

6-mavzu. Ochiq tizimlar termodinamikasi

Reja:

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

1. O'zgarmas me'yorda oqish.

Texnikaning turli sohalarida uzluksiz gaz yoki bug' oqimlari bilan ishlashga to'g'ri keladi. Masalan, bug' mashinalarida, gaz turbinalarida, turbokompressorlarda, reaktiv dvigatel va qurilmalarda gaz va bug'larning uzluksiz oqimli termodinamikada muvoza natlashgan, bunda quvurning ko'ndalang kesimi bo'yicha gaz teng tarqalgan, quvur ko'ndalang kesimi o'zgargani bilan undan o'tayotgan gaz miqdori vaqt davomida o'zgarmas va gaz oqimi bo'yicha asosiy ko'rsatkichlari o'zgarmay qoladi. Bundan tashqari gaz (yoki bug') tashqi muhit bilan issiqlik almashmaydi, ya'ni adiabatik oqim deb qaraladi. 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:

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

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 ;

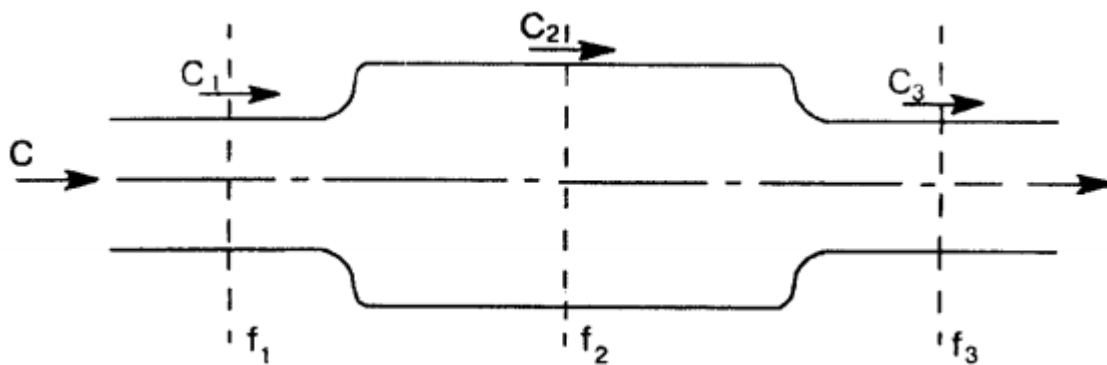
v_1, v_2, v_3 — ko'ndalang kesimlarda gaz solishtirma hajmlari, m^3/kg ;

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 qirgimlarida gazning ichki energiyasi;



1- rasm. Gaz oqimining

$p_1 v_1$ va $p_2 v_2$ mos qirquimlardagi 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'zgaras va adiabatik bo'lganda gaz entalpiyasi hamda kinetik energiyasining yig'indisi o'zgarmay qoladi.

(5.2) 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;

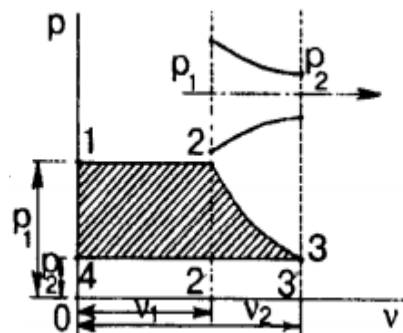
$h_1 - h_2 = h_0$ — issiqlikning pasayishini mavjudligi.

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

5.2. Gaz va bug'larning soplodan oqib o'tishi

Ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan quvurda oqayotgan gaz (kengayishi hisobiga) tezli- p gining ortish nuqtasi soplo deyiladi. Gaz oqimining soplo (teshigi) orqali o'tish jarayoni 2- rasmda ifodalangan, (pV koordinatalarida)

Rasmdan ko'rinib turibdiki $v_2 > v_1$ bolganligi uchun ham $p_2 < p_1$ boiadi. Gaz 2—3 adiabatik chizig'i bo'ylab kengayish jarayonini bajaradi. Shuning uchun gaz oqimi kinetik energiyasining ortishi tashqi ishlarning farqi hisobiga va kengayish ishi hisobiga bo'ladi. To'la ish miqdori:



2- rasm

$$l = \text{yuza}(1-2-2^1-0) + \text{yuza}(2-3-3^1-2^1-2) - \text{yuza}(4-3-3^1-0-4) = p_1 v_1 + \int_{v_1}^{v_2} p dv - p_2 v_2.$$

Adiabatik jarayon bo'lganligi uchun:

yoki

$$\int_{v_1}^{v_2} p dv = \frac{1}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2).$$

yo'k

$$l = p_1 v_1 + \frac{1}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) - p_2 v_2.$$

Matematik o'zgartishlar kiritib, quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$l = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \right] = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \right] \quad (6.4)$$

Gaz kinematik energiyasining ortishi $l = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}$ dan foydalanib,

$C_2 = \sqrt{2l + C_1^2}$ ni hosil qilamiz. Agar gazning dastlabki (boshlang'ich) tezligi $C_1=0$ bo'lsa, $C_2 = \sqrt{2l}$ bo'ladi.

l — ning qiymatini (5.4) tenglikdan keltirib qo'yamiz:

$$C_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \right]} \quad (6.5)$$

Boshqa tomondan (5.3) tenglikni C_2 , ga nisbatan yechsak:

$$C_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)} = 1,415\sqrt{h_0}. \quad (6.6)$$

Suv bug'i uchun issiqlikning pasayishini mavjudligi (h_0) ni tayyor «hs» diagrammasidan foydalanib osongina topish mumkin.

(3- rasm). Soplodagi bug'ning kengayishih adiabatik (izoentropiya) deb qaralganda $S_1=S_2$ Bug'ning boshlang'ich ($p_2 v_2$) va keyingi ($p_1 v_1$) holati nuqtalarini grafikdan topib vertikal tushirilsa, h_0 ning miqdorini o'lchab, masshtabga ko'paytiriladi.

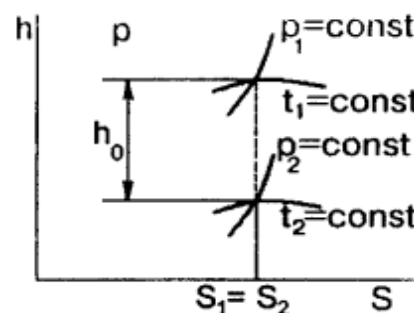
Endi soplodan otilib chiqayotgan gaz (bug') ning 1 sekunddagi sarflanish miqdorini aniqlaymiz. Buning uchun (5.1) tenglikdan foydalanamiz:

$$m = \frac{f \cdot C_2}{v_2}; \frac{kg}{sek}. \quad (6.7)$$

Bunda: F — soplo uchining ko'ndalang kesim yuzasi, m^3 ;

C_2 — soplo uchidan chiqayotgan gaz tezligi, m/sek;

V_2 — chiqayotgan gaz solishtirma hajmi, m^3/kg .



3- rasm

Soplodagi gazning kengayish jarayoni adiabatik bo'lganligi uchun hajm va bosim orasidagi bog'lanishdan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$v_2 = v_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}}.$$

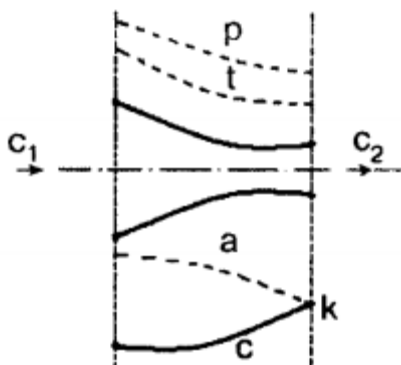
(6.7)tenglikka C_2 va v_2 ning qiymatlarini (6.4) va (6.5) tenglik- lardan keltirib qo'shib, biroz matematik o'zgartishlar kiritamiz:

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

(6.8) dan ko'rinib turibdiki, soplodan otilib chiqayotgan gazning sekundlik sarfi gaz (bug') ning boshlang'ich va keyingi ko'rsatkichlariga hamda soplo (teshik) yuzasining sathiga bog'liq.

5.3. Bosimlarning kritik nisbati. Kritik tezlik. Gaz (bug') ning maksimum sarfi

Gaz oqimining nazariyasida tovushnin shu muhitda tarqalish tezligi katta ahamiyatga ega bo‘lib, quyidagi ifala yozd&midti aniqlanadi:



$$a = \sqrt{kRT}.$$

Muhitdagi tovush tezligi gaz (bug‘) turiga, bosimi, haroratiga va zjchliklarga bog‘liq

Gazning torayib boruvchi soplodan oqib chiqayotgan holati bilan tanishib chiqamiz.

Gazning otilib chiqishida uning harorati pasayganligi uchun bu gaz oqimi ichidagi tovush tezligi ham kamayadi.

4- rasm

Bosimlar p_1 va p_2 ning nisbatlari ortib borishi bilan gazning oqib chiqish tezligi ortadi, bu muhitdagi tovush tezligi esa kamayib boradi. Bosimlar nisbatining ma‘lum qiymatida ikkala tezlik tenglashadi (4- rasmdagi K nuqta). Bosimlar nisbatining bunday qiymatini shu soplo uchun bosimlarning kritik nisbati P_{kr} deyiladi.

Shu muhiida, shu g ieziiigi s'naroiirria tovush tarqalish tezligiga teng bo‘lgan gazning otilib chiqish tezligini kritik tezlik (C_{kg}) deyiladi.

Torayib boruvchi soploda gazning otilib chiqish tezligi, shu sharoitdagi tovush tezligidan ortiq bo‘lishi mumkin emas, shuning uchun gazning boshlang‘ich ko‘rsatkichlari sharoitida gaz oqimining maksimal qiymati C_{kg} bo‘ladi. Demak, kritik tezlik miqdori gazning boshlangich p_1 va oxirgi p_2 bosimlariga bog‘liq. Shunday qilib, soplodan chiqayotgandagi gazning chiqish tezligi P_r tovush tezligiga teng bo‘lib: $\frac{P_2}{P_1}$ bosimlar nisbatining qiymatiga bog‘liq.

$C_{kr} = a$, ya’ni gazning otilib chiqish tezligi shu sharoit (muhit) uchun tovush tezligiga teng bo‘lgandagi bosimlar nisbatining qiymati **bosimlarning kritik nisbati** deyilib, “ γ_{kr} ” harfi bilan ifodalanadi. Bosimlarning kritik nisbatining son qiymati $C_{kg} = a$, tenglik shartidan kelib chiqadi. (6.5) tenglik va « m » ning tengliklarni hisobga oigan holda, biroz matematik o'zgartish kiritib yozish mumkin:

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

Tenglikdan ko‘rinib turibdiki, bosimlarning kritik nisbati faqat adiabata ko‘rsatkich « K » ga bog‘liq.

Demak, bosimlar kritik nisbatining son qiymati har xil atomli gazlar uchun ma‘lum aniq qiymatlarga ega bo‘lib, ular quyidagicha:

Bir atomli gazlar uchun: bog‘liq.

$$K = 1,67;$$

$$\gamma_{kr} = 0,482.$$

Ikki atomli gazlar uchun $K = 1,4$;

$$\gamma_{kr} = 0,528.$$

Uch atomli gazlar va o'ta qizigan suv bug'lari, quruq to'yingan bug uchun:

$$K = 1,135; \quad \gamma_{kr} = 0,577.$$

(6.7) tenglikni va adiabatik jarayondagi gaz holati ko'rsatkichlari orasidagi bog'lanishni hisobga oigan holda kritik harorat formulasi keltirib chiqariladi:

$$\frac{T_{kr}}{T_1} = \left(\frac{P_{kr}}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left[\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k+1}}\right]^{\frac{k-1}{k}}. \quad (6.10)$$

Gaz oqimining torayib boruvchi soplodagi kritik tezligini aniqlaymiz. Buning uchun $C_{kg} = a$ tenglikdan va (5.10) tenglikdan foydalanamiz:

$$C_{kr} = a = \sqrt{kRT_{kr}} = \sqrt{2\frac{k}{k+1}RT_1} = \sqrt{2\frac{k}{k+1}p_1v_1}. \quad (6.11)$$

«K» ning ma'lum qiymatlarida:

$$K = 1,4; \quad C_{kr} = 1,08\sqrt{p_1v_1}$$

$$K = 1,3; \quad C_{kr} = 1,06\sqrt{p_1v_1}$$

$$K = 1,135; \quad C_{kr} = 1,03\sqrt{p_1v_1}$$

Endi gaz massasi oqimining maksimal qiymatini hisoblaymiz, buning uchun (6.7) tenglikdan foydalanamiz:

$$m_{max} = F \sqrt{2\frac{K}{k+1} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}} \frac{p_1}{v_1}}. \quad (6.12)$$

«K» ning ma'lum qiymatlari uchun ifoda yechimlari:

$$K = 1,4; \quad m_{max} = 0,688 \cdot F \sqrt{\frac{p_1}{v_1}}.$$

$$K = 1,3; \quad m_{max} = 0,668 \cdot F \sqrt{\frac{p_1}{v_1}}.$$

$$K = 1,135; \quad m_{max} = 0,638 \cdot F \sqrt{\frac{p_1}{v_1}}.$$

Gaz otilib chiqish tezligini tovush tezligidan orttirish uchun kombinatsiyalashgan (omuxta) soplo ishlatilishi kerak. Bunday soplo 2 ta soplo birikmasi bo'lib, awal torayib boruvchi soploda tovush tezligigacha tezlik bo'lib, ikkinchi bosqich kengayib boruvchi soplo qismida gazning oqim tezligi tovush tezligidan yuqori bo'ladi.

Gaz va bug'laming otilib chiqishida qanday turdagi soplo ishlatilishi asosan bosimlarning nisbatiga bog'liq. Agar $\frac{p_2}{p_1} < \gamma_{kr}$ bo'lsa, torayib boruvchi soplo orqali, aksincha $\frac{p_2}{p_1} > \gamma_{kr}$ bo'lsa, kengayib boruvchi soplo orqali otilib chiqadi.

5.3. Gaz (bug') larni drossellash yoki ezish

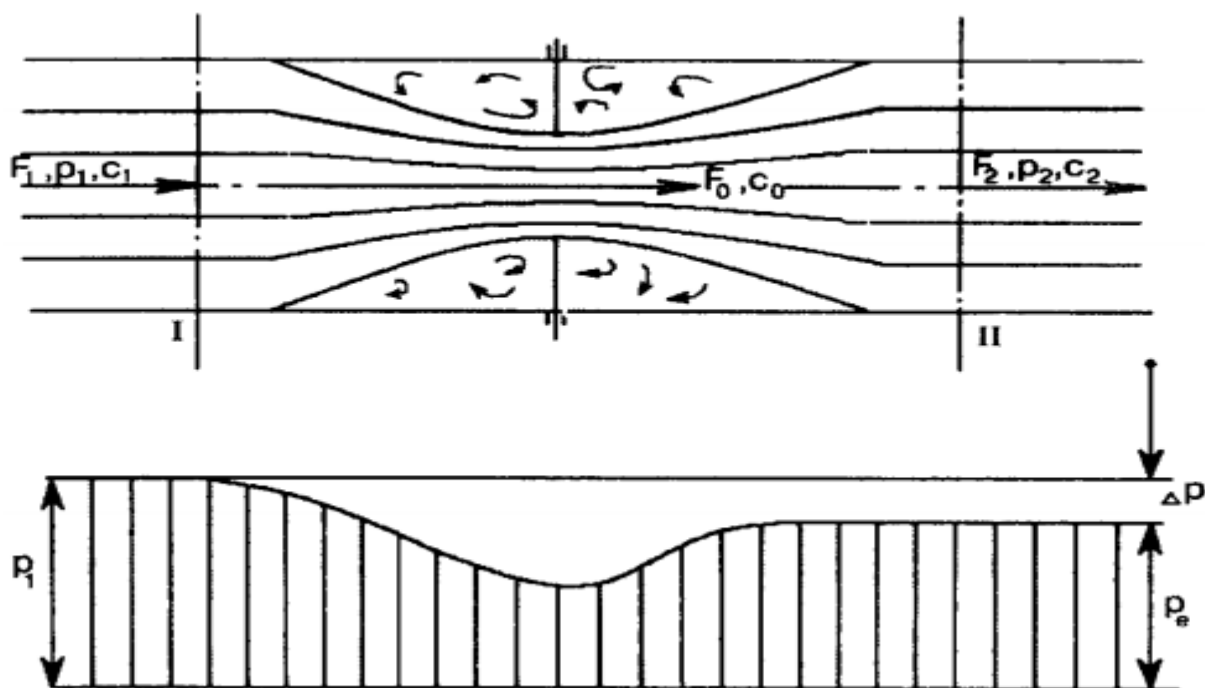
Gaz harakatlanayotgan quvur yo'lida kanal ko'ndalang kesimining keskin kamayishi (torayishi) amaliyotda tez-tez uchrab turadi. Quvuming bu joyida gaz bosimining kamayishi sodir bo'ladi, lekin gaz tashqi ish bajarmaydi. Gaz va

bug‘lar quvuming toraygan joylaridan o‘tayotganda bosimining kamayish hodisasi **drossellash** yoki **gazni ezish** deyiladi. Gaz oqayotgan quvur yo‘lidagi har bir

jo‘mrak (kran), diafragma yoki boshqacha usulda quvuming torayishi drossellashga olib keladi. Gaz oqimining toraya boshlashi diafragma yetmasdan awalroq boshlanadi. Oqimning torayishi diafragmadan biroz o‘tguncha davom etadi, undan keyin gaz oqimi kengaya borib, quvur kengligini to‘la egallaydi. Diafragma oldida va orqasida gaz oqimi bo‘lmagan «**o‘lik zona**» hosil bo‘lib, u yerda gaz (bug‘) ning uyurmali harakati hosil qiladi. Diafragma orqasida quvur keskin kengayganligi va uyurmali harakat zonasining ta’sirida p_2 bosim p_1 bosimdan biroz kamroq bo‘lib, ularning farqi Δp bo‘ladi:

$$p_1 - p_2 = \Delta p \quad (6.13)$$

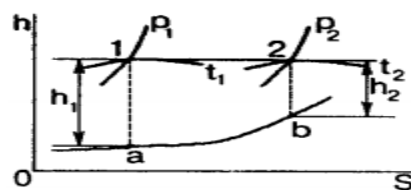
Gaz oqimining tezligi diafragma orqasida ham biroz kamayadi (C_2), keyinchalik quvuming kengligi bo‘ylab oqim yoyilib tezlik awalgi holatiga yetadi; ya’ni $C_1 = C_2$ bo‘ladi. Diafragma teshigi oldida gaz bosimining kamayishi uning



kinetik energiyasining ortishiga olib keladi (5- rasm).

5- rasm. Gaz (bug‘) larni drossellash yoki ezish

kuchi va zarb kuchini yengishga hamda uyurmali harakatdan o‘zishga sarf bo‘ladi. Ma’lumki: sarflangan ish, oqibat natijada issiqlikka aylanadi va demak, gaz oqimiga qo‘shilib ketadi.



Agar quvurdan tashqariga biroz issiqlik chiqishini hisobga olmasak, kinetik energiyani o'zgarishi:

6-

rasm

$$\frac{C_1^2}{2} - \frac{C_2^2}{2} = h_1 - h_2$$

$C_1 = C_2$ ekanligini hisobga olsak:

$$h_1 \approx h_2 \quad (6.14)$$

Quvurda oqayotgan gazni drossellashda issiqlikning entalpiyasi o'zgarishsiz qoladi, ya'ni drossellash jarayoni — izoentalpiya hisoblanadi. Ideal sharoitda gazni drossellashda harorat o'zgarmaydi, chunki gazning entalpiyasi o'zgarmas. Suv bug'i drossellanganda uning harorati pasayadi. Suv bug'i quvur ichida drossellanganda entalpiya va haroratning pasayishini suv bug'i uchun «hs» diagrammasida qurish mumkin (6-rasm). Agar nam bug' drossellansa, namligi biroz kamayadi, ya'ni quriydi. Kuchliroq drossellanganda quruq bug'l, hatto o'ta qizigan bug' hosil bolishi ham mumkin. Drossellanganda bug'ning ish qobiliyati pasayadi. Agar drossel oldida p_1 bosimli bug'da issiqlikning pasayishi A , bolsa, drossel ortida p_2 bosimli bug'da issiqlikning pasayishi h_2 bo'ladi, ya'ni

$$h_2 < h_1$$

Drosselda bug'ning ishlash qobiliyatining pasayishi bug' turbinalarini boshqarishda keng qo'llaniladi.

5.4. Kompresorlarning sikllari

Texnikada gazsimon modda (gaz va bug') larni siqib quvurga yoki idishga hsydash(yig'ish) uchun ishlatiladigan mashinalarni **kompressorlar** deb aytiladi. Ko'pincha porshenli yoki markazdan qochma asosda ishlaydigan kompressorlar ishlatiladi. I.YO.D.laridagi gazning issiqlik ta'sirida mexanik ish olinsa, kompressorlarda gazni siqish uchun mexanik ish sarflanadi. Bu ish (energiya) gazga tashqaridan beriladi, ya'ni kompressor siklini bajarishda manfiy ish bajariladi.

Bir pog'onali porshenli kompressor.

Sikl quyidagi jarayonlardan iborat (7- rasm):

4—1— gazni kompressor silindriga so'rish.

1—2— gazni izotermik (politropik, adiabatik) qisish jarayoni.

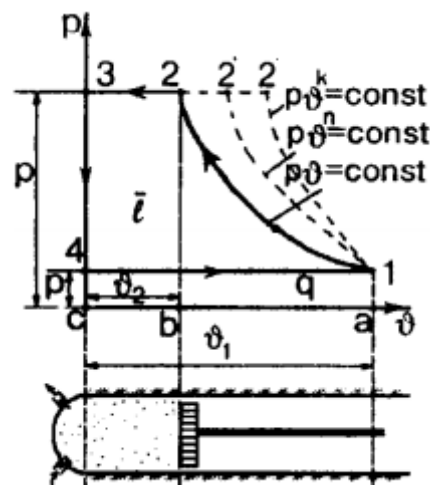
2—3— kompressor silindridan qisilgan gazni itarib chiqarish (izobara) jarayoni.

3—4— gaz haydab chiqarilgandan so'ng kompressor porshenining qayta boshlashi (kengayish) natijasida bosimning (izoxorik) pasayish jarayoni.

$p-v$ koordinatalar tizimida siklni bajarish uchun (1 kg qisilgan gaz uchun).

7- rasmdagi shtrixlangan yuza

$\ell = S_{1-2-3-4-1}$ bilan ifodalangan mexanik ish sarflanadi.



a) agar gazni qisish izotermik bo'lsa, kompressorni harakatlantirishga sarflanadigan ish: 7- rasm

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

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

$$\ell = 2,3RT \ln \frac{v_1}{v_2} \quad (6.15)$$

Ya'ni, kompressorda qisish jarayoni izotermik bo'lsa, siklga sarflanadigan ish faqat izotermik qisishga sarflanadi (8- , 9- rasmlar).

b) agar qisish jarayoni adiabatik bo'lsa, qisishga sarflanadigan ish miqdori:

$$\ell = p_2 v_2 + \frac{k}{k-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1)$$

Natijada ish uchun:

$$\ell = \frac{K}{k-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1) \quad (6.16)$$

Siklga sarflanadigan ish adiabatik qisish jarayonidagi ishga qaraganda «K» marta ko'proq bo'ladi. Ish miqdorini entalpiya orqali ifodalash ham mumkin. Adiabatik jarayonda $q=0$ bo'lganligi uchun issiqlik dinamikasi birinchi qonunining matematik ifodasi:

$$\ell = \Delta u \quad \text{yoki} \quad \ell = u_2 - u_1$$

Demak

$$\ell = p_2 v_2 + (u_2 - u_1) - p_1 v_1 \quad \text{yoki} \quad \ell = (p_2 v_2 + u_2) - (p_1 v_1 + u_1)$$

Bundan:

$$\ell = h_2 - h_1$$

Kompressorda qisish adiabatik bo'lganda sarflanadigan ish miqdori gazning qisishdan keyingi va oldingi entalpiyalarining ayirmasidan iborat.

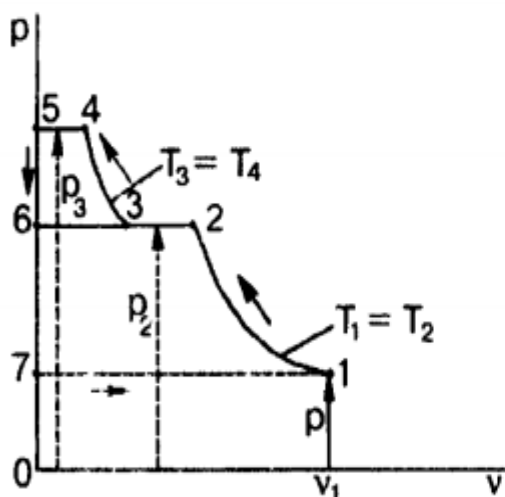
d) agar qisish jarayoni politropik bo'lsa, sarflanadigan ish miqdori:

$$\ell = \frac{n}{n-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1). \quad (6.17)$$

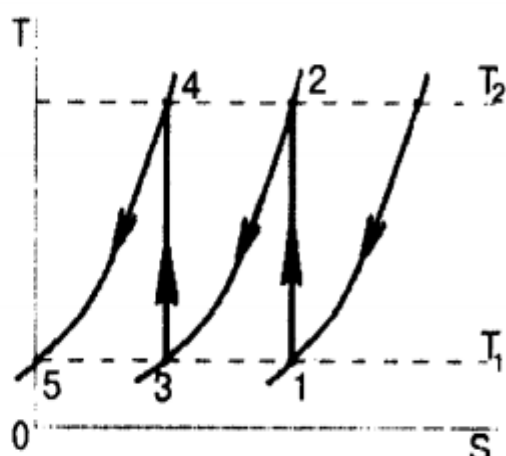
(6.17) ifodani keltirib chiqarish (5.16) tenglikni keltirib chiqarish kabi bo'ladi, faqat ko'rsatkich «K» emas «n» bo'ladi.

Ishlayotgan porshenli kompressorlarning ko'pchiligi politropik bo'lib, daraja ko'rsatkichi $n = 1,20 \dots 1,25$ oralig'ida o'zgaradi.

Ko'p pog'onali kompressorlar. Biz yuqorida ko'rib chiqqan bir pog'onali porshenli kompressorning ish unumi juda yaxshi, lekin yuqori bosimda ishlaganda tez qizib ketadi. Odatda 10 atmosferagacha bosim hosil qilinganda, gazni uzatish bir pog'onali kompressorlar bilan amalga oshiriladi. Kattaroq bosimlar bilan ishlashga to'g'ri



8- rasm



9- rasm

kelganda ikki yoki ko'p pog'onali kompressorlar (har bir pog'anada taxminan 10 atm) bilan bosim hosil qilinadi. Bunda har bir pog'anadan so'ng so'ng gaz sovutiladi.

Qisish jarayonining izotermik bo'lishi maqsadga muvofiq bo'ladi, lekin amalda bajarilishi qiyin bo'lganligi uchun shu jarayonga yaqinlashtiriladi.

Har bir pog'onadan so'ng izobarik sharoitda gaz dastlabki haroratgacha sovutiladi. Agar kompressorda gazning qisilishi politropik bo'lib, ko'rsatkichi «n» bo'lsa:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

Ikkinchi pog'ona uchun:

$$\frac{p_4}{p_3} = \left(\frac{T_4}{T_3} \right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

Kompressorning ishlash sharoitiga qarab, $T_1 = T_2$ va $T_2 = T_4$ bo'lganligi uchun:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3}.$$

Kompressorda qisish pog'onalari «z» marta bo'lganda

$$n = \sqrt[z]{\frac{P_{oxir}}{P_{boshl}}}$$

bo'ladi.

Kompressorda sarflanadigan ish miqdori quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\ell = z \frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]. \quad (6.18)$$

Bunda: z- pog'onalar soni.

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 politmpik 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 ifodalarni 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. Kompessor nima? Uning tavsiflarini keltiring. Politmpik, adiabatik va izotermik siqishda kompressor ishi uchun ifodalarni keltiring.
12. pV — Ts diagrammalarda ko'p bosqichli kompressorning siqish jarayonini tahlil qiling. Ko'p bosqichli siqishning bir bosqichligiga nisbatan ajzalliklarini ko'rsating.