

**O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi  
Qarshi Muxandislik Iqtisodiyot instituti**

**Muallif: [Xo'jaqulov S. M.](#)**

***IES bug' va gaz turbinalari fanidan ma'ruzalar matni***



**Qarshi - 2003**

So‘zboshi.

1 – Mavzu. Kirish. Bug‘ turbinasi haqida umumiy tushunchalar.

2 – mavzu: Bug‘ turbina pog‘onasida issiqlik jarayoni.

3 - mavzu: Ishchi parraklarida energiya o'zgarishi.

4 – mavzu: Turbina pog‘onasining issiqlik hisobi tartibi.

5- Mavzu. Turbinada yo‘qotishlar tasnifi.

6 – Mavzu: Bug‘ turbinasining foydali ish ko‘effitsiyenti (FIK), uning quvvati va bug‘ sarfi.

7 – Mavzu: Ko‘p pog‘onali turbinalar.

8 – mavzu. Turbinaning ish rejimlari.

9 – Mavzu. Turbinani roslash va uning moy ta'minoti.

10 – Mavzu. Elektr va issiqlik energiyasini kombin i/ch turb.

Adabiyotlar

## **So‘z boshi.**

Issiqlik elektr stantsiyalarida issiqlik energiyasining mexanikaviy energiyaga aylantirishda qo‘llaniladigan asosiy dvigatel – bug turbinasi hisoblanadi.

Issiqlik energetikasi yo‘nalishida taxsil oladigan talabalar uchun bug‘ turbinasining tuzilishi, ishlash printsiipi va unda sodir bo‘ladigan termodinamik jarayonlarni o‘rganish hamda tahlil qilish muhim ahamiyatga egadir. CHunki hozirgi vaqtda IESlarda quvvati 300, 500, 800 MVt bo‘lgan yuqori kritik parametrlarga ega bug‘da ishlaydigan turbinalar ishlatilmoqda. Bug‘ turbinali qurilmalarning samaradorligini oshirish, yoqilg‘i sarfini kamaytirish, atrof muxitni zararli chiqindilardan himoyalash kabi dolzarb muammolarni hal etish issiqlik energetikasi mutaxassislari zimmasiga yuklanadi.

SHu sababli, “Issiqlik elektr stantsiyalarining bug‘ va gaz turbinalari” fanida yoritiladigan nazariy va amaliy bilimlarni chuqur egallash va hayotga tadbiq etish muxim amaliy ahamiyatga ega.

Ushbu uslubiy qo‘llanmada “IES bug va gaz turbinalari” kursi bo‘yicha nazariy bilimlar majmuasi jamlangan bo‘lib, unda bug va gaz turbinalari, ularning printsiipial sxemalari, turbina eskizlari hamda turbinada bug‘ taqsimlash organlarining o‘rni va vazifalari keng yoritib berilgan.

Bundan tashqari qullanmada bug‘ turbinasining pog‘onalarida sodir bo‘ladigan issiqlik jarayonlari haqida nazariy tushunchalar, turbinada ro‘y beradigan asosiy energiya isroflari va ularni hisoblash yo‘llari keltirilgan. Turbinaning foydali ish ko‘effitsienti va bug‘ning sarfini aniqlash bo‘yicha amaliy ko‘rsatmalar berilgan. Mazkur qo‘llanmada talabalarning mustaqil ravishda olgan amaliy bilimlarini mustaxkamlash maqsadida mustaqil ishlash chizma materiallari ham keltirilgan.

Ushbu uslubiy qo‘llanma “Issiqlik energetika” yo‘nalishida tahsil olayotgan talabalar uchun mo‘ljallangan va undan “IES bug va gaz turbinolari” fanidan ma’ruza va amaliy mashg‘ulotlar hamda mustaqil ta’lim darslarida foydalanish mumkin.

## 1 – Mavzu. Kirish. Bug‘ turbinasi haqida umumiy tushunchalar.

### Reja:

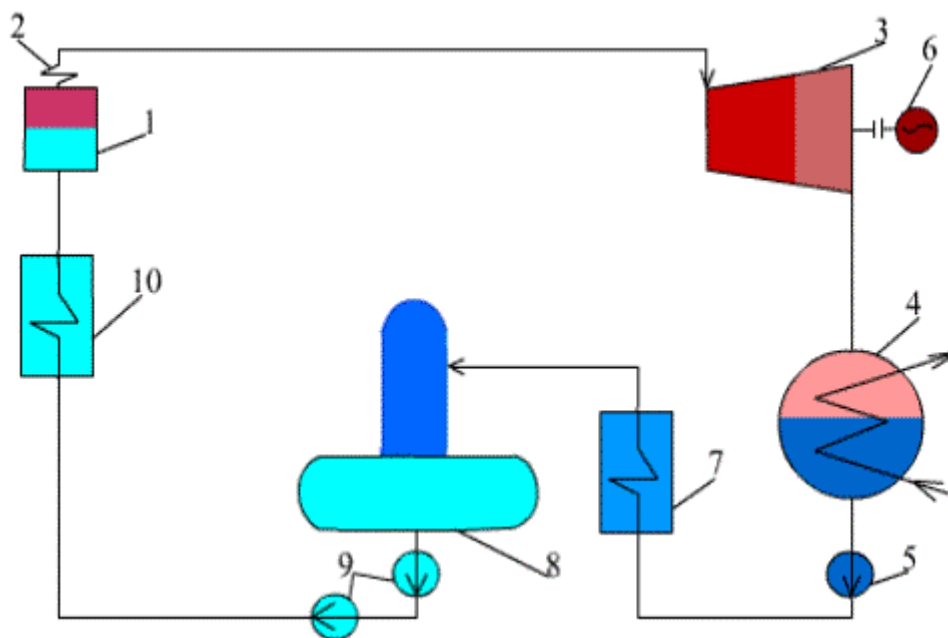
1. [Kirish.](#)
2. [Bug‘ va gaz turbina qurilmalari sxemalari.](#)
3. [Bug‘ turbinasi haqida umumiy tushunchalar.](#)
4. [Nazorat savollari](#)

#### 1. Kirish

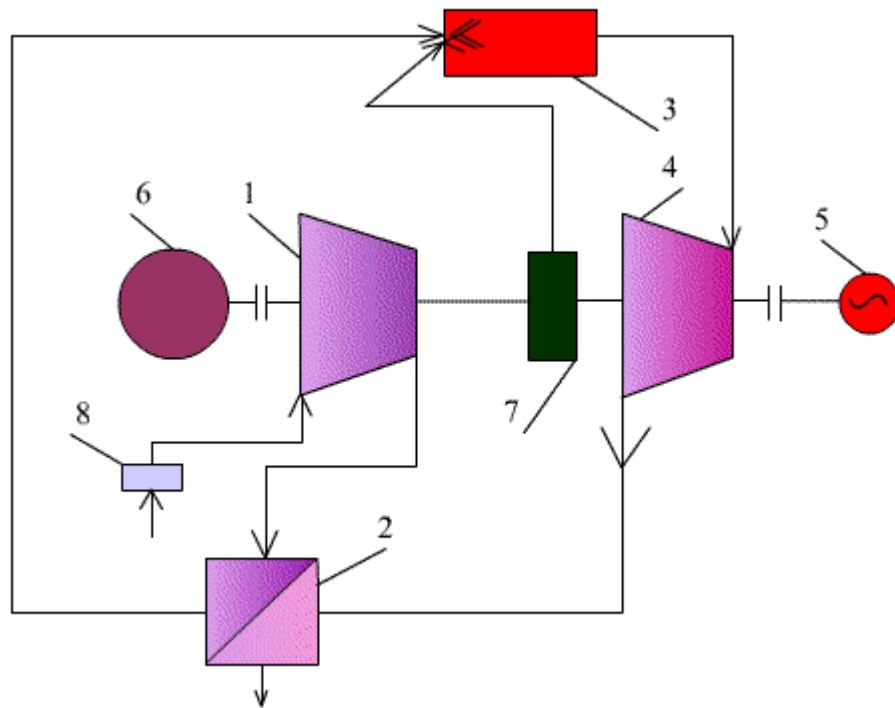
Bug‘ yoki gaz turbinasi bu – bug‘ yoki gazning potentsial energiyasini kinetik energiyaga aylantiruvchi va o‘z navbatida turbina valining aylanishi natijasida ushbu kinetik energiyani mexanik energiyaga aylantiruvchi kuch dvigatelidir. Turbina vallari bevosita yoki tishli o‘zatma yordamida ishchi mashinasiga ulanadi. Ishchi mashinaning xususiyatlariga bog‘lik ravishda bug‘ yoki gaz turbinolari sanoatning turli – tuman soxalarida qo‘llanishi mumkin: energetikada, transportda, dengiz texnikasida, aviatsiyada va x. k. Bug‘ va gaz turbinalaridan kuch dvigateli sifatida sanoat va energetikada boshqa energetik qurilmalarning saylanmasi sifatida ham foydalanilishi mumkin.

#### 2. Bug‘ va gaz turbina qurilmalari sxemalari.

Quyida bug‘ va gaz turbina qurilmalarining sxematik tasvirlari keltirilgan.



a)



b)

1 – rasm. Bug‘ turbinasi (a) va gaz turbinasi (b) qurilmalarining printsipl sxemalari.

a) bug‘ turbinasi qurilmasi tarkibi:

1 – bug‘ generatori; 2 – bug‘ o‘ta qizdirgichi; 3 – bug‘ turbinasi; 4 – kondensator; 5 – kondensat nasosi; 6 – elektrogenerator; 7 – PBK (PND) va YUBK (PVD); 8 – deaerator; 9 – ta‘minot nasosi.

b) gaz turbinasi qurilmasi tarkibi:

1 – xavo kompressori; 2 – regenerator; 3 – yonish kamerasi; 4 – gaz turbinasi; 5 – elektrogenerator; 6 – ishga tushiruvchi elektrodvigatel; 7 – yoqilg‘inasosi; 8 – xavoni tozalash filtri kabi qurilmalardan iborat.

Bug‘ turbinasi qurilmasi elementlari quyidagi vazifalarni bajaradi:

1. Bug‘ generatori – ma‘lum bosimga ega ta‘minot suvini quruq to‘yingan bug‘ ga aylantiradi;
  2. Bug‘ qizdirgich – bug‘ning xaroratini kerakli parametrlargacha oshiradi;
  3. Bug‘ turbinasi – unga kirish joyida bug‘ning potentsial energiyasi kinetik energiyaga aylanadi va bu kinetik energiya o‘z navbatida valning mexanik energiyasiga aylanadi.
  4. Kondensator – turbinada ishlatilgan bug‘ni kodensatsiyalaydi (suyuqlantiradi).
  5. Kondensat nasosi – tizimda kondensat xarakatini ta‘minlovchi;
  6. Regenerativ qizdirgichlar – turbinadan olingan bug‘ yordamida ishchi jism (kondensat va ta‘minot suvi) ni qizdiradi;
  7. Deaerator – ta‘minot suvi tarkibidan kislorod va kislorodli gazlarni siqib chiqaradi;
  8. Ta‘minot nasosi – olddan ulanadigan nasos agregati bilan birgalikda tizimda bosim xosil qiladi va ta‘minot suvini bug‘ generatoriga haydab beradi;
  9. Elektrogenerator – elektr energiyasi ishlab chiqarish qurilmasi.
- Qozondan turbinaga kiruvchi bug‘ toza (utkir) bug‘ deb ataladi.
- Gaz turbinasi qurilmasi elementlari quyidagi vazifalarni bajaradi:

1. Xavo kompressori – atmosfera xavosini kerakli bosimgacha siqib beruvchi;
2. Regenerator – kompressordan chiqayotgan xavo turbinadan chiqish gazlarining issikligi hisobiga qizdiriladi;
3. Yonish kamerasi – yonilg‘ining yonishi yo‘z beradigan joy;

4. Gaz turbinasi – siqilgan xavo yoki yonish natijasida xosil bulgan katta bosim va xaroratli gazlar yordamida ishlaydi;
5. Elektrogenerator – elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi qurilma;
6. Ishga tushiruvchi elektrodvigatel– kompressor valini aylantiradi;
7. Xavoni tozalovchi filtrlar – kompressorga surilayotgan xavoni xar xil aralash jinlardan tozalaydi.

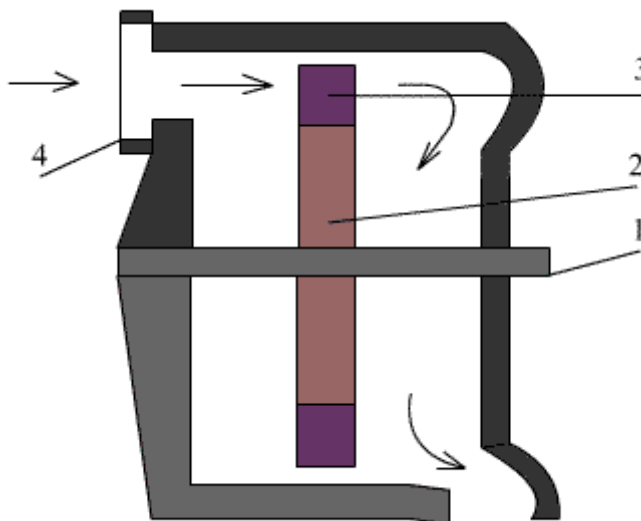
Bug‘ yoki gazning potentsial energiyasini turbina valining mexanik energiyasiga aylanishi turli ko‘rinishda bo‘lishi mumkin.

Masalan: ishchi jismning potentsial energiyasini kinetik energiyaga aylanishidagi o‘yim yo‘liga qarab turbinalarni aktiv va reaktiv turlarga bo‘lish mumkin.

### 3. Bug‘ turbinasi haqida umumiy tushunchalar.

Aktiv turdagi bir pog‘onali bug‘ turbinasi quyidagi asosiy qismlardan tashkil topgan.

Soplo 4, val 1 va disk 2 hamda ishchi parragi 3 kabilar. Val disk bilan birgalikda turbinaning muxim qismini tashkil etib rotor nomini oladi. Rotor turbinaning korpusiga kamalgan val bug‘inlari tutkich podshipniklariga maxkamlanadi.



2 – rasm. Bir pog‘onali aktiv turdagi bug‘ turbinasi kurinishi.

Bug‘ning boshlangich parametrlaridan oxirgi parametrlarigacha kengayishi aylanuvchi disk ishchi parraklari oldida urnatilgan bitta soplo yoki soplolar guruxida yo‘z beradi. Soplo kanalida bug‘ bosimining pasayishida uning entalpiyasini kamayishi ko‘z atiladi. Soploda bug‘ okimining kinetik energiyasi olinadigan issiqlik tushishi yo‘z beradi. Soploda kengayish jarayonida bug‘ning tezligi soplo oldidagi  $s_0$  boshlangich tezligidan soplodan keyingi  $s_1$  tezlikka ortadi.

Ishchi parraklari kanallarida absolyut tezlikning  $s_1$  dan  $s_2$  kattalikkacha pasayishi ko‘z atiladi, ya’ni bug‘ning kinetik energiyasi pasayadi. Bug‘ okimining ishchi parraklardagi xarakati davomida olinadigan kinetik energiyaning bir qismi turbina rotor valining mexanik energiyasiga aylanadi.

Turbinada, kaysiqi butun kengayish jarayoni davomida bug‘ning tezlanish olishi fakat ko‘z galmas kanallarda (soploda) yo‘z bersa, ishchi parraklarida esa bug‘ okimining boshqa kengayishlarsiz fakat kinetik energiyaning mexanik ishga aylanishi yo‘z bersa, bunday turbina aktiv deb ataladi.

Bir pog‘onali aktiv bug‘ turbinasining quvvati, aylanma tezligi 350 m/s ga teng bulsada, 500 – 800 kVt dan oshmaydi. Mayda bir pog‘onali aktiv turbinalar katta aylanishlar soniga teng kilib kurilgan. SHved muxandisi Gustav Laval ning birinchi bug‘ turbinasi

30000 ayl/min da ishlagan va aylanish momentini iste'molchiga o'z atish uchun reduktor bilan ta'minlangan edi.

Agregatning kichik quvvati bunday turbinalarning iktisodiy jixatdan kichik kursatkichga ega ekanligini bildiradi. Reduktor qurilmasining etishmovchilik (kamchilik) lari bug' turbinasining (bir pog'onali aktiv) foydalanilish soxalarini cheklaydi.

Reaktiv turbina qurilmasi boshqacha printsipda ishlaydi.

Utkir toza bug' reaktiv turbinaning ishchi parraklariga kamera orkali kiradi. Ko'z galmas korpusga va aylanuvchi barabanning tashki tomoniga ishchi va aylanuvchi yunaltiruvchi parraklar maxkamlangan, kaysiqi bug'ni utkazuvchi kanallardan tashkil topgan. Bug' kameradan parraklararo kanaldan utib chikish patrubkasiga kiradi. Kameradan patrubkagacha bulgan yo'l davomida bug' boshlangich bosim  $p_0$  dan oxirgi bosim  $p_2$  gacha bosqichma bosqich kengayadi. Bug'ning kengayishida entalpiyaning pasayishi barcha qo'zg'almas va qo'zgaluvchi parraklararo kanallarda yuz beradi. Dastlab bug' birinchi kameradan birinchi qator yo'naltiruvchi parrakga o'tadi. Qo'zg'almas yo'naltiruvchi parraklar qatori kanaldan aylanuvchi barabanga maxkamlangan birinchi kator ishchi parrakdan chikkan bug' ikkinchi kator ko'z galmas yunaltiruvchi parraklar kanallaridan utadi. Ushbu turbinada kengayish jarayoni ko'z galmas va ko'z galuvchi parraklar kanalida yo'z beradi. Bug' kengayishining bir tarzda yo'z beradigan va shu sababli issiqlik tushishi jarayoni pog'onalar orasida teng taksimlanadigan turbinalar reaktiv deb ataladi.

#### 1 – Mavzuni takrorlash uchun savollar va topshiriklar.

1. Bug' turbinasi kandy qurilma sanaladi?
2. Kandy qurilma gaz turbinasi deb nomlanadi?
3. Bug' va gaz turbinalaridan kaerlarda foydalaniladi? Mavzudan tashkari o'z dunyoqarashingizdan kelib chikib javob bering?
4. Bug' turbinasi elementlari va ularning bajaruvchi vazifasi nimalardan iborat?
5. Gaz turbinasi elementlari va ularning bajaruvchi vazifasi nimalardan iborat?
6. Mustakil ravishda bug' turbina qurilmasi printsipial sxemasini chizing va ta'riflang?
7. Mustakil ravishda gaz turbina qurilmasi printsipial sxemasini chizing va ta'riflang?
8. Bir pog'onali aktiv turdagi bug' turbinasi kandy qismlardan tarkib topgan?
9. Bir pog'onali aktiv turdagi bug' turbinasining ishlash tartibini tushuntiring?
10. Aktiv va reaktiv turbinalarning bir – biridan farkini tushuntiring?
11. Dastlabki bug' turbinalari haqida ma'lumot bering?

#### 2 – mavzu: Bug' turbina pog'onasida issiqlik jarayoni

##### Reja:

1. [Soplo va yo'naltiruvchi kanallarda bug'ning kengayishi.](#)
2. [Torayuvchi soplo.](#)
3. [Kengayuvchi soplo.](#)
4. [Nazorat savollari](#)

##### 1. Soplo va yo'naltiruvchi kanallarda bug'ning kengayishi.

Bug'ning kengayish jarayoni uning potentsial energiyasini kinetik energiyaga aylanishi bilan bog'liqdir. Bunda bug'ning entalpiyasi kamayadi, biroq oqimning tezligi ortadi.

Termodinamikadan ma'lumki, ideal holatdagi soploda bug' oqimining potentsial energiyasini kinetik energiyaga aylanishi quyidagi energiya tenglamasiga bo'ysunadi:

$$i_0 - i_{1t} = \frac{c_{1t}^2 - c_0^2}{2} \quad (2.1)$$

bu erda:  $i_0$ ;  $i_{1t}$  – 1 kg bug'ning boshlang'ich va oxirgi entalpiyasi, j/kg;

$c_0$  – bug'ning soplo oldidagi boshlang'ich tezligi, m/sek;

$c_{1t}$  – bug'ning soplodan chiqish joyidagi nazariy tezligi, m/sek.

(2.1) tenglamadan nazariy (yo'qotishlari hisobga olinmagan) tezlikni aniqlaymiz:

$$c_{1t} = \sqrt{2(i_0 - i_{1t}) + c_0^2} = \sqrt{2 \cdot h_0 + c_0^2} \dots \quad (2.2)$$

bu yerda  $h_0 = i_0 - i_{1t}$  – soplo yoki yo'naltiruvchi kanallarda izoentropik issiqlik tushishi, j/kg.

Agar  $c_0$  tezlik kichik bo'lsa, uni e'tiborga olmasak ham bo'ladi:

$$c_{1t} = \sqrt{2 \cdot h_0} \quad (2.2a)$$

Bug' turbina qurilishida asosan egri qirgimli (kesimli) torayuvchi soplo va ayrim xollarda egri kesimli kengayuvchi soplo qo'llaniladi. Egri kesimsiz torayuvchi va kengayuvchi soplolar suv va bug' oqimli ejektorlarda qo'llaniladi.

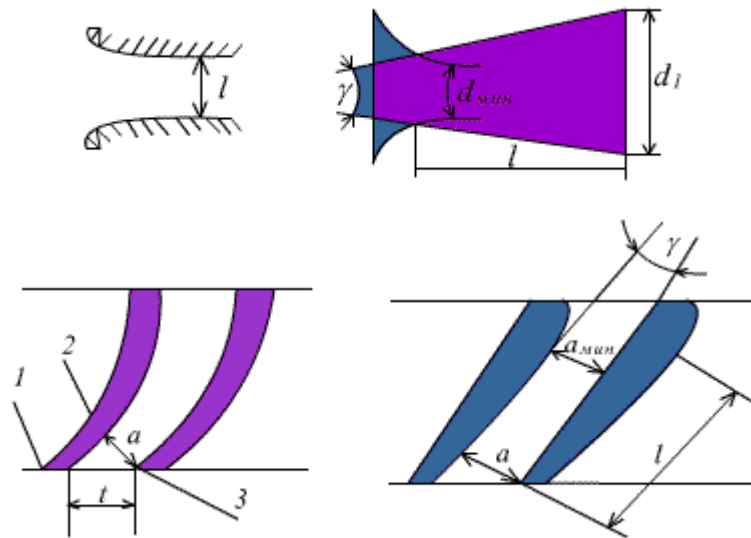
Tajriba va nazariy tekshirishlar shuni ko'rsatadiki, torayuvchi soplodagi oqayotgan

bug'ning kengayishi kritik bosim deb ataluvchi  $P_{kp}$  bosimgacha yuz berishi mumkin.

Kritik bosim  $P_{kp}$  ning soplo oldidagi  $p_0$  bosimga nisbati, kritik munosabat deb ataladi

$$v_{kp} = \frac{P_{kp}}{P_0}$$

va shaklda buladi.



3- rasm. Soplo shakllari.

Gazodinamikadan ma'lumki:

$$v_{kp} = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

bu yerda  $k$  – izoentropiya ko'rsatkichi bo'lib sonli ko'rinishda quyidagicha qabul qilinadi:

o'ta qizigan bug' uchun.....1,3  
 quruq to'yingan bug' uchun.....1,135  
 X quruqlik darajasiga to'yingan bug' uchun.....1,035 - 0,1X  
 SHuningdek har bir gaz o'zining kritik bosim munosabatiga ega, masalan:  
 O'ta qizigan bug' uchun.....0,546  
 Quruq to'yingan bug' uchun.....0,577  
 Havo va ikki atomli gazlar uchun.....0,528

$$v_{kp} = \frac{P_{kp}}{P_0}$$
 kritik bosim munosabatida torayuvchi soplone chiqish kesimida kritik tezlik kattaligi ham hosil bo'ladi,  $c_{kr}$ , m/sek.

Gazodinamikadan ma'lumki, bu tezlikni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$c_{kp} = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot \frac{P_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1} \cdot P_0 \cdot v_0} \quad (2.3)$$

bu yerda  $p_0$  – soplo oldidagi bug' bosimi, N/m<sup>3</sup>;  
 $p_0, v_0$  - soplo oldidagi bug'ning zichligi va solishtirma xajmi, kg/m<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>/kg;  
 $k$  – sonli ko'rsatkichlarini (2.3) tenglamaga qo'ysak, o'ta qizigan bug' uchun:

$$c_{kp} = 336.0 \sqrt{p_0 \cdot v_0} \quad (2.3a)$$

quruq to'yingan bug' uchun:

$$c_{kp} = 326.0 \sqrt{p_0 \cdot v_0} \quad (2.3b)$$

(2.3) tenglikdan ko'rinadiki,  $c_{kr}$  ko'rsatkich  $p_0$  bosimga,  $v_0$  solishtirma xajmga va adiabatada ko'rsatkichi  $k$  ga bog'lik ekan.

Ideal gaz uchun:

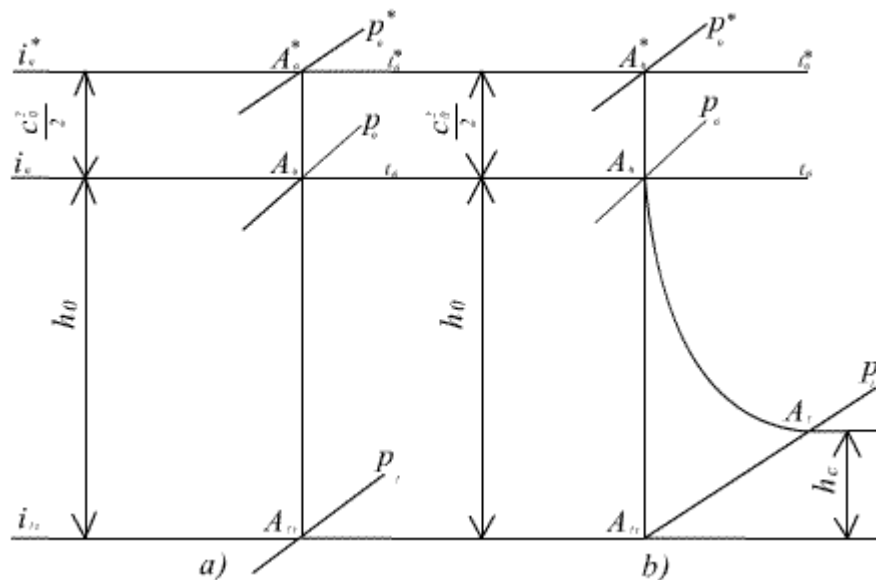
$$\frac{P_0}{\rho_0} = p_0 \cdot v_0 = R \cdot T_0 \quad (2.4)$$

bu yerda –  $R = 288,4$  – gaz doimiysi J/(kg·°S);  $T_0$  – soplo oldidagi bug' xarorati.

Agar soplodagi bosim  $p_1 > p_{kp} = v_{kp} \cdot P_0$  bo'lsa, kengayish  $p_1$  – bosimgacha o'zgaradi va bunda soplodan chiqishdagi bug'ning tezligi  $c_{kr}$  dan kichik bo'ladi. Bug'ning kengayishida soploda bosimning  $p_1 < p_{kr}$  gacha o'zgarishi va tezlikning  $c_1 > c_{kr}$  gacha o'zgarish holati faqat kengayuvchi soplodagina ro'y berishi mumkin. Egri kesimsiz torayuvchi soploda kengayish faqat kritik bosimgacha o'zgarishi mumkin.



Egri kesimli torayuvchi soploda bosimning  $p_1 < p_{kr}$  gacha o'zgarishida soplo bo'g'zida kritik bosim  $p_{kr}$  o'rnatiladi va kritik tezlikkacha erishiladi, bug'ning keyingi kengayishida  $p_1$  bosimga va  $p_1$  tezlikkacha erishish soplodagi egri kesimi nihoyasida sodir bo'ladi. Soplo va yo'naltiruvchi parrak kanallarida bug' tezligining oshishi uning entalpiyasining pasayishi va shunga muvofiq ravishda bug' bosimining pasayishi hisobiga sodir bo'ladi.



4-rasm. Bug' turbinasidagi yo'qotishlar (a) hisobga olinmagan va (b) hisobga olingan issiqlik jarayonining  $is$  diagrammasi.

Bug' turbinasining muxandislik hisoblarida  $is$ -diagrammasi keng qo'llaniladi.

Yuqoridagi rasmda soploda bug' kengayishining yo'qotishlar hisobga olinmagan va hisobga olingan issiqlik jarayonlari tasvirlangan.

Bug'ning soplo oldidagi holati berilgan parametrlarga muvofiq bo'ladi. Pog'onaning hisobida soplo oldidagi bosim va xarorat  $p_0$  va  $t_0$  soplodan keyingi bosim  $p_1$  va bug'ning soplo kanali oldidagi tezligi  $c_0$  beriladi.

$is$ -diagrammada boshlang'ich parametrlar  $p_0$  va  $t_0$  kesishuvchi  $A_0$  nuqta bilan belgilanadi.

a -yo'qotishlar hisobga olinmaganda;

b -yo'qotishlar hisobga olinganda;

( $p_0^*$  va  $t_0^*$  nuqtalar tormozlanish parametrlari ham deb ataladi).

Bug'ning soplo kanali oldidagi kinetik energiyasini hisoblash bilan ( $c_0/d$ )  $A_0^*$  orqali ishchi jismning soplo oldidagi xolati aniqlanadi.

Agar  $c_0$  tezlik kichik va uni qisqartirib yuborish mumkin bo'lsa, ya'ni hisobda  $c_0=0$  deb hisoblasak, bu xolda  $A_0^*$  nuqta bilan tenglashadi. Tormozlanish parametrlari  $r_0^*$  va  $t_0^*$  ham bosim  $p_0$ ,  $t_0$  parametrlarga tenglashadi. Agar soplo kanalida bug' oqimining yo'qotishlari hisobga olinmasa, bunday nazariy jarayon  $is$ - diagrammasida to'g'ri vertikal chiziq shaklida tasvirlanadi.  $A_0^*=A_{1t}$   $h_{01}=i_0-i_{1t}$  J/kg, kattaligi soplodagi to'liq issiqlik tushishi.

Ushbu nuqtadagi aniqlangan tezlik ham nazariy deb yuritiladi va  $c_{1t}$  bilan belgilanadi:

$$c_{1t} = \sqrt{2 \cdot h_{01} + c_0^2} \quad (2.5)$$

Soploda bug' kengayishining haqiqiy holatida energiya yo'qotishlari kuzatiladi va bu paytda tezlik pasayadi. Bu yo'qotishlar soplodagi bug' entalpiyasini oshiradi. SHunday

qilib soplodagi bug' entalpiyasi  $i_1$  nazariysidan  $i_{1t}$  yuqorirok bo'ladi, ya'ni  $i_1 > i_{1t}$  (b-rasm) soplodagi oqimning haqiqiy tezligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$c_1 = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot h_0 + c_0^2} \quad (2.6)$$

bu yerda  $\phi = c_1/c_{1t} < 1$  tezlik koeffitsienti deyiladi.

Soplo va yunaltiruvchi parraklardagi tezlik koeffitsienti  $\phi$  juda ko'p faktorlarga bog'liq bo'ladi. Soplo va yo'naltiruvchi parraklarning geometrik o'lchamlariga, ularning yuzasi qayta ishlanganligiga va x.k.  $\phi$  koeffitsient 0,91 – 0,93 dan 0,96 – 0,98 gacha oraliqda farqlanishi mumkin. Yuqori iqtisodiy ko'rsatkichli zamonaviy bug' turbinalari uchun  $\phi$  kattalik ko'rsatkichi 0,96 – 0,98 ga teng bo'ladi. Soplo va yo'naltiruvchi parraklarda issiqlik tufayli ish  $h_c$  bilan belgilanadi va quyidagi tenglikdan aniqlanadi:

$$h_c = \frac{c_{1f}^2 - c_1^2}{2} = (1 - \varphi^2) \cdot \frac{c_{1f}^2}{2} = \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \cdot \frac{c_1^2}{2} =$$

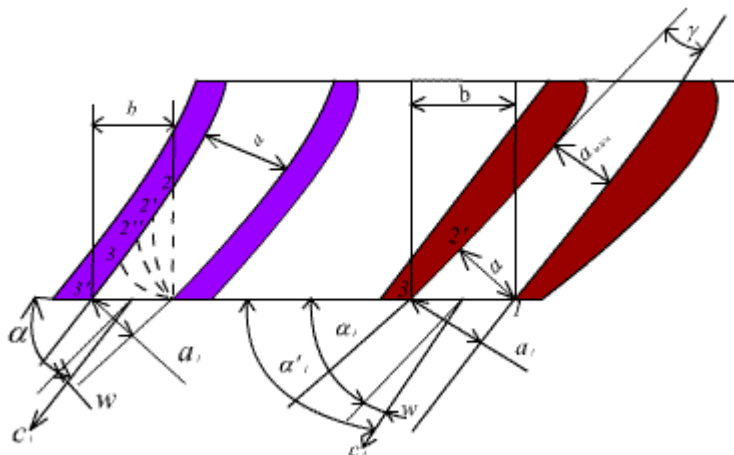
$$= (1 - \varphi^2) \cdot (i_0^* - i_{1f}) = (1 - \varphi^2) \cdot \left( h_{01} + \frac{c_0^2}{2} \right) \quad (2.7)$$

$is$  - diagrammadan foydalanib, bug' oqimining kritik tezligini aniqlash mumkin. SHuning uchun tormozlanish bosimi bo'yicha  $p_0^*$  kritik bosimni  $p_{kr} = v_{kr} p_0^*$  va  $is$  diagrammadan kritik issiqlik tushishini  $h_{kr} = i_0 - i_{kr}$ ; J/kg, aniqlaymiz. SHundan keyin, kritik tezlik quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$c_{kp} = \sqrt{2 \cdot h_{kp}}$$

Soplo egri kesimida bug' kengayishi bug' turbinasining soplosida bir kancha burchaklar (ishchi parrak aylanma yunalishi buylab) urnatilgan va ular soplonegri kesim deb ataluvchi qismini xosil qiladi.

Soploda (egri kesimli) bug'ning kengayish jarayoni ma'lum o'z igaxosliklarga ega.



5 – rasm. Egri kesimli torayuvchi va kengayuvchi soplolar.

## 2. Torayuvchi soplo.

$p_1 / p_0^* \geq v_{kr}$  bo'lganda, egri kesimli torayuvchi soploda bug'ning kengayish jarayoni egri kesimsiz soplodagi bug' kengayishidan xech qanday farq qilmaydi. Biroq

$p_1 / p_0^* \leq v_{kr}$  bo'lsa, egri kesimli soplodagi ro'y beradigan bug'ning kengayish jarayoni o'ziga xos xususiyatlarini namoyon kiladi. Soplo xalkumi deb ataluvchi, soploning eng kichik kesim yuzasida (o'tish) yuz beradigan bug'ning boshlangich  $r_0^*$  xolatidan rkr xolatigacha kengayish egri kesimsiz torayuvchi soplodagidek yuz beradi. Demak, o'tish kesim maydoni  $f_{min}$  ga teng bulgan (5 – rasm, (a) 1 – 2 kesimi) soplo xalkumida kritik bosim  $p_{kr}$  va kritik tezlik  $c_{kr}$  o'rnatilar ekan.

Bug'ning  $p_{kr}$  dan  $p_1$  gacha kengayishi va shunga muvofiq tezlikning ham  $c_{kr}$  dan  $c_1$  gacha ortishi soploning egri kesim chegarasida yuz beradi. Soploning 1 – 2 kesimining chiqishi  $p_1$  bosim fazosida yuz beradi. Demak, 1 – nuqtada bug'ning bosimi  $p_{kr}$  dan  $p_1$  gacha sakrab pasayadi. Biroq, soplo egri kesimining 2 – 3 uchastkasida bug'ning  $p_{kr}$  dan  $p_1$  gacha kengayishi asta – sekinlik bilan yuz beradi. SHunday ekan 1 – nuqtadan egri kesim chegarasigacha bosimning  $p_{kr} - p_1$  gacha o'zgarishi bo'ylab izobaralar bog'larini o'tkazish mumkin.

Izobaralar tajribasiga asoslangan xolda 1 – 2, 1 – 2', 1 – 2'' va 1 – 3 egri chiziqlarni sxematik ko'rinishda chizish mumkin (5-(a) rasm).

Egri kesimli kengayishda bug'  $c_{kr}$  tezlikka erishgan kesimdan boshlab uning tezligi soplo markaziy ukidan chetga ogishi ko'z atiladi. Bunda okimning yo'nalishi soplo egri kesimining xar qanday qirqimida MAX burchagi deb nomlanuvchi 1 – 2, 1 – 2', 1 – 2'' va x.k. izobaralar yunalishini xosil kiladi va quyidagi tenglamadan aniklanadi:

$$\sin \theta = \frac{c_s}{c_1}$$

bunda  $c_s$  – bug' xolatiga mos keladigan tovush tezligiga taxminan 1 – 3 chizigi buylab egri kesimda bug' kengayishi mumkin bulgan eng oxirgi  $p_{1a}$  bosimga erishish mumkin. Agar bosim soplodan keyin  $p_{1a}$  dan kichik bulsa, bug'ning keyingi kengayishi soplo chenarasidan tashkarida yo'z beradi va enining sohilishi kuzatiladi. Agarda soplodagi bosim  $p_1 > p_{1a}$  bo'lsa,  $p_1$  oxirgi bosim egri kesimning qaysidir oraliq qirqimlarida o'rnatiladi. Bunday xolatlar 5 – rasmda tasvirlangan. Soplo qiya kesimida bug' oqimining chetga ogishi uning  $p_{kr}$  dan  $p_1$  gacha yoki  $p_{1a}$  gacha kengayishiga yoxud bug' solishtirma xajmining intensiv oshishiga bog'liq, agarda  $p_1 > p_{1a}$  bo'lsa o'tish kesimini kattalashtirish talab qilinadi.

Aytish mumkinki  $\alpha_1$  burchak qanchalik kichik bo'lsa, torayuvchi soploning qiya qirqimida bug' kengayishi shunchalik katta bo'ladi. Xaqiqatda  $\alpha_1 = 90^\circ$  da qiya qirqim bo'lmaydi va yakunlovchi tezlikning kiritik tezlikdan yuqori natijasini oshirishning imkoni ham bo'lmaydi.  $\alpha_1$  burchagining kamaytirish tadbirida soploning qiya qirqimi maydoni kattalashadi va unda bug'ning kengayishi uchun imkoniyat oshadi. Aerodinamik hisoblarini to'g'ri bajarish va keyingi ishchi parraklarni kiyalab tekislash uchun bug' okimining soplo kanalidan chikish joyidagi xakikiy yunalishini bilish zarur. Soplo parragi kiyaligidan  $\alpha_1$  chikish burchagidan tashkari, bug' okimining soplo o'zanidan ogish burchagini ( $w$ ) ham bevosita bilish kerak.  $w$  burchakni aniklash uchun quyidagicha yo'l tutamiz.

5(a) rasmni sharxlab chiqamiz:

$a$  – soplo xalqumi eni (1 – 2 qirqim);

$a_1$  – soplodan chiqish joyidagi bug‘ oqimi eni,

$l$  – qiya qirqim chegarasida soplo balandligi (chizmaning perpendikulyar tekislikdagi o'lchami);

$l_1$  – soplodan chiqqandan keyingi bug‘ oqimining qalinligi (3' – 4 qirqimi);

$c_{kr}$  va  $v_{kr}$  – bug‘ning kritik tezligi va solishtirma xajmi (soplo bo'g'zidagi 1 – 2 qirqimda);

$c_1$  va  $v_1$  – soploning chiqish kesimida bug‘ tezligi va solishtirma xajmi.

1 – 2 va 3' – 4 kesmalarda bir xil miqdordagi bug‘ oqib o'tar ekan, buni tenglik ko'rinishida shunday yozish mumkin:

$$c_1 = \frac{f_{\min} \cdot c_{kr}}{v_{kr}} = \frac{f_1 \cdot c_1}{v_1} \quad (2.8)$$

bunda  $f_{\min} = a_1$  va  $f_1 = a_1 l_1 - 1 - 2$  va 3' – 4 utish kesimlarining maydoni.

$a$  tenglikdagi  $f_{\min}$  va  $f_1$  o'rniga ularning qiymatlarini qo'yamiz va tenglikning ikkala tomonini  $l$  ga ( $l \gg l_1$  deb olib) qisqartiramiz:

$$c_1 = \frac{a \cdot c_{kr}}{v_{kr}} = \frac{a_1 \cdot c_1}{v_1} \quad (2.9)$$

5(a) rasmdan ko'rinadiki,  $a = t \cdot \sin \alpha_1$  va  $a = t \cdot \sin(\alpha_1 + \omega)$  ga teng, bularni (2.9) tenglikka kiritamiz:

$$\frac{\sin \alpha_1 \cdot c_{kr}}{v_{kr}} = \frac{\sin(\alpha_1 + \omega) \cdot c_1}{v} \quad (2.10)$$

(2.10) formuladagi  $(\alpha_1 + \omega)$  ni  $\alpha_1$  orqali ifodalaymiz:

$$\sin \alpha_1' = \sin(\alpha_1 + \omega) = \frac{c_{kr}}{c_1} \frac{v_1}{v} \sin \alpha \quad (2.11)$$

bundan tashqari

$$\sin \alpha_1' = \frac{f_1}{f_{\min}} \sin \alpha \quad (2.12)$$

ekanligi ham ma'lum.

Soplning qiya kesimi chegarasida bug‘ kengayishining maksimal imkoniyatida, ya'ni 1 – 3 chizig'ida  $p_{1a}$  bosim xosil buladi va okimning ogish burchagi  $\omega$  ham o'zining sunggi kursatkichiga erishadi.

### 3. Kengayuvchi soplo

Kengayuvchi soplarning kiya kirkimida bug' hisoblanganidan ham past bosimgacha, masalan  $p_1$  dan  $p_1'$  gacha kushimcha kengaytirish imkonini beradi. Kengayuvchi soplo kiya kirkimida okimning chetga ogishi soplarning 1 – 2 chiqish kesimidan keyin ruy beradi.

Kengayuvchi soplo kiya kesimida bug' okimining ogishini taxminan (2.2) tenglamadan aniqlash mumkin. Undagi  $v_{kr}$  va  $c_{kr}$  urnini 1 – 2 kesim uchun  $w_1$  va  $c_1$  ga almashtiramiz hamda 3 – 4 kesim uchun  $v_1$  va  $c_1$  o'rniga  $v_1'$  va  $c_1'$  kuyamiz:

$$\sin \alpha_1' = \sin(\alpha_1 + \omega) = \frac{c_1}{c_1'} \frac{v_1'}{v_1} \sin \alpha \quad (2.13)$$

Kengayuvchi va torayuvchi soplolar uchun kiya kesimda bug'ning kengayishi imkon chegarasini baxolovchi munosabatni yozish mumkin:

$$v_{1\alpha}' = \frac{c_1'}{c_1} \frac{v_1}{\sin \alpha} \quad (2.14)$$

bunda  $c_1'$  – soplarning 1 – 2 chiqish kesimidagi bug' parametrlarida tovush tezligi.  $c_1'$  tezlikni quyidagi formuladan aniqlash mumkin:

$$c_1' = \sqrt{k \cdot p_1' \cdot v_1'} \quad (2.15)$$

$c_1'$  – tezlikni taxminan soplo bug' zidagi kritik tezlikka teng  $c_{kr}$  deb olish mumkin.

(2.14) tenglikdan olingan  $v_{1\alpha}' > v_1'$  tengsizlikdan kurinadiki, bug'ning kengayish jarayoni kengayuvchi soplarning kiya kesimidan keyin ham davom etadi. Agarda  $v_{1\alpha}' < v_1'$  bulsa, bug'ning kengayishi kiya kesim chegarasida tugatilib edi.

2 – mavzuni takrorlash uchun savollar va topshiriklar.

1. Soploda energiyaning o'zgarish tenglamasi?
2. Soplo shakllari.
3. Izoentropiya kursatkichi kandy farkanishlarga ega?
4. Torayuvchi va kengayuvchi soplolar kandy farkanadi?
5. Bug' turbinasida yukotishlarni hisobga olingan issiqlik jarayoni kurinishi?
6. Bug' turbinasida yukotishlarni hisobga olinmagan issiqlik jarayoni kurinishi?
7. Nazariy tezlik kattaligi?
8. Tezlik koeffitsienti kattaligining turlanishini tushuntiring?

9. Egri kesimli torayuvchi soplo sxemasini izoxlab bering?
10. Egri kesimli kengayuvchi soplo sxemasini izoxlab bering?
11. Bug' okimining ogish burchagiga ta'sir kursatuvchi parametrlarni aniklang?
12. Soplo xalkumi nima vazifani bajaradi?

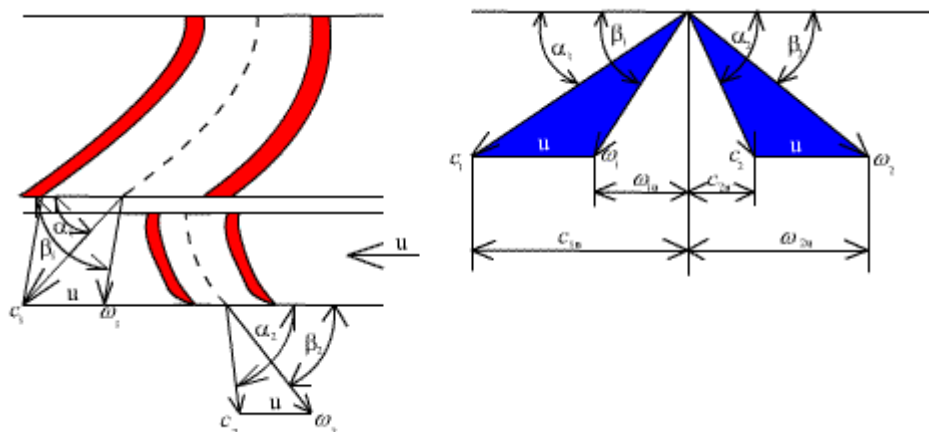
### 3 - mavzu: Ishchi parraklarida energiya o'zgarishi.

#### Reja:

1. [Aktiv pog'ona.](#)
2. [Reaktiv pog'ona.](#)
3. [Ishchi parragi o'lchamlarini aniqlash.1.Soplo o'lchamini aniqlash.](#)
4. [Ishchi parragi o'lchamlarini aniqlash.2. Ishchi parraklari o'lchamlarini aniqlash.](#)
5. [Nazorat savollari](#)

#### 1. Aktiv pog'ona.

Aktiv pog'onada bug'ning kengayishi faqat soploda yuz beradi. Pog'onadagi  $h_0$  issiqlik tushishi soploda to'liq kinetik energiyaga aylanadi. Ishchi parraklarida kinetik energiyani mexanik ishga aylanishi yuz beradi. Bug' oqimi soplo kanalidan  $c_1$  absolyut tezlik bilan  $\alpha_1$  burchak ostida aylanma yassilik bilan chiqadi va ishchi parrak kanallariga kiradi. Aylanishga ko'ra oqimning oxirgi tezligi ishchi parraklar kanallariga kirishda bu kanallar boshqa kattalik va yo'nalishdagi nisbiy devorni hosil qiladi. SHuning uchun bu yo'nalish nisbiy deb ataladi va  $\omega_1$  bilan belgilanadi. Uning kattaliklari va yo'nalishini kirishdagi tezlik uchburchagi deb nomlanuvchi sxemadan oson aniqlash mumkin.  $c_1$  absolyut tezlikdan ishchi parrakning o'rtacha diametri bo'yicha aylanma tezligini geometrik hisoblashlardan nisbiy tezlik  $\omega_0$  ni aniqlab olamiz. Geometrik hisoblash qoidalariga ko'ra  $c_1$  tezlik parallelogramm diagonali hisoblanadi, w esa uning bir tomonidir. SHunga muvofiq ravishda  $\omega_1$  tezlik yo'nalishi va kattaligi parallelogramming ikki tomoni hisoblanadi. Ishchi parrakga kirishdagi bug' oqimining yo'nalishini belgilovchi  $\beta_1$  burchak kirish burchagi deb nomlanadi.



6 - rasm. Parrakdagi oqim sxemasi va tezlik uchburchagining qurilishi.

Egri burchakli uchburchak uchun  $\omega_1$  tezlikni va  $\beta_1$  burchakni analitik ravishda quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$a_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot u \cdot c_1 \cdot \cos \alpha} \quad (3.1)$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{c_1}{a_1} \times \sin \alpha \quad (3.2)$$

Kanallar qiyaliklarida bug' oqimi o'zining yo'nalishini o'zgartiradi va parrakdan  $\omega_2$  nisbiy tezlik bilan disk yo'nalishiga ko'ra  $\beta_2$  burchak ostida chiqadi va  $\beta_2$  burchak deb ataladi.  $\beta_2$  burchagi  $\beta_1$  burchagidan kichik bo'ladi.  $\beta_2 = \beta_1 - (20 \div 30)$  ga tengdir. Parrak kanallarida energiyaning yo'qolishini bug'ning  $\omega_2$  nisbiy tezligi  $\omega_1$  tezlikdan kichik bo'ladi yoki:

$$a_2 = \psi \cdot a_1 \quad (3.3)$$

bu yerda  $\psi < 1$  - ishchi parrak kanallari orqali bug' oqimida tashqi qarshiliklarni hisoblovchi tezlik koeffitsienti. Ishchi parrakdan chiqayotgan oqimning  $c_1$  absolyut tezligi  $\omega_2$  oqim tezligi va  $u$  aylanma tezligining geometrik yig'indisidan chiqishdagi tezlik uchburchagi deb nomlanuvchi uchburchak aniqlanadi. Geometrik jamlanish qoidasiga ko'ra  $c_2$  tezlik  $\omega_2$  va  $u$  tezliklardan tarkib topgan parallelogramm diagonali  $c_2$  tezlik  $\omega_2$  va  $u$  burchakni analitik ravishda shunday aniqlash mumkin:

$$c_2 = \sqrt{a_2^2 + u^2 - 2 \cdot u \cdot a_2 \cdot \cos \alpha_2} \quad (3.4)$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{a_2}{c_2} \times \sin \alpha_2 \quad (3.5)$$

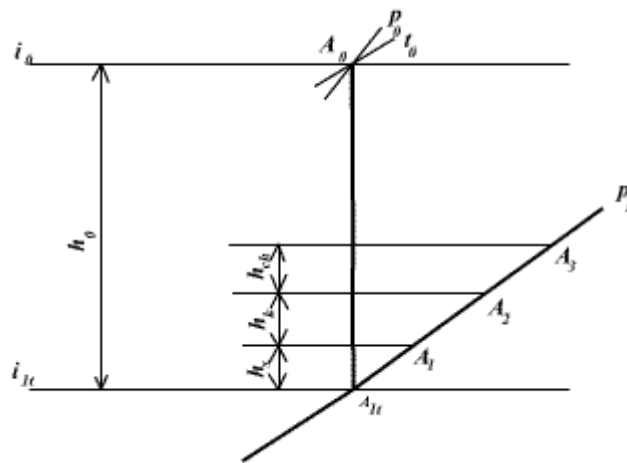
Pog'ona bo'ylab bug' harakati tezligining o'zgarishini bilgan holda uning kinetik energiyasi o'zgarishini aniqlash mumkin. Ishchi parrak kanallari orqali bug' oqimidan tashqi qarshiliklar ta'sirida bir qism kinetik energiya yo'qotiladi. Ishchi parraklardagi  $h_n$  kinetik energiyaning yo'qotilishi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$h_n = \frac{a_1^2 - a_2^2}{2} = \left( \frac{1}{\psi} - 1 \right) \frac{a_2^2}{2}, \quad \frac{\mathcal{K}}{\mathcal{K}_2} \quad (3.6)$$

bu yerda  $\frac{a_1^2}{2}$  - 1 kg bug'ning ishchi parrakga kirishdagi kinetik energiyasi;  $\frac{a_2^2}{2}$  - 1 kg bug'ning ishchi parrakdan chiqishdagi kinetik energiyasi;  $c_2$  tezlik va  $(c_2^2)/2$  energiya berilgan pog'ona uchun yo'qotish hisoblanadi. Bu yo'qotish chiqish tezligidagi yo'qotish deb nomlanadi va quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$h_c = \frac{c_2^2}{2}; \quad \mathcal{K} / \kappa z, \quad (3.6a)$$

Quyidagi rasmda aktiv pog'onadagi yo'qotishlarni hisobga olgan issiqlik jarayoni tasvirlangan. Bu yerda  $A_{1t}$  nuqtadan  $h_c$ ,  $h_n$  va  $h_r$  yo'qotishlar. Ko'rsatilgan  $A_1$ ,  $A_2$  va  $A_3$  nuqtalari soplo ishchi parragi va ular orasidagi bug' xolatini aniqlaydi.



7 - rasm. Aktiv pog'ona parraklaridagi issiqlik jarayonining is - diagrammada yo'qotishlar hisoblangan xolatdagi tasviri.

## 2. Reaktiv pog'ona

Aksial reaktiv pog'onadagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi:

$$h_0 = i_0 - i_{1t} = h_{01} + h_{02} \quad \left( \frac{\kappa \mathcal{K}}{\kappa z} \right) \quad (3.7)$$

yo'naltiruvchi va ishchi parraklari oraligida taxminan teng taksimlanadi.  $h_{01}$  va  $h_{02}$  yo'naltiruvchi va ishchi parraklardagi  $A_0$ ,  $A_{2t}$  asosiy izoentropiya bo'yicha issiqlik tushishi. Yo'naltiruvchi parrak kanallarida issiqlik isrofi  $h_a$  ga teng, u holda ishchi parragidagi haqiqiy issiqlik tushishi  $h_{02}$  emas balki  $h_{01}$  bo'ladi.

***Ishchi parraklaridagi issiqlik tushishining barcha pog'onalaridagi umumiy issiqlik tushishiga nisbati reaksiyalanish darajasi deb ataladi va  $\rho$  xarfi bilan belgilanadi:***



$$\frac{h_{02}}{h_0} = \sigma \quad (3.7a)$$

ёки

$$h_{02} = \sigma h_0 \quad (3.7b)$$

Yo'naltiruvchi parraklarda sodir bo'ladigan issiqlik tushishi  $h_{01}=i_0-i_{1t}$  va bosim tushishi  $p_0$  dan  $p_1$  gacha yuz beradi. Bug' oqimi yo'naltiruvchi parrak kanallaridan  $c_1$  absolyut tezlik va  $\alpha_1$  qiyalik burchagi bilan chiqadi va ishchi parrak kanallariga kiradi. Yo'naltiruvchi parrak kanallaridan chiqish joyidagi bug'ning tezligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$c_1 = \rho^* c_u = \rho^* \sqrt{2 \cdot h_{01} + c_0^2} = \rho^* \sqrt{2 \cdot (1 - \sigma) \cdot h_0 + c_0^2} \quad (3.8)$$

$\omega_1$  – oqim tezligi va  $\beta_1$  burchak tezlik uchburchaklarini qurishda (8 - rasm) yoki analitik yo'l bilan (3.1) va (3.2) tengliklardan aniqlanadi. Pog'ona ishchi kanallarida bug'ning keyingi kengayishini tezlik oshishi va bosimning  $p_1$  dan  $p_2$  gacha kamayishiga muvofiq yuz beradi. Ishchi parragidagi 1 kg bug'ning umumiy energiyasi shu ishchi parrakka

kirayotgan oqimning kinetik energiyasi  $\frac{\omega_1^2}{2}$ , va issiqlik tushishining  $h_{02}$  yigindisidir.

$$\frac{\omega_{2t}^2}{2} = \frac{\omega_1^2}{2} + h_{02} \quad (3.9)$$

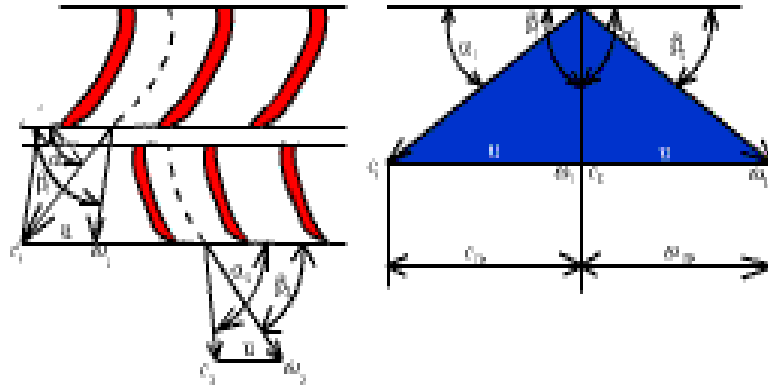
bunda  $\omega_{2t}$  -ishchi parragi chiqish kesimidagi bug'ning nisbiy nazariy tezligi. Bu yerda

$$\omega_{2t} = \sqrt{h_{02} + \omega_1^2} \quad (3.10)$$

Ishchi parragidan chiqishdagi bug'ning haqiqiy nisbiy tezligi, ya'ni ishchi kanallaridagi energiya yo'qotishlari bilan qo'shib hisoblangan tezlik quyidagicha hisoblanadi:

$$\omega_2 = \rho^* \sqrt{2 \cdot h_{01} + \omega_1^2} \quad (3.11)$$

$c_1$  tezlik va  $\alpha_2$  burchak chiqishidagi tezlik uchburchaklarini qurish yo'li bilan aniqlandi. Reaktiv tipdagi bug' turbinalari har doim ko'p pog'onali qilib tayyorlanadi.



8-rasm.Reaktiv pog'ona ishchi parragida bug' tezligining o'zgarishi.

Barcha pog'onalarda  $\rho = 0,5$  ko'rsatkichini ushlab turish uchun  $c_0 = c_2$  har bir oraliq pog'ona uchun yetarlicha darajada aniqdir, unda reaktiv pog'onaning ishchi va yo'naltiruvchi parraklarini hisoblashda  $\alpha_{1=\beta_2}$  va  $\beta_{1=\alpha_2}$  deb qabul qilinadi. Bu holda  $\varphi = \psi$  va shunga muvofiq  $\omega_2 = c_1$  ushbulardan ko'rinadiki, chiqishdagi tezlik uchburchagi, bamisoli, kirishdakisining oynadagi aksidir. Ishchi parragidagi issiqlik yo'qotilishi quyidagi tenglikdan aniqlanadi:

$$h_u = \frac{a_{1t}^2 - a_1^2}{2} = (1 - \rho^2) \times$$

$$\times \frac{a_{2t}^2}{2} = \left( \frac{1}{\rho} - 1 \right) \frac{a_2^2}{2}; \quad \frac{\mathcal{K}}{\mathcal{KZ}} \quad (3.12)$$

Chiqish tezligidagi issiqlik isrofi shunday hisoblanadi:

$$h_2 = \frac{c_2^2}{2} \quad (3.13)$$

Reaktiv pog'onadagi issiqlik jarayoni *is* – diagrammada quyidagicha quriladi.  $p_0$  va  $t_0$  parametrlil bug'ning boshlang'ich xolatini ifodalovchi  $A_0$  nuqtasidan oxirgi bosim  $p_2$  izobarali chiziq bilan kesishma izoentropiya chizig'ini tushiramiz.  $A_0 - A_2$  issiqlik tushishi pog'ona parragida sodir bo'ladi.  $A_{1t}$  nuqta yo'naltiruvchi parrakdan kichik bug' xolatini yo'qotishlarni hisobga olmasdan ko'rsatadi. Yo'naltiruvchi parrakdan keyingi yo'qotishlar hisobidagi bug'ning xolatidan  $A_1$  nuqta orqali belgilanadi. Yo'naltiruvchi parrakdagi energiya isrofi  $h_a$  tenglamadan aniqlanadi. Ishchi kanallarida bug'ning  $p_1$  bosimdan  $p_2$  bosimgacha bo'lgan kengayishi sodir bo'ladi. Nazariy jihatdan (yo'qotishlar hisobisiz) bu jarayon *is* – diagrammada  $A_1 - A_{2t}$  izoentropiya ko'rinishda namoyon bo'ladi. Ishchi parraklardagi yo'qotishlar  $h_{1t}$ ni bir chetga qo'yib reaktiv pog'onadan keyingi bug' xolatini xarakterlovchi  $A_2$  nuqtani olamiz.  $A_1 - A_{2t}$  kesma punktir bilan belgilangan o'zidan qisman katta  $A_{1t} - A_{2t}$  kesma ko'rinishiga keladi. Bu ikki chiziq orasidagi farq etiborga molik emas. SHuning uchun uni tushirib qoldirib  $h_{02} \approx h'_{02}$  deb hisoblaymiz.

### 3. Turbina parraklari o'lchamlarini aniqlash.

#### 3.1. Soplo o'lchamini aniqlash.

Agar soplo butun aylanma bo'ylab joylashgan va bug' birdaniga ishchi parraklariga kirsam turbina soplosiga bug'ning berilishi to'liq deb nomlanadi. Agar soplo aylana qismlariga urnatilgan bolsa, unda pog'onalariga bug' berilishi partial deb nomlanadi. Soplo band qilgan uzunligining  $m_1$  aylana uzunligi  $\pi d$  ga nisbati partiallik darajasi deb nomlanadi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{m_1}{\pi d} = \frac{t_1 \cdot z_1}{\pi d} \quad (3.14)$$

bunda  $d$  – pog'onaning o'rtacha diametri;  $t_1$  – o'rtacha aylana bo'yicha soplo qadami;  $z_1$  – soplo kanallari soni. Normal  $c_1$  tezlik ko'ra torayuvchi soplone chiqish maydoni quyidagi munosabatdan aniqlanadi:

$$f_1 = a_1 l_1 z_1 \quad (3.15)$$

bunda:  $a_1$  – soplone chiqish joyidagi kesim (minimal) eni;  $l_1$  – bug'ning chiqish tomonidagi soplo balandligi;  $z_1$  – soplo kanallari soni. Soplo chiqish tezligi uchun ajralmaslik tenglamasi shunday ko'rinishda bo'ladi:

$$G_1 v_1 = f_1 c_1 \quad (3.16)$$

bunda:  $G_1$  – soplodagi bug' sarfi, kg/s;  $v_1$  – soplo chiqish kesimidagi bug'ning solishtirma xajmi, m<sup>3</sup>/kg;  $c_1$  – soplo chiqish kesimidagi bug' tezligi. (3.14), (3.15), (3.16) tenglamalardan

$$\begin{aligned} a \cdot v_1 &= A_1 \cdot l_1 \cdot z_1 \cdot c_1 = \\ &= t_1 \cdot l_1 \cdot z_1 \cdot \sin \alpha = \pi d \cdot \varepsilon l_1 \cdot c_1 \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad (3.17)$$

ga erishamiz.

Oxirgi tenglamadan

$$l_1 = \frac{G_1 \cdot v_1}{\pi d \cdot \varepsilon a_1 \cdot c_1 \cdot \sin \alpha} \quad (3.18)$$

ekanligini, yoki,

$$\varepsilon = \frac{G_1 \cdot v_1}{\pi \cdot d \cdot l_1 \cdot \alpha_1 \cdot c_1 \cdot \sin \alpha} \quad (3.19)$$

ekanligini olamiz (3.18) va (3.19) tenglamalar soplo apparatining asosiy o'lchamlarini aniqlash imkonini beradi. Negaki,  $l_1$  va  $\varepsilon$  dan tashqari barcha kattaliklar ushbu tenglamada bizga issiqlik hisoblaridan ma'lum. SHuning uchun  $\varepsilon$  ni qabul qilib  $l_1$  ni aniqlashimiz yoki aksincha,  $l_1$  qabul qilib olib  $\varepsilon$  ni hisoblashimiz mumkin. Quyida ko'rsatilganidek soploda energiya yo'qotilishi – soplo balandligi va partiiallik darajasi pasayishi bilan oshib boradi. Kichik bug' ishlab beruvchi, kichik quvvatli turbinalar uchun aylanish tezligi 3000 ayl/min. Bunda  $l_1$  va  $\varepsilon$  ko'rsatkichlari ham kichik bo'ladi. Bu holda nostatsionar bug' turbinalarida ishchi aylanishlar soni minutiga 5000 – 6000 martaga yetkaziladi. Bu aylanma tezlikni oqlagan holda  $l_1$  va  $\varepsilon$  larning yuqori ko'rsatkichlariga erishish uchun ishchi g'ildiragi diametrini qisqartirishga olib keladi. Zamonaviy statsionar bug' turbinala rostlanuvchan pog'onalardan bug' berilishi to'liq aylana bo'ylab amalga oshiriladi, ya'ni partiiallik  $\varepsilon = 1$  ga teng. Bu holda soplo balandligi

$$l_1 = \frac{G_1 \cdot v_1}{\pi \cdot d \cdot c_1 \cdot \sin \alpha} \quad (3.20)$$

dan aniqlanadi.

### 3. Turbina parraklari o'lchamlarini aniqlash.

#### 3.2. Ishchi parragi o'lchamlarini aniqlash.

Parrakning kirish balandligi  $l_1$  soplo balandligidan biroz katta qilib ishlanadi. Qisqa parraklar uchun  $l_2 l_1$  dan 2 – 4mm katta qilib qabul kilinadi. O'z un parraklar uchun  $l_2$  va  $l_1$  orasidagi farq 4 mm va undan yuqorini tashkil qiladi. Bug' oqimi yo'nalishiga perpendikulyar yo'nalgan ishchi parrak kanalining chiqish kesimi:

$$l_2 = \frac{G_2 \cdot v_2}{\omega_2} \quad (3.21)$$

bunda  $G_2$  – ishchi parrak orqali bug' sarfi, kg/s;  $v_2$  –  $A_2$  nuqtadagi ishchi parragidan chiqishdagi bug'ning solishtirmaxajmi, m<sup>3</sup>/kg;  $\omega_2$  – ishchi parragi chiqish kesimidagi bug'ning nisbiy tezligi, m/s. (3.14), (3.15) tenglamalardagi "1" indeksi o'rniga "2" indeksini qo'yib (3.19) dan:

$$G_2 \cdot v_2 = a_2 \cdot l_2 \cdot z_2 \cdot a_2 = t_2 \cdot l_2 \cdot z_2 \cdot \sin \alpha_2 =$$

$$= \pi \cdot d \cdot \varepsilon \cdot l_2 \cdot a_2 \cdot \sin \alpha_1 \quad (3.22)$$

bunda  $d$  – o'rtacha aylanma diametri;  $a_2$  – parrakning chiqish kesimidagi kenglik;  $t_2$  – o'rtacha aylanaga ko'ra parrak kadami;  $l_2$  – ishchi parragidan chiqish tezligi;  $z_2$  – ishchi parragi soni. (3.22) tenglamadan:

$$l_2 = \frac{G_2 \cdot v_2}{\pi \cdot d \cdot \varepsilon \cdot a_2^2 \cdot \sin \alpha_2} \quad (3.23)$$

ga erishamiz. Oraliq pog'ona uchun xarakterli bo'lgan bug'ning to'liq uzatilishida  $\varepsilon = 1$  va shunda ishchi parrakning balandligi (3.22) tenglamadan aniqlanadi:

$$l_2 = \frac{G_2 \cdot v_2}{\pi \cdot d \cdot a_2^2 \cdot \sin \alpha_2} \quad (3.23, a)$$

Tezliklar uchburchagidan:

$$c_1 \sin \alpha_1 = c_{1a} \cdot a_2 \cdot \sin \alpha_2 = c_{2a}$$

Bunda  $c_{1a}$  va  $c_{2a}$  – o'qli yo'nalishdagi  $c_1$  va  $c_2$  tezliklar proektsiyalari. Agarda bu belgilashni (3.18) va (3.23) tenglamalarga kiritsak va ularni bir – biridan ajratsak:

$$l_2 = l_1 = \frac{v_2 \cdot c_{1a}}{v_1 \cdot c_{2a}} \quad (3.24)$$

Bo'ylama qism aniqligi va kanallar kesimi tulgazilishi sharoitiga ko'ra va  $l_1$  balandliklar oraliqidagi farkni kattalashtirilishiga ruxsat berilmaydi.

### 3 – mavzuni takrorlash uchun savollar va topshiriqlar.

1. Pog'onada bug' kengayishi kandy yo'z beradi?
2. Tezlik uchburchagi nima?
3. Bug'ning soplo kanallariga kirish va chiqish burchaklari kandy aniqlanadi?
4. Tezlik uchburchagining geometrik taxlilini keltiring?
5. Yo'qotishlar hisobga olingan holdagi issiqlik jarayoni diagrammasini tasvirini chizing?
6. Reaktivlik darajasi kandy tushuncha?

7.  $is$  – diagrammaning tashkil etuvchilari nimalar?
8. Tezlik uchburchagiga ko'ra aktiv pog'ona reaktiv pog'onadan nimasi bilan farklanadi?
9. Partsiyal va to'liq bug' berilishi ta'rifini keltiring?
10. Chiqish maydonining tashkil etuvchilari nimalar?
11. Soplo balandligi kandy aniqlanadi?
12. Partsiyalik darajasini tashkil etuvchi kattaliklar?
13. Ishchi parragi o'lchamlarini aniqlashda nima uchun  $l_1$  bilan  $l_2$  bir – biriga teng bulib koldi?
14. Ma'lum parametrdagi aktiv pog'ona uchun tezlik uchburchagini chizing?

#### 4 – mavzu: Turbina pog'onasining issiqlik hisobi tartibi

##### Reja:

1. [Aktiv pog'onaning issiqlik hisobi.](#)
2. [Reaktiv pog'ona va har qanday reaktivlik darajasidagi pog'ona.](#)
3. [Turbinaning ikki gardishli pog'onasi va uning foydali ish koeffitsiyenti.](#)
4. [Nazorat savollari.](#)

##### 1. Aktiv pog'onaning issiqlik hisobi.

Pog'onaning issiqlik hisobi uchun quyidagi kattaliklar beriladi: soplo oldidagi bug'ning boshlang'ich (pog'ona oldidagi) bosimi  $p_0$  (bar) va harorati  $t_0$  ( $^{\circ}X$ ); ishchi parragi (pog'ona) dan keyingi bug' bosimi  $p_2$  (bar), pog'ona orqali bug' sarfi  $G_1$  (kg/sek); turbina aylanishlari soni  $p$  (ayl/min). Hisoblash natijasiga ko'ra quyidagilarni aniqlash talab etiladi: pog'ona foydali ish koeffitsiyenti  $\eta_i, \eta_{oi}$ ; soplo va ishchi parraklari o'lchamlari, pog'ona parragidagi  $N_u$  va ichki  $N_i$  quvvati.  $is$  – diagrammasidan berilgan parametrlarni – boshlang'ich bosim  $p_0$  (bar) va harorati  $t_0$  ( $^{\circ}X$ ); ishchi parragi (pog'ona) dan keyingi bug' bosimi  $p_2$  (bar) ni belgilab olinadi va mo'ljalidagi  $h_0$  issiqlik tushishini aniqlanadi.

$$c_a = \sqrt{2 \cdot (k_0 + \Delta k_0)} \quad (4.1)$$

formula orqali bug'ning adiabatik tezligi  $c_a$  topiladi.

Undan so'ng  $\alpha_1$  burchak ko'rsatkichlari qabul qilinadi: kondensatsion turbinalarning birinchi pog'onasi uchun  $11 - 13^{\circ}$ , o'rta pog'onalari uchun  $14 - 16^{\circ}$ , oxirgi pog'onalar uchun  $18^{\circ}$  va undan yuqori ko'rsatkich qabul qilinadi. Tezlik koeffitsiyenti  $\varphi$  aniqlanadi va undan keyin:

$$\left( \frac{u}{c_a} \right)_n = \mu^{\varphi} \frac{\cos \alpha_1}{2} \quad (4.2)$$

formula orqali  $\left( \frac{u}{c_a} \right)_n$  optimal ko'rsatkichi aniqlanadi. So'ngra aylanma tezlik

$$u = \left( \frac{u}{c_2} \right) \cdot c_2 \quad (4.3)$$

topiladi va unga ko'ra pog'onaning o'rtacha diametri aniqlanadi:

$$d = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot n} \quad (4.4)$$

Soplodan chiqishdagi nazariy va xaqiqiy bug' tezligi (4.5) va (4.6) formulalardan aniqlanadi:

$$c_u = \sqrt{2 \cdot h_{01} + c_0^2} \quad (4.5)$$

$$c_1 = \mu \cdot c_{1z} = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot h_{01} + c_0^2} \quad (4.6)$$

Ishchi parragiga kirishdagi nisbiy tezlik  $\omega_1$  va kirishdagi burchak  $\beta_1$  ni (4.7) va (4.8) tengliklardan aniqlab,

$$\omega_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot u \cdot c_1 \cdot \cos \alpha_1} \quad (4.7)$$

$$\sin \beta_1 = \frac{c_1}{\omega_1} \times \sin \alpha_1 \quad (4.8)$$

$c_1$ ,  $d_1$  va  $i$  bo'yicha kirishdagi tezlik uchburchagini quramiz (10 – rasm). Ishchi parragidan chiqishdagi bug'ning nisbiy tezligi (9) formuladan aniqlanadi va  $\psi$  koeffitsiyent grafikdan aniqlanadi.

$$\omega_2 = \mu' \cdot \omega_1 \quad (4.9)$$

$\beta_2$  burchakni  $\beta_2 = \beta_1 \square (2 \square 4)^\circ$  munosabatdan olish mumkin. Chiqishdagi tezlik uchburchagini qurishda yordam beruvchi  $c_2$  va  $\alpha_2$  kattaliklar (4.10) va (4.11) formulalardan aniqlanadi:

$$c_2 = \sqrt{a_2^2 + u^2 - 2 \cdot u \cdot a_2 \cdot \cos \alpha_1^2} \quad (4.10)$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{a_2}{c_2} \times \sin \alpha_1^2 \quad (4.11)$$

Soplodagi issiqlik isrofi  $h_c$ , ishchi parragidagi  $h_a$  va chikish tezligidagi  $h_{ch}$  issiqlik isrofi (tushishi) (4.12), (4.13) va (4.14) formulalardan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} h_c &= \frac{c_{1t}^2 - c_1^2}{2} = (1 - \mu^2) \cdot \frac{c_{1t}^2}{2} = \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) * \frac{c_1^2}{2} = \\ &= (1 - \mu^2) * (i_0^* - i_{1t}) = (1 - \mu^2) \cdot \left( h_{01} + \frac{c_0^2}{2} \right) \end{aligned} \quad (4.12)$$

$$\begin{aligned} h_u &= \frac{a_1^2 - a_2^2}{2} = (1 - \mu^2) \times \\ &\times \frac{a_1^2}{2} = \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{a_2^2}{2}; \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$h_v = \frac{c_2^2}{2} \quad (4.14)$$

Ishqalanishdagi issiqlik isrofi (4.15) formuladan aniqlanadi:

$$h_{m.e.} = \frac{N_{m.e.}}{c_1} \quad (4.15)$$

bu yerda  $N_{l.v.}$

$$N_{m.e.} = \frac{\lambda}{v} \times \left[ 1,07 \cdot d^2 + 0,61 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot d \cdot l_2^{1.5} \right] \times \frac{u^2}{10^6} \quad (4.16)$$



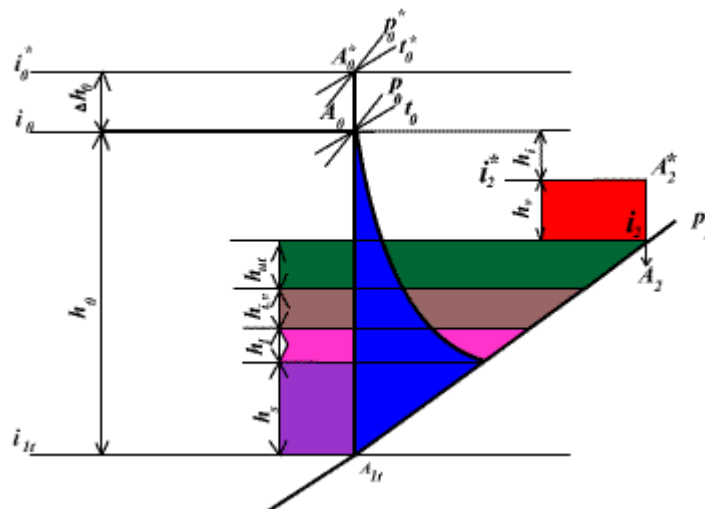
$N_{t.v.}$  – diskning ishkalanishida sarflangan quvvat, kVt;  $\lambda$  - xavo, gaz va o‘ta qizigan bug‘ uchun – 1,0 ga, qizigan bug‘ uchun – 1,1 dan 1,2 gacha va to‘yingan bug‘ uchun – 1,3 ga teng koeffitsiyent;  $d$  – pog‘onaning o‘rtacha diametri, m;  $\varepsilon$  - partiiallik darajasi,  $\varepsilon = l_2$ ;  $l_2$  – ishchi parragi balandligi, sm;  $u$  – o‘rtacha diametr doirasidagi aylanma tezlik, m/sek;  $v$  diskni aylantiruvchi jismning solishtirma xajmi, m<sup>3</sup>/kg. Diagramma zichlamalari orqali bug‘ isrofidan xosil bo‘ladigan issiqlik tushishi  $h_{ym}$  (4.17), (4.18) formulalardan aniqlanadi:

$$h_{ym} = i_{csh} - i_2 \quad (4.17)$$

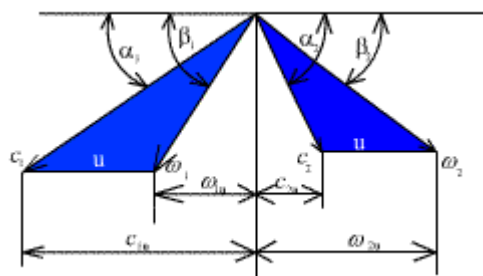
$$h_{ym} = \frac{c_{ym}}{c_1} \cdot h_0 \quad (4.18)$$

$c_{ym} = c_0 - c_a$ ;  $c_a$  - soplodagi bug‘ sarfi. Pog‘onaning ichki nisbiy foydali ish koeffitsiyenti (4.19) formuladan aniqlanadi:

$$\eta_{od} = \frac{h_2}{h_0} \quad (4.19)$$



9 – rasm. Aktiv pog‘onada issiqlik jarayonining  $is$  – diagrammasi.



10 – rasm. Aktiv pog‘onadagi tezlik uchburchagi. Soplo va ishchi parragingning chiqishdagi balandligi (4.20) va (4.21) formulalardan aniqlanadi:

$$l_1 = \frac{G_1 \cdot v_1}{\pi \cdot d \cdot \varepsilon \cdot c_1 \cdot \sin \alpha_1} \quad (4.20)$$

$$l_2 = \frac{G_2 \cdot v_2}{\pi \cdot d \cdot \varepsilon \cdot c_2 \cdot \sin \alpha_2} \quad (4.21)$$

Pog‘onaning ichki quvvati  $N_i$  quyidagicha aniqlanadi:

$$N_i = c_1 \cdot h_1 \quad (4.22)$$

## 2. Reaktiv pog‘ona va har qanday reaktivlik darajasidagi pog‘ona.

Reaktiv pog‘onaning issiqlik hisobi uchun ham quyidagi kattaliklar beriladi: pog‘ona oldidagi bug‘ning boshlangich bosimi  $p_0$  (bar) va harorati  $t_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ ); pog‘onadan keyingi bug‘ bosimi  $p_2$  (bar), pog‘ona orqali bug‘ sarfi  $G_1$  (kg/sek); turbina aylanishlari soni  $n$  (ayl/min). Hisoblash natijasiga ko‘ra: pog‘ona foydali ish koeffitsiyenti  $\eta_i, \eta_{oi}$  larni; yo‘naltiruvchi va ishchi parraklari o‘lchamlarini, hamda pog‘onadagi  $N_u$  va ichki  $N_i$  quvvat kattaliklarini aniqlash talab etiladi. Bug‘ning berilgan parametrlari uchun  $is$  - diagrammasi bo‘yicha (3 – rasm) pog‘onadagi mo‘ljallangan issiqlik tushishi  $h_0$  va unga ko‘ra (reaktivlik darajasi  $\rho$  aniq bo‘lganda) ishchi va yo‘naltiruvchi parraklardagi issiqlik tushishlari  $h_{01}$  va  $h_{02}$  aniqlanadi. Keyin  $h_{01}$  bo‘yicha yo‘naltiruvchi va  $h_{02}$  bo‘yicha ishchi parraklar orasidagi tanlangan qirqimdagi  $p_1$  statik bosimni topish mumkin. Bug‘ning

adiabatik tezligi  $c_a = \sqrt{2 \cdot h_0}$  tenglikdan aniqlanadi.

$$\left( \frac{u}{c_a} \right)_n$$

ning qulay munosabati:

$$\left( \frac{u}{c_a} \right)_n = 0,707 \cdot \rho \cos \alpha_1 \quad (4.23)$$

dan aniqlanadi, bunda  $\varphi$  ni 0,95 dan 0,97 gacha deb,  $\alpha_1$  ni esa — kondensatsion turbinalarning birinchi pog‘onasi uchun -  $12^{\circ}$  dan  $18^{\circ}$  gacha, o‘rta pog‘onalar uchun -  $18^{\circ}$  dan  $24^{\circ}$  gacha kilib va oxirgi pog‘onasi uchun -  $24^{\circ}$  dan  $30^{\circ}$  gacha deb qabul qilinadi. Pog‘onaning urtacha diametri (4.4) formuladan aniqlanadi. Yunaldiruvchi parrakdan chikishdagi bug‘ning xakikiy tezligi (4.6) formuladan aniqlanadi.  $s_1 a_1$  va  $i$  bo‘yicha

ishchi parrakka kirishdagi tezlik uchburchagi quriladi va bunda  $\omega_1, \beta_1$  lar (4.7) va (4.8) formulalardan topiladi.  $h_{01} = h_{02}$  bo'lgan xolatda bug' tezligi quyidagicha hisoblanadi:

$$\alpha_2 = c_1 = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot h_{02} + \alpha_1^2} \quad (4.24)$$

bu xolda  $\psi = \varphi = 0,95 \div 0,97; \beta_2 = \alpha_1$  va  $\alpha_2 = \beta_1$  (4a – rasm). Pog'onaning foydali ish koeffitsiyenti  $\eta_n$  ning maksimal ko'rsatkichini olish uchun  $\alpha_2 = 90^\circ$  deb olinadi. Pog'onadagi issiqlik tushishlari quyidagi tenglamalardan aniqlanadi: yo'naltiruvchi parrakdagisi (4.12) tenglamadan, ishchi parrakdagisi:

$$h_u = \frac{\alpha_{2t}^2 - \alpha_2^2}{2} = (1 - \mu^2) \times \\ \times \frac{\alpha_{2t}^2}{2} = \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{\alpha_2^2}{2}; \quad (4.25)$$

va chikish tezligi davomidagisi:

$$h_v = \frac{c_2^2}{2} \quad (4.26)$$

Parrakning radial qirqimlari orqali bug' yo'qotishlaridagi issiqlik isrofi (barabanli konstruksiyaga ega reaktiv pog'onada) Anderxub formulasidan aniqlanadi:

$$h_{ym} = 1,72 \frac{c_v^{d^4}}{l} \cdot h_0 \quad (4.27)$$

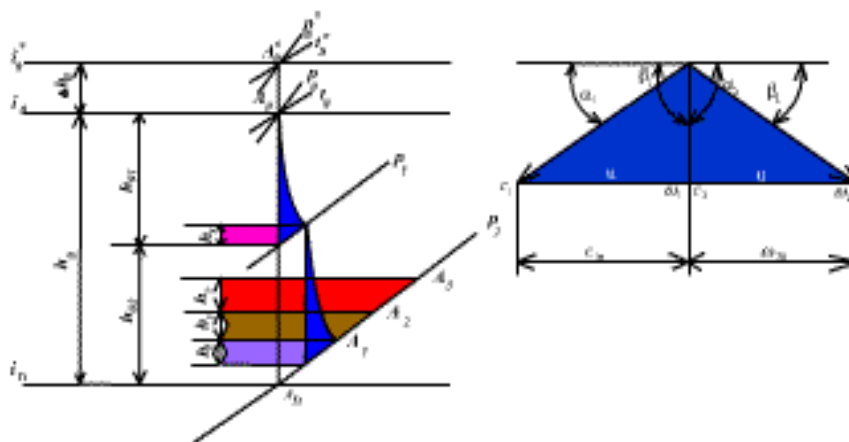
SHamollatish va ishqalanishdagi issiqlik tushishi (diskli turbina konstruksiyalarida) (4.15) va (4.16) formulalardan, diafragma zichlamalaridagi bug' sarfi esa:

$$G_{ym} = 316,2 \times \frac{\mu}{a} \times \sqrt{\frac{p_0^2 - p_x^2}{p_0 \cdot v_0 \cdot (x - 1)}} \quad (4.28)$$

Bug' namligi tufayli issiqlik isrofi:

$$h_{en} = (1 - x) \cdot h_v \quad (4.29)$$

formulalardan aniqlanadi. Ichki nisbiy foydali ish koeffitsiyenti va pog‘onaning ichki quvvati (4.19) va (4.22) formulalar orqali aniqlanadi. Quyida reaktivlik darajasi 50 % bo‘lgan pog‘ona uchun issiqlik jarayonining *is*- diagrammasi va tezlik uchburchagi tasvirlari keltirilgan.



11 – rasm.  $\rho = 50\%$  xolatdagi turbina pog‘onasi uchun issiqlik jarayonining *is* – diagrammasi va tezlik uchburchagi tasviri.

### 3. Turbinaning ikki gardishli pog‘onasi va uning foydali ish koeffitsiyenti

Bir pog‘onali aktiv turbinalar juda kam tayyorlanadi va maxsus maqsadlar uchun qo‘llaniladi. Bu turbinalarning kichik foydali ish koeffitsiyentiga ega ekanligi ularning asosiy kamchiligi hisoblanadi va bu ularning qo‘llanilish soxalarini ham chegaralaydi. Biroq ikki gardishli tezlik pog‘onalari o‘rta va yuqori bosimli ko‘p pog‘onali turbinalarda rostlanuvchi pog‘ona sifatida keng qo‘llaniladi. Ikki gardishli rostlanuvchi pog‘onaning afzallik tomoni unda katta issiqlik tushishiga erishish mumkin, bu esa turbina pog‘onalari umumiy sonini kamaytirib uning konstruksiyasini soddalashtiradi. Bundan tashqari ko‘p pog‘onali turbinalarda rostlovchi pog‘ona sifatida ikki gardishli pog‘onaning qo‘llanilishi o‘zgaruvchan ish rejimida muhim foydali ish koeffitsiyentini ta‘minlaydi. Ikki gardishli pog‘ona foydali ish koeffitsiyenti (aktiv va reaktiv parraklar uchun):

$$\eta_{uzn} = \frac{N_u}{N_0} = \frac{2 \cdot u \cdot \sum (c_{1u} - c_{2u})}{c_a^2} \quad (4.30)$$

bunda  $\sum (c_{1u} - c_{2u})$  - aylanma yo‘nalishdagi oqimning absolyut tezliklari proektsiyalarining yig‘indisi. (4.30) tenglik uch gardishli pog‘onaning parrak foydali ish koeffitsiyentini aniqlash uchun ham yaroqli hisoblanadi. Bu tenglikni echib chiqsak va ma‘lum o‘zgartirishlar kiritsak, unda  $\eta_u$  ko‘rsatkichni ikki va uch gardishli pog‘onalardagi  $u/c_a$  va  $\alpha$  kattaliklarga bog‘lik deb ko‘rsatish mumkin. Bu munosabatga tavsiya etiladigan ko‘rsatkich: ikki gardishli disk uchun  $u/c_a = 0,20 \div 0,25$  va uch gardishli disk uchun  $u/c_a = 0,10 \div 0,17$  ga teng. Soplning burchak qiyaligi uchun tavsiya etiladigan ko‘rsatkichlar: ikki gardishli disk uchun  $\alpha = 12 \div 20^\circ$  va uch gardishli disk

uchun  $\alpha = 20 \div 24^\circ$  ga teng.  $u/c_a$  ko'rsatkichning qulay kattaligini har bir aniq xolat uchun dastlabki hisoblash yo'li bilan topish mumkin.

#### 4 – mavzuni takrorlash uchun savollar va topshiriqlar.

1. Aktiv pog'onaning issiqlik hisobi uchun beriladigan kattaliklar nimalardan iborat?
2. Hisoblash natijasidan qanday ko'rsatkichlar va parametrlar kelib chiqishi kerak?
3. Pog'onalar uchun  $\alpha$  burchak kursatkichlari farki nechaga teng?
4. Soplodan chiqishdagi nazariy va xaqiqiy bug' tezliklari tashkil etuvchilari nimalardan iborat?
5. Ishchi parragiga kirishdagi nazariy va xaqiqiy bug' tezliklari tashkil etuvchilari nimalardan iborat?
6. Ishqalanishdagi issiqlik isrofi bug' turbinasining qaysi qismida sodir bo'ladi?
7. Diafragma zichlamalari orqali bug' isrofi tushunchasiga izoh bering – zichlama qayerda bo'ladi (?) uning vazifasi nimalardan iborat?
8. Aktiv pog'onadagi issiqlik jarayoni reaktiv pog'onadagi issiqlik jarayonidan nimasi bilan farq qiladi?
9. Har bir pog'ona uchun alohida *is* – diagrammalarini chizing.
10. Aktiv pog'onadagi bug' harakatini ifodalovchi tezlik uchburchagi reaktiv pog'onadagi tezlik uchburchaklaridan nimasi bilan farqlanadi?
11. Har bir pog'ona uchun alohida tezlik uchburchaklarini chizing.
12. Reaktiv pog'onaning issiqlik hisobi uchun qanday parametrlar berilgan?
13. Radial qirqimlarda issiqlik isrofi qanday aniqlanadi?
14. Ikki gardishli pog'onaning afzallik va kamchiliklari nimalardan iborat?
15. Bir gardishli pog'onaning afzallik va kamchiliklarini aytib bering?
16. Ikki gardishli pog'onaning foydali ish koeffitsiyenti bir gardishli pog'ona foydali ish koeffitsiyentidan nimasi bilan farq qiladi?

#### 5- Mavzu. Turbinada yo'qotishlar tasnifi

Reja:

1. Yo'qotishlarni sinflarga bo'linishi.
2. Ichki yo'qotishlar sinfi.
3. Tashqi isroflar sinfi.
4. Turbina pog'onasining foydali ish koeffitsiyenti.
5. Nazorat savollari

##### 1. Yo'qotishlarni sinflarga bo'linishi.

Turbinadagi sarflarning umumiy kattaligi turbina validagi nazariy quvvat  $N_t$  dan haqiqiy quvvat  $N_{oi}$  ning ayirmasidan aniqlanadi:

$$\Delta W_{\Sigma} = N_t - N_{oi} \quad (5.1)$$

Bug' turbinasida ro'y berayotgan barcha yo'qotishlarni ikkita guruhga bo'lish mumkin: *ichki sarflar, ya'ni ishchi jismning turbinada kengayishida xolati o'zgarishiga bevosita ta'sir qiluvchi yo'qotishlar; tashqi sarflar, ya'ni ishchi jismning turbinada kengayishida uning xolati o'zgarishiga ta'sir qilmaydigan yo'qotishlar.*

Birinchi guruh yo'qotishlariga ushbularni qo'shish mumkin: klapanlardagi yo'qotish, soplodagi (yunaltiruvchi parrakdagi) yo'qotish, ishchi parragidagi yo'qotish, chiqish

tezligidan yo‘qotish, ishqalanish va shamollatishga yo‘qotish, ichki yoriqlar orqali yo‘qotish, bug‘ namligi tufayli sodir bo‘ladigan yo‘qotish, chiqish quvurchasidagi yo‘qotishlar. Yo‘qotishlarning ikkinchi guruhiga eng so‘nggi zichlamalar orqali sirqib oqib ketishdan paydo bo‘ladigan yo‘qotishlar, mexanik yo‘qotishlar kiradi.

## 2. Ichki yo‘qotishlar sinfi.

### Klapandagi isroflar:

Turbinaga keladigan bug‘, avval maxsus rostlash organlari: to‘xtalish va rostlash klapanlari orqali o‘tadi. Bug‘ bu klapanlardan o‘tayotganda drossellanish natijasida uning bosimi kamayadi ( $i_o = const$ ). Bu bosim yo‘qotilishi klapanlar butunlay ochiq qolganda ishlatilmagan bug‘ bosimi  $p_o$  ning 5 % ini tashqil qiladi. Hisoblarda bosimning isrofi (yo‘qotilishi) quyidagicha qabul qilinadi:

$$\Delta p_x = (0,03 \div 0,05) \cdot p_o \quad (5.2)$$

Klapanlarda bug‘ning drossellanishi oqibatida bug‘ning bosimi  $p_o' = p_o - \Delta p_k$  ga qadar kamayib, issiqlikning tushishi  $\Delta H_k = H_o - H_o'$  ni hosil qiladi. Soplodagi isroflar: Soplo kanallarida kinetik energiyaning isrofi, bug‘ning soplo profilidagi harakatlanishi, bug‘ zarrachalari bilan soplo devori orasidagi ishqalanish, soplo ortidagi bug‘ning uyurmali harakati tufayli yuzaga keladi. Tezlikning soplo kanalidagi isrofi asosan tezlik koeffitsiyenti  $\varphi$  orqali hisobga olinadi ( $c_{1t} = c_{1t} \times \varphi$ ).

$\varphi$  asosan soplo kanalining geometrik o‘lchamlariga (uzunligi, balandligi va egrilik radiusi) bog‘liq bo‘ladi. Tezlik koeffitsiyenti soplo balandligi  $l_1$  ga bog‘liq bo‘ladi, ya‘ni soplo balandligi kamayishi bilan  $\varphi$  kamayadi.

Masalan:

- *quyma soplo uchun  $\varphi = 0,93 \div 0,94$ ;*
- *quyma va ishlov berilgan soplo uchun  $\varphi = 0,95 \div 0,96$ ;*
- *frezerlangan soplo uchun  $\varphi = 0,96 \div 0,975$ ;*

Soplodagi energiya (issiqlik) isrofi  $h_c$  quyidagicha aniqlangan edi:

$$\begin{aligned} h_c &= \frac{c_{1t}^2 - c_1^2}{2} = (1 - \varphi^2) \cdot \frac{c_{1t}^2}{2} = \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) * \frac{c_1^2}{2} = \\ &= (1 - \varphi^2) * (i_0^* - i_{1t}) = (1 - \varphi^2) \cdot \left( h_{01} + \frac{c_0^2}{2} \right) \quad (5.3) \end{aligned}$$

Ishchi parraklardagi energiyaning isrofi  $h_p$  bir qancha faktorlarga bog‘liq bo‘lib,  $\psi$  tezlik koeffitsiyenti yordamida hisobga olinadi. Bu isrofnig asosiy sabablari quyidagilar: bug‘ning ishchi kanal panjarasida va parrak chetida hosil qiladigan uyurmali harakati, bug‘ zarrachalarining o‘zaro ishqalanishi, bug‘ zarrachalarining parrak bilan ishqalanishi, ishchi parrakda bug‘ning so‘rilishi, soplo devori bilan ishchi parrak kirish qismining

balandliklari farqi va x.k.

CHunki soplo kirish qismining balandligidan ishchi parrak kirish qismining balandligi biroz kattaroq, ya'ni soplodan chiqayotgan bug' tulig'icha parrakka kiradigan qilib tayyorlanadi.

$\psi$  tezlik koeffitsiyenti  $\beta_1 / \beta_2$  nisbat,  $l_2$  ga bog'liq bo'ladi. Masalan:  $\rho = 0,5$  ga teng bo'lsa,  $\psi = 0,95 \div 0,96$  bo'ladi.

$$\alpha_1 = \rho \alpha_2$$

#### Chiqish tezligi hosil qiladigan isrof

Ishchi parrakdan bug'  $c_2$  absolyut tezlik bilan chiqadi. Ko'p pog'onali bug' turbinalarida ishlatilgan bug'ning to'liq energiyasi to'liq yoki qisman keyingi pog'onaning soplosida ishlatilishi mumkin.

Buning uchun ishchi parrak va keyingi pog'ona soplo orasidagi oraliq (zazor) kichiq bo'lishi kerak. Oxirgi pog'onada bu energiya to'liq isrof bo'ladi. Bu isrof quyidagicha hisoblangan edi:

$$h_{ec} = \frac{c_2^2}{2}; \quad \text{K} / \text{Kz} \quad (5.4)$$

*Bu energiya to'liq ekvivalent issiqlikka aylanadi, ishlatilgan bug'ning entalpiyasini oshiradi.*

#### Ishqalanish va ventilyatsiyadan isrof:

Turbina ichida aylanayotgan disk va muxit orasida ishqalanish yuzaga keladi va disk ma'lum miqdordagi bug' zarrachalarini ilashtirib olib, unga tezlanish beradi.

Ishqalanishni yengishga va tezlanish berishga ma'lum mexanik ish sarf bo'ladigan ish issiqlikka aylanadi va bug'ning entalpiyasini oshiradi.

Bundan tashqari soplo joylashgan yoy bo'yicha bug'ning partial berilishiga, ishchi parrak kanallarida bug'ning uyurmali harakati yuzaga keladi.

*Bu uyurmali harakat hosil qiladigan isrof ventilyatsiya isrofi deb ataladi.*

Ventilyatsiya isrofi ishchi jismning parraklariga urilishdan, parraklarning ventilyator (shamolparrak) kabi aylanishi ta'siridan, ishchi parraklarga bug'ning uzlukli oqib kelishidan hosil bo'ladi.

Bu qarshiliklarni yengishga ma'lum mexanik ish, ekvivalent issiqlik sarf bo'lib, bug'ning entalpiyasini oshiradi.

Bunda S T O D O L A formulasidan foydalaniladi:

$$N_{m.e.} = \frac{\lambda}{\nu} \times \left[ 1,07 \cdot d^2 + 0,61 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot d \cdot l_2^{1,5} \right] \times \frac{u^2}{10^6} \quad (5.5)$$

bunda  $N_{t.v}$  – ishqalanish va ventilyatsiyaga sarflanadigan quvvat, kVt;

$\lambda = 1$  – xavo, gaz va o'ta qizigan bug' uchun;

$\lambda = 1,1 - 1,2$  – o'ta qizigan bug' uchun;

$\lambda = 1,3$  – to'yingan bug' uchun qabul qilinadigan koeffitsiyent;

$d$  – pog‘onaning o‘rtacha diametri, m;  
 $\varepsilon$  – partiiallik darajasi;  
 $l_2$  – ishchi parragi balandligi, sm;  
 $i$  – aylanma tezlik, m/s;  
 $v$  – disk aylanayotgan muxit (bug‘) ning solishtirma xajmi, m<sup>3</sup>/kg.

Ishqalanish va ventilyatsiya isrofi issiqlik o‘lchovida quyidagicha hisoblanadi:

$$h_{m.e} = \frac{N_{m.e}}{G} \quad (5.6)$$

bunda  $G$  – pog‘onadan o‘tayotgan bug‘ sarfi, kg/sek;  
 $h_{i.v.}$  isrof ham bug‘ning entalpiyasini orttiradi va  $is$  – diagrammada  $h_c$ ,  $h_m$ ,  $h_b$  dan so‘ng yuqoriga o‘lchab qo‘yiladi.

Bug‘ning namligi tufayli sodir bo‘ladigan isroflar:

Nam bug‘li jarayonda, pog‘onadagi barcha bug‘ to‘lig‘icha ish bajarmasdan balki uning bir qismi ish bajarishda ishtirok etadi. Namlik orqali sodir bo‘ladigan isrof:

$$h_{e.n} = (1 - x) \cdot h_i \quad (5.7)$$

$x$  – bug‘ning o‘rtacha quruqlik darajasi;

$$x = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

$x_1$  - soplo oldidagi bug‘ning quruqlik darajasi  
 $x_2$  – ishchi parrakdan keyingi bug‘ning quruqlik darajasi  
 $h_i$  – pog‘onadagi issiqlikning tushishi, kamayishi.

Chiqish quvuridagi isrof:

Ishlatilgan bug‘ chiqarish quvuri orqali biror tezlik bilan kondensatorga kiradi ( $\omega = 40 - 60$  m/s).

Kondensatsion turbinalarda chiqish tezligi 100 – 120 m/s ni tashkil qiladi. Bunda qoim qismidan chiqayotgan bug‘ning kinetik energiyasi butunlay yo‘qoladi (isrof bo‘ladi). Chiqish quvuridagi bosimning isrofi (yukolishi) quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta p_n = p_2 - p_{2n} = \lambda \cdot \left( \frac{c_n}{100} \right)^2 \cdot p_{2p} \quad (5.8)$$

Bunda  $p_2$  – ishchi parrakdan keyingi bug‘ning bosimi;  $p_{2p}$  – chiqish quvuridagi bosim;  $c_p$  – chiqish quvuridagi bug‘ning absolyut tezligi;  $\lambda$  - koefitsiyent,  $\lambda = 0,07 - 0,1$ .



### 3. Tashqi isroflar sinfi.

Eng so‘nggi zichlamalar orqali silqib oqishdan hosil bo‘ladigan yo‘qotish.

YUqori bosim tomonidan qaraganda turbina zichlamalari sektsiyali qilib, xar bir sektsiya uchun turlicha diametrdagi valli va o‘sha sektsiyalar orqali xar xil bug‘ sarfilari qilib tayyorlanadi.

So‘nggi labirintli zichlamalarda bug‘ yo‘qotilishining minimal ko‘rsatkichini ta‘minlash maqsadida sektsiyalar bo‘yicha zichlamalardagi eshkaklar sonini kattaroq qilib qabul qilinadi, bunday xolda tirqishlardagi bug‘ harakati tezligi va ular orqali bug‘ yo‘qotilishi kattaligi ham pasayadi.

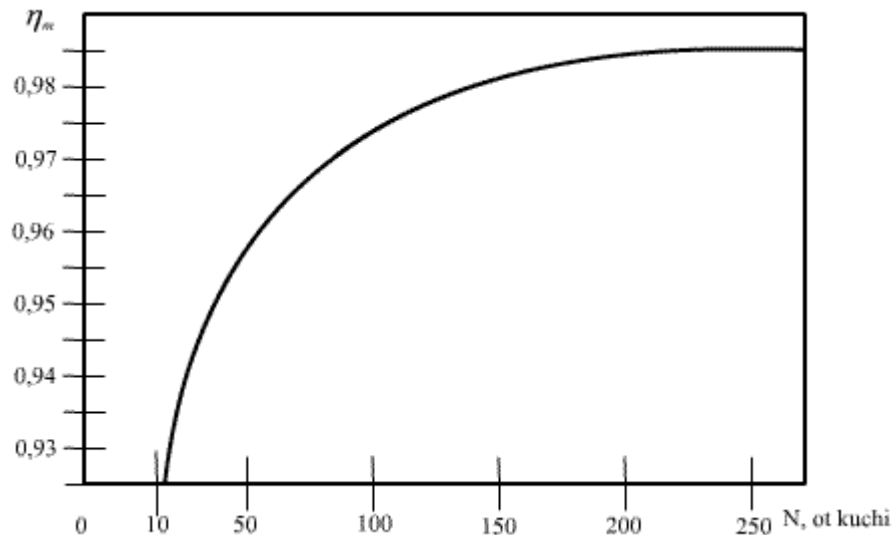
Turbinalarda (uning korpusidagi bug‘ bosimi atmosfera bosimidan yuqori bo‘lsa) bug‘ning bir qismi zichlamalar orqali tashqariga chiqarib yuboriladi. Kondensatsion bug‘ turbinalarida chiqish trubkasiga, kondensatorga xavo so‘rilishini oldini olish uchun, labirintli zichlamalarga atmosfera bosimidan biroq yuqori bosimli bug‘ beriladi. Oxirgi zichlamalarni hisoblashda berilgan bug‘ sarfi va bosim tushishiga ko‘ra labirintlar sonini aniqlash zarur bo‘lgan xollarga ham duch kelish mumkin.

Mexanik yo‘qotishlar.

Bu yo‘nalishdagi yo‘qotishlarni rostlash sistemalari va bosh moy nasosi uzatmalarining tayanch va tirkak podshipniklaridagi qarshiliklarni yengishga sarflanayotgan energiya miqdori bilan izoxlash mumkin.

Turboagregatning mexanik yo‘qotishini mexanik foydali ish koeffitsiyenti  $\eta_m$  orqali hisoblash mumkin. Mexanik yo‘qotishlar boshqa yo‘qotishlar yigindisi orqali tajriba yo‘li bilan aniqlanadi.

Hisoblash ishlarida turli quvvatdagi turbinalarning yaxshi xolatda ishlayotgandagi mexanik foydali ish koeffitsiyenti  $\eta_m$  ning o‘rtacha kattaligini ifodalovchi quyidagi rasmdagi  $\eta_m$  egri chizig‘ini qo‘llash mumkin.



12 – rasm. Mexanik foydali ish koeffitsiyentini aniqlash grafigi.

### 4. Turbina pog‘onasining foydali ish koeffitsiyenti.

Turbina pog‘onasining ichki nisbiy F.I.K.ni

$$\eta_{oi} = \frac{h_i}{E_0} \quad (5.9)$$

formuladan aniqlash mumkin.  
bu erda:

$$h_i = \Delta h_0 + h_0 - \sum h \quad (5.10)$$

pog'onada foydalanilgan issiqlik tushishini aniqlaydi

$$E_0 = \Delta h_0 + h_0 - \Delta h_e \quad (5.11)$$

uning mo'ljaldagi energiyasini belgilaydi.  
Oxirgi ikki tenglamadagi  $h_0$  – pog'onadagi mo'ljallangan issiqlik tushishidir,

$$\Delta h_0 = \mu_0 \cdot \frac{c_0^2}{2} \quad (5.12)$$

esa oldingi pog'onaning, ya'ni qaralayotgan pog'ona soplosida foydalanilgan kinetik energiya. Bu formuladagi  $c_0$  – oldingi pog'ona ishchi parraklaridan keyingi bug'ning absolyut tezligi;  $\mu_0$  – oldingi pog'onadan kelgan bug'ning kinetik energiyasidan foydalanilganlik koeffitsiyenti.

Oraliq pog'ona uchun  $\mu_0 = 0,8 \div 1,0$  deb qabul qilinadi. Bevosita otbor kameralari oraliq joylashgan rostlash pog'onasi soplosiga va birinchi pog'ona soplosiga kirishda bug' tezligi tashkillashtirish xarakteriga ega emas, shuning uchun (5.12) formuladagi  $s_0 = 0$  deb qarash mumkin.

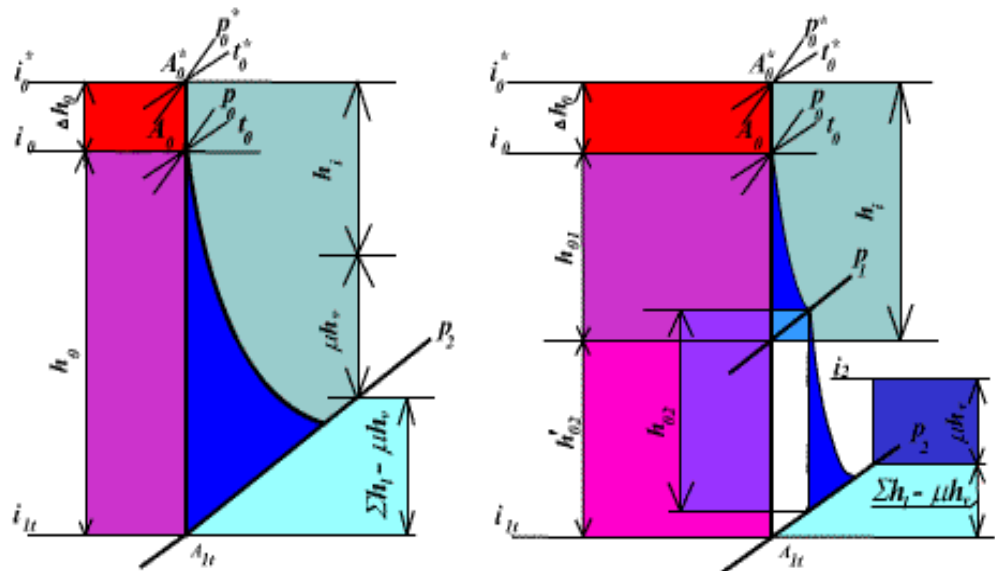
(5.10) formuladagi  $\sum h$  o'zida pog'onadagi barcha yo'qotishlarni mujassamlashtirgan, ya'ni:

$$\sum h = h_c + h_n + h_e + h_v + h_{ym} + h_{mE} \quad (5.13)$$

(5.11) formuladagi  $\Delta h$ , qaralayotgan pog'onadan chiqayotgan va keyingi pog'ona soplosida foydalanilayotgan bug'ning kinetik energiyasi ulushidan aniqlanadi. Bu energiya ushbu formulada keltirilgan:

$$\Delta h_0 = \mu_0 \cdot \frac{c_0^2}{2} = h_0 \cdot \mu_0 \quad (5.14)$$

Agar qaralayotgan pog'onadan keyin bevosita keyingi pog'onaning soplo moslamasi mo'ljallangan bo'lsa, u holda  $\mu_0$  koeffitsiyenti 0,8 dan 1,0 gacha deb qabul qilinadi. Qolgan hollarda esa  $\mu_0 = 0$ .



13 – rasm. Turbina oraliq pog‘onasida issiqlik jarayonining *is* – diagrammasi.

Yuqoridagi rasmda aktiv (a) va reaktiv (b) tipdagi bug‘ turbinalarining oraliq pog‘onalaridagi issiqlik jarayonining *is* – diagrammalar keltirilgan.

### 5 – mavzuni takrorlash uchun savollar va topshiriqlar.

1. Turbinada sarflar kattaligi qanday aniqlanadi?
2. Bug‘ turbinasidagi yo‘qotishlarni qanday qilib guruhlarga ajratish mumkin?
3. Ichki isroflarga nimalar kiradi?
4. Tashqi isroflarga nimalar kiradi?
5. Klapandagi isroflar nimaning ta‘sirida sodir bo‘ladi?
6. Soplodagi isroflar deganda qanday issiqlik tushishi nazarda tutiladi?
7. Tezlik koeffitsiyenti nimaga bog‘liq xolda o‘zgaradi va soplo turiga qarab qanday farqlanadi?
8. Soplo va ishchi parrak orasida bug‘ning kirish va chiqish munosabatlari qanday o‘rnatiladi?
9. Chiqish tezligidan hosil bo‘ladigan isroflar turbinaning qaysi qismida sodir bo‘lishi ko‘zda tutilgan?
10. Stodola formulasini yozing va izoxlang?
11. Ishqalanish va ventilyatsiya isrofi (shu jarayonlar uchun issiqlik yo‘qotilishi) deganda nimani tushunasiz?
12. Bug‘ namligi sababli sodir bo‘ladigan yo‘qotish issiqlik o‘lchovida qanday ifodalanadi?
13. Quruqlik darajasini hisoblash formulasini yozing?
14. Chiqish quvuri (patrubka) dagi isrof tushunchasini izoxlang?
15. Tashqi isroflar tasnifini tushuntirib bering?
16. Turbina pog‘onasidagi ichki nisbiy FIK ni hisoblash formulasini to‘liq tushuntirib bering?
17. Turbina oraliq pog‘onalaridagi issiqlik jarayonining *is* – diagrammasini mustaqil ravishda chizing va tushuntirib bering?

6 – Mavzu: Bug‘ turbinasining foydali ish koeffitsiyenti (FIK), uning quvvati va bug‘ sarfi.

Reja:

1. Bug‘ turbinasining FIK i va quvvati.
2. Turbina orqali oqib o‘tadigan bug‘ sarfini hisoblash.
3. Turbinaning bir tarmoqli pog‘onasi va uning FIK i.
  1. Aktiv pog‘onada;
  2. Reaktiv pog‘onada.
4. Nazorat savollari

1. Bug‘ turbinasining FIK i va quvvati.

Ishchi jismning parametrlari: turbina oldidagi boshlangich bosimi  $p_0$  (bar) va xarorati  $t_0$  ( $^{\circ}$  C); turbina ishchi parragi (pog‘onasi) dan keyingi bug‘ bosimi  $p_k$  (bar) bo‘lgan issiqlik jarayonining  $is$  – diagrammada quyidagicha tasvirlash mumkin:

Issiqlik jarayonida quyidagi kattaliklar ma‘lum:

$i_0$  - turbinagacha bo‘lgan bug‘ning entalpiyasi;

$i_{kt}$  - bug‘ning izoentropik kengayishidan keyingi entalpiyasi;

$i_k$  - ishlatilgan bug‘ning entalpiyasi;

$H_0 = i_0 - i_{kt}$  - turbinada sodir bo‘ladigan issiqlikning tushishi (kamayishi);

$H'_0 = i_0 - i'_{kt}$  - turbinaning oqim qismida issiqlikning tushishi (kamayishi);

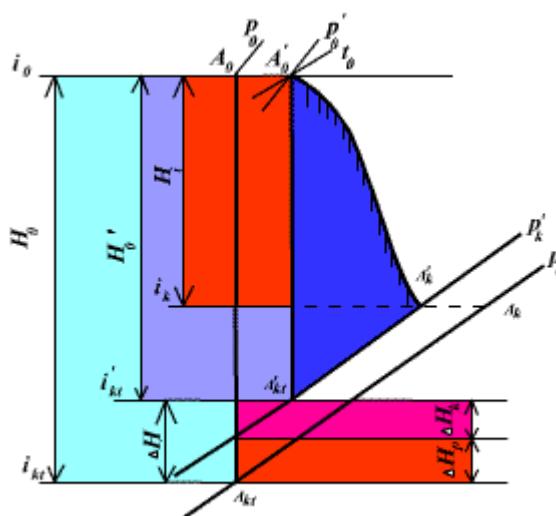
$\Delta H = H_0 - H'_t$  - drossellash klapanlarida va chiqish quvuridagi issiqlik isrofi;

$\Delta H = \Delta H_k + \Delta H_p$

$\Delta H_k$  - klapandagi issiqlik isrofi;

$\Delta H_p$  - chiqish quvuridagi (patrubkadagi) issiqlik isrofi;

$H_i = i_0 - i_k$  - turbinada ishlatilgan foydali issiqlik tushishi, ya'ni bug‘ning kengayishi uchun sarflanayotgan foydali issiqlik.



14 – rasm. Turbinada bug‘ning kengayishining issiqlik jarayonini  $is$  – diagrammada tasvirlanishi.

Turbinaning ichki nisbiy FIKi ( $\eta_{oi}$ ) quyidagi nisbat orqali aniqlanadi:

$$\eta_{oi} = \frac{H_i}{H_0} = \frac{i_0 - i_k}{i_0 - i_{kt}} \quad (6.1a)$$

yoki

$$\eta_{oi} = \frac{H_i}{H_0} = \frac{\sum_{i=1}^z h_i}{H_0} \quad (6.1b)$$

bunda  $\sum_{i=1}^z h_i$  - turbina pog'onalarida ishlatilgan foydali issiqlik tushishi;  $z$  – pog'onalar soni.

Turbinaning nazariy quvvati quyidagiga teng:

$$N_0 = G \cdot H_0, \kappa Bm \quad (6.2)$$

bu yerda  $G$  – turbinada bug' sarfi, kg/s.

Turbinaning ichki quvvati:

$$N_i = G \cdot H_i = G \cdot H_0 \cdot \eta_{oi} = N_0 \cdot \eta_{oi}, \kappa Bm \quad (6.3)$$

Turbinaning effektiv quvvati (muftadagi quvvat):

$$N_e = N_i \cdot \Delta N_{\mathcal{M}}, \kappa Bm \quad (6.4)$$

$\Delta N_m$  – podshipniklardagi mexanik qarshiliklarni yengishga, moy nasosini ishlatishga sarf bo'lgan quvvat, kVt.

Mexanik FIK turbinaning effektiv quvvatini ichki quvvatiga nisbatiga teng bo'ladi:

$$\eta_{\mathcal{M}} = \frac{N_e}{N_i} \quad (6.5)$$

bundan

$$N_i = N_i \cdot \eta_{\mathcal{M}} = N_0 \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_{\mathcal{M}}, \kappa Bm \quad (6.6)$$

Effektiv quvvatning nazariy quvvatga nisbati nisbiy effektiv FIK deb ataladi:

$$\eta_{oi} = \frac{N_e}{N_x} = \eta_{oi} \cdot \eta_{\text{M}} \quad (6.7)$$

Elektr generatori klemmalari (qisqichlari) da xosil bo'ladigan elektrik quvvatning effektiv quvvatga nisbati elektr generatorining FIKi deb ataladi, ya'ni:

$$\eta_2 = \frac{N_3}{N_e} \quad (6.8)$$

bundan

$$N_3 = N_e \cdot \eta_2 = N_0 \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_{\text{M}} \cdot \eta_2, \text{ kBvM} \quad (6.9)$$

Nisbiy elektr FIK:

$$\eta_{o3} = \frac{N_3}{N_e} = \eta_{oi} \cdot \eta_{\text{M}} \cdot \eta_2 = \eta_{oi} \cdot \eta_2 \quad (6.10)$$

YUqorida aniqlangan nisbiy foydali ish koeffitsiyentlari mashinada energiyani o'zgartirish miqdorini xarakterlaydi va olingan foydali quvvatning nazariy quvvatga nisbatini ifodalaydi.

Ma'lumki, issiqlik jarayonining termik foydali ish koeffitsiyenti tsiklning termodinamik mukammalligini belgilaydi. Bug' turbinasining termik foydali ish koeffitsiyenti  $\eta_t$  – turbinada olingan energiyani ( $N_0$ ) qozondagi ishchi jismga berilgan  $q_0$  issiqlikka nisbatiga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\eta_t = \frac{H_0}{Q_0} \quad (6.11)$$

yoki

$$\eta_t = \frac{i_0 - i_k}{q_0} \quad (6.11a)$$

Termik FIK i  $\eta_t$  ning nisbiy FIK ga ko'paytmasi absolyut FIK deb ataladi. SHuning uchun quyidagilarni yozish mumkin:

1) absolyut ichki foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta_t = \eta_t \cdot \eta_{oi} \quad (6.12)$$

2) absolyut effektiv foydali ish ko'effitsiyenti:

$$\eta_e = \eta_t \cdot \eta_{oi} = \eta_t \cdot \eta_m \quad (6.13)$$

3) absolyut elektr foydali ish ko'effitsiyenti:

$$\eta_3 = \eta_t \cdot \eta_{o3} = \eta_e \cdot \eta_2 = \eta_t \cdot \eta_m \cdot \eta_2 \quad (6.14)$$

## 2. Turbina orqali o'qib o'tadigan bug' sarfini hisoblash.

Turbina orqali o'qib o'tadigan bug' sarfini (6.2) va (6.3) tengliklarni birgalikda echish orqali topiladi:

$$N_0 = \frac{N_3}{\eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_2} \quad \text{va} \quad N_3 = N_0 \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_2$$

bundan

$$N_0 = G \cdot H_0$$

$$GH_0 = \frac{N_3}{\eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_2}$$

bundan bug' sarfi:

$$G = \frac{N_3}{H_0 \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_2} \quad (4.15)$$

bunda  $\eta_{oi}, \eta_m, \eta_g$  – noma'lum bulib, hisobdan oldin mavxum qiymatlar qabul qilinadi.

$\eta_{oi} = 0,76 - 0,78$  dan  $0,83 - 0,86$  gacha bo'lishi mumkin;

$\eta_m = 5.2$  – jadvaldan olinadi [1. SHlyaxin P. N.];

$\eta_g$  – generatorning quvvatiga, aylanishlar soniga bog'liq.

Masalan: generator quvvati 50000 kVt dan yuqori,  $p = 3000$  ayl/min. bo'lsa,  $\eta_g = 0,985$  qabul qilinadi.

Bug'ning solishtirma sarfi:

$$d = \frac{3600 \cdot G}{N_3}; \quad \text{кг l (кВтм · соам)} \quad (6.16)$$

### 3. Turbinaning bir gardishli pog'onasi va uning FIK i.

Bug' turbinalarini loyixalash davrida mumkin qadar ularning foydali ish koeffitsiyentini oshirish ko'zda tutiladi. Turbinaning foydali ish koeffitsiyenti o'z – o'zidan ma'lumki, bevosita pog'onalarining foydali ish koeffitsiyentiga bog'liq bo'ladi. SHuning uchun pog'onaning foydali ish koeffitsiyenti qanday parametrlarga bog'liq bo'lishi va uni oshirish yo'llari o'rganiladi. Biz turbina pog'onalarining foydali ish koeffitsiyentini avval aktiv pog'onada, so'ngra reaktiv pog'onada hisoblash tartibini ko'rib chiqamiz.

#### 1. Aktiv pog'onada;

Bug' qo'zgalmas sopro kanallaridan  $c_1$  absolyut tezlik bilan chiqib ko'zg'aluvchan ishchi parrak kanallariga keladi, bunda bug'ning xarakat tezligi o'zgarib parraklarni  $c_2$  absolyut tezlik bilan tark etadi. Bug'ning egri chiziqli kanallarda xarakatlanishi natijasida  $p_u$  aylanma zo'riqish kuchini xosil qiladi. Bu kuch aylanma tezlik "u" yo'nalishida ishchi parraklarga ta'sir qiladi. Mexanika kursidan ma'lumki, kuch impulsi xarakat miqdorining o'zgarishiga teng bo'ladi:

$$p_u \cdot t = M \cdot (c_1 - c_2) \quad (6.17)$$

$t - p_u$  – kuchining ta'sir qilish vaqti, sek.  
yoki,

$$p_u = \frac{M}{t} \cdot (c_1 - c_2), \quad \frac{M}{t} = G, \quad \text{kg/sek – bug'ning laxzalik sarfi, u xolda}$$

$$p_u = G \cdot (c_1 - c_2) \quad (6.18)$$

bo'ladi.

Ma'lumki, bug'ning xarakat yo'nalishi parraklarning aylanma xarakat yo'nalishi bilan

mos kelmaydi, shuning uchun  $P_u$  zo'riqishni topishda  $c_1$  va  $c_2$  ning proektsiyalari  $c_{1u}$  va  $c_{2u}$  lardan foydalaniladi, ya'ni:

$$p_u = G \cdot (c_{1u} - c_{2u}) \quad (6.19)$$

Kuchning tezlikka ko'paytmasi quvvatni beradi. Bunda parrakning bosh qismidagi quvvat:



$$N_u = p_u \cdot u = G \cdot u \cdot (c_{1u} - c_{2u}) \quad (6.20)$$

Agar barcha energiya isrofsiz, tezlikda kinetik energiyaga aylanadi deb faraz qilsak, adiabatik tezlik quyidagiga teng bo'ladi:

$$c_a = \sqrt{2 \cdot (h_0 + \Delta h_0)} \quad (6.21)$$

$$\Delta h_0 = \mu_0 \cdot \frac{c_0^2}{2} -$$

bunda oldingi pog'onaning kinetik energiyasi, oraliqdagi pog'onada  $\mu_0 = 0,8 - 1,0$ , birinchi pog'onada  $\mu_0 = 0$  bo'ladi.

Pog'onaning nazariy quvvati esa:

$$N_0 = G \cdot (h_0 + \Delta h_0) = G \cdot \frac{c_a^2}{2} \quad (6.22)$$

$N_i$  ning  $N_0$  ga nisbati pog'onaning parrakdagi nisbiy foydali ish koeffitsiyentini beradi:

$$\eta_u = \frac{N_u}{N_0} = \frac{u \cdot (c_{1u} - c_{2u})}{\frac{c_a^2}{2}} = \frac{2u \cdot (c_{1u} - c_{2u})}{c_a^2}$$

demak,

$$\eta_u = \frac{2u \cdot (c_{1u} - c_{2u})}{c_a^2} \quad (6.23)$$

$\eta_i$  – pog'onaning parrakdagi nisbiy foydali ish koeffitsiyenti asosan  $\left(\frac{u}{c_a}\right)_n$ ,

$\alpha_1, \alpha_1', \alpha_2'$  burchaklar va tezlik koeffitsiyentlari ( $\varphi, \psi$ ) ga bog'liq bo'ladi.

$\left(\frac{u}{c_a}\right)_n$  - nisbat pog'onaning asosiy xarakteristikasi hisoblanadi. Bu nisbat  $\alpha_1 = 12 - 18^\circ$  va  $\varphi$  tanlangach, quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$\left(\frac{u}{c_a}\right)_x = \mu^{\sigma'} \frac{\cos \alpha_1}{2} \quad (6.24)$$

$\left(\frac{u}{c_a}\right)_x$  - ning eng qulay qiymati qabul qilinadi.

Pog'onaning nisbiy ichki foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta_{oi} = \frac{N_u - N_{m.e.}}{N_0} = \eta_u - \zeta_{m.e.} \quad (6.25)$$

bunda

$$\zeta_{m.e.} = \frac{N_{m.e.}}{N_0} \quad (6.26)$$

ishqalanish va ventilyatsiya isrofini hisobga oluvchi koeffitsiyent.

## 2. Reaktiv pog'ona.

Reaktiv pog'onada  $N_u$  quvvat,  $N_0$  quvvat va  $\eta_u$  formulalari, agar adiabatik tezlik

$$c_a = \sqrt{2 \cdot h_0} - \sqrt{2 \cdot (h_{01} + h_{02})}$$

ga teng deb olinsa, o'zgarmasdan qoladi.

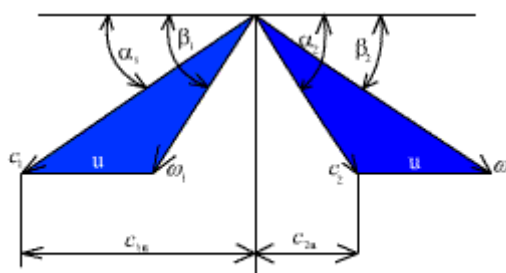
$h_0$  – pog'onadagi issiqlik tushishi;

$h_{01}$  – yo'naltiruvchi kanalda issiqlikning tushishi;

$h_{02}$  – ishchi parraklarda issiqlikning tushishi.

Agar  $\rho = 0,5$  bo'lsa,  $h_{01} = h_{02}$  – bo'ladi. U xolda

$\omega_2 = \sigma_1$ ;  $\beta_2 = \alpha_1$ ;  $\sigma_2 = \omega_1$ ;  $\alpha_2 = \beta_1$  va  $\psi = \varphi$  bo'ladi.



Tezlik uchburchagidan quyidagilarni yozish mumkin:

$$c_{1u} = c_1 \cdot \cos \alpha_1 \qquad c_{2u} = c_2 \cdot \cos \alpha_2$$

$$c_{1u} - c_{2u} = (c_1 \cdot \cos \alpha_1 - c_2 \cdot \cos \alpha_2) =$$

$$= (u_1 \cdot \cos \alpha_1 - u_2 \cdot \cos \alpha_2) = 2 \cdot c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u$$

buni (6.25) ga qo'yamiz:

$$\eta_u = \frac{2 \cdot u \times (2 \cdot c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u)}{c_a^2} \qquad (6.26)$$

$$c_1 = u \times \sqrt{2 \cdot (1 - \rho) \cdot h_0} = u \times \sqrt{1 - \rho} \cdot c_a \qquad (6.27)$$

$$\eta_u = 2 \cdot \left( 2 \cdot u \times \sqrt{1 - \rho} \cdot \cos \alpha_1 - \frac{u}{c_a} \right) \times \frac{u}{c_a} \qquad (6.28)$$

### 6– mavzuni takrorlash uchun savol va topshiriqlar.

1. Issiqlik jarayonida qanday kattaliklar ishtirok etadi?
2. *is* – diagrammani qurish uchun bizga qanday parametrlar berilgan bo'lishi kerak?
3. Turbinaning ichki nisbiy foydali ish koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
4. Turbinaning nazariy, ichki va effektiv quvvatlarini aniqlash formulalarini yozing va kerakli kattaliklar qayerdan olinishini tushuntiring?
5. Turbinada qanday foydali ish koeffitsiyentlari uchraydi?
6. Quvvatga nisbatan foydali ish koeffitsiyentlarini aniqlanishiga misollar keltiring?
7. Absolyut foydali ish koeffitsiyentlari necha turga bo'linadi va qanday aniqlanadi?
8. Turbina orqali o'tadigan bug' sarfi qanday aniqlanadi?
9. Bug'ning solishtirma sarfi qanday kattaliklardan tarkib topgan?
10. Mustaqil ravishda bug' turbinasidagi issiqlik jarayonlari uchun *is* – diagrammani qurish mashqlarini bajaring.
11. Bug' turbinasini loyixalayotganda asosan qaysi parametrlarni oshirilishiga e'tibor qaratiladi?
12. Aktiv pog'onada ishlatiladigan foydali issiqlik haqida batafsil ma'lumot bering?

13. Aylanma zo'riqish kuchi nima va u qanday vujudga keladi?
14. Aktiv pog'ona parragidagi nisbiy foydali ish koeffitsiyenti qanday kattaliklardan tarkib topgan?
15. Reaktiv pog'ona uchun tezlik uchburchagini qurish mashqlarini o'qituvchi yordamida bajaring?
16. Tezlik uchburchagidan erishilgan (ma'lum bo'lgan) kattaliklar (tengliklar) ni keltiring?

## 7 – Mavzu: Ko'p pog'onali turbinalar.

### Reja:

1. Bosim pog'onali aktiv turbinalar.
2. Ko'p pog'onali turbinalarning issiqlik jarayonining *is* – diagrammasi.
3. Issiqlikning qaytish koeffitsiyenti.
4. Ko'p pog'onali aktiv turdagi bug' turbinasining issiqlik hisobi.
  1. Birinchi pog'onaning dastlabki hisobi tartibi.
  2. Ikkinchi pog'onaning dastlabki hisobi tartibi.
  3. Kondensatsion turbinaning oxirgi pog'onasi dastlabki hisobi tartibi.
5. Nazorat savollari

### 1. Bosim pog'onali aktiv turbinalar.

Bosim pog'onali ko'p pog'onali turbinalar elektr generatoriga uzatma sifatida va bir pog'onali turbinalarga nisbatan katta quvvat ishlab berishi jixatidan sanoatda eng keng qo'llaniladigan qurilmalardir.

Ko'p pog'onali turbinalarda bosim pog'onalari keng oraliqda farqlanadi, ya'ni 1 – 5 tadan 40 va undan ko'p pog'onali.

Bosim pog'onali ko'p pog'onali turbinalarda bug'ning kengayishi soplodan keyin oldingiga o'xshash barcha pog'onalar orqali ketma – ketlikda soplo oldidagi  $p_0$  bosimdan oxirgi pog'ona parragidan keyingi  $p_2$  bosimgacha davom etadi.

Birinchi pog'ona soplosida bug'ning bosimi boshlang'ich  $p'_0$  dan  $p_1$  gacha pasayadi. Bug'ning tezligi esa  $c_0$  dan  $c_1$  gacha o'sadi. Birinchi pog'ona ishchi parraklarida bug'ning tezligi  $c_1$  dan  $c_2$  gacha pasayadi, ya'ni bug'ning kinetik energiyasini turbina valiga uzatilayotgan mexanik ishga aylanishi yuz beradi. Keyingi pog'onalarda mutlaqo bir xilda, o'xshash jarayon, bug'ning potentsial energiyasini kinetik energiyaga va nixoyat valning mexanik ishga aylanish jarayoni yuz beradi.

Turbinaning birinchi pog'onasida umumiy issiqlik tushishini taqsimlanishi parrakda o'rtacha bug' tezligiga erishishga va eng muximi  $i/s$  tezlik munosabatini qulay ko'rsatkichiga hamda foydali ish koeffitsiyentiga ijobiy ta'sir ko'rsatuvchi  $\psi$  ko'rsatkichning yo'qori natijasiga erishishga olib keladi. Ko'p pog'onali turbinalarning yana qator afzalliklari borki, biz ular haqida quyida so'z yuritamiz.

### 2. Ko'p pog'onali turbinalarning issiqlik jarayonining *is* – diagrammasi.

Rostlanuvchi klapan oldidagi toza o'tkir bug'ning xolati boshlang'ich  $p_0$  bosim va  $t_0$  xaroratlarga ko'ra *is* – diagrammadan  $A_0$  nuqta bilan belgilab olinadi. U yerda  $N_0$  – yo'qotishlar hisobga olinmagan paytdagi turbina rostlanuvchi klapanidan chiqish patrubkasigacha masofada ko'zda tutilgan issiqlik tushishi;  $p_{2k}$  -

turbinadan keyingi bug' bosimi (agar turbina kondensatsion tipda qurilgan bo'lsa, u xolda  $p_{2k}$  bosim kondensatoridagi bosim deb yuritiladi).

$A'_0$  nuqta birinchi pog'ona soplosidagi bug' xolatini aniqlaydi;  $N'_0$  – turbina rostlanuvchi klapani va chiqish patrubkasidagi yo'qotishlarni hisobga olgan issiqlik tushishi;  $h'_0$  – birinchi pog'onada ko'zda tutilgan issiqlik tushishi;  $A'_0 - A_1$  chizig'i birinchi pog'ona soplosida bug' kengayishining haqiqiy jarayonini belgilaydi.

Parrakdagi  $h'_n$ , ishqalanish va shamollatishdagi  $h'_{t.v.}$  va chiqish tezligidagi  $h'_{ch}$  yo'qotishlarni hisobga olmasak ushbudan birinchi pog'ona uchun bug'ning oxirgi va ikkinchi pog'ona uchun bug'ning boshlangich xolatini aniqlaymiz.

Birinchi pog'onadagi foydalanilgan issiqlik tushishi:

$$h'_i = h'_0 - h'_c - h'_x - h'_{u.w} - h'_r \quad (7.1)$$

Zamonaviy ko'p pog'onali turbinalarda pog'onalar sonini oshishi natijasida oldingi pog'onalaridagi chiqish tezliklaridan to'la yoki qisman foydalanish imkoni tug'ildi. Bundan istisno tariqasidagilar: rostlovchi pog'ona (soploli rostlash bo'lganda), oxirgi pog'ona, turbinaning barcha pog'onalari regeneratsiya uchun yoki boshqa maqsadlar uchun olingan bug' otborili pog'onadan tashqari pog'onalar hamda o'sha yoki boshqa konstruktiv o'zgarishlar natijasida xosil bo'lgan katta kameralardan keyingi oraliq pog'onalar.

Bunday xolatlarda qaralayotgan pog'onalar parraklari orasidagi, soplo va pog'ona orasidagi tirqishlar kattaligi bu yerdagi chiqish tezligidan foydalanishga imkon bermaydi.

Agar qaysidir pog'onadan chiqishdagi tezlikdan shu pog'onadan keyingi pog'onada foydalanilsa, unda bu xolat *is* - diagrammada ifodalanadi. Chiqish tezligi energiyasidan ekvivalent foydalanilgandagi issiqlik tushishi *is* - diagrammasida qaralayotgan qolgan barcha yo'qotishlardan keyin va jarayonning oxirgi nuqtalaridan yo'qoriga vertikal bo'ylab ifodalanadi (masalan,  $c_1, d_2, l_3$  nuqtalar).  $d'_0, d''_0, d'''_0$  nuqtalari aniq pog'onalaridagi soplolar oldidagi bug'ning soxta parametrlarini belgilaydi (tormozlanish parametrlari).

SHunday qilib ko'p pog'onali turbinaning xar qanday foydalanilgan issiqlik tushishi:

$$h_i = h_0 + \mu h'_r - h_c - h_x - h_{u.w} - h_{ym} - h_{kam} - h_x \quad (7.2)$$

ga tengdir. Bu erda:  $\mu$  - bug'ning chiqish tezligidan foydalanish koeffitsienti,  $\mu = 0,7 - 0,8$  (ba'zan  $\mu = 1$ );  $h_0$  - oldingi pog'onadan chiqish tezligidagi yo'qotish. Birinchi pog'ona soplosi bevosita turbina korpusiga maxkamlangan, shuning uchun bu pog'onadagi ichki tirqishlar orqali yo'qotishlar hisobga olinmaydi. Ikkinchi pog'onada  $A_{2l}$  nuqtagacha quyidagi yo'qotishlar ko'zga tashlanadi:

$$h''_c, h''_x, h''_{u.w}, h''_{ym} \text{ va } h''_r$$

Uchinchi va turtinchi pog'onalarda ko'rsatib o'tilgan yo'qotishlarga qo'shimcha ravishda namlikdagi yo'qotishlar ham hisobga olinadi. Chunki bu pog'onalar nam bug' soxasida ishlaydi.

Turbina pog'onalari soplosidan keyingi bug' xolati  $a_1, a_2, a_3$  va  $a_i$  nuqtalardan

aniqlanadi. Ishchi parraklaridan keyingi bug' xolati  $v_1, v_2, v_3$  va  $v_i$  nuqtalardan aniqlanadi.  $A_1$  nuqta oxirgi pog'onadan keyingi ishlatib bo'lingan bug'ning xolatini aniqlaydi.  $A_1$  – nuqta chiqish patrubkasidan keyingi bug'ning xolatini aniqlaydi.

Turbinada foydali issiqlik tushishi quyidagi munosabatdan aniqlanadi:

$$H_i = \sum h_i = h_i' + h_i'' + h_i''' + h_i^{IV} \quad (7.3)$$

bu yerda  $h_i', h_i'', h_i''', h_i^{IV}$  - foydalanilayotgan turbinaning birinchi, ikkinchi, uchinchi va turtinchi pog'onalaridagi issiqlik tushishi.

Chiqish tezligidan foydalanilayotgan ko'p pog'onali turbina pog'onasining ichki nisbiy foydali ish koeffitsienti:

$$\eta_{oi}^* = \frac{h_i}{h_0 + \mu h_r} \quad (7.4)$$

P ALIGN="center">

Ko'p pog'onali turbinalarning umumiy ichki nisbiy foydali ish koeffitsienti

turbina ichida foydalanilgan issiqlik tushishlari summasining  $\sum_1^z h_i$  ko'zda tutilgan adiabatik issiqlik tushishiga  $H_0$  nisbatiga teng:

$$\eta_{oi}^* = \frac{\sum_1^z h_i}{H_0} = \frac{H_i}{H_0} \quad (7.5)$$

### 3. Issiqlikning qaytish koeffitsienti.

$is$  – diagrammadagi izobaralar entropiyaning ogishi tomoniga siljiydi. Bunday xolda xar qanday ikki izobara orasidagi nazarda tutilayotgan issiqlik tushishi entropiyaning oshishi barobarida usadi.

Ko'p pog'onali bug' turbinalarida haqiqiy bug' kengayish jarayoni asosiy adiabata bo'ylab emas, balki bir necha siniq chiziqlar bo'ylab yuz beradi.

Qaralayotgan turbinada bug'ning haqiqiy kengayish jarayoni pog'onalaridagi issiqlik yo'qotishlarini hisobga olgan xolda  $A_0 d_1 d_0 a_2 d_0 a_3 d_0 a_4 A_1$  siniq chizig'i bilan tasvirlanadi.

SHunday qilib, izobaralar sarfidan  $h''_o > h''_{o1}$ ,  $h'''_o > h'''_{o1}$  va  $h^{IV}_o > h^{IV}_{o1}$  ga erishamiz. Bundan kelib chiqib  $A_0 A_{1t}$  asosiy adiabata bo'ylab umumiy issiqlik tushishi,

turbina pog'onalarida haqiqiy bug' kengayish jarayonidagi adiabatik issiqlik tushishlari yig'indisidan kichik bo'ladi, ya'ni:

$$H_0 = h_{01}' + h_{01}'' + h_{01}''' + h_{01}^{IV} < h_0' + h_0'' + h_0''' + h_0^{IV} \quad (7.5)$$

Ushbuni qandaydir "z" pog'onali turbinalar uchun shunday yozamiz:

$$H_0' < \sum_1^z h_{z_i} \quad (7.6)$$

(7.6) tengsizlik ko'p pog'onali turbinalar pog'onalarida xosil bo'ladigan issiqlik yo'qotishlarini, keyingi pog'onalarda foydalanish uchun, qisman qaytarishni ta'minlaydi.

$N_0'$  va  $\sum_1^z h_{z_i}$  orasidagi aloqa quyidagi ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

$$\sum_1^z h_{z_i} = (1 + \alpha) \cdot H_0' \quad (7.7)$$

bu yerda  $\alpha < 1$  va u issiqlikni qaytish koeffitsienti deb nomlanadi. (7.7) tenglamadan:

$$(1 + \alpha) = \frac{\sum_1^z h_{z_i}}{H_0'} \quad \text{ba}$$

$$\alpha = \frac{\sum_1^z h_{z_i} - H_0'}{H_0'} = \frac{h_v}{H_0'} \quad (7.8)$$

ga ega bo'lamiz. Bu yerda  $h_v$  – yo'qotishlardan qisman foydalanish natijasida xosil bo'lgan qo'shimcha issiqlikning yig'indi miqdori.

$\alpha$ - koeffitsient pog‘ona soni oshishi bilan ortadi va buning natijasida uning foydali ish koeffitsienti yomonlashishi mumkin. Hisoblash ishlarida turbina uchun  $\alpha = 0,03 - 0,08$  qabul qilinadi.

Ko‘p pog‘onali turbinalar uchun:

$$H'_0 = h'_1 + h''_1 + h'''_1 + \dots + h^z_0$$

ëku

$$H'_0 \eta_{oi} = h'_1 \cdot \eta_{oi} + h''_1 \cdot \eta_{oi} + h'''_1 \cdot \eta_{oi} + \dots + h^z_0 \cdot \eta_{oi} \quad (7.9)$$

Aloxida pog‘onalarning foydali ish koeffitsientlari bir xil deb nomlanadi va  $\eta^p_{oi}$  bilan belgilanadi.

$$H'_0 \eta_{oi} = \sum_1^z h^z_0 \cdot \eta_{oi} \quad (7.10)$$

bundan  $\eta_{oi} = (1 + \alpha) \cdot \eta_{oi}$  ga erishamiz.

Bu tenglamadan ko‘rinadiki, ko‘p pog‘onali turbinaning bo‘ylama qismi foydali ish koeffitsienti uning pog‘onalarida xosil bo‘ladigan o‘rtacha foydali ish koeffitsienti ko‘rsatkichidan yo‘qori bo‘ladi.

#### 4. Ko‘p pog‘onali aktiv turdagi bug‘ turbinasining issiqlik hisobi.

Zamonaviy ko‘p pog‘onali turbinalarda rostlovchi pog‘ona sifatida bir gardishli yoki ikki gardishli pog‘onalar qo‘llaniladi. Drosselli rostlanuvchi turbinalarda rostlovchi pog‘ona yo‘q.

Soploning baland emasligidan xalos bo‘lish uchun bug‘ning rostlanuvchi pog‘ona soplosidan o‘tkazish partsial ravishda amalga oshiriladi, katta quvvatli turbinalarning rostlovchi pog‘onalarida, deyarli, to‘liq bug‘ qo‘yib yuboriladi. CHuqurlashtirilgan vakuumda ishlovchi kondensatsion turbinalarda bug‘ning solishtirma xajmi kattaligi bilan bog‘liq ravishda, oxirgi pog‘onalarda ruxsat etilgan mustaxkamlik shartlari bo‘yicha qisman katta o‘lchamdagi parraklar qo‘llaniladi. SHuning uchun ko‘p pog‘onali bug‘ turbinasining issiqlik hisobini bajarishda barchasidan oldin dastlabki hisob, birinchi (rostlanuvchan), ikkinchi va oxirgi pog‘onalarning dastlabki hisoblash ishlari bajariladi. Faqat birinchi, ikkinchi va oxirgi pog‘onalarning muvofiq keluvchi asosiy o‘lchamlari tanlanganidan keyingina turbinaning pog‘onalari sonini aniqlashga va uning detallari issiqlik hisoblarini bajarishga kirishiladi.

##### 4.1 Birinchi (rostlanuvchi) pog‘onaning dastlabki hisobi tartibi.

Birinchi pog‘onaning o‘lchamlari ushbu hisobda  $l \geq 10 \text{ mm}$  (zamonaviylarida  $l \geq 20 - 30 \text{ mm}$ ) va  $\varepsilon \geq 0,2$  tarzida hisoblanadi.



Soploning chiqishdagi issiqlik yuzasi oqimning uzilmaslik shartiga ko'ra aniqlanadi:

$$f_1 = \frac{G_0 \cdot v_1}{c_1} = \frac{\pi d \cdot \varepsilon l \cdot \sin \alpha_1}{c_1} \quad (7.11)$$

bu yerda  $c_1$  – soplodan chiqishdagi bug' tezligi (7.11) tenglikdagi  $c_1$  o'rniga  $c_1 = i/x$  va unda  $x = i/s_1$  qo'yib:

$$G_0 \cdot v_1 \cdot x = \pi d \cdot \varepsilon l \cdot \sin \alpha_1 \quad (7.12)$$

Demak,  $i = \pi d_{n/60}$  ligini hisobga olib, nixoyat:

$$60G_0 \cdot v_1 \cdot x = \pi^2 \cdot d^2 \cdot \varepsilon l \cdot \sin \alpha_1 \quad (7.12a)$$

ga ega bo'lamiz.

Bu tenglamaning yechimidan nisbiy diametrni aniqlaymiz:

$$d = \sqrt{\frac{60G_0 \cdot v_1 \cdot x}{\pi^2 \cdot \varepsilon l \cdot \sin \alpha_1}} \quad (7.13)$$

(7.13) tenglikdagi  $l$ ,  $x$ ,  $\varepsilon$  va  $\alpha_1$  kattaliklari rostlanuvchan pog'onadagi konstruktiv bogliqlikni baxolaydi. Ko'rsatilgan kattaliklar uchun sonli ko'rsatkichlarni qabul qilib chiqilsa, unda tenglikdagi  $d$  va  $v_1$  ko'rsatkichlar noma'lumligicha qoladi. Bu paytda (7.13) tenglikdan  $d$  ni tanlab olib  $v_1$  ni aniqlash uslubi bilan va nixoyat tanlangan  $d$  ni to'g'riligini tekshirish yo'li bilan yechiladi. Bu tenglikni yechish uchun birinchi navbatda  $d$  ning taxminiy dastlabki ko'rsatkichi qabul qilinadi. SHunda aylanma tezlik  $i = \pi d_{n/60}$  ni, bug'ning tezligi  $s_1 = i/x$  ni, pog'onadagi

$$h_0 = \frac{c_1^2}{8378 \cdot \mu^2}$$

adiabatik issiqlik tushishi

ni va soplodagi issiqlik isrofini aniqlash imkoni tug'iladi:

$$h_c = (1 - \mu^2) \times \frac{c_{it}^2}{8378 \cdot \mu^2} \quad (7.14)$$

$is$  – diagrammadagi  $h_0$  va  $h_2$  larni hisobga olmasdan soplodagi bug' xolatiga muvofiq  $v_1$  ni aniqlab olinadi va (7.13) tenglikka qo'yib  $d$  ni aniqlanadi. Agar tenglikda aniqlangan  $d$  oldindan tanlanganiga teng bo'lmasa, boshqa taxminiy ko'rsatkichni qabul qilinadi va qayta hisoblanadi.

#### **4.2 Ikkinchi pog'onaning dastlabki hisobi tartibi.**

Katta bug' sarfili turbinalarda bug'ning partsial kirishi faqat rostlanuvchan pog'ona uchungina muvofiq keladi. Kichiq bug' sarfili, kichiq quvvatli

turbinalarda partzial qo'yib yuborish (kirish) bir necha birlamchi bosim pog'onalari uchun muvofiq keladi. Kichiq quvvatli turbinalarda to'liq bug' o'tishi ikkinchi va undan keyingi pogonlarga to'g'ri keladi. Bunday xolatda ikkinchi pog'ona hisobi uchun soploning minimal balandligi ( $l = 10 - 15 \text{ mm}$  va  $\varepsilon = 1$ ) va o'rtacha diametr qabul qilinadi.

O'rta va yo'qori quvvatli turbinalarning ikkinchi pog'onasida  $\varepsilon = 1$  deb, soplo balandligi  $15 - 20 \text{ mm}$  va diametrga bog'liq ravishda undan yo'qori qilib tanlanadi.

### 4.3 Kondensatsion turbinaning oxirgi pog'onasi dastlabki hisobi tartibi.

Oxirgi pog'ona ishchi parrak kanali chiqish kesimi uchun qo'llaniladigan oqimning davomiylig tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$f_2 \omega_2 = G_0 \cdot v_2 = \pi d \cdot l \cdot \omega_2 \cdot \sin \beta_2 \quad (7.15)$$

bu yerda  $v_2$  – ishchi parrakdan chiqishdagi bug'ning solishtirma xajmi.

Agarda  $\omega_2 \cdot \sin \beta_2 = c_2 \cdot \sin \alpha_2$  deb qarasaq unda:

$$G_0 \cdot v_2 = \pi d \cdot l \cdot c_2 \cdot \sin \alpha_2 \quad (7.15a)$$

(7.15) tenglikka  $d/l = v$  belgilash kiritib

bu tenglamani echib nisbiy diametr topiladi:

$$d = \sqrt{\frac{G_0 \cdot v_2 \cdot x}{\pi c_2 \cdot \sin \alpha_2}} \quad (7.16)$$

Chiqish tezligidan yo'qotishni shunday ifodalash mumkin:

$$h_e = \frac{c_2^2}{8378} = \zeta_e \cdot H_0 \quad (7.17)$$

bu yerda  $\zeta_v$  – oxirgi pog'onadan chiqishdagi issiqlikning yo'qotilish koeffitsienti. (7.17) tenglamadan:

$$c_2 = 91,5 \sqrt{\zeta_e \cdot H_e} \quad (7.18)$$

Oxirgi pog'ona ishchi parraklaridan chiqayotgan bug'ning  $c_2$  tezligi to'laligicha yo'qoladi.  $c_2$  tezlik qanchalik katta bo'lsa, chiqish tezligidan issiqlik yo'qotilishi shunchalik katta bo'ladi va tabiiy ravishda foydali ish koeffitsienti ham shunchalik kichik bo'ladi.

Kondensatsion turbinalarda oxirgi pog'onadan chiqish tezligi sababli yo'qotilish,

turbinada koʻzda tutilgan  $N_0$  issiqlik tushishining  $\zeta_v = 1 - 3\%$  iga teng boʻladi.  $\zeta_v$  kattaligi oxirgi pogʻona dastlabki hisobidagi baxolashlarga qarab qabul qilinadi. (7.16) tenglikdagi  $c_2$  oʻrniga (7.18) tenglikdagi  $c_2$  qiymatini qoʻyib:

$$d = \sqrt{\frac{G_0 \cdot v_2 \cdot x}{\pi \cdot 91.5 \sqrt{c_2} \cdot H_0 \cdot \sin \alpha_2}} \quad (7.19)$$

Kichik va oʻrta quvvatli kondensatsion turbinalari uchun  $d/l = v$  munosabat natijasi 5 – 6 ham qabul qilinmaydi. Zamonaviy katta quvvatli turbinalarda  $v$  koʻrsatkich 3 – 3,5 gacha xatto 2,7 gacha kamayadi.

$v < 8 - 10$  tashki zirxning aylanma tezligi va parrakning ildiz kesimi pogʻonaning oʻrtacha diametrini hisoblangan aylanma tezligidan afzal boʻladi. SHuning uchun ishchi

parrak kanallariga bugʻning kirish zarbini kamaytirish maqsadida ishchi kanali  $\alpha_1$  burchak qiyaligida qilib tayyorlanadi (ayrim xollarda).  $v > 8 - 10$  boʻlsa, parraklar

doimiy  $\alpha_1$  burchak ostida tayyorlanadi.

Ishchi parragidan chiqishdagi bugʻning solishtirma xajmi turbinaning foydali ish koeffitsientini  $i_s$  – diagrammasi boʻyicha dastlabki baxolashga asoslanib olinadi.

Turbinaning oxirgi pogʻonasidagi absolyut tezlik  $s_2$  da chiqish tezligi  $\alpha_2 = 90^\circ$  boʻlishi uchun chiqish tezligida minimal yoʻqotishlarni qabul qilish maqsadga muvofiqdir.

SHunga koʻra, (7.19) tenglamadagi  $d$  ni hisoblashda  $\sin \alpha_2 = 1$  deb qabul qilish mumkin.

$d$  ni aniqlab  $i = \pi d_{n/60}$  ni topamiz. Agar  $i$  koʻrsatkich juda katta boʻlsa, unda ruxsat etilgan kattaliklarni tanlash afzal yoki  $v$  ni kamaytirib, yoxud  $\zeta_v$  ni oshirish kerak boʻladi.

Xozirgi vaktida koʻplab turboqurilmalar zavodlari oʻrtacha diametr boʻyicha aylanish tezligini 315 m/s ga teng qilib tayyorlayapti. LMZ ning yangi katta quvvatli turbinalarida oxirgi pogʻonaning oʻrtacha diametr boʻyicha aylanma tezligi 314 m/s ni tashkil etadi.

Loyixalanayotgan oʻta yuqori va kritik bugʻ parametrlariga ega turbinalarda aylanma tezligini 350 – 360 m/s ni tashkil etadi.

Oxirgi pogʻonada kuzatilayotgan issiqlik tushishi ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$h_{on} = \frac{u^2}{8378 \cdot \mu^2 \cdot x^2} \quad (7.20)$$

$i/s = x$  munosabatni 0,48 – 0,52 deb qabul qilish mumkin.

Karshi bosimli turbinalarning oxirgi pogʻonasi uchun (7.19) tenglik toʻgʻri kelmaydi, ular uchun (7.13) tenglikni qoʻllash maqsadga muvofiq va birinchi pogʻona uchun  $\varepsilon = 1$  deb qabul qilinadi.

## 7– mavzuni takrorlash uchun savol va topshiriqlar.

1. Koʻp pogʻonali turbinalarga taʼrif bering?
2. Koʻp pogʻonali turbinalarda bosim pogʻonalari qanday oraliqda farqlanadi?
3. Koʻp pogʻonali turbinalarda bugʻning kengayish jarayoni qanday tarzda kechadi?

4. Issiqlik tushish darajalari haqida nimalarni o'rgandingiz?
5. Ko'p pog'onali turbina pog'onalarining ichki nisbiy foydali ish koeffitsienti kattaligi qanday hisoblanadi?
6. Haqiqiy bug' kengayishi ko'p pog'onali turbinalarda qay tarzda yuz beradi?
7. Issiqlikni qaytish koeffitsienti nima va u qanday aniqlanadi?
8. Issiqlikni qaytish koeffitsienti nimaga bog'liq ravishda o'zgaradi?
9. Rostlovchi pog'ona nima va u qanday vazifani bajaradi?
10. Issiqlik hisobi bajarish uchun oldin qanday ishlar amalga oshirilishi kerak?
11. Birinchi pog'ona uchun nisbiy diametr qanday aniqlanadi?

## **8 – Mavzu. TURBINANING ISH REJIMLARI**

### **REJA.**

1. Umumiy tushunchalar.
2. Drosselli bug' taqsimoti.
3. Soploli bug' taqsimoti.
4. Aylanma bug' taqsimoti.
5. Nazorat savollari.

#### **1. Umumiy tushunchalar .**

Turbina kichik solishtirma issiqlik sarfi bilan ishlab turib katta absolyut foydali ish koeffitsientiga tenglashtiruvchi quvvat ishlab chiqarsa, bunday quvvat iqtisodiy quvvat deb ataladi.

Turbinaning uzoq vaqt ma'lum miqdordagi belgilangan quvvatni ishlab chiqarishi natijasida olinayotgan quvvat nominal deb nomlanadi. Nominal quvvat turbinaning vazifasidan kelib chiqqan xolda iqtisodiy quvvatga teng yoki undan 10-15 % katta bo'lishi mumkin.

Turbinaning asosiy issiqlik hisoblari iqtisodiy quvvatga ko'ra ishlab chiqiladi. Issiqlik hisoblarida turbina pog'onalari bo'ylab issiqlik tushishining asoslanishi ( $u/c$ ) ning eng qulay munosabatlariga bog'liq bo'ladi.

Turbinaning quvvati u ishlayotganda – salt ishlash rejimidan tortib to nominal ko'rsatkichlargacha bo'lgan barcha yuklama diapazonlarida o'zgarib turishi mumkin. Turbina quvvatining o'zgarishi, asosan, bug' sarfi  $D$  ning va issiqlik tushishi  $H$  ning o'zgarishi hisobiga sodir bo'ladi.

Turbinaning quvvati quyidagi uslublarning biriga bog'liq xolda ham o'zgartirilishi mumkin:

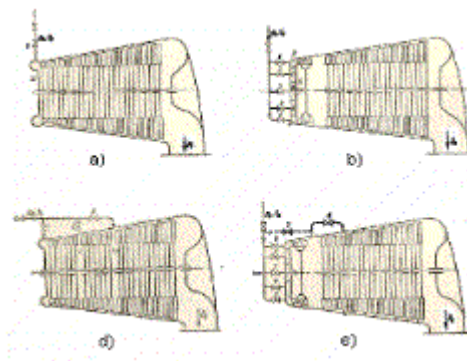
1. Tayyor bug'ni turbinaga kirishi oldidan drossellab (drosselli bug' taqsimoti);
2. Turbinaning birinchi rostlanuvchi pog'onasida ochiq soplolar sonini o'zgartirib (soploli bug' taqsimoti) ;
3. O'tkir qizigan bug'ni turbinaning bir yoki bir necha oraliq pog'onasi orqali berib (tashqi aylanma bo'ylab bug'ni taqsimlash) ;
4. Bir qancha oraliq pog'onalar orqali bug'ni kiritib (ichki aylana bo'ylab bug'ni taqsimlash) taqsimlash usullari.

Rostlash klapanlaridan tashqari, turbina oldida bitta yoki ikkita to'xtalish klapanlari o'rnatiladi. Turbinaga bitta bug' quvuri orqali bug' berilganda unga bitta to'xtalish klapani o'rnatiladi. 200-250 t/s va undan yuqori bug' sarfilari turbinalarga bug' ikkitadan

bug' quvurlari orqali uzatiladi, ularning xar biriga avtomatik to'xtalish klapanlari o'rnatiladi.

Turbina ishlayotganda uning yuklamalariga ta'sir ko'rsatmasligi uchun bu klapanlar doimiy ravishda to'liq ochiq bo'lishligi kerak.

Turbinalarda bug' taqsimotining printsiptial tuzilmasi 1-rasmda tasvirlangan.



**1 - rasm. Turbinalarda bug' taqsimotining printsiptial sxemasi.**

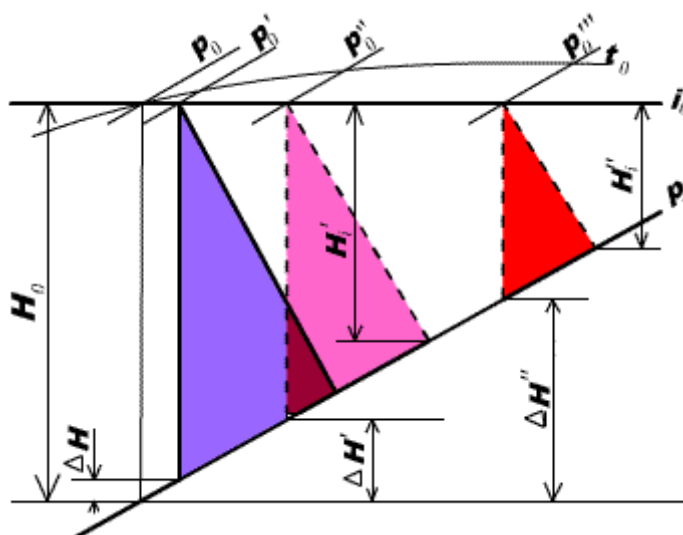
## **2. Drosselli bug' taqsimoti.**

Drosselli bug' taqsimotida bug' soploga bir paytning o'zida butun aylana bo'ylab kiritiladi ( $\varepsilon=1$ ). Bug'ning soploga berilishi bitta yoki ikkita bir paytning o'zida ochiluvchi klapanlar orqali amalga oshirilishi mumkin. Zamonaviy yangi o'ta yuqori va o'ta kritik bosimli turbinalarga o'ta qizigan bug'ning berilishi turtta va undan ko'p sonli aloxida bug' quvurlari orqali amalga oshiriladi.

Agar o'ta qizigan bug' turbinaga faqatgina drossellash klapani orqali kirsam, unda oxiri turbina nominal quvvatga erishgachgina to'liq ochiladi. Bunday bug' taqsimoti sxemasida nominal quvvat iqtisodiy quvvat bilan tenglashadi.

Turbinaning ayrim qisman yuklamalarida drossellash klapani o'zining yo'liga qarab qisman ochiladi. Bunday xolatda, ya'ni qisman yuklamalarda, turbinaga kirayotgan bug'ning umumiy miqdorida drossellanish sodir bo'ladi. Bug'ning drossellanishida turbinada ko'zda tutilgan issiqlik tushishining bir qism yo'qotilishlari va uning F I K ini yomonlashishini kuzatiladi.

2-rasmda nominal (to'g'ri chiziqlar) va qisman yuklamalarda (punktir) turbinadagi issiqlik jarayoni tasvirlangan. Drossellanishning ortishi bilan (turbinaning yuklamasi pasayadi) drossellanishdagi yo'qotish  $\Delta H$  o'sadi va u qancha katta bo'lsa, yuklama shuncha kichrayadi. Ko'zda tutilgan issiqlik tushishi va unga mos ravishda foydalanilgan issiqlik tushishi ham, turbinada yuklama buzilganda keskin pasayadi. SHunday ekan, turbinada yuklama buzilganda drosselli bug' taqsimotidan foydalanish iqtisodiy jixatdan samarali sanalmaydi.



2-rasm . Drosselli bug‘ taqsimotida turbina issiqlik jarayonining *is*-diagrammasi

### 3. Soploli bug‘ taqsimoti .

Soploli bug‘ taqsimotida o‘tkir bug‘ birinchi pog‘ona soplosiga soplo va rostlanuvchi deb nomlanadigan bir qancha, aniqrog‘i 3 tadan 10 tagacha klapanlardan o‘tib keyingina kiradi. Xar bir rostlanuvchi klapan o‘zining soplo guruxiga xizmat ko‘rsatadi. *I, b*-rasmda turbinada bug‘ taqsimotining soploli rostlanuvchan sxemasi beshta rostlanuvchi klapanlar bo‘lgan xolat uchun tasvirlangan.

Turbinaning nominal yuklamasida, barcha rostlanuvchi klapanlar to‘liq ochiq, hamda kirishdagi partsiiallik darajasi ham birdan kichik bo‘ladi ( $\varepsilon \leq 1$ ).

Turbina yuklamasining o‘zgarishida rostlanuvchi klapanlar ketma ket yopiladi yoki ochiladi. SHuning uchun rostlanuvchi pog‘onaga kirishdagi bug‘ning partsiiallik darajasi ochiq klapanlar soniga bog‘liq bo‘ladi.

Xar bir rostlanuvchi klapaning ochilish davrida bug‘ning drossellanishi yuz beradi va u yo‘qotishni yuzaga kelishiga olib keladi. Biroq soploli bug‘ taqsimotida xar bir rostlanuvchi klapan orqali umumiy bug‘ miqdorining ma‘lum bir qismigina o‘tadi xolos, lekin drossellanishdan yo‘qotish drosselli bug‘ taqsimotidagiga qaraganda, turbinaga kirish joyida kamroq bo‘ladi.

Turbinaning soploli bug‘ taqsimotida uning yuklamalar o‘zgarishi xolatidagi foydali ish koeffitsienti drosselli bug‘ taqsimotili turbinalarga nisbatan anchagina muqim sanaladi.

### 4. Aylanma bug‘ taqsimoti.

Drosselli bug‘ taqsimotili turbinalarda tashqi aylanma bug‘ taqsimotini qo‘llanishi maqsadga muvofiq keladi (*I, v*-rasm). Ayniqsa, ular reaktiv turdagi turbinalarda keng qo‘llaniladi.

Bosh drossellash klapanidan bug‘ birinchi pog‘ona soplolariga kiradi ( $\varepsilon = 1$ ). Bosh drossellash klapani to‘liq ochiq bo‘lganda turbinada iqtisodiy quvvatning bir kadar ortishi kuzatiladi. Bunda birinchi pog‘ona soplosi oldidagi bug‘ning farqli bosimi amalda doimiylicha qoladi, turbinada yuklamalarning ortishi esa nominalgacha ko‘tariladi. Turbinalar yuklamasining nominal quvvatgacha yetkazilishi  $A$  va  $A_1$  kameralari orqali

birlamchi bug'ning oraliq pog'onalarga berilishi vositasida amalga oshiriladi. Birlamchi bug'ning bir qismini  $A$  kamerasiga berilsa uning bosimi keyinchalik ortadi va bu turbinaning keyingi barcha pog'onalari orqali bug' sarfining oshishiga olib keladi, demak ortiqcha yuklamali pog'onalar o'tish kesimi birinchi pog'onaning o'tish kesimidan katta bo'lishi aniq. Pog'ona orqali o'tayotgan bug' sarfi ortiqcha yuklama kamerasigacha kamaytirilsa, turbinaning quvvati ortadi. Agar turbinaga bitta aylanma klapan o'rnatilgan 2 bo'lsa, unda klapaning to'liq ochilishi  $A$  kamerasida bir qancha farqli bosimlarni yuzaga keltiradi va turbinaning quvvati nominalgacha ortishi kuzatiladi. Agar turbinaga ikkita aylanma klapan o'rnatilgan bo'lsa ( $I, \nu$ -rasm), unda quvvatning nominalgacha oshishi uchun, ikkinchi ortiqcha yuklama kamerasi  $A$  ga bug' berilishini amalga oshirish mumkin. Ortiqcha yuklama kamerasidan keyingi barcha pog'onalar orqali bug' sarfi ortadi, pog'onalardan keyin  $A$  kamerasigacha esa kamayadi.  $A$  kamerasidan keyin turbina pog'onalarida quvvatning ortishi tezlashadi, e'tibor qilsak, bu kameragacha pog'onalarda quvvat kamaygan edi, endi esa quvvatning ortishi nominalgacha etkazilishi ta'minlanadi. Nominal quvvatda  $A$  kamerasidagi bosim birinchi pog'ona soplosi oldidagi bosimdan kichik bo'lishi kerak,  $A$  kamerasida esa,  $A$  kamerasidagidan ham kichik bo'lishi kerak. Bunda birinchi pog'ona orqali kerakli miqdordagi bug'ning issiqlik berish uchun oqib o'tishi ta'minlanadi. Aylanma rostlanish turbinaning yuqori  $F I K$  ga erishishiga va bunda drossellanishdan yo'qotishning minimal darajaga tushishiga olib keladi. Bu xolatda turbina iqtisodiy yuklamaga erishdi deb hisoblanadi. Turbinaning boshqa yuklamalarida  $F I K$  sezilarli darajada yomonlashadi. Ayniqsa, bu narsa qisman yuklamalarda yaqqol ko'z ga tashlanadi. Zamonaviy drosselli rostlanuvchi turbinalar bitta ortiqcha yuklama klapani bilan ta'minlangan. Ayrim xollarda ikkita yoki uchtagacha ortiqcha yuklama pog'onasi o'rnatiladi. Soploli bug' taqsimotili turbinalarda ham aylanma rostlanishni qo'llash mumkin ( $1, g$  – rasm). Bunda bug' rostlanuvchi pog'ona kamerasiga kirganidek, klapan 7 orqali. uchinchi va xattoki to'rtinchi pog'ona soplosiga ham kiritilishi mumkin. Soploli rostlanuvchi turbinalarda ba'zida bir oraliq pog'onadan boshqasiga bug'ni ichki aylantirishni qo'llash mumkin ( $1, g$ -rasmdagi 6 klapan). SHuni eslatib o'tmoqchimizki, ichki va tashqi bug' aylanishi bitta turbinada bir paytning o'zida qo'llanilmaydi.

## **8 – mavzuni takrorlash uchun savol va topshiriqlar.**

1. Iqtisodiy quvvat deb nimaga aytiladi?
2. Nominal quvvat deb nimaga aytiladi?
3. Qanday bug' taqsimoti usullari mavjud?
4. Quvvat farqlanishiga ko'ra turbinalarga bug' qanday tartibda beriladi?
5. Drosselli bug' taqsimoti deb nimaga aytiladi?
6. Drosselli bug' taqsimotida foydali ish koeffitsienti qanday o'zgaradi?
7. Drosselli bug' taqsimotining afzallik va kamchiliklari?
8. Soploli bug' taqsimoti deb nimaga aytiladi?
9. Soploli bug' taqsimotida bug'ning partsiallik darajasi nimaga bog'liq bo'ladi?
10. Aylanma bug' taqsimoti deb nimaga aytiladi?
11. Aylanma bug' taqsimoti sxemasini tushuntirib bering?
12. Aylanma bug' taqsimotining afzallik va kamchiliklarini sanang?
13. Aylanma rostlanish qanday bug' taqsimoti usullarida qo'llanishi mumkin?

## 9 – Mavzu. TURBINANI ROSTLASH VA UNING

### MOY TA'MINOTI.

#### REJA:

1. Umumiy tushunchalar;
2. To'g'ridan-to'g'ri rostdash;
3. Buriluvchan servomotor yordamida rostdash;
4. Rostlashning boshqa usullari;
5. Turbinaning moy ta'minoti sxemasi.
6. Nazorat savollari

#### 1. Umumiy tushunchalar;

Turbina valining mexanik ishi generatorda elektr energiyasiga aylanadi va uning ulanmalaridan iste'molchiga uzatiladi. Bunday xolatda, generator qisqichlarida yuklamaning o'zgarishi turbina valining mexanik ishi o'zgarishi kattaligiga muvofiq kelishi kerak.

Agar turbina vali mexanik ishni bevosita o'zlashtiradigan mashina yoki mexanizm bilan (nasos, xavo surgich, burama vint va xokazo) birikkan bo'lsa, bu mashinalarning yuklamalari o'zgarishi ham turbina valining ishiga bog'liq xolda o'zgarishi lozim.

Turbina noldan (salt ishlash rejimidan) to nominal quvvatgacha bo'lgan barcha yuklama o'zgarishi diapazonlarida muqim ishlashligi shart. Turbina valining xar qanday quvvat ko'rsatkichi va bug' sarfi o'rtasida to'liq aniqlikda munosabat o'rnatiladi, ya'ni valdagi yuklama o'zgarishi o'z o'zgarishiga mos ravishda turbina orqali bug' sarfining ham o'zgarishiga olib keladi.

Turbinada o'rnatilgan yuklamada bug' sarfi bilan valning aylanishlar momenti o'rtasida doimiy munosabat vujudga keladi. YUklamaning o'zgarishi turbina valida bug' xosil qiladigan yuklama va aylanishlar momenti o'rtasida nomutanosiblikni vujudga keltiradi hamda rotorning aylanishlar sonini o'zgarishiga olib keladi. Turbinaning aylanishlar soni bug' taqsimlash organlari xali xarakatga kelmasidan, turbina orqali bug'sarfi berilmasdan va xali yuklama va aylanuvchi moment o'rtasida kerakli munosabat o'rnatilmasdan oldin o'zgarish boshlaydi.

Turbogenerator rotori uchun momentlar tenglamasining umumiy ko'rinishini shunday yozish mumkin:

$$M_e = M_e + M_p + (I_t + I_g) d\omega/dt \quad (1)$$

bu yerda:  $M_e$  – turbina muftasidagi aylanishlar momenti,  $kg \cdot m \cdot da$ ;

$M_e$  – generator qisqichlarida foydali reaktiv moment,  $kg \cdot m$ ;

$M_p$  – generatoridagi issiqlik yo'qotishi va podshipniklardagi yo'qotishlarning tormozlovchi momenti,  $kg \cdot m$ ;

$I_t, I_g$  – turbina rotori va generatorning inertsiya momentlari,  $kg \cdot m \cdot sek$ ;

$d\omega/dt$  – rotorning burchak tezlanishi,  $1/sek$ .



Turbinaning o‘rnatilgan ish rejimida (doimiy aylanishlar sonida) burchak tezlanishi “0” ga teng bo‘ladi va (1) tenglama quyidagicha ko‘rinish oladi:

$$M_e = M_e + M_p . ( 2 )$$

Bu aylanishlar momentini quvvat ko‘rsatkichiga o‘zgartirib yozsak :

$$N_e = N_e + N_p + ( I_t + I_g )\omega /102 * d\omega / dt ( 3 )$$

bu yerda  $N_e$  – turbina muftasidagi effektiv quvvat, kvt;

$N_e$  – generator qisqichlaridan olinayotgan foydali elektr quvvat, kvt;

$N_p$  – podshipniklardagi va generatorning issiqlik yo‘qotishlari, kvt;

$N_e$  -tashqi yuklamaga yoki iste‘molchining yuklamasiga bog‘liq quvvat .

Generatorda  $N_e$  yuklama o‘zgarganda birinchi navbatda  $N_e + N_p \neq N_e$  tengsizlik o‘rnatiladi . Bu tengsizlik turbogeneratorning aylanishlar sonini pasayishi yoki oshishiga bog‘liq.  $N_e$  ning oshishi aylanishlar sonining pasayishiga olib keladi.

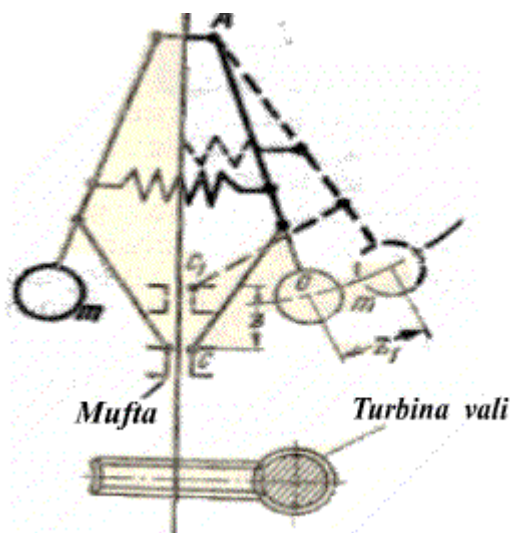
Aksincha,  $N_e$  ning kamayishidan turbogeneratorning aylanishlar soni ortadi .

Avtomatik boshqarishga ega turbinalarda bug‘ taqsimlash organlari turbinaning aylanishlar sonini rostlagich yoki tezlik rostlagichi bilan boglangan.

Turbinaning aylanishlar sonining o‘zgarishidan bug‘ taqsimlash organlariga impuls o‘zatilishi turli usullarga ko‘ra amalga oshiriladi.

Bug‘ taqsimlash organlarini boshqarish odatda aylanishlar sonini rostlagich yordamida amalga oshiriladi. Ularning xarakati turbina rotorining aylanishlar sonining o‘zgarishiga muvofiq o‘zgaruvchan markazdan qochma kuchlar ta’sirlashuviga asoslangan.

1 – rasmda shunday rostlash uskunasining printsiptial sxemasi tasvirlangan.



1-rasm. Markazdan qochma rostlagichning sxemasi.

Turbinaning aylanishlar sonini ortishi bilan rostlagichning  $m$  yuki markazdan qochma kuchlar xarakati ta’siri ostida yoy bo‘ylab  $AO$  radiusda  $zI$  masofaga ko‘chadi. Bunda rostlagichning muftasi ham  $s$  nuqtadan  $sI$  nuqtaga yuqoriga qarab siljiydi. Turbinada aylanishlar soni pasaysa, aksincha, rostlagich yuklari

bir biriga yaqinlashadi va mufta pastga qarab siljiydi. Markazdan qochma rostlagich muftasining ko'chishidan turbinaga kirayotgan bug'ning sifati va miqdori o'zgarishida, ya'ni turbinaning quvvat o'zgarishida foydalanish mumkin. Aylanishlar sonini rostlagich o'z xarakatini turbina validan tishli o'zatma vositasida oladi.

Bu regulyatorlardan impuls rostlagich klapanlarga mexanik aloqa yordamida (richaglar sistemasi) yoki gidravlik ta'sirlashuv (moy bosimi) orqali o'zatilishi mumkin.

## **2. To'g'ridan to'g'ri rostlash.**

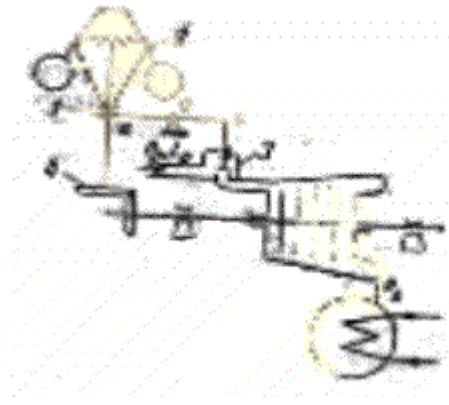
To'g'ridan-to'g'ri rostlashning printsiplial sxemasi 2- rasmda keltirilgan. Markazdan qochma rostlagich 2 ning mufta 1 si rostlovchi klapan 3 bilan bevosita richagli aloqaga ega. Elektr generatori qisqichlarida yuklamaning mo'ljaldagidan oshishi bilan quvvat va yuklama o'rtasidagi tenglik muvozanati buziladi . Bu esa aylanishlar sonining pasaytirilishini talab qiladi. Turbina vali markazdan qochma regulyator bilan tishli o'zatma 4 yordamida boglangan. Turbinaning aylanishlar sonini pasayishi bilan markazdan qochma regulyatorning yuklari bir-biriga yaqinlashadi va mufta 1 pastga siljiydi , u o'zi bilan richag oxirgi  $a$  uchini ham pastga tushiradi. Bunda  $ab$  richag nisbatan qo'zg'almas  $O$  nuqtaga maxkamlangan. Richagning  $a$  uchi rostlovchi klapan 3 ochilganiga qadar pastlaydi .

Bunda turbinaning quvvati ortadi , u yangi anchagina past aylanishlar soni bilan ishlay boshlaydi. YUklama pasayishi bilan turbinada aylanishlar soni ortadi va rostlovchi klapan yana qaytadan yopila boshlaydi.

Keltirilgan sxemaning kimmatliligi shundaki , u juda sodda tuzilishga ega . Biroq markazdan qochma rostlagichning ko'chiruvchi kuchlari kichik (odatda bir necha kilogramm) , shu bilan birga to'gridan-to'gri rostlashdan faqatgina kichik quvvatli (50-60 kvt), kichik va engil klapanli , rostlagichdan ko'chiruvchi kuchlarning katta qiymati talab qilinmaydigan turbinalar uchun qo'llanilishi mumkin.

O'rta va katta quvvatli turbinalarda rostlanuvchi klapanini ochish uchun, og'irlikdan, klapan prujinalarining zo'riqishlarini bevosita yengish uchun katta qiymatdagi ko'chiruvchi kuch talab qilinadi.

Rostlash sxemasida maxsus kuchaytirgich (servomotor) larning qo'llanilishi ko'chiruvchi kuchning kerakli kattaligiga erishish imkonini beradi.



2-rasm. To‘gridan-to‘gri rostlash sxemasi .

### 3. Buriluvchan servomotorli rostlash sxemasi.

Soploli rostlanuvchi turbinalarda ko‘pchilik xollarda buriluvchi servomotor qo‘llaniladi.

Tishli moy nasosidan chiqish joyida moy ikki oqimga bo‘linadi: 5 *ata* bosim ostidagi oqim rostlash sistemasiga servomotor zolotnigi (taqsimlovchi klapan) orqali kiradi, 1,4 *ata* bosimgacha pasaytirilgan qismi esa reduksion klapan orqali podshipniklarga yo‘naltiriladi.

Moyning servomotorga kiritilishida qanotli porshen servomotor o‘qiga nisbatan aylanma xarakterga keladi. Servomotor valiga maxsus mushtcha maxkamlangan bulib, uning burilishi rostlovchi klapaning ochilishi yoki yopilishini ta’minlaydi. Servomotor porshenining burilishi zolotnikdan taqsimlanayotgan moy bosimi yordamida amalga oshiriladi.

Rostlash jarayonining oxirida zolotnikning oldingi xolatiga qaytishi rostlagich richagini teskari richagli aloqa orqali xarakterlanuvchi mushtcha yordamida amalga oshiriladi.

### 4. Rostlashning boshqa usullari.

Rostlashning boshqa usullari haqida so‘z yuritadigan bo‘lsak zamonaviy turbinasozlikda bir qancha rostlash sistemalari ishlatib kelinmoqda. Ular qatoriga biz yuqorida ko‘rib o‘tgan rostlash usullaridan tashqari usullarni ham kiritish mumkin.

1. teskari rostlash usuli;
2. gidravlik uzatmali rostlash sxemasi;
3. gidrodinamik rostlash sxemasi;
4. sinxronizatorli rostlash sxemasi.

Bu usullarning 1 va 4 si biz yuqorida soʻz yuritganimizdek markazdan qochma rostlagich yordamida ishlaydi, 2 va 3 si esa maxsus moy taʼminotli gidravlik sistema yordamida ishlaydi.

### **5. Turbinaning moy taʼminoti sxemasi.**

Turbinaning moy taʼminoti sxemasida ish jarayoni quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

Moy bakdan tishli bosh moy nasosi bilan qaytar klapan orqali soʻriladi. Katta quvvatli turbinalarda bosh nasos sifatida vintli moy nasoslaridan foydalaniladi. Vintli nasoslar tishlisi bilan taqqoslanganda ekspluatatsion afzalliklarga ega. Ular oʻzatmadan kichik quvvatni isteʼmol qiladi, yigʻish oson va uzoq vaqt ishlashligi mumkin sanaladi. Nasosdan chiqishda moyning bir qismi bosim ostida servomotor zolotnigi (taqsimlovchi klapan) ga bevosita kiradi, ikkinchi qismi esa reduksion klapan orqali generator va turbina podshipniklariga yoʻnaltiriladi. Moylash sistemasida moy bosimi 0,4 - 0,8 *ata* atrofida qabul qilinadi.

Servomotor dan podshipniklarning bosim liniyasiga moy toʻkilishi koʻzda tutilgan. Bunday xolatda moy nasosining ish unumdorligi podshipniklarni moylash uchun sarflanayotgan moy miqdoridan aniqlanadi.

Moy sistemasining zaruriy elementlaridan biri bu moy sovutgichi sanaladi. U podshipniklarda qizigan moydan issiqlikni ajratish uchun moʻljallangan. Podshipniklarga kirayotgan moyning xarorati, texnik ekspluatatsiya qoidalaridan kelib chiqqan xolda, 35° C dan kichik va 40° C dan katta boʻlmasligi kerak.

### **9 – mavzuni takrorlash uchun savol va topshiriqlar.**

1. Qanday paytda turbina valining aylanishi generator ishining oʻzgarishiga olib keladi?
2. Agarda generator urnida boshqa mashina va mexanizmlar turbina valiga ulangan boʻlsa – chi?
3. Momentlar tenglamasini yozing?
4. Qanday xolatda burchak tezlanishi "0" ga teng boʻladi?
5. Burchak tezlanishi "0" ga teng bulsa quvvat koʻrsatkichi qanday oʻzgaradi?
6. Bugʻ taqsimlash organlari qanday boshqariladi?
7. Markazdan qochma rostlagich sxemasini tushuntiring?
8. Toʻgridan toʻgri rostlash nima?
9. Toʻgridan – toʻgri rostlash sxemasini tushuntiring?
10. Buriluvchan servomotorli rostlash nima?
11. Buriluvchan servomotorli rostlash sxemasini tushuntiring?
12. Boshqa qanday rostlash usullarini oʻrgandingiz?
13. Turbinaning moy taʼminoti sxemasini tushuntirib bering?
14. Moy sovutgichi nima vazifani bajaradi?

## 10 – Mavzu. ELEKTR VA ISSIQLIK ENERGIYASINI KOMBINATSIYALAB ISHLAB CHIQUARUVCHI TURBINALAR.

### REJA:

1. [Qarshi bosimli turbinalar.](#)
2. [Rostlanuvchi bug‘ otborili kondensatsion turbinalar.](#)
3. [Ishlab chiqarishli – issiqlik ta‘minotli turbinalar.](#)
4. [Nazorat savollari](#)

#### 1. Qarshi bosimli turbinalar.

Sanoatda qarshi bosimli turbinalardan foydalanish keng joriy qilingan. Bunday turbinalarda ishlatilgan bug‘dan ishlab chiqarish va isitish maqsadlarida foydalaniladi. Qarshi bosimli turbinalarning quvvati turbina orqali issiqlik iste‘moli uchun o‘tayotgan bug‘ miqdori bilan belgilanadi. Bundan ko‘rinadiki, qarshi bosimli turbinalar ishlab chiqarish korxonasining issiqlik va elektr yuklamasi grafiklarini xar doim ham qanoatlantira olmaydi. SHuning uchun, qarshi bosimli turbinalar kondensatsion turbinalar bilan parallel ishlaydi, sababi, chunki u issiqlik iste‘molchisiga uzatilaetgan bug‘ miqdoriga teng qandaydir kattalikdagi elektr energiyasini ishlab chiqaradi. Elektr grafigining qolgan extiyoji esa kondensatsion turbina hisobidan qondiriladi.

Qarshi bosimli turbinalarda ishlatilgan bug‘dan faqatgina isitish maqsadlarida foydalanilishi ularning asosiy kamchiligi sanaladi va bu turbinalarning mavsumiy ishga jalb qilinishi ularni keng miqyosda ishlatilishiga to‘sqinlik qiladi.

Qarshi bosimli turbinalar konstruktiv jixatdan kondensatsion turbinalarga nisbatan ancha sodda tuzilishga ega. Qarshi bosimli turbinalarning oxirgi pog‘onalari o‘lchamlarini kondensatsion turdagi turbinalarning oxirgi pog‘onalari o‘lchami bilan taqqoslab ko‘rsak, ba‘zan ular bir xil quvvatga mo‘ljallanganiga qaramay, ancha kichik ekanligini kuzatishimiz mumkin. Qarshi bosimli turbinalarning rotorlari doimiy o‘rtacha diametrda tayyorlanadi. Ayni paytda, pog‘onalarning o‘zgarmas diametrda bo‘lishligiga emas balki disklarning doimiy diametrli qilib ishlab chiqarilishiga katta e‘tibor qaratilayapti.

Qarshi bosimli turbinalarning oqim qismi tayyorlanish jixatidan, kondensatsion turbinalarning yuqori bosimli qismidan deyarli hech qanday farqlanishlarga ega emas.

Qarshi bosimli turbinalarga  $P$  tipidagi barcha turbinalar misol bo‘la oladi.

#### 2. Rostlanuvchi bug‘ otborili kondensatsion turbinalar.

Rostlanuvchi bug‘ otborili kondensatsion turbinalar xar xil turdagi yuklamalar grafigini bir paytning o‘zida ham issiqlik ham elektr yuklamalari bilan ta‘minlay oladigan issiqlik dvigateli sanaladi. Ishlab chiqarishda rostlanuvchi otbor orqali olinayotgan o‘zgarmas bosimli bug‘ texnologik maqsadlar uchun yoki isitish uchun qo‘llaniladi. Qachonki ishlab chiqarish yoki isitish sistemasida bug‘ uchun extiyoj sezilmasa unda, bu turbinalar xuddi

kondensatsion turbinalar kabi elektroenergiya grafigi bo'yicha ishlay boshlaydi. SHunga muvofiq, turbinaning rostlash sistemasi ham issiqlik yoki elektr yuklamasini ta'minlash uchun mustaqil xarakat yo'nalishiga ega bo'lishligi lozim.

### **3. Ishlab chiqarishli-issiqlik ta'minotili turbinalar.**

Bunday turbinalarda birinchi otbordanda olinayotgan bug' ishlab chiqarish maqsadlarida foydalaniladi, ikkinchi otbor bug'idan esa isitish uchun foydalaniladi. Ikkita rostlanuvchi bug' otborili turbinalar elektr va issiqlik yuklamalariga muvofiq ishlaydi.

Ishlab chiqarishli-issiqlik ta'minotili turbinalarda bug' taqsimoti soploli bo'lib, bug' birinchi pog'ona soplosiga to'rtta rostlanuvchi klapan orqali kiradi.

O'rta bosimli qismga kirishdagi to'rtta soplolar guruxiga buriluvchan diafragma xizmat ko'rsatadi. Bu diafragma to'rtta rostlanuvchi klapan o'rni qoplaydi. Past bosimli qism soplosiga esa, ikkita rostlanuvchi klapan o'rni qoplovchi buriluvchan diafragmalar o'rnatiladi.

Ishlab chiqarishli-issiqlik ta'minotili turbinalarga hozirgi kunda ishlab chiqarishda qo'llanilayotgan *ITT* turidagi turbinalar to'la misol bo'la oladi.

### **10 – mavzuni takrorlashga doir savol va topshiriqlar.**

1. Qanday turdagi bug' turbinalarini bilasiz?
2. Qarshi bosimli turbinalarning ishlash printsipini izoxlang?
3. Qarshi bosimli turbinalarning ishlatilish soxalari?
4. Qarshi bosimli turbinalarning kamchiliklari va afzallik tomonlari?
5. Qarshi bosimli turbinalarning konstruktiv xususiyatlari?
6. Rostlanuvchi bug' otborili turbinalarning ishlash printsipini izoxlang?
7. Rostlanuvchi bug' otborili turbinalarning ishlatilish soxalari?
8. Rostlanuvchi bug' otborili turbinalarning kamchiliklari va afzallik tomonlari?
9. Rostlanuvchi bug' otborili turbinalarning konstruktiv xususiyatlari?
10. Ishlab chiqarishli – issiqlik ta'minotili turbinalarning ishlash printsipini izoxlang?
11. Ishlab chiqarishli – issiqlik ta'minotili turbinalarning ishlatilish soxalari?
12. Ishlab chiqarishli – issiqlik ta'minotili turbinalarning kamchiliklari va afzallik tomonlari?
13. Ishlab chiqarishli issiqlik ta'minotili turbinalarning konstruktiv xususiyatlari?

## *Ma'ruza matnini tayyorlash davomida*

### *foydalanilgan adabiyotlar*

#### **R O ' Y X A T I**

1. SHlyaxin P. N. "Parovie i gazovie turbini". - M. : Energoatomizdat. 1987 g.
2. SHlyaxin P. N. "Parovie turbini". - M.: Energiya 1976 g.
3. Rijkin V. YA. "Teplovie elektricheskie stantsii". - M.: Energoatomizdat. 1978 g.
4. Scheglyayev A. I. "Parovie i gazovie turbini". - M.: Energoatomizdat. 1989 g.
5. Aleksandrov S. S., Vukolovich A. S. "Termodinamicheskie svoystva vodi i vodyanogo para". - M.: Energiya. 1988 g.
6. Kanaev A. A., Korneev M. I. "Parogazovie ustanovki" – M.: "Mashinostroenie" 1974 g.
7. Manushin E. A. Gazovie turbini: problemi i perspektivi. - M.: "Energoatomizdat" 1986 g.
8. Rijkin V. YA. "Teplovie Elektricheskie stantsii" – M.:Energoatomizdat" 1987 g.
9. Xo'jaqulov S. M. "Bug' va gaz turbinalari" ma'ruza matnlari to'plami. – Qarshi.: KMII, 2000 yil.
10. Andryuschenko A. I. "Osnovi termodinamiki tsiklov teploenergeticheskix ustanovok. – M.: Visshaya shkola, 1985 g
11. Kutepov A. M., Sterman L. S., Styushin N. G. "Gidrodinamika i teploobmen pri paroobrazovanii". -M.: Visshaya shkola, 1986 g.
12. Porshakov B. P. Gazoturbinnie ustanovki dlya transporta gaza i bureniya skvajin. – M.: Nedra, 1989 g.
13. Devins D. Energiya. – M.: Energoatomizdat, 1985 g.
14. Brodyanskiy V. M., Fratsher V., Mixalek K. Eksergeticheskiy metod i yego prilozheniya. – M.: Energoatomizdat. 1988 g.