

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA  
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**G'.N.Uzoqov, B.X.Yunusov, Sh.Y.Samatova,  
S.I.Hamrayev**

**«ISSIQLIK YURITGICHLARI VA BOSIM BILAN  
HAYDASH MASHINALARI»**

**fanidan**



*(masalalar yechish uchun)*

**O'QUV QO'LLANMA**

**Toshkent-2019**

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA  
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**G'.N.Uzoqov, B.X.Yunusov, Sh.Y.Samatova,  
S.I.Hamrayev**

**«ISSIQLIK YURITGICHLARI VA BOSIM BILAN  
HAYDASH MASHINALARI»**

**fanidan**

**5310100 – Energetika (Issiqlik energetikasi) yo'nalishida  
ta'lim olayotgan talabalari uchun masalalar yechishda**



**O'QUV QO'LLANMA**

UDK 621.165 + 621.43 ( 075)

« Issiqlik yuritgichlari va bosim bilan haydash mashinalari» fanidan o'quv qo'llanma. Uzoqov G'.N., Yunusov B.X, Samatova SH.Y., Hamrayev S.I., – Qarshi, QMII, 2019, 175 b.

Ushbu o'quv qo'llanma "Issiqlik yuritgichlari va bosim bilan haydash mashinalari" fanidan amaliy mashg'ulotlarini bajarish bo'yicha yozilgan bo'lib, shu fanning o'quv dasturiga mos keladi.

5310100 – Energetika (Issiqlik energetikasi) yo'nalishi bo'yicha ta'lim olayotgan talabalarga "Issiqlik yuritgichlari va bosim bilan haydash mashinalari" mutaxassislik fanidan amaliy mashg'ulotlarini to'liq o'zlashtirishlari uchun mo'ljallangan. O'quv qo'llanmada "Issiqlik yuritgichlari va bosim bilan haydash mashinalari" amaliy mashg'ulotida yoqilg'i energetika majmualarida ishlab turgan energetik qurilmalar, bug' turbinasi, gaz turbinasi, ichki yonuv dvigatellari, ishchi kompressorlar, nasoslar va ventilyatorlarning tuzilishi, ishlash prinsiplari, ularning asosiy ishchi xarakteristikalar va ma'lumotlar keltirilgan.

Shuningdek, o'quv qo'llanmada "Issiqlik yuritgichlari va bosim bilan haydash mashinalari" fanini chuqur o'zlashtirish uchun izohli lug'at hamda qo'shimcha adabiyotlar ro'yxati keltirilgan.

Taqrizchilar: QMII, Energetika fakulteti "Issiqlik energetikasi"  
dots, f-m.f.n.: I.N. Qodirov

O.A.Omonov -"Talimarjon IES"i UMB xodimlarni  
tayyorlash bo'yicha muxandisi

© Qarshi muxandislik iqtisodiyot instituti

## **ANNOTASIYA**

“Issiqlik yuritgichlari va bosim bilan haydash mashinalari” fani, talabalarni, bug’ turbinalari, ichki yonuv dvegatellari, kompressorlar tuzilishi, ishlash tartibi va yordamchi qurilmalari, ularning issiqlik energetika sanoatida qo’llanilishi, bu mashinalarning asosiy ko’rsatgichlari, ular ishinig asosiy qonun qoidalari, ularni to’g’ri tanlash uslublari va ularni qo’llanilishining asosiy tushunchalari bilan tanishtiradi. Bu fanni o’rganish natijasida, talabalar issiqlik yuritgichlari bilan bog’liq masalalarni yecha olishi kerak.

## **АННОТАЦИЯ**

Дисциплина «Тепловые двигатели и нагнетательные машины», дает представление о тепловые двигатели, двигатели внутреннего сгорания, компресорные установки их применение в теплоэнергетике, об основных показателях этих машин, методах их использования. В результате изучения данной дисциплины, полученные студентами знания позволяют решать задачи связанные с тепловыми двигателями.

## **ANNOTATION**

The subject gas and Gas and liquid pressure machines introduces students with pressure drives, their application in the thermal power industry, the main indicators of these machines, the basic rules of their work and their correct selection methods, the basic concepts. As a result of these studies students should be able to get involved in gas and pressure machines easily.

## KIRISH

Oliy dargohdan yoshlarga ta'lim berayotgan o'qituvchilarga «Ta'lim to'g'risida»gi qonun va «Kadrlar tayyorlash milliy dasturi» talablarini to'liq bajarishlari va uni amalga oshirish uchun barcha imkoniyatlaridan foydalanishlarini talab etiladi. Zamonaviy o'qitish vositalari (kompyuter) o'qitish uslubi, yangi pedagogik va axborot texnologiyalari hayotimizga chuqur kirib keldi. Talabalarga hayotga va mutaxassisligi uchun talab etiladigan bilimlar tizimini yetkazish, ularni faqat eslab qolishning o'zi bugungi kunda yetarli bo'lmay qoldi.

Bilimga qiziqtirish mustaqil ta'lim olish ishtiyoqini shakllantirish va odatlantirish hozirgi kunning va kelajakning talabidir. Talaba bilim olish ko'nikmasiga ega bo'lsa, mustaqil o'qishga intilsa, o'qituvchidan ko'proq o'qitishni talab etsagina u rivojlanadi va maqsadga erishadi. Talabalar faoliyatida adabiyotlar bilan mustaqil ishlash qobiliyatini shakllanishi va mustaqil o'z ustida ishlash odati tusiga kirishi kerak.

Yangi pedagogik texnologiya shu talabni ro'yobga chiqarishiga qaratilgan ta'lim va tarbiya tizimidir. Ishchi o'quv dasturi fan o'qituvchisi uchun dastur amal bo'lib xizmat qiladi. Hozirgi talab va qoidalar fan o'qituvchisi zimmasiga katta mas'uliyatni yuklagan holda yangi pedagogik texnologiyalardan oqilona foydalanishni jahon ta'lim tizimiga moslashib o'qitishni amalga oshirishni qat'iy, haqqoniy talab qilmoqda.

Bakalavriatda o'qiydigan talabalari oldida taraqqiyotdan orqada qolmaslik, shiddatli o'zgarib borayotgan fan va texnika sirlarini tezroq egallab olishdek ma'suliyatlarni bajarish vazifasi ko'ndalang bo'lib turibdi. Talabalarga bilim berishda o'qituvchidan ma'suliyatni chuqur his etish yangi maqul va samara beruvchi uslub va vositalarni tanlab olib o'qitishni talab etmoqda. Ishchi o'quv dasturi fan o'qituvchisining ma'naviy dunyosini va o'qituvchini o'ziga mujassamlashga ko'p yillik pedagogik tajribasini maxsuli bo'lishi kerak.

Issiqlik yuritgichlari va bosim bilan haydash mashinalari fanini o'qish natijasida talabalar sanoatda jumladan energetikada issiqlikning potentsial energiyasini mexanik ishga va undan so'ng elektr energiyasiga aylantirib berishda

qo'llaniladigan asosiy qurilmalar bilan tanishish va ular to'g'risida tasavvurga ega bo'lishi kerak.

Issiqlik yuritgichlari va bosim bilan haydash mashinalarining turlarini, ularning texnologik imkoniyatlarini, uziga xos xususiyatlarini ularda yuz beradigan jarayonlarni bilgan xolda berilgan texnologik jarayonni optimal sharoitda olib borish, sarflanayotgan energetik resurslardan unumli foydalanish qurilmalarini hisoblash ishlarini amalga oshirishni bilishi kerak. Fanning asosiy masalasi issiqlik yuritgichlari va bosim bilan haydash mashinalarining turlari ishlash prinsiplari ularda kechadigan jarayonlarning fizik asoslarini talabalar tomonidan chuqur anglab yetishdir.

Fanni o'qitishda yangi ma'lumotlar turlicha texnogenik o'qitish usullari yangi informatsion tarmoqlaridan, texnik vositalardan keng qo'llaniladi hamda amaliy darslar o'tiladi.

## I-BOB. BUG' TURBINALARI.

### 1.1. BUG' TURBINASI VA UNING KO'RSATKICHLARINI HISOBLASH.

*Bug' turbinasi bu* – bug'ning potensial energiyasini kinetik energiyaga, kinetik energiyani bosqichma-bosqich mexanik energiyaga aylantirib beruvchi qurilma.

O'ta qizigan bug'ning potensial energiyasi kinetik energiyaga va o'z navbatida val aylanishining mexanik energiyasiga aylanadigan dvigatel turiga bug' turbinasi deb ataladi.

Bug'ning ishchi kuraklarida harakatlanishiga qarab turbina pog'onalari aktiv va reaktiv turlarga bo'linadi.

Bug'ning kengayishi faqatgina pog'onani qo'zg'almas soplosida, ya'ni ishchi kuragiga yetmasdan sodir bo'ladigan pog'onalarga aktiv deb nomlanadi.

Bug'ning kengayishi nafaqat pog'onani qo'zg'almas soplosida, balki ishchi kurak kanallari oralig'ida ham davom etadigan pog'onalarga reaktiv deb nomlanadi.

Bug'ning soplo kanalidan oqib o'tishidagi haqiqiy tezligi (m/s) quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$c_1 = 44,7\varphi\sqrt{(i_0 - i_1) \cdot (1 - \rho) + \frac{c_0^2}{2000}} \quad (1.1)$$

bu yerda  $\varphi = 0,93 \div 0,98$  – soplonek tezlik koeffitsiyenti;  $i_0 - i_1$  – bug'ning soploga kirish va chiqishdagi entalpiyalari, kJ/kg;  $\rho$  - pog'onaning reaktivlik darajasi;  $c_0$  – soplo oldidagi bug'ning boshlang'ich tezligi, m/s.

Agar soplo oldidagi bug'ning boshlang'ich tezlik ko'rsatkichining qiymati kichik bo'lsa, uni hisobga olmasa ham bo'ladi, shunda bug'ning soplo kanalidan oqib o'tishidagi haqiqiy tezligi (m/s) quyidagiga teng bo'ladi:

$$c_1 = 44,7\varphi\sqrt{(i_0 - i_1) \cdot (1 - \rho)} \quad (1.2)$$

Pog'onaning reaktivlik darajasi deb ishchi kuraklaridagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishining  $h_2$ , pog'onadagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishiga  $h_0 = h_1 + h_2$  nisbatiga aytiladi (bu yerda  $h_1$  – soploda ko'zda tutilgan issiqlik tushishi), ya'ni:

$$\rho = \frac{h_2}{(h_1 + h_2)} \quad (1.3)$$

Kuraklar oʻrtasidagi aylanma tezlik koʻrsatkichi (m/s):

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}, \quad (1.4)$$

bu yerda  $d$  – pogʻonaning oʻrtacha diametri, m;  $n$  – turbina valining aylanishlar chastotasi, ayl/min.

Kurak kanallariga kirishdagi bugʻning nisbiy tezligi (m/s) shunday aniqlanadi:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1}, \quad (1.5)$$

bu yerda  $\alpha_1$  – disk yassiligiga nisbatan soploning qiyalik burchagi.

$\rho = 0$  boʻlgan aktiv pogʻonada ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi bugʻning nisbiy tezligi (m/s) quyidagicha aniqlanadi:

$$w_2 = \psi \cdot w_1, \quad (1.6)$$

$\psi = 0,86 \div 0,95$  – ishchi kuragining tezlik koeffitsiyenti.

$\rho > 0$  boʻlgan aktiv va reaktiv pogʻonalarda ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi bugʻning nisbiy tezligi (m/s) quyidagicha aniqlanadi:

$$w_2 = 44,7 \cdot \psi \cdot \sqrt{\rho \cdot h_0 + \left(\frac{w_1}{44,7}\right)^2} = 44,7 \cdot \psi \cdot \sqrt{\rho \cdot (i_0 - i_1) + \left(\frac{w_1}{44,7}\right)^2} \quad (1.7)$$

Ishchi kurak kanallari oraligʻidan chiqayotgan bugʻning absolyut tezligi (m/s):

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u \cdot \cos \beta_2}, \quad (1.8)$$

bu yerda  $\beta_2$  – bugʻning ishchi kuragidan chiqish burchagi, uning qiymati, odatda,  $\beta_2 = \beta_1 - (2 \div 10^\circ)$  munosabatdan foydalanib tanlanadi.

Bugʻning ishchi kuragiga kirishidagi  $\beta_1$  – burchak tezliklar uchburchagidan kelib chiquvchi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{c_1 \cdot \sin \alpha_1}{c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u}. \quad (1.9)$$

Bug‘ning ishchi kurak kanallari oralig‘idan absolyut tezlik bilan chiqishdagi qiyalik burchagi  $\alpha_2$  ham tezliklar uchburchagidan kelib chiquvchi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$\cos \alpha_2 = \frac{w_2 \cdot \cos \beta_2 - u}{c_2}. \quad (1.10)$$

Pog‘ona kuraklarida 1 kg bug‘ning bajargan ishi (kJ/kg):

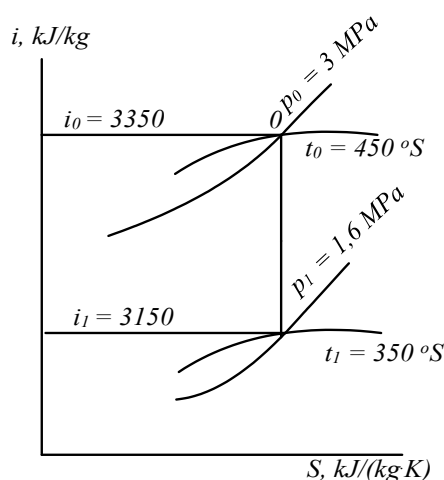
$$L = u \cdot (c_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \cos \alpha_2) = u \cdot (w_1 \cdot \cos \beta_1 + w_2 \cdot \cos \beta_2). \quad (1.11)$$

**1.1 – masala.** Aktiv turdagi pog‘onada bug‘ boshlang‘ich bosimi  $p_0 = 3$  MPa va harorati  $t_0 = 450$  °C bilan kengaymoqda. Agar soplning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,95$  ga va soplodan chiqayotgan bug‘ning entalpiyasi  $i_l = 3150$  kJ/kg ga teng bo‘lsa, soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug‘ning bosimi, harorati va haqiqiy tezliklarini aniqlang.

**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan bug‘ning boshlang‘ich holatini xarakterlovchi O nuqtani aniqlaymiz (1.1 – rasm). Bug‘ning belgilangan boshlang‘ich  $p_0$  va  $t_0$  parametrlaridagi entalpiyasi  $i_0 = 3350$  kJ/kg ga teng. O nuqtasidan  $i_l = 3150$  kJ/kg entalpiya chizig‘i bilan kesishguncha izoentropik (adiabata) chiziq o‘tkazib,  $p_1 = 1,6$  MPa bosim va  $t_1 = 350$  °C harorat qiymatlarini aniqlaymiz.

Soplodan chiqishdagi bug‘ning haqiqiy tezligini (1.2) formuladan topamiz:

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{(i_0 - i_l)} = 44,7 \cdot 0,95 \cdot \sqrt{(3350 - 3150)} = 600 \text{ m/s}.$$



**1.1 – rasm.**

**1.2 – masala.** Reaktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 1,9$  MPa va harorati  $t_0 = 380$  °C dan  $p_2 = 1,3$  MPa gacha kengaymoqda. Agar ishchi kuraklaridagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_2 = 48$  kJ/kg ga teng bo'lsa, pog'onaning reaktivlik darajasini aniqlang.

**Javob:  $\rho = 0,48$ .**

**1.3 – masala.** Agar pog'onada ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 120$  kJ/kg, soploneining tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,96$  ga va soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligi  $c_1 = 335$  m/s ga teng bo'lsa, pog'onaning reaktivlik darajasini aniqlang.

**Javob:  $\rho = 0,49$ .**

**1.4 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 2,8$  MPa va harorati  $t_0 = 400$  °C dan  $p_1 = 1,7$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soploneining tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,97$  ga teng bo'lsa, soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligini aniqlang.

**Javob:  $c_1 = 522$  m/s.**

**1.5 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 1,2$  MPa va harorati  $t_0 = 300$  °C dan  $p_1 = 0,7$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soploneining tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,96$  ga va soplo kanallari oldidagi bug'ning boshlang'ich tezligi  $c_0 = 150$  m/s ga teng bo'lsa, soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligini aniqlang.

**Javob:  $c_1 = 515$  m/s.**

**1.6 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 2,0$  MPa va harorati  $t_0 = 350$  °C dan  $p_1 = 1,5$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soploneining tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,95$  ga, soplo kanallari oldidagi bug'ning boshlang'ich tezligi  $c_0 = 140$  m/s ga va pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,15$  ga teng bo'lsa, soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligini aniqlang.

**Javob:  $c_1 = 375$  m/s.**

**1.7 – masala.** Reaktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 1,6$  MPa va harorati  $t_0 = 450$  °C dan  $p_2 = 1,0$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soplarning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,95$  ga va pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,5$  ga teng bo'lsa, soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligini aniqlang.

**Javob:  $c_1 = 368$  m/s.**

**1.8 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 2,4$  MPa va harorati  $t_0 = 400$  °C dan  $p_1 = 1,7$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soplarning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,965$  ga va kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikning soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,445$  ga teng bo'lsa, kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikni aniqlang.

**Javob:  $u = 192$  m/s.**

**1.9 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 2,8$  MPa va harorati  $t_0 = 380$  °C dan  $p_1 = 1,6$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soplarning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,96$  ga, pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 1$  m ga va turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 50$  ayl/s ga teng bo'lsa, soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligini va kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikni aniqlang.

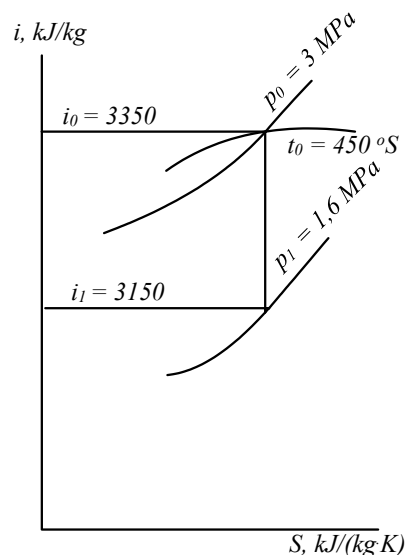
**Javob:  $c_1 = 532$  m/s;  $u = 157$  m/s.**

**1.10 – masala.** Reaktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 3,0$  MPa va harorati  $t_0 = 390$  °C dan  $p_2 = 1,7$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soplarning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,965$  ga, pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,5$  ga va kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikning soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,45$  ga teng bo'lsa, soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligini va kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikni aniqlang.

**Javob:**  $c_1 = 371 \text{ m/s}$ ;  $u = 167 \text{ m/s}$ .

**1.11 – masala.** Aktiv turdagi pog‘onada bug‘ boshlang‘ich bosimi  $p_0 = 3,0 \text{ MPa}$  va harorati  $t_0 = 450^\circ\text{C}$  dan  $p_1 = 1,6 \text{ MPa}$  gacha kengaymoqda. Agar soploning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,96$  ga, disk yassiligiga nisbatan soploning qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$ , pog‘onaning o‘rtacha diametri  $d = 0,9 \text{ m}$ , turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 3000 \text{ ayl/min}$ , soplo kanallari oldidagi bug‘ning boshlang‘ich tezligi  $c_0 = 150 \text{ m/s}$  ga va pog‘onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,12$  ga teng bo‘lsa, soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug‘ning haqiqiy tezligini, kuraklar o‘rtasidagi aylanma tezlikni va bug‘ning ishchi kuragiga kirishdagi nisbiy tezligini aniqlang.

**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan bug‘ning boshlang‘ich parametrlaridagi entalpiyasi  $i_0$  va adiabatik kengayishdan keyingi  $i_1$  entalpiyalarini topamiz (1.2 – rasm). Bug‘ning berilgan boshlang‘ich  $p_0$  va  $t_0$  parametrlaridagi entalpiyasi  $i_0 = 3350 \text{ kJ/kg}$  ga, bug‘ning  $p_1 = 1,6 \text{ MPa}$  gacha kengayishidan keyingi entalpiyasi  $i_1$  esa  $i_1 = 3150 \text{ kJ/kg}$  ga teng.



**1.2 – rasm.**

Soplodan chiqishdagi bug‘ning haqiqiy tezligini (1.1) formuladan topamiz:

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{(i_0 - i_1) \cdot (1 - \rho) + \frac{c_0^2}{2000}} = 44,7 \cdot 0,96 \cdot \sqrt{(3350 - 3150) \cdot (1 - 0,12) + \frac{150^2}{2000}} = 588 \text{ m/s}.$$

Kuraklar o‘rtasidagi aylanma tezlikni (1.4) formuladan topamiz:

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,9 \cdot 3000}{60} = 141 \text{ m / s.}$$

Bug'ning ishchi kuragiga kirishdagi nisbiy tezligini (1.5) formuladan aniqlaymiz:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1} = \sqrt{588^2 + 141^2 - 2 \cdot 588 \cdot 141 \cdot 0,961} = 454 \text{ m / s.}$$

**1.12 – masala.** Reaktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 1,6$  MPa va harorati  $t_0 = 300$  °C dan  $p_2 = 1,0$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soplarning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,94$  ga, disk yassiligiga nisbatan soplarning qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 18^\circ$ , pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 0,95$  m, turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 3600$  ayl/min ga va pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,5$  ga teng bo'lsa, soplo kanalidan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligini, kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikni va bug'ning ishchi kuragiga kirishdagi nisbiy tezligini aniqlang.

**Javob:**  $c_1 = 312$  m/s;  $u = 179$  m/s;  $w_1 = 152$  m/s.

**1.13 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 2,8$  MPa va harorati  $t_0 = 400$  °C dan  $p_1 = 1,7$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soplarning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,955$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,87$  ga, disk yassiligiga nisbatan soplarning qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 18^\circ$  ga va kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikning soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,44$  ga teng bo'lsa, bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy tezligini aniqlang.

**Javob:**  $w_2 = 265$  m/s.

**1.14 – masala.** Reaktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 2,0$  MPa va harorati  $t_0 = 350$  °C dan  $p_2 = 1,4$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soplarning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,96$  ga, kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlik  $u = 170$  m/s ga, disk yassiligiga nisbatan soplarning qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 17^\circ$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,88$  ga va pog'onaning reaktivlik darajasi

$\rho = 0,45$  ga teng bo'lsa, bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy tezligini aniqlang.

**Javob:**  $w_2 = 294 \text{ m/s}$ .

**1.15 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 1,6 \text{ MPa}$  va harorati  $t_0 = 450 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $p_1 = 1,0 \text{ MPa}$  gacha kengaymoqda. Agar soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,945$  ga, disk yassiligiga nisbatan soploneg qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 18^\circ$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,87$  ga, bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 23^\circ$  va kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikning soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,45$  ga teng bo'lsa, bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi absolyut tezligini aniqlang.

**Javob:**  $c_2 = 104,5 \text{ m/s}$ .

**1.16 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 3,0 \text{ MPa}$  va harorati  $t_0 = 450 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $p_1 = 1,8 \text{ MPa}$  gacha kengaymoqda. Agar soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,95$  ga, disk yassiligiga nisbatan soploneg qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 17^\circ$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,88$  ga, pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 0,95 \text{ m}$ , turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 50 \text{ ayl/s}$  ga bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = \beta_1 - 3^\circ$  va soplo kanallari oldidagi bug'ning boshlang'ich tezligi  $c_0 = 150 \text{ m/s}$  ga teng bo'lsa, bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi absolyut tezligini aniqlang.

**Javob:**  $c_2 = 235 \text{ m/s}$ .

**1.17 – masala.** Reaktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 2,4 \text{ MPa}$  va harorati  $t_0 = 360 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $p_1 = 1,6 \text{ MPa}$  gacha kengaymoqda. Agar soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,96$  ga, kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikning soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,45$  ga, bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy tezligi  $w_2 = 350 \text{ m/s}$

ga, bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 21^\circ 30'$  va pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,48$  ga teng bo'lsa, bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi absolyut tezligini aniqlang.

**Javob:**  $c_2 = 221 \text{ m/s}$ .

**1.18 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 3,0 \text{ MPa}$  va harorati  $t_0 = 400^\circ \text{C}$  dan  $p_1 = 1,7 \text{ MPa}$  gacha kengaymoqda. Agar soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,94$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,88$  ga, disk yassiligiga nisbatan soploneg qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$  ga, pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 1,0 \text{ m}$ , turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 3000 \text{ ayl/min}$  ga, bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi uning kirish burchagiga teng  $\beta_2 = \beta_1$  va soplo kanallari oldidagi bug'ning boshlang'ich tezligi  $c_0 = 155 \text{ m/s}$  ga teng bo'lsa, bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy va absolyut tezliklarini aniqlang.

**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan bug'ning boshlang'ich parametrlaridagi entalpiyasi  $i_0 = 3235 \text{ kJ/kg}$  va adiabatik kengayishdan keyingi entalpiyasini

$i_1 = 3080 \text{ kJ/kg}$  topamiz (1.3 – rasm).

Soplodan chiqishdagi bug'ning haqiqiy tezligini (1.1) formuladan topamiz:

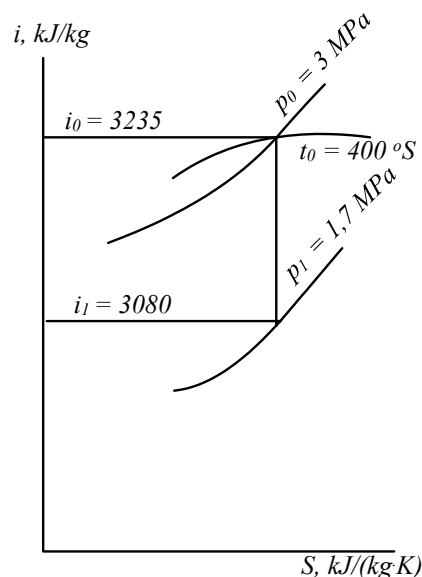
$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{(i_0 - i_1)(1 - \rho) + \frac{c_0^2}{2000}} = 44,7 \cdot 0,94 \cdot \sqrt{(3235 - 3080) \cdot (1 - 0) + \frac{155^2}{2000}} = 543 \text{ m/s}.$$

Kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikni (1.4) formuladan topamiz:

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot 3000}{60} = 157 \text{ m/s}.$$

Bug'ning ishchi kuragiga kirishdagi nisbiy tezligini (1.5) formuladan aniqlaymiz:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1} = \sqrt{543^2 + 157^2 - 2 \cdot 543 \cdot 157 \cdot 0,961} = 395 \text{ m/s}.$$



**1.3 – rasm.**

Bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy tezligi (1.6) formula yordamida aniqlanadi:

$$w_2 = \psi \cdot w_1 = 0,88 \cdot 395 = 348 \text{ m/s}.$$

Bug'ning ishchi kuragiga kirishidagi  $\beta_1$  – burchagi (1.9) tenglamadan aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{c_1 \cdot \sin \alpha_1}{c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u} = \frac{543 \cdot 0,276}{543 \cdot 0,961 - 157} = 0,411, \quad \beta_1 = 22^\circ 20'$$

Bug'ning ishchi kuraklaridan chiqish burchagi:

$$\beta_2 = \beta_1 = 22^\circ 20'$$

Ishchi kurak kanallari oralig'idan chiqayotgan bug'ning absolyut tezligini (m/s) (1.8) formuladan aniqlaymiz:

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u \cdot \cos \beta_2} = \sqrt{348^2 + 157^2 - 2 \cdot 348 \cdot 157 \cdot 0,925} = 212 \text{ m/s}.$$

**1.19 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 2,0$  MPa va harorati  $t_0 = 350$  °C dan  $p_1 = 1,5$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soplarning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,945$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,9$  ga, disk yassiligiga nisbatan soplarning qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$  ga, kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikning soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,45$  ga, bug'ning ishchi kuragiga kirish burchagi  $\beta_1 = 23^\circ$  ga va

ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = \beta_1 - 3^\circ$  ga teng bo'lsa, bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy va absolyut tezliklarini aniqlang.

**Javob:**  $w_2 = 188 \text{ m/s}$ ;  $c_2 = 66,5 \text{ m/s}$ .

**1.20 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 3,5 \text{ MPa}$  va harorati  $t_0 = 410^\circ \text{C}$  dan  $p_1 = 2,2 \text{ MPa}$  gacha kengaymoqda. Agar soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,95$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,87$  ga, disk yassiligiga nisbatan soploneg qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 15^\circ$  ga, kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikning soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,43$  ga va bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = \beta_1 - 2^\circ 30'$  ga teng bo'lsa, tezliklar uchburchagini quring.

**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan bug'ning boshlang'ich parametrlaridagi entalpiyasi  $i_0 = 3250 \text{ kJ/kg}$  va adiabatik kengayishdan keyingi entalpiyasini  $i_1 = 3115 \text{ kJ/kg}$  topamiz (1.4 – rasm).

Soplodan chiqishdagi bug'ning haqiqiy tezligini (1.2) formuladan topamiz:

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{(i_0 - i_1)} = 44,7 \cdot 0,95 \cdot \sqrt{(3250 - 3115)} = 493 \text{ m/s}.$$

Kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikni  $u/c_1 = 0,43$  ga binoan topamiz:

$$u = 0,43 \cdot c_1 = 0,43 \cdot 493 = 212 \text{ m/s}.$$

Bug'ning ishchi kuragiga kirishdagi nisbiy tezligini (1.5) formuladan aniqlaymiz:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1} = \sqrt{493^2 + 212^2 - 2 \cdot 493 \cdot 212 \cdot 0,966} = 293 \text{ m/s}.$$

Bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy tezligi (1.6) formula yordamida aniqlanadi:

$$w_2 = \psi \cdot w_1 = 0,87 \cdot 293 = 255 \text{ m/s}.$$

Bug'ning ishchi kuragiga kirishidagi  $\beta_1$  – burchagi (1.9) tenglamadan aniqlanadi:

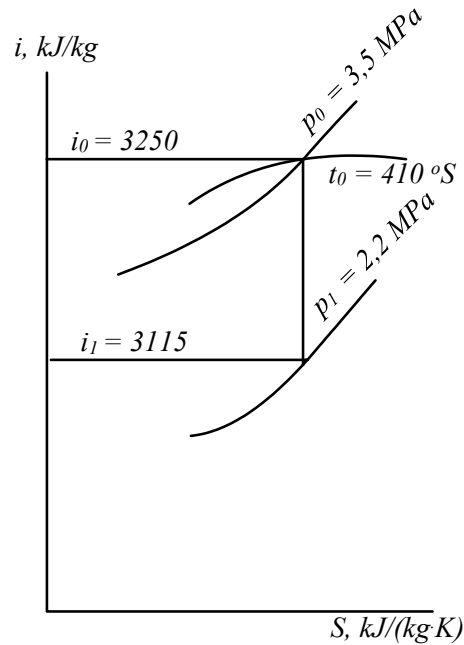
$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{c_1 \cdot \sin \alpha_1}{c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u} = \frac{493 \cdot 0,259}{493 \cdot 0,966 - 212} = 0,481, \quad \beta_1 = 25^\circ 40'$$

Bug'ning ishchi kuraklaridan chiqish burchagi:

$$\beta_2 = \beta_1 - 2^\circ 20' = 25^\circ 40' - 2^\circ 30' = 23^\circ 10'.$$

Ishchi kurak kanallari oralig'idan chiqayotgan bug'ning absolyut tezligini (m/s) (1.8) formuladan aniqlaymiz:

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u \cdot \cos \beta_2} = \sqrt{255^2 + 212^2 - 2 \cdot 255 \cdot 212 \cdot 0,919} = 103 \text{ m/s}.$$

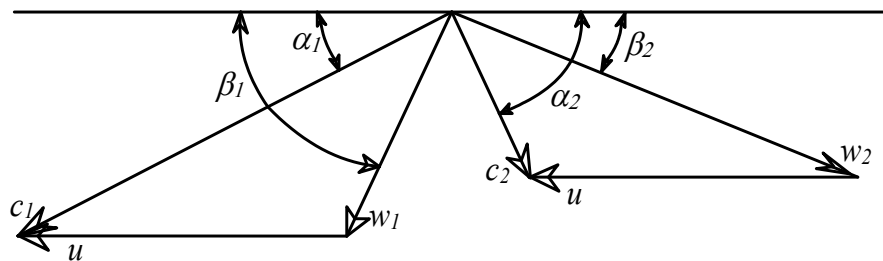


1.4 – rasm.

Bug'ning ishchi kurak kanallari oralig'idan absolyut tezlik bilan chiqishdagi qiyalik burchagi  $\alpha_2$  ni (1.10) formuladan topiladi:

$$\cos \alpha_2 = \frac{w_2 \cdot \cos \beta_2 - u}{c_2} = \frac{255 \cdot 0,919 - 212}{103} = 0,213; \quad \alpha_2 = 77^\circ 40'.$$

Ushbu hisob natijalariga asoslanib quriladigan tezliklar uchburchaklari 1.5 – rasmda tasvirlangan.



1.5 – rasm.

**1.21 – masala.** Aktiv turdagi pog‘onada bug‘ boshlang‘ich bosimi  $p_0 = 2,4$  MPa va harorati  $t_0 = 390$  °C dan  $p_1 = 1,3$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,96$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,88$  ga, disk yassiligiga nisbatan soploneg qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$  ga, pog‘onaning o‘rtacha diametri  $d = 1,0$  m, turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 3600$  ayl/min ga, bug‘ning ishchi kuragiga kirish burchagi  $\beta_1 = 22^\circ$  ga va ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = \beta_1 - 2^\circ$  ga teng bo‘lsa, bug‘ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy va absolyut tezliklarini aniqlang va tezliklar uchburchagini quring.

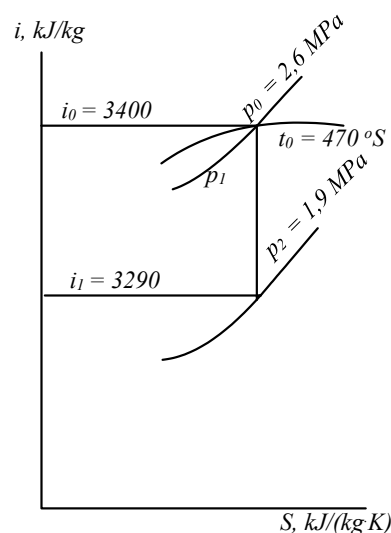
**Javob:**  $w_2 = 352$  m/s;  $c_2 = 186$  m/s.

**1.22 – masala.** Reaktiv turdagi pog‘onada bug‘ boshlang‘ich bosimi  $p_0 = 2,6$  MPa va harorati  $t_0 = 470$  °C dan  $p_2 = 1,9$  MPa gacha kengaymoqda. Agar soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,965$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,88$  ga, disk yassiligiga nisbatan soploneg qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$  ga, kuraklar o‘rtasidagi aylanma tezlikning soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug‘ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,44$  ga, bug‘ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = \beta_1 - 2^\circ 30'$  ga va pog‘onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,5$  ga teng bo‘lsa, tezliklar uchburchagini quring.

**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan bug‘ning boshlang‘ich parametrlaridagi entalpiyasi  $i_0 = 3400$  kJ/kg va adiabatik kengayishdan keyingi entalpiyasini  $i_1 = 3290$  kJ/kg topamiz (1.6 – rasm).

Soplodan chiqishdagi bug‘ning haqiqiy tezligini (1.2) formuladan topamiz:

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{(i_0 - i_1) \cdot (1 - \rho)} = 44,7 \cdot 0,965 \cdot \sqrt{(3400 - 3290) \cdot (1 - 0,5)} = 320 \text{ m/s}.$$



**1.6 – rasm.**

Kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikni  $u/c_1 = 0,44$  ga binoan topamiz:

$$u = 0,44 \cdot c_1 = 0,44 \cdot 320 = 141 \text{ m/s}.$$

Bug'ning ishchi kuragiga kirishdagi nisbiy tezligini (1.5) formuladan aniqlaymiz:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1} = \sqrt{320^2 + 141^2 - 2 \cdot 320 \cdot 141 \cdot 0,961} = 188 \text{ m/s}.$$

Bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy tezligi (1.7) formula yordamida aniqlanadi:

$$w_2 = 44,7 \cdot \psi \cdot \sqrt{\rho \cdot (i_0 - i_1) + \left(\frac{w_1}{44,7}\right)^2} = 44,7 \cdot 0,88 \cdot \sqrt{0,5 \cdot (3400 - 3290) + \left(\frac{188}{44,7}\right)^2} = 335 \text{ m/s}$$

Bug'ning ishchi kuragiga kirishidagi  $\beta_1$  – burchagi (1.9) tenglamadan aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{c_1 \cdot \sin \alpha_1}{c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u} = \frac{320 \cdot 0,276}{320 \cdot 0,961 - 141} = 0,530, \quad \beta_1 = 27^\circ 50'$$

Bug'ning ishchi kuraklaridan chiqish burchagi:

$$\beta_2 = \beta_1 - 2^\circ 30' = 27^\circ 50' - 2^\circ 30' = 25^\circ 20'.$$

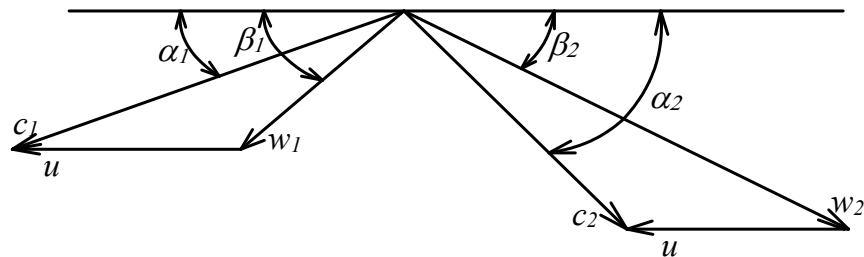
Ishchi kurak kanallari oralig'idan chiqayotgan bug'ning absolyut tezligini (m/s) (1.8) formuladan aniqlaymiz:

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u \cdot \cos \beta_2} = \sqrt{335^2 + 141^2 - 2 \cdot 335 \cdot 141 \cdot 0,904} = 216 \text{ m/s}.$$

Bug'ning ishchi kurak kanallari oralig'idan absolyut tezlik bilan chiqishdagi qiyalik burchagi  $\alpha_2$  ni (1.10) formuladan topiladi:

$$\cos \alpha_2 = \frac{w_2 \cdot \cos \beta_2 - u}{c_2} = \frac{335 \cdot 0,904 - 141}{213} = 0,749; \quad \alpha_2 = 41^\circ 30'.$$

Ushbu hisob natijalariga asoslanib quriladigan tezliklar uchburchaklari 1.7 – rasmda tasvirlangan.



1.7 – rasm.

**1.23 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada 1 kg bug'ning bajargan ishini aniqlang. Bunda disk yassiligiga nisbatan soploning qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$  ga, pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 0,9$  m, turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 3600$  ayl/min ga, kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikning soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,44$  ga, bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy tezligi  $w_2 = 210$  m/s, bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 21^\circ$  ga va bug'ning ishchi kurak kanallari oralig'idan absolyut tezlik bilan chiqishdagi qiyalik burchagi  $\alpha_2 = 72^\circ$  deb hisoblansin.

**Javob:  $L = 68$  kJ/kg.**

**1.24 – masala.** Aktiv turdagi pog'onada 1 kg bug'ning bajargan ishini aniqlang. Bunda pog'onadagi bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 1,6$  MPa va harorati  $t_0 = 450$  °C dan  $p_1 = 1,0$  MPa gacha kengayadi, hamda soploning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,955$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,9$  ga, disk yassiligiga nisbatan soploning qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 17^\circ$  ga, kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikning soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,435$  ga, bug'ning ishchi kuragiga kirish burchagi  $\beta_1 = 21^\circ$  ga va

bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = \beta_1 - 2^\circ 30'$  ga teng deb hisoblansin.

**Javob:  $L = 122,3 \text{ kJ/kg}$ .**

**1.25 – masala.** Reaktiv turdagi pog'onada 1 kg bug'ning bajargan ishini aniqlang. Bunda pog'onadagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 256 \text{ kJ/kg}$ , soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,95$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,88$  ga, disk yassiligiga nisbatan soploneg qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$  ga, pog'onaning o'rtacha diametri  $d=1,0 \text{ m}$ , turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 3600 \text{ ayl/min}$  ga, bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2=20^\circ$  ga va pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,5$  ga teng deb hisoblansin.

**Javob:  $L = 128,4 \text{ kJ/kg}$ .**

**1.26 – masala.** Reaktiv turdagi pog'onada 1 kg bug'ning bajargan ishini aniqlang. Bunda pog'onadagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 240 \text{ kJ/kg}$ , soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,96$  ga, kurakning tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,9$  ga, disk yassiligiga nisbatan soploneg qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$  ga, kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikning soplo kanalidan oqib chiqayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,44$  ga, bug'ning ishchi kurak kanallariga kirishdagi nisbiy tezligi  $w_1 = 260 \text{ m/s}$ , bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = \beta_1 - 2^\circ$  ga va pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,48$  ga teng deb hisoblansin.

**Yechish:** Soplodan chiqishdagi bug'ning haqiqiy tezligini (1.2) formuladan topamiz:

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{h_0 \cdot (1 - \rho)} = 44,7 \cdot 0,96 \cdot \sqrt{240 \cdot (1 - 0,48)} = 478 \text{ m/s}.$$

Kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikni  $u/c_1 = 0,44$  ga binoan topamiz:

$$u = 0,44 \cdot c_1 = 0,44 \cdot 478 = 210 \text{ m/s}.$$

Bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy tezligi (1.7) formula yordamida aniqlanadi:

$$w_2 = 44,7 \cdot \psi \cdot \sqrt{\rho \cdot h_0 + \left(\frac{w_1}{44,7}\right)^2} = 44,7 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{0,48 \cdot 240 + \left(\frac{260}{44,7}\right)^2} = 491 \text{ m/s}$$

Bug'ning ishchi kuragiga kirishidagi  $\beta_1$  – burchagi (1.9) tenglamadan aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{c_1 \cdot \sin \alpha_1}{c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u} = \frac{478 \cdot 0,276}{478 \cdot 0,961 - 210} = 0,529, \quad \beta_1 = 27^\circ 45'$$

Bug'ning ishchi kuraklaridan chiqish burchagi:

$$\beta_2 = \beta_1 - 2^\circ = 27^\circ 45' - 2^\circ = 25^\circ 45'.$$

Pog'ona kuraklarida 1 kg bug'ning bajargan ishi (kJ/kg) (11) formuladan aniqlanadi:

$$L = u \cdot (w_1 \cdot \cos \beta_1 + w_2 \cdot \cos \beta_2) = 210 \cdot (260 \cdot 0,885 + 491 \cdot 0,901) = 141,2 \text{ kJ/kg}.$$

## 1.2. BUG' TURBINASIGA BUG' SARFINI ANIQLASH

**Turbina pog'onasinida yuz beradigan issiqlik energiyasi isroflari.** Turbina pog'onasida hosil qilinadigan ish jarayoni davomida bug'ning issiqlik energiyasini isrof bo'lishi kuzatiladi. Bu issiqlik isroflariga quyidagilar misol bo'la oladi:

turbina pog'onasining soplosida bug'ni uyurmaviy harakati va ishqalanishi hisobiga issiqlik energiyasining isrofi (kJ/kg) quyidagicha aniqlanadi:

$$h_s = \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \cdot \frac{c_1^2}{2000}; \quad (1.12)$$

aktiv turbina pog'onasining ishchi kuraklarida issiqlik energiyasining isrofi (kJ/kg) quyidagicha aniqlanadi:

$$h_k = (1 - \psi^2) \cdot \frac{w_1^2}{2000}; \quad (1.13)$$

reaktiv turbina pog'onasining ishchi kuraklarida issiqlik energiyasining isrofi (kJ/kg) quyidagicha aniqlanadi:

$$h_k = \left( \frac{1}{\psi^2} - 1 \right) \cdot \frac{w_2^2}{2000}; \quad (1.14)$$

absolyut chiqish tezligi bilan issiqlik energiyasi isrofi (kJ/kg):

$$h_{ch} = \frac{c_2^2}{2000}; \quad (1.15)$$

turbina diskining bugʻli muhitda aylanishida muhit va disk oʻrtasida ishqalanish va ventilyatsiya tufayli issiqlik isrofi A. Stodola formulasiga koʻra aniqlanadi:

$$h_{i.v} = \lambda \cdot [1,07 \cdot d^2 + 0,61 \cdot z \cdot (1 - \varepsilon) \cdot d \cdot l_2^{1,5}] \cdot \frac{1}{v} \cdot \frac{u^3}{10^6} \cdot \frac{1}{M}, \quad (1.16)$$

bu yerda  $\lambda$  – oʻta qizigan bugʻ uchun 1,1 ÷ 1,2 ga, toʻyingan bugʻ uchun 1,3 ga teng boʻlgan koeffitsiyent;  $d$  – pogʻonaning oʻrtacha diametri, m;  $z$  – ishchi gʻildiragidagi tezlik pogʻonalari soni;  $\varepsilon$  – bugʻning kirishdagi parsiallik darajasi;  $l_2$  – ishchi kuragining chiqish balandligi, sm;  $v$  – pogʻona kamerasidagi bugʻning solishtirma hajmi, m<sup>3</sup>/kg;  $M$  – pogʻona orqali bugʻ sarfi, kg/s; zichlama tirqishlari, soplo va kuraklarni aylanib oʻtish joylari orqali bugʻ sarfi tufayli issiqlik energiyasi isrofi (kJ/kg):

$$h_{b.s} = \frac{M_{b.s} \cdot h_0}{M}; \quad (1.17)$$

bu yerda  $M_{b.s}$  – bugʻ isrofi, kg/s.

**Turbina pogʻonalarining foydali ish koeffitsiyenti.** Turbina pogʻonasining soplosidagi, ishchi kuragidagi va absolyut chiqish tezligi bilan issiqlik energiyasi isroflari pogʻona ishchi kuraklarining nisbiy foydali ish koeffitsiyentini  $\eta_{n.k.}$  belgilaydi va 1 kg bugʻning turbina pogʻonasida bajargan  $L$  mexanik ishini pogʻonaning umumiy koʻzda tutilgan issiqlik tushishiga  $h_0$  nisbatidan topiladi:

$$\eta_{n.k.} = \frac{(h_0 - h_s - h_k - h_{ch})}{h_0} = \frac{L}{h_0}. \quad (1.18)$$

Shuningdek, ishchi kuraklaridagi nisbiy foydali ish koeffitsiyentining maqbul koʻrsatkichi kuraklar oraligʻidagi aylanma tezlikning soplodan oqib oʻtayotgan bugʻning haqiqiy tezligiga nisbatiga  $u/c_1$  ham bogʻliq, demak aktiv pogʻona uchun ishchi kuraklarining nisbiy f.i.k.:

$$\eta_{n.k.} = 2\varphi^2 \cdot \left(\frac{u}{c_1}\right) \cdot \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}\right) \cdot \left(\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1}\right). \quad (1.19)$$

Reaktivlik darajasi  $\rho=0,5$  bo'lgan reaktiv pog'onalarining ishchi kuraklarining nisbiy f.i.k.i:

$$\eta_{n.k.} = \left( \frac{u}{c_1} \right) \cdot \frac{\left( 2 \cdot \cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right)}{\left[ \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) + \left( \frac{u}{c_1} \right) \cdot \left( 2 \cdot \cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) \right]}. \quad (1.20)$$

Pog'onadagi issiqlik isroflari pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.ini baholaydi va pog'onadagi foydali issiqlik tushishining ko'zda tutilgan issiqlik tushishiga nisbatidan aniqlanadi, ya'ni:

$$\eta_{n.i}^p = \frac{h_i}{h_0} = \frac{(h_0 - h_s - h_k - h_{ch} - h_{i.v.} - h_{b.s.})}{h_0}. \quad (1.21)$$

Aktiv pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.i:

$$\eta_{ni}^p = \eta_{n.k.} - \zeta_{i.v.} - \zeta_{b.s.} = 2\varphi^2 \cdot \left( \frac{u}{c_1} \right) \cdot \left( 1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) \cdot \left( \cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) - \zeta_{i.v.} - \zeta_{b.s.}. \quad (1.22)$$

bu yerda  $\zeta_{i.v.} = h_{i.v.}/h_0$  – turбина diskini bug'li muhitda aylanishi tufayli ishqalanish va ventilyatsiyaga nisbiy issiqlik energiyasi isrofi;  $\zeta_{b.s.} = h_{b.s.}/h_0$  – zichlama tirqishlari, soplo va kuraklarni aylanib o'tishda bug' sarfi tufayli nisbiy issiqlik energiyasi isrofi;

Reaktivlik darajasi  $\rho = 0,5$  bo'lgan reaktiv pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.i:

$$\eta_{ni}^p = \frac{\left( \frac{u}{c_1} \right) \cdot \left( 2 \cdot \cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right)}{\left[ \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) + \left( \frac{u}{c_1} \right) \cdot \left( 2 \cdot \cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) \right]} - \zeta_{i.v.} - \zeta_{b.s.}. \quad (1.23)$$

Agar pog'onada oldingi pog'onadan chiqish tezligining energiyasidan foydalanilayotgan bo'lsa, unda pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.i quyidagi formuladan topiladi:

$$\eta_{ni}^p = \frac{[\mu \cdot h_{ch}^{old} + h_0 - (h_s + h_k + h_{ch} + h_{i.v.} + h_{b.s.})]}{\mu \cdot h_{ch}^{old} + h_0}. \quad (1.24)$$

bu yerda  $h_{ch}^{old} = \frac{c_{old}^2}{2000}$  – oldingi pog'onadan chiqish tezligining issiqlik energiyasi,

$\text{kJ/kg}$ ;  $\mu = 0,8 \div 1,0$  – ishchi kuragidan chiqish tezligi energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti.

**1.27 – masala.** Aktiv pog'onada bug' boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,5 \text{ MPa}$  bosim va  $t_0 = 410 \text{ }^\circ\text{C}$  haroratdan  $p_1 = 2,2 \text{ MPa}$  bosimgacha kengaymoqda. Agar soploneg tezlik koeffisienti  $\varphi = 0,95$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffisienti  $\psi = 0,87$ , soploneg disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 15^\circ$  va kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,43$  ga teng bo'lsa, soplo va kuraklardagi issiqlik energiyasi isrofi aniqlansin.

**Javob:**  $h_s = 13,1 \text{ kJ/kg}$ ;  $h_k = 10,4 \text{ kJ/kg}$ .

**1.28 – masala.** Reaktiv pog'onada bug' boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 1,6 \text{ MPa}$  bosim va  $t_0 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$  haroratdan  $p_2 = 1,0 \text{ MPa}$  bosimgacha kengaymoqda. Agar soploneg tezlik koeffisienti  $\varphi = 0,94$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffisienti  $\psi = 0,89$ , soploneg disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,44$  va pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,5$  ga teng bo'lsa, soplo va kuraklardagi issiqlik energiyasi isrofi aniqlansin.

**Javob:**  $h_s = 6,4 \text{ kJ/kg}$ ;  $h_k = 4,4 \text{ kJ/kg}$ .

**1.29 – masala.** Agar turbina pog'onasidagi soplodan bug'ning oqib o'tishdagi haqiqiy tezligi  $c_1 = 375 \text{ m/s}$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffisienti  $\psi = 0,87$ , soploneg disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 13^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,45$  va bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 23^\circ 15'$  ga teng bo'lsa aktiv pog'onadan absolyut chiqish tezligi tufayli issiqlik energiyasi isrofni aniqlang.

**Javob:**  $h_{ch} = 2,6 \text{ kJ/kg}$ .

**1.30 – masala.** Agar turbina pog'onasidagi soplarning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,97$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,86$ , soplarning disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 14^\circ$ , pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 0,8$  m, turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 3600$  ayl/min, kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,44$  va bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 22^\circ$  ga teng bo'lsa, aktiv pog'onaning soplosidagi, ishchi kuraklaridagi va pog'onadan absolyut chiqish tezligi tufayli issiqlik energiyasi isroflarini aniqlang.

**Yechish:** Ishchi kuraklari oralig'idagi aylanma tezlikni (1.4) formuladan aniqlaymiz:

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,8 \cdot 3600}{60} = 151 \text{ m/s}.$$

Soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligi –  $u/c_1 = 0,44$  munosabatga ko'ra:

$$c_1 = u/0,44 = 151/0,44 = 343 \text{ m/s}.$$

Soplodagi issiqlik energiyasi isrofi (1.12) – formuladan:

$$h_s = \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \cdot \frac{c_1^2}{2000} = \left( \frac{1}{0,97^2} - 1 \right) \cdot \frac{343^2}{2000} = 3,7 \text{ kJ/kg}.$$

Ishchi kuraklariga kirishdagi bug'ning nisbiy tezligi (1.5) – formuladan topiladi:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1} = \sqrt{343^2 + 151^2 - 2 \cdot 343 \cdot 151 \cdot 0,97} = 200 \text{ m/s}.$$

Ishchi kuraklaridagi issiqlik energiyasi isrofi – (1.13) formulaga ko'ra:

$$h_k = (1 - \psi^2) \cdot \frac{w_1^2}{2000} = (1 - 0,86^2) \cdot \frac{200^2}{2000} = 5,2 \text{ kJ/kg}.$$

Ishchi kurak kanallari oralig'idan chiqayotgan bug'ning nisbiy tezligi – (1.6) formuladan:

$$w_2 = \psi \cdot w_1 = 0,86 \cdot 200 = 172 \text{ m/s}.$$

Ishchi kurak kanallari oralig'idan chiqayotgan bug'ning absolyut tezligi – (1.8) formuladan:

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u \cdot \cos \beta_2} = \sqrt{172^2 + 151^2 - 2 \cdot 172 \cdot 151 \cdot 0,927} = 65 \text{ m/s}.$$

Absolyut chiqish tezligi bilan issiqlik energiyasi isrofini (kJ/kg) (1.15) formuladan aniqlaymiz:

$$h_{ch} = \frac{c_2^2}{2000} = \frac{65^2}{2000} = 2,1 \text{ kJ / kg}.$$

**1.31 – masala.** Agar turbina pog'onasi soplosiga kirayotgan bug'ning entalpiyasi  $i_0 = 3400 \text{ kJ/kg}$ , soplo kanalidan chiqayotgan bug'ning entalpiyasi  $i_1 = 3250 \text{ kJ/kg}$ , soplonek tezlik koeffisienti  $\varphi = 0,96$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffisienti  $\psi = 0,9$ , soplonek disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 15^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,49$ , bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 24^\circ$  va pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,48$  ga teng bo'lsa reaktiv pog'onaning soplosidagi, ishchi kuraklaridagi va pog'onadan absolyut chiqish tezligi tufayli issiqlik energiyasi isroflarini aniqlang.

**Javob:**  $h_s = 6,1 \text{ kJ/kg}$ ;  $h_k = 4,2 \text{ kJ/kg}$ ;  $h_{ch} = 27,6 \text{ kJ/kg}$ .

**1.32 – masala.** Agar turbina pog'onasidagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 160 \text{ kJ/kg}$ , soplonek tezlik koeffisienti  $\varphi = 0,96$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffisienti  $\psi = 0,88$ , soplonek disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlik  $u = 188 \text{ m/s}$  va bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = \beta_1 - 1^\circ 20'$  ga teng bo'lsa aktiv pog'ona ishchi kuraklaridagi nisbiy foydali ish koeffisientini aniqlang.

**Javob:**  $\eta_{n.k.} = 0,746$ .

**1.33 – masala.** Agar turbina pog'onasidagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 130 \text{ kJ/kg}$ , soplonek tezlik koeffisienti  $\varphi = 0,96$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffisienti  $\psi = 0,91$ , soplonek disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,5$ , bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 20^\circ$  va pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,42$  ga teng bo'lsa – reaktiv pog'ona ishchi kuraklaridagi nisbiy foydali ish koeffisientini aniqlang.

**Yechish:** Soplodan chiqishdagi bug'ning haqiqiy tezligini (1.2) formuladan topamiz:

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{h_0 \cdot (1 - \rho)} = 44,7 \cdot 0,96 \cdot \sqrt{130 \cdot (1 - 0,42)} = 373 \text{ m/s}.$$

Soplodagi issiqlik energiyasi isrofi (1.12) – formuladan:

$$h_s = \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \cdot \frac{c_1^2}{2000} = \left( \frac{1}{0,96^2} - 1 \right) \cdot \frac{373^2}{2000} = 6,0 \text{ kJ/kg}.$$

Kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikni  $u/c_1 = 0,5$  munosabatga binoan topamiz:

$$u = 0,5 \cdot c_1 = 0,5 \cdot 373 = 186,5 \text{ m/s}.$$

Ishchi kuraklariga kirishdagi bug'ning nisbiy tezligi (1.5) formuladan topiladi:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1} = \sqrt{373^2 + 186,5^2 - 2 \cdot 373 \cdot 186,5 \cdot 0,974} = 196 \text{ m/s}.$$

Bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy tezligi (1.7) formula yordamida aniqlanadi:

$$w_2 = 44,7 \cdot \psi \cdot \sqrt{\rho \cdot h_0 + \left( \frac{w_1}{44,7} \right)^2} = 44,7 \cdot 0,91 \cdot \sqrt{0,42 \cdot 130 + \left( \frac{196}{44,7} \right)^2} = 349 \text{ m/s}.$$

Ishchi kuraklaridagi issiqlik energiyasi isrofi (1.14) – formuladan:

$$h_k = \left( \frac{1}{\psi^2} - 1 \right) \cdot \frac{w_2^2}{2000} = \left( \frac{1}{0,91^2} - 1 \right) \cdot \frac{349^2}{2000} = 12,6 \text{ kJ/kg}.$$

Ishchi kurak kanallari oralig'idan chiqayotgan bug'ning absolyut tezligini (m/s) (1.8) formuladan aniqlaymiz:

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u \cdot \cos \beta_2} = \sqrt{349^2 + 186,5^2 - 2 \cdot 349 \cdot 186,5 \cdot 0,94} = 185 \text{ m/s}.$$

Absolyut chiqish tezligi bilan issiqlik energiyasi isrofini (kJ/kg) (1.15) formuladan aniqlaymiz:

$$h_{ch} = \frac{c_2^2}{2000} = \frac{185^2}{2000} = 17,1 \text{ kJ/kg}.$$

Ishchi kuraklaridagi nisbiy foydali ish ko'effitsiyentini – (1.18) formuladan

$$\eta_{n.k.} = \frac{(h_0 - h_s - h_k - h_{ch})}{h_0} = \frac{(130 - 6,0 - 12,6 - 17,1)}{130} = 0,725.$$

**1.34 – masala.** Aktiv pog'onada bug' boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,5$  MPa bosim va  $t_0 = 450$  °C haroratdan  $p_1 = 2,0$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina soplosining tezlik ko'effisiyenti  $\varphi = 0,95$ , ishchi kuraklarining tezlik ko'effisienti  $\psi = 0,9$ , soploning disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 14^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,5$  va bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = \beta_1 - 2^\circ$  ga teng bo'lsa aktiv pog'ona ishchi kuraklaridagi nisbiy foydali ish ko'effisiyentini aniqlang.

**Javob:**  $\eta_{n.k.} = 0,803$ .

**1.35 – masala.** Agar turbina pog'onasida soploning tezlik ko'effisiyenti  $\varphi = 0,95$ , ishchi kuraklarining tezlik ko'effisienti  $\psi = 0,87$ , soploning disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 13^\circ$  va bug'ning ishchi kuragidan kirish burchagi  $\beta_1 = \beta_2 + 1^\circ$  ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa, kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,45$  dan  $0,4$  gacha pasayganda aktiv pog'ona ishchi kuraklaridagi nisbiy foydali ish ko'effisiyenti qanchaga kamayishini aniqlang.

**Yechish:**  $u/c_1 = 0,45$  ga teng bo'lganda bug'ning ishchi kuragiga kirish burchagini (1.9) formuladan aniqlaymiz:

$$tg\beta_1 = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1}} = \frac{0,225}{0,974 - 0,45} = 0,429, \quad \beta_1 = 23^\circ 12'$$

Demak  $u/c_1 = 0,45$  ga teng bo'lganda bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi:

$$\beta_2 = \beta_1 - 1^\circ = 23^\circ 12' - 1^\circ = 22^\circ 12'.$$

$u/c_1 = 0,4$  ga teng bo'lganda bug'ning ishchi kuragiga kirish burchagini (1.9) formuladan aniqlasak:

$$tg\beta_1 = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1}} = \frac{0,225}{0,974 - 0,4} = 0,392, \quad \beta_1 = 21^\circ 24'$$

Demak  $u/c_1 = 0,4$  ga teng bo'lganda bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi:

$$\beta_2 = \beta_1 - 1^\circ = 21^\circ 24' - 1^\circ = 20^\circ 24'.$$

Ishchi kuraklarining nisbiy f.i.k.larini (1.19) formuladan aniqlaymiz:

$u/c_1 = 0,45$  ga teng bo'lganda:

$$\eta_{n.k.1} = 2\varphi^2 \left( \frac{u}{c_1} \right) \left( 1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) \left( \cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) = 2 \cdot 0,95^2 \cdot 0,45 \cdot \left( 1 + 0,87 \frac{0,9259}{0,9191} \right) (0,974 - 0,45) = 0,798$$

$u/c_1 = 0,4$  ga teng bo'lganda:

$$\eta_{n.k.2} = 2\varphi^2 \left( \frac{u}{c_1} \right) \left( 1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) \left( \cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) = 2 \cdot 0,95^2 \cdot 0,4 \cdot \left( 1 + 0,87 \cdot \frac{0,9373}{0,9311} \right) (0,974 - 0,4) = 0,777$$

Ishchi kuraklaridagi nisbiy f.i.k. kamayishini aniqlaymiz:

$$\left( \frac{\eta_{n.k.1} - \eta_{n.k.2}}{\eta_{n.k.1}} \right) \cdot 100 = \left( \frac{0,798 - 0,777}{0,798} \right) \cdot 100 = 2,6 \quad \%.$$

**1.36 – masala.** Agar turbina pog'onasidagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 100 \text{ kJ/kg}$ , disk aylanayotgan kameradagi bosim  $p = 1,0 \text{ MPa}$  va harorat  $t = 300^\circ \text{C}$ , pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 1,1 \text{ m}$ , turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 50 \text{ ayl/s}$ , ishchi kuragining chiqish balandligi  $l_2 = 0,03 \text{ m}$ , bug'ning kirishdagi partsiallik darajasi  $\varepsilon = 0,4$ , koeffitsiyent  $\lambda = 1,1$ , bug' sarfi  $M = 25 \text{ kg/s}$  va isrof bo'layotgan bug'sarfi  $M_{b.s} = 0,8 \text{ kg/s}$  ga teng bo'lsa – aktiv pog'onada ishqalanish, ventilyatsiya va bug' isrofi tufayli issiqlik energiyalari isroflarini aniqlang.

**Javob:**  $h_{i.v.} = 2,8 \text{ kJ/kg}$ ;  $h_{b.s.} = 3,2 \text{ kJ/kg}$ .

**1.37 – masala.** Agar turbina pog'onasidagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 100 \text{ kJ/kg}$ , soplonek tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,94$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffitsienti  $\psi = 0,88$ , soplonek disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 18^\circ$ , pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 0,95 \text{ m}$ , turbina valining aylanishlar chastotasi

$n=3600$  ayl/min, bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 20^\circ 20'$ , pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,45$ , bug' sarfi  $M = 22$  kg/s va isrof bo'layotgan bug'sarfi  $M_{b.s} = 0,4$  kg/s ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa, hamda ishqalanish va ventilyatsiyaga bug' isrofi e'tiborga olinmasa reaktiv pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.ini aniqlang.

**Javob:**  $\eta_{oi}^p = 0,7$ .

**1.38 – masala.** Agar turbina pog'onasidagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 80$  kJ/kg, soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,95$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,88$ , soploneg disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 14^\circ$ , bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 23^\circ$ , pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 1,1$  m, turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 3000$  ayl/min, kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,455$ , ishchi kuragining chiqish balandligi  $l_2 = 0,03$  m, bug'ning kirishdagi partsiallik darajasi  $\varepsilon = 0,4$ , koeffitsiyent  $\lambda = 1,2$ , bug' sarfi  $M = 30$  kg/s va isrof bo'layotgan bug'sarfi  $M_{b.s} = 1,0$  kg/s ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa, hamda ishchi kurak aylanayotgan kameradagi bug' parametrlari:  $p = 1,1$  MPa,  $t = 320$  °C bo'lsa aktiv pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.ini aniqlang.

**Yechish:** Ishchi kuraklari oralig'idagi aylanma tezlikni (1.4) formuladan aniqlaymiz:

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 1,1 \cdot 3000}{60} = 173 \text{ m/s}.$$

Soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligi –  $u/c_1 = 0,455$  munosabatga binoan quyidagicha aniqlanadi:

$$c_1 = \frac{u}{0,455} = \frac{173}{0,455} = 380 \text{ m/s}.$$

Soplodagi issiqlik energiyasi isrofi (1.12) formulaga ko'ra:

$$h_s = \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \cdot \frac{c_1^2}{2000} = \left( \frac{1}{0,95^2} - 1 \right) \cdot \frac{380^2}{2000} = 7,8 \text{ kJ/kg}.$$

Ishchi kuraklariga kirishdagi bug'ning nisbiy tezligi (1.5) – formuladan topiladi:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1} = \sqrt{380^2 + 173^2 - 2 \cdot 380 \cdot 173 \cdot 0,97} = 216 \text{ m/s}.$$

Ishchi kuraklaridagi issiqlik energiyasi isrofi (1.13) formulaga ko'ra:

$$h_k = (1 - \psi^2) \cdot \frac{w_1^2}{2000} = (1 - 0,88^2) \cdot \frac{216^2}{2000} = 5,3 \text{ kJ/kg}.$$

Ishchi kurak kanallari oralig'idan chiqayotgan bug'ning nisbiy tezligi (1.6) formuladan:

$$w_2 = \psi \cdot w_1 = 0,88 \cdot 216 = 190 \text{ m/s}.$$

Ishchi kurak kanallari oralig'idan chiqayotgan bug'ning absolyut tezligi – (1.8) formuladan:

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u \cdot \cos \beta_2} = \sqrt{190^2 + 173^2 - 2 \cdot 190 \cdot 173 \cdot 0,92} = 74 \text{ m/s}.$$

Absolyut chiqish tezligi bilan issiqlik energiyasi isrofini (kJ/kg) (1.15) formuladan aniqlaymiz:

$$h_{ch} = \frac{c_2^2}{2000} = \frac{74^2}{2000} = 2,7 \text{ kJ/kg}.$$

$p = 1,1 \text{ MPa}$  va  $t = 320 \text{ }^\circ\text{C}$  bo'lgan hol uchun pog'ona kamerasidagi bug'ning solishtirma hajmini  $iS$  – diagrammasidan topamiz:

$$v = 0,25 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Turbina diskining bug'li muhitda aylanishida muhit va disk o'rtasida ishqalanish va ventilyatsiya tufayli issiqlik isrofi (1.16) – formulaga ko'ra:

$$h_{i,v} = \lambda \cdot [1,07 \cdot d^2 + 0,61 \cdot z \cdot (1 - \varepsilon) \cdot d \cdot l_2^{1,5}] \cdot \frac{1}{v} \cdot \frac{u^3}{10^6} \cdot \frac{1}{M} =$$

$$1,2 \cdot [1,07 \cdot 1,1^2 + 0,61 \cdot 1 \cdot (1 - 0,4) \cdot 1,1 \cdot 3^{1,5}] \cdot \frac{1}{0,25} \cdot \frac{173^3}{10^6} \cdot \frac{1}{30} = 2,7 \text{ kJ/kg}.$$

Zichlama tirqishlari, soplo va kuraklarni aylanib o'tish joylari orqali bug' sarfi tufayli issiqlik energiyasi isrofi (kJ/kg) (1.17) formuladan topiladi:

$$h_{b,s} = \frac{M_{b,s} \cdot h_0}{M} = \frac{1 \cdot 80}{30} = 2,7 \text{ kJ/kg}.$$

Pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.ini (1.21) formuladan quyidagicha topamiz:

$$\eta_{o,i}^p = \frac{(h_0 - h_s - h_k - h_{ch} - h_{i.v.} - h_{b.s.})}{h_0} = \frac{(80 - 7,3 - 5,3 - 2,7 - 2,7 - 2,7)}{80} = 0,735.$$

**1.39 – masala.** Agar turbina pog'onasidagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 100 \text{ kJ/kg}$ , soplarning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,95$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,87$ , soplarning disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 13^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,5$ , bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = \beta_1 - 1^\circ$ , ishqalanish va ventilyatsiya tufayli issiqlik energiyasi isrofi  $h_{i.v.} = 1,3 \text{ kJ/kg}$ , bug' sarfi  $M = 30 \text{ kg/s}$  va isrof bo'layotgan bug' sarfi  $M_{b.s.} = 0,36 \text{ kg/s}$  ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa – aktiv pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.ini aniqlang.

**Yechish:** Ishchi kuraklari oralig'iga bug'ning kirish burchagini (1.9) formuladan aniqlaymiz:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1}} = \frac{0,225}{0,974 - 0,5} = 0,475, \quad \beta_1 = 25^\circ 24'.$$

Bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi:

$$\beta_2 = \beta_1 - 1^\circ = 25^\circ 24' - 1^\circ = 24^\circ 24'.$$

Turbina diskini bug'li muhitda aylanishi tufayli ishqalanish va ventilyatsiyaga nisbiy issiqlik energiyasi isrofi:

$$\zeta_{i.v.} = h_{i.v.}/h_0 = 1,3/100 = 0,013.$$

Zichlama tirqishlari, soplo va kuraklarni aylanib o'tish joylari orqali bug' sarfi tufayli issiqlik energiyasi isrofi (kJ/kg) (1.17) formuladan topiladi:

$$h_{b.s.} = \frac{M_{b.s.} \cdot h_0}{M} = \frac{0,36 \cdot 100}{30} = 1,2 \text{ kJ/kg}.$$

Zichlama tirqishlari, soplo va kuraklarni aylanib o'tishda bug' sarfi tufayli nisbiy issiqlik energiyasi isrofi:

$$\zeta_{b.s.} = h_{b.s.}/h_0 = 1,2/100 = 0,012.$$

Ko'rilayotgan pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.ini (1.22) formuladan aniqlaymiz:

$$\eta_{oi}^p = 2\varphi^2 \cdot \left( \frac{u}{c_1} \right) \left( 1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) \left( \cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) - \zeta_{i.v.} - \zeta_{b.s.} =$$

$$2 \cdot 0,95^2 \cdot 0,5 \cdot \left( 1 + 0,87 \cdot \frac{0,9107}{0,9033} \right) (0,974 - 0,5) - 0,013 - 0,012 = 0,7$$

**1.40 – masala.** Agar turbina pog'onasidagi soploneg tezlik koeffisiyenti  $\varphi = 0,94$ , soploneg disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 14^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,43$ , turbina diskini ishqalanish va ventilyatsiyaga nisbiy issiqlik energiyasi isrofi  $\zeta_{i.v.} = 0,03$  va bug' sarfi tufayli nisbiy issiqlik energiyasi isrofi  $\zeta_{b.s.} = 0,025$  ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa reaktivlik darajasi  $\rho = 0,5$  bo'lgan reaktiv pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.ini aniqlang.

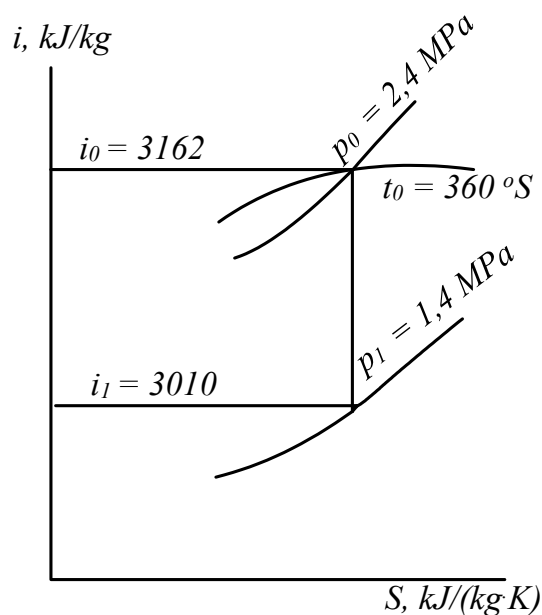
**Javob:**  $\eta_{oi}^p = 0,776$ .

**1.41 – masala.** Aktiv pog'onada bug' boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 2,4$  MPa bosim va  $t_0 = 360$  °C haroratdan  $p_1 = 1,4$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina pog'onasi soplosining tezlik koeffisiyenti  $\varphi = 0,96$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffisienti  $\psi = 0,9$ , soploneg disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlik  $u = 245$  m/s, bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 18^\circ 48'$ , oldingi pog'onadan chiqish tezligi bilan hosil bo'layotgan issiqlik energiyasi  $h_{ch}^{old} = 8$  kJ/kg, chiqish tezligi energiyasidan foydalanish koeffisiyenti  $\mu = 1$ , ishqalanish va ventilyatsiya tufayli issiqlik energiyasi isrofi  $h_{i.v.} = 2,6$  kJ/kg va bug' sarfi tufayli issiqlik energiyasi isrofi  $h_{b.s.} = 2,4$  kJ/kg ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.ini aniqlang.

**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan bug'ning boshlang'ich parametrlaridagi entalpiyasi  $i_0 = 3162$  kJ/kg va adiabatik kengayishdan keyingi entalpiyasini  $i_1 = 3010$  kJ/kg topamiz (1.8 – rasm).

Soplodan chiqishdagi bug'ning haqiqiy tezligini (1.2) formuladan topamiz:

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{(i_0 - i_1) + h_{ch}^{old}} = 44,7 \cdot 0,96 \cdot \sqrt{(3162 - 3010) + 8} = 543 \text{ m/s.}$$



**1.8 – rasm.**

Soplodagi issiqlik energiyasi isrofi (1.12) formulaga ko'ra:

$$h_s = \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \cdot \frac{c_1^2}{2000} = \left( \frac{1}{0,96^2} - 1 \right) \cdot \frac{543^2}{2000} = 12,5 \text{ kJ / kg}.$$

Ishchi kuraklariga kirishdagi bug'ning nisbiy tezligi (1.5) – formuladan topiladi:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1} = \sqrt{543^2 + 245^2 - 2 \cdot 543 \cdot 245 \cdot 0,961} = 315 \text{ m / s}.$$

Ishchi kuraklaridagi issiqlik energiyasi isrofi – (1.13) formulaga ko'ra:

$$h_k = (1 - \psi^2) \cdot \frac{w_1^2}{2000} = (1 - 0,9^2) \cdot \frac{315^2}{2000} = 9,4 \text{ kJ / kg}.$$

Ishchi kurak kanallari oralig'idan chiqayotgan bug'ning nisbiy tezligi – (1.6) formuladan:

$$w_2 = \psi \cdot w_1 = 0,9 \cdot 315 = 283,5 \text{ m / s}.$$

Ishchi kurak kanallari oralig'idan chiqayotgan bug'ning absolyut tezligi – (1.8) formuladan:

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u \cdot \cos \beta_2} = \sqrt{283,5^2 + 245^2 - 2 \cdot 283,5 \cdot 245 \cdot 0,95} = 93 \text{ m / s}.$$

Absolyut chiqish tezligi bilan issiqlik energiyasi isrofini (kJ/kg) (1.15) formuladan aniqlaymiz:

$$h_{ch} = \frac{c_2^2}{2000} = \frac{93^2}{2000} = 4,3 \text{ kJ/kg}.$$

Pog‘onaning ichki nisbiy f.i.k.i (1.24) formuladan topiladi:

$$\eta_{oi}^p = \frac{[\mu \cdot h_{ch}^{old} + h_0 - (h_s + h_k + h_{ch} + h_{i.v} + h_{b.s})]}{\mu \cdot h_{ch}^{old} + h_0} = \frac{[1 \cdot 8 + 152 - (12,5 + 9,4 + 4,3 + 2,6 + 2,4)]}{1 \cdot 8 + 152} = 0,805$$

### 1.3. ROSTLANMAYDIGAN POG‘ONANING ISSIQLIK HISOBI.

**Soplo o‘lchamlari.** Kengayuvchi soplone chiqish kesimi yuzasini ( $m^2$ ) quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$f_1 = \frac{M \cdot v_1}{\mu_1 \cdot c_1}, \quad (1.25)$$

bu yerda  $M$  – soplo orqali bug’ sarfi, kg/s;  $v_1$  – hisoblanayotgan kesimdagi bug’ning solishtirma hajmi,  $m^3/kg$ ;  $\mu_1 = 0,92 \div 0,97$  – soplone sarf koeffitsiyenti.

Kengayuvchi soplone minimal kesim yuzasini ( $m^2$ ) esa quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$f_{min} = \frac{M \cdot v_{kr}}{\mu_1 \cdot c_{kr}}, \quad (1.26)$$

bu yerda  $v_{kr}$  – kritik bosim  $p_{kr}$  sharoitida soplone minimal kesimidagi bug’ning solishtirma hajmi,  $m^3/kg$ ;  $c_{kr}$  – soplodan oqib o’tayotgan bug’ning kritik tezligi bo’lib (1.1) va (1.2) formulalardan  $i_1$  kattalik o’rniga  $i_{kr}$  kattalik qiymatini qo’yib hisoblash orqali aniqlanadi, m/s.

Soplodan oqib o’tayotgan bug’ning kritik bosimi (Pa):

$$p_{kr} = \beta_{kr} \cdot p_0, \quad (1.27)$$

bu yerda  $\beta_{kr}$  – kritik bosimlar nisbati; o’ta qizigan bug’ uchun  $\beta_{kr} = 0,546$ , quruq to’yingan bug’ uchun esa  $\beta_{kr} = 0,577$  ga teng.

Torayuvchi soplone kritik oqim rejimigacha bo’lgan chiqish kesimi yuzasi (1.25) formuladan, kritik oqim rejimi uchun esa (1.26) formuladan aniqlanadi.

**Ishchi kuraklarining o‘lchamlari:** Ishchi kuraklarining chiqish kesimi yuzasini ( $m^2$ ) quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$(1.28)$$

bu yerda  $v_2$  – ishchi kuragidan chiqishdagi bug'ning solishtirma hajmi,  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;  $\mu_2 = 0,92 \div 0,97$  – ishchi kuragi uchun sarf koeffitsiyenti.

Ishchi kuraklarining chiqish balandligi (m) quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$(1.29)$$

**1.42 – masala.** Aktiv pog'onada o'ta qizigan bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 1,2$  MPa va harorati  $t_0 = 300$  °C dan  $p_1 = 0,7$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina pog'onasi soplosining tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,96$ , soplo orqali bug' sarfi  $M = 2$  kg/s va soplarning sarf koeffitsiyenti  $\mu_1 = 0,95$  ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa torayuvchi soplarning chiqish kesimi yuzasini aniqlang.

**Javob:**  $f_1 = 1,38 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ .

**1.43 – masala.** Reaktiv pog'onada o'ta qizigan bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 2,0$  MPa va harorati  $t_0 = 350$  °C dan  $p_2 = 1,4$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina pog'onasi soplosining tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,95$ , soplo orqali bug' sarfi  $M = 1,2$  kg/s, soploning sarf koeffitsiyenti  $\mu_1 = 0,95$  va pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,5$  ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa – torayuvchi soploning chiqish kesimi yuzasini aniqlang.

**Javob:**  $f_1 = 0,73 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ .

**1.44 – masala.** Aktiv pog'onada o'ta qizigan bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 3,5$  MPa va harorati  $t_0 = 435$  °C dan  $p_1 = 1,2$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina pog'onasi soplosining tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,95$ , soplo orqali bug' sarfi  $M = 2,1$  kg/s va soplning sarf koeffitsiyenti  $\mu_1 = 0,96$  ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa – torayuvchi soplning chiqish kesimi yuzasini aniqlang.

**Yechish:** Soplodan oqib o'tayotgan bug'ning kritik bosimini (Pa) (1.27) formuladan aniqlaymiz:

$$p_{kr} = \beta_{kr} \cdot p_0 = 0,546 \cdot 3,5 = 1,92 \text{ MPa}.$$

Demak  $p_1$  bosim  $p_{kr}$  bosim qiymatidan kichik ekan. Ushbu holatda soploneg chiqish kesimida kritik bosimga erishiladi va bug'ning soplodagi  $p_0$  bosimdan  $p_{kr}$  bosimgacha kengayishi yuz beradi.

$iS$  – diagrammadan bug'ning boshlang'ich entalpiyasi  $i_0 = 3304 \text{ kJ/kg}$  va bug'ning adiabatik kengayishdan keyingi entalpiyasi  $i_{kr} = 3128 \text{ kJ/kg}$  ekanligini topamiz (1.9 – rasm).

Soplodan oqib o'tayotgan bug'ning kritik tezligini (1.2) formulaga asosan hisoblaymiz:

$$c_{kr} = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{(i_0 - i_{kr})} = 44,7 \cdot 0,95 \cdot \sqrt{(3304 - 3128)} = 564 \text{ m/s}.$$

$iS$  – diagrammadan bug'ning soplodan kritik bosim bilan chiqishdagi solishtirma hajmini aniqlaymiz (1.9 – rasm):

$$v_{kr} = 0,14 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Torayuvchi soploneg minimal kesim yuzasini ( $\text{m}^2$ ) (1.26) formuladan aniqlaymiz:

$$f_1 = \frac{M \cdot v_{kr}}{\mu_1 \cdot c_{kr}} = \frac{2,1 \cdot 0,14}{0,96 \cdot 564} = 0,54 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2.$$

**1.45 – masala.** Aktiv pog'onada o'ta qizigan bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 1,0 \text{ MPa}$  va harorati  $t_0 = 320 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $p_1 = 0,3 \text{ MPa}$  bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina pog'onasi soplosining tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,97$ , soplo orqali bug' sarfi  $M = 1,2 \text{ kg/s}$  va soploneg sarf koeffitsiyenti  $\mu_1 = 0,97$  ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa – kengayuvchi soploneg chiqish kesimi yuzasini va minimal kesimi yuzasini aniqlang.

**Javob:**  $f_1 = 1,18 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ ;  $f_{\min} = 0,98 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ .

**1.46 – masala.** Reaktiv pog'onada o'ta qizigan bug' boshlang'ich bosimi  $p_0 = 1,4 \text{ MPa}$  va harorati  $t_0 = 350 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $p_2 = 0,35 \text{ MPa}$  bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina pog'onasi soplosining tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,96$ , soplo orqali bug' sarfi  $M = 1,8 \text{ kg/s}$ , soploneg sarf koeffitsiyenti  $\mu_1 = 0,96$  va pog'onaning reaktivlik

darajasi  $\rho = 0,5$  ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa – kengayuvchi soploneg chiqish kesimi yuzasini va minimal kesimi yuzasini aniqlang.

**Yechish:** Soplodan oqib o'tayotgan bug'ning kritik bosimini (Pa) (1.27) formuladan aniqlaymiz:

$$p_{kr} = \beta_{kr} \cdot p_0 = 0,546 \cdot 1,4 = 0,76 \text{ MPa}.$$

Demak  $p_1$  bosim  $p_{kr}$  bosim qiymatidan kichik ekan. Ushbu holatda soploneg chiqish kesimida kritik bosimga erishiladi va bug'ning soplodagi  $p_0$  bosimdan  $p_{kr}$  bosimgacha kengayishi yuz beradi.

$iS$  – diagrammadan bug'ning boshlang'ich entalpiya ko'rsatkichlari  $i_0 = 3150 \text{ kJ/kg}$ ,  $i_{kr} = 2985 \text{ kJ/kg}$ ,  $i_1 = 2810 \text{ kJ/kg}$  va solishtirma hajm ko'rsatkichlari  $v_{kr} = 0,324 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $v_1 = 0,593 \text{ m}^3/\text{kg}$  ga teng ekanligini topamiz (1.10 – rasm).

Soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligini (1.2) formulaga asosan hisoblaymiz:

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{(i_0 - i_1) \cdot (1 - \rho)} = 44,7 \cdot 0,96 \cdot \sqrt{(3150 - 2810) \cdot (1 - 0,5)} = 560 \text{ m/s}.$$

Kengayuvchi soploneg chiqish kesim yuzasini ( $\text{m}^2$ ) (1.25) formulaga ko'ra:

$$f_1 = \frac{M \cdot v_1}{\mu_1 \cdot c_1} = \frac{1,8 \cdot 0,593}{0,96 \cdot 560} = 1,99 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2.$$

Soplodan oqib o'tayotgan bug'ning kritik tezligini (1.2) formulaga asosan hisoblaymiz:

$$c_{kr} = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{(i_0 - i_{kr}) \cdot (1 - \rho)} = 44,7 \cdot 0,96 \cdot \sqrt{(3150 - 2985) \cdot (1 - 0,5)} = 389 \text{ m/s}.$$

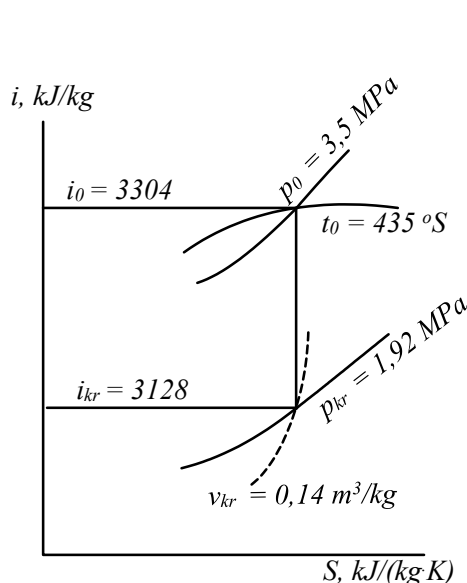
Kengayuvchi soploneg minimal kesim yuzasini ( $\text{m}^2$ ) (1.26) formuladan aniqlaymiz:

$$f_{\min} = \frac{M \cdot v_{kr}}{\mu_1 \cdot c_{kr}} = \frac{1,8 \cdot 0,324}{0,96 \cdot 389} = 1,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2.$$

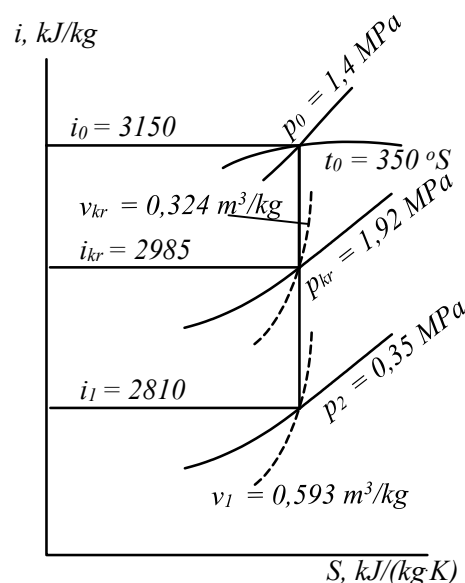
**1.47 – masala.** Agar aktiv pog'onada bug' boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 2,0 \text{ MPa}$  bosim va  $t_0 = 350 \text{ }^\circ\text{C}$  haroratdan  $p_1 = 1,5 \text{ MPa}$  bosimgacha kengaysa, pog'ona

soplosining tezlik ko'effitsiyenti  $\phi = 0,95$ , ishchi kuraklarining tezlik ko'effitsiyenti  $\psi = 0,87$ , soploning disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 13^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,45$ , bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 22^\circ$ , bug'ning ishchi kuragidan chiqishdagi solishtirma hajmi  $v_2 = 0,143 \text{ m}^3/\text{kg}$ , pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 1,0 \text{ m}$ , bug' sarfi  $M = 30 \text{ kg/s}$ , ishchi kuraklarining sarf ko'effitsiyenti  $\mu_2 = 0,95$  va bug'ning kirishdagi partsiallik darajasi  $\varepsilon = 0,4$  ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa ishchi kuraklarining chiqish kesim yuzasini va chiqish balandliklarini aniqlang.

**Javob:**  $f_2 = 2,428 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ ;  $l_2 = 5,11 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ .



**1.9 – rasm.**



**1.10 – rasm.**

**1.48 – masala..** Agar reaktiv pog'onada bug' boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 2,0 \text{ MPa}$  bosim va  $t_0 = 390^\circ \text{C}$  haroratdan  $p_2 = 1,5 \text{ MPa}$  bosimgacha kengaysa, pog'ona soplosining tezlik ko'effitsiyenti  $\phi = 0,95$ , ishchi kuraklarining tezlik ko'effitsiyenti  $\psi = 0,87$ , soploning disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 13^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,5$ , bug'ning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 20^\circ$ , pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 0,85 \text{ m}$ , pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,5$ , bug' sarfi  $M = 24 \text{ kg/s}$ , ishchi kuraklarining sarf ko'effitsiyenti  $\mu_2 = 0,96$  va

bug'ning kirishdagi partsiallik darajasi  $\varepsilon = 0,4$  ga teng ekanligi ma'lum bo'lsa ishchi kuraklarining chiqish kesim yuzasini va chiqish balandliklarini aniqlang.

**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan bug'ning boshlang'ich entalpiyasi  $i_0 = 3230$  kJ/kg va bug'ning adiabatik kengayishdan keyingi entalpiyasi  $i_2 = 3150$  kJ/kg ekanligini topamiz (1.11 – rasm).

Soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligini (1.2) formulaga asosan hisoblaymiz:

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{(i_0 - i_1) \cdot (1 - \rho)} = 44,7 \cdot 0,95 \cdot \sqrt{(3230 - 3150) \cdot (1 - 0,5)} = 268 \text{ m/s}.$$

Soplodagi issiqlik energiyasi isrofi (1.12) – formuladan:

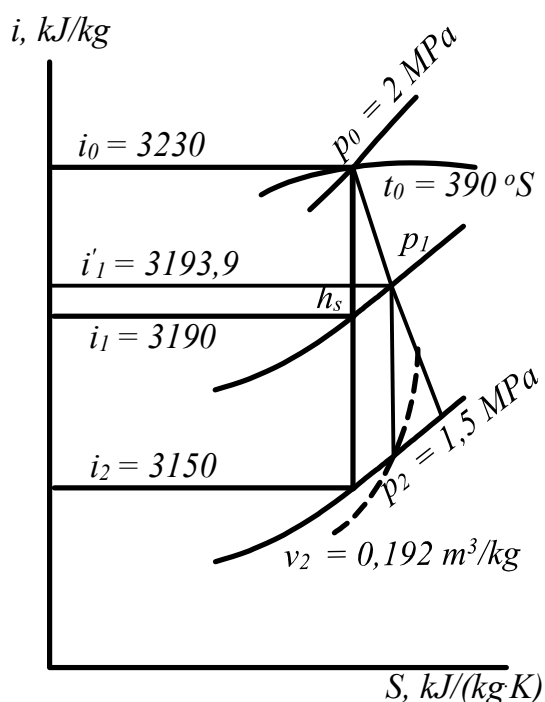
$$h_s = \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \cdot \frac{c_1^2}{2000} = \left( \frac{1}{0,95^2} - 1 \right) \cdot \frac{268^2}{2000} = 3,9 \text{ kJ/kg}.$$

Kuraklar o'rtasidagi aylanma tezlikni  $u/c_1 = 0,5$  munosabatga binoan topamiz:

$$u = 0,5 \cdot c_1 = 0,5 \cdot 268 = 134 \text{ m/s}.$$

Ishchi kuraklariga kirishdagi bug'ning nisbiy tezligi (1.5) – formuladan topiladi:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1} = \sqrt{268^2 + 134^2 - 2 \cdot 268 \cdot 134 \cdot 0,974} = 99 \text{ m/s}.$$



1.11 – rasm.

Bug'ning ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi nisbiy tezligi (1.7) formula yordamida aniqlanadi:

$$w_2 = 44,7 \cdot \psi \cdot \sqrt{\rho \cdot h_0 + \left(\frac{w_1}{44,7}\right)^2} = 44,7 \cdot 0,87 \cdot \sqrt{0,5 \cdot 80 + \left(\frac{99}{44,7}\right)^2} = 259 \text{ m/s}.$$

Jarayonni iS – diagrammasida qurib (1.11 – rasm) ishchi kuragidan chiqishdagi bug'ning solishtirma hajmini topib olamiz:

$$v_{kr} = 0,192 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Ishchi kuraklarining chiqish kesimi yuzasini ( $\text{m}^2$ ) (1.28) formuladan aniqlaymiz:

$$f_2 = \frac{M \cdot v_2}{\mu_2 \cdot w_2} = \frac{24 \cdot 0,192}{0,96 \cdot 259} = 1,853 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2.$$

Ishchi kuraklarining chiqish balandligi (m) (1.29) formulaga ko'ra:

$$l_2 = \frac{f_2}{\pi \cdot d \cdot \varepsilon \cdot \sin \beta_2} = \frac{1,853 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 0,85 \cdot 0,4 \cdot 0,342} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

#### 1.4.TURBINALARNING FOYDALI ISH KOEFFISIYENTI, QUVVATI VA BUG' SARFINI HISOBLASH

**Turbinalarning f.i.k.i.** Bug' turbinasining ichki qismida issiqlik energiyasining isrofi turbinaning ichki foydali ish koefitsiyenti bilan baholanadi va turbinada foydali ishlatilgan issiqlik tushishining  $H_i$  umumiy ko'zda tutilgan issiqlik tushishiga  $H_0$  nisbati ko'rinishida ifodalanadi, ya'ni:

$$\eta_{ni} = \frac{H_i}{H_0} = \frac{i_0 - i_k}{i_0 - i_{k.a}}, \quad (1.30)$$

bu yerda  $i_0$  – bug'ning boshlang'ich parametrlaridagi entalpiyasi, kJ/kg;  $i_{k.a}$  – bug'ning boshlang'ich parametrlaridan to oxirgi holatigacha adiabatik kengayishdagi entalpiyasi, kJ/kg;  $i_k$  – bug'ning oxirgi parametrlaridagi entalpiyasi, kJ/kg.

Bug' turbinalarining ichki nisbiy f.i.k. ko'rsatkichi  $0,7 \div 0,88$  oraliqda bo'ladi.

Podshipniklardagi va yordamchi mexanizmlar uzatmalaridagi ishqalanish tufayli issiqlik isroflari (mexanik isroflar) qurilmaning mexanik f.i.k.ini  $\eta_m$  belgilaydi va effektiv quvvatning ichki quvvatga nisbatidan aniqlanadi:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}, \quad (1.31)$$

Bug' turbinalarining mexanik f.i.k. ko'rsatkichi  $0,97 \div 0,99$  oraliqda bo'ladi.

Turbinaning ichki issiqlik isroflari va mexanik isroflar turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.ini  $\eta_{n.e}$  aniqlashga yordam beradi va turbinaning ichki nisbiy f.i.k.ini mexanik f.i.k.iga ko'paytmasidan hosil bo'ladi:

$$\eta_{n.e} = \eta_{ni} \cdot \eta_m, \quad (1.32)$$

Turbinalar uchun  $\eta_{n.e}$  ning qiymati  $0,68 \div 0,87$  oralig'ida bo'ladi.

Agar bug' turbinasi bevosita elektr generatorining valiga ulangan bo'lsa, unda generatorda vujudga keladigan isroflar tufayli turbinaning elektr quvvati effektiv quvvatdan kichik bo'ladi. Bu ko'rsatkich generator f.i.k.i  $\eta_g$  bilan belgilanadi.

Elektr generator f.i.k.i elektr quvvatining  $N_{el}$  effektiv quvvatga  $N_e$  nisbatidan aniqlanadi:

$$\eta_g = \frac{N_{el}}{N_e}, \quad (1.33)$$

Generator f.i.k.  $\eta_g$  ning qiymati  $0,96 \div 0,99$  oralig'ida bo'ladi.

Turbogeneratorning hisbiy elektrik f.i.k.i:

$$\eta_{n.el} = \eta_{ne} \cdot \eta_g = \eta_{ni} \cdot \eta_m \cdot \eta_g, \quad (1.34)$$

**Turbinada issiqlikning qaytish koeffitsiyenti.** Issiqlikning qaytish koeffitsiyenti  $\alpha$  issiqlik isroflarini qisman qaytishi hisobiga ko'zda tutilgan issiqlik tushishini qisman kattalashishini xarakterlaydi va quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{\sum h_0}{H_0} - 1, \quad (1.35)$$

bu yerda  $\sum h_0$  - turbinaning barcha pog'onalaridagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishlari yig'indisi, kJ/kg.

Turbinada issiqlikni qaytish koeffitsiyenti  $\alpha$  alohida pog'onalar ichki nisbiy f.i.k.iga ko'ra quyidagicha topiladi:

$$\alpha = \frac{\eta_{ni}}{\eta_{ni}^p} - 1, \quad (1.36)$$

Pog'onalar sonidan kelib chiqib turbinada issiqlikni qaytish koeffitsiyentining qiymati  $0,04 \div 0,06$  oralig'ida bo'ladi.

**Turbinalarning xarakteristika koeffitsiyenti.** Turbinalarning xarakteristika koeffitsiyenti  $Y$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2 / (\text{kJ} \cdot \text{s}^2)$ ], pog'ona uchun yoki butun turbinaning tejamkorligini xarakterlaydi va quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Y = \frac{\sum u^2}{(1 + \alpha) \cdot H_0} = \frac{z \cdot u_{o'r}^2}{(1 + \alpha) \cdot H_0}, \quad (1.37)$$

bu yerda  $z$  – turbina pog'onalar soni;  $u_{o'r}$  – kuraklar oralig'idagi o'rtacha aylanma tezlik, m/s.

**Turbina quvvati.** Turbinaning validan yoki birlashtiruvchi muftasidan olinayotgan quvvat effektiv quvvat  $N_e$  (kVt) deb ataladi:

$$N_e = D \cdot H_0 \cdot \eta_{ne}. \quad (1.38)$$

Effektiv quvvat  $N_e$  ichki quvvatga  $N_i$  nisbatan mexanik quvvat  $N_m$  kattaligi barobarida kichik bo'ladi, ya'ni:

$$N_e = N_i - N_m \quad (1.39)$$

Ichki quvvat  $N_i$  (kVt) (1.31) formuladan aniqlanadi.

Elektrik quvvat  $N_{el}$  (kVt) (1.33) formuladan aniqlanadi.

**Turbina orqali bug' sarfi.** Bug' turbinalarining tejamkorligi ham f.i.k., ham bug'ning solishtirma sarfiga bog'liq.

Effektiv solishtirma bug' sarfi [ $\text{kg}/(\text{kVt} \cdot \text{soat})$ ] sekundli bug' sarfini effektiv bug' sarfiga nisbatidan topiladi, ya'ni:

$$d_e = \frac{D}{N_e} = \frac{3600}{\eta_{n.e} \cdot H_0}. \quad (1.40)$$

Katta quvvatli kondensatsion turbinalar to'liq yuklama bilan ishlayotganda effektiv solishtirma bug' sarfi  $3 \div 4 \text{ kg/(kVt}\cdot\text{soat)}$ .

Bug' otbori olinmasiga ega turbinalar uchun bug' sarfi (kg/s) quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$D = \frac{N_{el}}{(i_0 - i_k) \cdot \eta_m \cdot \eta_g} + \frac{D_b \cdot (i_b - i_k)}{(i_0 - i_k)}, \quad (1.41)$$

bu yerda  $D_b$  – bug' otbor olinmasi, kg/s;  $i_0$  – bug'ning boshlang'ich parametrlardagi entalpiyasi, kJ/kg;  $i_b$  – otbor bug'ining entalpiyasi, kJ/kg;  $i_k$  – kondensatordagi bug'ning entalpiyasi, kJ/kg.

Otborga berilayotgan bug' entalpiyasi:

$$i_b = i_0 - (i_0 - i_{a.k}) \cdot \eta'_{oi}, \quad (1.42)$$

bu yerda  $i_{a.k}$  – otbor olinmasidagi bosimgacha adiabatik kengayib kelgan bug'ning entalpiyasi, kJ/kg;  $\eta'_{oi}$  – otbor olinish joyigacha, ya'ni yuqori bosimli qismdagi ichki nisbiy f.i.k.i.

Kondensatordagi bug' entalpiyasi:

$$i_k = i_b - (i_b - i_{k.a}) \cdot \eta''_{oi}, \quad (1.43)$$

bu yerda  $i_{k.a}$  – otbor olinmasi bosimidan kondensatordagi bosimgacha adiabatik kengayib kelgan bug'ning entalpiyasi, kJ/kg;  $\eta''_{oi}$  – otbor olinish joyidan keyin, ya'ni past bosimli qismdagi ichki nisbiy f.i.k.i.

**O'zgaruvchan rejimlarda turbina pog'onasidagi bosim va bug' sarfi.** Turbina orqali bug' sarfini o'zgarishi uning pog'onalari bo'ylab bosim va issiqlik tushishlarini qayta taqsimlanishini talab qiladi. Soplodagi bug' tezligi uchun turbina pog'onasidagi bug' bosimi va sarflari orasidagi bog'lanish quyidagi tenglama ko'rinishini oladi:

$$\frac{D}{D_0} = \sqrt{\frac{(p_{01}^2 - p_{02}^2)}{(p_0^2 - p_2^2)}}, \quad (1.44)$$

bu yerda  $D_0$  va  $D$  – turbina orqali hisobiy va ko'rilayotgan rejimlarga mos keluvchi bug' sarflari, kg/s;  $p_0$  va  $p_{01}$  – birinchi yoki har qanday pog'ona soplosi oldidagi hisobiy va ko'rilayotgan rejimlarga mos keluvchi bosim, Pa;  $p_2$  va  $p_{02}$  – oxirgi yoki

har qanday pog'ona ishchi kuragidan keyingi hisobiy va ko'rilayotgan rejimlarga mos keluvchi bosim, Pa.

Kondensation turbina pog'onasida bosimning bug' sarfiga bog'liq holda o'zgarishi:

$$p_{01} = \frac{p_0 \cdot D}{D_0}, \quad (1.45)$$

Qarshi bosimli turbina pog'onasida bosimning bug' sarfiga bog'liq holda o'zgarishi:

$$p_{01} = \sqrt{\left(\frac{D}{D_0}\right)^2 \cdot (p_0^2 - p_2^2) + p_{02}^2}. \quad (1.46)$$

**1.49 – masala.** Agar turbina oldidagi bug' parametrlari  $p_0 = 3,4$  MPa,  $t_0 = 440$  °C , turbinadan keyin esa  $p_2 = 0,4$  MPa,  $t_2 = 220$  °C va turbinaning mexanik f.i.k.i  $\eta_m = 0,98$  ga teng bo'lsa turbinaning ichki nisbiy va effektiv f.i.k.larini aniqlang.

**Javob:**  $\eta_{ni} = 0,77$ ;  $\eta_{ne} = 0,755$ .

**1.50 – masala.** Agar turbina oldidagi bug' parametrlari  $p_0 = 4,0$  MPa,  $t_0 = 390$  °C , turbinadan keyin esa  $p_2 = 1,0$  MPa,  $t_2 = 240$  °C , turbinaning mexanik f.i.k.i  $\eta_m = 0,97$  ga va elektrogenerator f.i.k.  $\eta_g = 0,95$  ga teng bo'lsa turbogeneratorning nisbiy elektrik f.i.k.ini aniqlang.

**Javob:**  $\eta_{n.el} = 0,71$ .

**1.51 – masala.** Turbinani sinovi paytida uning oldidagi bug' parametrlari  $p_0 = 3,5$  MPa,  $t_0 = 500$  °C , turbinadan keyin esa  $p_2 = 1,2$  MPa,  $t_2 = 290$  °C ga tengligi o'lchandi. Agar turbina bir xil ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta_{ni}^p = 0,73$  ga ega yettita pog'onadan iborat bo'lsa issiqlikning qaytish koeffitsiyentini aniqlang.

**Javob:**  $\alpha = 0,057$ .

**1.52 – masala.** Boshlang'ich bug' parametrlari  $p_0 = 9,0 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 500 \text{ }^\circ\text{C}$  va qarshi bosimi  $p_2 = 1,5 \text{ MPa}$  bo'lgan turbina uchun issiqlikning qaytish koeffitsiyentini aniqlang. Bunda rostlovchi pog'onadagi foydali issiqlik tushishi  $h_i^p = 102 \text{ kJ/kg}$ , shu pog'onaning nisbiy ichki f.i.k.i  $\eta_{ni}^p = 0,68$  ga va turbina oltita bir xil issiqlik tushishiga  $h_0 = 62 \text{ kJ/kg}$  ega rostlanmaydigan pog'onalardan iborat deb qaralsin.

**Javob:**  $\alpha = 0,053$ .

**1.53 – masala.** Ishlatilayotgan kondensatsion turbinada boshlang'ich bug' parametrlari  $p_0 = 9,0 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 500 \text{ }^\circ\text{C}$  va kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 4 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ . Agar issiqlikning qaytish koeffitsiyenti  $\alpha = 0,05$  va kuraklar o'rtasidagi o'rtacha aylanma tezlik  $u_{o'r} = 220 \text{ m/s}$  bo'lsa turbinaning xarakteristika koeffitsiyenti aniqlansin. Turbina o'nta pog'onadan iborat deb qaralsin.

**Javob:**  $Y = 334 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / (\text{kJ} \cdot \text{s}^2)$ .

**1.54 – masala.** Ishlatilayotgan turbinada boshlang'ich bug' bosimi  $p_0 = 4,0 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 440 \text{ }^\circ\text{C}$  va kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 4 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ . Agar turbina orqali bug' sarfi  $D = 5,2 \text{ kg/s}$  va turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.i  $\eta_{n.e} = 0,71$  ga teng bo'lsa turbinaning effektiv quvvatini aniqlang.

**Javob:**  $N_e = 4560 \text{ kVt}$ .

**1.55 – masala.** Ishlatilayotgan turbinada boshlang'ich bug' bosimi  $p_0 = 8,0 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 480 \text{ }^\circ\text{C}$  va kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 3,5 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ . Agar turbina orqali bug' sarfi  $D = 5,4 \text{ kg/s}$  va turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.i  $\eta_{n.e} = 0,73$  va turbinaning mexanik f.i.k.i  $\eta_m = 0,97$  ga teng bo'lsa turbinaning effektiv quvvatini va mexanik isroflarga sarflanadigan quvvatini aniqlang.

**Javob:**  $N_e = 4560 \text{ kVt}$ ;  $N_m = 166 \text{ kVt}$ .

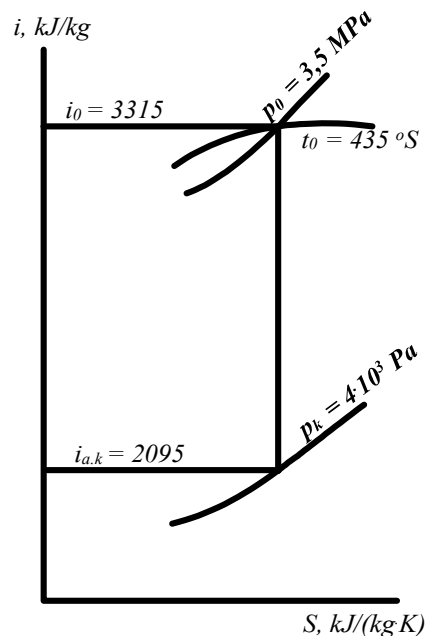
**1.56 – masala.** Ishlatilayotgan turbinada boshlang'ich bug' bosimi  $p_0 = 3,5 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 435 \text{ }^\circ\text{C}$  va kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 4,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ . Agar turbina orqali bug' sarfi  $D = 5,0 \text{ kg/s}$  va turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.i  $\eta_{n.e} = 0,72$  ga teng bo'lsa turbinaning effektiv quvvatini va bug'ning solishtirma effektiv sarfini aniqlang.

**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan foydalanib ko'zda tutilgan  $H_0 = i_0 - i_{k.a.}$  issiqlik tushishini quramiz (1.12 – rasm). Boshlang'ich parametrlarga ko'ra bug' entalpiyasi  $i_0 = 3315 \text{ kJ/kg}$ , kondensatsion  $p_k = 4,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$  bosimgacha adiabatik kengayishdan keyingi bug' entalpiyasi esa  $i_{k.a.} = 2095 \text{ kJ/kg}$  ga teng. Demak,

$$H_0 = i_0 - i_{k.a.} = 3315 - 2095 = 1220 \text{ kJ/kg}.$$

Turbinaning effektiv quvvatini (1.38) formuladan aniqlaymiz:

$$N_e = D \cdot H_0 \cdot \eta_{n.e} = 5 \cdot 1220 \cdot 0,72 = 4392 \text{ kVt}.$$



1.12 – rasm.

Effektiv solishtirma bug' sarfi  $[\text{kg}/(\text{kVt} \cdot \text{soat})]$  (1.40) formuladan topiladi, ya'ni:

$$d_e = \frac{D}{N_e} = \frac{3600}{\eta_{n.e} \cdot H_0} = \frac{3600}{0,72 \cdot 1220} = 4,1 \frac{\text{kg}}{\text{kVt} \cdot \text{soat}}.$$

**1.57 – masala.** Turbinada bug'ning boshlang'ich bosimi  $p_0 = 1,6 \text{ MPa}$ , harorati  $t_0 = 350 \text{ }^\circ\text{C}$  va kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 5,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ . Agar turbina orqali bug' sarfini  $D = 5,5 \text{ kg/s}$  dan o'zgarmsdan turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.ining qiymati  $\eta_{n.e} = 0,66$  dan  $\eta'_{n.e} = 0,61$  gacha pasayadi va bunda turbina kondensatoridagi bosim  $p'_k = 9 \cdot 10^3 \text{ Pa}$  ga o'zgaradi deb qaralsa turbinaning effektiv quvvati qiymati qanchaga o'zgarishini aniqlang.

**Javob:**  $\Delta N_e = 489 \text{ kVt}$ .

**1.58 – masala.** Turbinada bug'ning boshlang'ich bosimi  $p_0 = 2,6 \text{ MPa}$ , harorati  $t_0 = 360 \text{ }^\circ\text{C}$  va kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 4,5 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ , turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.ining qiymati  $\eta_{n.e} = 0,68$  ni tashkil qiladi. Agar turbina kondensatoridagi bug' bosimi  $p'_k = 8,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$  gacha ko'tarilsa va turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.ining qiymati  $\eta'_{n.e} = 0,63$  gacha pasaysa bug'ning solishtirma effektiv sarfi qiymati qanchaga ortishini hisoblang.

**Javob:**  $\Delta d_e = 0,74 \text{ kg/(kVt}\cdot\text{soat)}$ .

**1.59 – masala.** Effektiv quvvati  $N_e = 12000 \text{ kVt}$  bo'lgan kondensatsion turbinada boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 2,8 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 400 \text{ }^\circ\text{C}$  o'ta qizigan bug'da ishlaydi, turbina kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 4,5 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ . Agar turbina orqali bug' sarfi  $D = 15,0 \text{ kg/s}$  bo'lsa bug'ning solishtirma effektiv sarfi va turbinaning nisbiy effektiv f.i.k. ini aniqlang.

**Javob:**  $d_e = 4,5 \text{ kg/(kVt}\cdot\text{soat)}$ ;  $\eta_{n.e} = 0,708$ .

**1.60 – masala.** Kondensatsion turbinada bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,5 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 435 \text{ }^\circ\text{C}$ , turbina kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 4,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ . Agar turbina generatorining elektr quvvati  $N_e = 24000 \text{ kVt}$ , turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.i  $\eta_{n.e} = 0,76$  va elektr generatorining f.i.k.i  $\eta_g = 0,96$  ga teng bo'lsa bug'ning turbina orqali sekundlik va solishtirma sarfi aniqlansin.

**Javob:**  $D = 27,1 \text{ kg/s}$ ;  $d_e = 3,9 \text{ kg/(kVt}\cdot\text{soat)}$ .

**1.61 – masala.** Ishlab chiqarish uchun rostlanuvchi bug' otboriga ega turbinada bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,5 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 435 \text{ }^\circ\text{C}$ , turbina kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 4,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ , rostlanuvchi bug' otboridagi bug' sarfi  $D_b = 5 \text{ kg/s}$ , bosimi  $p_b = 0,2 \text{ MPa}$ . Agar turbogeneratorning elektr quvvati  $N_{el} = 4000 \text{ kVt}$ , yuqori bosimli qismdagi turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i (otborgacha)  $\eta'_{n.i} = 0,74$ , past bosimli qismdagi ichki nisbiy f.i.k.i (otbordan keyin)  $\eta''_{n.i} = 0,76$ , turbinaning mexanik f.i.k.i  $\eta_m = 0,98$  va elektr generatorining f.i.k.i  $\eta_g = 0,96$  ga teng bo'lsa turbina orqali bug' sarfi aniqlansin.

**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan foydalanib bug'ning  $p_0$  va  $t_0$  boshlang'ich parametrlariga ko'ra  $i_0$  entalpiyani topamiz (1.13 – rasm):  $i_0 = 3315 \text{ kJ/kg}$ . Bug'ning  $p_0$  va  $t_0$  parametrlardan  $p_b$  bosimgacha,  $p_b$  va  $t_b$  parametrlardan  $p_k$  bosimgacha adiabatik kengayish jarayoniga asosan qurilgan  $iS$  – diagrammadan (1.13 – rasm)  $i_{a.k.} = 2640 \text{ kJ/kg}$  va  $i_{k.a.} = 2240 \text{ kJ/kg}$  entalpiyalarni aniqlaymiz.

Otborga kirayotgan bug'ning entalpiyasini (1.42) formuladan aniqlaymiz:

$$i_b = i_0 - (i_0 - i_{a.k.}) \cdot \eta'_{oi} = 3315 - (3315 - 2640) \cdot 0,74 = 2815 \text{ kJ/kg}.$$

Kondensatordagi bug' entalpiyasini (1.43) formuladan aniqlaymiz:

$$i_k = i_b - (i_b - i_{k.a.}) \cdot \eta''_{oi} = 2815 - (2815 - 2240) \cdot 0,76 = 2378 \text{ kJ/kg}.$$

Turbina orqali bug' sarfi (1.41) formulaga ko'ra:

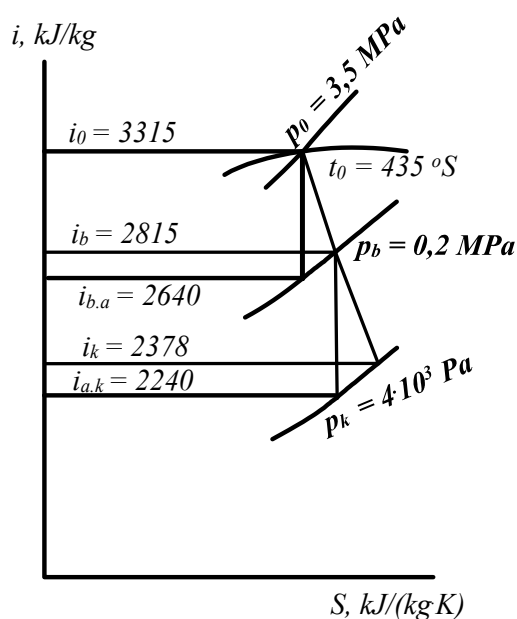
$$D = \frac{N_{el}}{(i_0 - i_k) \cdot \eta_m \cdot \eta_g} + \frac{D_b \cdot (i_b - i_k)}{(i_0 - i_k)} = \frac{4000}{(3315 - 2378) \cdot 0,98 \cdot 0,96} + \frac{5 \cdot (2815 - 2378)}{(3315 - 2378)} = 6,87 \text{ kg/s}.$$

**1.62 – masala.** Ishlab chiqarish uchun rostlanuvchi bug' otboriga ega turbinada bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,5 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 435 \text{ }^\circ\text{C}$ , turbina kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 5,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ , rostlanuvchi bug' otboridagi bug' sarfi  $D_b = 11,1 \text{ kg/s}$ , bosimi  $p_b = 0,5 \text{ MPa}$ . Agar turbogeneratorning elektr quvvati  $N_{el} = 6000 \text{ kVt}$ , yuqori bosimli qismdagi turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i (otborgacha)  $\eta'_{n.i} = 0,78$ , past bosimli qismdagi ichki nisbiy f.i.k.i (otbordan keyin)  $\eta''_{n.i} = 0,65$ , turbinaning mexanik f.i.k.i  $\eta_m = 0,98$  va elektr generatorining f.i.k.i  $\eta_g = 0,95$  ga teng bo'lsa turbina orqali solishtirma effektiv bug' sarfi aniqlansin.

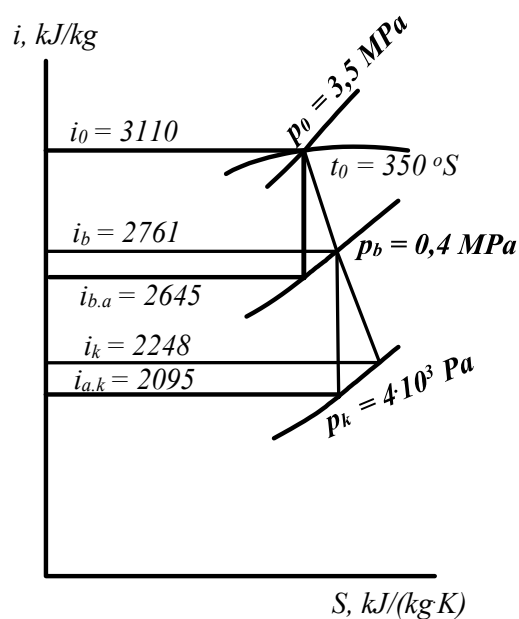
**Javob:**  $d_e = 7,12 \text{ kg/(kVt} \cdot \text{soat)}$ .

**1.63 – masala.** Ishlab chiqarish uchun rostlanuvchi bug' otboriga ega turbinada bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,5 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , turbina kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 4,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ , rostlanuvchi bug' otboridagi bug' sarfi  $D_b = 4,0 \text{ kg/s}$ , bosimi  $p_b = 0,4 \text{ MPa}$ . Agar turbina orqali bug' sarfi  $D = 8,0 \text{ kg/s}$ , yuqori bosimli qismdagi turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i (otborgacha)  $\eta'_{n.i} = 0,75$ , past bosimli qismdagi ichki nisbiy f.i.k.i (otbordan keyin)  $\eta''_{n.i} = 0,77$ , turbinaning mexanik f.i.k.i  $\eta_m = 0,97$  va elektr generatorining f.i.k.i  $\eta_g = 0,97$  ga teng bo'lsa turbogeneratorning elektr quvvati aniqlansin.

**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan foydalanib bug'ning  $p_0$  va  $t_0$  boshlang'ich parametrlariga ko'ra  $i_0$  entalpiyani topamiz (1.14 – rasm):  $i_0 = 3110 \text{ kJ/kg}$ . Bug'ning adiabatik kengayish jarayoniga asosan  $i_{a.k.} = 2645 \text{ kJ/kg}$  va  $i_{k.a.} = 2095 \text{ kJ/kg}$  entalpiyalarni aniqlaymiz.



**1.13 – rasm.**



**1.14 – rasm.**

Otborga kirayotgan bug'ning entalpiyasini (1.42) formuladan aniqlaymiz:

$$i_b = i_0 - (i_0 - i_{a.k.}) \cdot \eta'_{oi} = 3110 - (3110 - 2645) \cdot 0,75 = 2761 \text{ kJ/kg}.$$

Kondensatoridagi bug' entalpiyasini (1.43) formuladan aniqlaymiz:

$$i_k = i_b - (i_b - i_{k.a.}) \cdot \eta''_{oi} = 2761 - (2761 - 2095) \cdot 0,77 = 2248 \text{ kJ/kg}.$$

Turbinaning elektr quvvatini (1.41) formuladan keltirib chiqariladi:

$$N_{el} = [D \cdot (i_0 - i_k) - D_b \cdot (i_b - i_k)] \cdot \eta_m \cdot \eta_g = [8 \cdot (3110 - 2248) - 4 \cdot (2761 - 2248)] \cdot 0,97 \cdot 0,97 = 4553 \text{ kg/s}.$$

**1.64 – masala.** Ishlab chiqarish uchun rostlanuvchi bug' otboriga ega turbinada bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,5 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 350 \text{ }^\circ\text{C}$ , turbina kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 5,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ , rostlanuvchi bug' otboridagi bug' sarfi  $D_b = 5,0 \text{ kg/s}$ , bosimi  $p_b = 0,4 \text{ MPa}$ . Agar turbina orqali bug' sarfi  $D = 10,0 \text{ kg/s}$ , yuqori bosimli qismdagi turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i (otborgacha)  $\eta'_{n.i} = 0,75$ , past bosimli qismdagi ichki nisbiy f.i.k.i (otbordan keyin)  $\eta''_{n.i} = 0,78$  va turbinaning mexanik f.i.k.i  $\eta_m = 0,98$  ga teng bo'lsa turbinaning effektiv quvvati aniqlansin.

**Javob:**  $N_e = 5792 \text{ kVt}$ .

**1.65 – masala.** Kondensatsion turbinada bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,0 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 380 \text{ }^\circ\text{C}$ , turbina kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 4,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ , bitta oraliq bug' otboriga ega bo'lib uning bosimi  $p_b = 0,4 \text{ MPa}$ . Agar turbogeneratorning elektr quvvati  $N_{el} = 2500 \text{ kVt}$ , yuqori bosimli qismdagi turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i (otborgacha)  $\eta'_{n.i} = 0,74$ , past bosimli qismdagi ichki nisbiy f.i.k.i (otbordan keyin)  $\eta''_{n.i} = 0,76$ , turbinaning mexanik f.i.k.i  $\eta_m = 0,97$ , elektr generatorining f.i.k.i  $\eta_g = 0,97$  va ishlab chiqarishga oraliq otbor olinishi hisobiga bug' sarfi ulushi  $\alpha_b = D_b/D = 0,5$  ga teng bo'lsa turbina orqali bug'ning sekundlik va solishtirma effektiv sarfini aniqlang.

**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan foydalanib bug'ning  $p_0$  va  $t_0$  boshlang'ich parametrlariga ko'ra  $i_0$  entalpiyani topamiz (1.15 – rasm):  $i_0 = 3190 \text{ kJ/kg}$ . Bug'ning  $p_0$  va  $t_0$  parametrlardan  $p_b$  bosimgacha,  $p_b$  va  $t_b$  parametrlardan  $p_k$  bosimgacha adiabatik kengayish jarayoniga asosan  $i_{a.k.} = 2720 \text{ kJ/kg}$  va  $i_{k.a.} = 2145 \text{ kJ/kg}$  entalpiyalarni aniqlaymiz.

Otborga kirayotgan bug'ning entalpiyasini (1.42) formuladan aniqlaymiz:

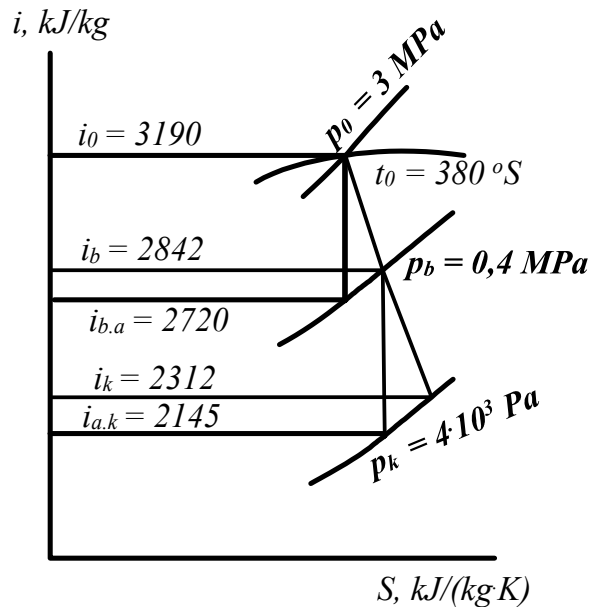
$$i_b = i_0 - (i_0 - i_{a.k.}) \cdot \eta'_{oi} = 3190 - (3190 - 2720) \cdot 0,74 = 2842 \text{ kJ/kg}.$$

Kondensatordagi bug' entalpiyasini (1.43) formuladan aniqlaymiz:

$$i_k = i_b - (i_b - i_{k.a.}) \cdot \eta_{oi}'' = 2842 - (2842 - 2145) \cdot 0,76 = 2312 \text{ kJ/kg}.$$

Turbinaning effektiv quvvatini (1.33) formuladan keltirib chiqariladi:

$$N_e = \frac{N_{el}}{\eta_g} = \frac{2500}{0,97} = 2577 \text{ kVt}$$



**1.15 – rasm.**

Turbina orqali bug' sarfi (1.41) formulaga ko'ra:

$$D = \frac{N_{el}}{[(i_0 - i_k) - \alpha_b \cdot (i_b - i_k)] \cdot \eta_m \cdot \eta_g} = \frac{2500}{[(3190 - 2312) - 0,5 \cdot (2842 - 2312)] \cdot 0,97 \cdot 0,97} = 4,34 \text{ kg/s}.$$

Effektiv solishtirma bug' sarfi [kg/(kVt·soat)] (1.40) formuladan topiladi, ya'ni:

$$d_e = \frac{D}{N_e} = \frac{4,34 \cdot 3600}{2577} = 6,06 \frac{\text{kg}}{\text{kVt} \cdot \text{soat}}.$$

**1.66 – masala.** Kondensatsion turbinada bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,0 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 380 \text{ °C}$ , turbina kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 3,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ , bitta oraliq bug' otboriga ega bo'lib uning bosimi  $p_b = 0,5 \text{ MPa}$ . Agar turbina orqali bug' sarfi  $D = 4,65 \text{ kg/s}$ , yuqori bosimli qismdagi turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i (otborgacha)  $\eta'_{n.i} = 0,73$ , past bosimli qismdagi ichki nisbiy f.i.k.i (otbordan

keyin)  $\eta'_{n,i} = 0,75$ , turbinaning mexanik f.i.k.i  $\eta_m = 0,96$ , elektr generatorining f.i.k.i  $\eta_g = 0,97$  va ishlab chiqarishga oraliq otbor olinishi hisobiga bug' sarfi ulushi  $\alpha_b = D_b/D = 0,5$  ga teng bo'lsa turbinaning effektiv quvvatini aniqlang.

**Javob:**  $N_e = 2700$  kVt.

**1.67 – masala.** Issiqlik ta'minoti uchun mo'ljallangan  $p_b = 0,14$  MPa bosimli bug' otboriga ega turbinada bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 8,0$  MPa,  $t_0 = 500$  °C, turbina ish rejimlaridan birida yuqori bosimli qismdagi ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta'_{n,i} = 0,8$  ga teng. Otbor bug'i bosimini o'zgartirmasdan turbina orqali bug' o'tishi miqdori o'zgarganda yuqori bosimli qismdagi ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta'_{n,i} = 0,74$  gacha pasayadi. Agar kondensatoridagi bug' bosimi  $p_k = 6,0 \cdot 10^3$  Pa ga teng va o'zgaras deb qaralsa past bosimli qismdagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi qanday o'zgaradi.

**Javob:**  $\Delta H = 10$  kJ/kg.

**1.68 – masala.** Agar kichik quvvatli qarshi bosimli turbina birinchi pog'onasi soplosi oldidagi to'liq bug' o'tishida bug'ning boshlang'ich bosimi  $p_0 = 1,5$  MPa, qarshi bosimda esa  $p_2 = 0,3$  MPa va turbina drosselli bug' taqsimotiga ega bo'lsa, yarim bug' o'tishida turbina birinchi pog'ona soplosi oldidagi bug'ning bosimini aniqlang.

**Javob:**  $p_{01} = 0,794$  MPa.

**1.69 – masala.** Agar qarshi bosimli turbina orqali bug' sarfi  $D_0 = 102$  kg/g, rostlovchi pog'ona soplosi oldidagi bug'ning bosimi  $p_0 = 7,0$  MPa, qarshi bosimda esa  $p_2 = 3,0$  MPa va turbinaning keyingi bosimi o'zgaras bo'lsa, turbina orqali bug' sarfi  $D_0 = 82$  kg/g ga tenglashganda rostlovchi pog'ona soplosi oldidagi bug'ning bosimini aniqlang.

**Javob:**  $p_{01} = 6,45$  MPa.

**1.70 – masala.** Boshlang'ich bug' bosimi  $p_0 = 2,9$  MPa va bug'ning hisobiy sarfi  $D_0 = 28$  kg/s bo'lgan kondensatsion turbina drosselli bug' taqsimotiga ega. Agar qo'shimcha yuklash klapani ochilgandan keyin bug'ning umumiy sarfi  $D_1 = 32,2$  kg/s ga ko'paysa qo'shimcha yuklash klapani orqali bug' sarfini aniqlang. Qo'shimcha yuklash klapani ochilgan paytda uning ortidagi bosim  $p_1 = 2$  MPa ga teng. Turbinani qo'shimcha yuklash aylanma klapanlari orqali amalga oshiriladi.

**Yechish:** Turbinaning qo'shimcha yuklash kamerasidagi bug'ning bosimini (1.45) formuladan aniqlaymiz:

$$p_{11} = \frac{p_1 \cdot D_1}{D_0} = \frac{2 \cdot 32,2}{28} = 2,3 \text{ MPa.}$$

Shuningdek, aylanma pog'onalar guruhining o'tish maydonlari almashmaydi, ushbu holatda aylanma pog'onalar guruhi orqali bug' sarfini (1.44) formuladan topiladi:

$$D = D_0 \cdot \sqrt{\frac{(p_0^2 - p_{11}^2)}{(p_0^2 - p_1^2)}} = 28 \cdot \sqrt{\frac{(2,9^2 - 2,3^2)}{(2,9^2 - 2,0^2)}} = 20 \text{ kg/s.}$$

Qo'shimcha yuklash klapani orqali bug' sarfi:

$$D_b = D_1 - D = 32,2 - 20 = 12,2 \text{ kg/s.}$$

## 1.5. KONDENSATOR VA UNING KO'RSATKICHLARINI HISOBLASH.

Kondensator uchun sovituvchi suv sarfi (kg/s) ushbu qurilmaning issiqlik balansidan aniqlanadi:

$$W = \frac{D_k \cdot (i_k - i'_k)}{(t''_s - t'_s) \cdot c_s}, \quad (1.47)$$

bu yerda  $D_k$  – kondensatsiyalanuvchi bug' sarfi, kg/s;  $i_k$  – kondensatordagi bug' entalpiyasi, kJ/kg;  $c_s$  – sovituvchi suvning issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K);  $t''_s$  va  $t'_s$  – kondensatordan chiqish va kirishdagi sovituvchi suv haroratlari, °C.

Kondensator uchun sovitish karraliligi (kg/kg):

$$m = \frac{W}{D_k} = \frac{(i_k - i'_k)}{(t''_s - t'_s) \cdot c_s}, \quad (1.48)$$

Bir sekund mobaynida kondensatorda kondensatsiyalanuvchi bug'dan berilayotgan issiqlik miqdori:

$$Q = D_k \cdot (i_k - i'_k) \quad (1.49)$$

Bir sekund mobaynida kondensatorda sovituvchi suvga qabul qilinayotgan issiqlik miqdori:

$$Q = W \cdot (t''_s - t'_s) \cdot c_s. \quad (1.50)$$

Kondensatorning sovitish yuzasi ( $m^2$ ) issiqlik uzatish tenglamasidan aniqlanadi:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{o'r}}, \quad (1.51)$$

bu yerda  $k$  – issiqlik uzatish koeffitsiyenti,  $kVt/(m^2 \cdot K)$ ;  $\Delta t_{o'r}$  – kondensatordagi o'rtacha harorat nabori,  $^{\circ}C$ , bo'lib quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\Delta t_{o'r} = t_{t.b.} - \frac{(t'_s + t''_s)}{2}. \quad (1.52)$$

bu yerda  $t_{t.b.}$  – to'yingan bug' bosimi,  $^{\circ}C$ .

**1.71 – masala.** Agar kondensatsiyalanuvchi bug' sarfi  $D_k = 16,8$  kg/s, kondensatordagi bug' entalpiyasi  $i_k = 2300$  kJ/kg, kondensatordagi bug' bosimi  $p_k = 3 \cdot 10^3$  Pa, kondensatorga kirishdagi sovituvchi suv harorati  $t'_s = 10$   $^{\circ}C$ , kondensatordan chiqishdagi suv harorati esa kondensatordagi to'yingan bug' haroratidan 5  $^{\circ}C$  past bo'lsa, bug' turbinasi kondensatori uchun sovituvchi suv sarfi aniqlansin.

**Javob:**  $W = 1010$  kg/s.

**1.72 – masala.** Agar kondensatsiyalanuvchi bug' sarfi  $D_k = 10,0$  kg/s, kondensatordagi bug' entalpiyasi  $i_k = 2360$  kJ/kg, kondensatordagi bug' bosimi

$p_k = 3,5 \cdot 10^3$  Pa, kondensatorga kirishdagi sovituvchi suv harorati  $t_s' = 13$  °C , kondensatordan chiqishdagi suv harorati esa kondensatordagi to'yingan bug' haroratidan 4 °C past bo'lsa, bug' turbinasi kondensatori uchun sovituvchi suv sarfi va sovitish karraliligi aniqlansin.

**Yechish:** 1 – jadvaldan  $p_k = 3,5 \cdot 10^3$  Pa bosimda to'yingan bug' haroratini  $t_{t.b.} = 26,7$  °C ekanligini aniqlaymiz.

Kondensatordan chiqishdagi sovituvchi suv harorati:

$$t_s'' = t_{t.b.} - 4 = 26,7 - 4 = 22,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$p_k = 3,5 \cdot 10^3$  Pa bosimdagi kondensat entalpiyasini ham 1 – jadvalga ko'ra  $i_k' = 111,8$  kJ/kg ekanligini topamiz.

Kondensatordagi sovituvchi suv sarfini (1.47) formulaga ko'ra aniqlaymiz:

$$W = \frac{D_k \cdot (i_k - i_k')}{(t_s'' - t_s') \cdot c_s} = \frac{10 \cdot (2360 - 111,8)}{(22,7 - 13) \cdot 4,19} = 553 \text{ kg / s}$$

Kondensator uchun sovitish karraliligi (kg/kg) (1.48) formulaga ko'ra:

$$m = \frac{W}{D_k} = \frac{553}{10} = 55,3 \text{ kg / kg}.$$

**1.73 – masala.** Agar kondensatorga kirayotgan bug' bosimi  $p_k = 3,5 \cdot 10^3$  Pa, uning quruqlik darajasi  $x = 0,91$  ga, kondensatorga kirishdagi sovituvchi suv harorati  $t_s' = 11$  °C , kondensatordan chiqishdagi suv harorati esa kondensatordagi to'yingan bug' haroratidan 5 °C past bo'lsa bug' turbinasi kondensatori uchun sovitish karraliligi aniqlansin.

**Javob:**  $m = 49,6$  kg/kg.

**1.74 – masala.** Bitta  $p_b = 0,4$  MPa bosimli oraliq bug' otboriga ega kondensatsion turbinaning ish sharoitida bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 4,0$  MPa,  $t_0 = 425$  °C va kondensatordagi bug' bosimi  $p_k = 3,5 \cdot 10^3$  Pa. Agar kondensatsiyalanuvchi bug' sarfi  $D_k = 6,5$  kg/s, kondensatorga kirishdagi sovituvchi suv harorati  $t_s' = 10$  °C , kondensatordan chiqishdagi suv harorati esa kondensatordagi to'yingan bug' haroratidan 4 °C past va bug' turbinasining

yuqori va past bosimli qismlarida ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta'_{n.i} = \eta''_{n.i} = 0,8$  ga teng bo'lsa bug' turbinasi kondensatori uchun sovituvchi suv sarfi va sovitish karraliligi aniqlansin.

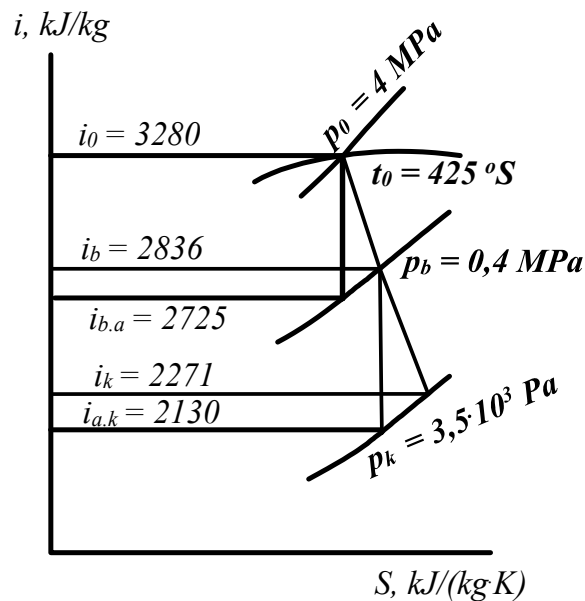
**Yechish:**  $iS$  – diagrammadan foydalanib bug'ning  $p_0$  va  $t_0$  boshlang'ich parametrlariga ko'ra  $i_0$  entalpiyani topamiz (1.16 – rasm):  $i_0 = 3280$  kJ/kg. Bug'ning  $p_0$  va  $t_0$  parametrlardan  $p_b$  bosimgacha,  $p_b$  va  $t_b$  parametrlardan  $p_k$  bosimgacha adiabatik kengayish jarayoniga asosan  $i_{a.k.} = 2725$  kJ/kg va  $i_{k.a.} = 2130$  kJ/kg entalpiyalarni aniqlaymiz.

Otborga kirayotgan bug'ning entalpiyasini (1.42) formuladan aniqlaymiz:

$$i_b = i_0 - (i_0 - i_{a.k.}) \cdot \eta'_{oi} = 3280 - (3280 - 2725) \cdot 0,8 = 2836 \text{ kJ/kg}.$$

Kondensatordagi bug' entalpiyasini (1.43) formuladan aniqlaymiz:

$$i_k = i_b - (i_b - i_{k.a.}) \cdot \eta''_{oi} = 2836 - (2836 - 2130) \cdot 0,8 = 2271 \text{ kJ/kg}.$$



**1.16 – rasm.**

$p_k = 3,5 \cdot 10^3$  Pa bosimda kondensat entalpiyasi va to'yingan bug' haroratini 1 – jadvaldan topamiz:

$$i'_k = 111,8 \text{ kJ/kg}, \quad t_{t.b.} = 26,7 \text{ °S}.$$

Kondensatordan chiqishdagi sovituvchi suv harorati:

$$t''_s = t_{t.b.} - 5 = 26,7 - 5 = 21,7 \text{ °S}.$$

Kondensatordagi sovituvchi suv sarfini (1.47) formulaga ko'ra aniqlaymiz:

$$W = \frac{D_k \cdot (i_k - i'_k)}{(t''_s - t'_s) \cdot c_s} = \frac{6,5 \cdot (2271 - 111,8)}{(21,7 - 10) \cdot 4,19} = 286,4 \text{ kg/s}$$

Kondensator uchun sovitish karraliligi (kg/kg) (1.48) formulaga ko'ra:

$$m = \frac{W}{D_k} = \frac{286,4}{6,5} = 44 \text{ kg/kg.}$$

**1.75 – masala.** Bitta  $p_b = 0,4$  MPa bosimli oraliq bug' otboriga ega kondensatsion turbinaning ish sharoitida bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,0$  MPa,  $t_0 = 380$  °C va kondensatordagi bug' bosimi  $p_k = 4,0 \cdot 10^3$  Pa. Agar kondensatsiyalanuvchi bug' sarfi  $D_k = 8,5$  kg/s, kondensatorga kirishdagi sovituvchi suv harorati  $t'_s = 11$  °C, kondensatordan chiqishdagi suv harorati  $t''_s = 21$  °C, bug' turbinasining yuqori bosimli qismdagi turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i (otborgacha)  $\eta'_{n.i} = 0,74$ , past bosimli qismdagi ichki nisbiy f.i.k.i (otbordan keyin)  $\eta''_{n.i} = 0,76$  ga teng bo'lsa bug' turbinasi kondensatori uchun sovituvchi suv sarfi va sovitish karraliligi aniqlansin.

**Javob:**  $W = 444,5$  kg/s;  $m = 52,3$  kg/kg.

**1.76 – masala.** Kondensatsion turbinaning ish sharoitida bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,5$  MPa,  $t_0 = 435$  °C va kondensatordagi bug' bosimi  $p_k = 4,0 \cdot 10^3$  Pa. Agar kondensatsiyalanuvchi bug' sarfi  $D_k = 12,0$  kg/s, bug' turbinasining ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta_{n.i} = 0,76$  ga teng bo'lsa bug' turbinasi kondensatorida kondensatsiyalanuvchi bug'dan olinayotgan issiqlik miqdorini aniqlang.

**Javob:**  $Q = 27348$  kJ/s.

**1.77 – masala.** Agar kondensatsiyalanuvchi bug' sarfi  $D_k = 8,5$  kg/s, sovitish karraliligi  $m = 54$  kg/kg, kondensatordagi bug' bosimi  $p_k = 3,0 \cdot 10^3$  Pa, kondensatorga kirishdagi sovituvchi suv harorati  $t'_s = 12$  °C va kondensatordan chiqishdagi suv harorati esa kondensatordagi to'yingan bug' haroratidan 4 °C past

bo'lsa bug' turbinasi kondensatorida sovituvchi suv qabul qilayotgan issiqlik miqdorini aniqlang.

**Javob:**  $Q = 15386 \text{ kJ/s}$ .

**1.78 – masala.** Agar sovitish karraliligi  $m = 55 \text{ kg/kg}$ , kondensatorga kirishdagi sovituvchi suv harorati  $t_s' = 10,5 \text{ }^\circ\text{C}$  va kondensatordan chiqishdagi suv harorati  $t_s'' = 21,0 \text{ }^\circ\text{C}$  bo'lsa, effektiv quvvati  $N_e = 2600 \text{ kVt}$  va solishtirma bug' sarfi  $d_e = 6,5 \text{ kg/(kVt}\cdot\text{soat)}$  bo'lgan bug' turbinasi kondensatorida sovituvchi suv qabul qilayotgan issiqlik miqdorini aniqlang.

**Javob:**  $Q = 11374 \text{ kJ/s}$ .

**1.79 – masala.** Agar kondensatordagi bug' entalpiyasi  $i_k = 2350 \text{ kJ/kg}$ , kondensatordagi bug' bosimi  $p_k = 5 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ , issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $k = 3,9 \text{ kVt/(m}^2\cdot\text{K)}$  va kondensatordagi o'rtacha harorat nabori  $\Delta t_{o,r} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  bo'lsa, effektiv quvvati  $N_e = 2000 \text{ kVt}$  va solishtirma bug' sarfi  $d_e = 5,5 \text{ kg/(kVt}\cdot\text{soat)}$  bo'lgan bug' turbinasi kondensatorning sovitish yuzasini aniqlang.

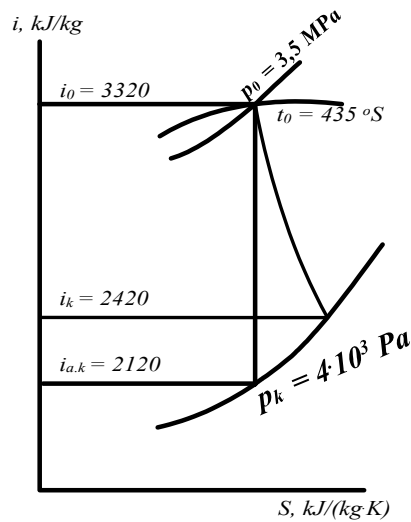
**Javob:**  $F_k = 173,3 \text{ m}^2$ .

**1.80 – masala.** Effektiv quvvati  $N_e = 5000 \text{ kVt}$  va solishtirma bug' sarfi  $d_e = 5,8 \text{ kg/(kVt}\cdot\text{soat)}$  bo'lgan kondensatsion bug' turbinasi ish sharoitida bug'ning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 3,5 \text{ MPa}$ ,  $t_0 = 435 \text{ }^\circ\text{C}$  va kondensatordagi bug' bosimi  $p_k = 4,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ . Agar kondensatorga kirishdagi sovituvchi suv harorati  $t_s' = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ , kondensatordan chiqishdagi suv harorati  $t_s'' = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ , issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $k = 4 \text{ kVt/(m}^2\cdot\text{K)}$  va bug' turbinasining ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta_{n,i} = 0,75$  ga teng bo'lsa, turbina kondensatorning sovitish yuzasini aniqlang.

**Yechish:** Kondensatsiyalanuvchi bug' sarfini (1.40) formuladan topamiz:

$$D = \frac{d_e \cdot N_e}{3600} = \frac{5,8 \cdot 5000}{3600} = 8,06 \text{ kg/s}.$$

$iS$  – diagrammadan foydalanib bug'ning  $p_0$  va  $t_0$  boshlang'ich parametrlariga ko'ra  $i_0$  entalpiyani topamiz (1.17 – rasm):  $i_0 = 3320 \text{ kJ/kg}$ .



**1.17 – rasm.**

Bug'ning adiabatik kengayish jarayoniga asosan  $iS$  – diagrammadan  $i_{k.a.} = 2120$  kJ/kg entalpiyalarni aniqlaymiz.

Kondensatordagi bug' entalpiyasini (1.43) formuladan aniqlaymiz:

$$i_k = i_0 - (i_0 - i_{k.a.}) \cdot \eta_{oi}'' = 3320 - (3320 - 2120) \cdot 0,75 = 2420 \text{ kJ/kg}.$$

$p_k = 4,0 \cdot 10^3$  Pa bosimda kondensat entalpiyasi va to'yingan bug' haroratini 1 – jadvaldan topamiz:

$$i_k' = 121,0 \text{ kJ/kg}, \quad t_{t.b.} = 29,0 \text{ °S}.$$

Bir sekund mobaynida kondensatorda kondensatsiyalanuvchi bug'dan olinayotgan issiqlik miqdori (1.49) formulaga asosan:

$$Q = D_k \cdot (i_k - i_k') = 8,06 \cdot (2420 - 121) = 18530 \text{ kJ/s}.$$

Kondensatordagi o'rtacha harorat nabori (1.52) formuladan quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta t_{o'r} = t_{t.b.} - \frac{(t_s' + t_s'')}{2} = 29 - \frac{(14 + 24)}{2} = 10 \text{ °S}.$$

Kondensatorning sovitish yuzasini (1.51) formuladan aniqlaymiz:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{o'r}} = \frac{18530}{4 \cdot 10} = 463,2 \text{ m}^2.$$

**1.81 – masala.** Agar kondensatordagi sovituvchi suv sarfi  $W = 450 \text{ kg/s}$ , sovitish karraliligi  $m = 55 \text{ kg/kg}$ , kiruvchi bug' entalpiyasi  $i_k = 2400 \text{ kJ/kg}$ , kondensatordagi bug' bosimi  $p_k = 4 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ , kondensatorga kirayotgan sovituvchi suvning harorati  $t_s' = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ , kondensatordan chiqishdagi suv harorati  $t_s'' = 22 \text{ }^\circ\text{C}$  va issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $k = 3,7 \text{ kVt/(m}^2 \cdot \text{K)}$  ga teng bo'lsa, bug' turbinasi kondensatorning sovitish yuzasini aniqlang.

**Javob:**  $F_k = 420,9 \text{ m}^2$ .

**1.82 – masala.** Agar kondensatordagi kondensatsiyalanuvchi bug' sarfi  $D_k = 7,6 \text{ kg/s}$ , kiruvchi bug' entalpiyasi  $i_k = 2330 \text{ kJ/kg}$ , kondensatordagi bug' bosimi  $p_k = 3,5 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ , kondensatorning sovitish yuzasi  $F_k = 410 \text{ m}^2$  va issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $k = 3,65 \text{ kVt/(m}^2 \cdot \text{K)}$  ga teng bo'lsa, bug' turbinasi kondensatoridagi o'rtacha harorat naporini aniqlang.

**Javob:**  $\Delta t_{o'r} = 11,3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**1.83 – masala.** Agar kondensatordagi kondensatsiyalanuvchi bug' sarfi  $D_k = 7,8 \text{ kg/s}$ , sovitish karraliligi  $m = 55 \text{ kg/kg}$ , kondensatordagi bug' bosimi  $p_k = 4,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ , kondensatorga kirayotgan sovituvchi suvning harorati  $t_s' = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ , kondensatordan chiqishdagi suv harorati kondensatordagi to'yingan bug' haroratidan  $6 \text{ }^\circ\text{C}$  past, kondensatorning sovitish yuzasi  $F_k = 430 \text{ m}^2$  va issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $k = 4,0 \text{ kVt/(m}^2 \cdot \text{K)}$  ga teng bo'lsa, bug' turbinasi kondensatoridagi o'rtacha harorat naporini aniqlang.

**Javob:**  $\Delta t_{o'r} = 11,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**1 – jadval. To'yinish egri chizig'ida quruq to'yingan bug' va suvning  
parametrlari (bosim bo'yicha)**

| <i>p, Mpa</i> | <i>t<sub>b</sub>, °C</i> | <i>v', m³/kg</i> | <i>v'',<br/>m³/kg</i> | <i>i',<br/>kJ/kg</i> | <i>i'',<br/>kJ/kg</i> | <i>S',<br/>kJ/(kg·K)</i> | <i>S'',<br/>kJ/(kg·K)</i> |
|---------------|--------------------------|------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
| 0,0010        | 6,936                    | 0,0010001        | 130,04                | 29,18                | 2513,4                | 0,1053                   | 8,9749                    |
| 0,0015        | 13,001                   | 0,0010007        | 88,38                 | 54,61                | 2524,7                | 0,1952                   | 8,8268                    |
| 0,0020        | 17,486                   | 0,0010014        | 67,24                 | 73,40                | 2533,1                | 0,2603                   | 8,7227                    |
| 0,0025        | 21,071                   | 0,0010021        | 54,42                 | 88,36                | 2539,5                | 0,3119                   | 8,6424                    |
| 0,0030        | 24,078                   | 0,0010028        | 45,77                 | 100,93               | 2545,3                | 0,3547                   | 8,5784                    |
| 0,0035        | 26,674                   | 0,0010035        | 39,56                 | 111,81               | 2549,9                | 0,3912                   | 8,5222                    |
| 0,0040        | 28,95                    | 0,0010042        | 34,93                 | 121,33               | 2553,7                | 0,4225                   | 8,4737                    |
| 0,005         | 32,89                    | 0,0010054        | 28,24                 | 137,79               | 2560,9                | 0,4764                   | 8,3943                    |
| 0,010         | 45,82                    | 0,0010102        | 14,70                 | 191,84               | 2583,9                | 0,6496                   | 8,1494                    |
| 0,020         | 60,08                    | 0,0010171        | 7,652                 | 251,48               | 2609,2                | 0,8324                   | 7,9075                    |
| 0,025         | 64,99                    | 0,0010198        | 6,201                 | 272,03               | 2617,6                | 0,8934                   | 7,8300                    |
| 0,030         | 69,12                    | 0,0010223        | 5,232                 | 289,30               | 2624,6                | 0,9441                   | 7,7673                    |
| 0,04          | 75,87                    | 0,0010264        | 3,999                 | 317,62               | 2636,3                | 1,0261                   | 7,6710                    |
| 0,05          | 81,33                    | 0,0010299        | 3,243                 | 340,53               | 2645,2                | 1,0912                   | 7,5923                    |
| 0,10          | 99,62                    | 0,0010432        | 1,696                 | 417,47               | 2674,9                | 1,3026                   | 7,3579                    |
| 0,20          | 120,23                   | 0,0010606        | 0,8860                | 504,74               | 2706,8                | 1,5306                   | 7,1279                    |
| 0,30          | 133,54                   | 0,0010733        | 0,6055                | 561,7                | 2725,5                | 1,6716                   | 6,9922                    |
| 0,5           | 151,84                   | 0,0010927        | 0,3749                | 640,1                | 2748,8                | 1,8605                   | 6,8221                    |
| 0,6           | 158,84                   | 0,0011009        | 0,3156                | 670,6                | 2756,9                | 1,9311                   | 6,7609                    |
| 0,7           | 164,96                   | 0,0011081        | 0,2728                | 697,2                | 2763,7                | 1,9923                   | 6,7090                    |
| 0,8           | 170,41                   | 0,0011149        | 0,2403                | 720,9                | 2769,0                | 2,0461                   | 6,6630                    |
| 0,9           | 175,36                   | 0,0011213        | 0,2149                | 742,7                | 2773,7                | 2,0945                   | 6,6223                    |
| 1,0           | 179,88                   | 0,0011273        | 0,1945                | 762,4                | 2777,8                | 2,1383                   | 6,5867                    |
| 1,5           | 198,28                   | 0,0011538        | 0,1317                | 844,5                | 2791,8                | 2,3148                   | 6,4458                    |
| 2,0           | 212,37                   | 0,0011768        | 0,09961               | 908,6                | 2799,2                | 2,4471                   | 6,3411                    |

|      |        |           |          |        |        |        |        |
|------|--------|-----------|----------|--------|--------|--------|--------|
| 3,0  | 233,83 | 0,0012164 | 0,06663  | 1008,4 | 2803,1 | 2,6455 | 6,1859 |
| 4,0  | 250,33 | 0,0012520 | 0,04977  | 1087,5 | 2800,6 | 2,7965 | 6,0689 |
| 5,0  | 263,91 | 0,0012858 | 0,03943  | 1154,2 | 2793,9 | 2,9210 | 5,9739 |
| 6,0  | 275,56 | 0,0013185 | 0,03243  | 1213,9 | 2784,4 | 3,0276 | 5,8894 |
| 7,0  | 285,80 | 0,0013510 | 0,02738  | 1267,6 | 2772,3 | 3,1221 | 5,8143 |
| 8,0  | 294,98 | 0,0013838 | 0,02352  | 1317,3 | 2758,6 | 3,2079 | 5,7448 |
| 9,0  | 303,31 | 0,0014174 | 0,02049  | 1363,9 | 2742,6 | 3,2866 | 5,6783 |
| 10,0 | 310,96 | 0,0014522 | 0,01803  | 1407,9 | 2724,8 | 3,3601 | 5,6147 |
| 12,0 | 324,64 | 0,001527  | 0,01426  | 1491,1 | 2684,6 | 3,4966 | 5,4930 |
| 14,0 | 336,63 | 0,001611  | 0,01149  | 1570,8 | 2637,9 | 3,6233 | 5,3731 |
| 16,0 | 347,32 | 0,001710  | 0,009319 | 1649,6 | 2581,7 | 3,7456 | 5,2478 |
| 18,0 | 356,96 | 0,001839  | 0,007505 | 1732,2 | 2510,6 | 3,8708 | 5,1054 |
| 20,0 | 365,72 | 0,00203   | 0,00586  | 1826,8 | 2410,3 | 4,0147 | 4,9280 |
| 22,0 | 373,71 | 0,00269   | 0,00269  | 2009,7 | 2195,6 | 4,2943 | 5,5815 |

## II-BOB. GAZ TURBINASI.

### 2.1. GAZ TURBINASINING KO'RSATKICHLARINI HISOBLASH

**Gaz turbinasi deb** - ishchi jismi yonuvchi gaz va havo aralashmasidan iborat bo'lgan issiqlik yuritgichiga aytiladi.

**Gaz turbinasi pog'onasida amalga oshadigan ish jarayonining xarakteristikalarini.** Turbina pog'onasida ko'zda tutilgan issiqlik tushishi (kJ/kg) quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$h_0 = \left( \frac{k}{k-1} \right) \cdot R \cdot T_0 \cdot \left( 1 - \left( \frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right), \quad (2.1)$$

bu yerda:  $k$  – adiabata ko'rsatkichi;  $R$  – 1 kg gaz uchun gaz doimiysi, J/(kg·K);  $p_0$  va  $T_0$  – boshlang'ich tezligi hisobga olingan gazning turbina pog'onalarida oldidagi boshlang'ich parametrlari [bosim (Pa) va absolyut harorat (K)];  $p_2$  – turbina pog'onasidan keyingi gaz bosimi, Pa.

Soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligi (m/s):

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{h_0 \cdot (1 - \rho)} = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{\left[ \left( \frac{k}{k-1} \right) \cdot R \cdot T_0 \cdot \left( 1 - \left( \frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right] \cdot (1 - \rho)}, \quad (2.2)$$

bu yerda:  $\varphi = 0,93 \div 0,98$  – soplodaning tezlik koeffitsiyenti;  $p_2 = p_1$  – turbina pog'onasidan keyingi gaz bosimi, Pa;  $\rho$  – turbina pog'onasining reaktivlik darajasi.

Turbina pog'onasining reaktivlik darajasi deb ishchi kuraklaridagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishining  $h_2$ , pog'onadagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishiga  $h_0 = h_1 + h_2$  nisbatiga aytiladi (bu yerda  $h_1$  – soploda ko'zda tutilgan issiqlik tushishi), ya'ni:

$$\rho = \frac{h_2}{(h_1 + h_2)}. \quad (2.3)$$

Kuraklar oralig'idagi aylanma tezlik ko'rsatkichi (m/s):

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}, \quad (2.4)$$

bu yerda  $d$  – pog‘onaning o‘rtacha diametri, m;  $n$  – turbina valining aylanishlar chastotasi, ayl/min.

Ishchi kurak kanallariga kirishdagi gazning nisbiy tezligi (m/s) quyidagicha aniqlanadi:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1}, \quad (2.5)$$

bu yerda  $\alpha_1$  – disk yassiligiga nisbatan soploning qiyalik burchagi.

$\rho = 0$  bo‘lgan aktiv pog‘onada ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi gazning nisbiy tezligi (m/s) quyidagicha aniqlanadi:

$$w_2 = \psi \cdot w_1, \quad (2.6)$$

$\psi = 0,86 \div 0,95$  – ishchi kuragining tezlik koeffitsiyenti.

$\rho > 0$  bo‘lgan aktiv va reaktiv pog‘onalarda ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi gazning nisbiy tezligi (m/s) quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$w_2 = 44,7 \cdot \psi \cdot \sqrt{\rho \cdot h_0 + \left(\frac{w_1}{44,7}\right)^2} = 44,7 \cdot \psi \cdot \sqrt{\rho \cdot (i_0 - i_1) + \left(\frac{w_1}{44,7}\right)^2}, \quad (2.7)$$

Ishchi kurak kanallari oralig‘idan chiqayotgan gazning absolyut tezligi (m/s):

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u \cdot \cos \beta_2}, \quad (2.8)$$

bu yerda  $\beta_2$  – gazning ishchi kuragidan chiqish burchagi, uning qiymati, odatda,  $\beta_2 = \beta_1 - (2 \div 10^\circ)$  munosabatdan foydalanib tanlanadi.

Gazning ishchi kuragiga kirishidagi  $\beta_1$  – burchak tezliklar uchburchagidan kelib chiquvchi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{c_1 \cdot \sin \alpha_1}{c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u}. \quad (2.9)$$

Gazning ishchi kurak kanallari oralig‘idan absolyut tezlik bilan chiqishdagi qiyalik burchagi  $\alpha_2$  ham tezliklar uchburchagidan kelib chiquvchi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$\cos \alpha_2 = \frac{w_2 \cdot \cos \beta_2 - u}{c_2}. \quad (2.10)$$

Pog'ona kuraklarida 1 kg gazning bajargan ishi (kJ/kg):

$$L = u \cdot (c_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \cos \alpha_2) = u \cdot (w_1 \cdot \cos \beta_1 + w_2 \cdot \cos \beta_2). \quad (2.11)$$

Turbina pog'onalarida issiqlik isroflari va ularning foydali ish koeffitsiyentlari. Bug' turbinalariniki kabi gaz turbina pog'onalaridagi ish jarayoni ham bir qator issiqlik energiyasi isroflari hisobiga amalga oshadi. Turbina pog'onalaridagi asosiy issiqlik energiyasi isroflariga soploda, ishchi kuraklarida, absolyut chiqish tezligi bilan, ishqalanish va ventilyatsiyaga, zichlama tirqishlaridan silqib oqish tufayli sodir bo'ladigan isroflar kiradi.

Bu issiqlik isroflariga quyidagilar misol bo'la oladi:

turbina pog'onasining soplosida gazni uyurmaviy harakati va ishqalanishi hisobiga issiqlik energiyasining isrofi (kJ/kg) quyidagicha aniqlanadi:

$$h_s = \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \cdot \frac{c_1^2}{2000}; \quad (2.12)$$

aktiv turbina pog'onasining ishchi kuraklarida issiqlik energiyasining isrofi (kJ/kg) quyidagicha aniqlanadi:

$$h_k = (1 - \psi^2) \cdot \frac{w_1^2}{2000}; \quad (2.13)$$

reaktiv turbina pog'onasining ishchi kuraklarida issiqlik energiyasining isrofi (kJ/kg) quyidagicha aniqlanadi:

$$h_k = \left( \frac{1}{\psi^2} - 1 \right) \cdot \frac{w_2^2}{2000}; \quad (2.14)$$

absolyut chiqish tezligi bilan issiqlik energiyasi isrofi (kJ/kg):

$$h_{ch} = \frac{c_2^2}{2000}; \quad (2.15)$$

Turbina pog'onasining soplosidagi, ishchi kuragidagi va absolyut chiqish tezligi bilan issiqlik energiyasi isroflari pog'ona ishchi kuraklarining nisbiy foydali ish koeffitsiyentini  $\eta_{n.k.}$  belgilaydi va 1 kg gazning turbina pog'onasida bajargan L

mexanik ishini pogʻonaning umumiy koʻzda tutilgan issiqlik tushishiga  $h_0$  nisbatidan topiladi:

$$\eta_{n.k.} = \frac{(h_0 - h_s - h_k - h_{ch})}{h_0} = \frac{L}{h_0}. \quad (2.16)$$

Turbina diski aylanganda ishqalanish va ventilyatsiya tufayli issiqlik energiyasi isrofi  $h_{i.v.}$  (kJ/kg) quyidagicha aniqlanadi:

$$h_{i.v.} = [1,46 \cdot d^2 + 0,83 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot d \cdot l_2^{1,5}] \cdot \frac{1}{v} \cdot \frac{u^3}{10^6} \cdot \frac{1}{M_g}, \quad (2.17)$$

bu yerda:  $d$  – pogʻonaning oʻrtacha diametri, m;  $\varepsilon$  – pogʻonaning partsiallik darajasi;  $l_1$  – kurak balandligi, sm;  $v$  – disk atrofini oʻrab turgan gazning solishtirma hajmi, m<sup>3</sup>/kg;  $M_g$  – pogʻona orqali gaz sarfi, kg/s.

Zichlama tirqishlari orqali gaz sarfi tufayli issiqlik energiyasi isrofi (kJ/kg):

$$h_{g.s.} = \frac{M_{g.s.} \cdot h_0}{M_g}; \quad (2.18)$$

bu yerda  $M_{g.s.}$  – gaz isrofi, kg/s.

Pogʻonadagi issiqlik isroflari pogʻonaning ichki nisbiy f.i.k.ini  $\eta_{n.i}^p$  belgilaydi va pogʻonadagi foydali issiqlik tushishining koʻzda tutilgan issiqlik tushishiga nisbatidan aniqlanadi, yaʼni:

$$\eta_{n.i}^p = \frac{h_i}{h_0} = \frac{(h_0 - h_s - h_k - h_{ch} - h_{i.v.} - h_{g.s.})}{h_0}. \quad (2.19)$$

Turbinalarning f.i.k.i. Turbinaning ichki qismida sodir boʻlayotgan issiqlik isroflari foydali ishlatilgan issiqlik tushishini  $H_i$  aniqlashga yordam beradi va shu asosda turbinaning ichki nisbiy f.i.k.ini  $\eta_{oi}$  topiladi:

$$\eta_{ni} = \frac{H_i}{H_0}. \quad (2.20)$$

Turbinaning ichki nisbiy f.i.k.ini  $\eta_{oi}$  qiymati gaz turbinalari uchun  $0,85 \div 0,9$  oraliqda farqlanadi.

Turbinada sodir bo'layotgan mexanik issiqlik isroflari asosida va effektiv quvvatini ichki quvvatga nisbatidan turbinaning mexanik f.i.k.ini aniqlash mumkin:

$$\eta_{ni} = \frac{N_e}{N_i}. \quad (2.21)$$

Turbinaning mexanik f.i.k.ini  $\eta_m$  qiymati gaz turbinalari uchun  $0,96 \div 0,99$  oraliqda farqlanadi.

Turbinaning ichki qismidagi issiqlik isroflari va mexanik isroflar ko'paytmasidan gaz turbinasining nisbiy effektiv f.i.k.ini aniqlaymiz:

$$\eta_{n.e} = \eta_{oi} \cdot \eta_m. \quad (2.22)$$

Turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.ini  $\eta_{n.e}$  qiymati gaz turbinalari uchun  $0,8 \div 0,9$  oraliqda farqlanadi.

Turbinalar quvvati. Turbina validan olinayotgan quvvat effektiv quvvat (kVt) deb ataladi va quyidagi formuladan topiladi:

$$N_e = G_g \cdot H_0 \cdot \eta_{n.e}. \quad (2.23)$$

Turbinaning ichki quvvatini (kVt) (21) formuladan topiladi.

Turbina pog'onasi orqali gaz sarfi. Turbina orqali sekunlik gaz sarfi (kg/s) quyidagicha aniqlanadi:

$$G_g = \frac{N_e}{H_0 \cdot \eta_{n.e}}. \quad (2.24)$$

Turbina orqali sekunlik gaz sarfini  $G_g$ , effektiv quvvatga  $N_e$  nisbatidan gazning turbinaga effektiv solishtirma sarfini aniqlanadi, ya'ni:

$$g_e = \frac{G_g}{N_e} = \frac{3600}{H_0 \cdot \eta_{n.e}}. \quad (2.25)$$

**2.1 – masala.** Aktiv pog'onada gaz boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 18,0$  MPa bosim va  $t_0 = 650$  °C haroratdan  $p_1 = 0,1$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,97$ , pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 0,9$  m, turbina

valining aylanishlar chastotasi  $n = 60$  ayl/s, adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,35$  va gaz doimiysi  $R = 288$  J/(kg·K) ga teng bo'lsa, soplodan oqib o'tayotgan gazning haqiqiy tezligi va kuraklar oralig'idagi aylanma tezlik aniqlansin.

**Javob:**  $c_1 = 523$  m/s;  $u = 169,5$  m/s.

**2.2 – masala.** Agar turbina pog'onasidagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 200$  kJ/kg, soploning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,96$ , soploning disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$ , pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 0,9$  m, turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 3000$  ayl/min va ishchi kuraklarining tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,89$  ga teng bo'lsa, gazning aktiv pog'ona ishchi kuraklariga kirish va chiqishdagi nisbiy tezliklari aniqlansin.

**Javob:**  $w_1 = 473,5$  m/s;  $w_2 = 412$  m/s.

**2.3 – masala.** Aktiv pog'onada gaz boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 0,29$  MPa bosim va  $t_0 = 800$  °C haroratdan  $p_1 = 0,15$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar soploning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,95$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,87$ , soploning disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 15^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan gazning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,44$ , gazning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = \beta_1 - 5^\circ$ , adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,34$  va gaz doimiysi  $R = 288$  J/(kg·K) ga teng bo'lsa, gazning ishchi kurak kanallari orasidan absolyut tezlik bilan chiqishida sodir bo'lgan issiqlik energiyasi isrofi aniqlansin va pog'ona uchun tezliklar uchburchagi qurilsin.

**Javob:**  $c_2 = 108$  m/s.

**2.4 – masala.** Reaktiv pog'onada gaz boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 0,29$  MPa bosim va  $t_0 = 820$  °C haroratdan  $p_2 = 0,15$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar soploning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,965$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,875$ , soploning disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 17^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan gazning haqiqiy tezligiga

nisbati  $u/c_1 = 0,5$ , gazning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 20^\circ$ , pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,48$ , adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,34$  va gaz doimiysi  $R = 288$  J/(kg·K) ga teng bo'lsa, pog'ona uchun tezliklar uchburchagi qurilsin.

**Yechish:** Soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligini (m/s) (2.2) formuladan aniqlaymiz:

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{\left[ \left( \frac{k}{k-1} \right) \cdot R \cdot T_0 \cdot \left( 1 - \left( \frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right] \cdot (1 - \rho)} =$$

$$= 44,7 \cdot 0,965 \cdot \sqrt{\left[ \left( \frac{1,34}{1,34-1} \right) \cdot 0,288 \cdot 1093 \cdot \left( 1 - \left( \frac{0,15}{0,29} \right)^{\frac{1,34-1}{1,34}} \right) \right] \cdot (1 - 0,48)} = 431 \text{ m/s.}$$

Kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikni  $u/c_1 = 0,5$  nisbatdan topamiz:

$$u = 0,5 \cdot c_1 = 0,5 \cdot 431 = 215,5 \text{ m/s.}$$

Ishchi kurak kanallariga kirishdagi gazning nisbiy tezligini (2.5) formuladan aniqlaymiz:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1} = \sqrt{431^2 + 215,5^2 - 2 \cdot 431 \cdot 215,5 \cdot 0,956} = 234 \text{ m/s.}$$

Pog'ona ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi gazning nisbiy tezligi (2.7) formuladan quyidagicha aniqlaymiz:

$$w_2 = 44,7 \cdot \psi \cdot \sqrt{\rho \cdot \left[ \left( \frac{k}{k-1} \right) \cdot R \cdot T_0 \cdot \left( 1 - \left( \frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right] + \left( \frac{w_1}{44,7} \right)^2} =$$

$$= 44,7 \cdot 0,875 \cdot \sqrt{0,48 \cdot \left[ \left( \frac{1,34}{1,34-1} \right) \cdot 0,288 \cdot 1093 \cdot \left( 1 - \left( \frac{0,15}{0,29} \right)^{\frac{1,34-1}{1,34}} \right) \right] + \left( \frac{234}{44,7} \right)^2} = 428 \text{ m/s.}$$

Ishchi kurak kanallari oralig'idan chiqayotgan gazning absolyut tezligi (2.8) formuladan:

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u \cdot \cos \beta_2} = \sqrt{428^2 + 215,5^2 - 2 \cdot 428 \cdot 215,5 \cdot 0,94} = 237 \text{ m/s.}$$

Gazning ishchi kuragiga kirish burchagi quyidagi (2.9) tenglamadan aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{c_1 \cdot \sin \alpha_1}{c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u} = \frac{431 \cdot 0,292}{431 \cdot 0,956 - 215,5} = 0,64;$$

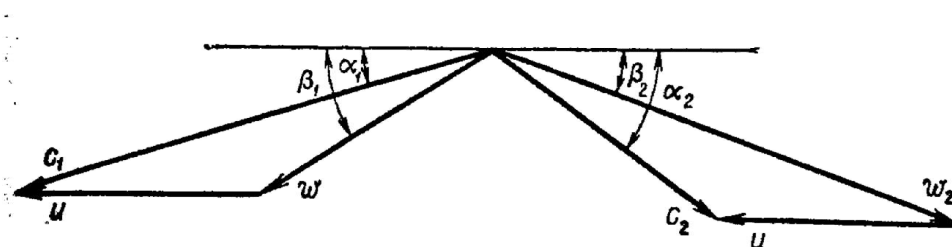
$$\beta_1 = 32^\circ 36'.$$

Gazning ishchi kurak kanallari oralig'idan absolyut tezlik bilan chiqishdagi qiyalik burchagi esa (2.10) tenglamadan topiladi:

$$\cos \alpha_2 = \frac{w_2 \cdot \cos \beta_2 - u}{c_2} = \frac{428 \cdot 0,94 - 215,5}{237} = 0,8;$$

$$\alpha_2 = 36^\circ 48'.$$

Ushbu hisob asosida qurilgan tezliklar uchburchagi 2.1 – rasmda tasvirlangan.



2.1 – rasm.

**2.5 – masala.** Reaktiv pog'onada gaz boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 0,48$  MPa bosim va  $t_0 = 800$  °C haroratdan  $p_2 = 0,26$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina pog'onasining ishchi kuraklarida ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_2 = 86,5$  kJ/kg, adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,4$  va gaz doimiysi  $R = 288$  J/(kg·K) ga teng bo'lsa, pog'onaning reaktivlik darajasini aniqlang.

**Javob:**  $\rho = 0,5$ .

**2.6 – masala.** Agar turbinaning reaktiv pog'onasidagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 110$  kJ/kg, soplarning tezlik koeffitsiyenti  $\varphi = 0,965$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,86$ , soplarning disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 16^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib

o'tayotgan gazning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,44$ , gazning ishchi kuragidan chiqish burchagi ishchi kuragiga kirish burchagiga teng, ya'ni  $\beta_2 = \beta_1 = 22^\circ$  va pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,5$  ga teng bo'lsa, ushbu reaktiv pog'onada 1 kg gazning bajargan ishini aniqlang.

**Javob:**  $l = 67,4$  kJ/kg.

**2.7 – masala.** Aktiv pog'onada gaz boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 0,18$  MPa bosim va  $t_0 = 650$  °C haroratdan  $p_1 = 0,1$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\phi = 0,97$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,9$ , soploneg disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 14^\circ$ , kuraklar oralig'idagi aylanma tezlikning soplodan oqib o'tayotgan gazning haqiqiy tezligiga nisbati  $u/c_1 = 0,5$ , gazning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 21^\circ$ , adiabat ko'rsatkichi  $k = 1,35$  va gaz doimiysi  $R = 288$  J/(kg·K) ga teng bo'lsa, ishchi kuragining nisbiy f.i.k.i aniqlansin.

**Javob:**  $\eta_{n.k.} = 0,86$ .

**2.8 – masala.** Agar turbinaning aktiv pog'onasidagi ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $h_0 = 185$  kJ/kg, soploneg tezlik koeffitsiyenti  $\phi = 0,95$ , ishchi kuraklarining tezlik koeffitsiyenti  $\psi = 0,87$ , soploneg disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 15^\circ$ , gazning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 23^\circ$ , pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 1,35$  m, turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 3600$  ayl/min, pog'onaning parsiallik darajasi  $\varepsilon = 1$ , kuraklar balandligi  $l_l = 0,07$  m, gazning solishtirma hajmi  $v = 1,51$  m<sup>3</sup>/kg, pog'ona orqali gaz sarfi  $M_g = 25$  kg/s va silqib oqishda gaz sarfi  $M_{g.s.} = 0,4$  kg/s ga teng bo'lsa, pog'ona ishchi kuragining ichki nisbiy f.i.k.i aniqlansin.

**Javob:**  $\eta_{n.i}^p = 0,773$ .

**2.9 – masala.** Reaktiv pog'onada gaz boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 0,48$  MPa bosim va  $t_0 = 800$  °C haroratdan  $p_2 = 0,26$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina soplosining tezlik koeffitsiyenti  $\phi = 0,96$ , ishchi kuraklarining tezlik

koeffitsiyenti  $\psi = 0,95$ , soploning disk yassiligiga nisbatan qiyalik burchagi  $\alpha_1 = 22^\circ$ , gazning ishchi kuragidan chiqish burchagi  $\beta_2 = 24^\circ$ , pog'onaning o'rtacha diametri  $d = 0,71$  m, turbina valining aylanishlar chastotasi  $n = 6000$  ayl/min, pog'onaning parsiallik darajasi  $\varepsilon = 1$ , kuraklar balandligi  $l_l = 0,06$  m, gazning solishtirma hajmi  $v = 1,51$  m<sup>3</sup>/kg, pog'onaning reaktivlik darajasi  $\rho = 0,35$ , pog'ona orqali gaz sarfi  $M_g = 20$  kg/s va silqib oqishda gaz sarfi  $M_{g.s.} = 0,2$  kg/s, adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,4$  va gaz doimiysi  $R = 287$  J/(kg·K)ga teng bo'lsa, ushbu reaktiv pog'onaning ichki nisbiy f.i.k.ini aniqlang.

**Yechish:** Turbina pog'onasida ko'zda tutilgan issiqlik tushishini (2.1) – formuladan aniqlaymiz:

$$h_0 = \left( \frac{k}{k-1} \right) \cdot R \cdot T_0 \cdot \left( 1 - \left( \frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) = \left( \frac{1,4}{1,4-1} \right) \cdot 0,287 \cdot 1073 \cdot \left( 1 - \left( \frac{0,26}{0,48} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right) = 172,4 \text{ kJ/kg}.$$

Soplodan oqib o'tayotgan bug'ning haqiqiy tezligini (2.2) formuladan aniqlaymiz:

$$c_1 = 44,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt{h_0 \cdot (1 - \rho)} = 44,7 \cdot 0,96 \cdot \sqrt{172,4 \cdot (1 - 0,35)} = 455 \text{ m/s}.$$

Turbina soplosida gazning issiqlik energiyasi isrofini (2.12) formuladan aniqlaymiz:

$$h_s = \left( \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \cdot \frac{c_1^2}{2000} = \left( \frac{1}{0,96^2} - 1 \right) \cdot \frac{455^2}{2000} = 8,9 \text{ kJ/kg}.$$

Kuraklar oralig'idagi aylanma tezlik ko'rsatkichi (2.4) formulaga ko'ra:

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,71 \cdot 6000}{60} = 223 \text{ m/s}.$$

Ishchi kurak kanallariga kirishdagi gazning nisbiy tezligi (2.5) formulaga ko'ra aniqlaymiz:

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u \cdot \cos \alpha_1} = \sqrt{455^2 + 223^2 - 2 \cdot 455 \cdot 223 \cdot 0,927} = 262 \text{ m/s}.$$

Reaktiv pog'ona ishchi kurak kanallari orasidan chiqishdagi gazning nisbiy tezligi (2.7) formulaga ko'ra aniqlanadi:

$$w_2 = 44,7 \cdot \psi \cdot \sqrt{\rho \cdot h_0 + \left(\frac{w_1}{44,7}\right)^2} = 44,7 \cdot 0,95 \cdot \sqrt{0,35 \cdot 172,4 + \left(\frac{262}{44,7}\right)^2} = 414 \text{ m/s}.$$

Pogʻona ishchi kuraklarida issiqlik energiyasining isrofi (2.14) formulaga koʻra aniqlanadi:

$$h_k = \left(\frac{1}{\psi^2} - 1\right) \cdot \frac{w_2^2}{2000} = \left(\frac{1}{0,95^2} - 1\right) \cdot \frac{414^2}{2000} = 9,4 \text{ kJ/kg}.$$

Ishchi kurak kanallari oraligʻidan chiqayotgan gazning absolyut tezligi (2.8) formuladan:

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u \cdot \cos \beta_2} = \sqrt{414^2 + 223^2 - 2 \cdot 414 \cdot 223 \cdot 0,914} = 229 \text{ m/s}.$$

Absolyut chiqish tezligi bilan issiqlik energiyasi isrofini (2.15) formuladan aniqlaymiz:

$$h_{ch} = \frac{c_2^2}{2000} = \frac{229^2}{2000} = 26,2 \text{ kJ/kg}.$$

Turbina diski aylanganda ishqalanish va ventilyatsiya tufayli issiqlik energiyasi isrofi (2.17) formuladan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} h_{i.v} &= \left[1,46 \cdot d^2 + 0,83 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot d \cdot l_2^{1,5}\right] \cdot \frac{1}{v} \cdot \frac{u^3}{10^6} \cdot \frac{1}{M_g} = \\ &= \left[1,46 \cdot 0,71^2 + 0,83 \cdot (1 - 1) \cdot 0,71 \cdot 6_2^{1,5}\right] \cdot \frac{1}{1,51} \cdot \frac{223^3}{10^6} \cdot \frac{1}{20} = 0,27 \text{ kJ/kg}. \end{aligned}$$

Zichlama tirqishlari orqali gaz sarfi tufayli issiqlik energiyasi isrofi esa (2.18) formulaga asosan:

$$h_{g.s} = \frac{M_{g.s} \cdot h_0}{M_g} = \frac{0,2 \cdot 172,4}{20} = 1,72 \text{ kJ/kg}.$$

Pogʻonaning ichki nisbiy f.i.k.ini (2.19) formuladan aniqlaymiz:

$$\eta_{n.i}^p = \frac{(h_0 - h_s - h_k - h_{ch} - h_{i.v.} - h_{g.s.})}{h_0} = \frac{(172,4 - 8,9 - 9,4 - 26,2 - 0,27 - 1,72)}{172,4} = 0,74.$$

**2.10 – masala.** Turbinaning ish sharoitida gazning boshlangʻich parametrlari  $p_0 = 0,32$  MPa bosim va  $t_0 = 827$  °C haroratdan  $p_2 = 0,15$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina orqali gaz sarfi  $G_g = 28$  kg/s, turbinaning nisbiy

effektiv f.i.k.i  $\eta_{n.e} = 0,74$ , adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,34$  va gaz doimiysi  $R = 288$  J/(kg·K)ga teng bo'lsa, ushbu turbinaning effektiv quvvatini va solishtirma effektiv gaz sarfini aniqlang.

**Yechish:** Turbinada ko'zda tutilgan issiqlik tushishini (2.1) formuladan aniqlaymiz:

$$H_0 = \left( \frac{k}{k-1} \right) \cdot R \cdot T_0 \cdot \left( 1 - \left( \frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) = \left( \frac{1,34}{1,34-1} \right) \cdot 0,288 \cdot 1100 \cdot \left( 1 - \left( \frac{0,15}{0,32} \right)^{\frac{1,34-1}{1,34}} \right) = 216,7 \text{ kJ / kg}.$$

Turbinaning effektiv quvvatini (2.23) formuladan topamiz:

$$N_e = G_g \cdot H_0 \cdot \eta_{n.e} = 28 \cdot 216,7 \cdot 0,74 = 4488 \text{ kVt}.$$

Gazning turbinaga effektiv solishtirma sarfini (2.25) formuladan aniqlaymiz:

$$g_e = \frac{3600}{H_0 \cdot \eta_{n.e}} = \frac{3600}{216,7 \cdot 0,74} = 22,4 \frac{\text{kg}}{\text{kVt} \cdot \text{soat}}.$$

**2.11 – masala.** Turbinaning ish sharoitida gazning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 0,48$  MPa bosim va  $t_0 = 727$  °C haroratdan  $p_2 = 0,26$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina orqali gaz sarfi  $G_g = 26$  kg/s, turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.i  $\eta_{n.e} = 0,75$ , turbinaning mexanik f.i.k.i  $\eta_m = 0,98$ , adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,4$  va gaz doimiysi  $R = 287$  J/(kg·K)ga teng bo'lsa, ushbu turbinaning ichki quvvatini aniqlang.

**Javob:**  $N_i = 3197$  kVt

**2.12 – masala.** Turbinaning ish sharoitida gazning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 0,292$  MPa bosim va  $t_0 = 800$  °C haroratdan  $p_2 = 0,152$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina orqali gaz sarfi  $G_g = 28$  kg/s, turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.i  $\eta_{n.e} = 0,79$ , adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,34$  va gaz doimiysi  $R = 288$  J/(kg·K)ga teng bo'lsa, ushbu turbinaning effektiv quvvatini va solishtirma effektiv gaz sarfini aniqlang.

**Javob:**  $N_e = 4092$  kVt;  $g_e = 24,6$  kg/(kVt·soat).

**2.13 – masala.** Turbinaning ish sharoitida gazning boshlang'ich parametrlari  $p_0 = 0,48$  MPa bosim va  $t_0 = 800$  °C haroratdan  $p_2 = 0,26$  MPa bosimgacha kengaymoqda. Agar turbina orqali gaz sarfi  $G_g = 20$  kg/s, turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.i  $\eta_{n.e} = 0,75$  dan  $\eta'_{n.e} = 0,73$  gacha kamaysa turbinaning effektiv quvvati qanchaga kamayadi. Ishchi gaz havoning xususiyatlariga ega.

**Javob:**  $\Delta N_e = 70$  kVt.

**2.14 – masala.** Agar turbinaning effektiv quvvati  $N_e = 7000$  kVt, u orqali gaz sarfi  $G_g = 28,5$  kg/s, turbinada ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $H_0 = 295$  kJ/kg va foydali ishlatilgan issiqlik  $H_i = 253$  kJ/kg ga teng bo'lsa turbinaning nisbiy effektiv va ichki f.i.k.larini aniqlang.

**Javob:**  $\eta_{n.e} = 0,832$ ;  $\eta_{n.i.} = 0,858$ .

**2.15 – masala.** Agar turbinaning effektiv quvvati  $N_e = 6400$  kVt, turbinada ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $H_0 = 276$  kJ/kg, turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.i  $\eta_{n.e} = 0,79$  va turbinaning nisbiy ichki f.i.k.i  $\eta_{n.i.} = 0,81$  ga teng bo'lsa turbina orqali gazning sekundlik sarfini va turbinaning mexanik f.i.k.ini aniqlang.

**Javob:**  $G_g = 29,4$  kg/s;  $\eta_m = 0,975$ .

## **2.2. GTQLARINING QUVVATI VA FOYDALI ISH KOEFFISIYENTINI HISOBLASHGA DOIR MASALALAR YECHISH**

GTQLarda sodir bo'ladigan issiqlik isroflari ikki guruhga ish jismining holatini o'zgarishiga bevosita ta'sir ko'rsatuvchi, ya'ni ichki va tashqi isroflar guruhiga bo'linadi. Asosiy ichki isroflarga gaz turbinasi, uning kompressor va yonish kamerasida sodir bo'ladigan issiqlik isroflari kiradi.

GTQLarning ichki isroflari qurilmaning ichki f.i.k.ini baholashga yordam beradi va quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\eta_i^{GTQ} = \frac{\eta_{oi} \cdot \tau \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda^m}\right) - (\lambda^m - 1) \cdot \left(\frac{1}{\eta_k}\right)}{\tau - 1 - (\lambda^m - 1) \cdot \left(\frac{1}{\eta_k}\right)} \cdot \eta_{yo.k}, \quad (2.26)$$

bu yerda:  $\eta_{oi}$  – gaz turbinasining ichki nisbiy f.i.k.;  $\eta_{yo.k.}$  – yonish kamerasining f.i.k.i;  $\eta_k$  – kompressorning ichki (adiabatik) f.i.k.i;  $\tau = T_1/T_3$  – yonish kamerasidan chiqayotgan gazlarning absolyut haroratini ( $T_1$ ) kompressorga soʻrilayotgan havoning absolyut haroratiga ( $T_3$ ) nisbati;  $\lambda = p_2/p_1$  – kompressorda havo bosimining koʻtarilish darajasi;  $m = (k-1)/k$ ,  $k$  – adiabata koʻrsatkichi.

Tashqi (mexanik) isroflar qurilmaning mezanik f.i.k.ini ifodalaydi  $\eta_m^{GTQ}$ .

Ichki va tashqi isroflar qurilmaning effektiv f.i.k.ini aniqlash imkonini beradi:

$$\eta_e^{GTQ} = \eta_i^{GTQ} \cdot \eta_m^{GTQ}. \quad (2.27)$$

Qurilmaning effektiv quvvati (kVt) quyidagi formuladan topiladi:

$$N_e^{GTQ} = N_{e.t} \cdot N_{e.k}. \quad (2.28)$$

bu yerda:  $N_{e.t}$  – gaz turbinasining effektiv quvvati, kVt;  $N_{e.k.}$  – kompressor uzatmasining effektiv quvvati, kVt.

Ichki quvvat (kVt):

$$N_i^{GTQ} = \frac{N_e^{GTQ}}{\eta_m^{GTQ}}. \quad (2.29)$$

Havoning solishtirma sarfi [kg/(kVt·soat)]

$$d_i^{GTQ} = \frac{3600 \cdot G_h}{N_i^{GTQ}}. \quad (2.30)$$

Issiqlikning solishtirma sarfi [kJ/(kVt·soat)]

$$q_i^{GTQ} = \frac{3600}{\eta_i^{GTQ}}. \quad (2.31)$$

Yoqilgʻining solishtirma effektiv sarfi [kg/(kVt·soat)]

$$b_e^{GTQ} = \frac{3600 \cdot B}{N_e^{GTQ}} = \frac{3600}{\eta_e^{GTQ} \cdot Q_q^i}. \quad (2.32)$$

bu yerda: B – GTQga yoqilg’I sarfi, kg/s.

**GTQning samaradorligini oshirish usullari.** GTQning samaradorligini oshirish, turbinada ishlatib bo’lingan gaz issiqligidan regeneratsiyalash tizimida foydalanish, hamda havoni oraliq sovutgichlardan o’tkazish orqali pog’onalı siqish yordamida amalgam oshirilishi mumkin.

Issiqligi regeneratsiyalanadigan GTQlarning ichki f.i.k.ini quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\eta_i^{GTQ} = \frac{\eta_{oi} \cdot \tau \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda^m}\right) - \left(\frac{\lambda^m - 1}{\eta_k}\right)}{\tau \cdot \left\{ (1 - \sigma) \cdot \left[1 + \left(\frac{\lambda^m - 1}{\eta_k}\right)\right] + \sigma \cdot \tau \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\lambda^m}\right) \cdot \eta_{oi}\right]\right\}} \cdot \eta_{yo.k}, \quad (2.33)$$

bu yerda:  $\sigma$  – regeneratsiya darajasi bo’lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma = \frac{(t_h' - t_h'')}{(t_g' - t_h'')}, \quad (2.34)$$

bu yerda:  $t_h'$  va  $t_h''$  – regenerator oldidagi va undan keyingi havoning harorati, °C ;

$t_g'$  – regenerator oldidagi gaz harorati, °C .

Issiqligi regeneratsiyalanadigan GTQlarning effektiv f.i.k.i:

$$\eta_e^{GTQ} = \eta_i^{GTQ} \cdot \eta_m^{GTQ}. \quad (2.35)$$

Havoni ikki pog’onalı siqish va regeneratsiyalash tizimiga ega GTQlarning ichki f.i.k.ini quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\eta_i^{GTQ} = \frac{\left(1 - \frac{1}{\lambda^m}\right) \cdot \eta_{oi} - \left(\frac{\lambda_1^m - 1}{\tau_1 \cdot \eta_{k1}}\right) - \left(\frac{\lambda_2^m - 1}{\tau_2 \cdot \eta_{k2}}\right)}{1 - \sigma \cdot \left[1 - \eta_{oi} \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda^m}\right)\right] - \frac{1 - \sigma}{\tau_2} \cdot \left[1 + \left(\frac{\lambda_2^m - 1}{\eta_{k2}}\right)\right]} \cdot \eta_{yo.k}, \quad (2.36)$$

bu yerda:  $\eta_{k1}$  va  $\eta_{k2}$  – birinchi va ikkinchi kompressorlarning ichki f.i.k.lari;  $\lambda_1$  va  $\lambda_2$  – birinchi va ikkinchi kompressorlarda bosimning ko’tarilish darajasi;  $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2$

– qurilmada bosimning ko'tarilish darajasi;  $\tau_1 = T_1/T_3$  – yonish kamerasidan chiqayotgan gazlarning absolyut haroratini ( $T_1$ ) birinchi kompressorga so'rilayotgan havoning absolyut haroratiga ( $T_3$ ) nisbati;  $\tau_2 = T_1/T'_3$  – yonish kamerasidan chiqayotgan gazlarning absolyut haroratini ( $T_1$ ) ikkinchi kompressorga so'rilayotgan havoning absolyut haroratiga ( $T_3$ ) nisbati.

**2.16 – masala.** Agar kompressorda bosimning ko'tarilish darajasi  $\lambda = 4$ , kompressorga so'rilayotgan havoning harorati  $t_3 = 20^\circ\text{C}$ , yonish kamerasidan chiqishdagi gazlarning harorati  $t_1 = 700^\circ\text{C}$ , turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta_{n.i} = 0,88$ , kompressorning ichki f.i.k.i  $\eta_k = 0,85$ , yonish kamerasining f.i.k.i  $\eta_{yo.k} = 0,97$  va adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,4$  ga teng bo'lsa GTQning ichki f.i.k.ini aniqlang.

**Javob:**  $\eta_i^{GTQ} = 0,175$ .

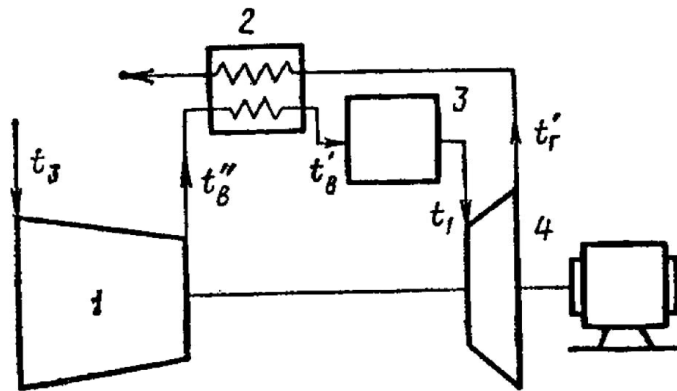
**2.17 – masala.** Agar kompressorda bosimning ko'tarilish darajasi  $\lambda = 3,9$ , kompressorga so'rilayotgan havoning harorati  $t_3 = 22^\circ\text{C}$ , yonish kamerasidan chiqishdagi gazlarning harorati  $t_1 = 717^\circ\text{C}$ , turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta_{n.i} = 0,89$ , kompressorning ichki f.i.k.i  $\eta_k = 0,86$ , yonish kamerasining f.i.k.i  $\eta_{yo.k} = 0,98$ , mexanik f.i.k.i  $\eta_m^{GTQ} = 0,88$  va adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,4$  ga teng bo'lsa GTQning effektiv f.i.k.ini aniqlang.

**Javob:**  $\eta_e^{GTQ} = 0,167$ .

**2.18 – masala.** Agar regeneratsiya darajasi  $\sigma = 0,7$ , kompressorda bosimning ko'tarilish darajasi  $\lambda = 3,16$ , kompressorga so'rilayotgan havoning harorati  $t_3 = 27^\circ\text{C}$ , yonish kamerasidan chiqishdagi gazlarning harorati  $t_1 = 707^\circ\text{C}$ , turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta_{n.i} = 0,87$ , kompressorning ichki f.i.k.i  $\eta_k = 0,85$ , yonish kamerasining f.i.k.i  $\eta_{yo.k} = 0,97$  va adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,4$  ga teng bo'lsa issiqligi regeneratsiyalanadigan GTQning ichki f.i.k.ini aniqlang.

**Javob:**  $\eta_i^{GTQ} = 0,31$ .

**2.19 – masala.** Agar kompressorda bosimning ko'tarilish darajasi  $\lambda = 5$ , kompressorga so'rilayotgan havoning harorati  $t_3 = 20^\circ\text{C}$ , yonish kamerasidan chiqishdagi gazlarning harorati  $t_1 = 702^\circ\text{C}$ , regeneratordagi havoning harorati  $t''_h = 220^\circ\text{C}$ , regeneratordan keyingi havoning harorati  $t'_h = 337^\circ\text{C}$ , regeneratordagi gazning harorati  $t'_g = 387^\circ\text{C}$ , turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta_{n.i} = 0,88$ , kompressorning ichki f.i.k.i  $\eta_k = 0,85$ , yonish kamerasining f.i.k.i  $\eta_{yo.k} = 0,98$ , mexanik f.i.k.i  $\eta_m^{GTQ} = 0,88$  va adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,4$  ga teng bo'lsa, yoqilg'ini o'zgarmas bosim ostida yoquvchi issiqligi regeneratsiyalanadigan GTQning (2.2 – rasm) effektiv f.i.k.ini aniqlang.



**2.2 – rasm.**

**Yechish:** GTQning regeneratsiya darajasini (2.34) formuladan aniqlaymiz:

$$\sigma = \frac{(t'_h - t''_h)}{(t'_g - t''_h)} = \frac{(337 - 220)}{(387 - 220)} = 0,7.$$

Issiqligi regeneratsiyalanadigan GTQlarning ichki f.i.k.ini  $m = (k - 1)/k = (1,4 - 1)/1,4 = 0,286$  ga teng bo'lganda (2.33) formuladan aniqlaymiz:

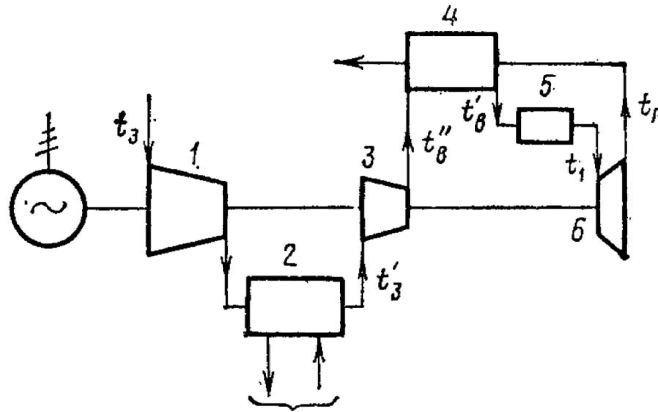
$$\eta_i^{GTQ} = \frac{\eta_{oi} \cdot \tau \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda^m}\right) - \left(\frac{\lambda^m - 1}{\eta_k}\right)}{\tau - \left\{ (1 - \sigma) \cdot \left[1 + \left(\frac{\lambda^m - 1}{\eta_k}\right)\right] + \sigma \cdot \tau \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\lambda^m}\right) \cdot \eta_{oi}\right] \right\}} \cdot \eta_{yo.k} =$$

$$= \frac{0,88 \cdot \frac{975}{293} \cdot \left(1 - \frac{1}{5^{0,286}}\right) - \left(\frac{5^{0,286} - 1}{0,85}\right)}{\frac{975}{293} - \left\{ (1 - 0,7) \cdot \left[1 + \left(\frac{5^{0,286} - 1}{0,85}\right)\right] + 0,7 \cdot \frac{975}{293} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{1}{5^{0,286}}\right) \cdot 0,88\right] \right\}} \cdot 0,98 = 0,325.$$

Issiqligi regeneratsiyalanadigan GTQlarning effektiv f.i.k.ini (2.35) formuladan aniqlanadi:

$$\eta_e^{GTQ} = \eta_i^{GTQ} \cdot \eta_m^{GTQ} = 0,325 \cdot 0,88 = 0,286.$$

**2.20 – masala.** Agar past bosimli kompressorlarga soʻrilayotgan havoning harorati  $t_3 = 17^\circ\text{C}$ , sovitgichdan 2 keyingi havoning harorati  $t'_3 = 20^\circ\text{C}$ , yonish kamerasidan 5 chiqishdagi gazlarning harorati  $t_1 = 800^\circ\text{C}$ , past bosimli 1 va yuqori bosimli 3 kompressorlarda bosimning koʻtarilish darajasi  $\lambda_1 = \lambda_2 = 3,16$ , regenerator 4 oldidagi havoning harorati  $t''_h = 134^\circ\text{C}$ , regeneratoridan keyingi havoning harorati  $t'_h = 239^\circ\text{C}$ , regenerator oldidagi gazning harorati  $t'_g = 284^\circ\text{C}$ , turbinaning 6 ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta_{n.i} = 0,87$ , past va yuqori bosimli kompressorlarning ichki f.i.k.lari  $\eta_{k1} = \eta_{k2} = 0,86$ , yonish kamerasining f.i.k.i  $\eta_{yo.k} = 0,97$ , mexanik f.i.k.i  $\eta_m^{GTQ} = 0,89$ , adiabata koʻrsatkichi  $k = 1,4$ , yoqilgʻi sarfi  $B = 0,5 \text{ kg/s}$  va yoqilgʻining quyi yonish issiqligi  $Q_q^i = 42000 \text{ kJ/kg}$  ga teng boʻlsa, havoni ikki pogʻonali siquvchi va issiqligi regeneratsiyalanadigan GTQning (2.3 – rasm) effektiv f.i.k.ini, effektiv va ishchi quvvatlarini aniqlang.



2.3 – rasm.

**Yechish:** GTQning regeneratsiya darajasini (2.34) formuladan aniqlaymiz:

$$\sigma = \frac{(t_h' - t_h'')}{(t_g' - t_h'')} = \frac{(239 - 134)}{(284 - 134)} = 0,7.$$

GTQda bosimning ko'tarilish darajasi:

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 = 3,16 \cdot 3,16 = 10.$$

Havoni ikki pog'onali siqish va regeneratsiyalash tizimiga ega GTQning ichki f.i.k.ini  $m = (k - 1)/k = (1,4 - 1)/1,4 = 0,286$  ga teng bo'lganda (2.36) formuladan aniqlaymiz:

$$\eta_i^{GTQ} = \frac{\left(1 - \frac{1}{\lambda^m}\right) \cdot \eta_{oi} - \left(\frac{\lambda_1^m - 1}{\tau_1 \cdot \eta_{k1}}\right) - \left(\frac{\lambda_2^m - 1}{\tau_2 \cdot \eta_{k2}}\right)}{1 - \sigma \cdot \left[1 - \eta_{oi} \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda^m}\right)\right] - \frac{1 - \sigma}{\tau_2} \cdot \left[1 + \left(\frac{\lambda_2^m - 1}{\eta_{k2}}\right)\right]} \cdot \eta_{yo.k} =$$

$$= \frac{\left(1 - \frac{1}{10^{0,286}}\right) \cdot 0,87 - \left(\frac{3,16^{0,286} - 1}{\left(\frac{1073}{290}\right) \cdot 0,86}\right) - \left(\frac{3,16^{0,286} - 1}{\left(\frac{1073}{293}\right) \cdot 0,86}\right)}{1 - 0,7 \cdot \left[1 - 0,87 \cdot \left(1 - \frac{1}{10^{0,286}}\right)\right] - \frac{1 - 0,7}{\left(\frac{1073}{293}\right)} \cdot \left[1 + \left(\frac{3,16^{0,286} - 1}{0,86}\right)\right]} \cdot 0,97 = 0,348.$$

GTQning effektiv f.i.k.ini (2.35) formuladan aniqlanadi:

$$\eta_e^{GTQ} = \eta_i^{GTQ} \cdot \eta_m^{GTQ} = 0,348 \cdot 0,89 = 0,31.$$

GTQning effektiv quvvatini esa (2.32) formuladan topiladi:

$$N_e^{GTQ} = B \cdot Q_q^i \cdot \eta_e^{GTQ} = 0,5 \cdot 42000 \cdot 0,31 = 6510 \quad kVt.$$

GTQning ichki quvvatini (2.29) formuladan topiladi:

$$N_i^{GTQ} = \frac{N_e^{GTQ}}{\eta_m^{GTQ}} = \frac{6510}{0,89} = 7315 \quad kVt.$$

**2.21 – masala.** Agar turbinada ko'zda tutilgan issiqlik tushishi  $H_0 = 230$  kJ/kg, gaz sarfi  $G_g = 120$  kg/s, havo sarfi  $G_h = 120$  kg/s, turbinaning nisbiy effektiv f.i.k.i  $\eta_{n.e} = 0,75$ , qurilmaning mexanik f.i.k.i  $\eta_m^{GTQ} = 0,88$  va kompressor uzatmasining effektiv quvvati  $N_{e.k.} = 8700$  kVt ga teng bo'lsa, GTQning effektiv quvvatini va havoning solishtirma sarfini aniqlang.

$$\textbf{Javob: } N_e^{GTQ} = 12000 \text{ kVt}; d_i^{GTQ} = 32 \frac{kg}{kVt \cdot soat}.$$

**2.22 – masala.** Agar kompressorda bosimning ko'tarilish darajasi  $\lambda = 4$ , kompressorga so'rilayotgan havoning harorati  $t_3 = 20$  °C , yonish kamerasidan chiqishdagi gazlarning harorati  $t_1 = 700$  °C , turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta_{n.i} = 0,88$ , kompressorning ichki f.i.k.i  $\eta_k = 0,85$ , yonish kamerasining f.i.k.i  $\eta_{yo.k} = 0,97$ , mexanik f.i.k.i  $\eta_m^{GTQ} = 0,89$ , adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,4$  va yoqilg'ining quyi yonish issiqligi  $Q_q^i = 42000$  kJ / kg ga teng bo'lsa, GTQ orqali yoqilg'ining solishtirma effektiv sarfi aniqlansin.

$$\textbf{Javob: } b_e^{GTQ} = 0,552 \frac{kg}{kVt \cdot soat}.$$

**2.23 – masala.** Agar kompressorda bosimning ko'tarilish darajasi  $\lambda = 3,16$ , kompressorga so'rilayotgan havoning harorati  $t_3 = 26$  °C , yonish kamerasidan chiqishdagi gazlarning harorati  $t_1 = 704$  °C , regeneratordagi havoning harorati  $t''_h = 164$  °C , regeneratordan keyingi havoning harorati  $t'_h = 374$  °C , regeneratordagi gazning harorati  $t'_g = 464$  °C , turbinaning ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta_{n.i} = 0,87$ , kompressorning ichki f.i.k.i  $\eta_k = 0,85$ , yonish kamerasining f.i.k.i  $\eta_{yo.k} = 0,97$ , mexanik f.i.k.i  $\eta_m^{GTQ} = 0,89$ , adiabata ko'rsatkichi  $k = 1,4$  va yoqilg'ining quyi

yonish issiqligi  $Q_q^i = 41600 \text{ kJ / kg}$  ga teng bo'lsa, issiqligi regeneratsiyalanadigan GTQning solishtirma issiqlik sarfini va qurilma orqali yoqilg'ining solishtirma effektiv sarfini aniqlang.

$$\textbf{Javob: } q_i^{GTQ} = 11,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{kVt} \cdot \text{soat}}; \quad b_e^{GTQ} = 0,313 \frac{\text{kg}}{\text{kVt} \cdot \text{soat}}.$$

**2.24 – masala.** Agar havo sarfi  $G_h = 110 \text{ kg/s}$ , kompressorda bosimning ko'tarilish darajasi  $\lambda = 3,16$ , kompressorga 1 so'rilayotgan havoning harorati  $t_3 = 26 \text{ }^\circ\text{C}$ , regenerator 2 oldidagi havoning harorati  $t''_h = 210 \text{ }^\circ\text{C}$ , regenerator dan keyingi havoning harorati  $t'_h = 327 \text{ }^\circ\text{C}$ , yonish kamerasidan 3 chiqishdagi gazlarning harorati  $t_1 = 704 \text{ }^\circ\text{C}$ , regenerator oldidagi gazning harorati  $t'_g = 377 \text{ }^\circ\text{C}$ , turbinaning 4 ichki nisbiy f.i.k.i  $\eta_{n.i} = 0,87$ , kompressorning ichki f.i.k.i  $\eta_k = 0,85$ , yonish kamerasining f.i.k.i  $\eta_{yo.k} = 0,97$ , mexanik f.i.k.i  $\eta_m^{GTQ} = 0,89$ , adiabatada ko'rsatkichi  $k = 1,4$ , yoqilg'i sarfi  $B = 0,48 \text{ kg/s}$  va yoqilg'ining quyi yonish issiqligi  $Q_q^i = 41800 \text{ kJ / kg}$  ga teng bo'lsa, yoqilg'ini o'zgarmas bosim ostida yoquvchi va issiqligi regeneratsiyalanadigan GTQ orqali yoqilg'ining solishtirma effektiv sarfini va havoning solishtirma sarfini aniqlang.

$$\textbf{Javob: } b_e^{GTQ} = 0,324 \frac{\text{kg}}{\text{kVt} \cdot \text{soat}}; \quad d_i^{GTQ} = 63,7 \frac{\text{kg}}{\text{kVt} \cdot \text{soat}}.$$

### III-BOB. ICHKI YONUV DVGATELLARI.

#### 3.1. IYODLARI VA UNING KO'RSATKICHLARINI HISOBLASH.

*Ichki yonuv dvigatellari deb-* yoqilg'ining issiqlik energiyasini mexanik energiya aylantirib beruvchi qurilma.

Hisob ishi uchun ko'rsatkichlar tanlanganda silindrning o'lchami, dvigatelning aylanishlar soni aralashmani hosil qilish dagi taktlar yoqilg'ini qabul qilish shamollatish darajasi (shamollatish qo'llanilsa) hisobga olinadi.

**3.1-masala:** To'rt taktli statsionar turdagi quvvati  $N_e = 294 \text{ kVt} = 400 \text{ л.с.}$ ;  $n = 1000 \text{ ay/min}$ : silindrlar soni  $i=6$ ; aralashma hosil qilish oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi ( $S=86\%$ ;  $N=13\%$ ;  $O=1\%$ ). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_u^p = 42000 \text{ kJ/kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koeffitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 14,5; \quad a = 1,8; \quad p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ H/m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}.$$

Talab etiladigan nazariy havo miqdori:

$$L_0 = (1/0,21)(C/12 + H/4 - O/32) = (1/0,21)(0,86/12 + 0,13/4 - 0,01/32) = 0,495 \text{ kmol/kg};$$

$$\alpha L_0 = 1,8 \cdot 0,495 = 0,891 \text{ kmol/kg};$$

$$L_0^1 = 28,95 L_0 = 28,95 \cdot 0,495 = 14,32 \text{ kJ/kg}$$

Quyidagicha topamiz:

$$M_{CO_2} = C/12 = 0,86/12 = 0,0717 \text{ kmol/kg}; \quad M_{H_2O} = H/2 = 0,065 \text{ kmol/kg};$$

$$M_{O_2} = 0,21(a-1)L_0 = 0,083 \text{ kmol/kg}; \quad M_{N_2} = 0,79\alpha L_0 = 0,704 \text{ kmol/kg};$$

$$M = 0,924 \text{ kmol/kg}; \quad M' = 26,78 \text{ кг/кг}.$$

Yonishdagi zarralar ajralishi soni

$$\Delta M = M - \alpha L_0 = 0,924 - 0,891 = 0,033 \text{ kmol/kg};$$

Molekulyar o'zgarishning ximik koeffitsienti

$$\mu_0 = M / (\alpha L_0) = 1,036.$$

To'rt taktli tez yurar dizel uchun tavsiya etilgan belgilarni qabul qilamiz.

$$r_a = 0,85 \text{ bar};$$

$$r_r = 1,1 \text{ bar};$$

$$\Delta T = 17 \text{ K}; T_r = 750 \text{ K}.$$

Shunda

$$\gamma = [(T_0 + \Delta T) / T_r] \cdot [p_r / (\varepsilon p_a - p_r)] = [(288 + 17) / 750] \cdot [1,1 / (14,5 \cdot 0,85 - 1,1)] = 0,04,$$

$$\mu = (\mu_0 + \gamma) / (1 + \gamma) = (1,036 + 0,04) / (1 + 0,04) = 1,035;$$

$$T_a = (T_0 + \Delta T + \gamma T_r) / (1 + \gamma) = (288 + 17 + 0,04 \cdot 750) / (1 + 0,04) = 323 \text{ K};$$

$$\eta_V = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{p_o} \cdot \frac{T_0}{T_a(1 + \gamma)} = \frac{14,5}{14,5 - 1} \cdot \frac{0,85}{1,013} \cdot \frac{288}{326(1 + 0,04)} = 0,78.$$

Adiabatik siqilish dagi o'rtacha belgilashni quyidagicha qabul qilamiz.

$k_1 = n_1 = 1,37$ ; shunday qilib.

$$T_c = T_a \varepsilon^{k_1 - 1} = 326 \cdot 14,5^{0,372} = 871 \text{ K}; \quad t_c = 598^\circ \text{ C}.$$

$$p_c = p_a \varepsilon^{k_1} = 0,85 \cdot 14,5^{1,37} = 33,6 \quad \text{bar}.$$

Yonish bosqichdagi oxirgi haroratdan yonish tenglamasini hosil qilish uchun foydalanamiz.

$$\frac{\xi_z Q_H^P}{\mu(1 - \gamma)\alpha L_0} + \frac{c'_v t_c + 8,314 \lambda T_c + 2270(\lambda - \mu)}{\mu} = c_p'' t_z,$$

bu yerda  $c'_v = (c_v + \gamma c_v'') / (1 + \gamma)$ .

havo uchun issiqlik sig'imini jadvaldan topamiz  $t_c = 598^\circ \text{ C}$  belgilanish  $s_r = 30,42$  kJ/kmol · grad, bu yerda  $s_v = c_p - 8,314 = 22,1$  kJ/kmol · grad. Qoldiq gaz uchun  $a = 1,8$  ba  $t_c = 598^\circ \text{ C}$ ;  $c_p'' = 31,894$  kJ/kmol · grad;  $c_v'' = 31,894 - 8,314 = 23,58$  kJ/kmol · grad; shunday qilib,  $c'_v = (22,1 + 0,04 \cdot 23,58) / (1 + 0,04) = 22,15$  kJ/kmol · grad.

Qabul qilamiz  $\zeta = 0,8$  i  $\lambda = 1,6$ .

Sonli belgilanishlar asosida yonish jarayoni tenglamasini quyidagicha yozamiz.

$$c_p'' t_z = \frac{0,8 \cdot 42000}{1,035(1 + 0,04)0,891} + \frac{22,15 \cdot 598 + 8,314 \cdot 1,6 \cdot 598 + 2270(1,6 - 1,035)}{1,035} = 56700 \text{ kJ/kmol}.$$

Tanlash asosida belgilashni qabul qilamiz  $t_z=1615\text{ }^0\text{C}$ ,  $T_z=1888\text{K}$

Keyingi,

$$\rho = (\mu T_z) / (\lambda T_c) = (1,035 \cdot 1888) / (1,6 \cdot 871) = 1,4;$$

$$\rho_z = \lambda p_c = 1,6 \cdot 33,6 = 53,8 \text{ bar}.$$

Keyingi bosqichdagi kengayish

$$\delta = \varepsilon / p = 14,5 / 1,4 = 10,35$$

Qabul qilamiz  $n_2 = 1,24$  kengayish oxiridagi bosimni aniqlaymiz:

$$p_b = p_z / \delta^{n_2} = 53,8 / 10,35^{1,24} = 2,94 \text{ bar}.$$

$$T_b = T_z / \delta^{n_2-1} = 1888 / 10,35^{0,24} = 1080\text{K}.$$

O'rtacha indikator bosim

$$\begin{aligned} \rho_{iT} &= \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] = \\ &= \frac{33,6}{14,5 - 1} \left[ 1,6(1,4 - 1) + \frac{1,6 \cdot 1,4}{1,24 - 1} \left( 1 - \frac{1}{10,35^{0,24}} \right) - \frac{1}{1,37 - 1} \left( 1 - \frac{1}{14,5^{0,37}} \right) \right] = 7,38 \text{ bar}. \end{aligned}$$

$\varphi_p=0,93$ , dan foydalanib topamiz

$$p_i = p_{iT\varphi\Pi} = 7,38 \cdot 0,93 = 6,9 \text{ bar}.$$

O'rtacha effektiv bosim

$$p_e = p_i \eta_m = 6,9 \cdot 0,8 = 5,5 \text{ bar} = 5,5 \cdot 10^5 \text{ H} / \text{M}^2, \text{ qabul qilamiz } \eta_m=0,8.$$

Dvigatelni asosiy o'lchamlarini aniqlaymiz:

$$V_h = \frac{N_e \cdot 12 \cdot 10^7}{\rho_e n_i} = \frac{294 \cdot 12 \cdot 10^7}{5,5 \cdot 10^5 \cdot 1000 \cdot 6} = 10,7 \text{ l}.$$

Berilgan ma'lumotga asosan qabul qilamiz  $S/D = 1,2$

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_h}{0,785 S / D}} = \sqrt[3]{10,7 / 0,785 \cdot 1,2} = 2,25 \text{ m}.$$

Qabul qilamiz  $D=230 \text{ mm}$ ;  $S=260\text{mm}$ ;  $V_h=10,8 \text{ l}$ .

Porshenni tezlikdagi o'lchamlari asosida

$$C_m = S n / 30 = 0,26 \cdot 1000 / 30 = 8,67 \text{ m} / \text{s}.$$

Dvigatelni indikator i effektiv ko'rsatkichlari

$$N_i = N_e / \eta_m = 294 / 0,8 = 367 \text{ kVt};$$

$$\eta_i = 8,314 \frac{\alpha L_0 p_i T_0}{Q_H^p \eta_v p_0} = 8,314 \frac{1,8 \cdot 0,495 \cdot 6,9 \cdot 288}{42000 \cdot 0,78 \cdot 1,013} = 0,442;$$

$$\eta_e = \eta_i \eta_m = 0,442 \cdot 0,8 = 0,354;$$

$$g_i = 3600 / Q_H^p \eta_i = 3600 / (42000 \cdot 0,442) = 0,195 \text{ kg} / kVt \cdot s;$$

$$g_e = 3600 / Q_H^p \eta_e = 3600 / (42000 \cdot 0,354) = 0,242 \text{ kg} / kVt \cdot s;$$

$$G_T = g_e N_e = 0,242 \cdot 294 = 71,2 \text{ kg} / s;$$

$$N_a = N_e / i V_h = 294 / 6 \cdot 10,8 = 4,5 \text{ kVt} / l.$$

$\varphi = 1,0$  Dvigatelni zaryadka qilish uchun havoning sarfi

$$G_B = G_{T\alpha\varphi} L'_0 = 71,2 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 14,32 = 1840 \text{ kg} / s = 0,51 \text{ kg} / s.$$

**3.2-masala.** To'rt taktili statsionar turdagi quvvati  $N_e = 362 \text{ kVt} = 300 \text{ л.с.}$ ;  $n = 1000 \text{ ay} / \text{min}$ : silindrlar soni  $i=6$ ; aralashma hosil qilish oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi ( $S=86\%$ ;  $N=13\%$ ;  $O=1\%$ ). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_H^p = 22000 \text{ kj} / \text{kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koefitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 14,5; \quad a = 1,8; \quad p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ H} / \text{m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}.$$

$$\eta_v = ?$$

**3.3-masala.** To'rt taktili statsionar turdagi quvvati  $N_e = 294 \text{ kVt} = 400 \text{ л.с.}$ ;  $n = 1000 \text{ ay} / \text{min}$ : silindrlar soni  $i=6$ ; aralashma hosil qilish oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi ( $S=86\%$ ;  $N=13\%$ ;  $O=1\%$ ). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_H^p = 42000 \text{ kj} / \text{kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koefitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 14,5; \quad a = 1,8; \quad p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ H} / \text{m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}.$$

$$N_n = ?$$

**3.4-masala.** To'rt taktli statsionar turdagi quvvati  $N_e = 260 \text{ kVt} = 500 \text{ l/s}$ ;  $n = 1000 \text{ ay/min}$ : silindrlar soni  $i=6$ ; aralashma hosil qilish oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi ( $S=86\%$ ;  $N=13\%$ ;  $O=1\%$ ). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_n^p = 42000 \text{ kj/kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koeffitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 14,5; \quad a = 1,8; \quad p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ H/m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}.$$

$$G_B = ?$$

**3.5-masala.** To'rt taktli statsionar turdagi quvvati  $N_e = 240 \text{ kVt} = 520 \text{ l/s}$ ;

$n = 800 \text{ ay/min}$ : silindrlar soni  $i=7$ ; aralashma hosil qilish oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi ( $S=85\%$ ;  $N=18\%$ ;  $O=1,5\%$ ). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_n^p = 38000 \text{ kj/kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koeffitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 11,5; \quad a = 3,8; \quad p_0 = 2,013 \cdot 10^5 \text{ H/m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}.$$

$$D=?$$

**3.6-masala.** To'rt taktli statsionar turdagi quvvati  $N_e = 290 \text{ kVt} = 300 \text{ l/s}$ ;  $n = 1100 \text{ ay/min}$ : silindrlar soni  $i=6$ ; aralashma hosil qilish oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi ( $S=56\%$ ;  $N=23\%$ ;  $O=4\%$ ). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_n^p = 45000 \text{ kj/kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koeffitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 20,5; \quad a = 6,8; \quad p_0 = 5,013 \cdot 10^5 \text{ H} / \text{m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}.$$

$$V_h = ?$$

**3.7-masala.** To'rt taktli statsionar turdagi quvvati  $N_e = 320 \text{ kVt} = 600 \text{ l/s}$ ;  $n = 2100 \text{ ay/min}$ : silindrlar soni  $i=8$ ; aralashma hosil qilish oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi (S=63%; N=15%; O=4%). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_u^p = 42000 \text{ kj/kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koeffitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 19,5; \quad a = 1,5; \quad p_0 = 9,013 \cdot 10^5 \text{ H} / \text{m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}.$$

$$T_b = ?$$

**3.8-masala.** To'rt taktli statsionar turdagi quvvati  $N_e = 240 \text{ kVt} = 450 \text{ l/s}$ ;  $n = 1200 \text{ ay/min}$ : silindrlar soni  $i=4$ ; aralashma hosil qilish oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi (S=86%; N=13%; O=1%). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_u^p = 40000 \text{ kj/kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koeffitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 14,5; \quad a = 1,8; \quad p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ H} / \text{m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}.$$

$$p_e = ?$$

**3.9-masala.** To'rt taktli statsionar turdagi quvvati  $N_e = 320 \text{ kVt} = 520 \text{ l/s}$ ;  $n = 900 \text{ ay/min}$ : silindrlar soni  $i=2$ ; aralashma hosil qilish oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi (S=83%; N=14%; O=3%). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_u^p = 41000 \text{ kj/kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koeffitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 14,9; \quad a = 1,4; \quad p_0 = 5,013 \cdot 10^5 \text{ H} / \text{m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}.$$

$$C_m = ?$$

**3.10-masala.** To'rt taktli statsionar turdagi quvvati  $N_e = 210 \text{ kVt} = 200 \text{ l/s}$ ;  $n = 850 \text{ ay/min}$ : silindrlar soni  $i=6$ ; aralashma hosil qilish oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi (S=96%; N=16%; O=1%). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_u^p = 42000 \text{ kJ/kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koeffitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 24,5; \quad a = 3,8; \quad p_0 = 5,013 \cdot 10^5 \text{ H} / \text{m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}.$$

$$p_i = ?$$

**3.11-masala.** To'rt taktli statsionar turdagi quvvati  $N_e = 360 \text{ kVt} = 310 \text{ l/s}$ ;  $n = 1000 \text{ ay/min}$ : silindrlar soni  $i=6$ ; aralashma hosil qilish oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi (S=89%; N=14%; O=1%). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_u^p = 39000 \text{ kJ/kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koeffitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 17,5; \quad a = 1,8; \quad p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ H} / \text{m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}.$$

$$g_i = ?$$

**3.12-masala.** To'rt taktli statsionar turdagi quvvati  $N_e = 220 \text{ kVt} = 560 \text{ l/s}$ ;  $n = 1400 \text{ ay/min}$ : silindrlar soni  $i=3$ ; aralashma hosil qilish

oqimli; shamollatish yo'q; dizel yoqilg'isi ( $S=76\%$ ;  $N=33\%$ ;  $O=5\%$ ). Yonishdagi issiqlik ajralishi  $Q_u^p = 46000 \text{ kJ/kg}$ .

Dvigateldagi havo va yoqilg'i sarfini, effektiv va indikatorli foydali ish koeffitsientini hamda dvigatel o'lchamini aniqlash.

Tez yurar dvigatel hisob ishi turi uchun quyidagi qiymatlarni tanlaymiz:

$$\varepsilon = 14,5; \quad a = 1,8; \quad p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ H/m}^2; \quad T_0 = 288 \text{ K}. \quad p_b = ?$$

## IV-BOB. NASOSLAR.

### 4.1. NASOS QURILMASINING ASOSIY ISH KO'RSATKICHLARINI HISOBLASH.

*Nasoslar* - bosim bilan haydash mashinalarning eng ko'p tarqalgan turlaridan biri bo'lib, asosan suyuqliklarni, ba'zi hollarda gaz holatdagi moddalarni uzatishga mo'ljallangan mashinalar. Nasoslar markazdan qochma, o'qli, porshenli, membranali va boshqa turlarga bo'linadi.

Nasos yaratadigan bosim,  $N/m^2$

$$p = Q\rho g \quad (4.1)$$

Nasosning f.i.k. quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta = \frac{N_f}{N_{dv}} \quad (4.2)$$

Elektrdvigatelning hisobiy quvvati quyidagicha aniqlanadi, kVt

$$N = QH \cdot 0,736 \cdot \frac{\beta}{75\eta_1\eta_2} = \frac{QH\beta}{75\eta_1\eta_2} \quad (4.3)$$

Bunda  $\beta$  - elektrodvigatelni ortiqcha yuklanilishini hisobga oluvchi koeffitsient, quvvatga bog'liq bo'lib tanlanadi

|                       |     |                                                   |      |
|-----------------------|-----|---------------------------------------------------|------|
| 1kVt gacha.....       | 2   | 4 – 10 kVt gacha.....                             | 1,15 |
| 1 – 2 kVt gacha ..... | 1,5 | 10 kVt dan oshganda.....                          | 1,1  |
| 2 – 4 kVt gacha.....  | 1,; | $\eta_1$ – nasosning f.i.k. (0,7 – 0,75);         |      |
|                       |     | $\eta_2$ – elektrodvigatelning f.i.k (0,9 – 0,95) |      |

Nasosni o'rnatish balandligini aniqlovchi ifoda:

$$h_{tuy} = \frac{p_v}{\rho g} - \frac{p_{qarsh}}{\rho g} - \frac{v_1^2}{2g} \quad (4.4)$$

$p_v / \rho g = h_v$  – vakummetrik balandligi.

**4.1 – masala.** Suvning hisobiy sarfi 3,5 l/s bo'lgan, ko'p qavatli turar joy binosining yuqori qavatlariga suvni yetkazish uchun tarmoqdagi bosim yetishmaydi. Hisobiy ko'rsatkichlariga ko'ra, so'rish balandlikning miqdori 42m bo'lishi kerak. Qurilayotgan holat uchun tashqi tarmoqdagi bosim 25 m ni tashkil etadi. Bosimni oshirish uchun nasos tanlansin.

**Yechish.**

Tanlanadigan nasosning unumdorligi  $Q = 3,5 \text{ l/s} = 12,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , so'rish balandligi esa quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$H_{nas} = H - H_{tar} = 42 - 25 = 17 \text{ m.}$$

Ilova 3 dan LK 5 –15 markali, unumdorligi 13 m<sup>3</sup>/soat (3,6 l/s), n=1450ayl./min. va so'rish balandligi 20 m bo'lgan markazdan qochma nasos tanlanadi. Nasos bevosita elektrdvigatelga ulanadi. Tortuvchi va bosimli quvur diametrlari 50 mm.

Elektrdvigatelning hisobiy quvvati quyidagicha aniqlanadi:

$$N = \frac{(3,6 \cdot 20 \cdot 1,5)}{102 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 1,7 \text{ kVt.}$$

**4.2- masala.** Suvning hisobiy sarfi 1,5 l/s bo'lgan, bolalar bog'cha binosiga suv yetkazish uchun tarmoqdagi bosim yetishmaydi. Hisobiy ko'rsatkichlariga ko'ra, so'rish balandlikning miqdori 25 m bo'lishi kerak. Qurilayotgan holat uchun tashqi tarmoqdagi bosim 20m ni tashkil etadi. Bosimni oshirish uchun nasos tanlansin va elektrdvigatelning quvvati aniqlansin.

**4.3- masala.** Suvning hisobiy sarfi 5 l/s bo'lgan, ko'p qavatli turar joy binosining yuqori qavatlariga suv yetkazish uchun tarmoqdagi bosim yetishmaydi. Hisobiy ko'rsatkichlariga ko'ra, so'rish balandlikning miqdori 54 m bo'lishini kerak. Qurilayotgan holat uchun tashqi tarmoqdagi bosim 25 m ni tashkil etadi. Bosimni oshirish uchun nasos tanlansin.

**4.4 - masala.** Suvning hisobiy sarfi 4,5 l/s bo'lgan, ko'p qavatli turar joy binosining yuqori qavatlariga suv yetkazish uchun tarmoqdagi bosim yetishmaydi. Hisobiy ko'rsatkichlariga ko'ra, so'rish balandlikning miqdori 38 m bo'lishini kerak. Qurilayotgan holat uchun tashqi tarmoqdagi bosim 25m ni tashkil etadi. Bosimni oshirish uchun nasos tanlansin.

**4.5–masala.** Chuqurligi 3000 m bo'lgan quduqdan suv uzatadigan nasosning foydali ish koeffitsienti aniqlansin. Nasos elektrdvigatelning quvvati  $N_{d,v}=550$  kVt; suv zichligi  $\rho=1000\text{kg/m}^3$  4soat= $14,4\cdot 10^3\text{s}$  davomida uzatilgan suyuqlik miqdori  $V=180\text{m}^3$ .

**Yechish.**

Nasos yaratadigan bosim

$$p = \rho gh = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3000 = 294 \cdot 10^5 \text{N/m}^2$$

Nasosning foydali gidravlik quvvati

$$N_f = pV = 294 \cdot 10^5 \left( \frac{180}{14,4 \cdot 10^3} \right) = 410 \text{kVt}$$

Nasosning f.i.k.

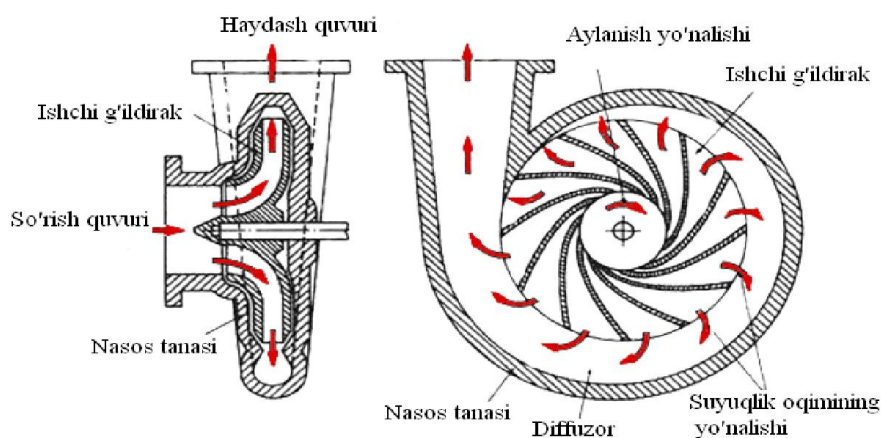
$$\eta = \frac{410}{550} = 0,745$$

**Javob:** 0,745.

**4.6 –masala.** Chuqurligi 2800 m bo'lgan quduqdan suv uzatadigan nasosning foydali ish koeffitsienti aniqlansin. Nasos elektro dvigatelning quvvati  $N_{d,v} = 500$  kVt; 3soat= $10,8\cdot 10^3\text{s}$  davomida uzatilgan suyuqlik miqdori  $V=150 \text{ m}^3$ ; suv zichligi  $\rho=1000\text{kg/m}^3$ .

**Javob:** 0,762

## 4.2. MARKAZDAN QOCHMA NASOS KO'RSATKICHLARINI HISOBLASH.



4.1 - rasm. Markazdan qochma nasosni ishlash prinsipi.

Markazdan qochma nasosda uzatilgan suyuqlik markazdan qochma kuch ta'sirida, aylanadigan g'ildirak markazidan chetga surilib, spiralli kameraga uzatiladi, bu yerdan esa quvurga haydab chiqariladi, 4.1- rasm.

**4.7- masala.** Zichligi  $\rho=1100\text{kg/m}^3$  bo'lgan suyuqlikni uzatadigan nasosning unumdorligi  $46,5\text{m}^3/\text{s}$ . Nasosning bosimli quvurdagi ortiqcha bosim manometr ko'rsatkichi bo'yicha  $3,34 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ; tortuvchi quvurdagi bosim vakuummetr bo'yicha  $p_v=0,45 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2=340 \text{ mm.sim.ust.}$  Barometr ko'rsatkichi  $p_{\text{bar}}=1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2=760 \text{ mm.sim.ust.}$  Manometr va vakuummetr orasidagi bo'ylama masofa  $0,3 \text{ m}$ . Nasosni harakatga keltiruvchi elektrodvigatelning quvvati,  $N_{d.v}=7 \text{ kVt}$ . Nasosning quvvati aniqlansin.

**Yechish.**

Purkashning absolyut bosimi

$$p_r = p_m + p_{\text{bar}} = 3,34 \cdot 10^5 + 1,01 \cdot 10^5 = 4,35 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2.$$

So'rishning absolyut bosimi

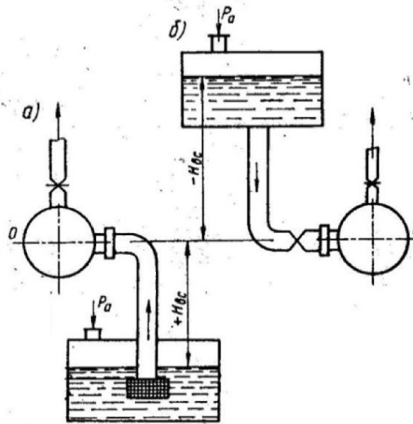
$$p_s = p_{\text{bar}} - p_v = 1,01 \cdot 10^5 - 0,45 \cdot 10^5 = 0,56 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2.$$

Nasosning gidravlik quvvati:

---

**Javob:** 4,9 kVt.

**4.8 – masala.** Quyidagi berilishlar bo'yicha suv xavzani erkin yuzasi ustida markazdan qochma nasos o'qining joylashish balandligi aniqlansin: tortuvchi quvurning diametri  $d = 0,25$  m, quvur uzunligi  $l = 20$  m, suv sarfi  $Q = 0,06$  m<sup>3</sup>/s, nasosga kirish bosimi  $p_1 = 0,4 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>; quvur qabul qiluvch panjara, bitta burulma va zadvijskalardan iborat (4.1-rasm)



**4.2- rasm.**

**Yechish.**

Vakuum  $p_v = 0,6 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup> va  $\lambda = 0,03$  ga teng deb qabul qilinadi.

1-ilovadan mahaliy qarshiliklar koeffitsientlari olinadi: tortuvchi quvurga kirishida  $\xi_{\text{quv.kir.}} = 6$ ,  $\xi_{\text{bur.}} = 0,4$  zadvijska  $\xi = 2,0$ ; nasosga kirishida  $\xi = 0,1$ .

Suyuqlikning o'rtacha tezligi

---

Nasosni o'rnatish balandligini aniqlovchi ifoda:

---

**Javob:** 5,1 m.

**4.9-masala.** Quyidagi berilishlar bo'yicha suv xavzani erkin yuzasi ustida markazdan qochma nasos o'qining joylashish balandligi aniqlansin: tortuvchi quvurning diametri  $d = 0,25$  m, quvur uzunligi  $l = 32$  m, suv sarfi  $Q = 0,09$  m<sup>3</sup>/s, nasosga kirish bosimi  $p_1 = 0,4 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>; quvur qabul qiluvchi panjara, ikkita burulma va bitta zadvijskalardan iborat.

**4.10-masala.** Quyidagi berilishlar bo'yicha suv havzani erkin yuzasi ustida markazdan qochma nasos o'qining joylashish balandligi aniqlansin: tortuvchi quvurning diametri  $d = 0,32$  m, quvur uzunligi  $l = 25$  m, suv sarfi  $Q = 0,08$  m<sup>3</sup>/s, nasosga kirish bosimi  $p_1 = 0,4 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>; quvur qabul qiluvch panjara, bitta burulma va zadvijskalardan iborat.

**4.11 -masala.** Markazdan qochma nasos yaratadigan nazariy bosimning miqdori aniqlansin. G'ildirakga suv kirishining absolyut tezligi  $c_1 = 4,0$  m/s; g'ildirakning ichki diametri  $D_1 = 150$  mm; kirish burchagi  $\alpha_1 = 75^\circ$ ; g'ildirakning aylanish chastotasi  $n = 1450$  ayl./min; suvni g'ildirakdan chiqish absolyut tezligi  $c_2 = 24,0$  m/s; g'ildirakning tashqi diametri  $D_2 = 350$  mm; parrakdan chiqish burchagi  $\alpha_2 = 12^\circ$ .

**Javob:**  $p_n = 6 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>.

**4.12- masala.** Markazdan qochma nasosning unumdorligi 50 m<sup>3</sup>/soat. Bosimli quvuridagi manometrning ko'rsatkichi  $p_b = 2,6 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>, tortuvchi quvurdagi vakuummetrning ko'rsatkichi  $- 0,34 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>; manometr va vakuummetr ulanish nuqtalar orasidagi masofa 0,6 m; nasosning f.i.k.  $\eta = 0,62$  ga teng. Markazdan qochma nasos validagi quvvati aniqlansin.

**Javob:**  $N = 6,58$  kVt.

**4.13- masala.** Quduqdan idishga markazdan qochma nasos sovuq suvni  $Q = 100$  m<sup>3</sup>/soat miqdorida,  $d = 150$  mm diametrili quvur bo'yicha uzatmokda. Kutarilish

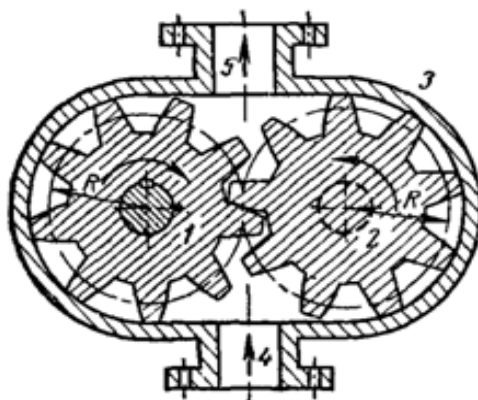
balandligi 32 m ga teng. Nasos validagi quvvat  $N_v=14$  kVt va qarshilikning yig'ma koeffitsienti  $\sum \xi = 10,5$  ga teng bo'lgan holda nasosning to'lik f.i.k. aniqlansin.

**Javob:**  $\eta = 0,648$ .

**4.14- masala.** Unumdorligi  $Q=25$  m<sup>3</sup>/soat , elektrodvigatelga bevosita ulangan nasos,  $N=45$  m balandlikga suvni ko'tarishiga mo'ljallangan. Quvurdagi qarshiliklar miqdori  $h=0,6 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>; nasos va elektrodvigatellarning f.i.k. tegishli  $\eta_h = 0,7$  va  $\eta_{dv.} = 0,95$  ga teng. Elektr tarmoqdan elektrodvigatelga sarflanadigan quvvat miqdori aniqlansin.

**Javob:**  $N = 3,17$  kVt

### 4.3. ROTORLI NASOSLARNI HISOBLASH



**4.3-rasm. Tishli (shesternyali) nasos**

1,2-tishli g'ildiraklar; 3-nasos tanasi; 4,5-so'rish va haydash quvurlari

Tishchali nasosning chizmasi 4.3– rasmda keltirilgan. Bunday nasoslarning tishchali g'ildiraklari, odatda bir xil o'lchamli bo'lib tayyorlanadi.

G'ildiraklar bir xil bo'lmagan tishchali nasosning unumdorligini aniqlovchi ifodasi:

$$Q = (flz_1n_1 + flz_2n_2)\eta_h \quad (4.5)$$

bunda,  $f$  - tishchalar orasidagi bo'shliqining ko'ndalang kesim yuzasi;  
 $l$  - g'ildirak tishchasining uzunligi;  $z_1$  va  $z_2$  - tishchalar soni;  $n_1$  va  $n_2$  - aylanish chastotasi;  $\eta_h$  – nasosning hajmiy FIK ( $\eta_h = 0,7 \div 0,9$ ).

G'ildiraklar bir xil bo'lgan holda

(4.6)

Tishchali va plastinali nasoslar reversli bo'lib, aylanish yo'nalishi o'zgarsa, oqim yo'nalishi ham o'zgaradi.

Plastinali nasoslarda, harakatlanadigan plastinalar yordamida eksentrik aylanadigan rotor suyuqligini so'rish bo'shlig'idan, bosimli bo'shliqqa uzatib, haydab chiqaradi.

Agar  $e = 0$  bo'lsa, bunda ikkita bo'shliqdagi suyuqlik miqdori teng bo'lib nasos ishlamaydi. Plastinali nasoslarning oddiy konstruksiyasida eksentrisitet ( $e = const$ ) o'zgarmas deb qabul qilinadi.

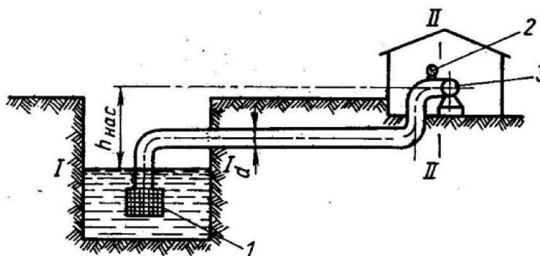
Bu turdagi nasosning uzatilishi,

(4.7)

bunda,  $f_A$  – parraklar orasidagi bo'shliqning yuzasi;  $\eta_h = 0,94 \div 0,98$ .

#### 4.4.TARMOQ QARSHILIGINI HISOBLASH.

**4.15 – masala.** Markazdan qochma nasosning vakuummetr 2 ko'rsatkichi aniqlansin. Nasosning qabul qiluvchi panjarasidan 1 nasosgacha 3 bo'lgan quvur uzunligi  $l = 22$  m;  $d = 0,2$  m, nasos unumdorligi  $Q = 40$  l/c. Suv satxidan nasos o'rnatish joygacha balandlik  $h_{nas.} = 5,2$  m. Tortuvchi quvur qabul qiluvchi panjara va uchta burulmalardan (koleno) iborat, chizikli qarshilik koefitsienti  $\lambda = 0,03$  (4.4-rasm)



4.4-rasm

Yechish.

Suvning quvurdagi o'rtacha tezligi

$$V = \frac{Q}{F} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{Q}{0,785d^2} = \frac{0,040}{0,785 \cdot 0,2^2} = 1,25 \text{ m/s}$$

1 – 1 va 11 – 11 qirgimlar uchun Bernulli tenglamasi tuzilish natijasida quyidagi kelib chiqadi:

$$1 + \Sigma \xi + \frac{\lambda l}{d} = 1 + 3\xi_b + \xi_p \frac{\lambda l}{d} = 1 + 3 \cdot 0,4 + 10 + 0,03 \cdot \frac{22}{0,2} = 15,5;$$

$$\xi_p = 10, \quad \xi_b = 0,4$$

Vakuum miqdori

$$p_v = \left( \frac{1,25^2}{2} \right) 10^3 \cdot 15,5 + 9,81 \cdot 10^3 \cdot 5,2 \approx 0,64 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$$

**Javob:**  $p_v = 0,64 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

**4.16-masala.** G'ildirakga suv kirishi absolyut tezligi  $c_1=4,0 \text{ m/s}$ ; g'ildirakni ichki diametri  $D_1=150\text{mm}$ ; kirish burchagi  $\alpha_1=75^\circ\text{C}$ , aylanish chastotasi  $n = 1450$  ayl/daq; suvni g'ildirakdan chiqishini absolyut tezligi  $c_2= 24,0 \text{ m/s}$ ; g'ildirakni tashqii diametri  $D_2=350\text{mm}$ ; kurakchanning chiqish burchagi  $\alpha_2=12^\circ\text{C}$ , bo'lganda markazdan qochma nasos hosil qiladigan nazariy bosimning miqdori aniqlansin.

**Javob:**  $p_n=6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

**4.17-masala.** Markazdan qochma nasosning suv uzatilishi  $50\text{m}^3/\text{soat}$ . Bosimli quvurda o'rnatilgan manometr ko'rsatkichi  $p_m=2,6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ , tortuvchi quvurdagi vakuumetr ko'rsatkichi –  $0,34 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ; manometr va vakuumetr orasidagi masofa  $0,6\text{m}$ ; nasosning foydali ish koeffisienti  $\eta=0,62$ . Markazdan qochma nasos validagi quvvati aniqlansin.

**Javob:**  $N= 6,58\text{kVt}$

**4.18-masala.** Quduqdan bosimli bakga, diametri  $d=150\text{mm}$  gat eng bo'lgan quvur bo'yicha  $32\text{m}$  balandlikga markazdan qochma nasos  $Q=100\text{m}^3/\text{soat}$  miqdorda

suvni uzatadi. Nasos validagi quvvati  $N_v=14$  kVt, yig'indili qarshilik koeffisienti  $\Sigma\xi=10,5$  bo'lganda nasosni to'liq f.i.k. aniqlansin.

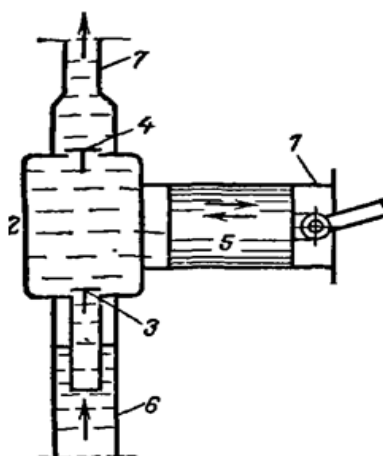
**Javob:**  $\eta=0,648$

**4.19-masala.** Suvni  $H=45$ m balandlikka kutaruvchi nasos unumdorligi  $Q=25$  m<sup>3</sup>/soat bo'lib, elektr yuritkichga bevosita ulangan. Quvur yo'llarni qarshiligi  $h_q=0,6 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>, nasos va elektryuritkichlarning tegishlicha f.i.k. lari  $\eta_h=0,7$  va  $\eta_{yur.}=0,95$ .

**Javob:**  $N=3,17$  kVt

#### 4.5. PORSHENLI NASOSLARNING UNUMDORLIGINI HISOBLASH.

Porshenli nasoslarda (4.5-rasm), porshen ilgarilanma-qaytma harakatga ega.



**4.5 – rasm. Porshenli nasosning sxemasi**

1 – silindr; 2 – klapanli qutti; 3, 4 – so'ruvchi va bosimli klapanlar; 5 – porshen;

6,7 - so'ruvchi va bosimli quvurlar

Porshenni harakatga keltiruvchi yuritkich porshenga bevosita yoki krivoship-shatunli mexanizm yordamida ta'sir etishi mumkin. Porshenni harakati davriy bo'lganligi tufayli, uzatish va so'rish jarayonlari notekis bo'ladi va inersion kuchlarni hosil etadi. Porshenni tezligi cheklanganligi uchun, uni aylanuvchan quvvatli elektryuritkichlarga ulash, qiyinroq bo'ladi. Bundan tashqari suyuqlikni notekis yetkazib berishi, porshenli nasoslar o'rniga rotorli nasoslar qo'llanilishiga

sabab bo'ladi (4.5 rasm, b). Bunday nasoslarda silindr vali, yuritkich valiga bog'liq bo'ladi.

**4.20-masala.** Simobli vakuumetr ko'rsatkichi  $h_v = 450\text{ mm}$  bo'lganda, porshen ostidagi silindrda vakuum bosimi aniqlansin.

**Yechish.**

Vakuum bosimi quyidagicha aniqlanadi:

$$p_v = \rho_{sim} g h_v = 13,6 \cdot 10^6 \cdot 9,8 \cdot 0,45 = 0,612 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}.$$

**Javob:**  $p_v = 0,612 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ .

**4.21-masala.** Simobli vakuumetr ko'rsatkichi  $h_v = 580\text{ mm}$  bo'lganda, porshen ostidagi silindrda vakuum bosimi aniqlansin.

**4.22-masala.** Simobli vakuumetr ko'rsatkichi  $h_v = 360\text{ mm}$  bo'lganda, porshen ostidagi silindrda vakuum bosimi aniqlansin.

**4.23-masala.** Ikki tomonlama ishlaydigan porsheni diametri  $D=150\text{ mm}$ , dastasi diametri  $d=30\text{ mm}$ , yo'li  $S=200\text{ mm}$ , bo'lgan porshenli nasosni sinovi natijalari quyidagicha: bosimi  $H=12\text{ m}$ , suv haydashi  $Q=5,9\text{ l/s}$ , porshenni ikkilangan harakatlari soni  $n=62\text{ }^1/\text{min}$ , indikator bosimi  $P_i=1,48\text{ kgs/sm}^2$ , dvigatelga uzatilayotgan quvvat  $N_{dv}=3\text{ kv}$ t, dvigatelning F.I.K.  $\eta_{dv}=0,8$  i uzatmaning F.I.K.  $\eta_{o'z}=0,95$ . Nasosning hajmiy, gidravlik va to'la F.I.K. toping.

**4.24-masala.** Silindrining diametri  $D=250\text{ mm}$ , porshen yo'li  $S=150\text{ mm}$ , ikkilangan harakatlar soni  $n=60\text{ }^1/\text{min}$  bo'lgan bir tomonlama ishlaydigan uch harakatli porshenli nasosning nazariy suyuqlik haydashini aniqlang.

**4.25-masala.** Porshenning diametri  $D=150\text{ mm}$ , dastasi diametri  $d=100\text{ mm}$ , porshen yo'li  $S=220\text{ mm}$ , bir minutdagi ikkilangan harakatlari soni  $n=50\text{ }^1/\text{min}$ , va

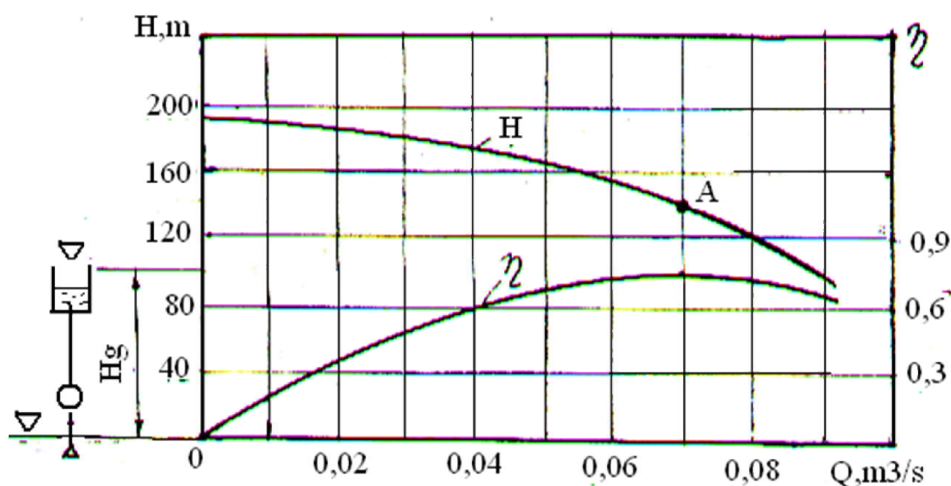
hajmiy F.I.K.  $\eta_x=0,87$  teng bo'lgan differensial ishlaydigan porshenli nasosning ung va chap tomonga harakatidagi nazariy suyuqlik haydashini aniqlang.

**4.26-masala.** Suv haydashi  $Q=15 \text{ l/s}$ , bosimi  $N=320 \text{ m}$ , dvigatelning quvvati  $N_0=120 \text{ kvt}$ , ikkilangan harakatlari soni  $n=75 \text{ 1/min}$ , krivoship-shatun mexanizmining F.I.K.  $\eta_{uz}=0,88$ , krivoshipning radiusi  $r=150 \text{ mm}$ , indikator diagrammasining maydoni  $\omega=990 \text{ sm}^2$ , masshtabi  $m=1 \text{ sm/atm}$ , mexanik F.I.K.  $\eta_{mex}=0,63$  bo'lgan differensial ishlovchi porshenli nasos silindri diametrini aniqlang.

#### 4.6. KETMA-KET VA PARALLEL ULANGAN NASOSLARNING KO'RSATKICHLARINI HISOBLASH

**4.27-masala.** Ikkita bir xil bir-biriga yaqin joylashgan parallel ulangan nasoslarning xarakteristikasi 4.6-rasmda keltirilgan.

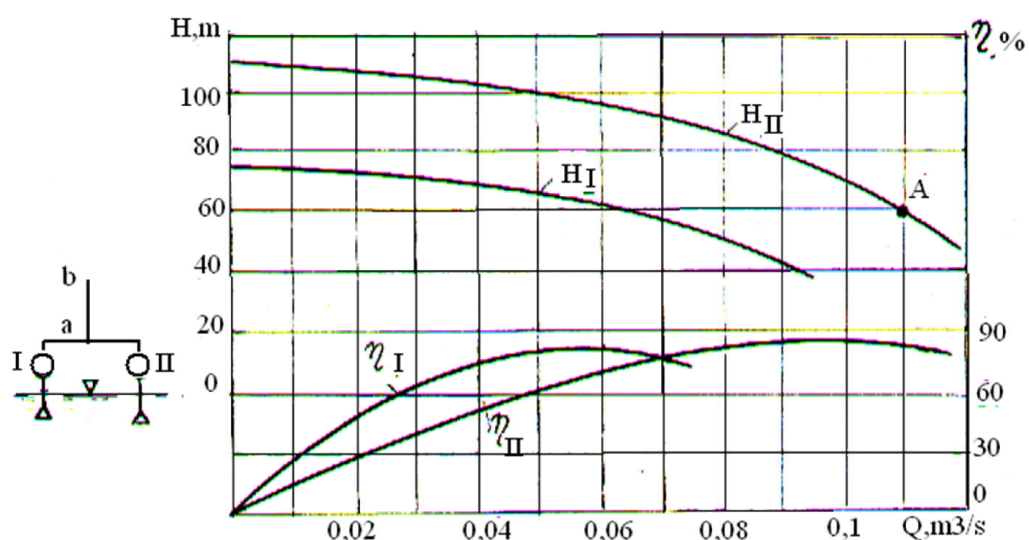
Agar geodezik ko'tarish balandligi  $H_g=100 \text{ m}$  bo'lgan quvurga alohida ishlaganda har bir nasosning ish tartibi A nuqta bilan belgilansa, birgalikda ishlash davri uchun umumiy ish tartibi, har birining ish tartibi va ularning talab etiladigan quvvatini aniqlang.



4.6-rasm (4.27-masala uchun)

**4.28-masala.** Ikki bir-biriga yaqin joylashgan har xil turdagi *I* va *II* nasoslar parallel ulangan (4.7-rasm).

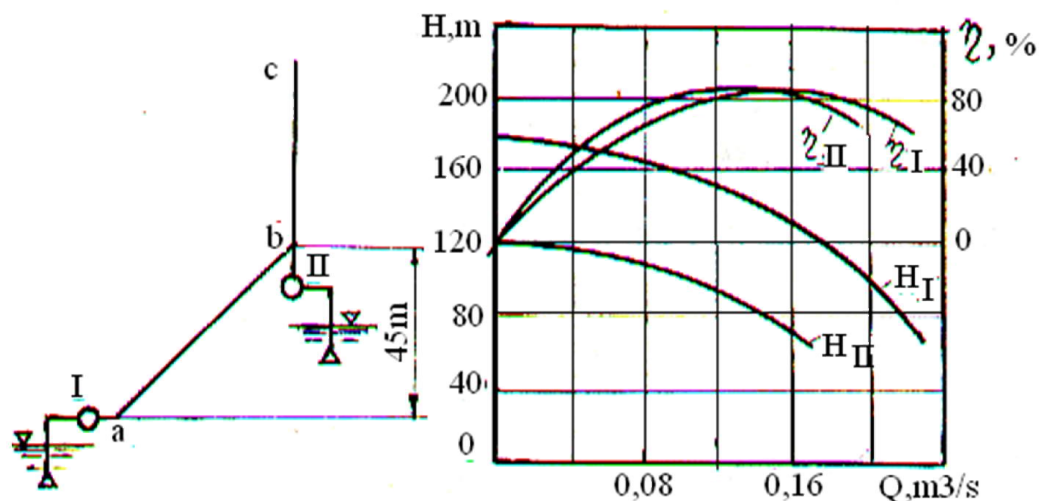
Agar *II* nasos geodezik ko‘tarish balandligi  $H_g=40$  m teng bo‘lgan quvurga suv haydaganda ish tartibi *A* nuqta bilan belgilansa, ikkalasi birga ishlash davri uchun umumiy ish tartibi, har birining ish tartibi va ularning talab etiladigan quvvatini aniqlang.



**4.7-rasm (4.28-masala uchun)**

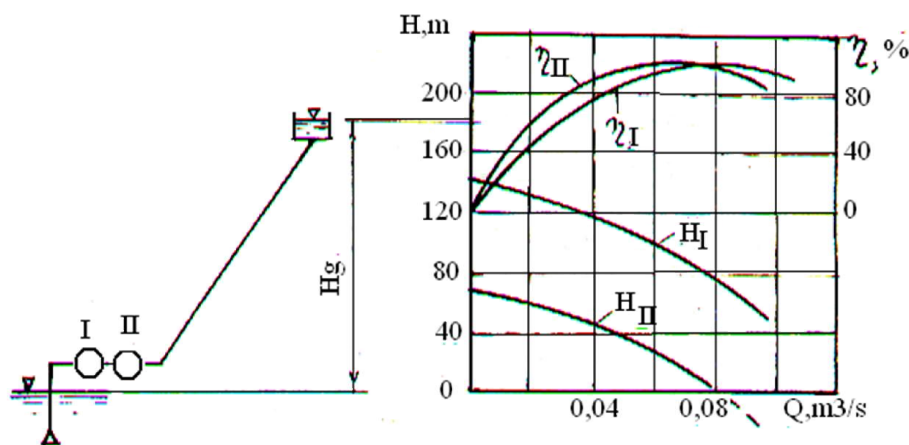
**4.29-masala.** Ikkita bir-biridan uzoq joylashgan har-xil belgidagi markazdan qochma nasoslar parallel ishlamoqda. Bog‘lovchi *ab* quvurning geodezik ko‘tarish balandligi  $H_{g,ab}=45$  m va o‘zgarmas koeffitsienti  $R_{t,ab}=1850$  (4.8-rasm).

Ikkala nasos birgalikda geodezik ko‘tarish balandligi  $H_{g,bc}=20$  m va  $R_{t,bc}=695$  ga teng bo‘lgan *bs* quvurga suv haydash davridagi umumiy ish tartibi, har birining ish tartibi va ularning talab etiladigan quvvatini aniqlang.



4.8-rasm (4.29-masala uchun)

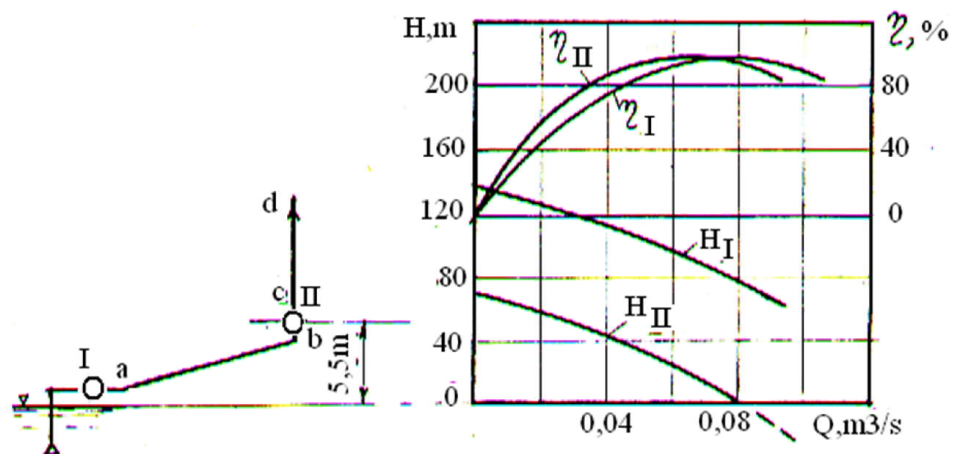
**4.30-masala.** Ikkita bir-biriga yaqin joylashgan har xil turdagi nasoslar ketma-ket ulangan (4.9-rasm). Ikkalasi birgalikda geodezik ko‘tarish balandligi  $H_g=180\text{ m}$  va o‘zgarmas qiymati  $R_t=950$  ga teng truboprovodga suv haydash davridagi umumiy ish tartibini aniqlang.



4.9-rasm (4.30-masala uchun)

**4.31-masala.** Ikkita bir-biridan uzoqda joylashgan markazdan qochma nasoslar ketma-ket ulangan (4.10-rasm). Bog‘lovchi  $ab$  truboprovodning geodezik ko‘tarish balandligi  $H_{g,ab}=55\text{ m}$ , va o‘zgarmas koeffitsienti  $R_{t,ab}=1150$ .

Nasos qurilmasi geodezik ko‘tarish balandligi  $N_{g,sd}=62\text{ m}$  va o‘zgarmas koeffitsienti  $R_{t,sd}=750$  bo‘lgan  $sd$  truboprovodga suv haydaganda ularning ish tartibi qanday bo‘lishini aniqlang.



4.10-rasm (4.31-masala uchun)

**4.32-masala.** Diametri  $d_1=800 \text{ mm}$  va uzunligi  $L_1=1300 \text{ m}$  bo'lgan bosimli truboprovodga ulangan xarakteristikasi 1-jadvalda keltirilgan aylanish chastotasi  $n=730 \text{ ay/min}$  bo'lgan markazdan qochma 32D-19 belgidagi nasosning suv haydashini orttirish uchun diametri  $d_2=600 \text{ mm}$  va uzunligi  $L_2=1000 \text{ m}$  ga teng parallel quvurga ulangan.

1-jadval

|            |    |     |      |      |      |      |
|------------|----|-----|------|------|------|------|
| $Q, l/s$   | 0  | 500 | 1000 | 1305 | 1500 | 1807 |
| $N, m$     | 44 | 40  | 36   | 33   | 30,5 | 26   |
| $\eta, \%$ | 0  | 4,3 | 69   | 78   | 81   | 60   |

Agar geodezik ko'tarish balandligi  $H_g=15 \text{ m}$  ga teng bo'lsa, nasosning suv haydashi kanchaga ortishini aniqlang.

*Eslatma:* 1. So'rish truboprovodidagi bosim isroflari va mahalliy qarshiliklarga sarf bo'ladigan bosim isroflari hisobga olinmaydi.

## V-BOB. VENTILYATORLAR

### 5.1.Ventilyatorning asosiy parametrlari

*Ventilyatorlar* – havo va gazlarni uzatish uchun qo'llaniladigan mashinalar bo'lib, ularning asosiy ko'rsatkichlaridan biri bosim oshirish darajasi, ya'ni mashinadan chiqayotgan gaz (havo) bosimining ( $p_2$ ) mashinaga uzatiladigan gaz (havo) bosimiga ( $p_1$ ) nisbati hisoblanadi:

$$\varepsilon = \frac{p_2}{p_1}$$

Ventilyator ishini belgilovchi parametrlari, so'rish balandligi  $H$ , to'liq bosimi  $p$ , hajmiy unumdorligi  $Q$ , to'liq FIK, statik FIK, quvvati  $N$  lardir. Valning aylanishi chastotasi va uzatilgan gazning harorati o'zgarishi bilan, hamma parametr miqdorlari ham o'zgardi. Ventilyator ishini samaradorligini to'liq FIK bilan baholash, yetarli darajasida bo'lmaydi. U yaratadigan statik bosimni statik FIK bilan baholanadi.

Demak ventilyatorlar ishi ikkita FIK bilan baholanadi:

$$\eta_{st} = \frac{\rho Q g H_{st}}{1000N} = \frac{Q p_{st}}{1000N} \quad (5.1)$$

bunda,  $\eta_{st} < \eta$ , taxminan  $\eta_{st} = (0,7 \div 0,8) \eta$  gacha bo'ladi. Berilgan tizimda ishlaydigan ventilyatorni tanlashda asosan ventilyator yaratadigan maksimal unumdorlik va so'rish balandliklar e'tiborga olinadi.

Ventilyator tanlashda xarakteristikalar diagrammasidan foydalanish mumkin. Yuqorida keltirilgan  $\eta_{st}$  va  $\eta$  ning ifodalari orqali FIK ning optimal qiymati  $\eta_{max}$ , ma'lum bo'lganda ventilyatorning quvvati aniqlanadi. Ventilyatorni harakatga keltiruvchi yuritkichni quvvati, ish rejimining o'zgarishini, ventilyatorning FIK ning kamayishini, izolyatsiyasini eskirishini hisobga olib zaxira bilan qabul qilinadi:

$$N_{yur} = m \frac{\rho Q g H}{1000 \eta \eta_{uz}} = m \frac{Q p}{1000 \eta \eta_{uz}} \quad (5.2)$$

bunda:  $m$  – quvvatning zaxira koeffitsenti,  $m = 1,05 \div 1,2$  ventilyator quvvati kamayganda,  $m$  ning qiymati oshadi, ventilyator vali bilan yuritkich vali ulanishining FIK i, ular bevosita ulanganda  $\eta_{uz} = 1$ .

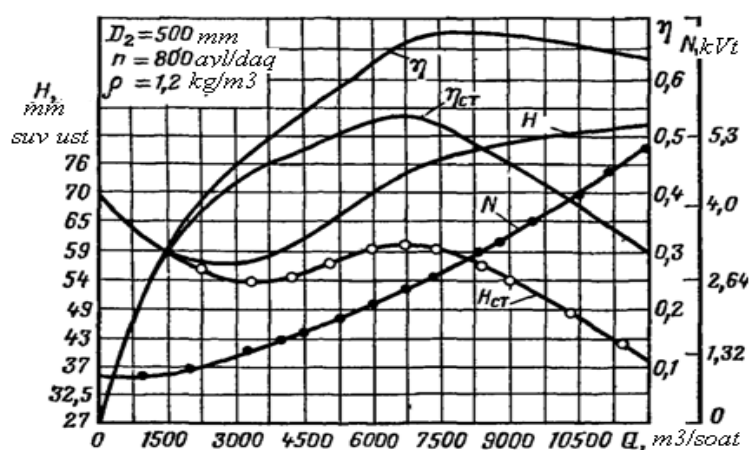
Agarda ventilyatorga gaz oqimining kirish ko'rsatkichlari  $p_{1st}$  va  $c_1$ , chiqish ko'rsatkichlari esa  $p_{2st}$  va  $c_2$  bo'lsa ventilyator hosil qiladigan to'liq bosimi quyidagicha aniqlanadi:

$$p = p_{2st} - p_{1st} + \rho \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \quad (5.3)$$

### Markazdan qochma ventilyatorlarning xarakteristikasi va rostlash usullari

Ventilyatorning xarakteristikalari deb, grafik ko'rinishida beriladigan ventilyatorning to'liq bosimini, iste'mol qiladigan quvvatni va FIK larning, ventilyator unumdorligiga bog'liqligiga aytiladi. Standart sharoiti va sarf koeffitsienti  $\varphi=50\%$  lar uchun qurilgan xarakteristikalarni haqiqiy xarakteristikalariga o'tkazishda quyidagilarni nazoratga olishi kerak: unumdorlik, so'rish balandligi (bosim) va FIK larni o'zgarmas, valdagi bosim bilan quvvatlar esa ventilyator uzatadigan gaz zichligiga to'g'ri proporsional o'zgaruvchan, ya'ni:

$$p = p_0 \frac{\rho}{1,2} \quad va \quad N = N_0 \frac{\rho}{1,2} \quad (5.4)$$



5.1-rasm.  $n = \text{const}$  bo'lganda ventilyatorning o'lchovli xarakteristikasi

Ventilyator xarakteristikalari orasida eng muhimi, bosimni unumdorlikka bog'liqligini belgilovchi xarakteristikasidir.

Ventilyatorning o'lchamsiz xarakteristikalari quyidagilar bo'yicha quriladi:

1) unumdorlik koeffitsienti:

$$\bar{Q} = \frac{AQ}{\pi D_2^2 u_2} \quad (5.5)$$

2) bosim koeffitsienti:

$$\bar{p} = \frac{p}{\rho u_2^2} \quad (5.6)$$

3) quvvat koeffitsienti:

$$\bar{N} = \frac{AN}{\rho D_2^2 u_2^3} \quad (5.7)$$

## 5.2. VENTILYATORLARNI ISHLATILISHIGA OID MASALALAR.

Ventilyator yaratadigan dinamik bosimini aniqlovchi ifoda:

$$p_{din} = \frac{\rho v^2}{2} \quad (5.8)$$

Bunda ventilyatordan chiqish tezligi :

$$v = \left( \frac{2p_{din}}{\rho} \right)^{0,5} \quad (5.9)$$

Ventilyatordan chiqish teshigining yuzasi quyidagicha aniqlanadi:

$$F = \frac{Q}{v} \quad (5.10)$$

Agarda ventilyatordan chiqish teshigi aylanma shaklida bo'lsa, bunda uning diametrik:

$$D = \left( \frac{4F}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.11)$$

kvadrat shaklida bo'lsa, bunda

$$A = (F)^{\frac{1}{2}} \quad (5.12)$$

Ventilyator yaratadigan to'liq bosimining aniqlovchi ifodasi:

$$p = p_{tort} + p_{bosim} + \frac{\rho v^2}{2}, \quad (5.13)$$

bunda  $p_{tort}$  – tortuvchi quvurdagi bosim;  $p_{bosim}$  - bosimli quvurdagi bosim.  
ventilyator havoni bevosita atmosferadan tortib olsa ( $p_{tort}=0$ ) bunda

$$p = p_{bosim} + \frac{\rho v^2}{2}$$

bosimli quvur bo'lmagan holda ( $p_{bosim}=0$ )

$$p = p_{tort} + \frac{\rho v^2}{2}$$

tortuvchi va bosimli quvurlar bo'lmagan holda  $p_{bosim}=0$ ,  $p_{tort}=0$

$$p = \frac{\rho v^2}{2}$$

Ventilyatordagi privod va podshipniklarning mexanik qarshiliklarni hisobga oluvchi umumiy foydali ishlatish koeffitsientini aniqlovchi ifoda:

$$\eta_{um} = \eta_m \eta_p \eta_{uz} \quad (5.14)$$

bunda  $\eta_m$  –mexanik yuqolishlarni hisobga olinmagan holdidagi ventilyatorning f.i.k.;  $\eta_p$  - 0,95÷0,97 podshipnik holatini hisobga oluvchi f.i.k.;  $\eta_{uz}$  – 0,90÷0,95 uzatish turini hisobga oluvchi f.i.k.

Agarda ventilyatorning ishchi gildiragi dvigatel vali bilan bir o'qda joylashgan holda  $\eta_p=1$ ;  $\eta_{uz}=1$  ga teng bo'ladi.

Agarda ventilyatorning ishchi gildiragi dvigatel vali bilan birlashtiruvchi mufta orqali ulangan holda  $\eta_{uz}=1$  ga teng bo'ladi.

Dvigatelning hisobiy quvvati (ventilyator dvigatelga bevosita ulangan holda)

$$N = k(pQ/3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{uz}) \quad (5.15)$$

yoki

$$N = k(gHQ/3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{uz})$$

bunda,  $k$  – quvvatning zahira koeffisienti.

### 5.3. VENTILYATOR KO'RSATKICHLARINI HISOBLASH

**5.1- masala.** Quyidagi berilishlar bo'yicha ventilyatorning chiqish kesimini

o'lchamlari aniqlansin:  $Q = \frac{43000 \text{ m}^3}{\text{soat}}$ ,  $p = 1000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ .

**Yechish.**

$p_{\text{din.}} = 0,3r = 0,3 \cdot 1000 = 300 \text{ N/m}^2$  teng deb qabul qilinadi. Ventilyatordan chiqish tezligi

$$v = \left( \frac{2p_{\text{din}}}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{2 \cdot 300}{1,2} \right)^{\frac{1}{2}} = 22 \text{ m/s}$$

bunda  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$  – standart sharoitdagi havoning zichligi.

Ventilyatordan chiqadigan havoning tezligini kamaytirish uchun diffuzor urnatiladi.

Ventilyatordan chiqish kesimining yuzasi

$$F = \frac{Q}{v} = \frac{43000}{3600 \cdot 22} = 0,55 \text{ m}^2.$$

**Javob:**  $0,55 \text{ m}^2$ .

**5.2 – masala.** Quyidagi berilishlar bo'yicha ventilyatorning chiqish kesimini o'lchamlari aniqlansin:  $Q = 38000 \text{ m}^3/\text{soat}$ ,  $p = 1000 \text{ N/m}^2$ .

**Javob:**  $0,48 \text{ m}^2$ .

**5.3 -masala.**Quyidagi berilishlar bo'yicha ventilyatorning chiqish kesimini o'lchamlari aniqlansin:  $Q = 25000 \text{ m}^3/\text{soat}$ ,  $p = 1100 \text{ N/m}^2$ .

**Javob:**  $0,25 \text{ m}^2$

**5.4- masala.** Havoni ist'emolchilarga uzatishiga ventilyator tanlansin. Uzatiladigan havo miqdori  $Q = 8,4 \text{ m}^3/\text{s} = 30000 \text{ m}^3/\text{soat}$ ; havo xarorati  $t = 100^\circ\text{C}$ ; tarmoqdagi yo'qotilishlar yig'indisi -  $1000 \text{ N/m}^2 = 100 \text{ mm suv ust.}$ ; barometrik bosim:  $p_1 = 0,97 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 745 \text{ mm sim.ust.}$

**Yechish.**

Ventilyator tanlash grafigi  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$  ga teng bo'lgan havo uchun tuzilgan. hisobiy bosim bunda

$$p = \frac{p_0 T_1}{T_2} \cdot \frac{p_a}{p_1} = \frac{1 \cdot (100 + 273)}{(20 + 273) \cdot (0,98 \cdot 10^5) \cdot (0,97 \cdot 10^5)} = 1330 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

Hisoblangan bosimdan , grafikdan (6 ilova) BPC № 8;  $p = 650 \text{ ayl./min}$ ;  $\eta = 0,56$ , markali ventilyator tanlanadi. Gildirak diametri  $D = 0,68 \text{ m}$ .

Ventilyator quvvati

$$N = \frac{pQ}{1000\eta} = \frac{1330 \cdot 8,4}{1000 \cdot 0,56} = 19,5 \text{ kVt}$$

Dvigatel quvvati ( $\eta = 0,85$ , zahira miqdori 10% tashkil yetadi)

$$N_{dv} = 19,5 \cdot \left( \frac{1,1}{0,95} \right) = 25 \text{ kVt}.$$

Aylanma tezligi

$$V = \frac{\pi D n}{60} = 3,14 \cdot 0,8 \cdot 65060 \approx 26 \text{ m/s}$$

**5.5 -masala.** Unumdorligi  $3500 \text{ m}^3/\text{soat}$ , to'liq f.i.k. 0,55,  $p = 1500 \text{ N/m}^2 = 150 \text{ mm suv ust}$ . Bosimda ishlayotgan ventilyatorni, 10% zahirali elektrodvigatelning quvvati aniqlansin.

**Javob:**  $N_{dv} = 28,5 \text{ kVt}$ .

**5.6- masala.** O'rtacha bosimli markazdan qochma EVR № 4 tipli, unumdorligi  $9000 \text{ m}^3/\text{soat}$ , aylanish chastotasi  $n = 1500 \text{ ayl./min}$  ga teng bo'lgan ventilyator  $p = 1100 \text{ N/m}^2$  bosimni yaratadi. Ventilyator quvvati  $N_v = 5,5 \text{ kVt}$  bo'lganda uning f.i.k. aniqlansin.

**Javob:**  $\eta = 0,49$ .

**5.7- masala.** Qozon agregatdan  $t = 190^\circ\text{C}$  xaroratli,  $80000 \text{ m}^3/\text{soat}$  miqdorda tutun gazlarni chiqarishiga tutuntortgich (dimosos) tanlansin. Gaz yo'lini to'lik qarshiligi  $p = 1100 \text{ N/m}^2 = 110 \text{ mm suv ust.}$ , tutuntortgichning f.i.k.  $\eta = 0,55$

bo'lganda, tutuntortgich validagi quvvati, unumdorligi va standart sharoitdagi ( $p=1 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ ,  $t=20^\circ\text{C}$ ,  $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$ ) bosimlar farqi aniqlansin.

**Javob:**  $Q= 80000 \text{ m}^3/\text{soat}$ ;  $p=1700 \text{ N/m}^2$ ;  $N_v=43,6 \text{ kVt}$ .

## VI-BOB. KOMPRESSOLAR.

### 6.1. KOMPRESSOLARNI HISOBLASH.

**Kompressor** - energetik qurilma yoki mashina hisoblanib, bosimni oshirish hamda gaz yoki gaz aralashmalarini aralashtirish uchun qo'llaniladi.

#### Asosiy parametrlar.

Kompressor ishini xarakterlovchi asosiy kattaliklar quyidagicha:

- hajmiy unumdorlik  $V$  – kompressor qurilmasidan chiqayotgan gazning hajmiy sarfi, u quyidagicha aniqlanadi:

$$V = \frac{m}{\rho_1} \quad (6.1)$$

bu yerda  $m$  – kompressor qurilmasining massaviy unumdorligi, ya'ni kompressor qurilmasidan chiqayotgan gazning massaviy sarfi;  $\rho_1$  – so'rish sharoitida gazning zichligi;

- boshlang'ich  $p_1$  va oxirgi  $p_2$  bosimlar – kompressor qurilmasiga kirishdagi va undan chiqishdagi bosim (so'rish va haydash bosimi);

- bosimlar nisbati (oldingi atama – siqish darajasi):

$$\beta = \frac{p_2}{p_1} \quad (6.2)$$

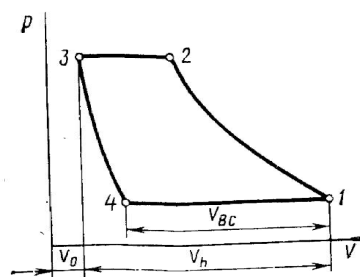
$\beta \leq 1,1$  bo'lganda kompressor qurilmalari ventilyator deb ataladi, ular katta miqdordagi gazni siqmasdan aralashtirish uchun qo'llaniladi.  $1 < \beta < 3,0$  bo'lganda gaz purkovchi qurilma deb nomlanadi. Kompressor qurilmalarida bosimlar nisbati  $\beta > 3$  bo'lishi kerak.

- dvigatel valining aylanish chastotasi  $n$  va quvvati  $N_{yu}$ .

### 6.2. PORSHENLI KOMPRESSORLAR.

Kompressor — turli gazlarni aralashtirish va siqish uchun mo'ljallangan qurilma bo'lib, porshenli, rotatsion, markazdan qochma va o'qli bo'ladi.

**Porshenli kompressorlar.** Bir pogʻonali porshenli kompressorning nazariy ish jarayoni  $p$ — $V$  koordinatalarida tuzilgan indikator diagrammasi koʻrinishida tasvirlangan (6.1—rasm.)



**6.1—rasm.**

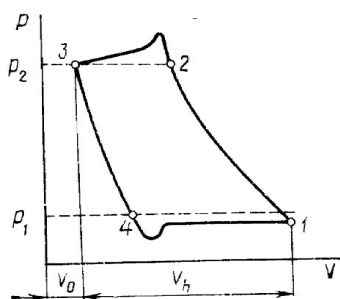
Soʻrish hajmi  $V_{soʻr}$  ning silindr ishchi hajmiga nisbati kompressor pogʻonasining hajmiy F.I.K deb ataladi.

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (6.1)$$

bu yerda  $\text{---}$  — zararli maydonning nisbiy hajmi;  $\text{---}$  va  $\text{---}$  — mos ravishda silindrning zararli va ishchi hajmlari;  $\text{---}$  — bosimning ortish darajasi;  $m$  — zararli maydonda qoladigan gaz kengayishining politropik koʻrsatkichi. Bosim ortish darajasi deganda pogʻonadan chiqishdagi bosimning pogʻonaga kirishdagi bosimga nisbati tushuniladi.

$$\text{---} \quad (6.2)$$

Bir pogʻonali porshenli kompressorning haqiqiy ish jarayoni indikatorli diagramma (6.2—rasm) da tasvirlangan boʻlib, nazariy ish jarayonidan asosan kirish va bosim



**6.2—rasm.**

bilan chiqarish klapanlarida yoʻqotishlar mavjudligi bilan farq qiladi.

Kompressorning haqiqiy uzatishi  $V$  ning nazariy uzatish  $V_n$  ga nisbati kompressorning uzatish koeffitsiyenti deyiladi.

$$\eta_V = \frac{V}{V_n} \quad (6.3)$$

Kompressorning nazariy uzatishi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$V_T = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)(Sn), \quad (6.4)$$

bu yerda  $D$  – silindrning diametri, m;  $S$  – porshenning harakatlanish yo'li, m;  
 $n$  – valning aylanish chastotasi (ayl/s)

Kompressorning uzatish qiymatini quyidagi formula bo'yicha topish mumkin

$$\eta_V = \eta_{ayl}\eta_p\eta_T\eta_t \quad (6.5)$$

Bu yerda  $\eta_p$ — so'rish tizimining qarshiligi oqibatida so'rish davomida gaz bosimining pasayishini ifodalovchi koeffitsient;  $\eta_T$  – silindr devorlari bilan to'qnashib qizishi natijasida gaz haroratining ortishini ifodalovchi koeffitsient;  $\eta_t$ —so'rish klapanlaridagi zich bo'lmagan tirqish joylardan gaz sizib chiqishini ifodalovchi koeffitsient.

Agar so'rilayotgan gazning bosimi  $P_0$  va harorati  $T_0$ , shuningdek, silindrdagi gazning siqish boshidagi parametrlari  $P_1$  va  $T_1$  ma'lum bo'lsa, unda  $\eta_p$  va  $\eta_t$  koeffitsientlari quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$\eta_p = \frac{p_1}{p_0}; \quad (6.6)$$

$$\eta_t = \frac{T_0}{T_1}; \quad (6.7)$$

So'rish klapanlaridagi zich bo'lmagan tirqish joylardan gazn sizib chiqishini ifodalovchi koeffitsient

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{G_t}{G_{so'r}}\right), \quad (6.8)$$

Bu yerda  $\left(\frac{G_t}{G_{so'r}}\right)$  so'rilayotgan gazning va gazning siqish va qizdirib chiqarish natijasida gazning sizib chiqishga sarfi kg/s.

Kompressorning massaviy uzatish qiymati kg/s quyidagi formulada orqali aniqlanadi

$$M = \frac{p_1 V}{RT_1} \quad (6.9)$$

bu yerda  $p_1$  — soʻrish bosimi, Pa;  $V$ —soʻrish bosimida haqiqiy uzatish,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  
 $R$  – gaz doimiysi  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;  $T_1$  – gazning soʻrishdagi absolyut harorati, K.

Izotermik siqilishda kompressorga beriladigan nisbiy quvvat (kVt)

$$N_{iz} = p_1 V \ln \frac{\lambda}{10^3} = p_1 V \ln \left( \frac{p_2}{p_1} \right) / 10^3 \quad (6.10)$$

Adiabatik siqilishda kompressorga beriladigan nisbiy quvvat (kVt)

$$N_{ad} = \left[ \frac{k}{(k-1)} \right] \left( \frac{p_1 V}{10^3} \right) \left( \lambda^{\frac{(k-1)}{k}} - 1 \right) \quad (6.11)$$

bu yerda  $k$ —adiabatik koʻrsatkich.

Politropik siqishda kompressorga beriladigan nisbiy quvvat (kVt).

$$N_{pol} = \left[ \frac{m}{(m-1)} \right] \left( \frac{p_1 V}{10^3} \right) \left( \lambda^{\frac{(m-1)}{m}} - 1 \right) \quad (6.12)$$

bu yerda  $m$ — politropik koʻrsatkich

Kompressorga sovutish bilan beriladigan samarali quvvat (kVt)

$$N_e = \frac{N_{iz}}{\eta_{s,iz}} \quad (6.13)$$

bu yerda  $\eta_{e,iz}$  kompressorning samarali izotermik F.I.K.

$$N_e = \frac{N_{ad}}{\eta_{s,ad}} \quad (6.14)$$

bu yerda  $\eta_{s,ad}$  kompressorning samarali adiabatik F.I.K.

Kompressorning samarali F.I.K.

$$\eta_{s,iz} = \eta_{iz} \eta_m; \quad \eta_{s,ad} = \eta_{ad} \eta_m; \quad (6.15)$$

bu yerda  $\eta_{iz}$  va  $\eta_{ad}$  mos ravishda kompressorning indikatorli izotermik va adiabatik F.I.K.  $\eta_m$ — kompressorning mexanik F.I.K. ( $\eta_m=0,85 \dots 0,95$ ).

Porshenli kompressorning ichki yoki indikatorli quvvati (kVt)

$$N_i = p_i V_h \frac{n}{10^3} \quad (6.16)$$

Bu yerda  $p_i$ —oʻrtacha indikator bosimi, Pa;  $V_h$  - silindirni ishchi hajmi,  $\text{m}^3$ ;  
 $n$ -valning aylanish chastotasi ayl /s

Kompressorning samarali quvvati

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_m} \quad (6.17)$$

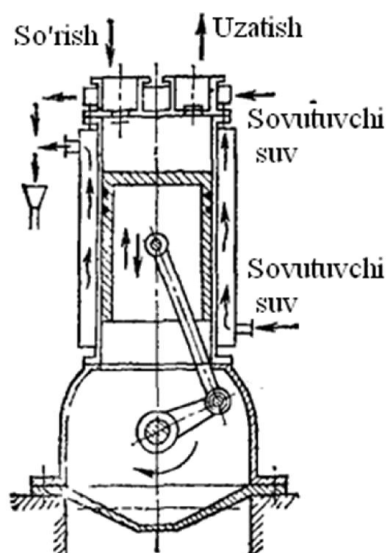
Ko'p pog'onali kompressorning har bir pog'onasida bosim ortishi darajasini formula orqali topish mumkin

$$\frac{p_z}{p_1} = \psi^z \quad (6.18)$$

bu yerda  $z$  - kompressorning pog'onalari soni;  $p_z$  - oxirgi pog'onada gazning chiqishdagi bosimi, Pa;  $\psi = 1,1 \dots 1,15$  - pog'onalar orasidagi bosimning yo'qotilishini ifodalovchi koeffitsient.

Kompressorlarning parametrlari:

$Q$ -unumdorlik,  $p_1$  va  $p_2$  – boshlang'ich va oxirgi bosimlar.  $\varepsilon = p_2 / p_1$  - bosim oshirish darajasi;  $n$ -valning aylanish chastotasi va  $N$  kompressor valining quvvati.



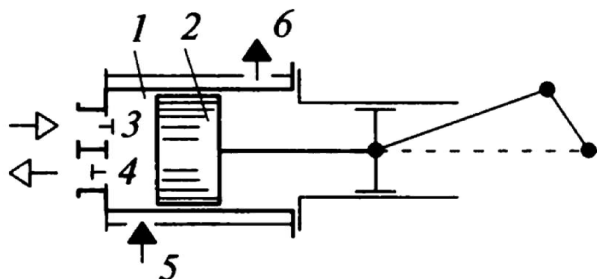
**6.3 – rasm. Porshenli kompressorning konstruktiv sxemasi**

**Porshenli kompressorda**, (6.3- rasm) porshenning ilgarilanma – qaytma harakati natijasida tortish, siqilish, haydab chiqarish fazalari vujudga keladi. Bunday kompressorda porshen yo'li va diametri kichik bo'lib, umumdorligi kichik bo'lgan holda, katta bosim yaratadi.

Porshenli kompressorlar oddiy va ikki harakatli turlarga bo'linadi.

Oddiy harakatli porshenli kompressorlarda (6.3-rasm) porshen 2 o'ng tomonga harakatlanganda gaz silindr 1 ga so'ruvchi klapan 3 orqali so'riladi. Porshen chap tomonga harakatlanganda so'rish klapani yopiladi va gaz silindrda

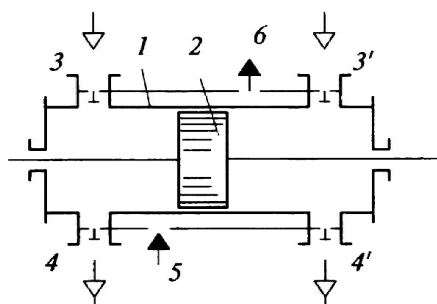
zarur oxirgi bosimgacha siqiladi, keyin haydash klapani 4 ochiladi va gaz haydash liniyasiga chiqarib yuboriladi. Porshenning qaytma-ilgarilanma harakati krivoshipshatun (tirsakli val) yordamida hosil qilinadi. Kompresor qurilmasining silindri sovityuvchi suv (suvning kirishi 5 va suvning chiqishi 6) yordamida sovityiladi.



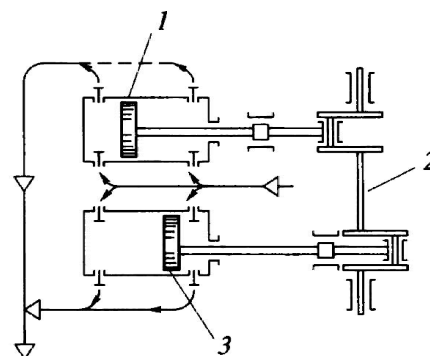
**6.4-rasm.** Oddiy harakatli porshenli kompressor.

1-silindr; 2-porshen; 3, 4-so'rish va chiqarish klapani;

5, 6-sovityuvchi suvning kirishi va chiqishi.



**6.5-rasm.** Ikki harakatli porshenli kompressor qurilmasi.



**6.6-rasm.** Silindri ikki harakatli ikki silindrli kompressor qurilmasi.

Ikki harakatli porshenli kompressorlarda (6.5-rasm) porshen 2 o'ng tomonga harakatlanganda gaz chap klapan 3 orqali silindrning chap qismiga so'riladi, bunda bir vaqtning o'zida silindrning o'ng qismiga gaz siqiladi va undan o'ng klapan 4' orqali chiqarib yuboriladi. Porshen chapga harakatlanganda gaz o'ng klapan 3' orqali silindrning o'ng qismiga so'riladi, bunda bir vaqtning o'zida silindrning chap qismida gaz siqiladi va chap klapan 4 orqali haydash liniyasiga chiqarib yuboriladi.

6.6-rasmda ikki silindrli kompressor qurilmasi ko'rsatilgan, bunday kompressor qurilmalarida bir vaqtning o'zida ikkita silindrda gazni so'rish va ikkita silindrdan gazni chiqarib yuborish sodir bo'ladi. Tirsakli val 2 ning aylanishida

porshenlar 1 va 3 o'zaro teskari yo'nalishda harakatlanadi, natijada mashinaning dinamik og'irligi ortadi.

Kompressorning ohirgi bosimiga  $p_2$  boshlangich bosimning  $p_1$  nisbati bosim ortish darajasi deyiladi

$$\varepsilon = \frac{p_2}{p_1} \quad (6.19)$$

Agarda silindrlar soni “z” bo’lsa, bunda

$$\varepsilon = \left( \frac{p_{z+1}}{p_1} \right)^z \quad (6.20)$$

Oddiy harakatli kompressorning nazariy unumdorligi

$$Q = FSn \quad (6.21)$$

Oddiy harakatli kompressorning haqiqiy unumdorligi

$$Q = FSn\eta_v \quad (6.22)$$

Ikkilamchi harakatli kompressorning haqiqiy unumdorligi

$$Q = (2F - f)Sn\eta_v \quad (6.23)$$

bunda F- porshen yuzasi,  $m^2$ ; f- porshen shtokining yuzasi,  $m^2$ ; S- porshen qadamining uzunligi, m; n- bir daqiqada ikkilamchi harakatlarning soni;  $\eta_v$ -kompressor uzatishining koeffitsienti.

Porshenning o’rtacha tezligi

$$c = \frac{Sn}{30} \quad (6.24)$$

Politropik siqilish jarayonida kompressorni harakatga keltirish uchun quvvat sarfi:

$$N = \left[ \left( \frac{n}{n-1} \right) p_1 V_1 \left\{ (p_2/p_1)^{\frac{(n-1)}{n}} \right\} \right] / 1000 \eta_{mex} \quad (6.25)$$

Elektrodvigatelning quvvati:

$$N_{dv} = \frac{kN_k}{\eta_{uz}} \quad (6.26)$$

bunda  $k=1,1\div 1,2$ - quvvatning zahira koeffitsienti;  $\eta_{uz}$ - uzatishning f.i.k.

Oddiy harakatli kompressorning indikatorli quvvati indikator diagramma bo'yicha aniqlanadi

$$N_i \frac{p_i F S n}{(1000 \cdot 60)} \quad (6.27)$$

bunda  $F$ - porshen yuzasi,  $m^2$ ;  $S$ - porshen qadami,  $m$ ;  $n$ - bir daqiqada ikkilamchi harakatlar soni;  $p_i$ - o'rtacha indikatorli bosim,  $N/m^2$ .

$$p_i = \frac{\Omega}{lm} \quad (6.28)$$

bunda  $\Omega$ - indikator diagrammaning yuzasi,  $mm^2$ ;  $l$ - indikator diagrammaning uzunligi,  $mm$ ;  $m$ - prujina miqiyosi,  $mm \cdot m^2/N$ .

Kompressor ist'emol etadigan quvvat

$$N_k = \frac{N_i}{\eta_{mex}} \quad (6.29)$$

**6.1- masala.** Ko'p pog'onali kompressor orqali  $160 \cdot 10^5 N/m^2$  bosimli havoni uzatilganda, pog'ona orasidagi bosimlar taqsimlanilishi aniqlansin.

**Yechish.**

Boshlangich bosimi  $p_1=1 \cdot 10^5 N/m^2$ , eng qulayli pog'onalar soni  $z = 4$  bo'lgani tufayli

$$\varepsilon = \sqrt[z]{\frac{p_{z+1}}{p_1}}$$

$$\varepsilon = \left( \frac{160 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} \right)^4 = 3,56$$

$$p_2 = p_1 \cdot \varepsilon$$

Demak, pog'ona orasidagi bosimlar quyidagicha taqsimlanadi

1 pog'ona –  $p_1=1 \cdot 10^5 N/m^2$ ;  $p_2=3,56 \cdot 10^5 N/m^2$ ;

11 pog'ona –  $p_2=3,56 \cdot 10^5 N/m^2$ ;  $p_3=12,6 \cdot 10^5 N/m^2$ ;

111 pog'ona –  $p_3=12,6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $p_4=45 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;

1V pog'ona –  $p_4=45 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $p_5=160 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;

**6.2-masala.** Ko'p pog'onali kompressor orqali  $140 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  bosimli havoni uzatilganda, pog'ona orasidagi bosimlar taqsimlanilishi aniqlansin.

**6.3-masala.** Ko'p pog'onali kompressor orqali  $180 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  bosimli havoni uzatilganda, pog'ona orasidagi bosimlar taqsimlanilishi aniqlansin.

**6.4-masala.** Ikkilamchi harakatli porshenli kompressorning unumdorligi aniqlansin. Bunda  $D=500 \text{ mm}$ ;  $S=800 \text{ mm}$ ;  $d=125 \text{ mm}$ ;  $n=90 \text{ ayl./min.}$ ;  $p_1=0,8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $p_2=1,6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $v_{ur.}=0,05$  ga teng.

**Yechish:**

Porshen yuzasi

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,196 \text{ m}^2;$$

Shtok kesimining yuzasi

$$f = \frac{3,14 \cdot 0,125^2}{4} = 0,012 \text{ m}^2$$

Hajmiy f.i.k.

$$\eta_0 = 1 - 0,05 \left( \left( \frac{1,6}{0,8} \right)^{\frac{1}{1,35}} - 1 \right) \approx 0,91$$

bunda  $\eta_v=0,91-0,04=0,87$ .

Demak ,kompressorning unumdorligi

$$Q = (2F - f)Sn\eta_v = (2 \cdot 0,196 - 0,012)0,8 \cdot 90 \cdot 0,87 = 25 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}.$$

**6.5-masala.** Ikkilamchi harakatli porshenli kompressorning unumdorligi aniqlansin. Bunda  $D=400 \text{ mm}$ ;  $S=600 \text{ mm}$ ;  $d=120 \text{ mm}$ ;  $n=90 \text{ ayl./min.}$ ;  $p_1=0,7 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $p_2=1,4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $v_{ur.}=0,04$  ga teng

**Javob:**  $Q = 12 \text{ m}^3/\text{min}$ .

**6.6- masala.** Ikkilamchi harakatli porshenli kompressorning unumdorligi aniqlansin. Bunda  $D=500 \text{ mm}$ ;  $S=800 \text{ mm}$ ;  $d=125 \text{ mm}$ ;  $n=90 \text{ ayl./min.}$ ;  $p_1=1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $p_2=1,8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $v_{ur.}=0,07$  ga teng

**Javob:**  $Q = 23 \text{ m}^3/\text{min}$ .

**6.7- masala.** Loyihalanadigan kompressor qurilmasidan  $p_2= 1,6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$   $V_1=45 \text{ m}^3/\text{min.}$ ;  $p_1=0,8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ , politropa ko'rsatkichi  $n=1,35$  parametrli gazni chiqarishiga, kompressor ishlatilishiga quvvat sarfi aniqlansin,  $\eta_{mex.}=0,9$ .

**Yechish.**

Kompressor ishlatilishiga quvvat sarfi quyidagicha aniqlanadi,

$$N_v = \frac{\frac{1,35}{1,35-1} 0,8 \cdot 10^5 \cdot 45 \left[ (1,6/0,8)^{\frac{1,35-1}{1,35}} - 1 \right]}{60 \cdot 1000 \cdot 0,9} \approx 50 \text{ kVt}$$

**6.8 -masala.** Loyihalanadigan kompressor qurilmasidan  $p_2= 1,8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$   $V_1=65 \text{ m}^3/\text{min.}$ ;  $p_1=0,8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ , politropa ko'rsatkichi  $n=1,30$  parametrli gazni chiqarishiga, kompressor ishlatilishiga quvvat sarfi aniqlansin,  $\eta_{mex.}=0,85$

**6.9-masala.** Havoda ishlaydigan porshenli kopressor kislorodni siqilishida qo'llaniladi. Kompressorning hajmiy unumdorligi, bosim oshirish darajasi o'zgarmagan holda elektrodvigatel quvvatining o'zgarishi aniqlansin.

**Javob.** Quvvat o'zgarmaydi.

**6.10- masala.** Unumdorligi  $Q=0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ , havoni  $1 \cdot 10^5$  dan  $8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  gacha siquvchi porshenli kompressorni elektryuritkichning quvvati (yuklamani oshirish zahirasi 15%) aniqlansin. Kompressorning to'liq izotermik f.i.k.  $\eta_{iz.}=0,65$ .

**Javob.**  $N_{dv.}=120 \text{ kVt}$

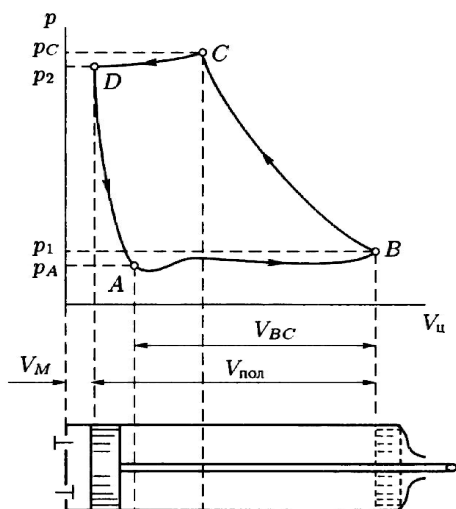
### 6.3. Kompessorning indikator diagramma.

Porshenli kompressorlarning ishi indikator diagramma yordamida aniqlanadi, ushbu diagrammada porshenli mashinaning silindridagi bosimi  $p$  ni uning o'zgaruvchan hajmi  $V_{sil}$  ga bog'liqligi ifodalanadi.

Chap chetki holatiga mos keluvchi D nuqta (6.4-rasmga qarang) olamiz, ma'lumki, haqiqiy kompressor qurilmasida hech qachon porshen silindr qopqog'iga zich bormaydi. Chap chetki holatda silindr qopqog'i va porshen orasidagi bo'shliq o'lik bo'shliq deb ataladi, uning hajmi  $V_o$ . O'lik bo'shliqning hajmi silindr ishchi (foydali) hajmining  $V_{foy}$  ulushlarida ifodalanadi:

$$V_o = \gamma V_{foy} \quad (6.30)$$

bu yerda  $\gamma = V_o / V_{foy}$  - o'lik bo'shliqning nisbiy hajmi.



6.7-rasm. Indikator diagramma.

O'lik bo'shliqda joylashgan gaz  $p_2$  bosimgacha siqiladi. Porshen chap chetki holatdan o'ngga harakatlanganda o'lik bo'shliqda joylashgan gazning kengayishi boshlanadi (DA jarayon). Bosim  $p_A$  qiymatgacha kamayadi va so'rish liniyasidagi  $p_1$  bosimdan ancha kichik bo'ladi. A nuqtada mos keluvchi porshenning holatida bosimlar farqi  $p - p_A$  ta'siri ostida so'rish klapani ochiladi

va gaz kompressorga kiritiladi. So'rish (AB) porshen o'ng chetki holatga yetgunga qadar davom etadi (B nuqta).

So'rilgan gazning hajmi:

$$V_{so'r} = \gamma_{to'l} V_{foy} \quad (6.31)$$

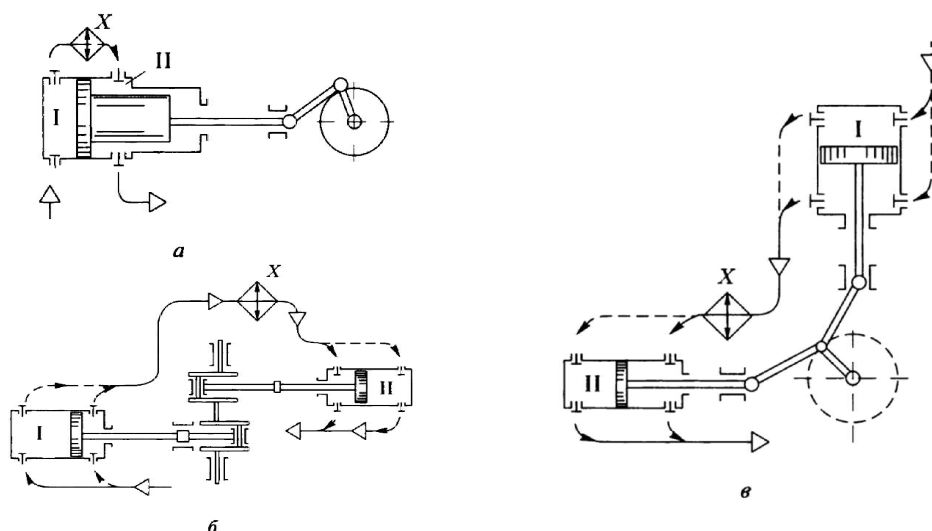
bu yerda  $\gamma_{to'l} = V_{so'r} / V_{foy}$  - kompressor qurilmasining hajmiy to'lish koeffisienti (hajmiy koeffisient).

Porshen o'ng chetki holatdan chapga harakatlanganda so'rish klapani yopiladi va gazni bosim liniyasidagi bosimdan bir necha marta yuqori bosimgacha siqilishi boshlanadi, bunda chiqarish klapani ochiladi (C nuqtada).

## 6.4. KO'P POG'ONALI PORSHENLI KOMPRESSORLAR.

Ikki pog'onali gorizontal kompressorlar bir silindrli porsheni pog'onali qilib tayyorlanadi (6.8, a -rasm). Dastlab gaz silindrda porshenning chap tomonida siqiladi, keyin sovitgich S orqali silindrdagi porshenning o'ng tomoniga o'tadi, u yerda kerakli bosimgacha siqiladi.

(6.8, b - rasm). Bundan tashqari silindrlarni V-simon, SH-simon shakllarda joylashtirish mumkin. 6.8, v – rasmda to'g'ri burchakli kompressor qurilmasi ko'rsatilgan. 6.8-rasmning hammasida rim raqamlari bilan kompressor qurilmasining pog'onasi ko'rsatilgan.



**6.8-rasm.** Ko'p pog'onali porshenli kompressorlar:  
a – porshen pog'onasi bo'yicha; b – qarama - qarshi; v – to'g'ri burchakli.

## 6.5. ROTORLI KOMPRESSORLAR.

**Plastinali rotatsion kompressorlar.** Kompressorning ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) nazariy uzatish qiymati quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$(6.32)$$

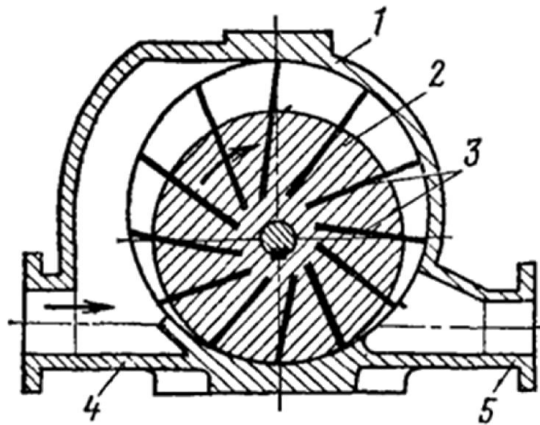
bu yerda  $e$ —eksentrisitet, m;  $l$ — rotorning uzunligi, m;  $D$ —korpusning ichki diametri, m;  $z$ —plastinalar soni;  $\delta$  — plastina qalinligi, m;  $n$ — valni aylanish chastotasi, ayl/s.

Kompressorning haqiqiy uzatish quvvati ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) quyidagi formuldan topiladi.

(6.33)

$\eta_v$ —kompressorning uzatish quvvati.

*Rotorli kompressorning* (6.9 - rasm) vali, reduktorsiz, harakatga keltiruvchi yuritkich vali bilan bevosita ulanib yengil va ixcham uskuna hisoblanadi.

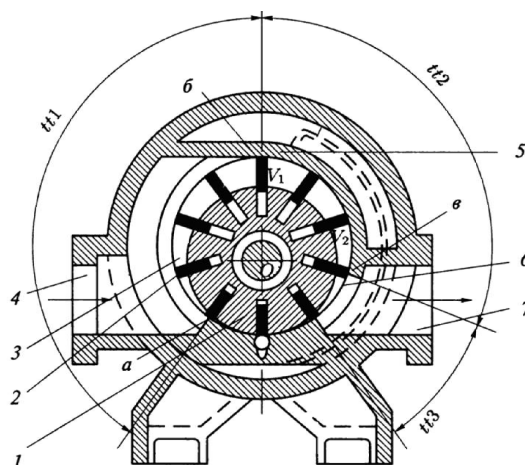


**6.9 – rasm. Rotorli kompressorning konstruktiv sxemasi**

1-nasos tanasi; 2-rotor; 3-plastinalar; 4-so'ruvchi quvur; 5-haydovchi quvur

Salmoqli rotor 2 aylanganda, enli pazllarda erkin harakatlanuvchi plastinalar 3 orqali parraklar oralig'iga gaz tortib olinadi va tortuvchi quvurdan 4 bosimli quvuriga 5, so'ngra quvur yo'llariga haydab chiqariladi.

Rotorli kompressorlar hajmiy kompressorlar sinfiga kiritiladi. Rotorli kompressorlar plastinali, suyuqlik-halqali, rotor-porshenli, vintli, shesternyali bo'lishi mumkin.

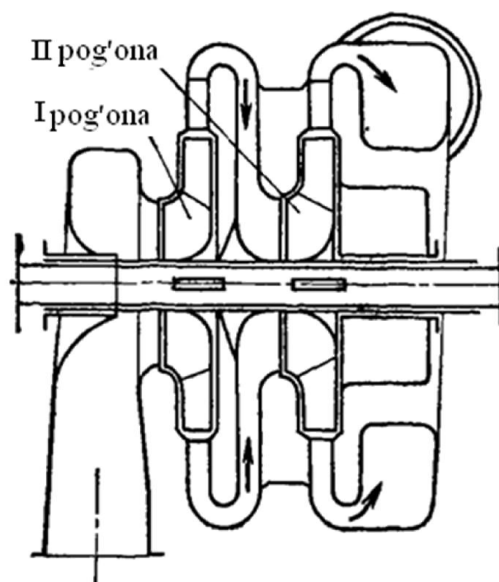


**6.10-rasm. Plastinali kompressor.**

6.10-rasmda rotorli plastinali kompressor ko'rsatilgan. Silindrik korpusda 5 valni ifodalovchi eksentrik o'rnatilgan rotor 7 aylanadi. Rotorda pazlar (yoriqlar)

mavjud bo'lib, ularga ishchi plastinalar 2 quyilgan bo'lib radial yo'nalishda erkin aralashadi. Rotor markazdan qochma kuch ta'siri ostida aylanganda plastinalar siljiydi va ularning uchlari korpusga qisiladi, bunda korpus va rotor orasidagi yarim oy shaklidagi bo'shliqda yopiq kameralar 1 hosil bo'ladi. Ushbu kameralarning hajmi rotorning aylanish yo'nalishida  $a$  dan  $b$  gacha kengayadi, bunda gazni so'rish sodir bo'ladi. Rotorning yana aylanishida ushbu kameraning hajmi  $b$  dan  $v$  gacha kamayadi, bunda gazni siqish sodir bo'ladi. Kameraning eng kichik hajmi  $b$  bo'lib, u orqali gaz bosim bilan haydash patrubkasi 7 ga kiradi.

## 6.6. MARKAZDAN QOCHMA KOMPRESSOR



### 6.11-rasm. Markazdan qochma kompressorning konstruktiv sxemasi

Markazdan qochma kompressor (6.11-rasm) harakati, markazdan qochma nasosga o'xshab harakat qiladi. Bunday kompressor vali yuritkich (elektryuritkich, bug' turbinali) vali bilan bevosita yoki kompressor valini aylanish chastotasini oshiruvchi, mexanik uzatishi orqali ulanib, kompressor o'lchamlarini, massasini va qiymatini kamaytiradi.

**Markazdan qochma kompressor.** Kompressorning adiabtik ko'rsatkichi quyidagi formula bilan aniqlanadi.

$$\eta_{ad} = \frac{\left( \lambda^{\frac{(k-1)}{k}} - 1 \right)}{\left( \lambda^{\frac{(k-1)}{k\eta_{pol}}} - 1 \right)} \quad (6.34)$$

bu yerda  $\eta_{pol}$  – sovutiladigan va sovutilmaydigan kompressorning oqib o'tuvchi qismining mukammalligini ifodalovchi politropik F.I.K.

Kompressorning samarali uzatish quvvati (kVt).

$$N_e = M(i_2 - i_1)/(\eta_{ad}\eta_m) \quad (6.35)$$

bu yerda  $(i_2 - i_1)$ — mos ravishda gazning kompressorning adiabatik siqishi oxiridagi va birinchi pog'ona g'ildiragining kurakchalariga kirishdagi entalpiyasi. kJ/kg ; M— kompressorning massaviy uzatishi kg/s.

**6.11- masala.** Bir pog'onali porshenli kompressor  $\lambda = 10$  bosim ortish darajasi va zararli maydonda qoluvchi gazning ko'rsatkichi  $m = 1,3$  politropik kengayishi bilan ishlayapti. Agar zararli maydonning nisbiy hajmi  $\sigma = 0,04$  so'rilayotgan gaz bosimining kamayishini ifodalovchi koeffitsient  $\eta_p = 0,975$ , gazning silindr devorlari bilan to'qnashib qizishi natijasida harorat oshishini ifodalovchi koeffitsient  $\eta_t = 0,96$  va gazning zich bo'lmagan joylardan sizib chiqishini ifodalovchi koeffitsient  $\eta_v = 0,98$  bo'lsa, kompressorning uzatish koeffitsienti aniqlansin.

**Javob:**  $\eta_v = 0,74$ .

**6.12- masala.** Bir pog'onali porshenli kompressor  $\lambda = 3,5$  bosim ortish darajasi va zararli maydonda qoluvchi gazning  $m = 1,1$  ko'rsatkichli politropik kengayishi bilan ishlayapti. Agar zararli maydonning nisbiy hajmi  $\sigma = 0,045$ , so'rilayotgan gazning parametrlari  $p_0 = 1 \cdot 10^5$  Pa va  $t_0 = 25$  °C, siqish boshidag parametrlar  $p_1 = 0,98 \cdot 10^5$  Pa va  $t_1 = 36$  °C so'rilayotgan havoning sarfi  $G_{so'r} = 0,12$  kg/s va tirqishdan chiquvchi havo sarfi  $G_{tir} = 0,0023$  kg/s bo'lsa, kompressorning hajmiy F.I.K. va kompressorning uzatish koeffitsienti aniqlansin.

**6.13- masala.** Bir pog'onali porshenli kompressor  $\lambda = 7$  bosim ortish darajasi va zararli maydonda qoluvchi gazning ko'rsatkichi  $m = 1,3$  politropik kengayishi bilan ishlayapti. Agar silindrning diametri  $D = 0,2$  m, porshenning harakatlanish yo'li  $S = 0,18$  m, valning aylanish chastotasi  $n = 900$  ayl/daq, zararli maydonning nisbiy hajmi  $\sigma = 0,05$ , so'rilayotgan gaz bosimining kamayishini ifodalovchi koeffitsient  $\eta_p = 0,92$  bo'lsa, kompressorning haqiqiy uzatishi aniqlansin.

**Javob:**  $V = 0,064 \text{ m}^3/\text{s}$

**6.14- masala.** Bir pog'onali bir silindri porshenli kompressor havoni  $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  dan  $p_2 = 3,5 \cdot 10^5$  gacha siqadi. Agar silindir diametri  $D = 0,2$  m porshenning harakatlanish yo'li  $S = 0,15$  m, valning aylanish chastotasi  $n = 16$  ayl/sek, zararli maydonning nisbiy hajmi  $\sigma = 0,045$ , zararli maydonda qoluvchi gaz kengayishining politropik ko'rsatkichi  $m = 1,1$  va so'rilishi davomida gaz bosimining kamayishini ifodalovchi koeffitsient  $\eta_p = 0,95$  bo'lsa, kompressorning haqiqiy uzatishi aniqlansin.

**Yechish:** Bosim ortishi darajasi quyidagi formuladan aniqlanadi (6.2):

$$\lambda = \frac{p_2}{p_1} = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} = 3,5$$

Kompressorning hajmiy F.I.K. (6.1) formula bo'yicha

$$\eta_{ayl} = 1 - \sigma (\lambda^{1/m} - 1) = 1 - 0,045 (3,5^{1/1,1} - 1) = 0,905$$

Kompressorning uzatish koeffitsienti (6.5) formuladan aniqlanadi.

$$\eta_v = \eta_{ayl} \eta_p = 0,905 \cdot 0,95 = 0,86$$

Kompressorning nazariy uzatishi — (6.4) formuladan:

$$V_{naz} = (\pi D^2 / 4) S n = (3,14 \cdot 0,2^2 / 4) 0,15 \cdot 16 = 0,075 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kompressorning haqiqiy uzatish koeffitsienti (6.3) formuladan:

$$V = V_{naz} \eta_v = 0,075 \cdot 0,86 = 0,0645 \text{ m}^3/\text{s}$$

**6.15- masala.** Bir pog'onali kompressor  $V = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$  havoni  $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bosimda so'rib olib, uni  $p_2 = 8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bosimgacha siqadi.  $m = 1,2$  politropik ko'rsatkichli

izotermik, adiabatik va politropik siqishda kompressorga uzatiladigan nazariy quvvat aniqlansin.

**Javob:**  $N_{iz} = 10,4 \text{ kVt}$ ;  $N_{ad} = 14 \text{ kVt}$ ;  $N_{pol} = 12,3 \text{ kVt}$

**6.16- masala.** Bir pog'onali porsheli kompressor havoni  $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bosim va  $t_1 = 17^\circ\text{C}$  haroratda so'rib olib, uni va  $p_2 = 7 \cdot 10^5$  bosimgacha siqadi. Agar kompressorning massaviy uzatishi  $M = 0,12 \text{ kg/s}$  va politropik ko'rsatkichi  $m = 1,3$  bo'lsa, izotermik, adiabatik va politropik siqishda kompressor uzatishining nazariy quvvati aniqlansin.

**Yechish:** bosim ortishi darajasini (6.2) formula orqali aniqlaymiz:

$$\lambda = \frac{p_2}{p_1} = \frac{7 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} = 7.$$

So'rilish davomida kompressorning haqiqiy uzatishi — (6.9) formuladan:

$$V = \frac{MRT_1}{p_1} = 0,12 \cdot 287 \cdot \frac{290}{(1 \cdot 10^5)} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Izotermik siqishda kompressor uzatishining nazariy quvvati — (6.10) formuladan:

$$N_{iz} = p_1 V \ln \frac{p_2}{p_1} = 1 \cdot 10^5 \cdot 0,1 \ln \frac{7}{10^3} = 1 \cdot 10^5 \cdot 0,1 \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{7}{10^3} = 19,4 \text{ kVt}$$

Adiabatik siqishda kompressor uzatishining nazariy quvvati — (6.12) formuladan aniqlanadi:

$$N_{ad} = \left[ \frac{k}{k-1} \right] \left( \frac{p_1 V}{10^3} \right) \left( \lambda^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) = \left[ \frac{1,4}{1,4-1} \right] \left( 1 \cdot 10^5 \cdot \frac{0,1}{10^3} \right) \left( 7^{\frac{(1,3-1)}{1,3}} - 1 \right) = 24,2 \text{ kVt}$$

Politropik siqilishda kompressor uzatishining nazariy quvvati (6.12) formuladan:

$$N_{pol} = \left[ \frac{m}{m-1} \right] \cdot \left( \frac{p_1 V}{10^3} \right) \cdot \left( \lambda^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right) = \left[ \frac{1,3}{1,3-1} \right] \cdot \left( 1 \cdot 10^5 \cdot \frac{0,1}{10^3} \right) \left( 7^{\frac{(1,3-1)}{1,3}} - 1 \right) = 24,2 \text{ kVt}.$$

**6.17- masala.** Massaviy uzatishi  $M=0,18 \text{ kg/s}$  bo'lgan bir pog'onali porshenli kompressor havoni  $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bosim va  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  haroratda so'rib olib, uni  $p_2 = 6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bosimgacha siqadi. Agar kompressordagi izotermik havo siqishini adiabatik siqishga almashtirilsa, kompressor uzatishining nazariy quvvati qanchaga ortishi aniqlansin.

**Javob:**  $\Delta N = N_{ad} - N_{iz} = 35,3 - 27 = 8,3 \text{ kVt}$ .

**6.18- masala.** Massaviy uzatishi  $M = 0,21 \text{ kg/s}$  bo'lgan bir pog'onali porshenli kompressor havoni  $p_2 = 8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bosimgacha siqadi. Agar so'rish parametrlari  $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  va  $t_1 = 20^\circ \text{C}$  va kompressorning izotermik samarali f.i.k  $\eta_{e.i.z} = 0,68$  bo'lsa, kompressor uzatishining samarali quvvati aniqlansin.

**Javob:**  $N_{ef} = 54,1 \text{ kVt}$

**6.19- masala.** Bir silindrlil bir pog'onali porshenli kompressor havoni  $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bosimdan  $p_2 = 8 \cdot 10^5$  bosimgacha siqadi. Agar kompressor silindrlining diametri  $D = 0,3 \text{ m}$ , porshenning harakat yo'li  $S = 0,3 \text{ m}$ , valning aylanish chastotasi  $n = 12 \text{ ayl/sek}$ , zararli maydonning nisbiy hajmi  $\sigma = 0,05$ , zararli maydonda qoluvchi gaz kengayishining politropik ko'rsatgichi  $m = 1,3$ , so'rilish davomida gaz bosimining kamayishini ifodalovchi koeffitsient  $\eta_{ken} = 0,94$  va kompressorning samarali adiabatik f.i.k  $\eta_{s.ad} = 0,75$  bo'lsa, kompressor uzatmasining samarali quvvati va 10% zahirali elektr dvigatelining ortiqcha yuklanish uchun zarur bo'lgan quvvat aniqlansin.

Yechish: bosim ortish darajasi (6.2) formula orqali aniqlanadi

$$\lambda = \frac{p_2}{p_1} = 7 \cdot \frac{10^5}{1 \cdot 10^5} = 7.$$

Kompressorning hajmiy f.i.k — (6.1) formuladan orqali anqlanadi

$$\eta_{haj} = 1 - \sigma \left( \lambda^{\frac{1}{m}} - 1 \right) = 1 - 0,05 \left( 7^{\frac{1}{1,3}} - 1 \right) = 0,827$$

Kompressorning uzatish koeffitsenti (6.5) formuladan anqlanadi

$$\eta_V = \eta_{ajl} \cdot \eta_{ken} = 0,827 \cdot 0,94 = 0,777.$$

Kompressorning nazariy uzatishi (6.4) formuladan anqlanadi

$$V_n = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) S n = \left( 3,14 \cdot \frac{0,3^2}{4} \right) 0,3 \cdot 12 = 0,254 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kompressorning haqiqiy uzatishi (6.3) formuladan aniqlanadi.

$$V = V_n \eta_v = 0,254 \cdot 0,777 = 0,197 \text{ m}^3/\text{s}$$

Adiabatik siqishda kompressor uzatmasining nazariy quvvatini (6.11) formuladan anqlaymiz

$$N_{ad} = \left[ \frac{k}{k-1} \right] \left( \frac{P_1 V}{10^3} \right) \left( \lambda^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) = \left[ \frac{1.4}{1.4-1} \right] \left( 10^5 \cdot \frac{0.197}{10^3} \right) \left( 7^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1 \right) = 51 \text{ kVt}$$

Kompressor uzatmasining samarali quvvatini (6.14) formuladan anqlaymiz

$$N_{ef} = N_{ad} / \eta_{e.ad} = 51 / 0,75 = 68 \text{ kVt}$$

Elektro dvigatelning 10% yuklamasi bilan kerakli quvvati.

$$N_{ed} = 1,1 \cdot 68 = 74,8 \text{ kVt}$$

**6.20- masala.** 2 silindrli bir pog'onali porshenli kompressor havoni  $p_1 = 1 \cdot 10^5$  Pa dan  $p_2 = 6 \cdot 10^5$  Pa gacha siqadi. Agar slindrning diametri  $D = 0,2$  m, porshenning yurish yo'li  $S = 0,22$  m, valning aylanish chastotasi  $n = 440$  ayl/daq, kompressorning uzatish ko'effitsienti  $\eta_v = 0,82$  va kompressoning samarali izotemik f.i.k  $\eta_{iz} = 0,72$  bo'lsa kompressor uzatishining samarali quvvati anqlansin.

**Javob:**  $N_e = 20,3 \text{ kVt}$

**6.21- masala.** Ikki porshenli ikki pog'onali porshenli kompressor havoni  $p_1 = 1 \cdot 10^5$  Pa dan  $p_2 = 6 \cdot 10^5$  Pa gacha siqadi. Agar slindrning diametri  $D = 0,3$  m, porshenning harakat yo'li  $S = 0,2$  m, valning aylanish chastotasi  $n = 14$  ayl/sek, zararli maydonning nisbiy hajmi  $\sigma = 0,05$ , zararli maydonda qoluvchi gazning politropik kengayishi ko'rsatkichi  $m = 1,25$ , pog'onalar orasidagi bosim pasayishini ifodalovchi ko'effisient  $\Psi = 1,1$ , so'rish davomida gaz bosimining pasayishini ifodalovchi ko'effitsient  $\eta_p = 0,94$

**Yechish:**

Har bir pog'onada bosim ortish darajasi (6.18) formula orqali aniqlanadi

$$\lambda = \psi \sqrt[2]{p_2/p_1} = 1,1 \sqrt{13 \cdot 10^5 / (1 \cdot 10^5)} = 3,9$$

Hajmiy f.i.k formula

$$\eta_{haj} = 1 - \sigma \left( \lambda^{\frac{1}{m}} - 1 \right) = 1 - 0,05 \left( 3,9^{\frac{1}{1,25}} - 1 \right) = 0,901$$

Uzatish ko'effisienti — (6.5) formuladan

$$\eta_V = \eta_{haj} \eta_{ish} = 0,901 \cdot 0,94 = 0,847$$

Kompressor pog'onasining nazariy uzatishi (6.4) formuladan

$$V_T = (\pi D^2 / 4) S n = (3,14 \cdot 0,3^2 / 4) 0,2 \cdot 14 = 0,198 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kompressorning haqiqiy uzatishi (6.3) formuladan

$$V = 2 V_T \eta_v = 2 \cdot 0,198 \cdot 0,847 = 0,335 \text{ m}^3/\text{s}$$

**6.22- masala.** Havoni  $p_1 = 1 \cdot 10^5$  Pa bosimdan  $p_2 = 8 \cdot 10^5$  Pa bosimgacha adiabatik siqayotgan porshenli kompressor sarflanayotgan quvvat bir pog'onali siqishdan ikki pog'onali siqishga o'tkazilganda necha foizga kamayishi aniqlansin.

**Javob:** 14,7 % ga.

**6.23- masala.**  $V = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  uzatmali ikki pog'onali kompressor havoni  $p_1 = 1 \cdot 10^5$  Pa dan  $p_2 = 30 \cdot 10^5$  Pa gacha siqadi. Agar kompressorning samarali adiabatik f.i.k.  $\eta_{e.ad} = 0,69$  va pog'onalar orasidagi bosimning kamayishini ifodalovchi ko'effitsient  $\psi = 1,1$  bo'lsa, kompressor uzatmasining samarali quvvati aniqlansin.

**Javob:**  $N_e = 136 \text{ kVt}$ .

**6.24- masala.**  $M = 0,238 \text{ kg/s}$  massaviy uzatmali uch pog'onali kompressor havoni  $p_2 = 112,5 \cdot 10^5$  Pa dan siqadi. Agar so'rilayotgan havoning parametrlari  $p_1 = 0,9 \cdot 10^5$  Pa va  $t_1 = 17^\circ \text{C}$ , pog'onalar orasidagi bosimning yo'qotilishini ifodalovchi ko'effitsient  $\psi = 1,11$ , kompressorning mexanik f.i.k.  $\eta_m = 0,94$  va kompressorning izotermik f.i.k.  $\eta_{iz} = 0,7$  bo'lsa, kompressor uzatmasining samarali quvvati aniqlansin.

**Javob:**  $N_e = 156 \text{ kVt}$ .

**6.25- masala.** Ikki pog'onali kompressor silindrlarining diametri  $D_1 = 0,35$  va  $D_2 = 0,2$ , porshenning harakatlanish yo'li  $S = 0,2 \text{ m}$ . Agar valning aylanish chastotasi  $n = 12 \text{ ayl/sek}$ , birinchi pog'ona uchun o'rtacha indikatorli bosim

$p_{i1} = 1,2 \cdot 10^5$  Pa va ikkinchi pog'ona uchun o'rtacha indikatorli bosim  $p_{i2} = 3,4 \cdot 10^5$  Pa bo'lsa, kompressorning indikatorlik quvvati aniqlansin.

**Javob:**  $N_i = 53,3$  kVt.

**6.26- masala.** Uch pog'onali kompressor silindrlarining diametri  $D_1 = 0,2$  va  $D_2 = 0,15$ , porshenning harakatlanish yo'li  $S=0,15$  m. Agar valning aylanish chastotasi  $n=840$  ayl/daq, kompressorning mexanik f.i.k.  $\eta_m = 0,87$ , birinchi pog'ona uchun o'rtacha indikatorli bosim  $p_{i1}=1,7 \cdot 10^5$  Pa va ikkinchi pog'ona uchun o'rtacha indikatorli bosim  $p_{i2} = 3,5 \cdot 10^5$  Pa bo'lsa, kompressorning samarali quvvati aniqlansin.

Yechish: Birinchi va ikkinchi siqish pog'onalar silindrlarining indikatorli quvvati  $N_{i1}$  va  $N_{i2}$  (6.16) formuladan aniqlanadi

$$N_{i1} = \frac{p_{i1} V_{h1} n}{10^3} = \frac{p_{i1} \pi D_1^2 S n}{(10^3 \cdot 4)} = 1,7 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 0,2^2 \cdot 0,15 \cdot \frac{1,4}{(1000 \cdot 4)} = 11,2 \text{ kVt}$$

$$N_{i2} = \frac{p_{i2} V_{h2} n}{10^3} = \frac{p_{i2} \pi D_2^2 S n}{(10^3 \cdot 4)} = 1,5 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 0,15 \cdot \frac{14}{(1000 \cdot 4)} = 13 \text{ kVt}$$

Kompressorning indikatorli quvvati

$$N_i = N_{i1} + N_{i2} = 2 \cdot 11,2 + 13 = 35,4 \text{ kVt.}$$

Kompressorning samarali quvvatini (6.17) formuladan topamiz

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_m} = \frac{35,4}{0,87} = 40,7 \text{ kVt.}$$

**6.27-masala.** Ikki silindrli ikki pog'onali kompressor silindrlarining diametri  $D_1 = 0,3$  va  $D_2 = 0,18$ , porshenning harakatlanish yo'li  $S=0,15$  m. Agar valning aylanish chastotasi  $n=13$  ayl/sek, birinchi pog'ona silindrining indikatorlik quvvati  $N_{i1}=25$  kVt va ikkinchi pog'onaniki  $N_{i2} = 26$  kVt bo'lsa, kompressor pog'onalaridagi o'rtacha indikatorlik bosim aniqlansin.

**Javob:**  $p_{i1} = 1,82 \cdot 10^5$  Pa va  $p_{i2} = 5,24 \cdot 10^5$  Pa

**6.28-masala.** Ikki silindrlı ikki pog'onali kompressor silindrlarining diametri  $D_1 = 0,198$  va  $D_2 = 0,155$ , porshenlarning harakatlanish yo'li  $S=0,145$  m. Agar valning aylanish chastotasi  $n=900$  ayl/daq, samarali quvvat  $N_e = 28,4$  kVt, pog'ona uchun o'rtacha indikatorli bosim  $p_{il}=1,7 \cdot 10^5$  Pa va ikkinchi pog'ona uchun o'rtacha indikatorli bosim  $p_{i2} = 3,3 \cdot 10^5$  Pa bo'lsa, mexanik f.i.k. aniqlansin.

**Javob:**  $\eta_m = 0,88$

**6.29-masala.** Kompressor havoni  $p_1=1 \cdot 10^5$  Pa bosim va  $t_1 = 20$  °C haroratda so'rib olib, uni va  $p_2=10 \cdot 10^5$  bosimgacha siqadi. Agar kompressorning massaviy uzatishi  $M = 0,2$  kg/s va kompressor uzatmasining samarali quvvati  $N_e = 57,6$  kVt bo'lsa, kompressor samarali izotermik f.i.k. aniqlansin.

**Javob:**  $\eta_{e.iz}=0.67$

**6.30- masala.** Bir pog'onali plastinali rotatsion kompressor korpusining ichki diametri  $D = 0,25$  m, rotorning diametri  $d = 22$  m, rotorlar uzunligi  $l = 0,45$  m, plastinalar soni  $z = 15$ , plastina qalinligi  $\sigma = 0,002$  m, eksentrisitet  $e = 0,15$  m, valning aylanma tezligi  $u = 14,5$  m/s va kompressorning uzatish koeffitsienti  $\eta_V = 0,75$  teng bo'lsa, kompressor uzatmasining nazariy va haqiqiy koeffitsienti aniqlansin.

**Javob:**  $V_T = 0,214$  m<sup>3</sup>/s;  $V=0,16$  m<sup>3</sup>/s

**6.31- masala.** Ikki pog'onali rotatsion plastinali kompressor  $V=1,67$  m<sup>3</sup>/s havoni  $p_1 = 1 \cdot 10^5$  Pa dan  $p_2 = 9 \cdot 10^5$  Pa gacha siqadi. Agar havoning to'liq oraliq sovutilishida ikkala pog'onada bosim ortish darajasi bir xil bo'lsa, kompressor uzatmasining samarali quvvati aniqlansin. Kompressorning samarali izotermik f.i.k.  $\eta_{e.iz} = 0,7$ .

**Javob:**  $N_e = 522$  kVt

**6.32- masala.**  $M = 10$  kg/s massaviy uzatmali bir pog'onali markazdan qochma kompressor freon bug'ni  $p_1=1,6 \cdot 10^5$  Pa bosimdan  $p_2=8,26 \cdot 10^5$  Pa gacha siqadi.

Agar pog'onalar g'ildiraklarining ishchi parraklariga kirshda bug'ning entalpiyasi  $i_1 = 570$  kJ/kg, kompressorda adiabatik siqilishoxirida bug'ning entalpiyasi  $i_2 = 600$  kJ/kg, freonning adiabatik ko'rsatkichi  $k = 1,14$ , kompressorning politropik f.i.k  $= 0,78$  va kompressorning mexanik f.i.k. bo'lsa, kompressor uzatmasining samarali quvvati anqlansin.

**Yechish:** Bosim ortish darajasi (6.2) formuladan aniqlaymiz

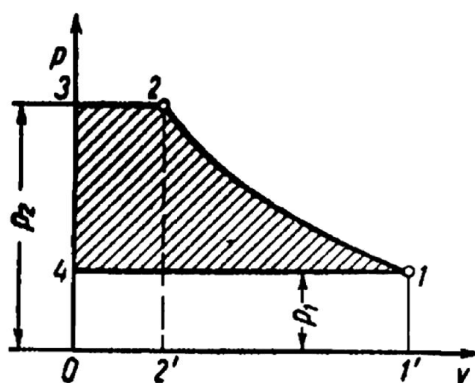
$$= p_2/p_1 = 8,26 \cdot 10^5 / (1,6 \cdot 10^5) = 5,16.$$

Kompressorning adiabatik f.i.k (6.21) formuladan aniqlaymiz

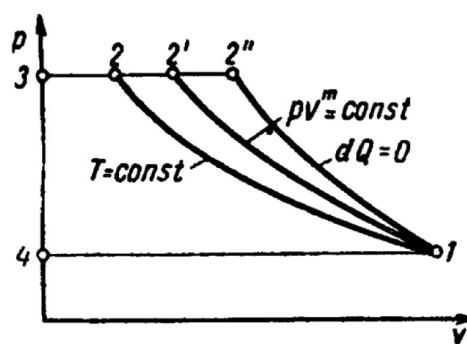
$$N_e = M(i_2 - i_1) / (\quad) = 10(600 - 570) / 0,75 \cdot 0,95 = 421 \text{ kVt}$$

## 6.7. IDEAL KOMPRESSORLARNING HISOBI

6.12-rasmdagi P-V diagrammada ideal kompressorda sodir bo'ladigan jarayonlar tasvirlangan. 4-1 chiziq gazni so'rish jarayonini tasvirlaydi, 1-2 egri chizig'i siqish jarayoni va 2-3 chizig'i haydash jarayonini ifodalaydi. 1-2-3-4 diagramma nazariy indikator diagramma deb ataladi.



6.12-rasm.



6.13-rasm.

Kompressorning nazariy ishi  $l_0$  indikator diagrammaning maydonidan aniqlanadi va siqish jarayoniga bog'liq bo'ladi (6.8-rasm). 1-2 egri chizig'i izotermik siqish jarayonini tasvirlaydi, 1-2'' egri chizig'i adiabatik siqish va 1-2' egri chizig'i politropik siqishni ifodalaydi.

Izotermik siqishda kompressorning nazariy ishi izotermik siqish ishiga teng bo'ladi:

$$l_0 = p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = RT \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (6.36)$$

Agar so'rilgan havoning massasi  $M$  kg, hajmi esa  $V_1$  m<sup>3</sup> bo'lsa, u holda:

$$L_0 = p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (6.37)$$

1 m<sup>3</sup> siqilgan havoga nisbatan ish:

$$l'_0 = p_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (6.38)$$

1 m<sup>3</sup> siqilgan havo olish uchun ish:

$$l''_0 = p_2 \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (6.39)$$

Izotermik siqishda olib ketilishi zarur bo'lgan issiqlik miqdori:

$$q = l_0 \text{ ёки } Q = L_0$$

Adiabatik siqishda kompressorning nazariy ishi adiabatik siqish ishidan  $k$  marta katta bo'ladi:

$$l_0 = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (6.40)$$

Agar so'rilgan havoning massasi  $M$  kg, hajmi esa  $V_1$  m<sup>3</sup> bo'lsa, u holda:

$$L_0 = \frac{k}{k-1} p_1 V_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (6.41)$$

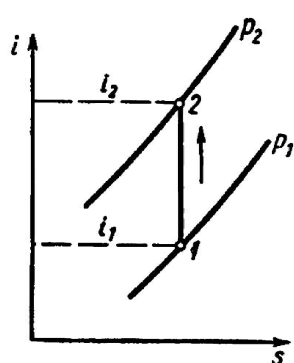
1 m<sup>3</sup> siqilgan havoga nisbatan ish:

$$l'_0 = \frac{k}{k-1} p_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (6.42)$$

1 m<sup>3</sup> siqilgan havo olish uchun ish:

$$l''_0 = \frac{k}{k-1} p_2 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (6.43)$$

Siqish oxirida gazning harorati adiabatik jarayonning parametrlari nisbatidan aniqlanadi.



Adiabatik siqishda kompressorning ishi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$l_0 = i_2 - i_1 \quad (6.44)$$

bu yerda  $i_1$  va  $i_2$  – havoning boshlang'ich va oxirgi entalpiyasi.

Bu formula adiabatik siqishda i-S diagramma yordamida ideal kompressor ishini hisoblash uchun qulay.

Ushbu holda boshlang'ich holatni xarakterlovchi 1 nuqtadan (6.11-rasm) izobara  $p_2$  bo'yicha 2 nuqta bilan kesishuvchi vertikal chiziq o'tkaziladi. 1 va 2 nuqtalarning ordinatalari  $i_1$  va  $i_2$  entalpiyalarning qiymatini beradi va 1-2 qirqim ularning farqini beradi.

Politrop siqilishda kompressorning nazariy ishi politrop siqish ishidan  $m$  marta katta bo'ladi:

$$l_0 = \frac{m}{m-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \quad (6.45)$$

Agar so'rilgan havoning massasi  $M$  kg, hajmi esa  $V_1$  m<sup>3</sup> bo'lsa, u holda:

$$L_0 = \frac{m}{m-1} p_1 V_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \quad (6.46)$$

1 m<sup>3</sup> so'rilgan havoni siqishga sarflangan ish:

$$l'_0 = \frac{m}{m-1} p_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \quad (6.47)$$

1 m<sup>3</sup> siqilgan havo olish uchun ish:

$$l''_0 = \frac{m}{m-1} p_2 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \quad (6.48)$$

Politropik siqish natijasida ajratilgan issiqlik miqdorini oldingi mavzulardagi formulalardan foydalanib aniqlanadi.

Kompressorning ishini aniqlash uchun yuqorida keltirilgan barcha formulalar ishning absolyut kattaligini beradi.

Kompressor uchun dvigatelning nazariy quvvati.

$$N = \frac{L_0}{3600 \cdot 1000} \quad (6.49)$$

$$N = \frac{v l''_0}{3600 \cdot 1000} \quad (6.50)$$

$$N = \frac{v l_0''}{3600 \cdot 1000} \quad (6.51)$$

(6.36)-(6.51) formulalardagi  $P$ ,  $V$ ,  $l_0$ ,  $L_0$ ,  $l_0'$ ,  $L_0''$  qiymatlari mos ravishda quyidagi birliklarda berilgan;  $p_1$  va  $p_2$  - Pa;  $V$  (siqilayotgan yoki so'rib olinayotgan havoning hajmi) -  $m^3$ /soat;  $l_0'$ ,  $l_0''$  va  $L_0'$ ,  $L_0''$  - J/ $m^3$  va N-kVt.

Haqiqiy indikatorli diagramma nazariy diagrammadan asosan haqiqiy kompressorda zararli maydon borligi, kirituvchi va siqib chiqaruvchi klaplarda bosim yo'qotilishi va gaz bilan silindr devorlari o'rtasidagi issiqlik almashinuvi borligi bilan farq qiladi.

Indikatorli diagrammada zararli maydon bo'lganda qo'shimcha jarayon silindrning zararli maydonidagi siqilish oxirida qolgan siqilgan gazning kengayish jarayoni qo'shiladi.

Zararli maydon hajmining porshen bilan tasvirlanadigan hajmga nisbati, ya'ni  $a = V_c/V_k$  kattalik zararli maydonning nisbiy kattaligi deb ataladi.

Zararli maydon borligi natijasida kompressorning ishlash qobilyati pasayadi.

$$\lambda_v = \frac{V_1 - V_4}{V_h} \quad (6.52)$$

Silindrning ishchi hajmidan foydalanish to'lalik darajasini ifodalovchi (6.52) kattalikni kompressorning hajmli F.I.Ki deb ataladi.

Kompressorning hajmli F.I.Kini shuningdek zararli maydon nisbiy kattaligi va siqib chiqarish va so'rib olish bosimlari nisbati bilan ifodalash mumkin:

$$\lambda_v = 1 - a \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] \quad (6.53)$$

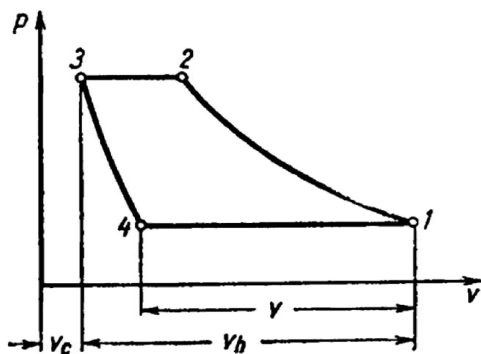
Bu yerda  $m$  - zararli maydonda qolgan gazning kengayishining politropik ko'rsatkichi.

Ideal kompressorning nazariy ishi minimal bo'ladi. Real kompressorning haqiqiy ishini izotermik yoki adiabatik F.I.K va mexanik F.I.K yordamida aniqlanadi.

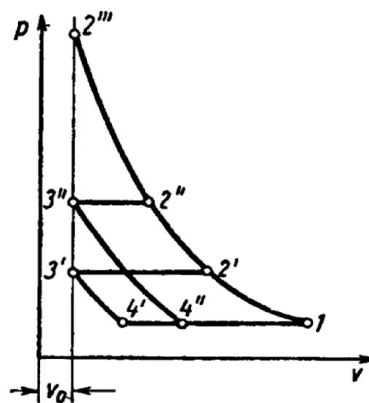
$$\eta_{iz} = \frac{l_{iz}}{l_k}; \quad \eta_{ad} = \frac{l_{ad}}{l_k};$$

Bu yerda  $\eta_{iz}$  va  $\eta_{ad}$  - kompressorning izotermik va adiabatik siqilishdagi nazariy ishi,  $\eta_{ha}$  - esa kompressorning haqiqiy ishi. Bu koeffitsientlar haqiqiy jarayonning ideal jarayon bilan taqqoslangandagi mukammallik darajasi.

Mexanik F.I.K. da kompressordagi mexanik yo'qotilishlar hisobga olinadi.



6.15-rasm



6.16-rasm

M kg/soat gazni siqish uchun kompressor dvigateli sarflaydigan haqiqiy quvvat

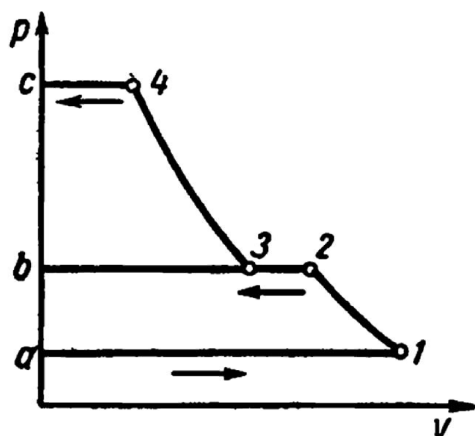
$$\text{---} \quad (6.54)$$

Yakuniy bosim ortishi bilan bir pog'onada kompressorning hajmli F.I.K.i kamayadi. (6.11-rasm) va kompressorning samaradorligi kamayadi. Zararli maydon hajmini ifodalovchi siqish egriligi chegara chizig'ini kesganida, havoning silindrga so'rib olinishi to'xtatiladi va kompressorning samaradorligi va hajmli F.I.K.i nolga teng bo'ladi.

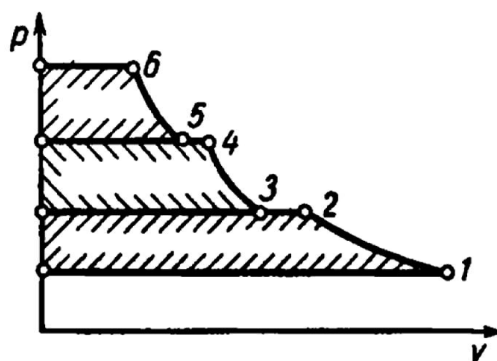
6.12 va 6.13 rasmlarda 2 va 3 pog'onali kompressorda siqish jarayoni ko'rsatilgan. 1-2, 3-4, va 5-6 chiziqlar kompressorning har bir silindridagi adiabatik jarayonni ifodalaydi, 2-3 va 4-5 chiziqlar esa maxsus muzlatkichlarda havoni izobarik sovutilishi ifodalaydi.

Ko'p pog'onali yoki ko'p silindrli kompressorlarda havoni (gazni) siqish jarayoni har bir silindrda havo siqilganidan keyin barcha silindrda ketma-ket ravishda amalga oshiriladi. Odatda, bu jarayonda havo (gaz) muzlatkichdan keyin ham oldingi pog'onaga kirgandagi haroratni kirgandagi haroratni saqlashga intiladi. Shunday qilib, uch pog'onali kompressor uchun (6.17rasm)

Agar har bir pog'onadagi bosim barcha pog'ona uchun bir xil deb qabul qilinsa ,  
bu holda ko'p pog'onali siqish eng samarali bo'ladi.



6.17-rasm



6.18-rasm

Bu holda uch pog'onali kompressor uchun

— — —

bundan

—  
—,

yoki umuman

—  
—

(6.55)

Bu yerda — har bir pog'onadagi bosimlar nisbati;

n- kompressorning pog'onalar nisbati;

— oxirgi pog'onadan chiqayotgan havo bosimi ;

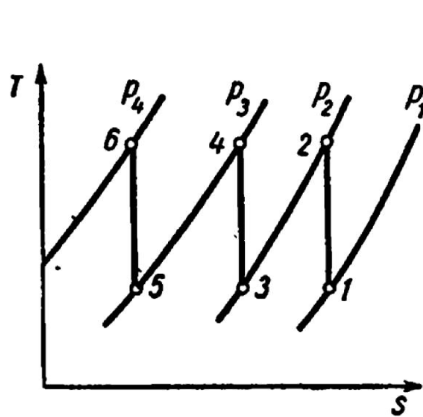
— birinchi pog'onaga kiradigan havo bosimi;

(6.45) formula bo'yicha havo bosimi taqsimlanishi shunga olib keladiki, har bir pog'onadan chiqishdagi havo bosimi o'zaro teng, ya'ni :

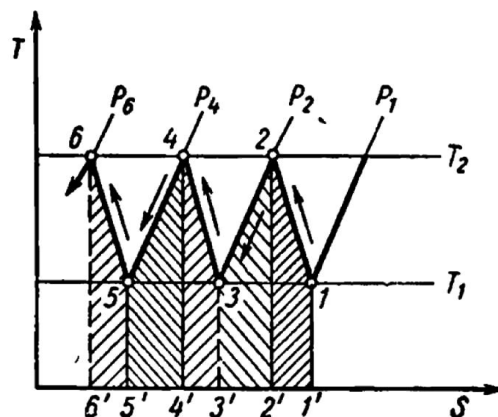
,

Shuningdek barcha pog'onalardagi ishlar teng. Shuning uchun ko'p pog'onali kompressorning ishini aniqlash uchun, uning bitta pog'onasining ishini aniqlab olish kifoya.

6.19 va 6.20-rasmlarda T-S diagrammada uch pog'onali kompressordagi gazning adiabatic va politropik siqilish grafiklari keltirilgan.



6.19-rasm



6.20-rasm

1-2, 3-4 va 5-6 chiziqlar alohida silindrlardagi siqish jarayonlari, 2-3 va 4-5 birinchi va ikkinchi muzlatgichlarda doimiy bosimda gazning sovish jarayonini tasvirlaydi. 1-2-2'-1', 3-4-4'-3' va 5-6-6'-5' yuzalar (6.18 rasm) kompressorning alohida silindrlarida politropik siqishda havodan tortib olinadigan va silindr devorlarini sovutadigan suvga beriladigan issiqlik miqdorini tasvirlaydi. 2-2'-3'-3 va 4-4'-5'-5 yuzalar birinchi va ikkinchi muzlatgichlardagi gazdan izobarik sovushda olinadigan issiqlik miqdori.

## 6.8. Kompressor qurilmasining siklini hisoblash bo'yicha namuna.

**6.33-masala.** Aylanma jarayondagi gazga 250 kJ issiqlik o'tkazilgan. Termik F.I.K. 0,46 ga teng. Bir siklda olinadigan ishni toping.

**Javob:**  $L_0=115$  kJ.

**6.34-masala.** Aylanma jarayon borishi natijasida 80 kJ ga teng ish olindi, sovutgichga esa 50 kJ issiqlik berildi. Siklning termik foydali ish koeffitsientini aniqlang.

**Javob :**  $\eta_t=0,615$ .

**6.35-masala.** 1 kg havo  $t_1=627$  °C va  $t_2=27$  °C haroratlar oralig'ida Karno siklini bajaryapti, bunda eng yo'qori bosim 6 MPa, eng quyi bosim esa 0,1 MPa. Siklning

xarakterli nuqtalardagi havoning parametrlari, ish, siklning termik foydali ish koeffitsienti va uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori aniqlansin.

**Yechish:**

**1-nuqta.**

$$P_1=6 \text{ MPa}; T_1=900 \text{ K.}$$

Gazning solishtirma hajmini tavsiflovchi tenglamadan topamiz

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 900}{6 \cdot 10^6} = 0,043 \text{ m}^3/\text{kg}$$

**2-nuqta.**

$$T_2=900 \text{ K}$$

Adiabatik tenglamadan (2-3 chiziq)

$$\frac{P_2}{P_3} = \left( \frac{T_2}{T_3} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 3^{\frac{1,4}{0,4}} = 46,8;$$

$$P_2 = 0,1 \cdot 46,8 = 4,68 \text{ MPa}$$

izotermik tenglamadan (1-2 chiziq)

$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

Bundan

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{6 \cdot 0,43}{4,68} = 0,055 \text{ m}^3/\text{kg}$$

**3-nuqta.**

$$P_3=0,1 \text{ MPa}; T_1=300 \text{ K.}$$

$$V_3 = \frac{RT_3}{p_3} = \frac{287 \cdot 300}{0,1 \cdot 10^6} = 0,861 \text{ m}^3/\text{kg}$$

**4-nuqta.**  $T_4=300 \text{ K.}$

Adiabatik (4-1 chiziq) tenglamadan

$$\frac{P_1}{P_4} = \left( \frac{T_1}{T_4} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 4,68;$$

$$p_4 = \frac{p_1}{4,68} = 0,128 \text{ MPa}$$

Izotermik tenglamasidan (3-4 chiziq) hosil bo'ladiki

$$P_3 V_3 = P_4 V_3$$

$$v_4 = \frac{p_3 v_3}{p_4} = \frac{0,1 \cdot 0,861}{0,128} = 0,671 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Siklning termik F.I.K.i

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{900 - 300}{900} = 0,667.$$

Uzatilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = 2,303 \cdot 0,287 \cdot 900 \lg \frac{0,055}{0,043} = 63,6 \text{ kJ/kg}$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori

$$q_2 = RT_3 \ln \frac{v_3}{v_4} = 2,303 \cdot 0,287 \cdot 300 \lg \frac{0,861}{0,671} = 21,5 \text{ kJ/kg}$$

Siklning ishi

$$l_0 = q_1 - q_2 = 69,6 - 21,5 = 42,1 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l_0}{q_0} = \frac{42,1}{63,6} = 0,662.$$

**6.36-masala.** 1 kg havo  $t_1=327^\circ\text{C}$  va  $t_2=27^\circ\text{C}$  haroratlar oralig'ida Karno siklini bajaradi, bunda eng yuqori bosim 2 MPa, eng quyi bosim esa 0,12 MPa. Siklning xarakterli nuqtalardagi havoning holat parametrlari, bajargan ishi, siklning termik foydali ish koeffitsienti va uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori aniqlansin.

**Javob:**  $v_1 = 0,086 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}; v_2 = 0,127 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}; v_3 = 0,717 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}; v_4 = 0,486 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}};$

$$p_2 = 1,36 \text{ MPa}; p_4 = 0,18 \text{ MPa}; \eta_t = 0,5; l_0 = 33,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}; q_1 = 67,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}};$$

$$q_2 = 33,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}};$$

**6.37-masala.** 1 kg havo  $t_1=250^\circ\text{C}$  va  $t_2=30^\circ\text{C}$  haroratlar oralig'ida Karno siklini bajaradi, bunda eng yuqori bosim  $P_1=1 \text{ MPa}$ , eng quyi bosim esa  $P_3=0,12 \text{ MPa}$ .

Siklning xarakterli nuqtalardagi havoning holat parametrlari, bajargan ishi, siklning termik foydali ish koeffitsienti va uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori aniqlansin.

**Javob:**  $v_1 = 0,15 \frac{m^3}{kg}$ ;  $v_2 = 0,185 \frac{m^3}{kg}$ ;  $v_3 = 0,725 \frac{m^3}{kg}$ ;  $v_4 = 0,59 \frac{m^3}{kg}$ ;  
 $p_2 = 0,81 \text{ MPa}$ ;  $p_4 = 0,15 \text{ MPa}$ ;  $\eta_t = 0,42$ ;  $l_0 = 18,1 \frac{kJ}{kg}$ ;  $q_1 = 31,1 \frac{kJ}{kg}$ ;  
 $q_2 = 18 \frac{kJ}{kg}$ ;

**6.38-masala.**  $v=const$  uzatilgan issiqlik bilan yonuvchi ichki yonuv dvigatelining ideal porshenli sikli uchun  $P_1=0,1 \text{ MPa}$ ,  $t_1=20^\circ\text{C}$ ,  $\varepsilon=3,6$ ,  $\lambda=3,33$  va  $k=1,4$  bo'lganda xarakterli nuqtalardagi parametrlar, olingan ish, termik foydali ish koeffitsienti va uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori aniqlansin. Ishchi jism havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas.

**Yechish:** Hisobni 1 kg havo uchun olamiz.

#### 1-nuqta.

$$P_1 = 0,1 \text{ MPa}; t_1 = 20^\circ\text{C}.$$

Gazning solishtirma hajmni holat tenglamasidan aniqlaymiz

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 293}{0,1 \cdot 10^6} = 0,84 \frac{m^3}{kg}$$

#### 2-nuqta.

Siqish darajasi

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 3,6,$$

bo'lishi uchun

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,84}{3,6} = 0,233 \frac{m^3}{kg}.$$

Adiabatik siqish oxiridagi harorat formuladan aniqlanadi

$$T_2 = T_1 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = 293 \cdot 3,6^{0,4} = 489 \text{ K};$$

$$t_2 = 216^\circ\text{C}$$

Adiabatik siqish oxiridagi bosim

$$p_2 = \frac{RT_3}{v_2} = \frac{287 \cdot 489}{0,233 \cdot 10^6} = 0,6 \text{ MPa}.$$

### 3-nuqta.

Solishtirma hajm  $v_3 = v_2 = 0,233 \text{ m}^3/\text{kg}$

Izoxorik jarayondagi parametrlar nisbatidan (2-3 chiziq) hosil bo'ladiki

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2} = \lambda = 3,33.$$

Bundan

$$p_3 = p_2 \lambda = 0,6 \cdot 3,33 = 2 \text{ MPa};$$

$$T_3 = T_2 \lambda = 489 \cdot 3,33 = 1628 \text{ K}; \quad t_3 = 1355 \text{ }^\circ\text{C}$$

### 4-nuqta.

Solishtirma hajm

$$v_4 = v_1 = 0,84 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Adiabatik kengayish oxiridagi harorat

$$T_4 = T_3 \left( \frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} = T_3 = T_3 \left( \frac{v_3}{v_1} \right)^{k-1} = 1628 \frac{1}{3,6^{0,4}} = 976 \text{ K};$$

Adiabatik kengayish oxiridagi bosimni izoxorik jarayondagi parametrlar nisbatidan aniqlaymiz (4-1 chiziq):

$$p_4 = p_1 \frac{T_4}{T_1} = 0,1 \frac{976}{293} = 0,33 \text{ MPa}.$$

Uzatilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = c_v(T_3 - T_2) = \frac{20,93}{28,96} (1628 - 489) = 825 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}};$$

$$q_2 = c_v(T_4 - T_1) = \frac{20,93}{28,96} (976 - 293) = 495 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}};$$

Sikllarning termik f.i.k.i quyidagi formula bo'yicha topamiz,

$$\eta_t = \frac{825 - 495}{825} = \frac{330}{825} = 0,4 = 40\%$$

$$\text{yoki} \quad \eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{3,6^{0,4}} = 0,4 = 40\%$$

Sikllarning ishi

$$l_0 = q_1 - q_2 = 330 \frac{kJ}{kg}.$$

**6.39-masala.** Uzatilgan issiqlik ichki yonuv dvigatelining porshen sikllari uchun  $v=const$  bo'lsa  $P_1=0,1$  MPa,  $t_1=100$  °C,  $\varepsilon=6$ ,  $\lambda=1,6$  va  $k=1,4$  berilgan bo'lsa sikl uchun xarakterli nuqtalardagi parametrlar, olingan ish, termik foydali ish koefitsienti va uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori aniqlansin. Ishchi jism havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas.

**Javob:**  $v_1 = 1,07 \frac{m^3}{kg}$ ;  $v_2 = 0,178 \frac{m^3}{kg}$ ;  $T_2 = 761$  K;  $T_3 = 1217$  K;  $T_4 = 597$  K;

$p_3 = 1,96$  MPa;  $p_4 = 0,156$  MPa;  $\eta_t = 0,51$ ;  $l_0 = 167,7 \frac{kJ}{kg}$ ;  $q_1 = 329,7 \frac{kJ}{kg}$ ;

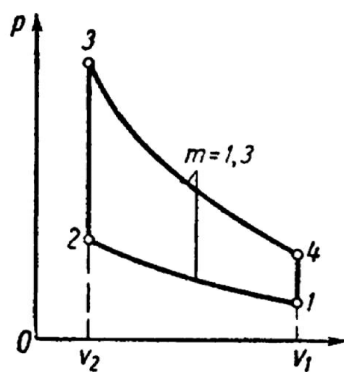
$q_2 = 162 \frac{kJ}{kg}$ ;

**6.40-masala.** Porshenli ichki yonuv dvigateliga  $v=const$  issiqlik uzatilgan va siklida siqish darajasi  $\varepsilon=5$ , bosim ortish darajasi  $\lambda=1,5$ . Sikllarning termik foydali ish koefitsienti, shuningdek siklining xuddi shu haroratlar chegarasida sodir bo'layotgan Karno siklining termik f.i.k.i aniqlansin. Ishchi jism havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb qabul qilinsin.

**Javob:**  $\eta_t = 0,476$ ;  $\eta_{t_k} = 0,651$ .

**6.41-masala.** Porshenli ichki yonuv dvigateliga  $v=const$  issiqlik uzatilgan va  $k=1,37$  bo'lganda  $\varepsilon$  ning qiymati 2 dan 10 gacha bo'lsa, termik foydali ish koefitsientining siqish darajasiga nisbati grafigi qurilsin.

**6.42-masala.** 1kg havo 6.18-rasmda tasvirlanganidek sikllar bo'yicha ish bajaryapti. Havoning boshlang'ich bosimi  $p_1=0,1$  MPa, boshlang'ich harorati va  $t_1=27$  °C, siqish darajasi  $\varepsilon=5$ . Izoxorik siqish vaqtida uzatiladigan issiqlik miqdori 1300 kJ/kg ga



6-21-rasm

teng. Havoning xarakterli nuqtalardagi parametrlari va siklning foydali ishi aniqlansin. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb qabul qilinsin.

**Yechish**

**1-nuqta.**

$$P_1 = 0,1 \text{ MPa}; T_1 = 300 \text{ K}$$

Holat tenglamasidan aniqlaymiz.

\_\_\_\_\_

**2-nuqta.**

Siqish darajasi

—

bo'lishi uchun

\_\_\_\_\_

$P_2$  ni quyidagi ifoda orqali topamiz

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**3-nuqta.**

3-nuqtagi harorat quyidagi ifoda orqali topamiz

bundan

—

, deb qabul qilib

\_\_\_\_\_ ni topamiz .

bundan

$$T_3 = \frac{1300}{0,723} + 510 = 2308 \text{ K};$$

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

$$p_3 = p_2 \frac{T_3}{T_2} = 0,85 \frac{2308}{510} = 3,85 \text{ MPa. kelib chiqadi.}$$

#### 4-nuqta.

Solishtirma hajm

$$v_4 = v_1 = 0,86 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{m-1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{m-1};$$

$$T_4 = T_3 \frac{1}{\varepsilon^{m-1}} = \frac{1}{5^{0,33}} = 1350 \text{ K};$$

$$\frac{p_4}{p_1} = \frac{T_4}{T_1}; \quad p_4 = p_1 \frac{T_4}{T_1} = 0,1 \frac{1350}{300} = 0,45 \text{ MPa} \quad \text{kelib chiqadi.}$$

Siklning ishi kengayish ishi va siqish ishi orasidagi nisbat sifatida qaralishi mumkin.

Kengayish ishi

$$\begin{aligned} l_1 &= \frac{1}{m-1} (p_3 v_3 - p_4 v_4) = \frac{1}{0,33} (3,85 \cdot 10^6 \cdot 0,172 - 0,45 \cdot 10^6 \cdot 0,86) \\ &= \frac{0,1 \cdot 10^6}{0,33} (0,662 - 0,387) = 833000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}. \end{aligned}$$

Siqish ishi (absolyut qiymat)

$$\begin{aligned} l_2 &= \frac{1}{m-1} (p_3 v_3 - p_1 v_1) = \frac{1}{0,33} (0,85 \cdot 10^6 \cdot 0,172 - 0,1 \cdot 10^6 \cdot 0,86) \\ &= \frac{0,1 \cdot 10^6}{0,33} (0,146 - 0,086) = 182000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}. \end{aligned}$$

Siklning ishi

$$l_0 = l_1 - l_2 = 833 - 182 = 651 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}.$$

**6.43-masala.**  $v=const$  issiqlik uzatilgan sikl buyicha ishlayotgan porshenli dvigatelda havoning boshlang'ich holati:  $p_1=0,785$  MPa va  $t_1=17$  °C. Siqish darajasi  $\epsilon=4,6$ , uzatilgan issiqlik miqdori  $100,5$  kJ/kg. Agar silindrning diametri  $d=0,24$  m, porshenning yo'li  $S=0,34$  m, aylanish soni  $n=21$  rad/sek (200 ayl/min) har ikki aylanishda bitta sikl bajarilganda yuritgichning termik foydali ishi ko'effitsientini va uning quvvatini aniqlang.

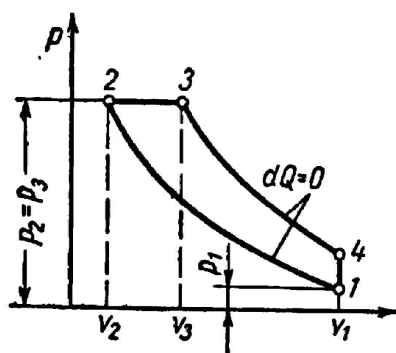
**Javob:**

**6.44-masala.** Izobarik issiqlik uzatilgan dvigatel silindriga berilayotgan yoqilg'ining yonish harorati  $800$  °C ga teng.

Agar havoning boshlang'ich harorati  $t_1=77$  °C bo'lsa, siqish darajasi  $\epsilon$  ning zarur minimal qiymati aniqlansin. Siqish adiabatik deb hisoblansin  $k=1,4$ .

**Javob:**  $\epsilon=16,4$

**6.45-masala.** Agar  $p_1=0,1$  MPa,  $t_1=20$  °C,  $\epsilon=12,7$ ,  $k=1,4$  berilgan bo'lsa  $p=const$



issiqlik uzatilgan sikl uchun xarakterli nuqtalardagi parametrlarni, foydali ish, termik f.i.k., uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori topilsin (rasm) Ishchi jism havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

**6.22-rasm.**

**Yechish:**

$$P_1 = 0,1 \text{ MPa}; T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Gazning solishtirma hajmni holat tenglamasidan aniqlaymiz

\_\_\_\_\_

**2-nuqta.**

Siqish darajasi

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 12,7;$$

bo'lishi uchun

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,84}{5} = 0,0661 \frac{m^3}{kg}.$$

Adiabatik siqish oxiridagi harorat

$$T_2 = T_1 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = 293 \cdot 12,7^{0,4} = 293 \cdot 2,76 = 809 \text{ K};$$

$$t_2 = 536 \text{ }^\circ\text{C}$$

Adiabatik siqish oxiridagi bosim

$$p_2 = \frac{RT_2}{v_2} = \frac{287 \cdot 809}{0,0661 \cdot 10^6} = 3,51 \text{ MPa}.$$

**3-nuqta.**

Izobarik jarayondagi parametrlari nisbatidan

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho = 2$$

bundan

$$v_3 = v_2 \rho = 0,0661 \cdot 2 = 0,1322 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_3 = T_2 \rho = 809 \cdot 2 = 1618 \text{ K}; \quad t_3 = 1345 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_3 = p_2 = 3,51 \text{ MPa}$$

**4-nuqta.**

Solishtirma hajm

$$v_4 = v_1 = 0,84 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Adiabatik kengayish oxiridagi bosim

$$\frac{p_3}{p_4} = \left( \frac{v_4}{v_3} \right)^k = \left( \frac{v_1}{v_3} \right)^k = \left( \frac{0,84}{0,1322} \right)^{1,4} = 13,3;$$

$$p_4 = \frac{3,51}{13,3} = 0,264 \text{ MPa}$$

Adiabatik siqish oxiridagi haroratni izoxorik jarayon (4-1 chiziq) parametrlari nisbatidan aniqlaymiz;

$$T_4 = T_1 \frac{p_4}{p_1} = 293 \frac{0,264}{0,1} = 773 \text{ K};$$

$$t_4 = 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Uzatilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = q_{2-3} = c_p(t_3 - t_2) = \frac{29,3}{28,96} (1345 - 536) = 818 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}.$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori (absolyut qiymat)

$$q_2 = q_{4-1} = c_v(t_4 - t_1) = \frac{20,97}{28,96} (500 - 20) = 347 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}.$$

Siklning termik f.i.k.i

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{818 - 347}{818} = 0,576 = 57,6 \%$$

Siklning ishi

$$l_0 = q_1 - q_2 = 818 - 347 = 471 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}.$$

**6.46-masala.**  $p=\text{const}$  issiqlik berilgan porshenli ichki yonuv dvigateli sikli uchun:  $p_1=100 \text{ kPa}$ ;  $t_1=70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\varepsilon=12$ ;  $k=1,4$   $\rho=1,67$  berilgan bo'lsa, xarakterli nuqtalardagi parametrlar, foydali ish, uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori va uning termik f.i.k. aniqlansin.

**Javob:**  $v_1 = 0,98 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ ;  $v_2 = 0,082 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ ;  $v_3 = 0,14 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ ;  $p_2 = 3,24 \text{ MPa}$ ;

$p_4 = 0,2 \text{ MPa}$ ;  $\eta_t = 0,593$ ;  $l_0 = 372 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ ;  $q_1 = 627 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ ;  $q_2 = 255 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ ;

**6.47-masala.**  $p=\text{const}$  issiqlik berilgan porshenli ichki yonuv dvigateli sikli uchun:  $p_1=100 \text{ kPa}$ ;  $t_1=70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\varepsilon=12$ ;  $k=1,4$   $\rho=1,67$  berilgan bo'lsa, xarakterli nuqtalardagi hajm va bosim topilsin. Silindr diametri  $d=0,3$ , porshen yo'li  $S=0,45\text{m}$ . Ishchi jism –havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

**Javob:**  $V_1 = V_4 = 0,03416 \text{ m}^3$ ;  $V_2 = 0,00244 \text{ m}^3$ ;  $V_3 = 0,00366 \text{ m}^3$ ;

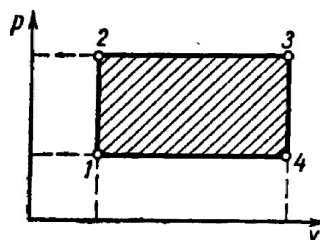
$p_2 = 0,402 \text{ MPa}$ ;  $p_4 = 0,176 \text{ MPa}$ ;  $\eta_t = 0,65$ ;

**6.48-masala.**  $p=const$  issiqlik berilgan siklning qiymatlari:  $\varepsilon=16$ ;  $k=1,4$  bo'lganda siqish darajasining dastlabki  $1,5 \div 3,5$  kengayishiga termik f.i.k. bog'liqligi grafigi qurilsin.

**6.49-masala.**  $p=const$  issiqlik berilgan siklda havoning boshlang'ich bosimi:  $p_1=0,09$  MPa; harorati  $t_1=47^\circ\text{C}$ ; siqish darajasi  $\varepsilon=12$ ; dastlabki kengayish darajasi  $\rho=2$ , va  $V_1=1\text{ m}^3$ . Siklning xarakter nuqtalardagi parametrlar, uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori, siklning ishi va uning termik f.i.k.i aniqlansin. Ishchi jism –havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

**Javob:**

**6.50-masala.** Ikkita izoxora va ikkita izobaradan (6.23-rasm) tashkil topgan siklning termik f.i.k. aniqlansin. Ishchi jism –havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.



**6.23-rasm**

**Yechish:**

Shu siklda qiymatlarni belgilab olamiz:

— — bosimning ortish darajasi.

— — kengayish darajasi.

Siklning termik f.i.k.i

—,

Bu yerda — — uzatilgan issiqlik miqdori. — — olib ketilgan issiqlik miqdori.

Ushbu sikl uchun

$$q_1 = q_{1-2} + q_{2-3}$$

va

$$q_2 = q_{3-4} + q_{4-1}$$

bo'lgani sababli

$$q_1 = c_v(T_2 - T_1) + c_p(T_3 - T_2)$$

va

$$q_2 = c_v(T_3 - T_4) + c_p(T_4 - T_1).$$

Siklning termik f.i.k.i.

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v(T_3 - T_4) + c_p(T_4 - T_1)}{c_v(T_2 - T_1) + c_p(T_3 - T_2)}.$$

Siklning xarakterli nuqtalaridagi haroratni boshlang'ich  $T_1$  va  $\lambda$  va  $\rho$  kattaliklar bilan ifodalaymiz.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1} = \lambda; \quad T_2 = T_1 \lambda;$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho; \quad T_3 = T_1 \lambda \rho;$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{p_4}{p_3} \quad T_4 = T_3 \frac{1}{\lambda} T_1 \rho;$$

$\eta_t$  ifoda uchun  $T$  qiymatni o'rniga quyamiz.

$$\begin{aligned} \eta_t &= 1 - \frac{T_3 - T_4 + k(T_4 - T_1)}{T_2 - T_1 + k(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \rho (\lambda - 1) + k T_1 (\rho - 1)}{T_1 (\lambda - 1) + k T_1 (\rho - 1)} = 1 - \frac{\rho (\lambda - 1) + k (\rho - 1)}{\lambda - 1 + k \lambda (\rho - 1)} \\ &= 1 - \frac{\rho (\lambda - 1 + k) - k}{\lambda - 1 + k \lambda (\rho - 1)}. \end{aligned}$$

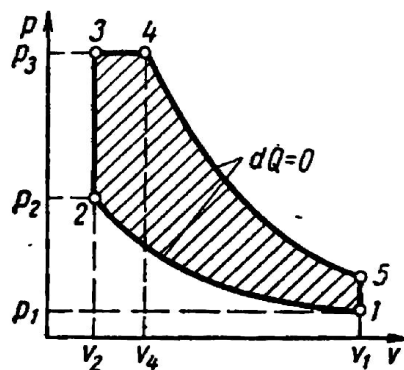
**6.51-masala.** 6.23-rasmda tasvirlangan siklning termik f.i.k.i topilsin. Masalani yeshishda quyidagi ifodalardan foydalanilsin.

$$\frac{v_1}{v_2} = \varepsilon; \quad \frac{p_3}{p_2} = \lambda; \quad \frac{v_4}{v_3} = \varepsilon; \quad \frac{v_5}{v_4} = \delta.$$

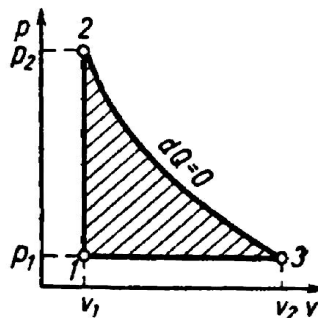
Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

**Javob:**  $\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{1-k}} \cdot \frac{\lambda \rho \varepsilon^{1-k} \delta^{1-k} + \rho \delta (k-1) k \varepsilon}{\lambda - 1 + k \lambda (\rho - 1)}.$

**6.52-masala.** Izobar, adiabat va izoxoralardan tashkil topgan sikl uchun termik f.i.k. aniqlansin.



6.24-rasm



6.25-rasm

**Yechish:** — bosim nisbatini  $\lambda$  orqali ifodalaymiz. Uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdorini topamiz.

Siklning termik f.i.k.i topamiz.

\_\_\_\_\_.

$T_3$  va  $T_2$  haroratlarni aniqlaymiz:

\_\_\_\_\_

bundan

\_\_\_\_\_

Termik f.i.k ifodasiga  $T_2$  va  $T_3$  qiymatlarini qo'yib

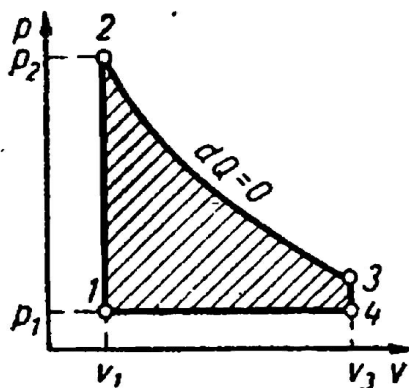
\_\_\_\_\_ ni hosil qilamiz.

bundan sikl f.i.k.i

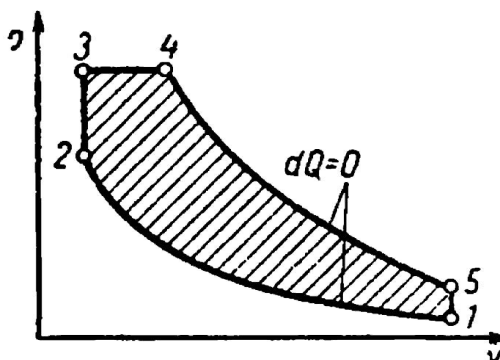
\_\_\_\_\_.

**6.53-masala.** 6.26-rasmda ko'rsatilgan siklning termik f.i.k.i aniqlansin. Ishchi jism –havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

**Javob:** \_\_\_\_\_



6.26-rasm



6.27-rasm

**6.54-masala.** Issiqlik aralash uzatilgan porshenli dvigatel siklida boshlang'ich bosim  $p_1=90$  kPa, boshlang'ich harorati  $t_1=67$  °C. Uzatilgan issiqlik miqdori  $Q=1090$  kJ/kg. Siqish darajasi  $\varepsilon=10$ . Agar maksimal bosim  $p=4,5$  MPa ni tashkil qilsa,  $V=const$  jarayonda issiqlikning qanday qismi ajralib chiqishi kerak. Ishchi jism –havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

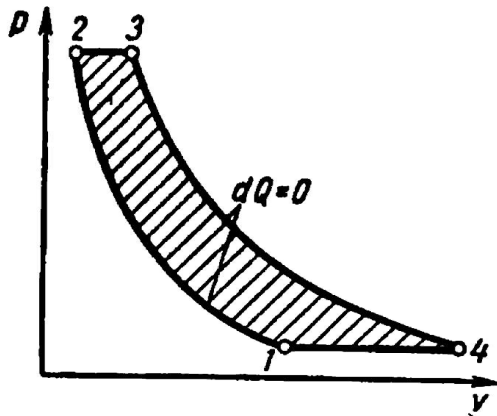
**Javob:** —

**6.55-masala.** Issiqlik aralash uzatilgan porshenli dvigatelning ishchi jismi havo xususyatlariga ega. Boshlang'ich parametrlar :  $p_1= 0,1$  MPa;  $t_1=30$  °C; va sikllarning keying xususyatlari  $\varepsilon=7$ ;  $\lambda=1,4$   $\rho=1,2$  Nuqtalardagi sikl uchun xos bo'lgan parametrlar, foydali ish, uzatilgan issiqlik miqdori va uning termik f.i.k. aniqlansin. Ishchi jism –havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

**Javob:** — — —

— — —

**6.56-masala.** Agar  $p_1=100\text{kPa}$ ,  $t_1=27^\circ\text{C}$ ,  $t_3=700^\circ\text{C}$  berilgan bo'lsa,  $p=\text{const}$  bo'yicha issiqlik uzatilgan gaz turbinasining ideal sikli uchun xarakterli nuqtalardagi parametrlar, foydali ish, uzatilgan issiqlik miqdori va uning termik f.i.k. aniqlansin.



6.28-rasm

—  $k=1,4$

Ishchi jism –havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

**Yechish:**

**1-nuqta.**

\_\_\_\_\_

**2-nuqta.**

\_\_\_\_\_ ;

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**3-nuqta.**

\_\_\_\_\_

**4-nuqta.**

\_\_\_\_\_

$$T_4 = \frac{973 \cdot 300}{579} = 504 \text{ K};$$

$$t_4 = 229^\circ \text{C} \quad p_4 = p_1 = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\frac{v_4}{v_1} = \frac{T_4}{T_1}; \quad v_4 = v_1 \frac{T_4}{T_1} = 0,861 \cdot \frac{504}{300} = 1,45 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}};$$

Uzatilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = q_{2-3} = c_p(T_3 - T_2) = \frac{29,31}{28,96}(973 - 579) = 399 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}.$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori (absolyut qiymat)

$$q_2 = q_{4-1} = c_v(T_4 - T_1) = \frac{29,31}{28,96}(500 - 300) = 202 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}.$$

Siklning ishi

$$l_0 = q_1 - q_2 = 399 - 202 = 197 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Siklning termik f.i.k.i

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{202}{399} = 0,494.$$

**6.57-masala.** Agar  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ ,  $t_1 = 17^\circ \text{C}$ ,  $t_3 = 600^\circ \text{C}$   $\lambda = \frac{p_2}{p_1} = 8$  berilgan bo'lsa,  $p = \text{const}$  (6.28-rasm) bo'yicha issiqlik uzatilgan gaz turbinasining ideal sikli uchun xarakterli nuqtalardagi parametrlar, foydali ish, uzatilgan issiqlik miqdori va uning termik f.i.k. aniqlansin.

**Javob:**  $v_1 = 0,831 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}; \quad v_2 = 0,189 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}; \quad v_3 = 0,313 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}; \quad v_4 = 0,313 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}};$

$p_2 = 1,52 \text{ MPa}; \quad p_3 = 3,05 \text{ MPa}; \quad p_4 = 0,26 \text{ MPa}; \quad t_2 = 387^\circ \text{C}; \quad t_3 = 1047^\circ \text{C}; \quad t_4 = 1311^\circ \text{C}; \quad t_5 = 511^\circ \text{C}; \quad \eta_t = 0,532; \quad l_0 = 396 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}};$

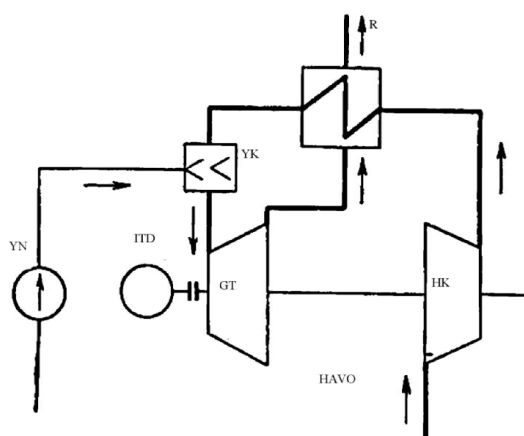
$q_1 = 744,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}; \quad q_2 = 348,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}};$

**6.58-masala.** Gaz turbinasi  $p = \text{const}$  uzatilgan issiqlik sikllar bo'yicha ishlamoqda. Ma'lum parametrlar:  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ ,  $t_1 = 40^\circ \text{C}$ ,  $t_4 = 400^\circ \text{C}$   $\lambda = 8$  Ishchi jism –havo. Siklning xarakter nuqtalardagi parametrlari, uzatilgan va olib ketilgan issiqlik

miqdori, sikl davomida bajargan ish va uning termik f.i.k.i aniqlansin Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

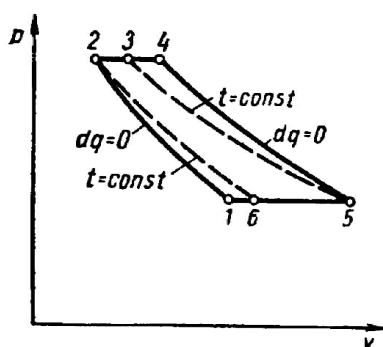
**Javob:** — — — — —  
—

**6.59-masala.** 6.29-rasmda  $p=\text{const}$  issiqlikning to'liq regeneratsiyasi bilan ishlovchi gaz turbina qurilmasining prinsipial sxemasi keltirilgan.



**6.29-rasm**

YN-yoqilg'I nasosi; YK-yonish kamerasi; GT-gaz turbinasi; HK-havo kompressori; ITD-ishga tushiruvchi dvigatel; R-regenerativ qizdiruvchi.



**6.30-rasm**

Ushbu qurilmaning sikli 6.29-rasmda keltirilgan.

$t_1=30^\circ\text{C}$  va  $t_5=400^\circ\text{C}$ , shuningdek siklda bosim ortish darajasi  $\lambda=6$  parametrlar ma'lum. Ishchi jism –havo. Siklning termik f.i.k.i aniqlansin. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

Regeneratsiya kiritishdan qanday tejamkorlik bo'ladi.

**Javob:** tejamkorlik 37,5 %ni tashkil qiladi.

**6.60-masala.** Gaz turbinasi  $p=\text{const}$  issiqlik uzatilgan regeneratsiyasiz siklda ishlamoqda. (6.30-rasm ) Siklda bosim ortish darajasi  $\lambda = \frac{p_2}{p_1} = 7$ ; va dastlabki kengayish darajasi  $\rho = \frac{V_3}{V_2} = 2,4$  ma'lum. Ishchi jism – havo. Shu siklning termik f.i.k.i topilib, uni bir xil siqish darajasi  $\varepsilon$  va bir xil kengayish darajasi  $\rho$  issiqlik uzatilgan porshenli ichki yonuv dvigateli sikli bilan solishtirilsin. Siklni  $TS$  diagrammada tasavvur qilinsin.

**Javob:**  $\eta_{t_{GT}} = 0,426$ ;  $\eta_{t_{ITD}} = 0,297$ ;

**6.61-masala.** Gaz turbinasi  $v=\text{const}$  issiqlik uzatilgan holda to'liq regeneratsiya bilan ishlamoqda. Berilgan  $t_1=30^\circ\text{C}$  va  $t_5=400^\circ\text{C}$  shuningdek,  $\lambda = \frac{p_2}{p_1} = 4$ . Ishchi jism – havo. Mazkur siklning termik f.i.k.i topilsin. Sikl diagrammada tasvirlangan.

**Javob:**  $\eta_{t_{reg}} = 0,585$ .

**6.62-masala.**  $\lambda=2,4,6,8$  va  $10$  parametrlar uchun termik f.i.k.ning  $p=\text{const}$  issiqlik uzatilgan gaz turbinasining ideal sikliga bog'liqlik grafigi tuzilsin.

**6.63-masala.** Kompessor  $p_1=0,1$  MPa bosim va  $t_1=20^\circ\text{C}$  havoni  $400\text{ m}^3/\text{soat}$  so'rish olib uni  $p_2=0,5$  MPa bosimgacha siqilyapti. Siqish oxiridagi havo harorati va adiabatik siqishdagi kompressorning adiabetic siqishdagi nazariy ish topilsin.

**Javob:**  $L_0 = 81,6 \cdot 10^6 \frac{J}{\text{soat}} = 81,6 \frac{MJ}{\text{soat}}$ ;  $t_2 = 191^\circ\text{C}$

**6.64-masala.** Kompessor  $100\text{ m}^3/\text{soat}$  havoni  $p_1=0,1$  MPa bosim va  $t_1=27^\circ\text{C}$  haroratda so'radi. Havoning oxirgi boshlig'i  $0,8$  MPa ni tashkil qiladi. Kompressorni yuritish uchun dvigatelning nazariy quvvatini va sovituvchi suvning sarfini aniqlang, bunda kompressorning harorati  $13^\circ\text{C}$  ga oshadi. Hisoblash izotermik, adibatik va politropik siqishlar uchun amalga oshiriladi. Politropa ko'rsatkichi  $1,2$  va suvning issiqlik sig'imi  $4,19\text{ kJ/kg}$  qabul qilinadi.

### Yechilishi:

**3. Izotermik siqish.** Kompessorning ishi quyidagi tenglama bo'yicha aniqlanadi:

$$L_0 = p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = 2,303 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 100 \lg 8 = 20,8 \text{ MJ/soat}$$

Dvigatelning nazariy quvvati quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$N = \frac{L_0}{1000 \cdot 3600} = \frac{20,8 \cdot 10^6}{1000 \cdot 3600} = 5,8 \text{ kVt}$$

Sovituvchi suv bilan olib ketilgan issiqlik quyidagi tenglikdan aniqlanadi:

$$Q = L_0 = 20,8 \text{ MJ/soat}$$

Demak, sovituvchi suvning sarfi:

$$M = \frac{20,8 \cdot 10^6}{13 \cdot 4,19} = 382 \text{ kg / soat}$$

**2. Adiabatik siqish.** Ish quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$L_0 = \frac{k}{k-1} p_1 V_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \frac{1,4}{0,4} 0,1 \cdot 10^6 \cdot 100 \left( 8^{\frac{0,4}{1,4}} - 1 \right) = 28,4 \text{ MJ / soat}$$

Dvigatel quvvati:

$$N = \frac{L_0}{1000 \cdot 3600} = \frac{28,4 \cdot 10^6}{1000 \cdot 3600} = 7,9 \text{ kVt}$$

**3. Politrop siqish.** Ish quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$L_0 = \frac{m}{m-1} p_1 V_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] = \frac{1,2}{0,2} 0,1 \cdot 10^6 \cdot 100 \left( 8^{\frac{0,2}{1,2}} - 1 \right) = 24,8 \text{ MJ / soat}$$

Dvigatel quvvati:

$$N = \frac{L_0}{1000 \cdot 3600} = \frac{24,8 \cdot 10^6}{1000 \cdot 3600} = 6,9 \text{ kVt}$$

Havo bilan olib ketilgan issiqlik miqdori quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$Q = M c_v \frac{m-k}{m-1} (t_2 - t_1) = -116 \cdot 0,723 \cdot 124 = -10400 \text{ kJ / soat}$$

demak,

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} = 8^{\frac{0,2}{1,2}} = 1,414; \quad T_2 = T_1 \cdot 1,414 = 424 \text{ K} = 151^\circ \text{C}$$

$$c_v \frac{m-k}{m-1} = 0,723 \frac{-0,2}{0,2} = -0,723 \text{ kJ / (kg} \cdot \text{K)}$$

$$M = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 100}{287 \cdot 300} = 116 \text{ kg / soat}$$

Sovituvchi suv sarfi:

$$M = \frac{10400}{13 \cdot 4,19} = 191 \text{ kg / soat}$$

**6.65-masala.** Agar  $p_1=101325$  Pa, siqilgan havoning bosimi  $p_2=0,4$  MPa, so'rib olinayotgan havo sarfi  $500 \text{ m}^3/\text{soat}$  bolsa, izotermik siqish bilan ishlayotgan ideal kompressorning quvvati va sovutuvchi suvga berilayotgan issiqlikning soatbay miqdori topilsin.

**Javob:**  $N=14,2 \text{ kVt}$ ,  $Q=69580 \text{ kJ/soat}$ .

**6.66-masala.** Kompressor  $250 \text{ m}^3/\text{soat}$  havoni  $p_1=0,1$  MPa bosim va  $t_1=25^\circ\text{C}$  haroratda so'rib olib, uni  $p_2=0,8$  MPa gacha siqadi. Agar siqish  $m=1,2$  ko'rsatkichli politropik kechayotgan bo'lsa va suvning harorati  $15^\circ\text{C}$  ga ohsa, kompressor qoplamasidan soatiga qancha miqdorda suv o'tkazish kerak.

**Javob:**  $390 \text{ L/soat}$ .

**6.67-masala.** Kompressor  $120 \text{ m}^3/\text{soat}$  havoni  $p_1=0,1$  MPa bosim va  $t_1=27^\circ\text{C}$  da so'rib olyapti. Aniqlansin: a) kompressordan chiqishdagi siqilgan havoning harorati, b) havoni siqishga sarflanayotgan ish va quvvat. Hisoblash havoni izotermik, adiabatik, va politropik siqish uchun amalga oshirilsin.

**Javob:** a)  $t_2=t_1$ ;  $V_2=10 \text{ m}^3/\text{soat}$ ;  $L_0=29,8 \text{ MJ/soat}$ ,  $t_2=339^\circ\text{C}$ ,  $V_2=20,4 \text{ m}^3/\text{soat}$ ,  $L_0=43,4 \text{ MJ/soat}$ ,  $N=12 \text{ kVt}$ ;  $t_2=257^\circ\text{C}$ ,  $V_2=17,7 \text{ m}^3/\text{soat}$ ,  $L_0=40,2 \text{ MJ/soat}$ ,  $N=11,2 \text{ kVt}$

**6.68-masala.** Kompressor daqiqasiga  $100 \text{ m}^3$  vodorotni  $20^\circ\text{C}$  harorat va  $0,1$  MPa bosimda so'rib olib, uni  $0,8$  MPa gacha siqmoqda. Agar kompressorning samarador f.i.k.i  $\eta_k=0,7$  bo'lsa, adiabatik siqishda kompressorga uzatish uchun dvigateldan talab qilinadigan quvvat aniqlansin.

**Javob:**  $N=678 \text{ kVt}$

**6.69-masala.** Kompressorning sinovi, odatda, kompressor ishlashi kerak bo'lgan gaz bilan emas, havo bilan amalga oshiriladi. Oldingi vazifa sharti bo'yicha

kompressorning havoda ishlashi uchun talab qilinadigan dvigatelning quvvatini topilsin.

**Javob:**  $N=678 \text{ kVt}$

**6.70-masala.** Kompressorning ishlab chiqaruvchanligi  $V_k=700 \text{ m}^3$  havo, havoning boshlang'ich parametrlari  $p_1=0,1 \text{ MPa}$ ,  $t_1=20^\circ\text{C}$  oxirgi bosim  $p_2=0,6 \text{ MPa}$ . Agar siqish izotermik amalga oshirilsa, kompressorga uzatish uchun dvigatelning nazariy quvvati topilsin.

Agar kompressordagi siqish adiabatik kechsa, dvigatelning nazariy quvvati qanchaga ortadi?

**Javob:**  $N_{iz}=37,9 \text{ kVt}$ ,  $N_{ad}=49,3 \text{ kVt}$ .

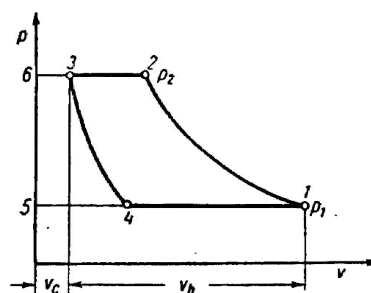
**6.71-masala.** Kompressor havoni  $0,1 \text{ MPa}$  bosim va  $20^\circ\text{C}$  haroratda so'rib olib, uni  $0,8 \text{ MPa}$  gacha izotermik siqyapti. Agar kompressorga uzatiladigan dvigatelning nazariy quvvati  $40,6 \text{ kVt}$  ga teng bo'lsa, kompressorning ishchanligi  $V_k \text{ m}^3$  soat da topilsin. Shunigdek Agar kompressorning silindrida sovutuvchi suvning harorati  $10^\circ\text{C}$  ga ortsa sovutuvchi suvning soatbay sarfi topilsin. Suvning issiqlik sig'imi  $4,19 \text{ kJ/kg}$  ga teng deb hisoblansin.

**Javob:**  $V_k=655 \text{ m}^3/\text{soat}$ ,  $M_{suv}=3488 \text{ l/soat}$

**6.72-masala.** Zararli maydonning nisbiy kattaligi va bug' bilan qizdirib chiqarish bosimi bilan so'rib olishning nisbati orqali kompressorning hajmli f.i.k.ini aniqlash uchun formulani keltiring.

**Javob:**  $\lambda_v = 1 - a \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]$ .

**6.73-masala.** Zararli maydonning nisbiy kattaligi  $0,05$  bo'lgan bir pog'onali kompressor  $400 \text{ m}^3/\text{soat}$  havoni normal sharoitlarda  $p_1=0,1 \text{ MPa}$  bosim va  $t_1=20^\circ\text{C}$  haroratdan  $p_2=0,7 \text{ MPa}$  gacha siqadi. Havoni siqilishi va kengayishi  $m=1,3$  politropik ko'rsatkichli amalga oshirilyapti.



6.31-rasmda

Dvigatelning kompressorga uzatish uchun talab qilinadigan quvvati va uning hajmli f.i.k.i aniqlansin. Kompressorning samarador f.i.k.i  $\eta_k=0,7$ .

Kompressorning ishi 1-2-5-4 indikatorli diagrammaning yuzasi bilan aniqlanadi. Bu yuza 1-2-6-5 va 4-3-6-5 yuzalarining farqi, ya'ni ikki idieal kompressorlar ishlarining farqi sifatida aniqlanishi mumkin. Binobarin,

$$\frac{V_1 - V_4}{V_1} = \frac{V_2 - V_3}{V_2}$$

1 m<sup>3</sup> so'rib olinayotgan havo uchun  $V_1 - V_4 = 1$  va bundan

$$\frac{V_2 - V_3}{V_2} = 1$$

Hosil bo'lgan ifoda zararli maydon yo'qligidagi kompressorning ishini aniqlovchi 6-26 formula bilan mos keladi. Bu shunday tavsiflanadiki, zararli maydonda qoladigan siqilgan havo boshlang'ich bosimgacha kengayib uni siqish uchun sarflangan ishning o'rnini to'ldiradi. Shunday qilib, kompressorning nazariy ishi

$$W_{\text{nazariy}} = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1}$$

Dvigatelning talab qilinadigan quvvati (6.34 formula) bo'yicha

$$N = \frac{W_{\text{nazariy}}}{\eta_k}$$

Kompressorning hajmli f.i.k.i (6.32 formula) bo'yicha

$$\lambda_v = \frac{v_1 - v_4}{v_h}$$

Bu ifodadagi kattaliklarning qiymatlarini aniqlaymiz

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 293}{1 \cdot 10^6} = 0,84 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_h = 0,84 - 0,05 v_h$$

Bundan,

$$v_h = \frac{0,84}{1,05} = 0,8 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_c = 0,05 \cdot 0,8 = 0,04 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Yoki

$$v_c = 0,84 - 0,8 = 0,04 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_3 = v_3 \left( \frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{1}{m}} = v_c \left( \frac{p_2}{p_4} \right)^{\frac{1}{m}} = 0,04 \cdot 7^{1,3} = 0,04 \cdot 4,467 = 0,179 \text{ m}^3/\text{kg}$$

U holda kompressorning hajmli f.i.k.i

$$\lambda_v = \frac{0,84 - 0,179}{0,8} = \frac{0,661}{0,8} = 0,826.$$

Kompressorning hajmli f.i.k.ini 6.33-formuladan ham topish mumkin.

$$\lambda_v = 1 - a \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right].$$

U holda

$$\lambda_v = 1 - 0,05 = (7^{1,3} - 1) = 1 - 0,05(4,467 - 1) = 0,827.$$

**6.74-masala.** Bir pog'onali kompressorda zararli maydoni nisbiy kattaligi 0,05 ni tashkil qiladi. Kompressorning ishchanligi  $p_1=0,1$  MPa va  $t_1=27^\circ\text{C}$  da  $500 \text{ m}^3$  havoga teng. Yakuniy bosim  $p_2=0,9$  MPa. Bug' bilan qizdirilgandan so'ng havoning siqilishi va kengayishi ko'rsatkichi  $m=1,3$  bo'lgan politropik kechadi.  $1 \text{ m}^3$  havoni so'rish uchun ketgan ish, kompressorga uzatish uchun dvigatel quvvati va uning hajmli f.i.k. aniqlansin.

**Javob:**  $l'_0 = 0,286 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$ ;  $N = 39,7 \text{ kVt}$ ;  $\lambda_v = 0,779$ .

**6.75-masala.** Bir pog'onali porshenli dvigatel zararli maydonining nisbiy kattaligi 5% ga teng. So'rib olinayotgan havoning bosim  $p_1=1$  bar. Bug' bilan qizdirishning qanday chegaraviy qiymatida kompressorning ishchanligi nolga teng bo'ladi. Zararli maydonda joylashgan havoning kengayish jarayoni va siqilish jarayoni adiabatik deb hisoblansin.

**Yechish:**

Hajmli f.i.k. nolga teng bo'lganda kompressorning ishchanligi nolga tenglashadi, ya'ni

$$\lambda_v = 1 - a \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{k}} - 1 \right] = 1 - 0,05 \left( p_2^{\frac{1}{k}} - 1 \right) = 0.$$

Ushbu tenglamani yechib

$$p_2 = 21^{1,4} = 7,1 \text{ MPa}.$$

Bundan, kompressorning ishchanligi nolga tenglashadigan chegaraviy bosim 7,1 MPa ni tashkil qiladi.

**6.76-masala.** Kompressor  $t_1=27^0\text{C}$  harorat va  $p_1=0,1$  MPa bosimda 100 m<sup>3</sup>/soat havo so'rib olib uni  $p_2=6,4$  MPa bosimgacha siqyapti. Siqish jarayonini  $m=1,2$  ko'rsatkichli politrop deb qabul qilgan holda, kompressordagi havoni siqishga ketgan ish aniqlansin.

**Yechish:**

Politropik siqishda havoning yakuniy harorati

$$T_2 = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} = 300 \cdot 64^{\frac{0,3}{1,3}} = 780 \text{ K}; \quad t_2 = 507 ^\circ\text{C}$$

Havo haroratining bunday oshishini yo'l qo'yib bo'lmas deb hisoblab, ikki pog'onali siqishni ko'rib chiqamiz. 6.35-formula bo'yicha har bir pog'onadagi bosimning nisbatini aniqlaymiz.

$$x = \sqrt{\frac{64}{1}} = 8.$$

Bitta pog'onaning ishi

$$L_0 = \frac{m}{m-1} p_1 V_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] = \frac{1,3}{0,3} 0,1 \cdot 10^6 \cdot 100 \left( 8^{\frac{0,3}{1,3}} - 1 \right) = 26,7 \cdot 10^6 \text{ J / soat} = 26,7 \text{ MJ / soat}$$

Har bir pog'onadagi bosimlar nisbatlari teng bo'lgani uchun, har bir pog'onaga sarflanadigan ish bir xil bo'ladi. Bunda kompressorning ishi

$$L_0 = nL'_0 = 2 \cdot 26,7 \cdot 10^6 = 53,4 \text{ MJ/soat}$$

Agar kompressor bir pog'onali bo'lganda edi, kompressorda sarflanadigan ish

$$L_0 = \frac{m}{m-1} p_1 V_1 \left[ \left( \frac{p_3}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] = \frac{0,3}{1,3} 0,1 \cdot 10^6 \cdot 100 \left( 64^{\frac{0,3}{1,3}} - 1 \right) = 69,6 \cdot 10^6 \text{ J / soat} = 69,6 \text{ MJ / soat}.$$

Shunday qilib ikki pog'onali kompressorni qo'llash

$$\frac{69,6 - 53,4}{69,6} = \frac{16,2}{69,6} = 0,233 = 23,3\%$$

tejamkorlikni beradi.

**6.77-masala.** Havo 0,1 MPa bosim va 20 °C haroratda adiabatik bo'yicha 0,8 MPa bosimgacha siqilishi kerak. a) bir pog'onali kompressor uchun, b) ikki pog'onali kompressor uchun aniqlansin. Siqish so'ngidagi harorat, kompressorning nazariy ishi va hajmli f.i.k. kattaligini zararli maydonning nisbiy kattaligi 8 % ga teng. Olingan qiymatlar jadvalga qayt etib o'zaro taqqoslansin.

**Yechish:**

**Bir pog'onali siqish:** siqish so'ngidagi harorat quyidagi formula bo'yicha topiladi.

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 293 \cdot 8^{\frac{0,4}{1,4}} = 293 \cdot 1,81 = 530 \text{ K} = 257 \text{ °C}$$

Kompressorning nazariy ishi 6.20-formula bo'yicha:

$$l_0 = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \frac{1,4}{0,4} 287 \cdot 293 (1,81 - 1) = 238410 \text{ J / kg}.$$

Kompressorning hajmli f.i.k.

$$\lambda_v = 1 - a \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0,8 \left( 8^{\frac{1}{1,4}} - 1 \right) = 0,73.$$

**Ikki pog'onali siqish.** Har bir pog'onadagi siqish darajasini 6.35- formuladan topamiz.

$$x = \sqrt{\frac{0,8}{0,1}} = 2,84.$$

Har bir pog'onadagi siqish so'ngidagi harorat

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 293 \cdot 284^{\frac{0,4}{1,4}} = 293 \cdot 1,35 = 396K = 123^{\circ}C$$

Kompressorning ikkala pog'onasidagi nazariy ishi

$$l_0 = 2 \frac{k}{k-1} RT_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = 2 \frac{1,4}{0,4} 287 \cdot 293 (1,35 - 1) = 206000 \frac{J}{kg}.$$

Hajmiy f.i.k.

$$\lambda_v = 1 - 0,08 \left[ 2,84^{\frac{1}{1,4}} - 1 \right] = 0,912.$$

**Topilgan natijalarni jadvalga keltiramiz.**

| Kattaliklar                    | Bir pog'onali siqish | Ikki pog'onali siqish |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Siqish so'ngidagi harorat..... | 257                  | 123                   |
| Ishning nazariy sarfi.....     | 238410               | 206000                |
| Hajmiy f.i.k.....              | 0,73                 | 0,912                 |

Keltirilgan ma'lumotlar ikki pog'onali siqishning ustunliklarini yaqqol ko'rsatadi.

**6.78-masala.** Ikki pog'onali kompressor havoni  $p_1=0,1$  MPa bosim va  $t_1=20^{\circ}C$  haroratda so'rib olib, uni yakuniy  $p_2=4$  MPa bosimgacha siqayapti. Kompressor pog'onalari oralig'ida havoni o'zgarmas bosimda boshlang'ich haroratgacha sovutadigan oraliq muzlatgich o'rnatilgan. Kompressorning ishchanligi  $V_k=500$  m<sup>3</sup> /soat. Agar yakuniy bosimning boshlang'ich bosimga nisbati ikkala pog'ona uchun bir xil va siqish  $m=1,3$  ko'rsatkichli politropik kechayotgan bo'lsa,

har bir pog'onaning nazariy quvvati va kompressorning ikkala pog'onasidan oraliq muzlatkichdan olib ketilgan issiqlik miqdori aniqlansin. Havoni siqish va sovutish jarayonini pv va Ts diagrammada tasvirlansin.

**Javob:**  $N_1=N_2=35,3 \text{ kVt}$ ;  $Q_1=Q_2=-24780 \text{ kJ/soat}$ ;  $Q_{o.m}=104,3 \text{ MJ/soat}$ .

**6.79-masala.** Siqilishdan alangalanuvchi dvigatel uchun 8 MPa bosimda 250 kg/soat havo uzatuvchi uch po'g'onali kompressor zarur. Kompressorning nazariy quvvati aniqlansin. Siqish adiabetic deb hisoblansin. Siqish boshlang'ich bosimi  $p_1=0,095 \text{ MPa}$  va harorati  $t_1=17^\circ\text{C}$ .

**Yechish:** Har bir pog'onadagi bosimlar nisbati 6.35-formula bo'yicha

$$x = \sqrt[3]{\frac{8}{0,095}} = 4,38.$$

Shunday qilib (6.15-rasmga qaralsin)

$$\frac{p_2}{p_1} = 4,38; \quad \frac{p_4}{p_2} = 4,38;$$

va bundan

$$p_2 = 4,38 \cdot 0,095 = 0,416 \text{ MPa};$$

$$p_4 = 4,38 \cdot 0,416 = 1,82 \text{ MPa}.$$

Kompressorning har bir pog'onasi uchun ish sarfini 6.45-formula bo'yicha topamiz.

$$l_0 = \frac{m}{m-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] = \frac{m}{m-1} R T_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] = \frac{1,4}{0,4} 287 \cdot 290 \left( 4,38^{\frac{0,4}{1,4}} - 1 \right) = 154 \text{ kJ/kg}.$$

Uch pog'onali compressor uchun ish sarfi

$$l_0 = n l'_0 = 3 \cdot 154 \cdot 10^3 = 462 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}.$$

Kompressorning quvvati

$$N = \frac{250 \cdot 462 \cdot 10^3}{3600 \cdot 1000} = 32,1 \text{ kVt}.$$

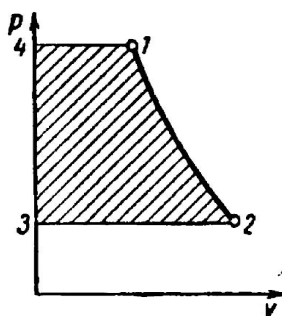
**6.80-masala.** Uch pog'onali kompressor 60 m<sup>3</sup>/soat havoni  $p_1=0,08$  MPa va  $t_1=27^{\circ}\text{C}$  da so'rib olib uni 10 MPa gacha adiabatik siqayapti.

$V_{\text{siq}}$  siqilgan havo va kompressorda siqishga ketgan ish bo'yicha kompressorning ishchanligi aniqlansin.

**Javob.**  $V_{\text{siq}}=0,8$  m<sup>3</sup>/soat;  $L_0=29383$  kJ/soat.

**6.81-masala.** Havo kompressorning ishchanligi  $p_1=0,1$  MPa va  $t_1=25^{\circ}\text{C}$  boshlang'ich boshlang'ich parametrlar va yakuniy bosim  $p_2=0,6$  MPa da 500 kg/soat ni tashkil qiladi. Havoning siqish jarayoni, politropik, politropik ko'rsatkichi  $m=1,2$ . Porshen harakatining diametrga nisabati  $S/D=1,3$ . Aylanishlar soni  $n=3,41$  rad/sek (3000 ayl/min). Kompressorga uzatish uchun zarur bo'lgan nazariy dvigatel quvvati, porshen harakati va silindrning diametric aniqlansin.

**Javob.**  $N=24,8$  kVt,  $D=0,287$  m,  $S=0,373$  m.



**6.32-rasm.**

**6.82-masala.** 6.32-rasmda ishchi jism siqilgan havo bo'lgan dvigatelning ishlash jarayoni ko'rsatilgan. Agar havo dvigatelining nazariy quvvati  $N=10$  kVt bo'lsa, havoning zarur bo'lgan og'irlik sarfi aniqlansin. Havoning boshlang'ich parametrlari  $p_1=1$  MPa va  $t_1=15^{\circ}\text{C}$ . Havoning kengayish jarayonini  $m=1,3$  ko'rsatkichli politropik deb qabulqilinsin. Havoning yakuniy bosimi  $p_2=0,1$  MPa.

**Yechish:**

1 kg siqilgan havoning ishi dvigatelda 1-2-3-4 yuza bilan tasvirlanadi, ya'ni

— .

$v_1$  va  $v_2$  solishtirma qarshiliklarning qiymatlari quyidagi tenglamalardan aniqlanadi.

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 288}{1 \cdot 10^6} = 0,0827 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_2 = v_1 \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^m = 0,0827 \cdot 10^{\frac{1}{1,3}} = 0,0827 \cdot 5,885 = 0,487 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}.$$

Shunday qilib,

$$l = 4,33 \cdot 10^6 (1 \cdot 0,0827 - 0,1 \cdot 0,487) = 147176 \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$$

Havoning massaviy sarfi

$$M = \frac{3600 \cdot 1000 \cdot 10}{147176} = 245 \frac{\text{kg}}{\text{soat}}.$$

**6.83-masala.** Dvigatelga havo  $p_1=1\text{MPa}$  bosim va  $t_1=20^\circ\text{C}$  haroratda uzatilyapdi.

Dvigatel silindrida havo  $p_2=0,1\text{ MPa}$  gacha kengayapti.

Agar silindrda kengayish a) izotermik b) adiabatik va d)  $m=1,3$  ko'rsatkichli politropik kechayotgan bo'lsa, 1 kg havo bajaradigan ish aniqlansin.

**Javob.**  $l_{iz}=193,7\text{ kJ/kg}$ ,  $l_{ad}=141,8\text{ kJ/kg}$ ,  $l_{pol}=150,0\text{ kJ/kg}$ .

## 6.9. KOMPRESSOR JARAYONINING TERMODINAMIKASI

Kompressor jarayonining nazariyasi ideal gaz termodinamikasiga asoslanadi. Ideal gazning termodinamik jarayonlari holat tenglamasi bo'yicha ifodalanadi.

$$P = pRT \quad (6.56)$$

Gazning qanchalik harorati past va bosim katta bo'lsa kompressor hisoblarida xatoliklar miqdorlari shunchalik katta bo'ladi. Kompressor jarayonida havoning chiqish bosimi 10MPa dan oshganda real gaz holatining tenglamalarida foydalanish tafsifiya etiladi

$$P = zpRT \quad (6.57)$$

bunda  $z$  - siqilish koeffitsienti.

Termodinamika birinchi qonuni va ideal gazlarning holat tenglamalariga asoslanib, kompressorda kechadigan siqilish va kengayish jarayonlarning asosiy ifodalari:

politropik jarayoni  $p/\rho^n = \text{const}, pv^n = \text{const};$

adiabatik jarayoni  $p/\rho^k = \text{const}, pv^k = \text{const};$

izotermik jarayon  $p/\rho = \text{const}, pv = \text{const};$

Tashqi muhit bilan issiqlik almashinuvsiz kechadigan jarayon – adiabatik jarayoni bo'lib, bunda gazli ishqalinishi va uyurmali harakatlar hisobidan bajarilgan ishning natijasidan, ichki issiqlikning hosil bo'lishi imkoni bor. Qat'iy adiabatik jarayonni kompressorlarda hosil qilib bo'lmaydi, chunki gaz oqimini tashqi muhitdan to'liq issiqlik almashinuvdan ajratib bo'lmaydi.

Yuqorida keltirilgan jarayonlardan tashqari kompressor nazariyasida, izoentropik jarayon ham ko'rib chiqiladi. Atrof muhit bilan issiqlik almashinuvsiz va oqimdagi gazli ishqalanishi hisobidan, sodir bo'ladigan ichki issiqlik ajralib chiqishi natijasida entropiya o'zgarmas bo'ladi. Real kompressorlarda izoentropik jarayonni bo'lmasligi aniq.

Ko'rib chiqilgan jarayonlarni grafik shaklida  $T$  va  $S$  koordinata o'qlarda rasmiylashtirish qo'laydir.

Bunda

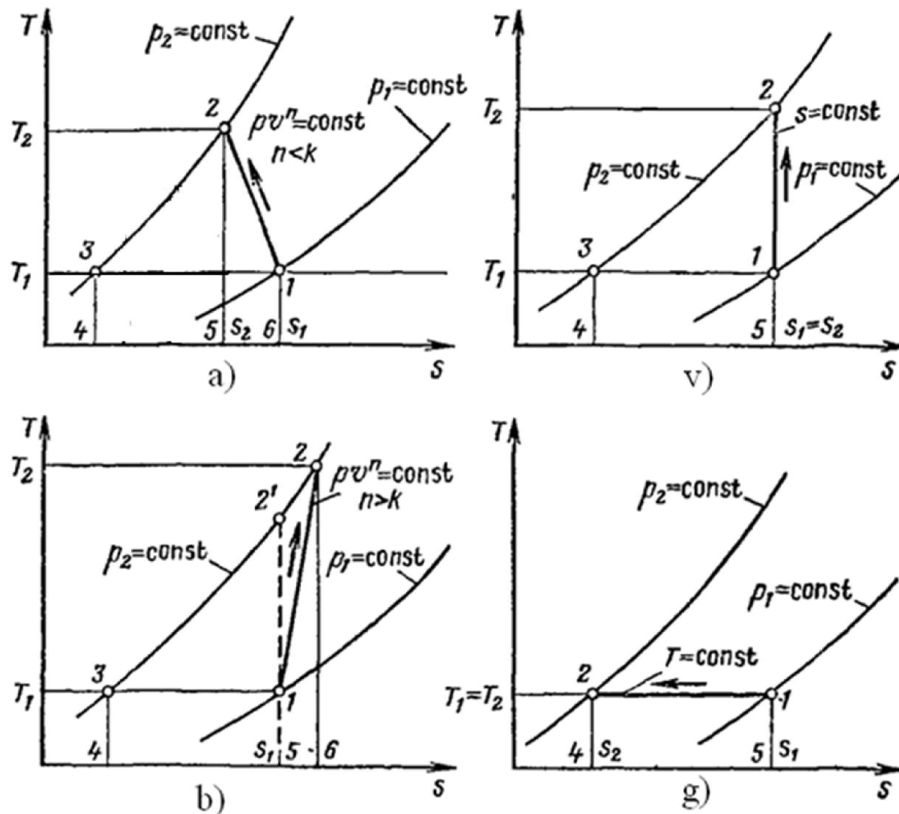
$a$  – politropik  $n < k$  jarayoni, suv yordamida jadal sovutiladigan kompressorlarga xos;

$b$  - politropik  $n > k$  jarayoni, parrakli (markazdan qochma va o'qli) kompressorlarda odatda uchraydigan;

$v - S = \text{const}$ , izoentropik;

$g - T = \text{const}$ , izotermik.

Rasmda keltirilgan  $v$  va  $g$  jarayonlar kompressorlarda amalga oshirib bo'lmaydi. Birinchisi – gazli ishqalinishi hisobidan issiqlikni hosil bo'lish ancha sezilarli, ikkinchisi – o'zgarmas haroratli gazni siqish jarayonni ta'minlovchi, kompressorni sovutuvchi tizimini, amqsalga oshirib bo'lmaydi. Ushbu ikkita jarayon kompressorlarni energetik samaradorligini baholashda qo'llaniladi.



### 6.33 –rasm. Kompessor jarayonlarning TS diagrammalari

Kompessor jarayonlarni termodinamik diagrammalarning asosiy xossalari:

1 – 2 chizig'i – siqilish jarayoni; 2 – 3 chizig'i – kompressordan chiqadigan gazning izobarik sovutilishi jarayoni. Bu jarayon kompressor sovutkichida va quvurli tarmoqlarda amalga oshiriladi. 6.33– rasmdagi, *a* va *b* jarayonlarda siqilish entropiya o'zgarishi va harorat oshirilishi bilan kuzatiladi. Bunda gazning entalpiyasi oshadi.

Demak kompressor jarayoni amalga oshirish uchun, gazga uzatiladigan energiya miqdori, diagrammadagi 1–2–3–4–5 va 2–3–4–6 yuzalar yig'indisi bilan tasvirlaydi.

Ko'rib chiqilgan termodinamik jarayonlardan kelib chiqadiki, eng kam energiya, izotermik jarayonda ishlaydigan kompressorda sarflanadi.

## 6.10. KOMPRESSORNING FIKI

Kompressor jarayoning samaradorligini FIK, ya'ni foydali energiya miqdorini sarflangan umumiy energiya miqdoriga nisbatini belgilamaydi.

Agarda  $c_1 = c_2$  – kompressor jarayonida gazga uzatiladigan solishtirma energiya miqdori; kompressor jarayonida gazga uzatilgan solishtirma energiya miqdori  $L - q = c_p(T_2 - T_1)$ ;  $q$  – kompressorni sovutishdan, atrof-muhitga ketadigan issiqlik miqdori sharoitlardan kompressor jarayonning energetik FIK ifodasi

$$\eta = \frac{c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_2 - T_1) + q} = 0 \quad (6.58)$$

Izotermik jarayoniga ifodani moslashtirish natijasida quyidagi ifoda kelib chiqadi:  $T_1 = T_2$  bo'lganda,  $\eta = 0$ .

Bunda ilmiy qoidalarga mos kelmaydigan hodisaga kelishi mumkin, chunki yuqorida aytilgandek eng samarali kompressor jarayoni deb, izotermik jarayonda ishlovchi kompressorga aytiladi.

Demak, kompressorning FIK energetik FIK bilan belgilanmaydi. Kompressorning FIKsi nisbiy termodinamik izotermik va izoentropik FIK lar yordamida baholanadi.

Ularning ifodalari quyidagicha:

$$\eta_{iz} = L_{iz}/L; \quad \eta_a = L_a/L \quad (6.59)$$

Bunda  $L$ -politropik jarayonning solishtirma energiyasi;  $L_{iz}$ - $L_a$ -izotermik va izoentropik jarayonlarning solishtirma energiyasi:

$$L_a = \frac{k}{k-1}RT \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (6.60)$$

Haqiqiy jarayon politropik bo'lib,  $q=0$  shartidan quyidagi kelib chiqadi

$$L = c_p (T_2 - T_1) \quad (6.61)$$

Ushbu ifodalardan quyidagilar kelib chiqadi

$$\eta_a = \frac{\left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\frac{T_2}{T_1} - 1} \quad (6.62)$$

Suv bilan intensiv sovutilgan kompressorlarni (porshenli rotorli) baholashda izotermik FIK  $\eta_{iz}$  qo'llaniladi. Bu kompressorlar uchun izotermik jarayon namunali hisoblanadi.

Hajmiy bir pog'onali kompressorlar ishini baholashda nisbiy izotermik FIK ning ifodasi:

$$\eta_{iz} = \frac{R \ln \frac{p_2}{p_1}}{c_p \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right)} \quad (6.63)$$

Intensiv sovutilmaydigan (markazdan qochma va o'qli) kompressorlar ishi, izoentropik FIK  $\eta_a$  bilan baholanadi. Bu turdagi kompressorlar uchun izoentropik jarayon namunali hisoblanadi.

## ASOSIY SHARTLI BELGILAR.

$T$  – absolyut temperatura, K;

$t$  – muzning erish nuqtasidan hisoblanadigan temperatura, °C.

$\Delta t$  – temperaturalar farqi, °C;

$\rho$  – zichlik, kg/m<sup>3</sup>;

$v$  – solishtirma hajm, m<sup>3</sup>/kg;

$V$  – hajm, m<sup>3</sup>;

$m$  – massa, kg;

$p$  – bosim, Pa (N/M<sup>2</sup>), kPa, MPa;

$\Delta p$  – bosimlar farqi, Pa (N/m<sup>2</sup>), kPa, MPa;

$R$  – gaz doimiysi, J/(kg·K);

$\mu$  – molekulyar massa;

$c$  – solishtirma issiqlik sig‘imi, kJ/(kg·K);

$c^1$  – solishtirma hajmiy issiqlik sig‘imi, kJ/(m<sup>3</sup>·K);

$\mu c$  – molyar issiqlik sig‘imi, kJ/(kmol·K);

$q$  – solishtirma issiqlik miqdori, J/kg;

$Q$  – issiqlik miqdori, J;

$\ell$  – ish, J/kg;

$u$  – ichki energiya, J/ kg

$\Delta u$  – ichki energiyaning o‘zgarishi, J/kg;

$h$  – solishtirma entalpiya, J/kg;

$\Delta h$  – entalpiyaning o‘zgarishi, J/kg;

$s$  – entropiya, J/(kg·K);

$\Delta s$  – entropiyaning o‘zgarishi, J/(kg·K);

$r$  – bug‘ hosil qilish issiqligi, kJ/kg;

$d$  – namlik miqdori, g/kg quruq havo;

$\varphi$  – nisbiy namlik, %;

$B$  – yoqilg‘i sarfi, kg/s;

$b$  – yoqilg‘ining solishtirma sarfi, kg/(kVt·s);

$D$  – bug‘ unumdorligi, kg/s;

$Q_q$ ,  $Q_{yu}$  – yoqilg‘ining quyi va yuqori yonish issiqligi, kJ/kg;

$\varepsilon$  – sovitish koefitsienti, siqilish darajasi;

$\eta_t$  – termik F.I.K;

$\chi$  – issiqlik o‘tkazuvchanlik koefitsienti, Vt/(m·K);

$\alpha$  – issiqlik berish koefitsienti, Vt/(m<sup>2</sup>·K);

$k$  – issiqlik uzatish koefitsienti, Vt/(m<sup>2</sup>·K);

$N$  – quvvat, kVt.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.

1. Г.П. Панкратов Сборник задач по теплотехнике. Москва. Высшая школа 1986 г
2. Саламахова Т.С., Чебышева К.В. «Центробежные вентиляторы» Учебник - М.: Машиностроение, 2001.
3. Малющенко В.В., Михайлов А.К. Энергетические насосы и компрессоры. Справочное пособие. – М.: Энергоиздат, 2000.
4. А.В. Шегляев. Паровые турбины. Энергия, 1967 й.
5. И.Н.Нигматулин. В.А. Ценев, П.Н. Шляхин, «Тепловые двигатели». 1979 г
6. О.М. Рабинович. Сборник задач по технической термодинамике. «Машиностроение» 1973 г
7. Черкасский В.М. «Насосы, вентиляторы, компрессоры» Учебник - М.: Энергоиздат, 1984.
8. Ya.D. Muxiddinova, D.N. Mamedova, I.N. Qodirov, S.I. Hamrayev. « Issiqlik yuritkichlar va bosim bilan haydash mashinalari » II – qism. Bosim bilan haydash mashinalari. Darslik - Toshkent-2019 y.

### Internet ma'lumotlari:

#### Internet saytlari

1. Sayt: [www.uzenergy.uzpak.uz](http://www.uzenergy.uzpak.uz);
2. Sayt: [www.rosteplo.ru](http://www.rosteplo.ru);
3. Sayt: [www.energystrategy.ru](http://www.energystrategy.ru).
4. <http://www.03-ts.ru>:

## IZOHLI LUG'ATI

1. **Turbina** – boshqa bir turdagi energiyani mexanik energiyaga aylantiruvchi qurilma
2. **Dvigatel** – dvigatel, biron bir turdagi energiya ishlab chiqaruvchi moslama
3. **Issiqlik dvigateli** – issiqlik energiyasidan mexanik energiya hosil qiluvchi uskuna
4. **Gaz turbina** – yoqilg'idan ajraladigan gaz hisobiga o'tkinchi rejimda ishlovchi qurilma
5. **Adsorbent** – ichki yoki tashqi yuzasi orqali gaz yoki eritmalarni shimib, o'zida singdirish.
6. **Adsorbsiya** - eritmadagi moddalar yoki gazlarning qattiq yoki suyuqlik sirtiga yutilishi.
7. **Akkumlyatsiya** – oddiy moddalarning organizmlarini yashash faoliyati uchun zarur bo'lgan murakkab moddalarga aylanish jarayoni.
8. **Atmosfera** – yer shari bilan birgalikda aylanadigan, yerning ga kobigidir.
9. **Aeratsiya** – xavoni turli muhitlarga tabiiy ravishda yoki mehaniq yo'li bilan kirishi.
10. **Atomar** – atom taallukli maxsus atama.
11. **Bug'lanish samarasi** – turli gazlarni xavoda yig'ilib sun'iy issiqlik hosil qilishi.
12. **Gradiyent** – biror kattalikning masofa birligiga siljish mobaynida o'zgarishlar birligi.
13. **Degradatsiya** – tanazzul, zavol, inqiroz.
14. **Dispersiya** – yoyilish, ajralish.
15. **Dispers tizim** – tuman, tutun, qolloid eritma.
16. **Dissotsiatsiya** – zarrachalarning bir qancha oddiy zarrachalarga parchalanish.
17. **Diffuziya** – moddaning biror muhitda konsentratsiyasi kamayishi yunalishida tarkalishi.
18. **Katalitik jarayon** – kataliz yordamida sodir bo'ladigan jarayon.
19. **Kondensatsiya** – gaz holatidan suyuq yoki kristall holatiga utish.

20. **Inversiya** – o'rin almashinish.
21. **Individual** – yakka, aloxida o'ziga qarashli.
22. **Intensiv** – jadal, tez, kizgin, shiddatli.
23. **Modifikatsiya** – biror organ yoki kismning tashqi muhit va ichki omillar ta'sirida naslsiz o'zgarish.
24. **Morfologiya** – organizmlarning to'zilishi va shakl to'g'risidagi fan.
25. **Mutagen** – mo'tatsiyalar hosil qiluvchi fizikaviy va kimyoviy omillar.
26. **Ozon** – kislorodning uch atomli molekulasidan iborat gaz, kislorodning bir ko'rinishi.
27. **Relief** – yer yo'z asining to'zilishi, past balandligi.
28. **Sintez** – birikma.
29. **Simob** – chang zarrachalari va tuman tomchilari birikmasi.
30. **Topografiya** – planda tasvirlash maqsadida joylarni suratga olish usullarni urganadigan fan.
31. **Turbulent oqimi** - zarrachalari murakkab traektoriyalar buyicha turgunlashmagan tartibsiz harakatlanadigan suyuqlik yoki gaz oqimi.
32. **Uglevodorod** – ikkita elementdan – uglerod bilan vodoroddan tarkib topgan eng oddiy organik birikmalardir
33. **Shamol pulsatsiyasi** – shamol tezligini o'zgarib turishi.
34. **Ekvivalent** – teng mikdoli, teng baholi.
35. **Elektroliz** – elektrolitda o'zgarmas elektr toki o'tayotganda unda sodir bo'ladigan kimyoviy jarayonlar.
36. **Elektrolit** – ionlarning harakati natijasida elektr toki o'tadigan va elektroliz jarayoni ko'zatiladigan kimyoviy modda va tizimlar.
37. **Latun** – jez
38. **Liniya** – chiziq, yo'l.
39. **Magistral** – asosiy yo'l, asosiy tarmoq.
40. **Bug' qizdirgich** – bug'ning haroratini kerakli parametrlargacha oshiradi;

41. **Bug' turbinasi** – unga kirish joyida bug'ning potensial energiyasi kinetik energiyaga aylanadi va bu kinetik energiya o'z navbatida valning mexanik energiyasiga aylanadi.
42. **Kondensator** – turbinada ishlatilgan bug'ni kondensatsiyalaydi (suyuqlantiradi).
43. **Kondensat nasosi** – tizimda kondensat harakatini ta'minlovchi;
44. **Regenerativ qizdirgichlar** – turbina otboridan olingan bug' yordamida ishchi jism (kondensat va ta'minot suvi) ni qizdiradi;
45. **Deaerator** – ta'minot suvi tarkibidan kislorod va kislorodli gazlarni siqib chiqaradi;
46. **Ta'minot nasosi** – olddan ulanadigan nasos agregati bilan birgalikda tizimda bosim hosil qiladi va ta'minot suvini bug' generatoriga haydab beradi;
47. **Elektrogenerator** – elektr energiyasi ishlab chiqarish qurilmasi.
48. **Havo kompressori** – atmosfera havosini kerakli bosimgacha siqib beruvchi;
49. **Regenerator** – kompressordan chiqayotgan havo turbinadan chiqish gazlarining issiqligi hisobiga qizdiriladi;
50. **Yonish kamerasi** – yokilgining yonishi yuz beradigan joy;
51. **Gaz turbinasi** – siqilgan havo yoki yonish natijasida hosil bo'lgan katta bosim va haroratli gazlar yordamida ishlaydi;
52. **Elektrogenerator** – elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi qurilma;
53. **Ishga tushiruvchi elektrodvigatel** – kompressor valini aylantiradi;
54. **Havoni tozalovchi filtrlar** – kompressorga surilayotgan havoni har xil aralash jinslardan tozalaydi.

## MUNDARIJA

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ANNOTATSIYA.....                                                                                 | 4  |
| KIRISH.....                                                                                      | 5  |
| I BOB. BUG' TURBINALARI                                                                          |    |
| 1.1. Bug' turbinasi va uning ko'rsatkichlarini hisoblash.....                                    | 7  |
| 1.2. Bug' turbinasiga bug' sarfini aniqlash.....                                                 | 23 |
| 1.3. Rostlanmaydigan pog'onaning issiqlik hisobi.....                                            | 36 |
| 1.4. Turbinalarning foydali ish ko'effisiyenti, quvvati va bug' sarfini hisoblash.....           | 43 |
| 1.5. Kondensator va uning ko'rsatkichlarini hisoblash.....                                       | 56 |
| II BOB. GAZ TURBINASI.                                                                           |    |
| 2.1. Gaz turbinasining ko'rsatkichlarini hisoblash.....                                          | 65 |
| 2.2. GTQlarining quvvati va foydali ish ko'effisiyentini hisoblashga doir masalalar yechish..... | 77 |
| III BOB. ICHKI YONUV DVIGATELLARI                                                                |    |
| 3.1. IYODlari va uning ko'rsatkichlarini hisoblash.....                                          | 85 |
| IV BOB. NASOSLAR                                                                                 |    |
| 4.1. Nasos qurilmasining asosiy ish ko'rsatkichlarini hisoblash.....                             | 92 |
| 4.2. Markazdan qochma nasos ko'rsatkichlarini hisoblash.....                                     | 95 |
| 4.3. Rotorli nasoslarni hisoblash.....                                                           | 99 |

|       |                                                                                 |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.  | Tarmoq qarshiligini hisoblash.....                                              | 98  |
| 4.5.  | Porshenli nasoslarning unumdorligini hisoblash.....                             | 99  |
| 4.6.  | Ketma-ket va parallel ulangan nasoslarning ko'rsatkichlarini hisoblash<br>..... | 102 |
| V     | BOB. VENTILYATORLAR                                                             |     |
| 5.1.  | Ventilyatorning asosiy parametrlari.....                                        | 107 |
| 5.2.  | Ventilyatorlarni ishlatilishiga oid masalalar.....                              | 110 |
| 5.3.  | Ventilyator ko'rsatkichlarini hisoblash.....                                    | 111 |
| VI    | BOB. KOMPRESSOLAR.                                                              |     |
| 6.1.  | Kompressolarni hisoblash.....                                                   | 117 |
| 6.2.  | Porshenli kompressorlar.....                                                    | 117 |
| 6.3.  | Kompressorning indikator diagramma.....                                         | 127 |
| 6.4.  | Ko'p pog'onali porshenli kompressorlar.....                                     | 128 |
| 6.5.  | Rotorli kompressorlar.....                                                      | 128 |
| 6.6.  | Markazdan qochma kompressor.....                                                | 130 |
| 6.7.  | Ideal kompressorlarning hisobi.....                                             | 137 |
| 6.8.  | Kompressor qurilmasining siklini hisoblash bo'yicha namuna.....                 | 143 |
| 6.9.  | Kompressor jarayonining termodinamikasi.....                                    | 174 |
| 6.10. | Kompressorning fiki.....                                                        | 177 |
|       | <i>Asosiy shartli belgilar.....</i>                                             | 179 |
|       | <i>Foydalanilgan adabiyotlar.....</i>                                           | 181 |
|       | <i>Izohlar lug'ati.....</i>                                                     | 182 |

## Оглавление

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Аннотация.....                                                                         | 4  |
| Введение.....                                                                          | 5  |
| I Глава. Паровые турбины                                                               |    |
| 1.1. Паровые турбины и расчет показателей паротурбинных установок ....                 | 7  |
| 1.2. Расход пара на паротурбинных установок.....                                       | 23 |
| 1.3. Тепловой расчет не регулирующие ступени.....                                      | 36 |
| 1.4. Расчет коэффициент полезного действия турбин и расходы пара, их<br>мощность ..... | 43 |
| 1.5. Расчет показателей конденсационных установок.....                                 | 56 |
| II Глава. Газовые турбины.                                                             |    |
| 2.1. Расчет показателей газотурбинные установки.....                                   | 65 |
| 2.2. Расчет коэффициент полезного действия турбин и расходы газа, их<br>мощность ..... | 77 |
| III Глава. Двигатели внутреннего сгорания                                              |    |
| 3.1. Расчет показателей двигателя внутреннего сгорания.....                            | 85 |
| IV Глава. Насосы.                                                                      |    |
| 4.1. Расчет основные показатели насосных установок.....                                | 92 |
| 4.2. Расчет показателей центробежных насосов.....                                      | 95 |
| 4.3. Расчет роторных насосов.....                                                      | 99 |

|       |                                                                              |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.  | Расчет сетевой сопротивление.....                                            | 98  |
| 4.5.  | Расчет и определение эффективности поршневых насосов.....                    | 99  |
| 4.6.  | Расчет показатели параллельные и последовательные соединения их насосов..... | 102 |
| V     | Глава. Вентеляторы.                                                          |     |
| 5.1.  | Основные параметры вентеляторов.....                                         | 107 |
| 5.2.  | Решение задачи режимы работы вентиляторы.....                                | 110 |
| 5.3.  | Расчет показатели вентиляторов.....                                          | 111 |
| VI    | Глава. Компрессоры.                                                          |     |
| 6.1.  | Расчет компрессоров.....                                                     | 117 |
| 6.2.  | Поршеневие компрессоры.....                                                  | 117 |
| 6.3.  | Индикаторная диаграмма компрессора.....                                      | 127 |
| 6.4.  | Многоступенчатые поршневые компрессоры.....                                  | 128 |
| 6.5.  | Роторные компрессоры.....                                                    | 128 |
| 6.6.  | Центробежные компрессоры.....                                                | 130 |
| 6.7.  | Расчет идеальных компрессоров.....                                           | 137 |
| 6.8.  | Примерней расчета циклы компрессорных установок.....                         | 143 |
| 6.9.  | Термодинамические процесс компрессора.....                                   | 174 |
| 6.10. | Коэффициент полезного действие компрессора.....                              | 177 |
|       | <i>Основные условные обозначение.....</i>                                    | 179 |
|       | <i>Использованные литературы.....</i>                                        | 181 |
|       | <i>Глоссарий.....</i>                                                        | 182 |