

6-mavzu. Ochiq tizimlar termodinamikasi

Reja:

- 1.O'zgarmas me'yorda oqish.*
- 2.Gaz va bug'larning soplodan oqib o'tishi.*
Gaz (bug')ning maksimum sarfi.
- 3.Bosimlarning kritik nisbati. Kritik tezlik.*
- 4. Gaz (bug')larni drossellash yoki ezi .*
- 5.Kompressorlarning sikllari.*

1.O'zgarmas me'yorda oqish.

Atrof-muhit bilan modda almashinadigan termodinamik tizm ochiq tizm deyiladi. Bunday tizmlar texnik qurilmalarda keng tarqalgan. Bug' va gaz turbinalari, magistral gaz quvurlari, havo o'tkazgichlari, isitgichlar, reaktiv qurilmalar va boshqalar elementlarida gazlar va bug'larning harakatlanishi bunga misol bo'ladi. Oqimning termodinamikasini tahlil qilishda quyidagi shartlar amalga oshiriladi: oqim bir o'lchovli; termodinamik parametrlar va tezlik butun oqim kesimida doimiydir (ya'ni, ularning kesma bo'yicha o'rtacha qiymatlari hisobga olinadi); oqim statsionar, ya'ni har qanday uchastkada oqimni tavsiflovchi barcha miqdorlar vaqt ichida doimiy bo'lib qoladi, oqim uzluksizdir.

Yuqorida qabul qilingan shartlarga ko'ra o'zgaruvchan ko'ndalang kesimli quvur (truba)dan 1 sekunda oqib o'tayotgan gaz massasi quyidagi formula yordamida aniqlanadi[5]:

$$m = \frac{f_1 \cdot C_1}{v_1} = \frac{f_2 \cdot C_2}{v_2} = \frac{f_3 \cdot C_3}{v_3} = \frac{f \cdot C}{v} = \text{const}, mv = f \cdot C, \quad (6.1)$$

m – 1 sekunda quvurdan oqib o'tayotgan gaz massasi, kg/s;

f_1, f_2, f_3 – quvur(lar)ning ko'ndalang kesim yuzalari, m^2 ;

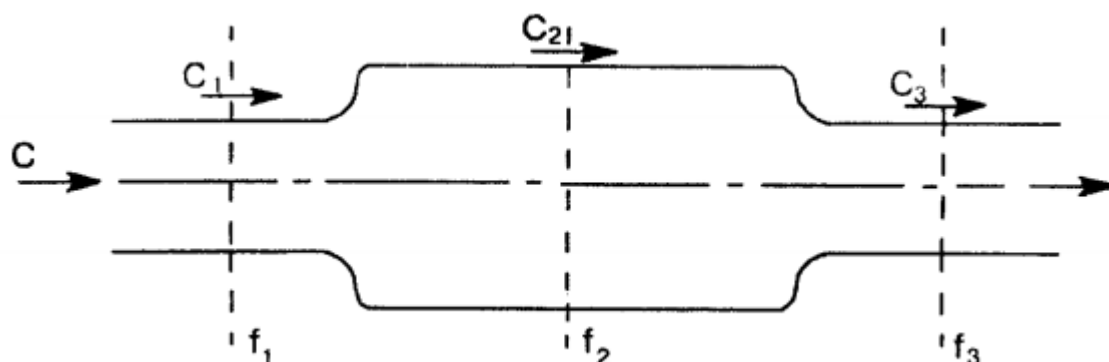
v_1, v_2, v_3 — ko'ndalang kesimlarda gaz solishtirma hajmlari, m^3/kg ;

C_1, C_2, C_3 — bu ko'ndalang kesimlarda gaz tezligi, m/s.

Yuqoridagi (5.1) tenglik gaz oqimining uzluksizlik yoki sidirg'alik shartining analitik ifodasi hisoblanadi. Soddalashtirish uchun 1-rasmdagi quvurning 2 ta kesmasini tahlil qilamiz. Ma'lumki, gazning to'liq energiyasi uning ichki energiyasi va kinetik energiyalarining yig'indisiga teng:

$$u_1 + p_1 v_1 + \frac{C_1^2}{2} = u_2 + p_2 v_2 + \frac{C_2^2}{2}$$

bunda, u_1 , va u_2 — quvurning mos qirqimlarida gazning ichki energiyasi;



1- rasm. Gaz oqimining

$p_1 v_1$ va $p_2 v_2$ mos qirqimlardagi gaz bosimi va solishtirma hajmko'paytmalari bo'lib, gazning itarish ishi deb yuritiladi.

Gaz entalpiyasi $h = u + pv$ bo'lganligi uchun

$$h_1 + \frac{C_1^2}{2} = h_2 + \frac{C_2^2}{2} \quad (6.2)$$

Demak, gaz oqimi quvurda o'zgarmas va adiabatik bo'lganda gaz entalpiyasi hamda kinetik energiyasining yig'indisi o'zgarmay qoladi.

(6.2) tenglikni biroz o'zgartirsak, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\frac{C_2^2 - C_1^2}{2} = h_1 - h_2 \quad (6.3)$$

bunda, $\frac{C_2^2 - C_1^2}{2} = l_0$ mavjud ish yoki quvurda harakat

lanayotgan gaz kinetik energiyasining ortishi;

$h_1 - h_2 = h_0$ — issiqlikning pasayishini mavjudligi.

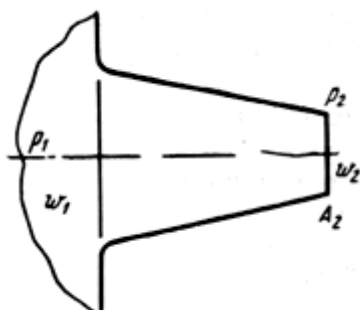
Demak, yozish mumkinki $l_0 = -Q$, ya'ni issiqlik dinamikasi birinchi qonuniga ko'ra ish issiqlikka teng.

2. Gaz va bug'larning soplodan oqib o'tishi. Gaz (bug')ning maksimum sarfi

Soplo deb ataladigan qisqa kanallardan siqilgan ishchi gazning tugashi jarayoni katta ilmiy va amaliy qiziqish uyg'otadi. Soplodagi ishchi gazning oqimi, qoida tariqasida, tezdir va shuning uchun gaz va kanal devorlari o'rtasidagi issiqlik almashinuvi ahamiyatsiz. Natijada, ishchi gazning soplodan chiqishi jarayoni adiabatik deb hisoblanishi mumkin. Ishchi gazning adiabatik muvozanat (ya'ni, yo'qotishlarsiz) katta sig'imli idishlardan birlashtiruvchi soplo orqali chiqishi holatini ko'rib chiqaymiz. Kanalning kirish qismidagi parametrlar p_1 , v_1 , T_1 bilan belgilanadi. soploning ko'ndalang kesimining chiqish qismidagi ishchi gazning bosimi p_2 nashqi muhitning bosimiga teng deb faraz qilamiz (2-rasm).

(6.35.9) tenglamaga muvofiq, soplodan chiqish tezligi

$$\omega_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2) + \omega^2} \quad (6.4)$$



2-rasm. Ishchi jismni soplodan chiqib ketishi.

Ko'pgina texnik yechimlarda maqbul bo'lgan $w_I=0$ ekanligini hisobga olib, quyidagi tenglamani olamiz:

$$\omega_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)} \quad (6.5)$$

Agar h J/g da emas, balki kJ/kg da ifodalansa, u holda (6.65.20) ω_2 , m/s quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\omega_2 = 44,7\sqrt{\Delta h} \quad (6.6)$$

Ko'pgina amaliy hisoblashlarda $w_I=0$ ekanligini hisobga olgan holda $\omega_2 = \sqrt{2l_0}$ teng jarayon adiabatik ekanligini hisobga olsak u holda bajarilgan ish

$$l_0 = kl = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad \text{ekanligini hisobga olgan holda, } w_I \text{ chiqish}$$

tezligi uchun quyidagi tenglamani olamiz (bundan buyon matnda ko'krak

chiqishidagi jism tezligining u indeksini o'tkazib yuboramiz):

$$\omega = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (6.7)$$

Agar kanalning chiqish qismining maydoni A gaz tezligi w , va ushbu bo'limdagi ishchi gazning solishtirma hajmi v_2 ma'lum bo'lsa, u holda soplo orqali sarflanayotgan ishchi gazning massa hisoblab topish mumkin.

$$m = \omega A / v_2. \quad m = \omega A / v_2$$

Adiabatik jarayon uchun $p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$, ekanligini hisobga olsak va (6.7) tenglamani hisobga olsak, u holda.

$$m = \frac{\omega A}{v_1} \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{k}} = A \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{p_1}{v_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (6.8)$$

Ushbu tenglamadan kelib chiqadiki, ideal ishchi gazning oqim tezligi kanalning chiqish qismining maydoniga, jisimning xususiyatlari va boshlang'ich parametrlariga (k, p_1, v_1) va uning kengayish darajasiga (nisbati p_2/p_1) bog'liq. Berilgan ishchi gaz va uning parametrlar ($p_1 v_1$), shuningdek, soplo konstruksiyasi uchun ishchi gazning tezligi va oqim tezligi p_2/p_1 nisbatiga bog'liq bo'ladi. Siz $m = f(p_2/p_1)$ bog'liqligini chizishingiz mumkin. p_1), bu erda p_2 0 dan p_1 oralig'igacha p_2 o'zgaradi. (6.85.22) tenglama $p_2 = p_1$ uchun $m = 0$ va $p_2=0$ ekanligini bildiradi. m_{\max} ni aniqlash uchun funksiyaning hosilasini olish va uni nolga tenglashtirish kerak. p_2/p_1 nisbatini esa (bu yerda p_2 o'zgaruvchi) β bilan belgilab olamiz, u holda

$$\frac{d}{d\beta} \left(\beta^{\frac{2}{k}} - \beta^{\frac{k+1}{k}} \right) = 0$$

Oddiy o'zgarishlardan so'ng biz quyidagi tenglamani olamiz:

$$\beta = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (6.9)$$

Maksimal oqim tezligiga erishilgan p_2/p_1 nisbati kritik bosim nisbati deb ataladi va β_{kp} bilan belgilanadi. Bir atomli gazlar uchun ($k = 1,66$) $\beta_{kp} = 0,49$; ikki atomli uchun ($k = 1,4$) $\beta_{kp} = 0,528$; ucha tomli gazlar uchun ($k = 1,3$) va o'ta qizdirilgan suv bug'lari $\beta_{kp} = 0,546$. Birinchi yaqinlashishda biz $\beta_{kp} = 0,5$ ni olishimiz mumkin.

3. Bosimlarning kritik nisbati. Kritik tezlik.

Kritik bosim nisbatiga mos keladigan chiqish tezligi w_{kp} , **kritik tezlik deb ataladi**. Uni (6.7) tenglamadan p_2/p_1 o'rniga β_{kp} qiymatini qo'yish orqali aniqlash mumkin:

$$\omega_{kp} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} p_1 v_1} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} RT_1} \quad (6.10)$$

Ishchi gazning bir sekunddagi maksimal sarfini aniqlash mumkin, agar p_2/p_1 o'rniga (6.8) tenglamaga β_{kp} qiymatini almashtirilsa:

$$m_{kp} = A \sqrt{\frac{2k}{k+1} \frac{p_1}{v_1} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}}} \quad (6.11)$$

(6.10) va (6.11) tenglamalardan k qiymatlarini hisobga olgan holda bir atomli gazlar uchun

biz quyidagilarni olamiz:

$$w_{kp} = 1,118\sqrt{p_1 v_1} ; m_{kp} = 0,762A\sqrt{p_1/v_1} ; \quad (6.12)$$

ikki atomli gazlar uchun

$$w_{kp} = 1,080\sqrt{p_1 v_1} ; m_{kp} = 0,685A\sqrt{p_1/v_1} \quad (6.13)$$

ko'p atomli gazlar va o'ta qizdirilgan bug' uchun

$$w_{kp} = 1,063\sqrt{p_1 v_1} ; m_{kp} = 0,666 A \sqrt{p_1/v_1} \quad (6.14)$$

Elastik jismlarning toraygan va silindrsimon kanallar orqali chiqishi bo'yicha o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatadiki, bosim β_{kp} dan $\beta = 0$ gacha pasayganda ishchi gazning kanal orqali o'tish tezligi doimiy bo'lib, maksimalga teng bo'lib qoladi (3-rasmda DK chizig'i).

Shunga ko'ra, oqim tezligi doimiy bo'lib qoladi, w_{kp} ga teng.

Adiabatik jarayon uchun

$$p_1 v_1^k = p_{kp} v_{kp}^k$$

(6.95.23) tenglamani hisobga olgan holda, biz quyidagini olamiz:

$$v_1 = v_{kp} [2/(k + 1)]^{1/(k-1)} \quad (6.15)$$

Ushbu ifodani (6.9) ni hisobga olgan holda (6.10) tenglamaga almashtirib, quyidagini olamiz:

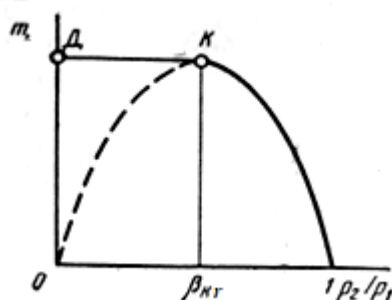
$$w_{kp} = \sqrt{k p_{kp} v_{kp}} \quad (6.16)$$

Fizika kursidan ma'lumki, (6.16) ifoda $p = p_{kp}$ va $v = v_{kp}$ parametrli muhitda tovushning tarqalish tezligi a qiymatini aniqlaydi.

Shunday qilib, ishchi gazning soploda oqimi paytidagi kritik oqim tezligi tovush tarqalish tezligiga teng bo'lgan kesimida gazning termodinamik parametrlar deb ataladi.

$$m = A \omega \rho = \frac{A \omega}{g} = const \quad (6.17)$$

(6.17) tenglamani $mv = Aw$ shaklida ifodalaymiz



3-rasm. Torayuvchi sopladan oqib chiqayotgan ishchi jismning bosimlar p_2/p_1 nisbatiga bog'liqlik grafigi.

Ushbu tenglamani $m = const$ uchun differensiallash va (6.17) ga bo'lish orqali quyidagini olamiz:

$$dA/A = dv/v - dw/w \quad (6.18)$$

$pv^k = \text{const}$ adiabatik tenglamani differensiallagandan so'ng, quyidagiga ega bo'ladi:

$$\frac{dv}{v} = -\frac{1}{k} \frac{dp}{p} \quad (6.19)$$

$w dw = -v dp$, ifodasini hisobga olgan holda, shuningdek (6.19) ni va (6.18) tenglamani shaklda ifodalaymiz.

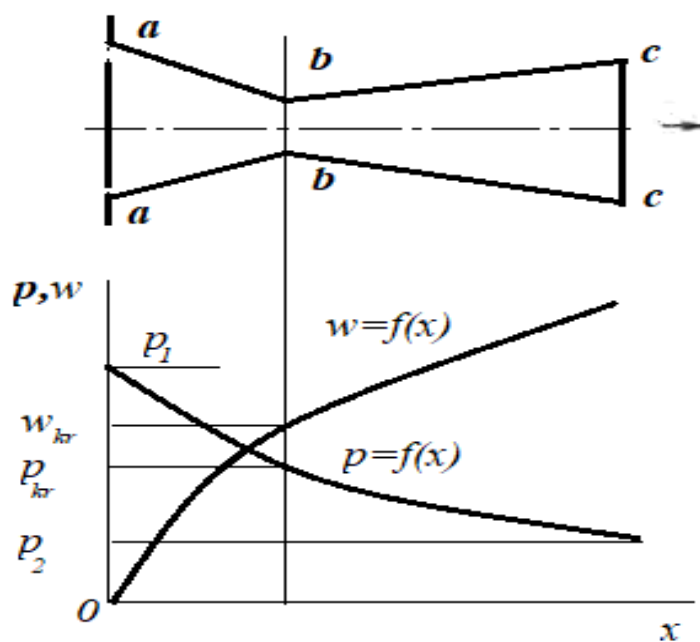
$$\frac{dA}{A} = \left(\frac{v}{w^2} - \frac{1}{kp} \right) dp = \left(\frac{w^2}{kpv} - 1 \right) \frac{dw}{w} = \left(\frac{w^2}{a^2} - 1 \right) \frac{dw}{w} \quad (6.20)$$

Eslatib o'tamiz, $a = \sqrt{kp v}$ — tovush tarqalish tezligi.

(6.20) tenglamani tahlil qilaylik. Torayuvchi kanalda $dA/A < 0$. Bunda (6.20) ning o'ng tomoni manfiy belgiga ega demak, $w < a$ ekan, dw/w ijobiy belgiga ega. Bunday soplada tezlik $w < a$ ga qadar oshadi. $w = a$ bo'lganda, kritik tezlik, yuqorida aytib o'tilganidek, tovushning mahalliy tezligiga teng bo'ladi.

Isbotlash mumkinki, yaqinlashuvchi soploda gaz oqim tezligining tovush tarqalish tezligiga teng qiymatidan doimiy ravishda o'tib bo'lmaydi. Darhaqiqat, (6.20) tenglamadan ko'rinib turibdiki, $w = a$ bo'lgan kesmada bir tomondan dw/w hosila belgisi o'zgarishi kerak, ikkinchi tomondan esa bu hosila cheksizlikka intiladi. Shunday qilib, tovushning mahalliy tezligiga teng tezlikka erishilgandan so'ng, oqim tezashtirilgan oqimdan sekinlanish holatiga o'tadi. Shuning uchun, toraygan kanalda tovush tezligidan oshib bo'lmaydi. (6.20) tenglamadan xulosa qilish mumkinki, tovush tezligidan ($w > a$) yuqori bo'lgan barcha chiqish tezligi uchun soplo profili kengayishi kerak. Agar kanalning kirish qismidagi oqim tezligi tovush tezligidan past bo'lsa, u holda kanal chiqishida tovushdan yuqori tezlikni

olish uchun ikki qismdan iborat bo'lgan soplo yaratish kerak: toraytiruvchi (chalkashtiruvchi deb ataladi), bu yerda $w < a$, va kengaytiruvchi (diffuzor deb ataladi), bu yerda $w > a$. Kanalning eng tor qismida oqim tezligi kritik tezlikka teng. Bunday kombinatsiyalashgan soplo shved muhandisi K. G. Laval tomonidan taklif qilingan va uning nomi bilan ataladi. Bunday soplarning shartli chizmasi 4-rasmda ko'rsatilgan. Chizmaning ostida, soplodagi bosim va tezlikning soplodagi o'zgarishining o'z-aro bog'liqlik grafigi ko'rsatilgan.



4-rasm. K. G. Laval tomonidan taklif qilingan kombinatsiyalashgan soplo va uning pv-diagrammasi.

Oqim qattiq jism bilan uchrashganda, uning kinetik energiyasi issiqlikka aylanadi va oqim harorati ko'tariladi.

Adiabatik teskari oqim uchun

$$dh + 0.5dw^2 = 0 \quad (6.21)$$

energiya yo'qotish koeffitsienti deb ataladi.

Ko'rinib turibdiki, oqimning haqiqiy tezligi

$$w_{2d} = 44,7\sqrt{(1 - \xi_c)\Delta h_o} \quad (6.25)$$

$(1 - \xi)$ ni qiymat, φ_c^2 bilan belgilanadi, bu erda φ_c - tezlik koeffitsienti, u holda

$$w_{2d} = 44,7\varphi_c\sqrt{\Delta h_o} \quad (6.26)$$

φ_c qiymati 0,94-0,98 oralig'ida.

4. Gaz (bug')larni drossellash yoki ezish

Tajriba shuni ko'rsatadiki, agar oqim yo'lida toraygan qism shaklida mahalliy qarshilik mavjud bo'lsa (6-rasm), quvurning bu joyida gaz bosimining kamayishi sodir bo'ladi, lekin gaz tashqi ish bajarmaydi. Oqim yo'nalishi bo'yicha bosimning pasayishi bilan bog'liq bo'lgan oqimning kanaldagi mahalliy qarshilik orqali harakat qilganda sodir bo'ladigan jarayon drossel deb ataladi. Drossellash issiqlikni tashqi tomondan o'tkazib bermasdan (olib tashlamasdan) va tashqi ish bajarmasdan davom etadi. Bu jarayon qaytmas va entropiyaning ortishi bilan birga kechadi.

Adiabatik jarayon uchun (6.35.9) ifoda o'rinli

$$h_1 - h_2 = 0,5 (\omega_2^2 - \omega_1^2)$$

bu erda h_1 va h_2 1-1 va 2-2 bo'limlardagi ishchi gazning entalpiyalari.

Kanalning har bir uchastkasida massa oqimi o'zgarmasligi va torayishdan oldingi va keyingi oqim uchastkasining maydonlari teng bo'lganligi sababli oqim tezligi sezilarli darajada o'zgarmaydi.

$$h_1 = h_2 \quad (6.27)$$

ya'ni gaz yoki bug'ning adiabatik drossellanishi bilan uning entalpiyasi drosseldan oldingi va keyin bir xil qiymatga ega bo'ladi.

Ideal gaz uchun $h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1)$, bu toraygan qismdan oldin ham, keyin ham ideal ishchi gaz haroratining doimiyligini ko'rsatadi.

Haqiqiy gazlar va bug'lar uchun drossellash jarayonida harorat bosimning o'zgarishiga qarab o'zgaradi:

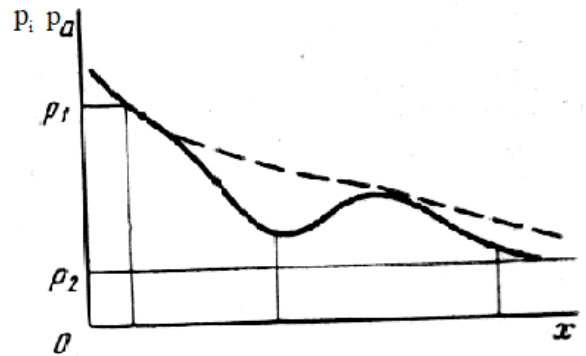
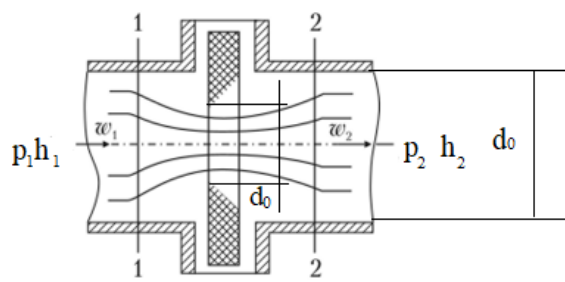
$$\alpha = \left(\frac{\delta T}{\delta P}\right)_h \quad (6.28)$$

Bu erda α - adiabatik drossellik koeffitsienti yoki differensial chok effekt koeffitsienti.

Adiabatik drosselatsiya natijasida ishchi gaz haroratining o'zgarishi hodisasi Joule-Tomson effekti deb ataladi.

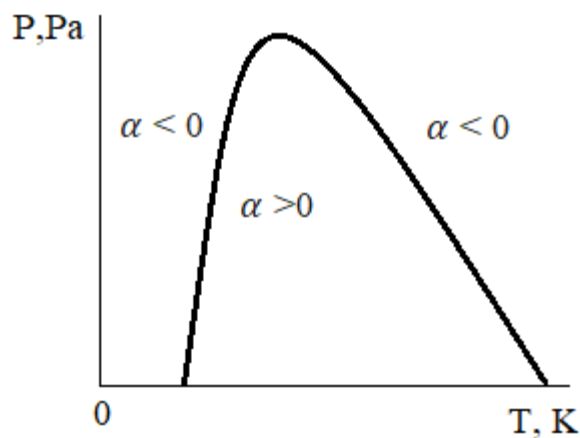
Barcha holatlarda drossel bilan $dp < 0$ bo'lganligi sababli, dT ning o'zgarishi belgisi α belgisiga bog'liq. Agar $\alpha > 0$ bo'lsa, $dT < 0$, ya'ni drossellash vaqtida ishchi gaz sovutiladi. Bu hodisa musbat Joule-Tomson effekti deb ataladi.

$\alpha < 0$ $dT > 0$ bo'lganda, ya'ni drossellashda ishchi gaz qiziydi - manfiy Joule-Tomson effekti. $\alpha = 0$, $dT = 0$ da, ya'ni drossellash natijasida ishchi suyuqlik o'z haroratini o'zgartirmaydi. Ishchi gazning holatiga mos keladigan harorat adiabatik drosselda o'zgarmasligiga haroratning o'zgartirish deyiladi. pT -diagrammadagi harorat o'zgartirish nuqtalarining joylashuvi o'zgartirish egri chizig'ini hosil qiladi. Bu chok effektining ijobiy va salbiy qiymatlari oralig' ajratib turadigan chiziq.



6-rasm. Quvur bo'yicha gaz oqimining drossellash jarayoni chizmasi.

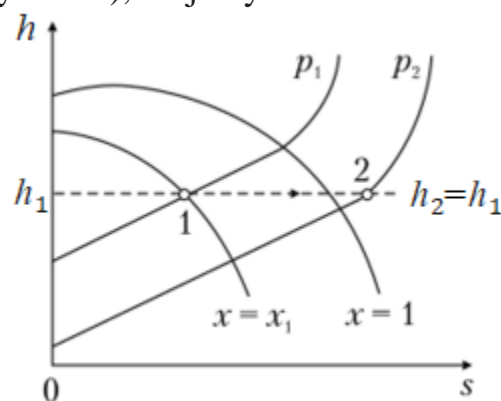
Drossellash jarayoni qaytarilmas bo'lgani uchun uni T_s va h_s koordinatalarida faqat shartli ravishda tasvirlash mumkin. Ko'pincha ular h_s -diagrammada drossel jarayoni tahlilidan foydalanadilar (8-rasm). Drossellash (1-2-jarayon) bug'ning harorati pasayadi, nam bug' quriydi va o'ta qizib ketadi. Ta'riflangan jarayon past va o'rta bosimli bug' uchun amal qiladi, ammo qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida aynan shu bug' ishlatiladi.



7-rasm. pT -koordinatalarining tez o'zgarishini ko'rsatuvchi egri chiziq

Drossellash paytida ishchi gazning bosimi pasayadi va shuning uchun bu jarayon amalda qayta tiklanmaydigan yo'qotishlarga olib keladi (turbinaning rotoriga bug' kiritilganda dvigatel silindrlarini to'ldirish jarayonida bosim yo'qotishlari, gaz va bug' trubalarida yo'qotish, va boshqalar.). Shu bilan birga, ko'plab texnik

muammolarni hal qilishda drossellash jarayonining xususiyatlaridan foydalaniladi. Keling, ba'zi misollar keltiraylik. Bug' elektr stantsiyalarining ishlashini tartibga solishda bug' drossellanadi. Chunki, bu holda, mavjud issiqlik tushishi bilan h_1-h_2 kamayadi, bu dvigatelning texnik ishini pasayishiga olib keladi. Drossellash usuli karbyuratorli ichki yonish dvigatellarida gazlarning boshqarish qo'llaniladi. Drossellash paytida ishchi gazning (suyuqlikning) harorati pasayganligi sababli (agar chok effekti ijobiy bo'lsa), bu jarayon sovutish texnikasida qo'llaniladi.

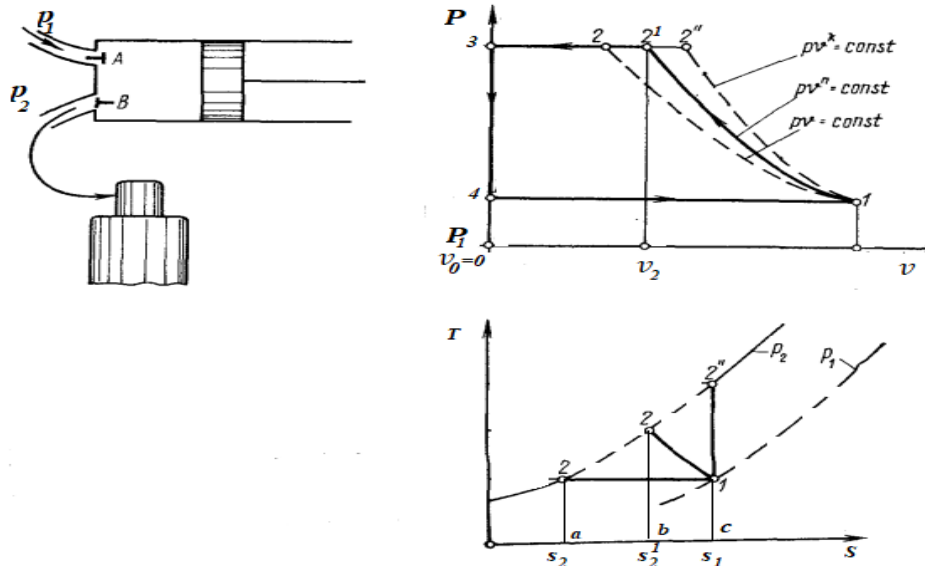


8-rasm. Suv bug'ining drossellash jarayonidagi hs-diagrammasi

5. Kompresorlarning sikllari

Kompresor - bu gaz va bug'larni siqish uchun mo'ljallangan qurilma. Konstruktiv xususiyatlariga ko'ra kompressorlar ikki guruhga bo'linadi. Birinchi guruhga porshnli va aylanuvchi kompressorlar kiradi. Ikkinchi guruh markazdan qochma va eksentrikli kompressorlardan iborat bo'lib, ularda gazni siqish ikki bosqichda amalga oshiriladi. Birinchi bosqichda gazga ma'lum tezlik beriladi, ikkinchi bosqichda esa oqimning kinetik energiyasi bosim energiyasiga aylanadi. Ushbu siqish qarshi kompressorlarida ham qo'llaniladi. Turli dizayndagi kompressorlar ularda sodir bo'ladigan ekvivalent termodinamik jarayonlar bilan

tavsiflanadi. Qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida eng keng tarqalgan porshenli kompressordagi jarayonlarni tahlil qilaylik.



9-rasmda bir bosqichli porshenli kompressorning shartli chizmasi va bosimning $p-v$, $T-s$ -koordinatalarda .

9-rasmda bir bosqichli porshenli kompressorning shartli chizmasi va bosimning $p-v$ -koordinatalardagi silindrdagi ishchi gazning o'zgaruvchan hajmiga bog'liqligi (ya'ni, tirsakli valning bir marta aylangandagi porshenning bosip o'gan yo'li) ko'rsatilgan. Porshen chapdan o'ngga o'tganda, gaz so'rish klapan a orqali mashinaning silindriga kiradi. Diagrammada silindriga so'rish chiziq 4-1 bilan ifodalanadi. Porshenning teskari harakati vaqtida so'rish klapanlari yopiladi va gaz p_2 bosimiga yetguncha 1-2 chiziq bo'ylab siqiladi. P_2 bosimida chiqarish klapon b ochiladi va Porshenning o'ngdan chapga keyingi harakati bilan gaz kompressor silindridan itarib chiqarish (izobara) jarayoni (2-3 jarayon). Porshen chap holatining ohiriga yetganda, chiqarish klapon yopiladi, kirish klaponi ochiladi va jarayon takrorlanadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, faqat 1-2 siqish paytida gazning massasi doimiy bo'lib qoladi. Shuning uchun pv-diagrammada ishchi gaz miqdori o'zgarib turadigan so'rish 4-1 va 2-3 silindridan qisilgan gazni itarib chiqarish (izobara) jarayoni tasvirlangan. 5.11-rasmda turli xil siqish jarayonlari ko'rsatilgan: izotermik 1-2, politropik 1-2' va adiabatik 1-2". Amaliy siqish ko'rsatkichi $n=1,08$.. 1.22 bo'lgan politrop bo'ylab amalga oshiriladi, ya'ni politrop izoterm va adiaba ($1 < n < k$) o'rtasida joylashgan.

Kompressorning termodinamik tahlilining vazifasi berilgan dastlabki va yakuniy parametrlar uchun kompressor sarflagan ishni 3_1 aniqlashdan iborat. Ideal kompressorda ishlaydigan gazni siqish ishi

$$l_k = l_{4-1} - l_{1-2} - l_{2-3_1}$$

bu yerda $l_{4-1} = p_1 v_1$ va $l_{2-3} = p_2 v_2$.

politrop jarayonda bajariladigan ish tenglamaga muvofiq

$$l_{1-2} = -\frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

Binobarin, politropik jarayon uchun bizda mavjud bo'lgan

$$l_{k_{\text{пол}}} = p_1 v_2 + \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] - p_2 v_2 = -\frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]. \quad (6.295.40)$$

Kompressorning adiabatik jarayonda ishlashi ifodasini (6.29) tenglamadan n ni k bilan almashtirish orqali olish mumkin:

$$l_{k_{\text{ад}}} = -\frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]. \quad (6.30)$$

Izotermik siqilish ishi uchun

$$\ell = p_2 v_2 + \int_{v_2}^{v_1} p v - p_1 v_1$$

Izotermada $p_1 v_1 = p_2 v_2$ bo'lganligi uchun:

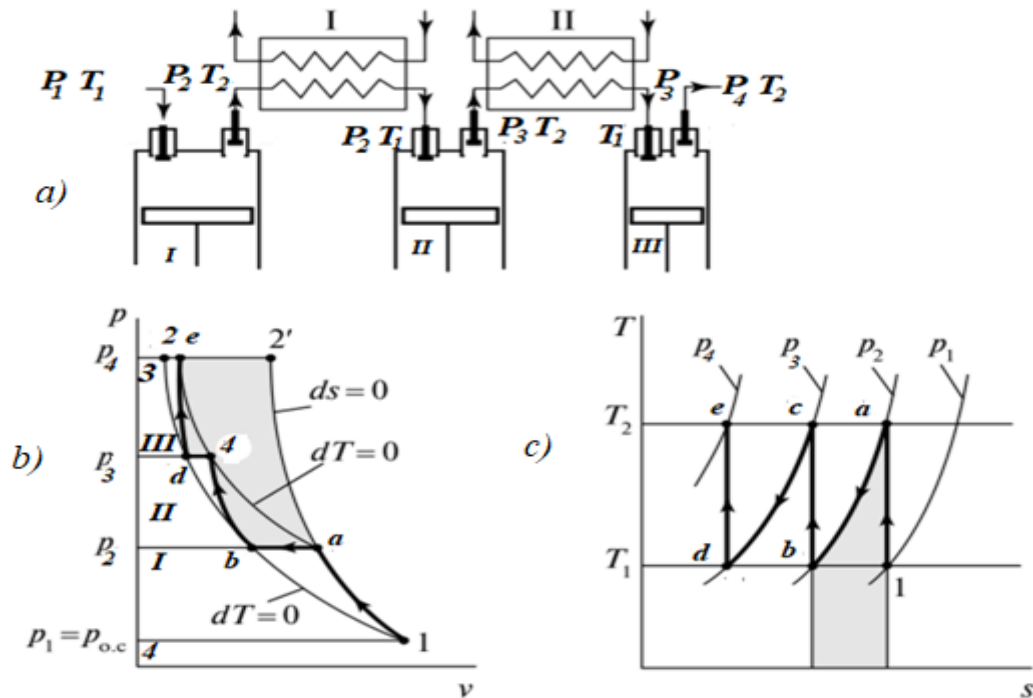
tenglamani hisobga olgan holda va izotermik jarayon uchun $p_1 v_1 = p_2 v_2$ ekanligini hisobga olib, kompressor ishining ifodasini olamiz.

$$l_{\text{киз}} = RT_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (6.31)$$

Ts-koordinatalari (10-rasmga qarang) bir bosqichli kompressorda ishchi gazni siqish jarayonlarini ko'rsatadi: 1-2'' - adiabatik, 1-2' - politropik va 1-2 - izotermik. 9-rasmdan kelib chiqadiki, izoterm bo'ylab siqilganda 4-1-2-3 maydoni eng kichik bo'ladi va shuning uchun kompressor tomonidan sarflangan ish minimal bo'ladi. Shuning uchun kompressorda izotermik siqishni qo'llash energetik jihatdan eng ko'p foydali.

Ko'p bosqichli siqish. Bir bosqichli (bir silindrli) kompressorda siqish nisbati $\varepsilon = p_2 / p_1$ odatda 6...8 dan oshmaydi. Agar gazni yuqori bosimga siqish kerak bo'lsa, ko'p bosqichli kompressorlar qo'llaniladi (10-rasm). Siqish bosimining oshishi siqilish oxirida haroratning oshishiga olib keladi, uning qiymati texnik maqsadlar uchun ruxsat etilgan qiymatlardan oshishi mumkin. Ko'p bosqichli kompressorlarda oldingi bosqichda siqilgan gazni sovutishni ta'minlaydigan siqish bosqichlari orasiga issiqlik almashinuvchilari o'rnatiladi. Uch bosqichli kompressorda siqish diagrammasi 10-rasmda ko'rsatilgan, *b*. Birinchi silindrda siqilish 1-*a* politrop bo'ylab sodir bo'ladi, shundan so'ng gaz oraliq sovutgichga kiradi, u erda u T_1 haroratgacha (nazariy jihatdan doimiy bosimda)

sovutiladi ($a-b$ jarayon). Sovutgichdan so'ng gaz ikkinchi bosqichga o'tadi va $b-c$ politrop bo'ylab siqiladi, so'ngra u $c-d$ izobar bo'ylab T_1 haroratgacha sovutiladi, so'ngra $d-e$ politrop bo'ylab kompressorning uchinchi bosqichida siqiladi. Agar siqish bir bosqichli kompressorda $1-2'$ chiziq bo'ylab amalga oshirilgan bo'lsa, sarflangan ish hajmi $4-1-2'-3$ maydon bilan belgilanadi. Havoning oraliq sovishi tufayli ishning qiymati $a-2'-e-d-c-b-a$ maydoniga teng (10-rasm, b ga qarang). 5.13-rasm, c da $1-a$, $b-c$ va $d-e$ chiziqlar Ts-koordinatalarida birinchi, ikkinchi va uchinchi kompressor silindrlaridagi politropik siqilish jarayonlarini, $a-b$ va $c-d$ chiziqlar esa 1-chi sovutgichlarda mos ravishda izobar gazni sovutish jarayonlarini ifodalaydi. va 2-bosqichlar. $A-6$ va $c-d$ egri chiziqlari ostidagi soyali joylar sovutgichlardan chiqarilgan issiqlik miqdorini aniqlaydi.



10-rasm. Uch bosqichli kompressorning shartli chizmasi va $p-v$, $T-s$ -koordinatalarida.

Haqiqiy sovutilmagan kompressorning samaradorligi qaytariladigan adiabatik siqish laddagi nazariy ishning haqiqiy kompressorda 1 kg gazni siqish uchun sarflangan ish l_k ga nisbatiga teng bo'lgan adiabatik samaradorlik l_{ad} bilan aniqlanadi:

$$\eta_{ad} = \frac{l_{ad}}{l_k} \quad (6.32)$$

η_{ad} qiymati 0,7 dan 0,9 gacha o'zgaradi.

Sovutilgan kompressorlarning ishlashini baholash uchun izotermik samaradorlik qo'llaniladi, bu l_{iz} izotermik siqish paytida nazariy ishning l_k ishiga nisbatiga teng:

$$\eta_{iz} = \frac{l_{iz}}{l_k} \quad (6.33)$$

Kompressor mexanizmlarida ishqalanish yo'qotishlari η_m mexanik foydali ish koeffitsienti bilan hisobga olinadi. Adiabatik yoki izotermik foydali ish koeffitsienti va mexanik foydali ish koeffitsienti orqali kompressorning effektiv foydali ish koeffitsienti η_e qiymatini aniqlaydi.

$$\eta_e = \eta_{ad}\eta_M \quad \text{va} \quad \eta_e = \eta_{iz}\eta_M. \quad (6.34)$$

Nazorat savollari va topshiriqlar

1. Ochiq termodinamik tizimlarining aniqlanishini ifodalang va amaliyotdan misollar keltiring.
2. Oqim uchun termodinamikaning birinchi qonuni tenglamasini keltirib chiqaring va uning har xil yozilishlarini keltiring.
3. Texnikaviy va keitirilgan ish nima? Keltirilgan ishning geometrik interpretatsiyasini bering va bu ishning politropik va adiabatik jarayonlar uchun qanday aniqlanishini ko'rsating.
4. Qisqa kanallarda ishchi jism oqishida uning massaviy sarfi tezligi uchun ifodani keltirib chiqaring. Bu tenglamalar tahlilini bajaring.

5. Bosimlar kritik nisbati, kritik tezlik, ishchi jismning maksimal massaviy sarfi nimani bildiradi ? Torayuvchi soplodan oqayotgan ishchi jismning kritik tezligi va maksimal sarfi uchun ifodalami yozing.
6. Kritik tezlik chiqish joyidagi tovush tezligiga teng ekanligini ko'rsating. Tezlik tovush tezligidan past bo'lganda kanal torayuvchi bo'lishi kerakligini, tezlik tovush tezligidan yuqori bo'lganda kanal kengayuvchi bo'lishligini isbotlang.
7. Adiabatik to'xtalish harorati nimani bildiradi?
8. Oqimning haqiqiy tezligi qanday aniqlanadi? hs — diagramma yordamida adiabatik qaytar va qaytmas oqimlar jarayonini tahlil qiling. Energiya yo'qotish koeffitsiyenti nimani bildiradi va uning qiymati qanday aniqlanadi?
9. $p_2/p_1 < \beta_{kp}$ nisbatda bug' oqimi uchun aniq masalani hs — diagramma yordamida yeching. Kanalning eng tor va chiqish kesimida oqim jarayonini hisoblash tavsiflarini aniqlang.
10. Drossellanish va adiabatik drossellanish koeffitsiyenti aniqlanishini keltiring. Joul-Tomson samarasi nimani bildiradi? Inversiya egri chizig'ini tahlil qiling. Texnikada drossellanish ishlatilishiga misollar keltiring.
11. Kompresor nima? Uning tavsiflarini keltiring. Politmpik, adiabatik va izotermik siqishda kompressor ishi uchun ifodalami keltiring.
12. $pV-Ts$ diagrammalarda ko'p bosqichli kompressoming siqish jarayonini tahlil qiling. Ko'p bosqichli siqishning bir bosqichligiga nisbatan avzalliklarini ko'rsating.