kuchlanishlarini tushirish va intensiv issiqlik uzatishini ta‘minlaydi. Perlit po‘lat klassiga kiruvchi materiallardan ko‘p qo‘llaniladigan xromnikelmolibdenli ЭИ-395 va xromvolframolibden vanadiyli ЭИ-415 po‘latlar 820 K da ishlovchi rotorlarni ishlab chiqishda qo‘llaniladi. Po‘lat tarkibida molibden 0,5—1,0% bo‘lishi uning oquvchanligini kamaytiradi, xrom po‘latning korroziyaga qarshi kimyoviy mustahkamligini oshiradi. Qo‘shimcha yuqori temperaturalarda martensit klassiga kiruvchi yuqori xromli modifikatsiyalangan zanglamas po‘lat qo‘llaniladi. Uning tarkibida molibden, volfram, vanadiy, niobiy va titan elementlari bo‘ladi.

Ikkinchi guruhga 920—970 K (645—695°C) temperaturalarida qo‘llash uchun ishlatiladigan materiallar kiradi. Bularga austenit klassiga kiruvchi yuqori issiqbardosh korroziyaga chidamli po‘latlar kiradi. Lekin bu tipdagi materiallar qator kamchiliklarga ega: bular ishlovga qiyin berilishi, issiqlik oshishi bilan mustahkamligi oshmasligi, chiziqli kengayish koeffitsiyentining kattaligi, issiqlik o‘tkazish koeffitsiyentining kamligi, qimmatligi va h. k. Po‘lat tarkibiga nikel, volfram, molibden kabi qimmatbaho elementlar kiradi. Austenit klassiga kiruvchi ЭИ-405, ЭИ-612 markali po‘latlar rotor detallari, ishchi va yo‘naltiruvchi kuraklar tayyorlashda ishlatilishi mumkin.

Uchinchi guruhga 920—970 K dan yuqori temperaturalarda ishlovchi detallar tayyorlashda ishlatiladigan materiallar kiradi. Bu

guruhga nikel, xrom, kobalt, temir elementlaridan iborat qotishmalar (splav) kiradi. Bular ichida nikel va xrom ko‘p miqdorda bo‘lgan qotishmalar ko‘p ishlatiladi. ЭИ-765, 437, 607, 893 markali qotishmalar gaz turbinasi ishchi kuraklari yasashda qo‘llaniladi.

Lekin, ko‘pincha, II va III guruhlar materiallari qimmat va mo‘rt bo‘lmasligi uchun I guruh materiallari qo‘llaniladi. Yuqori temperaturada materiallarni oquvchanligini yo‘qotish uchun, ko‘pincha, *sovitish sistemalari* qo‘llaniladi. Sovitish sistemalari *ichki va tashqi* bo‘lishi mumkin. Ichki sovitish sistemalari deb, qurilmadagi ma‘lum bir elementni sovitish uchun qo‘yiladigan sistemalarga aytiladi.

Tashqi sovitish sistemalari deb, qurilma bir necha elementlarini sovitish uchun qo‘llaniladigan sistemalarga aytiladi.

Turbina ichki FIK:

$$\eta_{oi} = l_v/l_{ot} = (T_1 - T_2)/(T_1 - T'_2).$$

Gaz turbina qurilmasi bajargan haqiqiy ish:

$$l_i = l_t - l_k.$$

## **11.5. GAZ TURBINA QURILMALARINING ASOSIY KO‘RSATKICHLARI**

Bug‘ turbinasi kabi gaz turbinasida ham ko‘plab *yo‘qotishlar* bo‘ladi. Ularni *ichki va tashqi yo‘qotishlarga* ajratiladi.

Ishchi jismining holatiga ta‘sir etuvchi yo‘qotishlar ichki yo‘qotishlar, ta‘sir etmaydigan yo‘qotishlar tashqi yo‘qotishlar deyiladi.

Ichki yo‘qotishlarga kompressor va turbina ichidagi ishqalanish, ventilatsiya, qaytish issiqligi, tirqishlardagi, kuraklardagi, pog‘onalardagi yo‘qotishlar kiradi. Bundan tashqari, ichki yo‘qotishlarga yonish kamerasidagi issiqlik yo‘qotilishi, gidravlik qarshiliklar, regeneratordagi, havo quvurlaridagi, sovitish sistemasidagi yo‘qotishlarni ham kiritish mumkin.

Bu yo‘qotishlarning barchasi e‘tiborga olinadi. Ularni topish uchun muhandislik hisoblarida nomogrammalar, grafiklar, jadvallardan foydalaniladi. Masalan, kompressordagi ichki yo‘qotishlar kompressor ichki FIK bilan ifodalanadi, turbinadagi yo‘qotish esa ichki FIK bilan ifodalanadi. Yonish kamerasidagi ichki yo‘qotishlar yonish kamerasi issiqlik FIK bilan ifodalanadi.

Gaz turbina qurilmasining ichki yo‘qotishlari uning barcha qurilmalari ichki yo‘qotishlari yig‘indisidir:

$$q_y = \Sigma q_i.$$

Gaz turbina qurilmasi ichki FIK orqali ham bu yo‘qotishlarni ifodalash mumkin:

$$\eta_i = l_g/q_y,$$

bu yerda:  $q_y$  — havoni ishlatish uchun ketgan barcha issiqlik yo‘qotishlari miqdori;

$l_g$  — gaz turbina qurilmasi bajargan ichki foydali ish.

Gaz turbina qurilmalarining ko‘rsatkichlaridan biri boshlang‘ich temperaturadir. Atmosfera temperaturasining o‘zgarib turishi GTQ quvvatiga va iqtisodiga ta’sir qiladi. Temperatura oshishi bilan havo nisbiy hajmi ortadi va uni kompressorda siqish uchun ketadigan ish miqdori ham ortadi, bunda qurilma quvvati pasayadi. Amalda GTQ FIKini oshirish uchun turbinaga tushayotgan gaz temperaturasi oshiriladi. Termodinamik hisoblar ham turbina oldi gaz trakti temperaturasi oshishi qurilma FIKi oshishini ko‘rsatadi. Hozirgi turbinalarda bu temperatura 1300—1500°C ni tashkil etadi. Mavjud issiqbardosh materiallar bundan yuqori temperaturani ko‘tara olmaydi. Ayrim maxsus turbinalar, masalan, aviaturbinalarda temperatura 1500°C dan ortadi.

Aslida, boshlang‘ich temperaturaning qabul qilinishi shu qurilma yoqilg‘isi ish rejimi, iste’molchi turi, iste’mol miqdori va h. k.larga bog‘liq. Masalan, tarkibida vanadiy miqdori ko‘p bo‘lgan mazut yoqilganda korroziyani kamaytirish uchun temperatura pastroq bo‘lishi kerak va bu FIK tushishiga olib keladi.

Gaz turbina qurilmasi ko‘rsatkichlaridan biri bu bosim oshirish darajasidir, ya’ni kompressordagi bosim va turbinadagi gaz bosimi orasidagi bog‘liqlikdir. Bosim oshirish darajasi temperaturaga, kompressor va turbina FIK, ishlash rejimi, yoqilg‘i ko‘rsatkichlariga bog‘liq. Optimal bosim oshirish darajasini topish qiyin. Injenerlik hisoblarida nomogrammadan foydalaniladi. Bu ko‘rsatkich FIK oshishiga to‘g‘ri proporsional.

Foydali ish koeffitsiyenti (FIK) — gaz turbina qurilmasi foydali ishi va turbina bajarayotgan ish nisbatini belgilaydi:

$$\delta = l_v/l_t = (l_t - l_k)/l_t,$$

bu koeffitsiyent qancha katta bo'lsa, gaz turbina qurilmasi kompressorida siqish uchun shuncha kam ish sarflanadi.

Gaz turbina qurilmasi ichki quvvati:

$$N_i = G_h l_i,$$

bu yerda:  $G_h$  — qurilmadagi havo miqdori;

$l_i$  — GTQ ichki foydali ishi.

GTQ uchun solishtirma havo miqdori, solishtirma issiqlik miqdori, solishtirma yoqilg'i miqdori ham asosiy ko'rsatkich hisoblanadi.

Solishtirma havo miqdori — qurilmada bir soatlik havo miqdorining foydali quvvatga nisbatini bildiradi va qurilma o'lchamlarini xarakterlaydi. Solishtirma havo miqdori qancha kichik bo'lsa, qurilma o'lchamlari ham shuncha kichik bo'ladi:

$$d_1 = 3600 G_h/N_i.$$

Solishtirma issiqlik miqdori — qurilma iqtisodliligini ko'rsatadi. U 1 kW/soat foydali energiya chiqarish uchun sarflangan issiqlik miqdoriga teng:

$$q = 3600/\eta.$$

Solishtirma yoqilg'i miqdori shu qurilma uchun yoqilg'i turini belgilash uchun xizmat qiladi:

$$g_i = q_i/Q_q^r,$$

bu yerda:  $Q_q^r$  — yoqilg'ining quyi yonish issiqligi.

GTQ tashqi yo'qotishlariga turbina va kompressor podshipniklaridagi ishqalanishdagi yo'qotishlar, val zichlagichlari orasidan yo'qoladigan yo'qotishlar, yordamchi qurilmalarga ketadigan energiya yo'qotishlari va h. k.lar kiradi.

Tashqi yo'qotishlar mexanik FIK orqali ifodalanadi:

$$\eta_m = l_e/l_i,$$

bu yerda:  $l_e$  — GTQ effektiv ishi,

$$l_e = l_v/l_m.$$



Gaz turbina qurilmasi iqtisodiy samaradorligini oshirishning yoʻllari koʻp:

1) turbinada ishlatilgan gaz issiqligini qayta qoʻllash (regeneratsiya qilish);

2) havoni oraliq pogʻonalarida sovitish yoʻli bilan siqish;

3) bir necha valli qurilma yaratish;

4) ham bugʻ havo sikli, ham porshenli yonuv kamera siklida ishlovchi kombinatsiyalangan qurilma yaratish;

5) havo gaz aralashmasini oldindan qizdirib berish.

Hozirgi paytda bu yoʻnalishlarning hammasi qoʻllanilmoqda.

## **11.6. GAZ TURBINA QURILMALARINING YONISH KAMERALARI**

Yonish kamerasi GTQning asosiy elementi boʻlib, unda yoqilgʻi yonishi hisobiga siqilgan havo kerakli temperaturagacha qizdiriladi. Yonish kameralariga quyidagi talablar qoʻyiladi:

1) GTQ barcha ish rejimida yonish kamerasida yoqilgʻi yonishi barqaror boʻlishi kerak. Alanganing uzilishi, pulsatsiyasi, kamayishi taqiqlanadi;

2) turbina oldidagi havo oqimining barcha kesimlarida bir xil temperatura maydoni hosil qilinishi shart;

3) uzluksiz ish rejimini taʼminlash uchun maxsus sovitish sistemalari bilan taʼminlanishi shart;

4) GTQ barcha ish rejimlarida kam yoqilgʻi bilan koʻp issiqlik olinishi shart;

5) gidravlik qarshiliklar kam boʻlishi kerak;

6) konstruktiv jihatdan sodda, ishlatishga qulay, arzon boʻlishi kerak;

7) yengil va ixcham boʻlishi kerak.

Yonish kameralari tabiiy gaz va suyuq yoqilgʻilarda ishlaydi. Ogʻir hajmiy massaga ega boʻlgan mazutlarni qoʻllash baʼzi bir qiyinchiliklar tugʻdiradi, uning tarkibidagi vanadiy, natriy, oltingugurt kamera ishchi detallarini korroziyaga olib keladi.

Yonish kameralari quyidagi koʻrsatkichlar bilan xarakterlanadi:

1. Kamera issiqlik ishlab chiqarish qobiliyati:

$$Q_k = BQ_q^p,$$

bu yerda:  $B$  — ishlatiladigan yoqilgʻi miqdori;

$Q_q^p$  — yoqilgʻining quyi yonish issiqligi.

2. Hajmiy issiqlik kuchlanishi — kamera yuzasining samarali ishlatilishini tavsiflaydi:

$$q = Q_k / V_k,$$

bu yerda:  $V_k$  — yonish kamerasi hajmi.

Yonish kamerasidagi energiya sarfi va bosim sarfi ham asosiy ko'rsatkichlardan hisoblanadi.

Ichki FIK orqali energiya sarfi xarakterlanadi. Bosim sarfi 1—3%, ba'zan 10% gacha bo'ladi.

Mavjud yonish kameralari quyidagi tiplarga bo'linadi:

- a) individual;
- b) seksiyali ko'p quvurli;
- d) halqasimon;
- e) quvurli-halqasimon.

## 11.7. GTQ ISSIQLIK ALMASHISH QURILMALARI

GTQda issiqlik almashish qurilmalari, asosan, regenerator, sovitkich vazifalarini bajarish uchun xizmat qiladi. Bu apparatlarga qo'yiladigan asosiy talab: kichik hajmga ega bo'lgan holda issiq jismdan sovuq jisimga mumkin qadar ko'proq issiqlik uzatish.

GTQlarida regenerativ va rekuperativ tiplari qo'llaniladi. Ular, o'z navbatida, quvurli va plastinkali bo'ladi. Bularning hammasi GTQda ishlatiladi.

## 11.8. GTQ KOMPRESSORLARI

GTQda o'q yo'nalishli va markaziy yo'nalishli kompressorlar qo'llaniladi.

O'q yo'nalishli kompressorlar yuqori va o'rta quvvatli qurilmalarda ko'proq qo'llaniladi. Ular yuqori ishlab chiqarish quvvatiga ega (430 – 450 kg/s, FIK  $\eta = 0,83 - 0,9$ ), GTQ uchun kerakli bosim darajasini beradi va kompakt bo'ladi.

O'q yo'nalishli kompressorlarning kamchiliklaridan asosiysi uning ko'p pog'onaliligidir. Bu esa uning konstruksiyasining murakkablashishiga va uzayishiga olib keladi.

Kompressorlar ishlash prinsipi jihatidan turbinaning aksini ifoda etadi. Unda kompressor rotoriga uzatilgan energiya havoga kinetik

energiya berish hisobiga sarf bo‘ladi va uning kuraklarida bosimga aylanadi.

Amalda reaktiv pog‘onali kompressorlar ham ishlatiladi.

Markaziy yo‘nalishli kompressorlar, asosan, bir pog‘onali va kamdan kam ikki pog‘onali bo‘ladi.

O‘q yo‘nalishli kompressorga nisbatan markaziy yo‘nalishli kompressorlar quyidagi afzalliklarga ega:

1) o‘q yo‘nalishiga nisbatan uzunligining kamligi. Bu bosim oshirish darajasining yuqoriligi hisobiga bo‘ladi;

2) konstruksiyasi soddaligi va mustahkamligi;

3) oquv qismining silliqiligiga kam talabchanligi;

4) ish rejimida ko‘rsatilmagan parametrga chiqqanida FIK birdan tushib ketmasligi.

Shu afzalliklar kam quvvatli qurilmalarda markaziy yo‘nalishli kompressorlarni ko‘p qo‘llanilishiga olib keldi. Ular ichki yonuv yuritgichlarida ishlatiladi.

## ADABIYOTLAR

1. *Шляхин П. Н.* Паровые и газовые турбины. — М.: «Госэнергоиздат», 1986.
2. *Цанев С. В., Буров В. Д. и др.* Газотурбинные и парогазовые установки электростанций. — М.: МЭИ, 2002.
3. *Шегляев А. В.* Паровые турбины. — М., «Госэнергоиздат», 1985.
4. *Манушин Э. А.* Газовые турбины: проблемы и перспективы. М., «Энергоатомиздат», 1986.
5. *Шляхин П. Н.* Особые режимы работы паровой турбины. — М.: «Госэнергоиздат», 1981.
6. *Блюдов В. П.* Конденсационные устройства паровых турбин. — М.: «Госэнергоиздат», 1981.
7. Под ред. *А. Г. Костюка.* Паровые и газовые турбины. М., 1987.
8. *М. М. Зуб.* Паровые турбины. Методическое указание к курсовому проектированию, 1989 г.
9. *Мухиддинов Д. Н., Матжанов Э. К., Шаисламов А. Ш.* Анализ вариантов расширения Тахиаташской ГРЭС с газотурбинной установкой LM5000РС фирмы General Electric // Ташкент, Вестник, 2002, № 4, стр. 46—49.
10. *Матжанов Э. К., Мухиддинов Д. Н., Исмаходжаев С. К.* Исследование вариантов модернизации Тахиаташской ТЭС с включением газотурбинных установок фирмы Siemens. «Промышленная энергетика», Россия, Москва, 2006, № 10.
11. *Матжанов Э. К., Мухиддинов Д. Н.* Показатели тепловой экономичности парового котла ТГМ-151Б Тахиаташской ТЭС при работе в составе парогазовой установки сбросного типа. «Национальная конференция по теплоэнергетике». Сборник статей международной научной конференции, Россия, Казань, 5—8 сентября 2006.

12. *Матжанов Э. К., Мухиддинов Д. Н.* О возможных вариантах реконструкции паротурбинных ТЭС по парогазовому циклу // «Высокие технологии XXI века и развитие высшего технического образования». II Xalqaro ilmiy konferensiya maqolalari to'plami, Toshkent, ToshDTU, 2004. 27—28-апрел.

13. *Matjanov E. K.* Feasibility study of use the gas turbine toppings for Takhiatash steam cycle power plant. «Стратегия качества в промышленности и образовании» nomli II Xalqaro ilmiy konferensiya ilmiy maqolalari to'plami, Varna Texnika universiteti, Bolgariya, 2006. 2—9-iyun, 267—269-betlar.

14. *Матжанов Э. К.* Анализ вариантов модернизации Тахиаташской ТЭС с включением ГТУ V64.3 i V64.3A фирмы Siemens // «Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов» nomli uchinchi Butunrossiya ilmiy konferensiya maqolalari to'plami, Rossiya, Blagoveshchensk, 2003. 14—16-may, II tom, 267—269-betlar.

15. *Matjanov E. K., Tursunov A. S.* Gaz turbina qurilmalarining ekologik afzalliklari. // «Energetika muammolari» xalqaro ilmiy-amaliy anjuman maqolalari to'plami. 2004. 23-dekabr, ToshDTU.

## MUNDARIJA

SO‘ZBOSHI.....	3
KIRISH .....	4
<b>1-bob. BUG‘ TURBINALARI HAQIDA UMUMIY MA‘LUMOTLAR.....</b>	<b>6</b>
1.1. Bug‘ turbinalarining guruhlanishi .....	6
1.2. Bug‘ turbinasining ishlash prinsipi .....	7
<b>2-bob. ISHCHI KURAKCHALARDA ENERGIYANING BIR TURDAN BOSHQA TURGA AYLANISHI .....</b>	<b>11</b>
2.1. Aktiv pog‘ona .....	11
2.2. Reaktiv pog‘ona .....	14
2.3. Erkin reaktivlik darajali pog‘ona .....	18
<b>3-bob. TURBINA POG‘ONALARIDAGI YO‘QOTISHLAR.....</b>	<b>20</b>
3.1. Yo‘qotishlarning guruhlanishi .....	20
3.2. Ichki yo‘qotishlar .....	20
3.2.1. Klapanlardagi yo‘qotishlar .....	20
3.2.2. Soplolardagi yo‘qotishlar .....	21
3.2.3. Ishchi kurakchalardagi yo‘qotishlar .....	21
3.2.4. Ishchi kurakchalardan chiqish tezligidagi yo‘qotishlar .....	22
3.2.5. Disk ishqalanishi va ventilatsion yo‘qotishlari .....	23
3.2.6. Aktiv turbina ichki tirqishidagi yo‘qotishlar .....	24
3.2.7. Bug‘ namligidagi yo‘qotishlar.....	26
3.2.8. Chiqish quvuridagi yo‘qotishlar .....	26
3.3. Tashqi yo‘qotishlar .....	27
3.3.1. Mexanik yo‘qotishlar .....	27
3.3.2. Val zichlagichlari orasidan chiqadigan yo‘qotishlar .....	27
<b>4-bob. BUG‘ TURBINA QURILMALARI .....</b>	<b>28</b>
4.1. Bug‘ turbina qurilmasi haqida umumiy ma‘lumotlar.....	28
4.2. Bug‘ turbinasi qurilmalarining energetik ko‘rsatkichlari .....	30
<b>5-bob. BUG‘ TURBINASINING FIK VA QUVVATI.....</b>	<b>33</b>
5.1. Bug‘ turbinasining FIK va quvvati .....	33
5.2. Turbinaga bug‘ va issiqlik sarfi.....	35

<b>6-bob. BUG‘ TURBINALAR ISH REJIMLARI</b> .....	37
6.1. Umumiy ma’lumotlar .....	37
6.2. Drosselli bug‘ taqsimlash .....	37
6.3. Soploli bug‘ taqsimlash .....	39
6.4. Tashqi bug‘ taqsimlash .....	39
6.5. Bug‘ turbinalarning energetik xarakteristikalari .....	39
<b>7-bob. BUG‘ TURBINASINING ISSIQLIK HISOBI</b> .....	43
7.1. Loyihalanayotgan turbinaga qo‘yiladigan asosiy talablar .....	43
7.2. Ko‘p pog‘onali aktiv turbinaning dastlabki issiqlik hisobi .....	43
7.3. Bug‘ kengayishining $h-s$ diagrammada dastlabki tasvirlanishi ...	44
7.4. Turbinaga beriladigan bug‘ sarfini aniqlash .....	47
7.5. Rostlanuvchi pog‘onani tanlash uchun ko‘rsatma .....	48
7.6. Ikki qator kurakchali rostlanuvchi pog‘ona issiqlik hisobi va <i>U/C</i> ning optimal qiymatini tanlash .....	49
7.7. Rostlanmaydigan pog‘onaning issiqlik hisobi .....	54
7.7.1. Birinchi va oxirgi rostlanmaydigan pog‘onalar diametrini hisoblash .....	54
7.8. Pog‘onalar sonini aniqlash va issiqlik tushishini ular o‘rtasida taqsimlash .....	56
7.9. Bosim pog‘onasining hisobi .....	57
7.10. Rotorga ta’sir qilayotgan bo‘ylama o‘q kuchlarini hisoblash .....	59
<b>8-bob. BUG‘ TURBINALAR KONSTRUKSIYASI</b> .....	61
8.1. Kichik va o‘rta quvvatli turbina konstruksiyasini tanlash.....	61
8.2. Katta quvvatli turbina konstruksiyasini tanlash .....	62
8.3. K-300-240 XTT3 bug‘ turbinasi .....	63
8.4. K-300-240 JIM3 bug‘ turbinasi .....	65
<b>9-bob. BUG‘ TURBINASINI ROSTLASH VA MOYLASH SXEMALARI</b> .	67
9.1. Rostlash to‘g‘risidagi asosiy tushunchalar .....	67
9.2. Bilvosita rostdash sxemalari .....	69
9.3. Bug‘ turbinasini aylanishlar soni ortib ketishidan himoyalash .....	71
9.4. Turbinani moy bilan ta’minlash sxemalari .....	73
<b>10-bob. BUG‘ TURBINALARINING KONDENSATSION QURILMALARI</b> .....	75
10.1. Kondensatorlar .....	75
10.2. Kondensatsion qurilmaning ish tartibi .....	77
10.3. Havo so‘ruvchi qurilmalar .....	79
<b>11-bob. GAZ TURBINA QURILMALARI</b> .....	83
11.1. Gaz turbinalari .....	83

11.2. Regeneratsiyali gaz turbina qurilmalari .....	86
11.3. Havoni pog'onali siqish va pog'onali yondirishli gaz turbina qurilmalari .....	88
11.4. Turbinalarda ishlatiladigan materiallar.....	92
11.5. Gaz turbina qurilmalarining asosiy ko'rsatkichlari .....	93
11.6. Gaz turbina qurilmalarining yonish kameralari .....	96
11.7. GTQ issiqlik almashish qurilmalari.....	97
11.8. GTQ kompressorlari .....	97
ADABIYOTLAR.....	99



**D. N. MUHIDDINOV, E. K. MATJANOV**

## **ISSIQLIK ELEKTR STANSIYALARINING TURBINALI QURILMALARI**

*Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma*

«SHARQ» nashriyot-matbaa aksiyadorlik  
kompaniyasi Bosh tahririyati  
Toshkent — 2007

Muharrir	<i>O'. Husanov</i>
Badiiy muharrir	<i>J. Gurova</i>
Tex. muharrir	<i>A. Solihov</i>
Musahhihlar:	<i>M. Qosimova, A. Zokirov</i>
Kompyuterda tayyorlovchi	<i>K. Goldobina</i>

Bosishga 24.08.07 da ruxsat etildi. Bichimi  $60 \times 90^{1/16}$ .  
«Tayms» garniturada ofset bosma usulida bosildi. Shartli b. t. 6,5.  
Nashr t. 6,7. Jami 1000 nusxa. 246-raqamli buyurtma.

«ARNAPRINT» MChJ bosmaxonasida bosildi.  
100182, Toshkent, H. Boyqaro ko'chasi, 41.