O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA’LIM VAZIRLIGI

ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ISSIQLIK ENERGETIK QURILMALARI

uslubiy qo‘llanma

T O SH K E N T - 2 0 1 9

Mavjudova SH.S., Isaxodjayev X.S. Issiqlik energetika qurilmalari fanidan uslubiy qo‘llanma - Toshkent, ToshDTU, 2019. 104 b.

Uslubiy qo‘llanma 5310200 -“Elektr energetika” mutaxassisligi bakalavriat yonalish talabalari uchun mo‘ljallangan. Uslubiy qo‘llanmada energetika sohasida ishlatiladigan issiqlik energetik kurilmalaridagi jarayonlar, issiklik uzatilishi va issiqlik energetikf kurilmalarining ishlash uslublari keltirilgan.

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-uslubiy kengashi qarori bilan chop etildi.

.

Taqrizchilar:
Hashimov F.A. - AO O‘zbekenergo ITM laboratoriya mudiri, t.f.d.;

Tashbayev N. T. - «Issiqlik energetika» kafedrasi dotsenti, t.f.n.

© Toshkent davlat texnika universiteti, 2019

KIRISH

XX asrning oxirlariga kelib issiqlik energiyasini ishlab chiqarish ko‘lamlari shu darajaga borib etdiki, u bir tomondan bir necha o‘n million yillar davomida shaklllangan yoqilqi zaqiralarini tugash muddatlarini tezlashtirish bo‘lsa, ikkinchi tomondan atrof-muqitning yonish maqsulotlari bilan ifloslanish darajasini kesikn oshishi natijasida iqlimining sezilarli o‘zgarishlarga olib keldi. Tabiiyki, insoniyat tarqqiyoti uchun salbiy bo‘lgan mazkur jarayonlarning bundan keyingi jadal rivojlanishlarini oldini olishning asosiy yo‘nalishlaridan biri qosil qilingan issiqlik energiyasidan xalq xo‘jaligining turli sohalarida oqilona va samaraliroq foydalanishdir. Bu muammoning ijobiy qal qilinishi ma'lum darajada issiqlik energiyasini ishlab chiqarish va undan foydalanishga asoslangan texnikaviy vositalarda ro‘y beradigan issiqlik uzatish va qabul qilish jarayonlarining chuqur taqlil qilinishi, aniq hisoblanishi va zarur hollarda tegishli tajribaviy izlanishlarning bajarilishini taqozo qiladi.

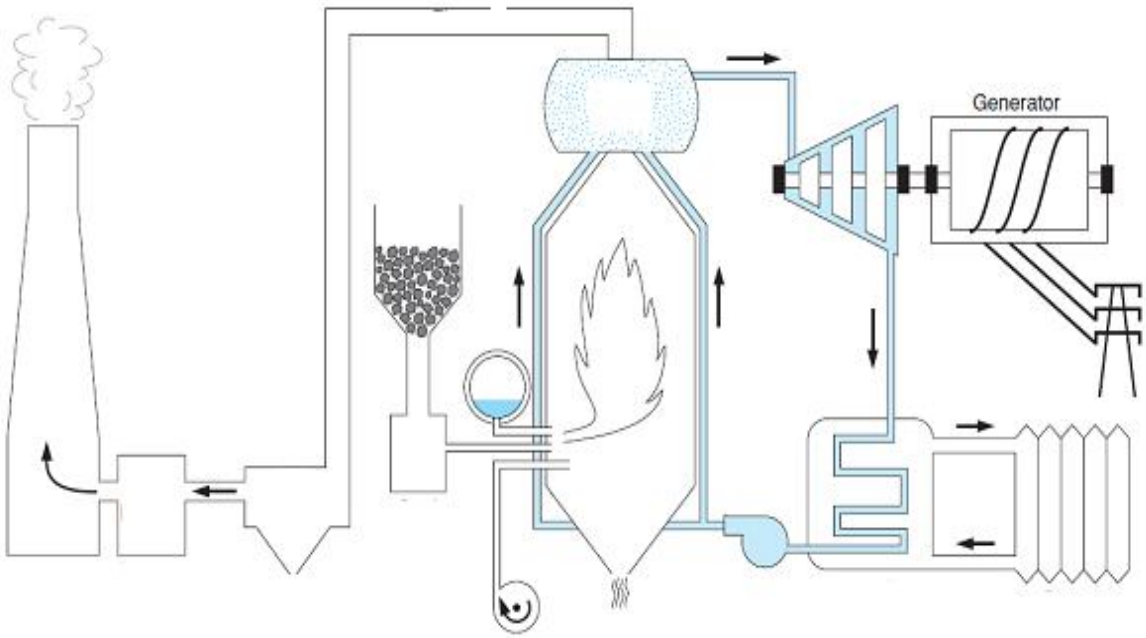
Shuning uchun qam «Issiqlik energetik qurilmalari» fanni o‘qitishdan maqsad – issiqlikni ishga aylanishining asosiy qonunlari; bug‘ generatorlarida va issiqlik almashuv apparatlarida issiqlik uzatilishi; yoqilg‘i va uning hususiyatlari; bug‘ turbina qurilmalarini ishlash usullarini o‘rgatishdan iboratdir.

Elekrtenergiyaning manbai bo‘lib, elektr stansiyalar xizmat qiladi. Elekrt energiyaning asosiy qismi yoqilqi va gidroresurslar orqali olinadi. Bundan tashqari elektr stansiyalarda tabiyi energiya manbalari: shamol energiyasi, quyosh energiyasi va geotermal issiqliklar ishlatiladi. Elektr energiyaning 80% issiklik elektr stansiyalarida ishlab chiqiladi.

Issiqlik elekrt stansiyasi – yoqilgining birlamchi energiyasini elekrt energiyaga aylantirib beradigan qurilmaga va inshootlar kompleksidir.

Issiqlik elektr stansiyasining texnologik chizmasi 1-rasmda keltirilgan.

Bug‘ qozonida yoqilg‘i yondiriladi. Yoqilg‘ining yonishida ajralgan issiqlik bug‘ qozoniga berilgan suvni bug‘ga aylantirishga sarflanadi. Suv nasos yordamida bug‘ qozoniga beriladi. Bug‘ qozonining bug‘ qizdirgichida bug‘ o‘ta qizigan bug‘ga aylantiriladi. O‘ta qizigan bug‘ turbinasiga yuboriladi.



1-rasm. Issiklik elekrt stansiyasining texnologik chizmasi

Turbinada bug‘ning issiqlik energiyasi avval kinetik energiyaga, songra mexanik energiyaga aylanadi va elektr generatorda elektr energiya ishlab chiqariladi. Ishlatilib bo‘lingan buq’ juda kichik bosimda bo‘lgani uchun kondensatorga kelib tushadi va qaytadan suvga aylanadi, bunday massani kondensat deyiladi.

Kondensat nasos yordamida bug‘ qozoniga yuboriladi va sikl takrorlanadi.

Issiqlik energiyasini ishlab chiqarish va undan foydalanishga asoslangan energetik qurilmalarda ro‘y beradigan issiqlik uzatish va qabul qilish jarayonlarining chuqur tahlil qilinishi, aniq hisoblanishi va zarur hollarda tegishli tajribaviy izlanishlarning bajarilishini taqozo qiladi.

I bo‘lim. TEXNIK TERMODINAMIKA

I bob. IDEAL GAZLARNING XUSUSIYATLARI

1.1. Asosiy termodinamik holat parametrlari

Issiqlik dvigatellarida issiqlikni ishga aylantirish ishchi jism yordamida amalga oshiriladi. Ishchi jism gaz yoki buq bo‘lishi mumkin.

O‘zaro va atrof muhit bilan issiqlik almashinadigan jismlar majmuasiga termodinamik tizim deyiladi. Energetikada elektr stansiyani hamma mashinalari yoki issiqlik dvigatelining alohida qismlari va ichida gaz joylashgan porshenli silindrlar termodinamik tizimga misol bo‘la oladi. O‘rganilayotgan termodinamik tizimga kirmaydigan hamma jismlar atrof muhit deb ataladi.

Termodinamik tizim – ochiq yopiq, yakkalangan va adiabatik bo‘lishi mumkin.

Agar tizim boshqa tizimlar bilan energiya almasha olsa ochiq termodinamik tizim (gaz-turbina qurilmasi), energiya almasha olmasa yopiq termodinamik tizim (ichki yonuv dvigatelilari) deb yuritiladi.

Agar tizim atrof-muhit bilan o‘zaro ta'sir etmasa yakkalangan termodinamik tizim, agar tizim atrof muhit bilan issiqlik almashmasa adiabatik tizim deb yuritiladi.

Ishchi jismning fizik holatini ifodalaydigan kattaliklar holat parametrlari deyiladi. Asosiy termodinamik holat parametrlari: mutloq bosim, mutloq harorat va solishtirma hajm. Jismning holati o‘zgarganda bosim, harorat va solishtirma hajm keskin o‘zgaradi. Shuning uchun bu parametrlar termik parametrlar deyiladi.

Bosim.

Sirrtning birlik yuzasiga tik ta'sir etuvchi kuchga bosim deyiladi.

$$P = \frac{F}{S}, \qquad [Pa] = \frac{N}{m^2} \tag{1.1}$$

$1N/m^2$ – bu birlik Paskal (1 Pa) deyiladi. 1 Pa unchalik katta bo‘lmagani uchun texnikada kPa va MPa ishlatiladi.

1 kPa (kilopaskal) = 10^3 Pa

1 MPa (megapaskal) = 10^6 Pa.

Bu birliklardan tashqari 1 bar = 10^5 Pa – bu bosim atmosfera bosimiga yaqin bo‘lgan bosimdir.

Bosim olchov birliklaridan yana biri 1 kg kuch sm^2 (kg k/sm^2) yoki boshqa ko‘rinishda quyidagicha yoziladi: k/sm^2, bu 1 kg/ sm^2 = 1 at bu texnik atmosfera deyiladi.

Bosim o‘lchov birliklari orasida quyidagicha bog‘lanish bor:

1 MPa = 10 bar = 10,2 at = 10^6 Pa

1 atm =101,325 kPa = 760 mm sim.ust. =10333 mm suv ust.

Fizik atmosfera (1 atm) 0 ^oC haroratda 760 mm sim.ust.ga teng.

Bosim quyidagi turlarga bo‘linadi:

1. Atmosfera yoki barometrik bosim P_{bar} – bu atmosfera havosining bosimidir;
2. Ortiqcha yoki manometrik bosim P_{ort} (P_{man}) – atmosfera bosimidan yuqori bosimdir;
3. Vakuum (siyraklanish) P_{vak} – bu atmosfera bosimidan kichik bosimdir;
4. Mutloq bosim P_{mut} – bu jismga ta'sir etayotgan to‘liq bosimdir;

Bulardan faqat mutloq bosim gaz yoki suyuqlikning holat parametri bo‘la oladi.

Agar biror idishdagi bosim atmosfera bosimidan yuqori bo‘lsa, unda mutloq bosim quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{mut} = P_{bar} + P_{ort} \qquad (1.2)$$

Agar aksincha, idishdagi bosim atmosfera bosimidan kichik bo‘lsa, unda mutloq bosim quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{mut} = P_{bar} - P_{vak} \qquad (1.3)$$

Bosimning turli olchov birliklari orasidagi nisbatni quyidagi jadval orqali ko‘rishimiz mumkin.

1.1-jadval

Birliklar	Pa	bar	kg k/sm^2	mm sim.ust.	mm suv.ust.
1 Pa	1	10^{-5}	1,02 10^{-5}	7,5024 10^{-3}	0,102
1 bar	10^5	1	1,02	7,5024 10^{-2}	1,02 10^4
kgk/sm^2	9,8 10^4	0,9806	1	735	104
mm sim.ust.	133,3	1,33 10^{-3}	1,36 10^{-3}	1	13,6
mm suv.ust.	9,8067	9,80 10^{-5}	10^{-4}	7,35 10^{-2}	1

Harorat.

Harorat jismning qiziganlik darajasini ifodalaydi. Jismlar orasida issiqlik almashuvi bo‘lmasa, ularning harorati bir hil bo‘ladi. Issiqlikni yuqori haroratli jismdan past haroratli jismga o‘z- o‘zicha o‘tishi tajribadan juda yahshi malum. Jismlar harorati bu jismlar orasida issiqlikning o‘z- o‘zidan o‘tishi mumkin bo‘lgan yo‘nalishini aniqlaydi.

Harorat ikki xil bo‘ladi:

1. Mutloq harorat – T, K (Kelvin shkalasi)
2. Emperik harorat – t, ^{0}C (Selsiy shkalasi)

Haroratning qiymat sonini harorat shkalalari ko‘rsatib beradi. Harorat shkalalari Selsiy (^{0}C) yoki gradusli – Kelvin, Farengeyt va Reomeyur shkalalariga bo‘linadi. Selsiy shkalasida asosiy reper nuqtalari qilib, muzning erish harorati 0^{0}C va suvning qaynash harorati 100^{0}C qabul qilingan. Bu nuqtalardagi termometr korsatkichining farqini 100 ga bo‘lingandagi bir bo‘lagi Selsiy gradusi (1^{0}C) deb qabul qilinadi.

1.2-jadval

Turli harorat shkalalari orasidagi nisbat

Shkalalar nomi	Selsiy shkalasi t, ^{0}C	Renkin shkalasi T, ^{0}Ra	Farengeyt shkalasi, t, ^{0}F	Reomyur shkalasi t, ^{0}R
Selsiy shkalasit, ^{0}C	-	5/9 T ^{0}Ra-73,15	t, ^{0}F -32/1,8	1,25 t ^{0}R
Renkin shkalasiT, ^{0}Ra	1,8(t ^{0}C +273,15)	-	T ^{0} F+459,7	1,8(1,25t^{0}R + 273.15)
Farengeyt shkalasi, t, ^{0}F	1.8 t ^{0}C+32	T^{0}Ra-459	-	9/4 t^{0}Ra
Reomyur shkalasi t, ^{0}R	0,8 t ^{0}C	0,8(5/9T^{0}Ra -273,15)	4/9(t ^{0}F-32)	-

Asosiy termodinamik parametr bo‘lib mutloq harorat hisoblanadi,va u T bilan belgilanadi, Kelvinda o‘lchanadi. Amalda esa har bir asbob Selsiy gradusida o‘lchab beradi. Shuning uchun ularning orasidagi boglanishni quyidagicha yozamiz:

$$T\,K = t\,^0C + 273{,}15 \qquad (1.4)$$

Molekulalarning o‘rtacha kinetik energiyasiga proporsional bo‘lgan haroratga mutloq harorat deyiladi.

Angliya va AQSH da qo‘llaniladigan Farengeyt shkalasida muzning erish harorati 32 ^{0}F va qaynash harorati 212 ^{0}F deb qabul qilingan, demak:

$$t\ ^0C = 5/9\ (t\ ^0F - 32)\ ;\quad t\ ^0F = 9/5\ \ t\ ^0C + 32 \qquad (1.5)$$

Solishtirma hajm. Jismning massa birligiga teng bo‘lgan hajmga solishtirma hajm deyiladi:

$$v = V/m \quad , \quad m^3/kg \qquad (1.6)$$

zichlik ρ- solishtirma hajmga teskari bo‘lgan kattalikdir.

$$\rho = 1/v \ , \quad kg/m^3 \qquad (1.7)$$

1.2. Ideal gazniig holat tenglamasi

Termodinamik tekshirish usullarini soddalashtirish uchun ideal gaz haqida tushuncha kiritilgan.

Ideal gazlarda:

1. Gaz molekulalari orasida o‘zaro tortishish kuchlari mavjud emas.
2. Gaz molekulalarining o‘lchamlarini hisobga olmasa ham bo‘ladigan darajada kichik.
3. Gaz molekulalaring o‘zaro to‘qnashuvlari xuddi elastik sharlarning to‘qnashuvidek sodir bo‘ladi.

Siyraklashtirilgan real gazlarning xossalari ideal gazga yaqin (masalan; N, geliy). Haqiqatda ideal gazning o‘zi yo‘q. Lekin ideal gaz qonunlarini o‘rganish real gazning turli xil sharoitlarda qanday xususiyatda bo‘lishiini aniqlashga yordam beradi. Ideal gazning holat tenglamasining keltirib chiqarish uchun ideal gazning asosiy qonunlarini esga olamiz.

Boyl-Mariott qonuni: harorat o‘zgarmas bo‘lganda bosim o‘zgarishi hajm o‘zgarishiga teskari proporsional

$$Pv = \text{const} \qquad (1.8)$$

Gey-Lyussak qonuni: bosim o‘zgarmas bo‘lganda hajm o‘zgarishi harorat o‘zgarishiga to‘g‘ri proporsional

$$\frac{v}{T} = \text{const} \qquad (1.9)$$

Sharl qonuni: hajm o‘zgarmas bo‘lganda, bosim o‘zgarishi hajm o‘zgarishiga to‘g‘ri proporsional

$$\frac{P}{T}=\text{const} \qquad (1.10)$$

1834 yilda Boyl-Mariott va Gey-Lyussak qonunni asosida holat tenglamasi kelib chiqadi:

$$\frac{P\,v}{T}=\text{const} \qquad (1.11)$$

Gazning mutloq bosimini hajmiga ko‘paytmasining mutlaq haroratga nisbati o‘zgarmaydi va u R bilan belgilanadi. Bu kattalik gaz doimiysi deb ataladi.

$$\frac{P\,v}{T}=R \qquad (1.12)$$

Shunday qilib, biz gaz parametrlari P, v va T ni o‘zaro boglaydigan tenglamani, ya'ni ideal gazning holat tenglamasini hosil qildik.

R - gaz doimiysi $\left[\frac{J}{\kappa gK}\right]$

Gaz doimiysining fizik ma'nosi: Gaz doimiysi 1 kg gazning 1 ^{0}C ga isitilganda P = const sharoitda bajargan kengayish ishidir.

1 kg jism uchun ideal gazning holat tenglamasi:

$$pv=RT \qquad (1.13)$$

m kg gaz uchun holat tenglamasi:

$$PV=mRT \qquad (1.14)$$

1 kmol gaz uchun holat tenglamasi:

$$pv=\mu RT \qquad (1.15)$$

μR - universal gaz doimiysi, uning qiymatini normal sharoit uchun hisoblaymiz. Normal sharoitda bosim P=101325 Pa, harorat T=273^{0}K va hajm v=22,4 m^3/kmol ga teng.

$$\mu R= =\frac{101325*22,4}{273}=8314\ \left[\frac{J}{\kappa gK}\right] \qquad (1.16)$$

Har qanday gazning gaz doimiysi quyidagicha aniqlanadi:

$$R_i = \frac{\mu R}{\mu_i}\left[\frac{J}{\kappa g K}\right]$$

μ_I-gazning molekulyar massasi.

1.3. Real gazning holat tenglamasi

Real gaz molekulalari o‘zining oxirgi hajmiga va o‘zaro tortishish kuchlariga ega.

Mendeleyev-Klapeyron tenglamasiga tegishli tuzatmalar kiritib, real gaz holatini aks ettiradigan ifodani hosil qilish mumkin. Bu vazifani 1873 yilda Van-der-Vals bajaradi. U ikkita tuzatma molekulalarning hajmga bog‘liqligiga tuzatma va molekulalar orasida o‘zaro tortishish kuchlarini hisobga oluvchi tuzatma kiritdi.

Mendelyev-Klapeyron tenglamasini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$v = \frac{RT}{P} \qquad (1.17)$$

real gaz molekulalari oxirgi hajmi v_{mol} va molekulalari orasidagi bo‘shliqni $v_{bo‘sh}$ hisobga olsak, molekulalar harakat qiladigan hajm v-в ga teng bo‘ladi, $v_{mol} + v_{bo‘sh}$

$$p = \frac{RT}{v - в} \qquad (1.18)$$

Real gaz molekulalarining idish devoriga urilishi kuchsizroq bo‘ladi. Real gazning bosimi ideal gazning bosimidan Δp ga kichik bo‘ladi. $\Delta p = \frac{a}{v^2}$

$$P = \frac{RT}{v - в} - \Delta p$$

Shularga asoslangan holda Van-der-Vals tenglamasini yozamiz:

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - в) = RT \qquad (1.19)$$

bu yerda a, v – doimiy koeffitsiyentlar;

$\frac{a}{v^2}$ – ichki bosim.

Masala: Hajmi 60 l bo‘lgan harorati 25^0C bo‘lgan ballondagi kislorodning manometr bo’yicha bosimi 1100 kPa, barometr korsatkichi 745 mm.sim.ust. ga teng. Kislorodning massasini toping.

Echish:

$P=P_{бар}+P_{ман}=1100+99,3=1199,3кПа$

$$m=\frac{PV}{RT}=\frac{1199,3\cdot 10^3\cdot 0,06}{260\cdot 298}=0,9кг$$

1.4. Ideal gaz aralashmalari

Ishchi jism tarkibida bir nechta gaz bo‘lgan aralashmadan iborat bo‘ladi. Bir-biri bilan kimyoviy reaksiyaga kirishmaydigan gazlar toplamiga gaz aralashmasi deyiladi. Ularga havo, yoqilg‘ining yonish mahsulotlari va boshqalar misol bo‘la oladi.

Kichik bosimli gaz aralashmasini ko‘rib chiqamiz.

Bu gaz aralashmasi o‘z hajmiga (V_{ar}, m^3), haroratiga (T_{ar}, K), bosimi (P_{ar}, Pa) va massasi (m_{ar}, kg) ga ega.

Dalton qonuniga ko‘ra aralashma bosimi aralashmadagi gazlarning partsial bosimlari yig‘indisiga teng..

$$P_{ap}=P_1+P_2+P_3+ \ldots.+P_n$$

$$P_{ap}=\sum_{i=i}^{n} P_i \qquad (1.20)$$

P_1,P_2,P_3 …… ,P_n – parsial bosimlar.

Gaz aralashmalari uchun holat tenglamasi

$$P_{ap}V_{ap}=m_{ap}R_{ap}T_{ap} \qquad (1.21)$$

Ideal gaz aralashmalarining tarkibi massaviy ulushda, hajmiy ulushda va molyar ulushlarda berilishi mumkin.

Gaz ralashmasining massaviy ulushi. Birinchi gazning massasi -m_1, ikkinchi gazning massasi -m_2, uchinchi gazning - massasi m_3 va hokazolardan iborat aralashmani ko‘rib chiqamiz. Aralashma n ta gazlardan iborat gaz aralashmaning massasi:

$$m_1 + m_2+ m_3 +\ldots\ldots..+m_п =m_{ap} \qquad (1.22)$$

Gaz aralashmaning massaviy ulushi deb, gaz massasini aralashma massasiga nisbatiga aytiladi va u g harfi bilan belgilanadi

$$g_1 = \frac{m_1}{m_{ap}}; \qquad g_2 = \frac{m_2}{m_{ap}}; \quad g_3 = \frac{m_3}{m_{ap}}; \quad \ldots\ldots g_n = \frac{m_n}{m_{ap}};$$

$$g_1+g_2+g_3+ \ldots\ldots..+g_n= 1\ (100^0/_0) \qquad (1.23)$$

Gaz aralashmaning massaviy ulushi foizlarda beriladi, masalan, havo uchun aralashmaning massaviy ulushi.

$$g_{N2}=0,77\ (77\%)\ ;\ g_{O2}=0,23\ (23\%)$$

Agar ideal gaz aralashmasidagi gaz aralashma haroratida o‘zining partsial bosimi ostida emas, balki aralashmaning to‘la bosimi ostida bo‘lsa u holda uning hajmi Vi kattaligiga teng bo‘ladi, bu kattalik i- gazning keltirilgan hajmi deb ataladi. Gaz aralashmasining to‘la hajmi keltirilgan hajmlarning yig‘indisiga teng:

$$V_1+V_2+V_3+\ldots.V_n=V_{ap} \qquad (1.24)$$

V_1, V_2, V_3, V_n - gazlarning keltirilgan hajmi

V_{ar} - aralashmaning to‘la hajmi.

Gaz aralashmaning hajmiy ulushi deb, gazning keltirilgan hajmini aralashma hajmining nisbatiga aytiladi va u r xarfi bilan belgilanadi:

$$r_1=\frac{V_1}{V_{ap}};\ r_2=\frac{V_2}{V_{ap}};\ r_3=\frac{V_3}{V_{ap}};\ \ldots\ldots \qquad r_n=\frac{V_n}{V_{ap}}$$

Aralashmaning hajmiy ulushlarining yig‘indisi birga teng yoki 100% ga teng:

$$r_1+r_2+r_3+\ldots.r_n=1(100\%) \qquad (1.25)$$

Hajmiy ulush foizda beriladi, havo uchun

$$r_{N2}=0,79\ (79\%);\quad r_{02}=0,21\ (21\%).$$

Molyar ulush deb, gaz moli sonini aralashma moli soniga nisbatiga aytiladi va u x harfi bilan belgilanadi.

$$x_i=\frac{Z_i}{Z_{ap}};\ \Sigma x_i=1(100\%)$$

Z_i – gaz moli soni;

Z_{ap}– aralashma moli soni.

Ideal gazlar uchun molyar ulush hajmiy ulushga teng: $x_i=r_i$

Ideal gaz aralashmalarini hisoblashda molyar massasidan foydalaniladi.

Agar gaz aralashmalari hajmiy ulushda berilsa, gaz aralashmasining molyar massasi quyidagi ga teng:

$$\mu_{ap}=\mu_1 r_1+\mu_2 r_2+\mu_3 r_3+\ldots.+\mu_n r_n;\ \left[\frac{\kappa g}{\kappa mol}\right] \qquad (1.26)$$

Agar gaz aralashmalari massaviy ulushda berilsa, gaz aralashmasining molyar massasi quyidagi ga teng:

$$\mu_{ap}=\frac{1}{\frac{g_1}{\mu_1}+\frac{g_2}{\mu_2}+\frac{g_3}{\mu_3}+....\frac{g_n}{\mu_n}};\ \left[\frac{\kappa g}{\kappa mol}\right] \qquad (1.27)$$

Aralashmaning gaz doimiysi:

$$R_{ar}=\frac{8314}{\mu_{ap}};\left[\frac{\kappa g}{\kappa mol\,^oC}\right] \qquad (1.28)$$

Parsial bosimlarni aniqlash:

$$P_i = r\cdot P_{ar} \qquad (1.29)$$

Hajmiy ulush va massaviy ulush orasidagi bo‘gliqlik:

$$r_i=\frac{\frac{g_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{g_i}{\mu_i}};\qquad g_i=\frac{r_i\mu_i}{\sum_{i=1}^{n} r_i\mu_i} \qquad (1.30)$$

Nazorat uchun savollar

1. Termodinamik tizim nima?
2. Holat parametrlari deb qanday parametrlarga aytiladi?
3. Bosim va uning turlari haqida tushuncha bering.
4. Absolyut harorat nima?
5. Zichlik va solishtirma zichlik to‘g‘risida tushuncha bering.
6. Ideal va real gazlar haqida tushuncha bering.
7. Ideal gazning holat tenglamasini yozib bering.
8. Real gazning holat tenglamasini yozib bering.
9. Ideal gaz aralashmasi deb nimaga aytiladi?
10. Ideal gaz aralashmalari qanday tarkibda beriladi?

II bob. TERMODINAMIKANING BIRINCHI QONUNI

2.1. Ideal gazlarning issiqlik sig‘imi

Termodinamik jarayonda ishchi jismga berilgan issiqlik miqdori ini shu jismning solishtirma issiqlik sig‘imi orqali aniqlanadi. Solishtirma issiqlik sig‘imi deb, 1kg jismning haroratini 1^0C qizdirish uchun zarur bo‘lgan issiqlik miqdoriiga aytiladi va u c harfi bilan belgilanadi.

$$c_x = \frac{q}{t_2 - t_1}; \qquad \left[\frac{kJ}{\kappa gK}\right] \tag{2.1}$$

q – solishtirma issiqlik miqdori, kJ/kg;
t_1 – boshlang‘ich harorat;
t_2 – jismning oxirgi harorati;
x – jarayon turi.

Issiqlik sig‘imi o‘zgarmas kattalik emas, harorat o‘zgarishi bilan issiqlik sig‘imi ham o‘zgaradi. Issiqlik sig‘imi ideal gazlar uchun faqat haroratga bog‘liq bo‘ladi.

$$c_x = f(T)$$

Shuning uchun 2 xil kattalik: o‘rtacha issiqlik sig‘imi va xaqiqiy issiqlik sig‘imi tushunchasi kiritilgan.

O‘rtacha issiqlik sig‘imi

$$c_x = \frac{q}{t_2 - t_1} \tag{2.2}$$

Haqiqiy issiqlik sig‘imi deb, haroratlar farqi nolga intilayotgandagi o‘rtacha issiqlik sig‘imiga aytiladi.

$$c_{хак} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \tag{2.3}$$

Solishtirma issiqlik sig‘imi miqdori kattaligiga ko‘ra 3 xil bo‘ladi:

1) Massaviy issiqlik sig‘imi – $c_x \left[\frac{kJ}{\kappa gK}\right]$

2)Hajmiy issiqlik sig‘imi – $c'_x = \frac{Q}{V_0(t_2 - t_2)} \left[\frac{kJ}{m^3 {}^0C}\right]$

V_0 – normal sharoitga keltirilgan hajm.

3) Molyar issiqlik sig‘imi $\mu c_x \left[\frac{kJ}{\kappa mol\ ^0C}\right]$

Issiqlik sig‘imlari orasidagi boglanish:

$$c_x = c'_x v_0 = \frac{\mu c_x}{\mu} \qquad (2.4)$$

Termodinamik hisoblashlarda o‘zgarmas bosim p=coпst jarayonidagi issiqlik sig‘imi va o‘zgarmas hajm *v*=coпst jarayonidagi issiqlik sig‘imi muhim o‘rin tutadi. O‘zgarmas bosim jarayonidagi issiqlik sig‘imi izobarik – massaviy (c_v), hajmiy (c_v^I), molyar issiqlik sig‘imi (μc_v) deyiladi. O‘zgarmas hajm jarayonidagi issiqlik sig‘imi izoxorik – massaviy (c_v), hajmiy (c_v^I), molyar issiqlik sig‘imi (μc_v) deyiladi.

O‘zgarmas bosimdagi issiqlik sig‘imi c_p har doim o‘zgarmas hajmdagi issiqlik sig‘imi c_v dan katta bo‘ladi.

$$c_p > c_V$$

Buni quyidagicha izohlash mumkin, ya'ni P=const jarayonida hajmning o‘zgarishi hisobiga ma'lum ish bajaradi, issiqlik miqdori ko‘p sfrflanadi, chunki ichki energiya o‘zgaradi va V=const jarayonida ish bajarilmaydi.

Izobarik va izoxorik issiqlik sig‘imlari bir-biri bilan quyidagi tenglama orqali boglanadi:

$$c_p - c_V = R \qquad (2.5$$

Bu tenglama Mayer tenglamasi deb yuritiladi.

Mayer tenglamasini molyar issiqlik sig‘imi uchun quyidagicha yozamiz:

$$\mu c_p - \mu c_V = 8{,}314 \qquad (2.6)$$

Izobarik issiqlik sig‘imini izoxorik issiqlik sig‘imiga nisbatini k bilan belgilab, termodinamik hisoblashlarda ko‘p ishlatiladi.

$$\frac{c_p}{c_v} = k \qquad (2.8)$$

k – adiabata ko‘rsatkichi yoki Puasson koeffitsiyenti deb yuritiladi. Termodinamik hisoblashlarda ortacha issiqlik sig‘imi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$c_{1,2}=\frac{c\big|_0^t t_2 - c\big|_0^t t_1}{t_2 - t_1} \qquad (2.9)$$

Issiqlik sig‘imi haroratga bog’liq bo‘lmasa (c=const), uning qiymati quyidagi jadval yordamida aniqlanadi.

Gazlar	μc_V	μc_p	k
1 atomli	12,6	20,9	1,66
2 atomli	20,9	29,2	1,4
3 ва ko‘p atomli	29,2	37,3	1,33

Gaz aralashmalari uchun issiqlik sig’imi quyidagi ifodalardan foydalaniladi

$$c_p=\sum_{i=1}^{n} g_i c_{pi} \quad \text{va} \quad c_v=\sum_{i=1}^{n} g_i c_{vi}$$

Aralashmaning hajmiy issiqlik sig‘imi:

$$c'_p=\sum_{i=1}^{n} r_i c'_p \quad \text{va} \quad c_v=\sum_{i=1}^{n} r_i c'_{vi}$$

Aralashmaning molyar issiqlik sig‘imi:

$$?c_p=\sum_{i=1}^{n} r_i ?\ c'_p \quad \text{va} \quad ?c_v=\sum_{i=1}^{n} r_i ?\ c_{vi}$$

Masala. $?c_v=\sum_{i=1}^{n} r_i ?\ c_{vi}$ deb hisoblab, kislorodning bosimi va hajmi o‘zgarmagandagi hajmiy issiqlik sig‘imini aniqlang.

Yechish:

Ikki atomlik gazlar uchun:

$$\mu c_v=20,93 \text{ кJ/кмол К}$$
$$\mu c_p=29,31 \text{ кJ/кмол·К}$$

Demak: $c'_v=\frac{\mu C_v}{22,4}=\frac{20,93}{22,4}=0,934$ кJ/m^3·

$c_p=\frac{\mu C_p}{22,4}=\frac{29,31}{22,4}=1,308$ кJ/m^3·К

2.2. Termodinamik jarayonda ish va issiqlik miqdori

Tashqi muhitning o‘zaro ta'siri natijasida jism holatining o‘zgarishi termodinamik jarayon deb ataladi.

Muvozanat holatdagi jism deb, uning har bir nuqtasida v, R, T va boshqa fizik xususiyatlar bir xilda bo‘ladigan holatga aytiladi.

Agar silindrdagi gaz porshen yordamida siqilganda yoki kengaytirilganda ishchi jism silindr hajmining har qanday nuqtasida T va R har xil bo‘ladi – bu holat nomuvozanat holat deyiladi.

Termodinamik jarayonlarda jismlar bir-birlari bilan energiya almashadi, buning natijasida bir jismning energiyasi ko‘payadi, boshqasida kamayadi.

Jarayonlarda jism energiyasi ikki xil usulda bir jismdan ikkinchi jismga o‘tishi mumkin.

Birinchi usul:

Bunda issiq jismdan unga nisbatan sovuq bo‘lgan jismga energiya o‘tadi. Bu usuldagi energiyaning miqdori issiqlik miqdori deyiladi va o‘tish usuli – energiyaning issiqlik formasida uzatilishi deb ataladi. Issiqlik Q bilan belgilanadi, J da olchanadi.

Ikkinchi usul: tashqi bosim ta'sirida jism o‘zining hajmini o‘zgartiradi. Bu usul energiyaning ish formasida uzatilishi deyiladi va uzatiladigan energiyaning miqdori ish deb ataladi. Ish L bilan belgilanadi, J da o’lchanadi.

Umumiy hollarda energiya bir paytda ham issiqlik formasida ham ish formasida uzatiladi.

1 kg ishchi jismning ishi (solishtirma ish) – ℓ bilan belgilanadi, $\left[\frac{кЖ}{кг}\right]$; issiqlik miqdori (solishtirma issiqlik miqdori) – q bilan belgilanadi, $\left[\frac{кЖ}{кг}\right]$.

Gazning bajargan ishini hisoblash:

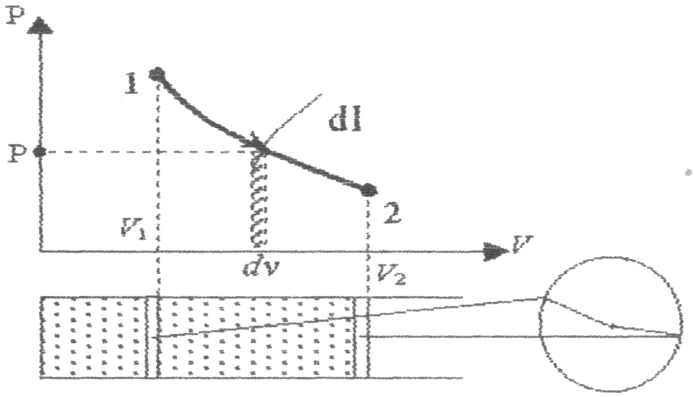
Ishning ifodasini keltirib chiqarish uchun P-*v* diagrammada 1-2 jarayonini (1.1-rasm) ko‘rib chiqamiz. Bu jarayonda 1 kg gazning hajmi o‘zgaradi.

Gaz hajmning cheksiz kichik o‘zgarishi dv ga, bosimi p ga ting bo‘lganda cheksiz kichik ish $d\ell$ ning ifodasi quyidagi ifodaga teng:

$$d\ell = pdv \qquad (2.10)$$

Bu ifodani integrallab, 1 kg gazning v_1 dan v_2 gacha hajm o‘zgarishida bajarilgan ishni topamiz:

$$\ell = \int_{v_1}^{v_2} pdv \left[\frac{кЖ}{кг}\right] \qquad (2.11)$$



2.1-rasm. P-*v* diagramma (ishchi diagramma)

P-v diagrammadagi 1-2-3-4-1 yuza bajarilgan ishga teng va bu diagramma ishchi diagramma deyiladi. Gazning bajargan ishi holat funksiyasi bo‘la olmaydi. Gazning kengayishida dv>0 bajarilgan ish $\ell > 0$ musbat, torayishida dv < 0 bajarilgan ish $\ell < 0$ manfiy, agar hajm o‘zgarmasa $\ell = 0$ ga teng bo‘ladi.

2.3. Ichki energiya va entalpiya

Jismning ichki energiyasi molekulalarning boshlang‘ich, kinetik va potensial energiyadan iborat bo‘ladi.

$$U=E_0 + E_{kin} + E_{pot} \qquad (2.12)$$

Ideal gazlar uchun:

$$U = U_{kin}$$

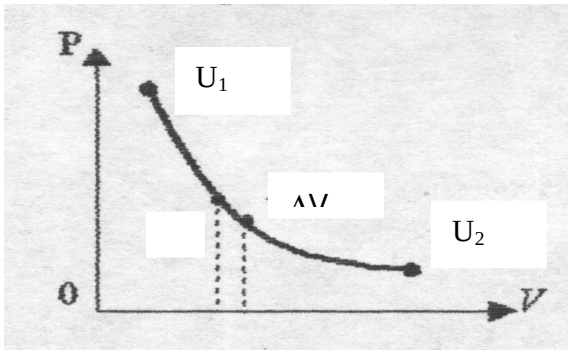
Ichki energiya bosim, hajm va haroratini funksiyasidir,

U=F (P, T)

U = f (P,v)

U = f (T, v)

Ana shu yozilgan ifodani P-v diagrammada (2.2- rasm) ko‘rsatadigan bo‘lsak, u quyidagicha ifodalanadi va shu P, v, T o‘zgarishi bilan keskin o‘zgaradi va oxirgi parametrlari o‘zgarishi bilan o‘zgaradi.



2.2- rasm. P-v diagrammada ichki energiyaning o‘zgarishi

Ichki energiya jismni bir holatdan ikkinchi holatga qaysi yo‘l bilan o‘tishiga bogliq emas, shuning uchun

$$U_1 = U_2 = U$$

Jism ichki energiyasining biror jarayonda o‘zgarishi jarayonning xarakteriga bogliq emas va jismning bo‘shlang‘ich va oxirgi holati bilan aniqlanadi.

$$\Delta u=u_2-u_1=c_v\,(t_2-t_1) \qquad (2.13)$$

Entalpiya. Tizim ichki energiyasining yig‘indisi U bilan tizimning bosimi P ning tizim hajmining kattaligi V ga ko‘paytmasi yig‘indisining kattaligi entalpiya deb ataladi va h orqali belgilanadi.

$$H=U+pV \qquad [\text{кJ}] \qquad (2.14)$$

Solishtirma entalpiya:

$$h=u+pv \qquad (\text{kJ/kg}) \qquad (2.15)$$

Entalpiya haroratga bog‘liq bo‘lgan kattalikdir.

$$h = f\,(T)$$

$$dh=c_p dT$$

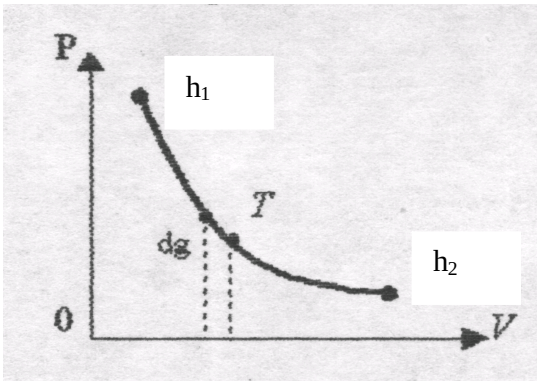
Entalpiya ham holat parametri bo‘lib, shu P, v, T o‘zgarishi bilan keskin o‘zgaradi, shuning uchun h=F (P, v, T) bo‘ladi.

U=F (P, T)

U = f (P,v)

U = f (T, v)

Oxirgi yozilgan ifodani ham P-v diagrammada (2.3-rasm) chizib izohlab berish mumkin



2.3- rasm. P-v diagrammada entalpiyaning o‘zgarishi

Entalpiya holat parametri bo‘lgani uchun jismning boshlang‘ich va oxirgi parametrlariga bog‘liq ravishda o‘zgaradi, shuning uchun: $h_{1a2} = h_{1b2} = h_{1c2}$

Jism ichki energiyasining biror jarayonda o‘zgarishi jarayonning xarakteriga bog‘liq emas va jismning bo‘shlang‘ich va oxirgi holati bilan aniqlanadi.

$$\Delta h=h_2-h_1=c_p\,(t_2-t_1) \qquad (2.16)$$

Entalpiya va ichki energiya holat parametri bo‘lib, moddaning kallorik xossalari deb ataladi.

2.4. Termodinamikaning I qonuni

Termodinamikaning birinchi qonuni energiyaning saqlanish va aylanish qonunining tatbiqidir.

Ta'rif: Tizimga berilgan issiqlik miqdori tizimning ichki energiyasini o‘zgartirishga va ish bajarishga sarflanadi.

$$Q = \Delta U+L \qquad [J] \qquad (2.17)$$

1 kg jism uchun termodinamikaning birinchi qonuni:

$$q=\Delta u+ \ell \qquad \left[\frac{J}{\kappa g}\right]$$

Δu - ichki energiyaning o‘zgarishi

ℓ - bajarilgan ish.

Termodinamikaning birinchi qonunining analitik ifodasi:

$$dq=du+d\ell \qquad (2.18)$$

Ishni ifodasi:

$$d\ell =pdv \qquad (2.19)$$

ni (30)ifodaga qo‘yib birinchi qonunni ichki energiya yordamida yozamiz:

$$dq=du+pdv \qquad (2.20)$$

termodinamikaning birinchi qonunining entalpiya yordamida yozilishini keltirib chiqaramiz.

Buning uchun ishni quyidagicha ifodalaymiz:

$$pdv=d(p\cdot v)-vdp \qquad (2.21)$$

Bu ifodani (33) ga yozamiz:

$$dq=du+d(p\cdot v)-vdp=d(u+pv)-vdp \qquad (2.22$$

bu ifodadagi $u+pv=h$ entalpiyaga teng va entalpiya yordamida termodinamikaning birinchi qonunini yozamiz:

$$dq=dh-vdp \qquad (2.23)$$

Issiqlik miqdori termodinamik jarayon xarakteriga bogliq. Termodinamikaning birinchi qonunining analitik ifodasini issiqlik sig‘imi yordamida yozilishi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$dq= c_v dt+pdv \qquad du=c_v dT \qquad (2.24)$$

$$dq=c_p dT-vdp \qquad dh=c_p dT \qquad (2.25)$$

2.5. Entropiya

Entropiya ham holat parametrlaridan bo‘lib, S harfi bilan belgilanadi va o‘zgarish ma'nosini bildiradi. Tizimga issiqlik berilganda uning holati o‘zgaradi.

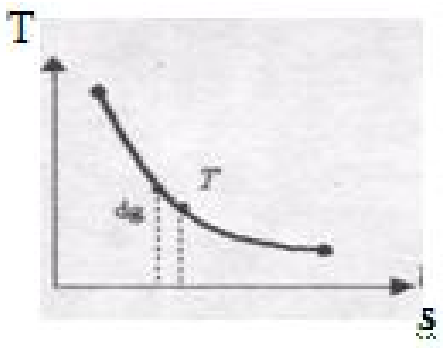
Elementar qismda berilgan issiqlik dq va harorati T ga teng.

$$\frac{dq}{T} = ds \qquad (2.26)$$

Entropiya – tizim holatning shunday funksiyasi, bu funksiyaning qaytuvchan jarayonidagi cheksiz kichik o‘zgarishi mazkur tizimga kiritilgan cheksiz kichik issiqlik miqdorining shu issiqlik kiritilgan holatdagi harorat nisbatiga teng. $s=\left[\frac{кЖ}{кг^0C}\right]$

$$dq=T\cdot ds \qquad (2.27)$$

Entropiya haqida tushunchaga ega bo‘lganimizdan keyin biz har qanday sodir bo‘layotgan jarayonlar uchun issiqlik diagrammasi T-s diagrammani (2.4-rasm) chizib, u jarayonda harorat va entropiya o‘zgarishini izohlab berishimiz mumkin.



2.4- rasm. T-s diagramma, entropiyaning o‘zgarishini

Agar: 1) $ds>0$ bo‘lsa $s_2>s_1$ entropiya ortadi
$dq>0$ issiqlik ortadi.

2) $ds<0$ bo‘lsa $s_2<s_1$ entropiya kamayadi
$dq<0$ issiqlik ajraladi.

3) $ds=0$ bo‘lsa $s_2=s_1$ $dq=0$ adiabatik jarayon.

T-s diagrammasi jarayonning issiqligini aniqlab beruvchi diagramma bo‘lib hisoblanadi.

Masala. Kengayish jarayonida 1 kg kislorodga 262 kJ issiqlik keltirilayapti. Agar uning harorati jarayon natijasida 95 ^{0}C pasaysa, gazning bajargan ishi nimaga teng. Issiqlik sig‘imining haroratga bogliqligini hisobga olmang.

Javob: 200 kJ/kg .

Yechish:

1. Kislorod uchun (ikki atomli gaz)

μc_v=20,93kJ/kmolK

$c_v = \frac{\mu c_v}{\mu_{O_2}} = \frac{20,93}{32}$ =0,635 kJ/kgK

$\Delta u = c_v \cdot \Delta t$ =0,635·95=61 kJ/kg

$\ell = q - \Delta u$=262-61=201 kJ/kg.

Nazorat uchun savollar

1. Issiqlik sig‘imi deb nimaga aytiladi?
2. Issiqlik sig‘imi necha xil bo‘ladi?
3. Mayer tenglamasini ayting.
4. Ichki energiya nima?
5. Entalpiya nima?
6. Entropiya nima?
7. Termodinamikaning I qonuni ta'rifini bering.
8. Termodinamikaning I qonunining analitik ifodasini yozib bering.

III bob. ASOSIY TERMODINAMIK JARAYONLARNING TAHLILI

Shu davrga qadar fizika kursidan bizga ma’lum bo‘lgan beshta asosiy jarayonlar mavjud. Ular quyidagilardir:

1. P=const - izobarik jarayon
2. V=const – izoxorik jarayon
3. T=const - izotermik jarayon
4. dq=0, S=const, $p*v^k$=const - adiabatik jarayon
5. C_n=const, $p*v^n$ =const, n =$\pm\infty$ - politropik jarayon

Bu jarayonlarni tahlil qilish quyidagicha olib boriladi:

1. Jarayonning tenglamasi
2. Parametlar orasidagi bog‘lanish va uning P-v, T-s diagrammalarda ko‘rinishi.
3. Jarayonning ichki energiyasi. Hamma jarayonlar uchun ichki energiyaning o‘zgarishi quyidagi ifoda bilan ifodalanadi:

$$\Delta u=c_v\Delta T$$

4. Jarayonning bajargan ishi.
5. Jarayon issiqligi.
6. Jarayonning entropiyasining o‘zgarishi.

3.1. Izobarik jarayon

1. Bosim o‘zgarmaydigan jarayonga izobarik jarayon deyiladi va quyidagi tenglama orqali yoziladi:

$$P=const.$$

2. Parametrlar orasidagi bog‘lanish va diagrammada (3.1-rasm) ko‘rinishi.

Gazlarning holat tenglamasiga binoan, boshlang‘ich va oxirgi nuqtalar uchun holat tenglamasini yozamiz:

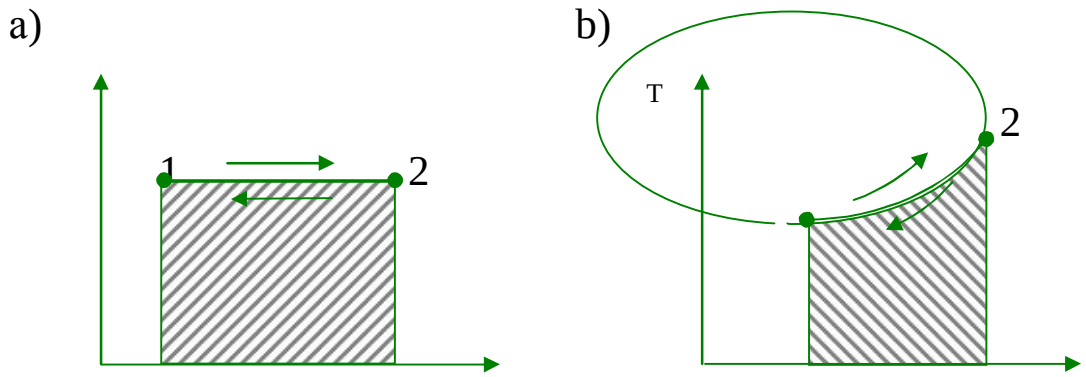
$$p_1v_1=RT_1 \qquad (3.1)$$

$$p_2v_2=RT_2 \qquad (3.2)$$

(3.1) ni (3.2) ga bo‘lib quyidagini hosil qilamiz.

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{T_1}{T_2}\ ;\ \frac{v_1}{T_1}=\frac{v_2}{T_2}\ ;\frac{v}{T}=\text{const} \qquad (3.3)$$

Gey-Lyussak qonunining ifodasidir. Demak, P=const da hajm o‘zgarishi haroratlar o‘zgarishiga to‘g‘ri proporsional.



3.1-rasm. a – izobarik jarayonning P-v diagrammada ko‘rinishi; b-izobarik jarayonning T-s diagrammada ko‘rinishi;

3. Ichki energiyaning o‘zgarishi:

1. $du=c_v dT;\ \Delta u=c_v(T_2-T_1)=c_v(t_2-t_1)$ (3.4)

4. Jarayonning ishi:

$$dl=pdv$$

$$l = p\,(v_2-v_1)= pv_2 - pv_1 = RT_2 - RT_1 = R(T_2-T_1) \qquad (3.5)$$

5. Jarayonning issiqligi

$dq=du+ldv$ yoki $q_p=c_p(T_2-T_1)$ (3.6)

6. Entropiyaning o‘zgarishi:

$$\Delta s = c_p\ \ell n\frac{v_2}{v_1} \qquad (3.7)$$

hunday qilib, bu jarayonning tahlili shuni ko‘rsatadiki, keltirilgan issiqlikning ko‘pchilik qismi ichki energiyaning o‘zgarishi ortishiga va oz qismi mexanik ish bajarishga sarf bo‘ladi.

3.2. Izohorik jarayon

1. Hajm o‘zgarmaydigan jarayonga izoxorik jarayon deyiladi.

$$V=\text{const}$$

2. Parametrlar orasidagi bog‘lanish va diagrammada (3.2-rasm) ko‘rinishi.

Buning uchun jarayonni sodir bo‘lishida gazning 1 va 2 nuqtalari uchun holat tenglamasini yozamiz:

$$p_1v_1=RT_1 \qquad (3.8)$$

$$p_2v_2=RT_2 \ . \qquad (3.9)$$

(3.8) va (3.9) ni bo‘lib quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{p_1}{p_2}=\frac{T_1}{T_2} \ ; \ \frac{P}{T}=\text{const} \qquad (3.10)$$

Demak, V=const jarayonida bosimlar nisbati haroratlar nisbatiga to‘g‘ri proporsional.

(3.10) ifoda Sharl qonunining ifodasidir.

3. Ichki energiyaning o‘zgarishi:

$$du = c_vdT \qquad (3.11)$$

$$\Delta u=c_v(T_2-T_1)= c_v(t_2-t_1)$$

4. Jarayonning ishi:

$$\ell = \int_{v_1}^{v_2} pdv \qquad (3.12)$$

Termodinamikaning I- qonuniga binoan

$$dq=du+dl$$

V=const bo‘lganida $l_v=0$, ya’ni izoxorik jarayonda gaz ish bajarmaydi.

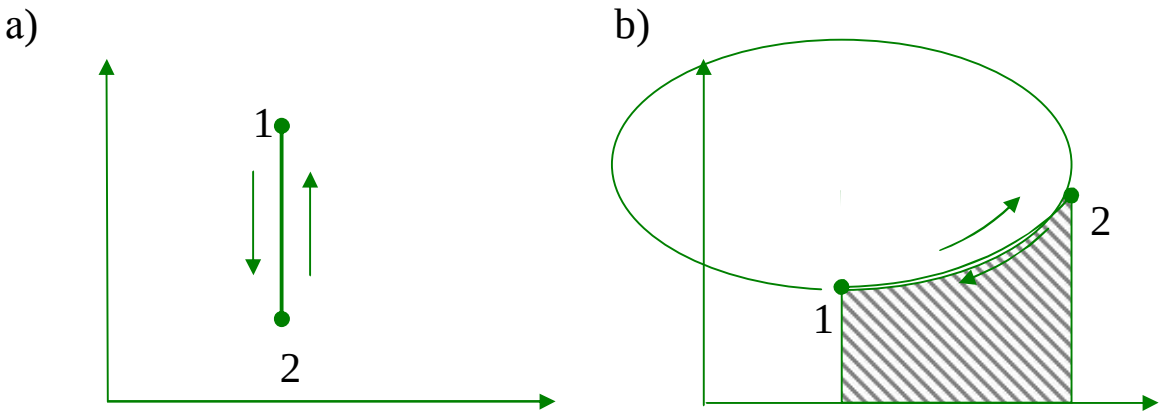
5. Jarayonning issiqligi:

$$q=\Delta u+l \qquad (3.13)$$

$l_v=0$ bo‘lgani uchun $q=\Delta u$ yoki $q_v=c_v(T_2-T_1)$

6. Entropiyaning o‘zgarishi:

$$\Delta s = c_v \ell n \frac{v_2}{v_1} \qquad (3.14)$$



3.2- rasm. a – izoxorik jarayonning P-v diagrammada ko‘rinishi;
b- izoxorik jarayonning T-s diagrammada ko‘rinishi;

Bu jarayonni tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, hajm o‘zgarmas jarayon bo‘lgani uchun ham ish bajarilmaydi va keltirilgan issiqlik faqat Ichki energiyaning o‘zgarishida sarflanadi.

3.3. Izotermik jarayon

1. Harorat o‘zgarmaydigan jarayonga izotermik jarayon deyiladi, tenglama quyidagicha yoziladi:

$$T = const$$

2. Parametlar orasidagi bog‘lanish va diagrammada (3.3-rasm) ko‘rinishi.

Buning uchun jarayonni sodir bo‘lishida gazning 1 va 2 nuqtalari uchun holat tenglamasini yozamiz:

$$p_1v_1=RT_1 \qquad (3.15)$$

$$p_2v_2=RT_2 \qquad (3.16)$$

(3.15) ni (3.16) ga bo‘lamiz:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1} \qquad (3.17)$$

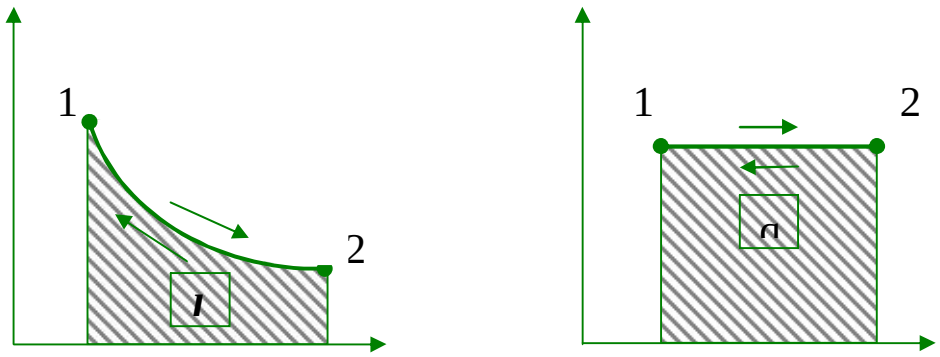
Demak, bu jarayonda bosimlar nisbati hajmlar nisbatiga teskari proporsional.

(3.17) ifoda Boyl-Mariott qonuni deyiladi.

3.Ichki energiyasi o‘zgarishi

T=const bo‘lgani uchun $\Delta T = 0$ bo‘ladi. Shuning uchun $\Delta u = c_v(T_2-T_1) = 0$, ya?ni jismning harorati o‘zgarmasa, uning ichki energiyasi o‘zgarmaydi.

a) b)



3.3-rasm. a – izotermik jarayonning P-v diagrammada ko‘rinishi; b- izotermik jarayonning T-s diagrammada ko‘rinishi;

4. Jarayonning ishi:

$$dl_p = pdv \qquad (3.18)$$

(57) ifodani integrallasak

$$l_p = \int_{v_1}^{v_2} pdv \qquad (3.19)$$

Holat tenglamasi pv = RT dan $p = \frac{RT}{v}$ ni aniqlaymiz va (59) ifodadan P ni o‘rniga qo‘yamiz:

$$l_p = {}_{V1}\int^{V2} RT\ \frac{dv}{v} \qquad (3.20)$$

$$l_p = RT\,\ell n\,\frac{v_2}{v_1} \qquad (3.21)$$

5. Jarayonning issiqligi. T=const jarayon bo‘lgani uchun du=0 bo‘ladi, shuning uchun

$$dq = dl \qquad (3.22)$$

yoki $q_T = l_T$ yoki $l_T = RT\,\ell n\,\frac{v_2}{v_1}$ (3.23)

6. Entropiya o‘zgarishi:

$$\Delta s = \frac{dq}{T} = R\,\ell n\frac{v_2}{v_1}, \quad \text{kJ/kg.} \qquad (3.24)$$

3.4. Adiabatik jarayon

1. Tizimga issiqlik keltirilmasligi va undan issiqlik olinmasligi uchun $\Delta S=0$, binobarin dq=0, shuning uchun entropiya o‘zgarmay qoladi, S = const.

Ko‘rib turibmizki (3.4-rasm**)**, bu jarayonda R ham, V ham, T ham o‘zgaradi. Bular orasidagi bog‘lanishni topish uchun termodinamikaning birinchi qonunini yozamiz:

$$dq = c_v dT - vdp \qquad (3.25)$$

$$dq = c_v dT + pdv \qquad (3.26)$$

(3.25) ni (3.26) ga bo‘lamiz:

$$\frac{c_p dT}{c_V dT} = -\frac{vdp}{pdv} \quad \text{yoki} \quad \Delta S = c_p \ln\frac{v_2}{v_1} + c_V \ln\frac{p_2}{p_1} \qquad (3.27)$$

$$\frac{c_p}{c_V} = k \qquad (3.28)$$

k - adiabata ko’rsatgichi

$$\ln\frac{p_2}{p_1} = k\ln\frac{v_1}{v_2}; \qquad \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k \qquad (3.29)$$

$$p_1 v_1^{\,k} = p_2 v_2^{\,k}$$

bundan:

$$pv^k = \text{const} \qquad (3.30)$$

bu ifoda adiabatik jarayonning tenglamasi deyiladi. Endi parametrlar orasidagi bog‘lanishni topamiz:

2. Parametlar orasidagi bog‘lanish va diagrammada (3.4-rasm) ko‘rinishi.

Bosim va hajm orasidagi bog‘lanish:

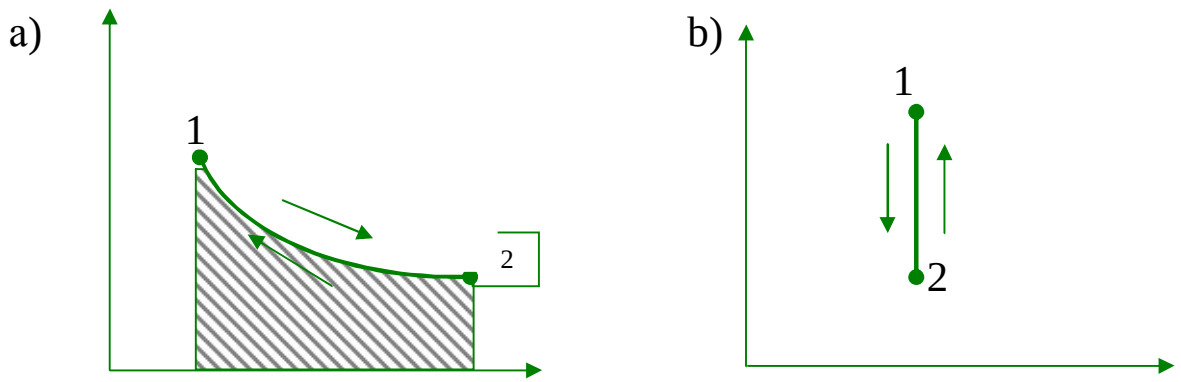
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k$$

Harorat va hajm orasidagi bog‘lanish:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$$

Harorat va bosim orasidagi bog‘lanish:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$



3.4-rasm. a – adiabatik jarayonning P-v diagrammada ko‘rinishi; b-adiabatik jarayonning T-s diagrammada ko‘rinishi;

3. Ichki energiyaning o‘zgarishi:

$$\Delta u + l = 0, \quad \Delta u = c_v (T_2 - T_1) \qquad (3.31)$$

4. Jarayonning ishi:

$$l = \frac{R}{k-1}(T_1 - T_2) = \frac{1}{k-1}(p_1 v_1 - p_2 v_2) \qquad (3.32)$$

5. Jarayonning issiqligi

$$q=0$$

6. Entropiyaning o‘zgarishi

$$\Delta s=0$$

Jarayonning tahlili shuni ko‘rsatadiki, bu jarayonda ish ichki energiyaning o‘zgarishi hisobiga amalga oshiriladi.

3.5. Politropik jarayon

1. Jarayonning tenglamasi.

Tenglamani keltirib chiqarish uchun termodinamikaning birinchi qonunining ham ichki energiyaning o‘zgarishi yordamida yozilishi ifodasini ko‘ramiz:

$$dq=c_n dT=c_v dT+pdv \qquad (3.33)$$

$$q=c_n dT=c_p dT-vdp \qquad (3.34)$$

(3.33) ni (3.34) ga bo‘lamiz:

$$\frac{(c_n - c_V)dT}{(c_n - c_P)dT} = -\frac{vdP}{Pdv}$$

$$c_n = c_V \frac{n-k}{n-1}$$

bu yerda c_n – politropik jarayonning issiqlik sig‘imi

$$\frac{c_n - c_V}{c_n - c_P} = -\frac{v}{P}\frac{dP}{dv}$$

$\frac{c_n - c_V}{c_n - c_P}$ = n deb belgilasak, (n-politropik ko‘rsatkich) n= $\pm\infty$ o‘zgaradi.

$$n = -\frac{vdP}{Pdv} \qquad (3.35)$$

va (3.35) ifodani integrallaymiz:

$$\ln\frac{P_2}{P_1} = n\ln\frac{v_2}{v_1} \;;$$

undan Pv^n =const hosil bo‘ladi, ushbu ifoda politropik jarayonning tenglamasi deyiladi.

2. Parametlar orasidagi bog‘lanish va diagrammada (3.4-rasm) ko‘rinishi.

Bosim va hajm orasidagi bog‘lanish:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n$$

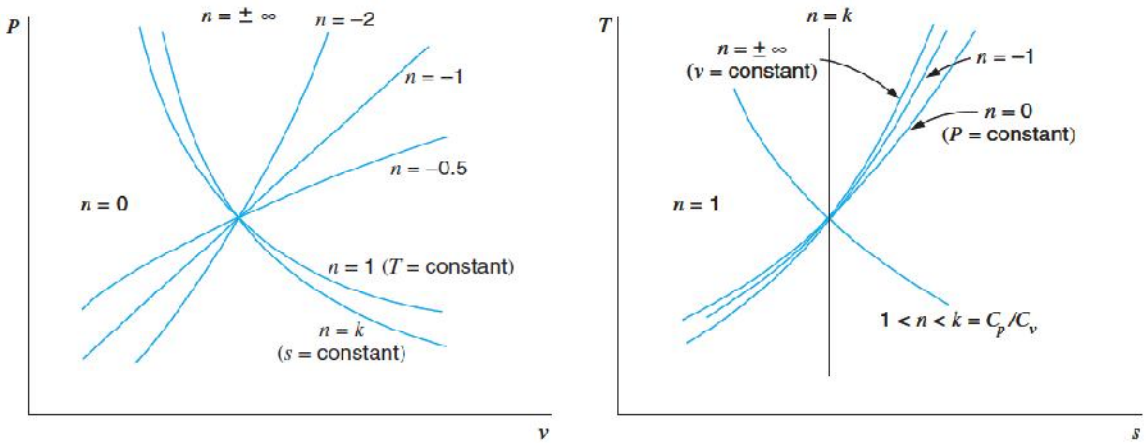
Harorat va hajm orasidagi bog‘lanish:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}$$

Harorat va bosim orasidagi bog‘lanish:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} ; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

Bu jarayonning P-v va T-s diagrammada ko‘rinishi quyidagichadir:



a *b*

3.5-rasm. a – politroptik jarayonning P-v diagrammada ko‘rinishi; b-politroptik jarayonning T-s diagrammada ko‘rinishi;

Har bir jarayon uchun politropik ko’rsatkichning qiymati:

n=0	P=const
n=1	Pv=const
n=k	Pv^k=const
$n=\pm\infty$	V=const

3. Ichki energiyaning o‘zgarishi:

$$\Delta u = c_v \Delta T$$

4. Jarayonning ishi:

$$l_{pol} = \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2) \quad (3.36)$$

$$l_{pol} = \frac{1}{n-1}(P_1 v_1 - P_2 v_2) \quad (3.37)$$

$$l_{pol} = \frac{RT}{n-1}\left[1 - \frac{P_2}{P_1})^{\frac{n-1}{n}}\right] \quad (3.38)$$

5. Jarayonning issiqligi

$$q = c_n (t_2 - t_1) \quad (3.39)$$

6. Entropiyaning o‘zgarishi

$$\Delta s = c_n \ln \frac{T_1}{T_2} \quad (3.40)$$

Bu jarayonni tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, politropik jarayon eng asosiy jarayon bo‘lib qolgan, ko‘rib chiqilgan hamma jarayonlar politrop ko‘rsatishi n ning o‘zgarishi, ya’ni $n=\pm\infty$ gacha natijasida istalgan bir jarayonga kelishi mumkin, uning har birining tavsifini topish mumkin bo‘ladi. Bu jarayonni ko‘rib chiqishda uni uchta guruhga bo‘lib keltirilgan va olib ketilgan issiqlik miqdorini manfiy yoki musbat ekanligini aniqlash mumkin bo‘ladi.

Kengayish jarayoni:

birinchi guruh n<1- issiqlik keltiriladi q>0, gazning Ichki energiyasi ortadi, ΔU>0;

ikkinchi guruh: k > n > 1 - issiqlik keltiriladi q>0, gazning Ichki energiyasi kamayadi, ΔU<0;

uchinchi guruh: n>k - issiqlik olib ketiladi q<0, gazning Ichki energiyasi kamayadi, ΔU<0.

Siqilish jarayoni:

birinchi guruh: n<1 - issiqlik olib ketiladi, gazning ichki energiyasi kamayadi.

ikkinchi guruh: k > n > 1 - issiqlik olib ketiladi, gazning ichki energiyasi ortadi.

uchinchi guruh: n>k - issiqlik keltiriladi, gazning ichki energiyasi ortadi.

Shunday qilib, biz asosiy jarayonlarning tahlilini ko‘rib chiqdik.

Masala:

Bosim P_1=0,3 mPa va harorati $t_1=25^{0C}$ bo‘lgan 6 m^3 havo doimiy bosimda $t_2=130^{0C}$ gacha qizdiriladi. Havoga berilgan issiqlikni ishni va ichki energiyani o‘zgarishini (s=const).

Yechish:

$Q=mc_p(t_2-t_1)$;

$$c_p=\frac{?C}{?s}=\frac{29,3}{2s}=1$$

$$m=\frac{PV_1}{RT_1}=\frac{0,3\cdot10^6\cdot6}{287\cdot288}=21 \text{ kg}$$

$Q=21\cdot1(130-25)=2209$ kJ

$L=mR(T_2-T_1)=21\cdot287(130-25)=632,8$ kJ

$\Delta U=Q-L=2209-632.8=1576,2$ kJ

Nazorat uchun savollar

1. Qanday termodinamik jarayonlarni bilasiz?
2. Izoxorik jarayon tahlilini keltiring.
3. Izobarik jarayon tahlilini keltiring.
4. Izotermik jarayon tahlilini keltiring.
5. Adiabatik jarayon tahlilini keltiring.
6. Politropik tahlilni keltiring.

IV bob. TERMODINAMIKANING IKKINCHI QONUNI

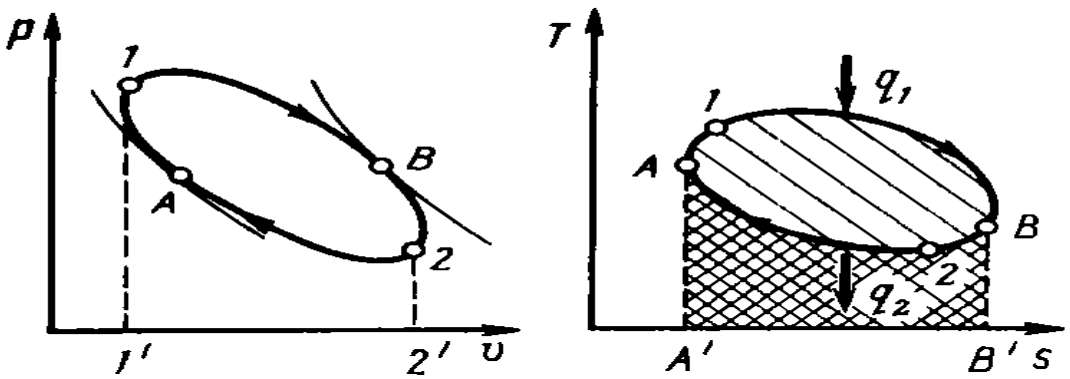
4.1. Aylanma jarayonlar

Jism bir qancha o‘zgarishlarga uchrab, ish bajarib, yana o‘zining avvalgi holatiga qaytib kelishiga aylanma jarayonlar deyiladi. Aylanma jarayon degani bu – sikl (davriylik) dir.

Agar jarayon soat strelkasi bo‘ylab harakat qilsa, ya’ni kengayish chizig‘i torayish chizig‘idan yuqori joylashgan bo‘lsa, bunday jarayon to‘g‘ri sikl deyiladi. Bu siklda kengayish ishi torayish ishidan katta bo‘ladi. Bu sikl bo‘yicha barcha issiqlik mashinalari ishlaydi. (4.1-rasm)

Torayish chizig‘i. Agar jarayon soat strelkasiga qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘lib, kengayish chizig‘idan pastda joylashgan bo‘lsa, bunday jarayon teskari sikl deyiladi. Bu siklda kengayish ishi torayish ishidan kichik bo‘ladi. Bu sikl bo‘yicha barcha sovutish mashinalari ishlaydi. (4.2-rasm)

Ishchi diagramma bo‘lgan P-V va T-s diagrammada aylanma jarayonlarni ko‘rishimiz mumkin.



4.1-rasm. To‘g‘ri aylanma jarayonning P-v va T-s diagrammada ko‘rinishi: 1B2 - kengayish chizig‘i, 2A1 – siqilish chizig‘i, q_1 – berilgan issiqlik miqdori, q_2 – ajralgan issiqlik miqdori.

Ko‘rib chiqilganlardan shu ma’lum bo‘ldiki, issiqlik mashinalarining ishlashi uchun issiq manbadan tashqari harorati past bo‘lgan sovuq manba ham zarur ekan. To‘g‘ri sikl foydali ish koeffitsiyenti bilan ifodalanadi. Siklni foydali ish koeffitsiyenti jismga berilgan issiqlikning qanchasini ishga aylanganligini bildiradi.

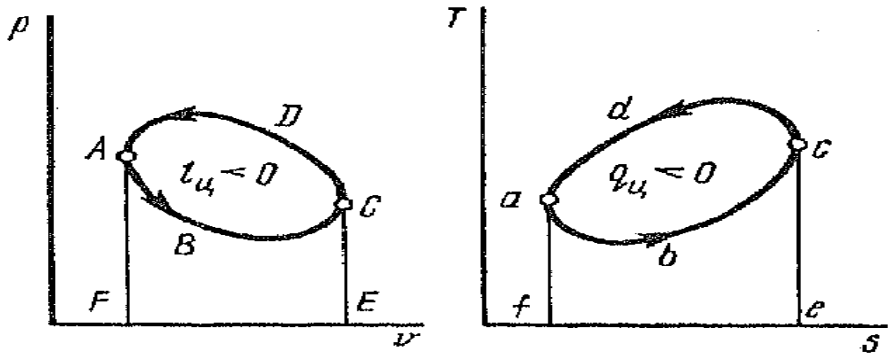
$$\eta_t = \frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \qquad (4.1)$$

$\eta_t < 1$ (100%) issiqlik mashinalari uchun f.i.k. taxminan 40% ni tashkil etadi.

Teskari sikl sovutish koeffitsiyenti bilan ifodalanadi va u ε harfi bilan belgilanadi.

$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2} \qquad (4.2)$$

ε>1 Sovutish mashinalari uchun ε (3÷7) gacha bo‘ladi.



4.2- rasm. Teskari aylanma jarayonning *P- v* diagrammada ko‘rinishi. ABC - kengayish chizig‘i, CDA – siqilish chizig‘i

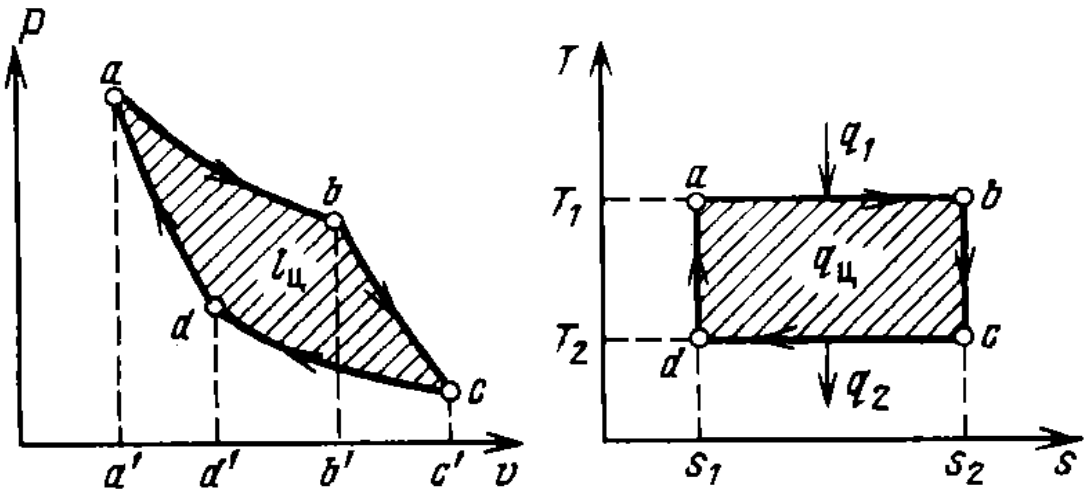
Aylanma jarayonlar to‘g‘risidagi tushunchamizni mustahkamlash uchun issiqlik mashinalarining ishlashini ifodalaydigan ideal siklni ko‘rib chiqamiz.

4.2. Karno sikli

Bu sikl eng idial bo‘lib hisoblanib, ikkita izotermik, ikkita adiabatik jarayondan tashkil topgandir. Uni ikkita (4.3-rasm) diagrammada ko‘rinishini chizamiz.

a nuqtadan boshlab ishchi jismga issiqlik manbai bo‘lgan issiqlik beruvchidan issiqlik beriladi, shuning natijasida izotermik kengayish jaroyoni sodir bo‘ladi. Kengayish jarayoni va jarayon bo‘ylab adiabatik ravishda davom etadi, bu esa tashqi muhit bilan issiqlik almashinmaganligi tufayli ichki energiyaning o‘zgarishi hisobiga bo‘ladi.

c nuqtadan boshlab siqilish jarayoni boshlanadi, bu esa issiqlikni harorati kichik bo‘lgan sovuq manbaga olib ketishi hisobiga amalga oshiriladi.



а) б)

4.3-rasm. a) Karno siklining P-v diagrammasi; b) Karno siklining T-s diagrammasi. *ab* – Izotermik kengayish, *bc*– adiabatik kebgayish, *cd* – izotermik torayish, *da*– adiabatik torayish.

Demak, *cd* jarayoni izotermik siqilish jarayonidir. Siqilish jarayoni *c* nuqtada tugamay, *d a*jarayoni orqali adiabatik ravishda ichki energiyani o‘zgarishi hisobiga amalga oshiriladi. Shunday qilib, ishchi jism o‘zining boshlang‘ich holatidan chiqib, avval kengayib, so‘ngra torayib yana o‘zining avvalgi holatiga qaytib keladi, ya’ni ish bajarildi.

Har qanday ixtiyoriy olingan siklni foydali ish koeffitsiyenti quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi.

$$\eta_t=1-\frac{q_2}{q_1} \qquad (4.3)$$

bu yerda: η_t - foydali ish koeffitsiyent %

q_1 - keltirilgani issiqlik miqdori, kJ:

$$q_1=\Delta sT_1$$

q_2 - olib ketilgan issiqlik miqdori, kJ:

$$q_2=\Delta sT_2$$

Foydali ish koeffisiyentini Karno sikli uchun quyidagi ifoda yordamida yozishimiz mumkin:

$$\eta_t^k= 1-\frac{T_2}{T_1} \qquad (4.4)$$

bu yerda: T_1 - issiq manbaning harorati, K;

T_2 - sovuq manbaning harorati, K.

Karno siklning foydali ish koeffitsiyenti issiqlik manbai va sovitgichning harorati bo‘yichaaniqlanadi.

$$\eta_t^k<1, (60\%) \quad (4.5)$$

Teskari Karno sikli uchun:

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (4.6)$$

4.3. Termodinamikaning ikkinchi qonuni

Termodinamikaning birinchi qonuni issiqlikni ishga va ishni issiqlikka aylanishini ta?kidlaydi, lekin bu aylanishlarni qaysi sharoitlarda amalga oshishini ko‘rsatmaydi.

Termodinamikaning birinchi qonuni issiq jismdan sovuq jismga issiqlikni o‘tishini vaaksincha bo‘lishi to‘g‘risidagi savolga javob beraolmaydi. Issiqlik issiq jismdan sovuq jismga o‘tadi. Ish bajarish hisobiga issiqlik miqdorini yo‘nalishini o‘zgartirish mumkin.

Tabiatda ish issiqlikka ishqalanishda, zarbda va boshqalarda aylanadi.

Issiqlik mashinalarida issiqlik ishga issiqlik manbai va sovutkichlarda haroratlar farqi mavjudligida aylanadi. Bunda issiqlikning hammasi ishga aylanmaydi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni issiqlik oqimining yo‘nalishini va shart-sharoitlarni ko‘rsatadi.

Termodinamikaning ikkinchi qonunining matematik ifodasi:

$$ds \geq \frac{dQ}{T} \quad (4.7)$$

bu yerda S - entropiya;

dQ - issiqlik manbaidan olingan issiqlik miqdori;

T - issiqlik manbaining mutloq harorati.

Tenglik belgisi qaytar jarayonlar uchun; tengsizlik belgisi qaytmas jarayonlar uchun ishlatiladi.

Termodinamikaning ikkinchi qonunining ta?riflari:

Sadi Karno ta?rifi: Issiqlikni mexanik ishgaaylantirish uchun haroratlar farqi bo‘lishi kerak (ya?ni T_1=const issiqlik manbai T_2=const va sovutkich).

Klauzius ta?rifi: Issiqlik o‘z-o‘zicha konpensatsiyasiz sovuq jismdan issiq jismga o‘taolmaydi.

Tomson ta?rifi: issiqlik mashinalariga berilgan issiqlikning hammasi ishgaaylantirib bo‘lmaydi. Bu issiqlikning bir qismi sovutgichga uzatiladi.

II turdagi abadiy dvigatelni yaratib bo‘lmaydi.

Masala:

1 kg havo 927 ^{0}C va 27 ^{0}C haroratlar oralig‘ida Karno sikliga berilgan issiqlik Q_1=30kJga teng. Siklning FIK ni va foydali ishni toping.

YEchish:

$\eta_t=1-\frac{T_2}{T_1}=1-\frac{300}{1150}=0,74$ (74%)

$\eta_t=\frac{L}{Q_1}$;

$L=\eta_t \cdot Q_1=0,74 \cdot 30$ kJ=22,2 kJ

Nazorat uchun savollar

1. Aylanma jarayonlar deb nimaga aytiladi?
2. Qanday sikl to‘g‘ri sikli deyiladi?
3. Qanday sikl teskari sikli deyiladi?
4. Karno sikli va uning FIK?
5. Termodinamikaning ikkinchi qonunini nimani izohlab beradi?
6. Termodinamikaning ikkinchi qonunining analitik ifodasini keltiring.
7. Entalpiya haqida tushuncha bering.

V bob. SUV BUG‘I

5.1. Bug‘lanish va bug‘ning termodinamik parametrlari

Ma?lumki, barcha moddalar harorat va bosimga bog‘liq holda qattiq, suyuq va gaz holatida (fazalarda) bo‘lishi mumkin. Moddaning bir holatdan ikkinchi holatga o‘tishi faza o‘zgarishi yoki fazaviy o‘tish deb

ataladi. Masalan, suyuq fazaning gaz fazaga o‘tishi - bug‘ hosil bo‘lish; gaz fazaning suyuq fazaga o‘tishi esa kondensasiya deyiladi.

Bug‘lanish: Moddaning suyuq holatdan bug‘ holatiga o‘tishi bug‘lanish deyiladi. Bunda molekulalarning bir qismi suyuqlik yuzasidan ajralib chiqadi va uning ustida bug‘ hosil qiladi. Bug‘lanishda ajralib chiqayotgan molekulalar, yuzada qolgan molekulalarning tortishish kuchini yengadi, ya?ni ular shu kuchlarga qarshi ish bajaradi. Molekulalar bu ishni o‘zining issiqlik harakati, kinetik energiyasi hisobiga bajaradi. Ma?lumki, hamma molekulalar ham bunday ish bajaravermaydi. Kinetik energiyasi ancha katta bo‘lgan molekulalargina bunday ish bajara oladi.

Agar suyuqlikning harorati o‘zgarmas saqlab turilsa, ya?ni unga to‘xtovsiz issiqlik keltirib turilsa, u holda uchib chiqayotgan molekulalarning soni to‘xtovsiz ortib boradi. Lekin, bug‘ molekulalari tartibsiz harakatda bo‘lgani uchun, ular suyuqlikdan bug‘ga o‘tishi bilan bir vaqtda, teskari jarayon - kondensatsiya ham hosil bo‘ladi. Agar, bug‘lanish yopiq idishda ketayotgan bo‘lsa, u holda, bug‘ miqdori muvozanat qaror topguncha, ya?ni suyuqlik va bug‘ miqdorlari o‘zgarmas bo‘lgunchaortaveradi. Bu vaqt birligi ichida suyuqlikdan chiqib ketgan molekulalar soni, shu vaqt ichida suyuqlikka qaytayotgan molekulalar soniga teng, degan so‘zdir.

Suyuqligi bilan muvozanatda turgan bug‘ - to‘yingan bug‘ deyiladi. Muvozanat vaqtida bug‘ning zichligi o‘zgarmas bo‘ladi, bu zichlik muayyan bosimga to‘g‘ri keladi. Bu bosim to‘yingan bug‘ning elastikligi deyiladi.

To‘yingan bug‘ning bosimi harorat ko‘tarilishi bilan ortadi. Harorat qancha yuqori bo‘lsa, suyuqlikning shuncha ko‘p molekulalari gaz fazaga o‘tadi va bug‘ning muvozanat topgandagi zichligi, binobarin, bosimi shunchalik katta bo‘ladi. Suyuqlikka tegib turgan va uning ustidagi bo‘shliqni to‘yintiradigan bug‘ - to‘yingan nam bug‘ deyiladi.

To‘yingan nam bug‘, bu bug‘ bilan juda mayda suv tomchilarining aralashmasidir. Bug‘dagi suyuqlik zarralarining miqdori bug‘ning quruq yoki namlik darajasini belgilaydi.

Agar suyuqlik o‘zgarmas bosimda isitilsa, uning molekulalarining barcha hajm bo‘yicha harakat tezligi ortadi va bug‘ hosil bo‘lishi kuchayadi. Bug‘ hosil bo‘ladigan bosimga qat?iy muvofiq keladigan muayyan haroratda bug‘lanish jarayoni qaynash jarayoniga aylanadi.

Qaynash: Suyuqlikning faqat erkin sirtidan emas, balki butun hajmi bo‘yicha intensiv ravishda bug‘gaaylanishi va bug‘ pufakchalarining tez hosil bo‘lishi va ko‘payib borishi - qaynash deb ataladi.

Qaynash sodir bo‘ladigan harorat va bosim bir-biriga bog‘liqdir. Ular to‘yinish harorati t_m va to‘yinish bosimi p_m deb ataladi.

Harorat va bosimi to‘yinish bosimi va haroratiga teng, lekin tarkibida suv zarralari bo‘lmagan bug‘- quruq to‘yingan bug‘, deb ataladi.

To‘yingan bug‘ning bug‘ saqlami: bug‘ hosil bo‘lish jarayonida nam mikdori kabi, quruq bug‘ning miqdori ham 0 dan 1 gacha o‘zgarishi mumkin.

Agar 1 kg bug‘da X kg quruq bug‘ va (1-X) kg nam bo‘lsa, X - kattalik bug‘ saqlami yoki bug‘ning quruqlik darajasi deyiladi.

(1-X) - kattalik esanam saqlami yoki bug‘ning namlik darajasi deyiladi.

Masalan, X = 0,85 bo‘lsa, (1-X)=(1-0,85)=0,15 bo‘ladi, ya?ni to‘yingan nam bug‘da 85 % quruq bug‘, 15 % suv bo‘ladi.

O‘ta qizigan bug‘: Agar to‘yingan quruq bug‘ga o‘zgarmas bosimda issiqlik berilsa, uning harorati ko‘tariladi, hajmi ortadi va to‘yingan quruq bug‘, o‘ta qizigan bug‘ga aylanadi. Bug‘ning o‘ta qizish darajasi, Δt *harorat*lar ayirmasidan aniqlanadi:

$$\Delta t = t - t_m \qquad (5.1)$$

t - *o*‘ta qizigan bug‘ning harorati;

t_m - *t*o‘yingan quruq bug‘ning harorati.

5.2. Suv bug‘ining P - vdiagrammasi

Bug‘ hosil bo‘lish jarayonini p-v diagrammada (5.1-rasm) tasvirlanishini ko‘rib chiqishda quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

a) suyuqlikning 0^{0C} dagi barcha parametrlari «nol?» indeksi bilan (t_0, v_0, i_0, S_0).

b) to‘yinish haroratidagi parametrlarni bitta shtrix bilan (t',v', i', S').

v) to‘yingan quruq bug‘ parametrlarini ikkita shtrix bilan (v'', i', S'').

g) to‘yingan nam bug‘ parametrlarini x indeks bilan (v_x, i_x, S_x ,).

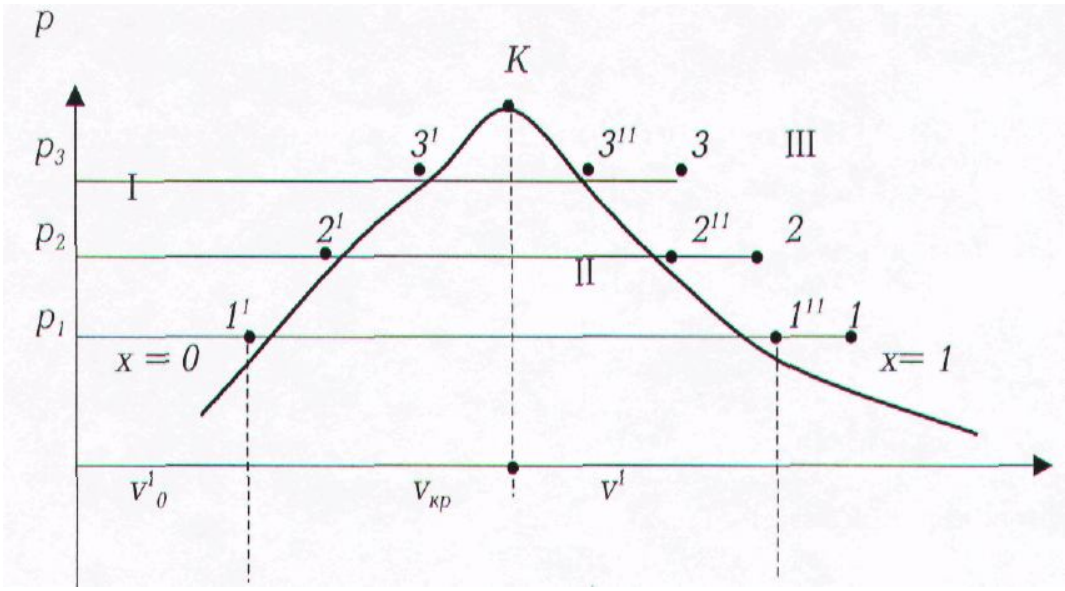
d) O‘ta qizigan bug‘ parametrlarini indekssiz (v, i , S) belgilaymiz.

Silindrda porshen ostida1 kg suv bor va uni bug‘ga aylantirish kerak, deb faraz qilaylik. Silindrning porsheniga tashqi tomondan yuk - r kuch quyilgan va bu kuch silindr ichida bosimni o‘zgarmas bo‘lishini ta?minlaydi, deb faraz qilaylik.

Diagrammada abssissa o‘qiga suvning va hosil bo‘lgan bug‘ning nisbiy hajmi, ordinatalar o‘qiga esa silindrdagi bosim qo‘yilgan. Shuni aytib o‘tish kerakki, diagrammadagi egri chiziqlar, suv va bug‘ hajmlarining haqiqiy nisbatiga mos kelmaydi. Bunga sabab shuki, past bosimlarda suvning hajmi shu bosimda to‘yingan bug‘ning hajmiga nisbatan hisobga olmas darajada kichik bo‘ladi. Shunday qilib, agar diagramma qurishda qat?iy proporsiyalarga rioya qilsak va suvning hajmini abssissalar o‘qida millimetrlarda ifodalangan kesma bilan belgilasak, u holda to‘yingan quruq bug‘ning hajmini metrlarda ifodalashga to‘g‘ri kelgan bo‘lar edi. Diagrammani qurib chiqishni suyuqlikni 0^{0C} dan qaynash haroratigacha isitishdan boshlash lozim edi. Lekin bu oraliqda suvning hajmi shunchalik kam o‘zgaradiki, uni diagrammada tasvirlashning ahamiyati qolmaydi.

Silindrga yana issiqlik keltirilganda suv asta-sekin bug‘ga aylanadi. Bug‘ hosil bo‘lish jarayoni o‘zgarmas bosimda $1^1 – 1^{11}$ izobara bo‘yicha boradi. Bu izobara bir vaqtning o‘zida izoterma hamdir, chunki shu vaqtda keltirilgan issiqlik suv va bug‘ haroratini oshirishga emas, balki molekulalar tortishish kuchini engishga va bug‘ning kengayish ishiga sarf bo‘ladi.

Shu sababli bug‘ hosil bo‘lishini P-V diagrammada suvning qaynashiga mos keladigan haroratdan boshlaymiz:



5.1-rasm. Suv bug‘ining p-v diagrammasi

Bu vaqtda silindrda ikki fazali muhit: suv - bug‘ bo‘ladi, bu muhit to‘yingan nam bug‘ deyiladi.

1^{11} nuqtada suyuqlikning oxirgi zarrasi ham bug‘gaaylanadi. Bu nuqtada berilgan 1 kg suv to‘lik 1 kg to‘yingan quruq bug‘gaaylanadi. Silindrda yana bir fazali muhit paydo bo‘ladi - bu to‘yinish harorati va bosimidan, parametrlari v^{11}, p^{11}, t^{1}bo‘lgan to‘yingan quruq bug‘dir.

1^{11} nuqtadan keyingi jarayon bug‘ning o‘ta qizish yo‘nalishida yoki, aksincha kondensatlanishi yo‘nalishida ketishi mumkin.

Agar silindrga o‘zgarmas bosimda issiqlik keltirilishi davom ettirilsa, u holda to‘yingan quruq bug‘ o‘ta qizigan bug‘ga aylanishi 1^{11} - 1 izobara bo‘yicha davom etadi, bu izobara endi izoterma bo‘laolmaydi, chunki keltirilgan issiqlik bug‘ning qizishiga, haroratini oshishiga sarf bo‘ladi.

Agar to‘yingan quruq bug‘dan (1^{11} nuqta) o‘zgarmas bosimda va haroratda issiqlik olib ketilsa, u holda1 kg to‘yingan bug‘ asta-sekin 1^{11}-1^{1} chiziq bo‘yicha kondensatlanib, 1 kg suvga aylanadi (1^{1} nuqta).

Shunday qilib, 1^{1} - 1^{11} chiziq bo‘yicha chapdan o‘ngga ketadigan jarayon bug‘ hosil bo‘lish jarayoni, 1^{1} - 1^{11} chiziq bo‘yicha o‘ngdan chapga ketadigan jarayon esa, kondensatlanish jarayoni deb ataladi.

Endi 1 kg suvni $r_2 > r_1$bosimda bug‘gaaylanish jarayonini ko‘rib chiqamiz. Ma?lumki, bosim ortishi bilan qaynash harorati ham ko‘tariladi. Suv qaynash harorati $t_2 > t_1$gacha isib, hajmi $v_2 > v_1$gacha ko‘payadi. Shuning uchun suvning qaynay boshlashini ko‘rsatuvchi nuqta 2^{1}, 1^{1} nuqtadan o‘ngga siljiydi. Bosim ortishi bilan to‘yingan quruq bug‘ning zichligi ortadi $\left(v = \frac{1}{\rho}\right)$, demak solishtirma hajmi kamayadi. Shuning uchun 2^{11} nuqta 1^{11} nuqtadan chapga siljiydi. Bosimni oshira borsak, to‘yingan quruq bug‘ning solishtirma hajmi kichiklashib boradi, muayyan haroratda va unga mos keladigan bosimda suv bilan bug‘ hajmlarining ayirmasi nolga teng bo‘lib qoladi. Suvning qaynay boshlash nuqtasi bilan bug‘ hosil bo‘lishining tugash nuqtasi, biror *K* nuqtada ustma-ust tushadi. Bu *K* nuqta - moddaning kritik nuqtasi, deb ataladi. Kritik nuqtada suyuqlik bilan uning to‘yingan bug‘i orasidagi farq yuqoladi. Suyuqlik bilan bug‘ning solishtirma hajmi, zichliklari bir xil bo‘lib qoladi. Kritik haroratda va undan yuqori haroratlarda suv gazga o‘xshab qoladi, bosim ko‘tarilganda, uning hajmi kamayadi. Bu holatni, gazsimon holat deyish mumkin.

Shunday qilib, kritik holatdagi modda bir fazali bo‘lib, bir vaqtning o‘zida ham gaz holatidagi, ham suyuq jismlarning xossalariga ega bo‘ladi.

I - cuyuqlik holati;

II - to‘yingan bug‘ holati;

III - o‘ta qizigan bug‘ holati.

5.3. Suyuqlik va quruq bug‘ning asosiy parametrlari. Bug‘ hosil bo‘lish issiqligi

Suvning 0^{0C} haroratda va turli bosimlardagi solishtirma hajmini taqriban $v_0 \approx$ *0,001* m^3/kg ga teng, deb hisoblash mumkin $\left(v_0 = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1000} = 0{,}001\, m^3/\kappa g\right)$. Qaynayotgan suvning solishtirma hajmi v^1, bosimning ortishi bilan, ya?ni harorat ham ortadi va yuqori bosimlarda 0^0C dagi solishtirma hajmidan sezilarli farq qiladi. Masalan, *r* = 50 bar bosimda v^1= 0,0012859 m^3/kg, *r* = 220 bar bo‘lsa, v^1 = 0,00269 m^3/kgbo‘ladi. *S*uvning haroratini 0^0C dan ma?lum bosimdagi qaynash haroratigacha oshirish uchun sarflanadigan issiqlik miqdori quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

$$q = h^1 - h_0^1 \qquad (5.2)$$

bunda: h^1 - *q*aynayotgan suvning entalpiyasi;

h_0^1 - suvning 0 ^{0}C dagi entalpiyasi.

Termodinamikada suvning uchlamchi nuqtasidagi entalpiyasi va entropiyasi nolga teng deb qabul qilingan:

$$S_0^1 = 0;\ h_0^1 = 0 \qquad (5.3)$$

Suvning uchlamchi nuqtasidagi parametrlari quyidagiga teng:

r_A = 0,00611 bar; v_A = 0,001 m^3/kg; t_A = 0,01 ^{0}C.

Suvning uchlamchi nuktadagi ichki energiyasi:

$$U_0^1 = h_0^1 - p_0;\ v_0^1 = 0 - 0{,}00611 \cdot 10^5 \cdot 0{,}001 = -0{,}611 \text{ J/kg}. \qquad (5.4)$$

Bu kattalik juda kichik miqdor bo‘lib, 0^0C da suvning ichki energiyasini taqriban $u_0^1 \approx 0$deb hisoblash mumkin. Qaynayotgan suyuqlikning entalpiyasi bosimi va haroratiga asosan. to‘yingan suv bug‘ining jadvalidan aniqlanadi.

Qaynayotgan suvning ichki energiyasini entalpiya ifodasi orqali aniqlanadi:

$$h = u + pv$$

yoki

$$u^1 = h^1 - pv^1 \qquad (5.5)$$

Qaynash haroratigacha qizdirilgan suvga yana issiqlik berilishi davom ettirilsa, bug‘lanish sodir bo‘la boshlaydi. Bug‘lanish davomida harorat oxirgi suv tomchisi bug‘ga aylanmagunga qadar, o‘zgarmaydi. Bug‘lanish jarayoni ham izotermik, ham izobarik jarayondir.

Tarkibida suv zarrachalari bo‘lmagan, bosimi va harorati to‘yinish bosimi va haroratiga teng bo‘lgan bug‘ - quruq to‘yingan bug‘, deb ataladi.

1 kg suvni to‘yinish (qaynash) haroratida to‘liq quruq to‘yingan bug‘ga aylantirish uchun sarflanadigan issiqlik- bug‘ hosil bo‘lish issiqligi deb ataladi. Bug‘ hosil bo‘lish issiqligi *r* xarfi bilan belgilanadi. Bug‘ hosil bo‘lish issiqligi bosim va harorat orqali aniqlanadi.

U ρ - ichki, ψ - tashki bug‘ hosil bo‘lish issiqligiga bo‘linadi

Quruq to‘yingan bug‘ning ental?piyasi:

$$I^{11} = h^1 + r \qquad (5.6)$$

Quruq to‘yingan bug‘ning ichki energiyasi:

$$U^{11} = h^{11} - p\mathrm{v}^{1\,1} \qquad (5.7)$$

To‘yingan bug‘ning holati bitta parametr: bosim yoki harorat bilan aniqlanadi. I^{11}, h^1, r, v^{11}, v^1ning qiymatlari suv bug‘ining jadvallaridan topiladi.

5.4. Nam to‘yingan va o‘ta qizigan suv bug‘ning asosiy parametrlari

Bug‘ qozonlarida bug‘lanish sirtida faqat nam bug‘ hosil bo‘ladi. Nam bug‘ bosim *r* yoki to‘yinish harorati $t_T$va quruqlik darajasi *X* bilan aniqlanadi. Nam bug‘ning solishtirma hajmi:

$$v_x = v^{11} \cdot x + (1 - x) \cdot v^1 \qquad (5.8)$$

yoki

$$v_x \approx v^{11} \cdot x \qquad (94)$$

O‘ta qizigan bug‘ maxsus qurilmalarda nam bug‘ga issiqlik berish orqali hosil qilinadi. 1 kg quruq bug‘ni o‘ta qizigan bug‘gaaylantirish uchun sarflanadigan issiqlik o‘ta qizish issiqligi deyiladi. Bu issiqlik quyidagiga teng:

$$q_n = \int_{t_H}^{t} c_p dt \quad , \qquad (5.9)$$

bunda s_r - *o*‘zgarmas bosimda o‘ta qizigan bug‘ning haqiqiy issiqlik sig‘imi.

O‘ta qizigan bug‘ning ichki energiyasi:

$$u = h - pv \quad , \tag{5.10}$$

bunda v - o‘ta qizigan bug‘ning solishtirma hajmi, m^3/kg.

Ental?piya, entropiya va solishtirma hajm qiymatlari suv bug‘ining jadvallaridan aniqlanadi.

5.5. Suv bug‘ining *T-s* diagrammasi

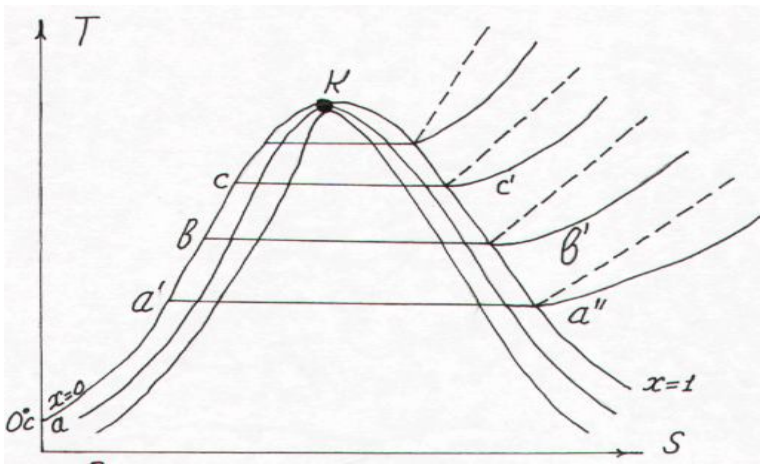
Suv bug‘ining T - S diagrammasida (5.2-rasm) suv bug‘i bilan bo‘lgan jarayonlarni o‘rganishda va ularni hisoblashda katta ahamiyatga egadir.

Diagrammaning ahamiyatli tomoni shundaki, chizilgan egri chiziq tagidagi yuza ishchi jismga berilayotgan va undan olib ketilayotgan issiqlikni ifodalaydi.

Diagrammadagi har bir nuqta jismning aniq holatini xarakterlaydi.

Suyuqlikning 0^0C dagi entropiyasi nolga teng bo‘lgani uchun T-s koordinatada ordinata o‘qida joylashadi.

Suvni 0^0C dan to‘yinish harorati (t_T) gacha isitilishi **aa’** jarayoni bilan davom etadi. Bug‘ hosil bo‘lishi jarayoni (t_T=const) gorizontal **a’a”** chizig‘i bilan ifodalanadi



5.2-rasm. Suv bug‘ining T - S diagrammasi

. Bug‘ning qizitilishi esa**a”d**izobara chizig‘i bilan ifodalanadi. Lekin bug‘ni qizitilish izobarasi suvni isitilish izobarasidan tikroq bo‘ladi, buning sababi qizitilish harorati isitilish haroratiga qaraganda yuqoriroqdir. Shunday chiziqlarni o‘tkazishni davom ettirsak, chiziqlar k nuqtada birlashadi.

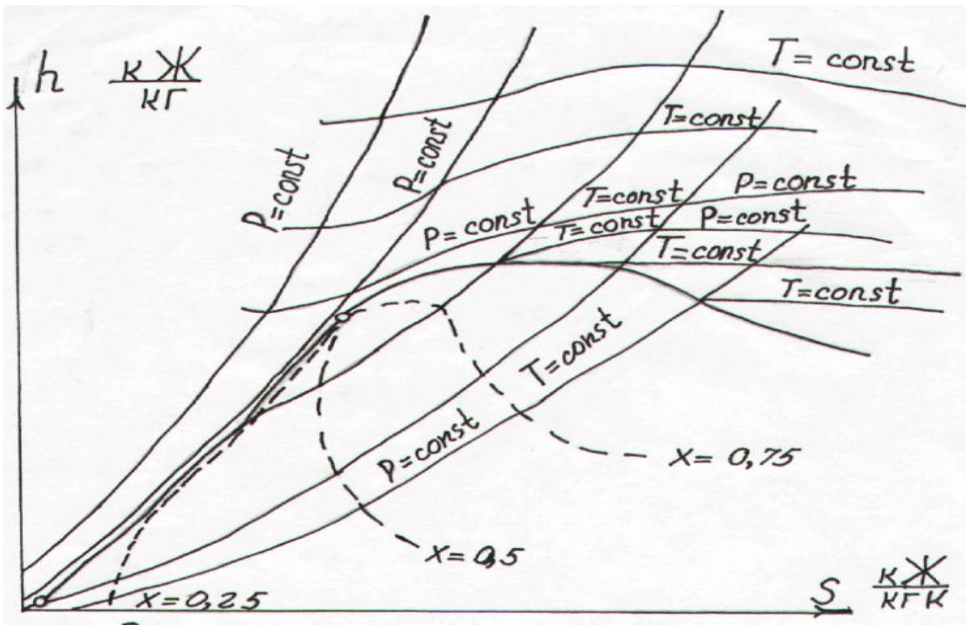
5.6. Suv bug‘ining h – s diagrammalari

O‘ta qizigan bug‘ va ayniqsa to‘yingan bug‘ ideal gazlardan keskin farq qiladi. Bunday bug‘ uchun holat tenglamalarini qo‘llab bo‘lmaydi. Shu sababli olimlar tomonidan tajribalar natijasidaolingan jadval va diagrammalardan foydalaniladi. Suv bug‘i uchun eng zamonaviy jadval va diagrammalarni professor M.P.Vukalovich ishlab chiqqan.

Bu diagrammalar yordamida suv bug‘ining to‘yinish harorati, bosimi, solishtirma hajmi, entalpiyasi, entropiyasi, quruqlik darajasi kabi parametrlari aniqlanadi.

Suv bug‘i uchun h-*s* diagrammani (5.3-rasm) birinchi bo‘lib 1904 yilda Mol?e taklif qilgan. Hozirgi vaqtda issiqlik-texnik hisoblarda M.P.Vukalovich tomonidan tuzilgan h-*s* diagrammadan foydalaniladi. h-*s* diagrammani qurishda ordinata o‘qi bo‘ylab ental?piya, abssissa bo‘ylab esa, entropiya qiymatlari joylashtirilgan. .

Kordinata boshi qilib suvning uchlamchi nuqtasi qabul qilingan. Issiqlik jarayonlarini hisoblashda suv bug‘ining *T*-*s* va h-*s* diagrammalarini qo‘llash issiqlik-texnik hisoblarni ancha soddalashtiradi.



5.3-rasm. Suv bug‘ining *h*-*s* diagrammasi

Ko‘p hollarda suv bug‘ini topish uchun jadvallardan foydalaniladi. Bu jadvallar harorat, bosim bo‘yicha suv bug‘ining hamma parametrlarini aniqlashga yordam beradi.

Suv bug‘ining parametrlarini suv bug‘i jadvallaridan foydalanib aniqlasa bo‘ladi

5.7. Suv bug‘i bilan bo‘ladigan jarayonlar

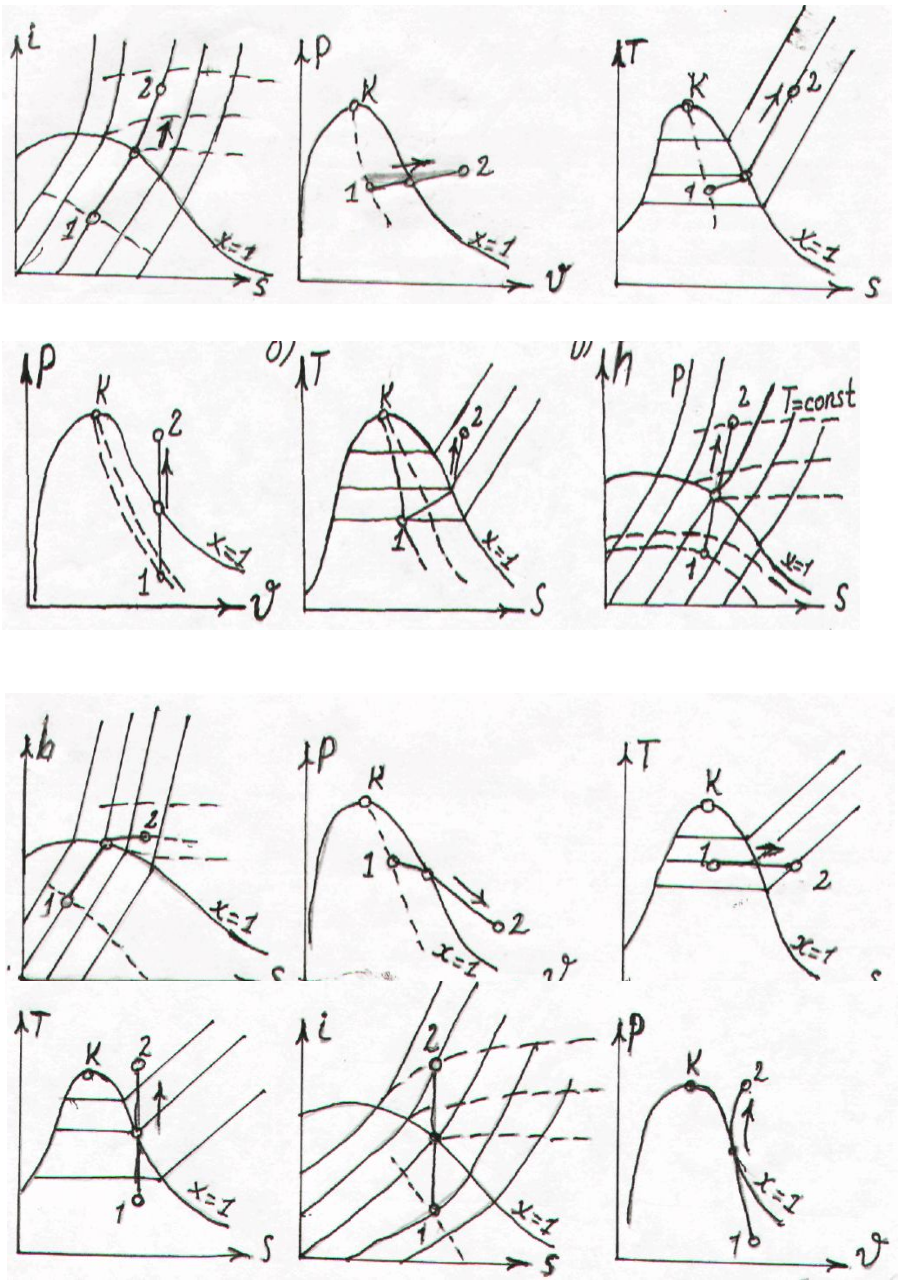
Suv bug‘ining to‘yingan va o‘ta qizigan holatidagi masalalarni echishda h-S diagrammadan yoki jadvallardan foydalanish mumkin bo‘ladi. Chunki ular eng qulay va aniq qiymat beruvchi uslub hisoblanadi. Suv bug‘ini parametrlarini aniqlashda yanada qulay uslub - grafik usuli bilan suv bug‘ini parametrlarini aniqlashdir. Suv bug‘i bilan bo‘ladigan har bir jarayonni P-V, T-S, h-S diagrammalarda chizilishini ko‘rib chiqamiz.

a)

b)

v)

g)



5.4-rasm. Suv bug‘i bilan bo‘ladigan adiabatik jarayon :a) Suv bug‘i bilan bo‘ladigan izobar jarayon; b) Suv bug‘i bilan bo‘ladigan izoxor jarayon; v) Suv bug‘i bilan bo‘ladigan izotermik jarayon; g) Suv bug‘i bilan bo‘ladigan izotermik jarayon;

Masala:

Suv bug‘ining h-s diagrammasidan foydalanib, bug‘ning ental?piyasini aniqlang: a) P=1 MPa bosimdagi quruq to‘yingan bug‘ning; b) P=1 MPa va x=0,95 bo‘lgan nam to‘yingan bug‘ning; v) P=1 MPa va t=300^{0}C bo‘lgan bug‘ning entalpiyasini aniqlang.

Berilgan:

A) P=1 MPa

B) P=1 MPa, x=0,95

V) P=1 MPa, t=300^{0}C

h″-?, i_x-? i-x

YEchish: Suv bug‘ining h-s diagrammasidan foydalanib quyidagilarga ega bo‘lami:

a) h″ = 2780 kJ/kg.

b) diagrammadan P=1 MPa va x=0,95 larni aniqlab bu chiziqlarning kesishgan nuqtasini aniqlaymiz. Bundan i_x = 2680 kJ/kg ekanligi ma?lum b?ladi.

v) h-s diagrammadan P=1 MPa va t=300^{0C} haroratni aniqlaymiz va quyidagiga ega bo‘lamiz: h = 3045 kJ/kg.

Nazorat uchun savollar

1. Suv bug‘ining asosiy xossalari nimadan iborat?
2. Suv bug‘i necha turga bo‘linadi?
3. Nam toyingan bug‘ deb nimaga aytiladi?
4. Quruq toyingan bug‘ qanday parametrlarga ega bo‘ladi?
5. O‘ta qizigan bug‘ qandayparametrlar bilan xarakterlanadi?
6. Suv bug‘ining R-V diagrammasini chizib ko‘rsating.
7. Suv bug‘ining T-s diagrammasida suyuqlik holatida parametrlarini o‘zgarishini tushuntirib bering.
8. Suv bug‘ining h-s diagrammasi qanday qulaylikka ega?

II-BO‘LIM
ISSIQLIK ALMASHINUVI

Issiqlik uzatilishi yoki issiqlik almashuvi qattiq, suyuq va gazsimon jismlarda issiqlikning tarqalishini o‘rganadi.

Issiqlik uch xil usulda: issiqlik o‘tkazuvchanlik, konveksiya va nurlanish orqali uzatiladi.

Issiqlik o‘tkazuvchanlik deb, jism mikrozarrachalarning tebranma harakati orqali issiqlikning uzatilishiga aytiladi. Issiqlik o‘tkazuvchanlik asosan qattiq jismlarda sodir bo‘ladi. Issiqlik o‘tkazuvchanlikda issiqlik gazlarda har xil energiyaga ega molekulalarning to‘qnashuvida, suyuqliklarda molekulalarning tebranishida metallarda erkin elektr diffrziyasi natijasida issiqlik o‘tadi.

Konvektsiya faqat suyuqlik va gazlarda sodir bo‘ladi. Zarrachalarning harakatlanishi natijasida o‘rin almashish hodisasiga konvektsiya deyiladi. Issiqlik o‘tkazuvchanlik va konveksiya bir paytda sodir bo‘lganda konvektiv issiqlik almashunuvi deyiladi.

Konvektsiya 2 xil bo‘ladi: erkin va majburiy konvektsiya. Erkin konveksiya zichliklar farqi hisobiga sodir bo‘ladi, majburiy konvektsiya esa tashqi kuch ta'sirida (nasos, ventilyarlar yordamida) sodir bo‘ladi.

Nurlanish usulida issiqlik elektromagnit to‘lqinlari yordamida uzatiladi.

VI bob. ISSIQLIK O‘TKAZUVChANLIK

6.1. Asosiy tushunchalar

Harorat maydoni. Jismning turli nuqtalaridagi haroratlar to‘plamiga harorat maydoni deyiladi.

$$t=f(x,y,z,\tau),\qquad \tau \text{ - vaqt.}$$

Harorat maydoni 2 xil holatda bo‘ladi:

Barqaror harorat maydoni (harorat vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydi).

Nobarqaror harorat maydoni (harorat vaqt o‘tishi bilan o‘zgaradi).

Harorat maydoni uch o‘lchamli t=f(x,y,z), ikki o‘lchamli t =f(x,u) va bir o‘lchamli t = (x) bo‘ladi.

Harorat gradiyenti. Jismning bir xil haroratlari nuqtalarini birlashtirsak, izotermik sirt hosil bo‘ladi. 2 ta izotermik sirt: t haroratli va Δt ga kop bo‘lgan haroratli sirtni ko‘rib chiqamiz. Bu sirtlar bir biri bilan

kesishmaydi. A nuqtadan izotermik sirtga har xil yo‘nalishlar o‘tkazsak, harorat o‘zgarishi har xil bo‘ladi. Izotermik sirtga normal boyicha yonalish o‘tkazsak haroratning o‘zgarishi yuqori bo‘ladi.

Harorat o‘zgarishini Δt izotermalar orasida normal bo‘yicha masofaga Δn ga nisbati harorat gradiyenti deyiladi.

$$\text{grad t}=\lim\left(\frac{\Delta t}{\Delta n}\right)=\frac{\partial t}{\partial n}\Delta n\to 0 \qquad (6.1)$$

Issiqlik o‘tkazuvchanlikning differensial tenglamasi. Issiqlik o‘tkazuvchanlik orqali issiqlikning uzatilishida qatnashayotgan kattaliklar orasidagi bog‘liqliqni issiqlik o‘tkazuvchanlikning differensial tenglamasi aniqlaydi.

$$\frac{\partial t}{\partial \tau}=a\nabla^2 t+\frac{q_v}{c\rho} \qquad (6.2)$$

a – harorat otkazuvchanlik koeffitsiyenti;

$$a=\frac{\lambda}{c\cdot\rho}; \qquad (6.3)$$

Laplas operatori

$$\nabla^2=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial t^2} \qquad (6.4)$$

q_v – jismning ichki issiqlik manbai.

Bir qiymatlilik shartlari. Differensial tenglamani konkret hodisaga tatbiq etish uchun bir qiymatliylik shartlarini bilish kerak.

1.Geometrik shart (jismning o‘lchamlari, tuzilishi);

2.Fizik shart (jismning fizik xususiyatlari);

3. Vaqt sharti (barqaror, nobarqaror holat);

4. Chegara shartlari. Chegara shartlari uch hil bo‘ladi:

I tartibli chegara sharti $t = f(x,y,z,\tau)$

II tartibli chegara sharti $q = f(x,y,z,\tau)$

III tartibli chegara sharti suyuqlik harorati: t_{c_1}, t_{c_2}

$$\alpha(t_c - t_{.\partial})=-\lambda\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right) \qquad (6.5)$$

Furye qonuni. Issiqlik o‘tkazuvchanlikning asosoy qonuni Furye qonunidir. Fure qonuniga asosan izotermik dF (m^2) yuzadan vaqt birligi τ

(s) ichida o‘tayotgan issiqlik miqdori dQ (J) harorat gradientiga proportsionaldir $\partial t / \partial n$ (k/m):

$$dQ = -\lambda (\partial t / \partial n) \cdot dF \cdot d\tau \quad Vt \qquad (6.6)$$

bu yerda: λ – issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti (Vt/mK), jismning fizik kattaligi bo‘lib, qiymati son jihatdan haroratlar farqi 10^o C bo‘lganda devorning birlik qatlamidan vaqt birligi ichida o‘tadigan issiqlik miqdori teng.

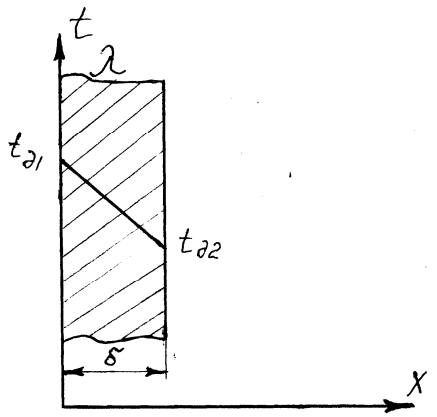
Izotermik sirtdan vaqt birligi ichida o‘tadigan issiqlik miqdori issiqlik oqimining zichligi deyiladi.

$$q = Q / F \cdot \tau$$

$$q = -\lambda (\partial t / \partial n), \ Vt/m^2 \qquad (6.8)$$

6.2. Barqaror holatda tekis bir qatlamli va ko‘p qatlamli devo‘rning issiqlik o‘tkazuvchanligi

Qalinligi δ (mm) va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsienti λ bo‘lgan bir qatlamli tekis devor berilgan (6.1-rasm). Devo‘rning tashqi yuza ichki yuzasida haroratlar o‘zgarmas, $t_{\partial 1}$ va t_{d2} qilib turiladi. Berilgan sharoitda harorat maydoni bir o‘lchamli bo‘ladi, harorat faqat devor yuzasiga perpendikulyar yo‘nalihda o‘zgaradi.



6.1-rasm. Bir qatlamli tekis devor

Bu yassi devor uchun Furye qonunini yozamiz:

$$q=-\lambda\frac{\partial t}{\partial x} \qquad (6.9)$$

bu ifodani dt orqali yozamiz

$$\partial t = -\frac{q}{\lambda}\partial x \qquad (6.10)$$

(189) ifodani integrallab,

$$t = -\frac{q}{\lambda}x + c \qquad (6.11)$$

ifodani olamiz.

c va t larni chegara shartidan aniqlaymiz, x=0 bo‘lganda $c = t_{\partial 1}$ ga, x=δ

bo‘lganda $t=t\ d_2$ ga deb, issiqlik oqimi zichligini hisoblash ifodasiga ega bo‘lamiz:

$$q = (\lambda / \delta)\,(t_{\partial 1} - t_{\partial 2}) \qquad Vt/m^2 \qquad (6.12)$$

bu yerda: $t_{d1} - t_{d2}$ – haroratlar farqi;

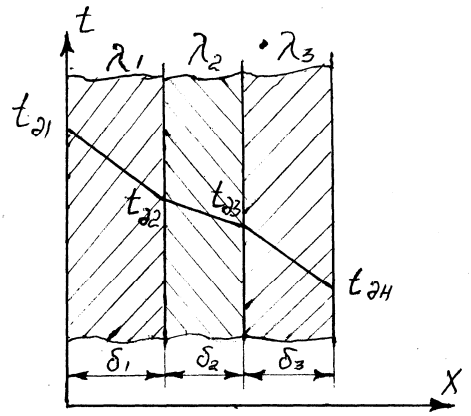
λ/δ – devo‘rning issiqlik o‘tkazuvchanligi, Vt/m^2K,

δ/λ – devorning termik qarshiligi.

τ vaqt ichida devorning F yuzasi orqali o‘tayotgan umumiy issiqlik miqdori

$$Q = q\,F\,\tau = (\lambda / \delta)(t_{\partial 1} - t_{\partial 2})\,F \qquad (6.13)$$

Yassi ko‘p qatlamli devor uchun (masalan, uch qatlamli devor uchun (6.3-rasm) issiqlik oqimi zichligi quyidagi ifoda orqali topiladi.



6.3 –rasm. Uch qatlamli devor

$$q = \frac{t_{\partial_1} - t_{\partial_2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \cdots \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{t_{\partial_1} - t_{\partial n+1}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}}\ , \qquad Vt/m^2 \qquad (6.14)$$

bu yerda: n – qatlamlar soni;

$\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – ko‘p qatlamli devorning to‘la termik qarshiligi.

Bir-biriga tegib tur gan qatlamlar orasidagi haroratlarni quyidagi ifodalardan topish mumkin:

$$t_{\partial_2} = t_{\partial_1} - q\frac{\delta_1}{\lambda_1} \qquad (6.15)$$

$$t_{\partial_3} = t_{\partial_2} - q\frac{\delta_2}{\lambda_2}$$

$$t_{\partial_4} = t_{\partial_3} - q\frac{\delta_3}{\lambda_3} \qquad (6.16)$$

Ko‘p qatlamli tekis devorda harorat o‘zgarish yo‘nalishi siniq chiziqda tasvirlanadi.

6.3. Barqaror holatda bir qatlamli silindrik devo‘rning issiqlik o‘tkazuvchanligi

λ=const bo‘lgan sharoitda silindrik devorda harorat logarifmik egri chiziq bo‘yicha ozgaradi va quyidagi tenglama bilan ifodalanadi.

$$t = t_{\partial_1} - (t_{\partial_1} - t_{\partial_2})\frac{\ln\frac{d}{d_1}}{\ln\frac{d_2}{d_1}}\ ^0\text{C}, \qquad (6.17)$$

ℓ uzunlikka ega bo‘lgan bir qatlamli silindrik devordan o‘tayotgan issiqlik miqdori i quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$Q = (2\pi\lambda\ell(t_{\partial_1} - t_{\partial_2}))/\ln\frac{d_2}{d_1} \quad \text{Vt}, \qquad (6.18)$$

Issiqlik oqimi zichligi silindrik devorning ichki yuza birligiga berilgan bo‘lishii mumkin:

$$q_1 = \frac{Q}{\pi d_1 \ell} = \frac{2\lambda(t_{\partial_1} - t_{\partial_2})}{d_1 \cdot \ln(d_2/d_1)} \quad \text{Vt/m}, \qquad (6.19)$$

va tashqi yuza birligiga:

$$q_2 = \frac{Q}{\pi d_2 \ell} = \frac{2\lambda(t_{\partial_1} - t_{\partial_2})}{d_2 \cdot \ln(d_2 / d_1)} \quad \text{Vt/m}, \qquad (6.20)$$

hamda quvur uzunligi bo‘yicha: (issiqlik oqimining chiziqli zichligi)

$$q_\ell = \frac{Q}{\ell} = \frac{\pi(t_{\partial_1} - t_{\partial_2})}{1/2\lambda \cdot \ln(d_2 / d_1)} \quad \text{Vt/m}. \qquad (6.21)$$

Ko‘p qatlamli devor uchun (ikki qatlamli) devorning issiqlik oqimining chiziqli zichligi:

$$q_\ell = \frac{\pi(t_{\partial_1} - t_{\partial_3})}{1/2\lambda_1 \cdot \ln(d_2 / d_1) + 1/2\lambda_2 \cdot \ln(d_3 / d_2)} \quad \text{Vt/m}, \qquad (6.22)$$

qatlamlar orasidagi chegara haroratlari:

$$t_{\partial_2} = t_{\partial 1} - q_\ell \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ell n \frac{d_2}{d_1} \qquad {}^0\text{C}, \qquad (6.23)$$

Nazorat uchun savollar

1. Issiqlik almashuvi necha turga bo‘linadi?
2. Issiqlik o‘tkazuvchanlik qanlay yuzaga keladi?
3. Metallardagi, suyuqliklarlagi va gazlardagi issiqlik o‘tkazuvchanlik.
4. Issiqlik o‘tkazuvchanlik y fizik ma’nosi.
5. Bir va ko‘p qatlamli yassi devorning barqaror sharoitdagi issiqlik o‘tkazuvchanligi.
6. Bir va ko‘p qatlamli silindirik devorning barqaror sharoitdagi issiqlik o‘tkazuvchanligi

VII bob. KONVEKTIV ISSIQLIK ALMAShINUVI (ISSIQLIK BERISH)

7.1. Umumiy tushunchalar

Konvektiv issiqlik almashinuvi yoki issiqlik berish deb, qattiq jism bilan suyuqlik yoki gazlar orasidagi issiqlik almashuviga aytiladi. Konvektiv issiqlik almashinuvi bir vaqtning o‘zida ikki usul: konveksiya

va issiqlik otkazuvchanlik yoli bilan amalga oshiriladi. Bunda issiqlik tarqalishi harakatlanuvchi muhitga (suyuqlik yoki gazga) uzluksiz bogliqdir.

Issiqlik berish jadalligi ko‘p hollarda issiqlik tashuvchining issiqlik berish yuzasiga nisbatan harakat tezligiga bogliq bo‘ladi. Issiqlik tashuvchining harakati erkin yoki majburiy bo‘lishii mumkin.

Erkin harakatlanish yoki erkin konveksiya deganda tizimda suyuqlik yoki gazning tashqi bir xil bo‘lmagan massaviy kuchlar maydoni (gravitatsion, magnit, elektr yoki inertsiya maydonlari kuchlari) ta'siridagi harakat tushuniladi.

Majburiy harakat yoki majburiy konveksiya tizim chegaralariga qo‘yilgan. Tashqi yuza kuchlari yoki tizim ichidagi suyuqlikka qo‘yilgan massaviy kuchlarning bir xil maydoni; suyuqlikka tizimdan tashqari berilgan kinetik energiya hisobiga yuzaga keluvchi harakat hisoblanadi.

Amaliyotda suyuqlik yoki gazlarda erkin konveksiya suyuqlikning issiq va sovuq zarrachalari zichliklari farqi tufayli sodir bo‘ladi.

Majburiy konveksiya esa tashqi kuch ventilyatur yoki nasos ta'sirida sodir bo‘ladi.

Suyuqlikning oqish tartibi konvektiv issiqlik almashinuvining yuzaga kelishining asosini tashkil etadi.

1884 yilda Reynolds o‘zining tajribalari asosida suyuqlikning harakatini laminar yoki turbulent bo‘lishiini korsatib berdi.

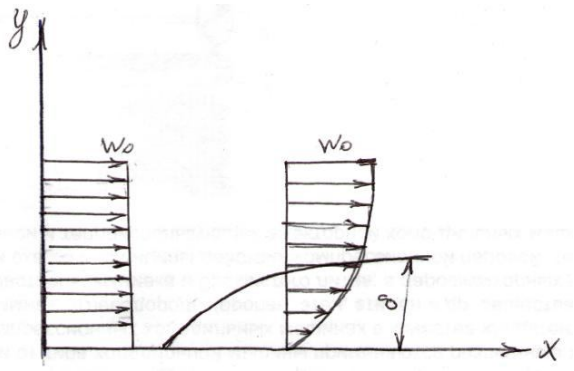
Suyuqlikning zarrachalarining bir tekisda aralashmagan holda yuzaga kelishiga laminar oqim deyiladi. Bunda oqish yonalishida normal boyicha issiqlikning uzatilishi asosan issiqlik otkazuvchanlik bilan amalga oshadi. Suyuqlikning issiqlik otkazuvchanligi ancha kichik bo‘lganligi sababli tezlik uncha katta bo‘lmaydi.

Oqish tezligi muayyan qiymatdan ortishi bilan harakat holati keskin o‘zgaradi, ya'ni tartibsiz harakat yuzaga kelib, oqim butunlay aralashib ketadi. Bunday oqim turbulent oqim deb ataladi.

Turbulent oqimda issiqlik oqim ichida issiqlik otkazuvchanlik yoli bilan barcha zarrachalarning aralashishi bildan tarqaladi, shuning uchun ham issiqlik almashinishi turbulent oqimida yuqoriroq bo‘ladi.

Reynolds suyuqlikning quvurdagi oqish tartibini ulchamsiz qiymat bilan aniqlanishini korsatdi, bu qiymat Reynolds soni deb ataladi. Laminar suyuqlik yoki gaz bir tekisda qatlam-qatlam bo‘lib harakatlanadi (Re<2300), turbulent oqimda qatlamlar bir-biri bilan aralashib harakatlanadi (Re >10 000).

Suyuqlikning quvur bo‘ylab harakatlanishini o‘ziga xos xususiyatlari bor. Tezligi ozgarmas bo‘lgan suyuqlikni quvur bo‘ylab harakatini ko‘rib chiqamiz (7.1-rasm).



7.1-rasm Tezligi ozgarmas bo‘lgan suyuqlikni quvur bo‘ylab harakati.

Suyuqlik quvur bo‘ylab oqa boshlashi bilan ishqalanish natijasida devorlar yaqinidagi suyuqlik zarrachalari devorlarga yopishib qoladi. Natijada devorlar yaqinida tezlik nolgacha pasayadi. Suyuqlik sarfi o‘zgarmaganligi sababli tezlik quvur kesimining o‘rtasida ko‘payadi. Bunda quvur devorlarida gidrodinamik chegara qatlam hosil bo‘ladi. Bu qatlamning qalinligi δ oqim bo‘ylab ortadi. Tezlik ortishi bilan chegara qatlamning qalinligi kattalashadi. Suyuqlikning qovushqoqligi ortishi bilan qatlamning qalinligi ham ortadi. Bu o‘z navbatida suyuqlikdan qattiq jism sirtiga issiqlik erishni kamaytiradi.

Suyuqlik quvur bo‘ylab laminar harakatda bo‘lganda hosil bo‘lgan chegara qatlam tufayli issiqlik almashinishi kam bo‘ladi, turbulent harakat yuzaga kelishi bilan harakatlanmay qolgan suyuqlik zarrachalarining harakat tezligi ortishi tufayli chegara qatlamning qalinligi kamayadi, natijada issiqlik almashishi ortadi.

Issiqlik berish jarayonini hisoblashda Nyuton-Rixman qonunidan foydalaniladi:

$$Q = \alpha (t_{\partial} - t_m) F \qquad (7.1)$$

bu erda: Q – issiqlik oqimi, Vt;
α – issiqlik berish koeffitsiyenti, Vt/m^2K;
t_m – atrof-muhit harorati, ^0C,
t_d – devor sirtining harorati, ^0C;
F – issiqlik almashinuv yuzasi, m^2.

Issiqlik berish koeffitsiyenti (α- son jihatdan 1 sekund vaqt ichida 1 m^2 yuzadan muhitga yoki muhitdan 1 m^2 yuzaga haroratlar farqi ($t_d - t_m$) yoki ($t_m - t_d$) 1^0 C ga teng bo‘lganda berilgan issiqlik miqdoriga teng, agar $t_d > t_m$ bo‘lsa, $\Delta t = t_\partial - t_m$; agar $t_m > t_d$ bo‘lsa, , $\Delta t = t_m - t_\partial$ bo‘ladi.

Issiqlik oqimi zichligi:

$$\Delta t = t_m - t_\partial \quad Vt/m^2 \text{ ga teng.} \qquad (7.2)$$

7.2. O‘xshashlik nazariyasi asoslari

Konvektiv issiqlik almashinuvi ko‘p o‘zgaruvchanli va bir ma'nolilik differentsial tenglamalar bilan izohlanadi.

Issiqlik berish koeffitsiyentini analitik hisoblash, tenglamalarni echish juda ko‘p qiyinchiliklarga olib keladi, shuning uchun issiqlik berish koeffitsiyentini o‘xshashlik nazariyasiga asoslanib, tajriba yo‘li bilan aniqlash katta ahamiyatga ega.

O‘xshashlik nazariyasi tajriba qurilmalarida olingan natijalarni boshqa shunga o‘xshash hodisalarga tatbiq etish mumkinligini, ya'ni jarayonlarni o‘xshashligini aniqlashga imkon beradi.

Konvektiv issiqlik almashinuvining asosiy o‘xshashlik mezonlari (sonlari) – Reynolds, Grasgof , Prandtl va Nusselt mezonlaridir.

$Re = \frac{wx}{\nu}$ – bu tenglik oqim inersiya kuchini qovushqoqlik kuchiga bo‘lgan nisbatini ifodalaydi.

$Gr = \frac{g\beta \Delta t x^3}{\nu^2}$ – bu tenglik oqim ko‘tarilishi kuchini qovushqoqlik kuchiga bo‘lgan nisbatini ifodalaydi.

$Pr = \nu / a$ – issiqlik tashuvchining fizik xususiyatini ifodalaydi.

$Nu = \alpha$ x ?λ – konvektiv issiqlik almashinuvini ifodalovchi kattalik.

bu yerda: w – issiqlik tashuvchini harakat tezligi, m/s;
x – geometrik aniqlovchi kattalik, m;
ν – kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti, m^2/s;

$a = \lambda / c\,\rho$ – harorat o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m^2/s;

g – erkin tushish tezlanishi, m/s^2;

β – hajmiy kengayish harorat koeffitsiyenti, $\frac{1}{K^4}$;

$\Delta t = t_\partial - t_m$ – haroratlar farqi;

λ – issiqlik tashuvchining issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsienti, Vt/mK.

α – issiqlik berish koeffitsiyenti, Vt/m^2K;

c – issiqlik tashuvchining issiqlik sig‘imi, J/kgK;

ρ – issiqlik tashuvchining zichligi, kg/m^3.

O‘xshashlik mezoni jarayonini matematik analiz qilish yo‘li bilan topish mumkin. Issiqlik almashinuvi jarayonlarini o‘xshashlik mezonlari son jihatdan bir-biriga teng bo‘lishii kerak. Issiqlik almashinuvi jarayonlarining o‘xshashliligi bir xil mezon tenglamalari bilan izohlanadi.

Konvektiv issiqlik almashinuvining o‘xshashlik tenglamasi va mezon tenglamasi issiqlik tashuvchining turbulent harakatida (ko‘proq majburiy) quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$Nu = f(Re, Pr) \qquad (7.3)$$

Issiqlik tashuvchining laminar (ko‘proq erkin) harakatida o‘xshashlilik tenglamasi quyidagicha bo‘ladi:

$$Nu = f\,(Gr, Pr) \qquad (7.4)$$

7.3. Quvurlarda majburiy oqimda issiqlik berish

Suyuqlik quvur bo‘ylab harakatlanganda oqimga qarshilik kuchlari ta'sirida butun quvur ko‘ndalang kesimi va uzunligi bo‘ylab suyuqlik harakati o‘zgarib boradi. Suyuqlik oqimi turbulent va laminar holatda bo‘lishii mumkin. Suyuqlikning fizik xususiyatlari o‘zgarishi tufayli laminar ($Re \leq 2300$) oqimda noizotermik harakatda ikkita holat bo‘lishii mumkin – qovushqoq va gravitatsion qovushqoq.

Bunday harakatlar uchun issiqlik berish qonunlari har xil va ular har xil mezon tenglamalari orqali izohlanadi.

Laminar gravitatsion – qovushqoq holatda harakatlanayotgan issiqlik tashuvchining o‘rtaga issiqlik berish koeffitsiyentini taxminiy qiymatini quyidagi formula orqali hisoblash mumkin:

$$Nu_{cd}= 0{,}15\,Re_{cd}^{0,33}\cdot Pr_c^{0,33}(Gr_{cd}\cdot Pr_c)^{0,1}\cdot(\frac{Pr_c}{Pr_\partial})^{0,25}\cdot\varepsilon_e \qquad (7.5)$$

bu yerda: : ε_e – quvur uzunligi ℓ ning diametri d ga nisbatini hisobga oluvchi tuzatma.

ε_e ning ℓ /d kattalikka bog‘liq ravishdagi qiymatlari jadvalda ko‘rsatilgan. O‘xshashlik mezonlaridagi indeks suyuqlikni yoki devo‘rni o‘rtacha haroratlariga tegishli ekanliklarini ko‘rsatadi. (d – devor; s – suyuqlik).

Suyuqlik turbulent (Re≥10000) harakatlanganda, ℓ /d >50 bo‘lsa, issiqlik berish koeffitsiyentini o‘rtacha qiymati α ni quyidagi formula orqali topish mumkin.

$$Nu_{cd} = 0{,}02\,Re_{cd}^{0,8}\cdot Pr^{0,43}\cdot(\frac{Pr_c}{Pr_\partial})^{0,25} \qquad (7.6)$$

Pr_d – devordagi suyuqlikni o‘rtacha harorati bo‘yicha olinadi.

To‘g‘ri tekis quvurda turbulent harakat qilayotgan gazning issiqlik berish koeffitsientini quyidagi formula orqali hisoblash mumkin.

$$Nu_{c(x/d)}= 0{,}022\,Re_{c(x/d)}^{0,8}\cdot Pr_c^{0,43}\cdot\varepsilon_\partial \qquad (7.7)$$

Agar x/d≥ 15 bo‘lsa, , $\varepsilon_e\approx 1$ va x/d < 15 bo‘lsa, , $\varepsilon_\partial = 1{,}38\ (x/d)^{0,12}$ ga teng bo‘ladi.

Agar quvur diametri dumaloq bo‘lmasa yoki ilonsimon shaklda bo‘lsa hisoblashda bu e'tiborga olinishi kerak.

7.4. Erkin harakatlanishda issiqlik berilishi

Gravitatsion kuch ta'sirida erkin harakat hosil bo‘ladi. harakatlar turbulent va laminar bo‘lishii mumkin.

Erkin laminar harakatda vertikal devo‘rning issiqlik berish koeffitsienti quyidagi formula orqali topiladi:

$$Nu_{cx}= 0{,}6(Gr_{cx}Pr_c)^{0,25}(\frac{Pr_c}{Pr_\partial})^{0,25} \qquad (7.8)$$

Laminar oqimida tsqconst bo‘lganda vertikal devorning issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$Nu_{c,\ell} = 0{,}63(Gr_{c,\ell}\ Pr_c)^{0,25}\left(\frac{Pr_c}{Pr_\partial}\right)^{0,25} \qquad (7.9)$$

Suyuqlikning gorizontal quvur atrofida erkin laminar harakatlanganda o‘rtacha issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$Nu_{c,d} = 0{,}5(Gr_{c,d}\ Pr_c)^{0,25}\left(\frac{Pr_c}{Pr_\partial}\right)^{0,25} \qquad (7.10)$$

Rivojlangan turbulent harakat ($Gr_{c,x}\ Pr_c$) bo‘lganda vertikal devor bo‘ylab erkin harakatlanishda issiqlik berish koeffitsienti quyidagi formula orqali topiladi:

$$Nu_{c,x} = 0{,}15(Gr_{c,x}Pr_c)^{0,53}\left(\frac{Pr_c}{Pr_\partial}\right)^{0,25} \qquad (7.11)$$

Bu ifodalarda aniqlanuvchi harorat deb qizigan yuzadan uzoqroqdagi harorat qabul qilinadi.

Ifodalarda aniqlanishi kerak bo‘lgan kattalik sifatida x qabul qilingan. x – jismning balandligi yoki uzunligi yoki d quvurning diametri bo’lishi mumkin.

Agar suyuqlik hajmi katta bo‘lmasa, devor har xil kichik teshiklar bilan chegaralangan, bu chegaralangan hajm deb ataladi, bunda issiqlik berish koeffitsienti suyuqlikning turiga, uning harakatiga, devorlar orasidagi haroratlar farqiga, teshiklarning geometrik kattaliklariga bog‘liq bo‘ladi.

Amaliy hisobda ko‘pincha suyuqlik qatlamidan issiqlik oqimini topish kerak bo‘ladi. Bunday sharoitda chegaralangan hajmdagi jarayonlarni issiqlik o‘tkazuvchanlikning ekvivalent jarayoniga almashtirib hisoblanadi:

$$q = (\lambda_{экв} / \delta)\ (t_{д_1} - t_{д_2})\ , \qquad Vt/m^2 \qquad (7.12)$$

bu yerda: λ_{ekv} – chegaralangan hajmda issiqlik otkazuvchanlik va konvektsiya bilan issiqlik o‘tishini hisobga oluvchi issiqlik o‘tkazuvchanlikning ekvivalent koeffitsiyenti,

$$\lambda_{экв} = \varepsilon_к \lambda \qquad (7.13)$$

bu yerda: λ - suyuqlikning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsieynti, Vt/(m*K);

$\varepsilon_к$ - issiqlik o‘tishida konveksiyaning ta'sirini ifodalovchi koeffitsiyent.

$(Cr - Pr)_d > 10^3$ bo‘lgan aniqlikda $\varepsilon_к = 0,8\ (Cr - Pr)_{\partial}^{0,25}$ deb qabul qilish mumkin.

Aniqlanuvchi harorat sifatida:

$$t_ж = 0,5\ (t_{\partial_1} - t_{\partial_2}) , \qquad (7.14)$$

Aniqlanuvchi kattalik qilib teshik qalinligi $\delta_м$qabul qilingan. Gorizontal teshik bo‘lgan sharoitda yuqori yuzasini harorati pastki qismdagi haroratdan yuqori bo‘ladi, suyuqlik harakat qilmaydi va $\lambda_{экв} = \lambda$, konvektiv issiqlik almashinuvi qiymati nolga teng bo‘ladi.

Masala.

Gorizontal issiqlik almashuv apparatining diametri d = 400 mm , sirtning harorati $t_{к.с}$= 200 ^{0}C va xonadagi havoning haroratit$_х$ =30^{0}Cga teng bo’lganda vaqt birligi ichida 1m^2 gorizonta lissiqlik almashuv apparatisirtidan o’tgan issiqlikni aniqlang.

Javob: q = 1000 Vt / m^2 .

Echish :

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q = \alpha\ (t_{k.c} - t_c)$$

Issiqlik berish koeffitsiyenti erkin konvektsiya uchun:

$$Nu = 0,5\ (Gr_c\ Pr_c)^{0,25}$$

havo haroratida $t_х$ = 30 ^{0}C parametrlarni jadvaldan olamiz :

γ = 16,0 · 10 $^{-6}$, m^2/ s λ= 2,67· 10 $^{-2}$ Vt/m ^{0}C

β = 1/ T= 1 / 30+ 273 = 1 / 303 K^{-1} ; Pr = 0,701

$$(Gr_c\ Pr_c) = \frac{g\beta\Delta t d^3}{\gamma^2}\ Pr_c = \frac{9,81\cdot(200-30)0,4^3}{303(16\cdot10^{-6})}0,701 = 9,75\cdot10^8$$

$$Nu = 0,5 (Gr_c Pr_c)^{0,25} = 0,5 (9,75 \cdot 10^8)^{0,25} = 88,2$$

Bu yerdan issiqlik berish koeffitsiyentini topamiz :

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d} = 88,2 \frac{2.67 * 10^{-2}}{0.4} = 5,9 \text{ Vt/m}^{20}\text{C}$$

Vaqt birligi ichida 1 m^2 issiqlik almashuv sirtidan o‘tgan issiqlik

$$q = \alpha (t_{k.c} - t_c) = 5,9 (200 - 30) = 1000 \quad \text{Vt/m}^2 .$$

Nazorat uchun savollar

1. Konvektiv issiqlik almashinuvi haqida tushuncha bering.
2. Nima uchun o‘xshashlik nazariyasi kiritilgan?
3. Issiqlik berish koeffitsiyenti nimalarga bog‘liq?
4. Quvurlarda issiqlik berish qanday sodir bo‘ladi?
5. Erkin harakatlanishda issiqlik berilishi qanday sodir bo‘ladi?
6. Majburiy harakatlanishda issiqlik berilishi qanday sodir bo‘ladi?
7. Nusselt mezoni nimani ifodalaydi?
8. Laminar va turbulent oqim nima?

VIII bob. NURLANISH USULIDA ISSIQLIK UZATILISHI

8.1. Asosiy tushunchalar

Issiqlikning nurlanish yo‘li bilan uzatilishi deb, jismning ichki energiyasini elektromagnit to‘lqinlar orqali uzatilishiga aytiladi.

Nurlanish to‘lqin uzunligi λ (м) yoki tebranish chastotasi $\nu = c / \lambda$ bilan ifodalanadi, bu yerda $c = 2,9979 \cdot 10^8$ m/s - bu vakuumdagi elektromagnit to‘lqinlarni tarqalish tezligidir.

Qattiq va suyuq jismlarda nurlanish spektri uzluksizdir. Gazlarda selektivdir, ya'ni gazlar kerakli to‘lqin uzunligidagi nurlarni chiqaradi. Nurlanish oqimi deb vaqt birligidagi nurlanish energiyasiga aytiladi:

$$\Phi = \frac{\delta Q}{d\tau} \qquad (8.1)$$

Φ - nurlanish oqimi, [Vt] ;

δQ – nurlanish energiyasi, [J];

τ – vaqt, [s].

Nurlanish oqimini jismning yuzasiga nisbati nurlanish deyiladi:

$$E=\frac{\delta \Phi}{dF} \qquad Vt/m^2. \qquad (8.2)$$

Issiqlik nurlariga to‘lqin uzunligi $\lambda = 0{,}4 \cdot 10^{-3}$? 0,8 mm ga teng bo‘lgan to‘lqinlar kiradi. Jismlar tizimi nurlanganda, ular har biri boshqa jismlarga o‘zlaridan qaytgan nurlari tushadi.

Jismga kelib tushgan nur yoki issiqlik shu jismda yutiladi (Q_A), qaytadi (Q_R) va o‘tib ketadi (Q_D).

$$Q= Q_A + Q_R + Q_D$$

$A= \frac{Q_A}{Q}$ - yutish koeffitsienti;

$R = \frac{Q_R}{Q}$ - qaytish koeffitsienti;

$D = \frac{Q_D}{Q}$ - o‘tish koeffitsienti.

Nurlanish energiyasining issiqlik balansi A+R+D=1 ga teng.

Agar A=1; R=D=0 bo‘lsa, jism mutloq qora, , R=1, A=D=0 bo‘lsa, jism mutloq oq, D=1; A=R=0 bo‘lsa, jism shaffof jism deyiladi. Tabiatda mutloq oq, qora va shaffof jism bo‘lmaydi.

8.2. Nurlanishning asosiy qonunlari

1. Stefan-Boltsman qonuni.

Nurlanish energiyasi bilan mutloq qora jismning mutloq haroratining to‘rtinchi darajasiga tuqri propotsional:

$$E = \sigma_0 T^4 \qquad (8.3)$$

σ_0 – Boltsman doimiysi; σ_0=5,67 $Vt/m^2 K^4$.

Amaliy hisoblashlarda bu qonun quyidagicha ifodalanadi:

$$Q = C\,(T/100)^4\,F \qquad (8.4)$$

bu yerda: C – kulrang jismning nurlanish koeffitsiyenti, Vt/m^2K^4.

Bir-biridan shaffof muhit bilan ajratilgan, ikkita yassi, parallel joylashgan, harorati yuqori bo‘lgan jismda harorat past bo‘lgan jismga nurlanish yo‘li bilan o‘tayotgan umumiy issiqlik oqimi quyidagi ifodadan topiladi:

$$Q_{1-2} = Q_{эф_1} - Q_{эф_2} \qquad (8.5)$$

$$Q_{1\text{-}2} = C_{кел}\, F\, [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \qquad (8.6)$$

bu yerda: F – issiqlik almashinish yuzasi, m^2;

C_{kel} – keltirilgan nurlanish koeffitsiyenti, Vt/m^2 K.

$$C_{кел} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_o}} \quad Vt/m^2\ K \qquad (8.7)$$

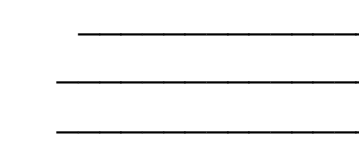
bu erda: T_1 , T_2 – nurlanuvchi jism va atrof muhitning mutloq harorati, ^0C;

C_1 , C_2 – kulrang jismlarning nurlanish koeffitsienti;

C_o = 5,67 Vt/m^2 K – absolyut qora jismning nurlanish koeffitsiyenti.

$C_{kel}=\varepsilon \cdot c_0$ ifodasidan aniqlanadi, ε- qoralik darajasi

Har xil nurlanuvchi tizimlarda nurlanish yo‘li bilan issiqlik almashishni kamaytirish uchun ekranlardan foydalaniladi (56-rasm).



1, 2-nur tarqatayotgan jism; 3- ekran.

Agar ikkita yassi parallel sirt orasiga ekran qo‘yilsa va ekran ham, sirtlari ham bir xil materialdan tayyorlangan bulsa, u holda berilgan issiqlik miqdori i ikki marta kamayadi. Agar n – ta ekran qo‘yilsa, berilgan issiqlik miqdori n=1 marta kamayadi.

2. Plank qonuni.

Bu qonun asolut qora jismning va istalgan jismning nurlantirish qobiliyati bilan harorat va to‘lqin uzunligi orasidagi bog‘lanishni ifodalaydi.

U quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$M_\lambda(\lambda, T) = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\ell^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1} \qquad (8.8)$$

Bu yerda: M_λ- mutloq qora jismning nurlantirish qobiliyati

λ- to‘lqin uzunligi, m

$C_1=3{,}74\ 10^{-16}$ Plank doimiysi Vt m^2

$C_2=1{,}44\ 10^{-2}$ Plank doimiysi mK

3.Lambert qonuni:

Bu qonun nurlanayotgan jismning fazoda taqsimlanishi jadalligini ifodalaydi.

4.Vin qonuni:

Nurlanish intensivligi bilan to‘lqin uzunligi orasidagi bug‘lanishni ifodalaydi:

$$T\lambda_{max} = 2{,}9\cdot10^{-3} \quad , \qquad \text{mK}$$

ya‘ni maksimal to‘lqin uzunlik jismlarning mutloq haroratiga bogliq bo‘lib, u haroratni pasayishi tomonga yo‘naladi.

5. Kirxgof qonuni:

Mutloq qora va kulrang jismlarning issiqlik nurlari yotish va xossalari orasidagi bug‘lanishni ifodalaydi. U quyidagi ifoda orqali yoziladi:

$$\frac{E_1}{A_1}=\frac{E_2}{A_2}=\frac{E_3}{A_3}=...=\frac{E_0}{A_0}=E_0(T) \qquad (8.9)$$

bu yerda $E_0(T)$ – mutloq qora jismning xususiyati.

Bu qonun quyidagicha ta'riflanadi:

Jismlarning nurlanish xususiyatini yotish xususiyatiga nisbati barcha jismlar uchun bir xil bo‘ladi, shu haroratdagi mutloq qora jismning nurlanish xususiyatiga teng bo‘ladi.

Bu qonunnning tenglamasidan ko‘rinib turibdiki, kulrang jismlarning qoralik darajasi son jihatidan uning yotish xususiyatiga teng, ya'ni

$$A=\varepsilon\ .$$

ε – kattalik o‘zgarmas bo‘lgani uchun kulrang jismning yotish xususiyati to‘l qin uzunligi va haroratga bog‘liq emas.

Masala

Diametri 120 mm bo‘lgan quvur 400x400 mm^2 kesimli kanalga o‘rnatilgan. Quvur izolyatsiyasining sirtidagi harorat 127^0 C. G‘isht kanal

1 m quvurdan nurlanish orqali yqolgan issiqlikni aniqlang. Sirtlardagi qorayish darajasi 0,93 ga teng deb olinsin.

YEchish:

$$\varepsilon_{кел} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F}{F_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} = \frac{1}{\frac{1}{0{,}93} + 0{,}238\left(\frac{1}{0{,}93} - 1\right)} = 0{,}915$$

1 m quvurdan nurlanish orqali yqolgan issiqlik:

$$Q = \varepsilon_{кел} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100}\right) - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \cdot F_1 = 0{,}915 \cdot 5{,}67 \cdot 0{,}377 \left[\left(\frac{400}{100}\right)^4 - \left(\frac{300}{100}\right)^4\right] = 342 Vt$$

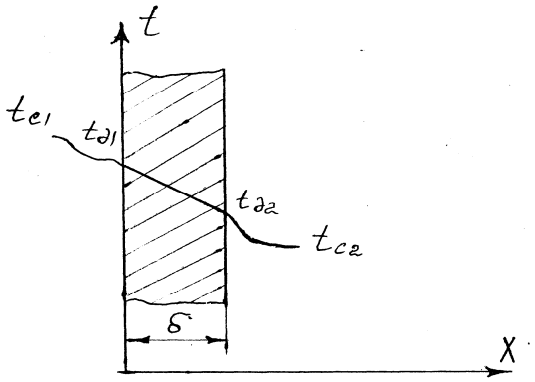
Nazorat uchun savollar

1. Nurlanish yo‘li bilan issiqlik almashinishning sodir bo‘lishi shart-sharoitlarini aytib bering.
2. Absolyut qora, oq va shaffof jismlar nima?
3. Nurlanishning effektivligi nima?
4. Nurlanish qonunlarini izohlab bering.
5. Jism parallel joylashganda nurlanish energiyasi qanday aniqlanadi?
6. Ekranning vazifasini ayting?

IX bob. ISSIQLIKNING UZATILISHI

9.1. Bir qatlamli tekis devor orqali issiqlik uzatilishi

Issiq muhitdan (suyuqlik yoki gaz) sovuq muhitga bir qatlamli yoki ko‘p qatlamli qattiq devor orqali issiqlikning o‘tishiga issiqlik uzatilishi deyiladi.



9.1 -rasm. Bir qatlamli tekis devorning issiqlik uzatilishi: t_{c1}-issiq suyuqlik (gaz)ning harorati, t_{d2}-devorning ichki sirti harorati, t_{d2}-devorning tashqi sirti harorati, t_{c2}- sovuq suyuqlik (gaz)ning harorati

Qalinligi δ va sirt yuzasi 1 m^2 bo‘lgan bir qatlamli devo‘rning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ (Vt/mK) muhit haroratlari $t_{c1} \geq t_{c2}$ hamda ikkala tomonini α_1 va α_2 issiqlik berish koeffitsientlari berilgan (9.1-rasm) bir qatlamli tekis devorni ko‘rib chiqamiz.

Issiq muhitdan devorga issiqlik konveksiya orqali o‘tadi:

$$q = \alpha_1 (t_{c_1} - t_{\partial_1}) \tag{9.1}$$

devordan issiqlik o‘tkazuvchanlik orqali o‘tadi:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{\partial 1} - t_{\partial 2}) \tag{9.2}$$

devordan muhitga konveksiya orqali o‘tadi:

$$q = \alpha_2 (t_{\partial 1} - t_{c2}) \tag{9.3}$$

Bu ifodalarni haroratlar farqi orqali ifodalab, keyin qo‘shib issiqlik uzatish tenglamasini hosil qilamiz:

$$q = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \kappa (t_{c_1} - t_{c_2}) \quad \text{Vt/m}^2 \tag{9.4}$$

bu yerda k – issiqlik uzatish koeffitsiyenti.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{Vt/m}^2\text{K} \tag{273}$$

Issiqlik uzatish koeffitsiyenti son jihatdan vaqt birligi ichida birlik yuzadan haroratlar farqi 1^0C ga teng bo‘lganda o‘tgan issiqlik miqdoriga teng. Issiqlik uzatish koeffitsiyentiga teskari bo‘lgan kattalik issiqlik uzatilishning to‘liq termik qarshiligi deyiladi.

$$R = \frac{1}{\kappa} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \qquad \text{m}^2\text{K/Vt} \tag{9.5}$$

9.2. Ko‘p qatlamli tekis devor orqali issiqlik uzatish

Ko‘p qatlamli tekis devor orqali o‘tayotgan issiqlik oqimining zichligi, masalan, uch qatlamli devor orqali o‘tgan issiqlik:

$$q = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} = \kappa(t_{c_1} - t_{c_2}) \qquad \text{Vt/m}^2 \qquad (9.6)$$

bu yerda:

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} \qquad \text{Vt/m}^2\text{K} \qquad (9.7)$$

F (m^2) sirtga ega bo‘lgan tekis devor orqali issiqlik oqimi Q ga teng:

$$Q = q \cdot F = \kappa \cdot \Delta t \cdot F \quad \text{Vt} \qquad (9.8)$$

Devor qatlamlari orasidagi haroratlar quyidagicha topiladi:

$$\begin{aligned} t_{\partial_1} &= t_{c_1} - q\frac{1}{\alpha_1} \\ t_{\partial_2} &= t_{c_1} - q(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1}) \\ t_{\partial_3} &= t_{c_1} - q(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_1}{\lambda_1}) \end{aligned} \qquad (9.9)$$

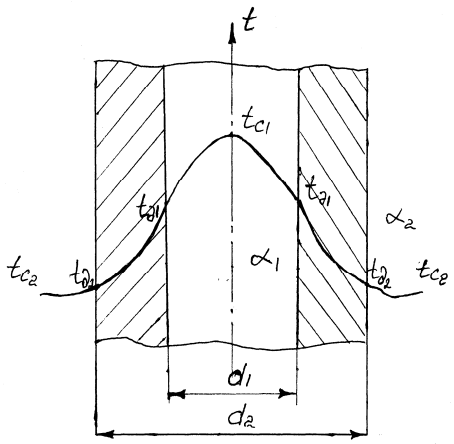
9.2. Bir qatlamli va ko‘p qatlamli silindrik devor orqali issiqlik uzatish

Issiqlik oqimining chiziqli zichligi:

$$q_\ell = \frac{\pi(t_{c_1} - t_{c_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} = \kappa_\ell \pi(t_{c_1} - t_{c_2}), \text{Vt/m} \qquad (9.10)$$

bu yerda: κ_ℓ – issiqlik uzatishning chiziqli koeffitsiyenti – son jihatdan bir muhitdan ikkinchi muhitga vaqt birligi ichida uzunligi 1 m bo‘lgan

quvur devorida haroratlar farqi 1^0C ga teng bo‘lganda o‘tayotgan issiqlik miqdoriga teng (9.2-rasm).



9.2-rasm. Bir qatlamli silindrik devorning issiqlik uzatilishi.

Issiqlik uzatish chiziqli koeffitsiyentiga teskari bo‘lgan kattalik R =1/κ_ℓ issiqlik uzatishning chiziqli termik qarshiligi deyiladi.

$$R_e = \frac{1}{\kappa_\ell} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2} \quad , \quad \text{m}^2\text{K /Vt.} \tag{9.11}$$

Ko‘p qatlamli silindrik devor orqali , masalan, ikki qatlamli silindrik devor orqali o‘tayotgan issiqlik oqimining zichligi

$$q_e = \frac{\pi(t_{\partial_1} - t_{\partial_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1}\ln\frac{d_1}{d_2} + \frac{1}{2\lambda_2}\ln\frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_3 d_3}} \tag{9.12}$$

Qatlamlar orasida harorat quyidagi formulalar orqali topiladi:

$$\begin{aligned} t_{\partial_1} &= t_{c_1} - q_e \frac{1}{\pi}\frac{1}{\alpha_1 d_1} \\ t_{\partial_2} &= t_{c_1} - \frac{q_e}{\pi}\cdot\frac{1}{2\lambda_1}\ln\frac{d_2}{d_1}) \\ t_{\partial_3} &= t_{c_1} - \frac{q_e}{\pi}\cdot\frac{1}{2\lambda_2}\ln\frac{d_3}{d_{12}} \end{aligned} \tag{9.13}$$

9.3. Issiqlik izolyatsiyasi. Kritik diametr.

Issiqlik izolyatsiyasi deb, qiziyotgan yuzadan issiqlikni tashqi muhitga chiqarib yubormaydigan qoplamaga aytilali.

Issiqlik izolyatsiyasida kichik issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan materiallar ishlatiladi. Masalan, asbest, probka, slyuda, sherst, torf va boshqalar.

Biz silindrik devorning termik qarshiligini tahlil qilganimizda, shu narsaga iqror bo‘ldikki, izolyatsiya qalinligi ortishi bilan, issiqlik yo‘qolishlari kamayadi. Ikki qatlamli silindrik devorning termik qarshiligi quyidagicha:

$$R_{ц} = \frac{1}{K_{ц}} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1}\ell n\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2}\ell n\frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_2} \qquad (9.14)$$

Tashqi izolyasiya diametri d_2 ni ortishida qatlam izolyatsiya qarshiligi ortadi, shu bilan bir qatorda , issiqlik berish qarshiligi kamayadi.

Shularni hisobga olganda kritik diametr

$$d_{кг} = d_{iz} = 2\lambda_{2iz} / \alpha_2 \qquad (9.15)$$

Oxirgi ifodadan shu malum bo‘ldiki, kritik diametr d_{kr} quvur o‘lchamlariga bog‘liq emas. D_{kr} issiqlik izolyatsiyani o‘tkazuvchanligi kam bo‘lsa, kichik bo‘ladi, va tashqi yuzasidan atrof muhitga issiqlik beruvchanlik yuqori bo‘lsa, katta do‘ladi.

Masala

Bug‘ o‘txonasidagi gazning harorati 1200 ^{0}C, qozondagi suvning harorati 200 ^{0}C, issiqlik berish koeffitsiyentlari 45 Vt/m^2 K va 6000 Vt/m^2 K, devor qalinligi 14 mm va devorning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsienti 58 Vt/m^2 K bo‘lganda o‘txona yassi devoridan o‘tgan issiqlik oqimining zichligini va devor sirtidagi haroratini toping.

YEchish:

Issiqlik uzatish koeffitsiyenti:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{45} + \frac{0{,}014}{58} + \frac{1}{6000}} = 44{,}1 \text{ Vt/m}^2\text{ K}$$

Qozon devoridan o‘tgan issiqlik oqimining zichligi:

$$q = K(t_{c_1} - t_{c_2}) = 44{,}1 \cdot (1200 - 200) = 44100 \quad \text{Vt/m}^2$$

Devorning tashqi va ichki sirtidagi harorati:

$$t_{\partial_1} = t_{c_1} - \frac{q}{\alpha_1} = 1200 - \frac{44100}{45} = 220^0 C$$

$$t_{\partial_2} = t_{c_2} - \frac{q}{\alpha_2} = 200 + \frac{44100}{6000} = 207{,}35^0 C$$

Nazorat uchun savollar

1. Bir qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishini tushuntirib bering.
2. Ko‘p qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishini tushuntirib bering.
3. Bir va ko‘p qatlamli silindrik devor orqali issiqlik uzatilishini tushuntirib bering.
4. Issiklik uzatish koeffitsiyenti nimani bildiradi?
5. Chiziqli qarshilik nima?
6. Issiqlik izolyatsiyasi nima?

X bob. ISSIQLIK ALMAShUV APPARATLARI

10.1. Issiqlik almashuv apparatlari

Issiqlikni issiq issiqlik tashuvchidan (gaz) sovuq issiqlik tashuvchiga uzatib beradigan qurilmalarga issiqlik almashinuv apparatlari deyiladi.

Issiqlik almashinuv apparatlarini ishlash usuliga ko‘ra rekuperativ, regenerativ va aralashtiruvchi apparatlarga bo‘lishi mumkin.

Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv apparatlarda issiq almashinuvi issiq va sovuq issiqlik tashuvchilarning bir-biriga bevosita tegishi va aralashishi yoli bilan amalga oshiriladi. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv apparatlariga gradirnyalar, skrubberlar va boshqa qurilmalar misol bo‘la oladi.

Regenerativ issiqlik almashinuv apparatlarida isitilish (yoki sovitilish) sirtining o‘zini vaqti-vaqti bilan goh issiq, goh sovuq issiqlik tashuvchi

bilan yuvilib turishi bilan amalga oshiriladi. Dastlab regenerator kanallaridan qizigan issiqlik tashuvchi – domna va marten pechlari, va grankalar va boshqalardagi yonish mahsulotlari yuboriladi. Regeneratorning isitish sirti qizigan gazlardan issiqlik olib isiydi, So‘ngra bu issiqlikni sovuq issiqlik tashuvchiga beradi.

Regenerativ issiqlik almashinuv apparatlari metallurgiya, shisha pishirish va shunga o‘xshash qizigan havo beriladigan boshqa pechlarda ishlatiladi.

Rekuperativ issiqlik almashinuv apparatlarida issiqlik issiq suyuqlikdan sovuq suyuqlikka qattiq sirt orqali uzatiladi. Masalan, buq’ generatorlari, bug‘ qizdirgich lar, suv isitgichlar va boshqalar. Rekuperativ issiqlik almashinuv appaparati to‘g‘ri oqimli, teskari oqimli va ko‘ndalang oqimli apparatga bo‘linadi.

To‘g‘ri oqimli issiqlik almashinuv apparatlarida issiq va sovuq muhitlar o‘zaro bir tomonga parallel ravishda oqadi.

Teskari oqimli apparatlarida bir-biriga qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi.

Texnikada rekuperativ issiqlik almashinuv apparatlari keng ishlatiladi.

Issiqlik almashinuv apparatlari hisoblashda issiqlik balansi tuziladi va uning yuzasi aniqlanadi.

$$Q = G_1C_{P1}\,(t_1^{'} - t_1^{''}) = G_2C_{P2}\,(t_2^{''} - t_2^{'}), \quad [\text{ Vt}] \qquad (10.1)$$

bu erda: G_1 – issiq suyuqlik sarfi, kg/s;

G_2 – sovuq suyuqlik sarfi, kg/s;

C_{P1} – issiq suyuqlikning issiqlik sig‘imi, kJ/kg ^{0}C;

C_{P2} – sovuq suyuqlikning issiqlik sig‘imi, kJ/kg ^{0C};

$t_1^{'}$ – issiq suyuqlikning apparatga kirishdagi harorati, ^{0}C;

$t_1^{''}$ – issiq suyuqlikning apparatdan chiqishdagi harorati, ^{0}C;

$t_2^{'}$ – sovuq suyuqlikning apparatga kirishdagi harorati, ^{0}C;

$t_2^{''}$ – sovuq suyuqlikning apparatdan chiqishdagi harorati, ^{0}C.

Issiqlik almashinuv yuzasi issiqlik uzatish ifodasidan topiladi.

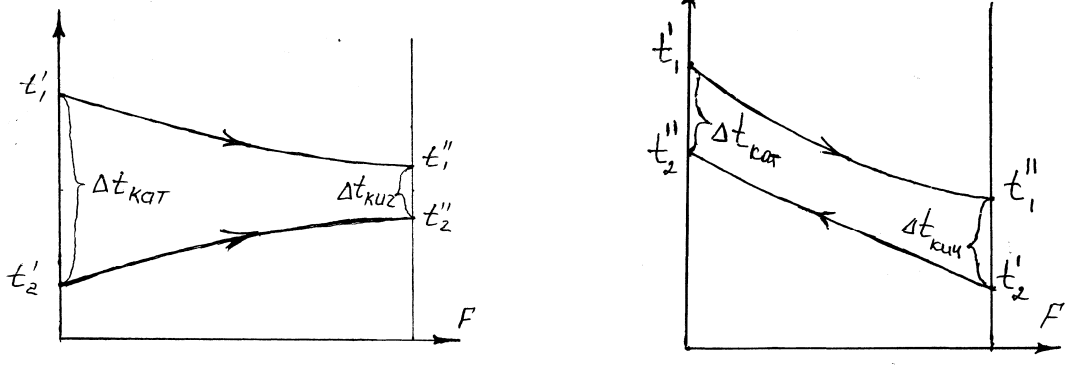
$$Q = k\Delta t_{лог}\, F \qquad [\text{Vt}] \qquad (10.2)$$

k – issiqlik uzatish koeffitsiyenti; Vt / m^{2}K

$\Delta t_{лог}$ – o‘rtacha logarifmlik haroratlar farqi, ^{0}C.

F – sirt yuzasi, m^2.

O‘rtacha logarifmik haroratlar farqi haroratlar grafigi yordamida aniqlanadi (10.1-rasm):



To‘g‘ri oqimli **Teskari oqimli**

10.1-rasm. Haroratlar grafigi

$$\Delta t_{лог} = \frac{\Delta t_{кат} - \Delta t_{кич}}{\ln \frac{\Delta t_{кат}}{\Delta t_{кич}}} \qquad (10.3)$$

bu yerda:

$\Delta t_{кат}$ – katta haroratlar farqi;

$\Delta t_{кич}$ – kichik haroratlar farqi.

Masalan, to‘g‘ri oqimli uchun $\Delta t_{кат} = t_1' - t_2'$; $\Delta t_{кич} = t_1'' - t_2''$

Masala

Ichki yonuv dvigatelining teskari yo‘nalishli suvli moy sovitgich moy 65 ^{0}C dan 55 ^{0}C gacha sovitilyapti. Sovituvchi suvning kirishdagi harorati 16 ^{0}C va chiqishdagi harorati 25 ^{0}C. Moyning sarfi 0,8 kg/sek. Issiqlik uzatish koeffitsiyenti 280 Vt/m^2 ^{0}C, moyning issiqlik sig‘imi 2,45 kJ/kg ^{0}C. Issiqlik almashuv yuzasini va sovuq suvning sarfini toping.

YEchish:

$Q = G_1 C_{P1} \Delta t_1 = 0{,}8 \cdot 2{,}45(65-55) = 19{,}6$ kVt.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{кат} - \Delta t_{кич}}{\ln \frac{\Delta t_{кат}}{\Delta t_{кич}}} = \frac{(65-55)-(55-16)}{\ln \frac{65-55}{55-16}} = 39{,}5\ ^0\text{C}.$$

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{19600}{280 \cdot 39.5} = 1{,}77\ \text{m}^2$$

$$G = \frac{Q}{C_{P2} \cdot \Delta t_2} = \frac{19{,}6}{4{,}19 \cdot 9} = 0{,}52\ \text{kg/sek}.$$

Nazorat uchun savollar

1. Issiqlik almashinuv apparatlari deb qanday apparatlarga aytiladi?
2. Issiqlik almashinuv apparatlari necha turga bo‘linadi?
3. Nima uchun issiqlik balansi tuziladi?
4. Issiq tashuvchilarning yo‘nalishi boyicha issiqlik almashinuv apparatlari necha turga bo‘linadi?
5. Issiqlik almashinuv apparatlarini issiqlik hisobi qaysi ifoda orqali olib boriladi?

III. bo‘lim. ISSIQLIK ENERGETIK QURILMALARI

XI bob. YOQILG‘I

11.1. Yoqilg‘ining tarkibi va asosiy xususiyatlari

Uglerodli birikmalarning yonishi natijasida ko‘p miqdorda issiqlikning ajralib chiqishiga yoqilg‘i deyiladi.

Yoqilg‘i agregat holatiga ko‘ra 3 xil bo‘ladi:

1. Qattiq yoqilg‘i (ko‘mir, torf, o‘tin, antratsit, yonuvchi slaneslar va boshqalar)
2. Suyuq yoqilg‘i (neft va uning mahsulotlari)
3. Gazsimon yoqilg‘i (tabiiy gaz va sun?iy gaz).

Yoqilg‘ining tarkibiga yonuvchi va yonmaydigan elementlar kiradi. Uglerod, vodorod, kislorod, azot va oltingugurt yoqilg‘ining yonuvchi qismini, kul (A) va namlik (W) yonmaydigan (ballast) qismini tashkil etadi. Kislorod vaazot yoqilg‘ining ichki ballasti hisoblanadi.

Yoqilg‘ining tarkibi quyidagicha berilishi mumkin:

a) ishchi massasi bilan:

$$C^i+H^i+O^i+N^i+S^i+A^i+W^i=100\%$$

$$S^i=S_{op}+S_k$$

b) quruq massasi bilan:

$$C^q+N^q+O^q+N^q+S^q+A^q=100\%$$

v) yonuvchi massasi bilan:

$$C^{yo}+N^{yo}+O^{yo}+N^{yo}+S^{yo}+A^{yo}=100\%$$

Uglerod yoqilg‘ining asosiy tashkil etuvchisidir.

11.2. Yoqilg‘ining yonish issiqligi.

Yoqilg‘ining yonish issiqligi deb, 1 kg qattiq (suyuq) yoki 1 m3 gazsimon Yoqilg‘ining to‘liq yonishida ajralib chiqqan issiqlik miqdoriga aytiladi. Yoqilg‘ining yonish issiqligi yuqori Q_{yuo} (kJ/kg) va quyi Q_q (kJ/kg) boladi.

Qozonlarning issiqlik hisobi, yoqilg‘i ishchi massasining quyi yonish issiqligidan foydalanib bajariladi. Qattiq va suyuk yoqilg‘i ishchi massasining quyi yonish issiqligi: (kJ/kg)

$$= 338C + 1025H - 108{,}5\ O - S\ 25\,W\ ,\ (kJ/kg) \qquad (11.1)$$

bu yerda– $C^{и}$, $H^{и}$, $O^{и}$, $S^{и}_{л}$, $W^{и}$yoqilg‘ ishchi massasidagi elementlar miqdori, %.

Gazsimon yoqilg‘quyi yonish issiqligi:

$$Q^{и}_{к} = 108H_2 + 126CO + 234H_2S + 358CH_4 + 591C_2H_4 + 638C_2H_6 + 860C_3H_6 + 913C_3H_8 + 1135C_4H_8 + + 1187C_4H_{10} + 1461C_5H_{12} + +1403\ C_6H_6,\ (kJ/nm^3)$$

bu yerda H_2 , CO_2 H_2S, CH_4 , C_2H_4 va bosh?alar – gazsimon yoqilg‘i tarkibiga kiruvchi gazlarning hajmiy miqdori, %.

Quyi yonish issiqligi qayta hisoblashda quyidagi ifodalardan foydalaniladi:

yonuvchi massadan ishchiga va aksincha

$$Q^{и}_{п} = Q^{ё}_{п}\,\frac{100-(A^{и}+W^{и})}{100} - 25\ W^{и} \qquad (11.2)$$

$$Q^{ё}_{п} = \frac{Q^{и}_{п}+25W^{и}}{100-(A^{и}+W^{и})}100 \qquad (11.3)$$

Quruq massadan ishchiga va aksincha

$$Q^{и}_{п} = Q^{к}_{п}\,\frac{100\text{-}W^{и}}{100} - 25\ W^{и} \qquad (11.4)$$

$$Q_{п}^{ё} = \frac{Q_{п}^{и} + 25W^{и}}{100 - W^{и}} 100 \qquad (11.5)$$

yonuvchi slanetslar uchun – yonuvchi massadan ishchi massaga va aksincha

$$Q_{п}^{и} = Q_{п}^{ё} \frac{100 - A_{к}^{и} + W^{и} - (CO_2)_{к}^{и}}{100} - 25\ W^{и} \quad - 40\,(CO_2)_{к}^{и} \qquad (11.6)$$

$$Q_{п}^{ё} = \frac{(Q_{п_1}^{и} + 25W_1^{и}) + (100 - W_2^{и}}{100 - W_1^{и}} - 25W_2^{и} \qquad (11.7)$$

namlik o‘zgarganda

$$Q_{п_2}^{и} = \frac{Q_{п}^{и} + 25W^{и}}{100 - W^{и}} 100 \qquad (11.8)$$

Ikkita qattiq, suyuq va gazsimon yoqilg‘i uchun quyi yonish issiqligi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$Q_{п_{ар}}^{и} = в_1\ Q_{п_1}^{и} + (1 - в_1)\ Q_{п_2}^{и} \qquad (11.9)$$

bu yerda B_1 – aralashmadagi bir yoqilg‘ining massaviy ulushi;

Q- aralashmadagi birinchi yoqilg‘ining yonish issiqligi, kJ/kg, kJ/nm^3;

Q- ikkinchi yoqilg‘ining yonish issiqligi, kJ/kg, kJ/nm^3.

Har xil yoqilg‘ilarni issiqlik bahosini solishtirish uchun «shartli» yo qilg‘i tushunchasidan foydalaniladi. Shartli y oqilg‘i deb, yonish issiqligi 29300 kJ/kg ga teng bo‘lgan yoqilg‘iga aytiladi.

Natural yoqilg‘i sarfidan shartliga quyidagi ifodadan o‘tkaziladi:

$$B_{sh} = B\ E$$

bu yerda B_{sh} va B mos ravishda shartli va natural yoqilg‘i sarfi, kg/s;

E – yoqilg‘ining issiqlik ekvivalenti, u quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$Э = \frac{Q_{к}^{и}}{29300} \qquad (11.10)$$

Yoqilg‘ilarning kulliligi, namligi va oltingugurtliligi

Har xil yoqilg‘ili qozonlarning ishlash sharoitini ko‘rib chiqayotganda yoqilg‘ining keltirilgan kullilik A_{kel} , namlik W_{kel} , va oltingugurtlilik S_{kel} kattaliklaridan foydalaniladi.

Yoqilg‘ilarning keltirilgan kulliligi:

$$A_{кел} = \frac{A^{и}}{Q^{и}_{к}}$$

Yoyoqilg‘ilarning keltirilgan namligi:

$$W_{кел} = \frac{W^{и}}{Q^{и}_{к}}$$

Yoyoqilg‘ilarning keltirilgan oltingugurtliligi:

$$S_{кел} = \frac{S^{и}_{л}}{Q^{и}_{к}}$$

11.3. Havoning hajmi. Yonish mahsulotlarining hajmi va massasi.

Havoning hajmi, yonish mahsulotlarining hajmi va massasi normal sharoitda 1 kg qattiq yoki suyuq yoki 1 m^3 gazsimon yoqilgi uchun aniqlanadi.

Yoqilg‘iini yondirish uchun kerakli havoning hajmi 1 kg qattiq, suyuq yoqilg‘ining to‘liq yondirish uchun kerakli quruq havoning nazariy (o‘itxonadagi havoning ortiqchalik koeffitsiyenti (α=1 bo‘lganda) hajmi (m^3 /kg) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

1 m^3 quruq gazsimon yoqilg‘ining to‘liq yondirish uchun kerakli nazariy havoning hajmi (m^3/ m^3) quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$V^0 = 0{,}0478[0{,}5(CO+H_2)+1{,}5H_2S+2CH_4+\Sigma(m+\frac{n}{4})C_mH_n-O_2] \qquad (280)$$

ifodada yoqilg‘i elementlarining miqdori 1 kg yoqilg‘i massasida %da ifodalanadi, ifodada esa yonuvchi gazlar SO, N_2, H_2S, CH_4 va boshqalar miqdori hajm bo‘yicha foizda ifodalanadi.

Ikkita qattiq, suyuq yoki gazsimon yoqilg‘i aralashmasini yonishi uchun quruq havoning nazariy hajmi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$V^0_{ар} = B_1 V^0_1 + (1-B_1) V^0_2 \qquad (11.2)$$

bu yerda B_1 – aralashmadagi birorta yoqilg‘i ning massaviy ulushi.

O‘txonaga kelgan havoning haqiqiy hajmi (m^3/kg; m^3/ m^3) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$V_x = \alpha_н V^0$$

bu yerda (α - otxonadagi havoning ortiqchalik koeffitsiyenti.

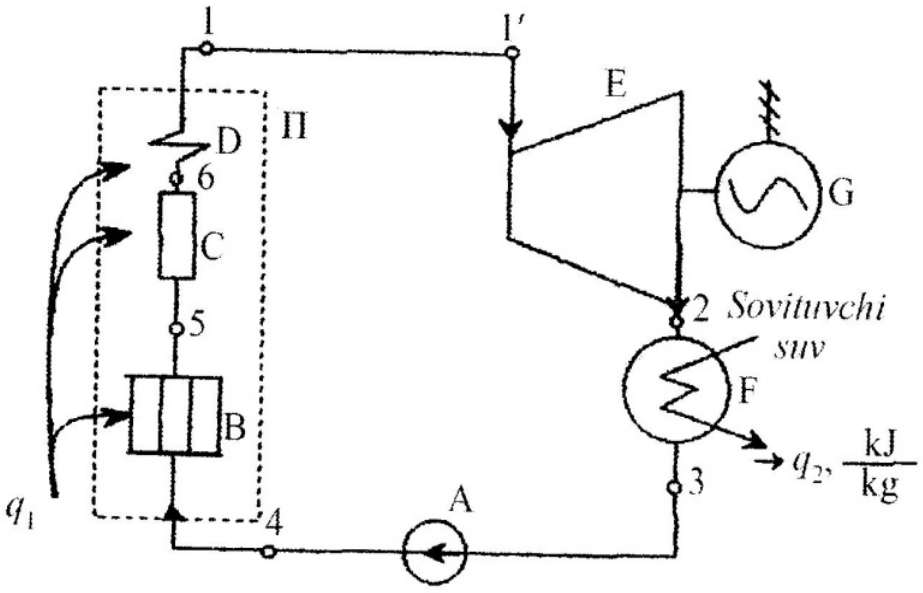
NAZORAT SAVOLLARI

1. Yoqilg‘i deb nimaga aytiladi?
2. Yonish issiqligi deb nimaga aytiladi?
3. Shartli yoqilg‘i nima uchun kiritiladi?
4. Havoning ortiqchalik koeffitsiyenti deb nimaga aytiladi?

XII bob. BUG‘ TURBINA QURILMALARI

12.1. BUG‘ TURBINA QURILMALARI SIKLI.

Bug‘ turbina qurilmalarida suv bug‘i asosiy ishchi jism bo‘lib xizmat qiladi. Bu qurilmalarda suv bug‘ining issiqlik energiyasi mexanik energiyaga aylanadi va elektr generatorda elektr energiyasiga aylanadi. Bug‘ turbina qurilmalari ko‘rinishini chizmasi (12.1-rasm) quyidagichadir:

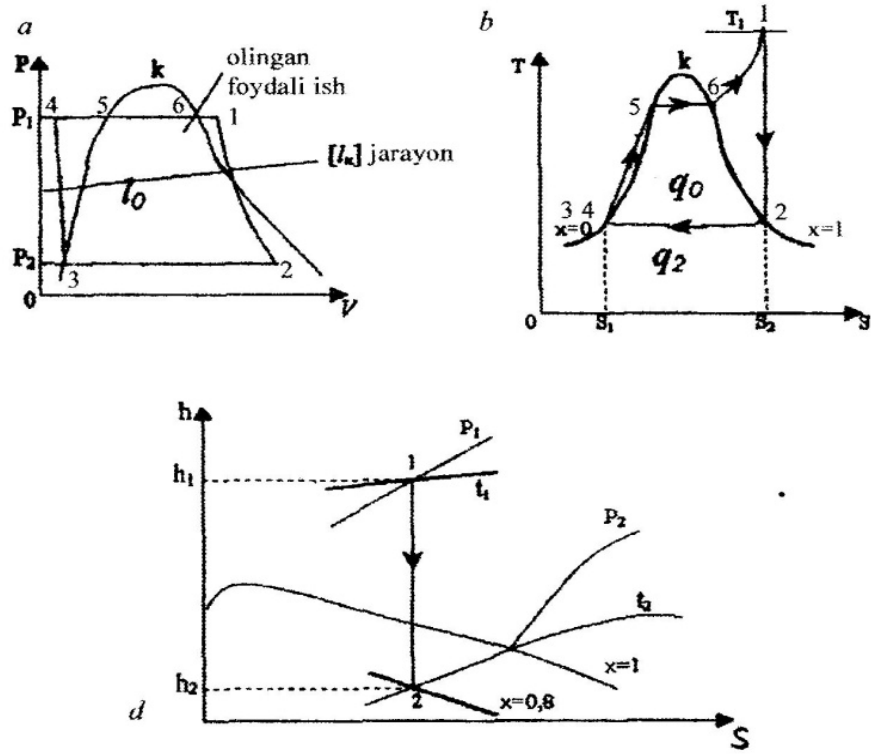


12.1-rasm. Bug‘ turbina qurilmasining chizma tasviri:

A-nasos; T-bug‘qozoni: B-suv ekonomayzeri, C-Bug‘latuvchi qism, D-bug‘ qizdirgich; E- bug‘ turbinasi G-elektr generator ; F-kondensator

Yoqilg‘i bug‘ qozoniga yuborilib va u yerda yonish jarayonida ajralgan issiqlik nurlanish usulida bug‘ hosil qiluvchi quvurlarga beriladi. Kimyoviy tozalangan suv nasos yordamida bug‘ qozoniga yuborilidi. Suv ekonomayzerida suv qaynash haroratigacha qizdiriladi, keyin bug‘lantiruvchi qism da nam toyingan bug‘ hosil qilinadi. Bug‘ bug‘ qizdirgichga yuboriladi. U yerda bug‘ yanada qizdirilib, o‘ta qizigan bug‘ga aylantiriladi.

O‘ta qizigan bug‘ turbinaning parraklariga urilib harakat hosil qiladi, ya'ni bug‘ning issiqlik energiyasi avval kinetik energiyaga (turbina soplosida), songra mexanik energiyaga aylanadi. Ishlatilib bo‘lingan buq’ juda kichik bosimda bo‘lgani uchun kondensatorga kelib tushadi va qaytadan suvga aylanadi, bunday massani kondensat deyiladi.



12.2-rasm. Renkin siklining P-V, T-s va h-s diagrammalari.

P-V,T-s va h-s diagrammalari: 1-2-turbinadagi adiabatik kengayish jarayoni; 2-3-kondensatordagi ish jarayoni; 3-4-nasos ishi; 4-5-ekonomayzer ishi; 5-6-bug‘ qozonida bug‘ hosil bo‘lishii; 6-1-bug‘ni bug‘ qizdirgichda qizdirilishi

Suv nasos yordamida bosimi orttirilib, bug‘ qozoniga yuboriladi va barcha jarayonlar takrorlanadi. Bunday siklni Renkin sikli deyiladi. Uning FIKi quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'} \qquad (12.1)$$

bu yerda: h_1, h_2 - turbinadagi adiabatik kengayish jarayoni sodir bo‘lishiidagi bug‘ning boshlang‘ich va oxirgi entalpiyasi.

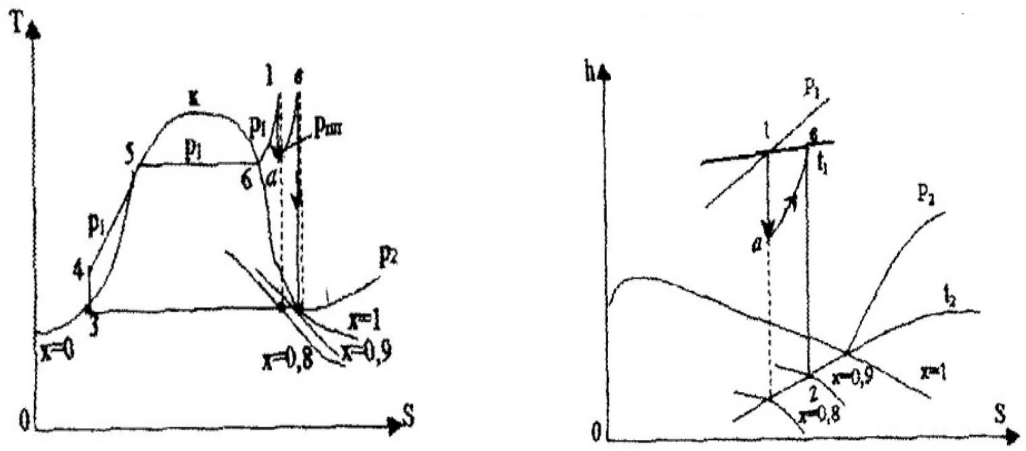
$h_2' = c_p t_2$; - P_2 bosimdagi qaynayotgan suvning entalpiyasi. Bu ifodaga kattaliklarni suv bug‘ining h-s diagrammasidan olinadi.

12.2. Oraliq qizdirishli bug‘ turbina qurilmalari sikli

Renkin siklini FIK ni oshirish turbinaga kelayotgan bug‘ning bosimi va haroratini oshirish kerak. Buning uchun ishlatilayotgan bug‘ni oraliq qizdiriladi, ya'ni turbinaning yuqori bosim qismida ishlatilgan bug‘ oraliq qizdirgichda qizdirilib turbinaning past bosimli qismiga yuboriladi.

Buning natijasida bug‘ turbina qurilmasining FIK 3-5 % ortadi.

T-s va h-s diagrammalarda bu siklning ko‘rinishi quyidagicha bo‘ladi.

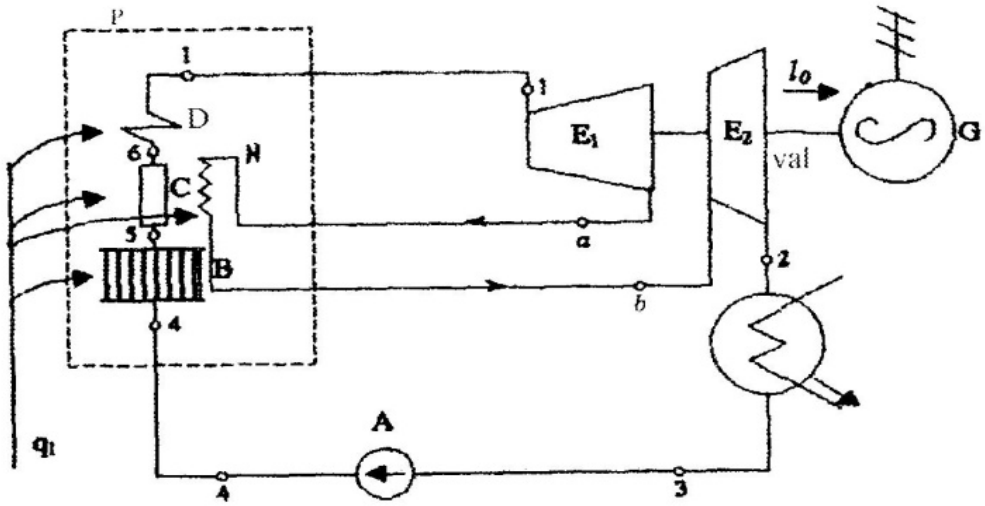


12.3-rasm. Oraliq qizdirishning T-s va h-s diagrammalari.

Oraliq qizdirishli sikl uchun FIK:

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_a) + (h_в - h_2)}{(h_1 - h_2') + (h_в - h_a)} \qquad (12.2)$$

h_1, h_2, hc, hв lar suv bug‘ining h-s diagrammasidan olinadi.



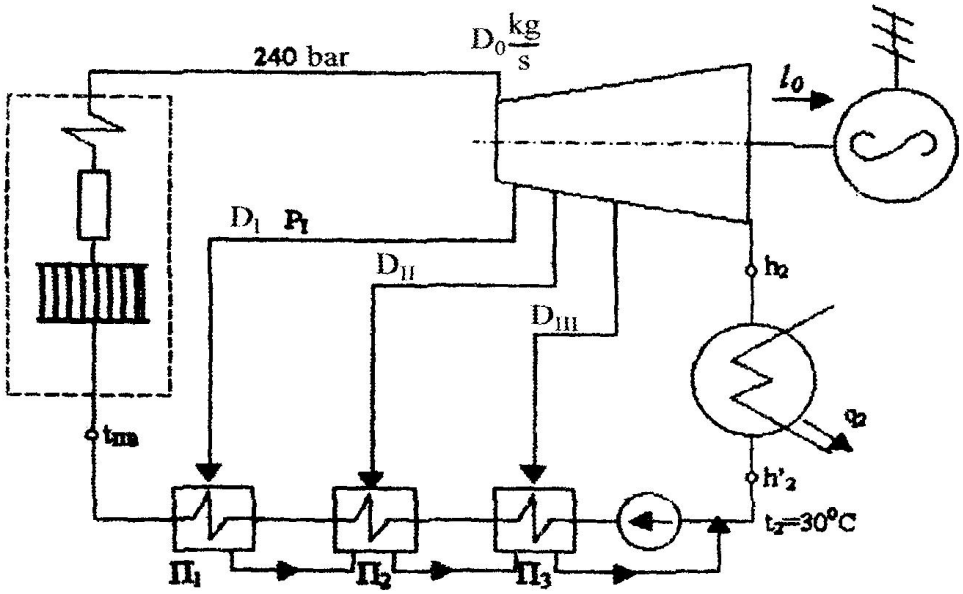
12.4-rasm. Bug‘ni oraliq qizdirishni chizma tasviri.

E_1 – bug‘ turbinasining yuqori bosimli qismi; E_2 – bug‘ turbinasining past bosimli qismi; H- oraliq qizdirgich.

Renkin siklini yanada FIKni oshirish uchun regenerativ qizdirgichlar qo‘llaniladi. Bug‘ turbina qurilmasining regenerativ siklida bug‘ turbinasidagi bug‘ning bir qismi olinib, uning issiqligi yordamida suv qizdirib olinadi. Bunda suv buq’ qozoniga 230^0C bilan keladi.

Regenerativ suv qizdirgichlarning qollanishi natijasida FIK 10-12% ga oshadi. Bundan tashqari ishchi parraklarning balandligini kamaytirishga olib keladi.

Bug‘ turbina qurilmasini regenerativ siklining chizma tasviri:



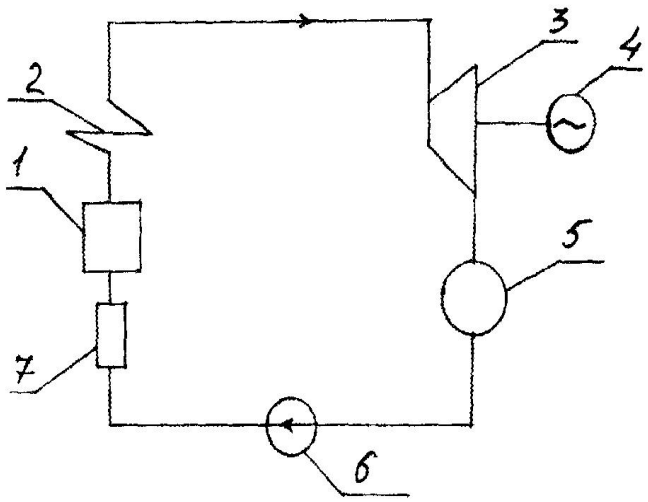
12.5-rasm. Suvni regenerativ isitilishining chizma tasviri

$П_1$, $П_2$, $П_3$ – regenerativ suv qizdirgich lar; D_0- buq’ sarfi , D_I, D_{II}, D_{III} – I, II, III bug‘ni olinishidagi sarfi; $P_{1\ ol}$ – bug‘ni olinishidagi bosim.

12.3. Issiqlik bilan ta'minlash asoslari

IEM, ya'ni issiqlik elektr markaz deb, ham elektr energiya, ham issiqlik energiyasi bilan ta'minlovchi stansiyalarga aytiladi. Bu qurilmaning avvalgi qurilmalaridan farqi shuki, bug‘ turbinasida ishlatilib bolingan bug‘ning miqdori kondensatorga emas, balki iste'molchiga kelib tushadi. Natijada bug‘ni turbinada ishlatilishi tufayli va uning parraklari aylanish tufayli mexanik energiya, songra elektr energiya hosil bo‘ladi. Uning chizma tasviri 12.6-rasmda keltirilgan.

Iste'molchiga borgan qismidan, issiq suv va issiqlik bilan ta'minlanadi. Shu sharoitda ishlaydigan elektrstansiyalarni issiqlik elektr markazlar deyiladi.



12.6-rasm. Issiqlik bilan ta'minlashning chizma tasviri

1-bug‘ qozoni; 2- buq’ qizdirgich ; 3-buq’ turbinasi; 4- elektr generator ; 5-iste'molchi; 6- kondensat nasosi; 7-isitgich.

Masala.

$P_1 = 50$ bar, $t_1 = 500^0$C va $P_2 = 0{,}1$ bar bo‘lgandagi entalpiyalar qiymatlari:

$h_1 = 3440$ kJ/kg; $h_2 = 2210$ kJ/kg ; $h_2' = 192$ kJ/kg;

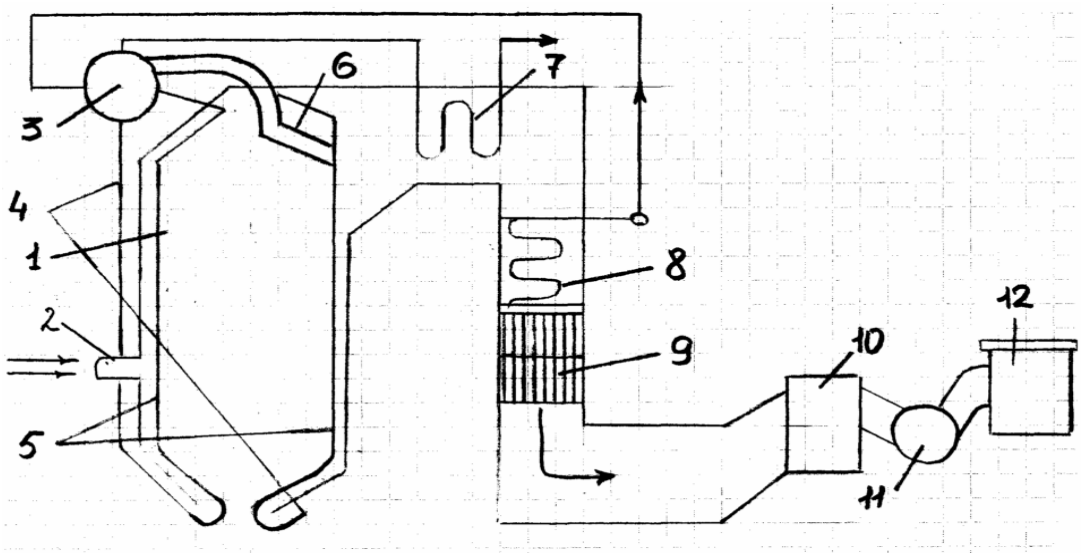
$$\eta_t = \frac{3440 - 2210}{3440 - 192} = 0{,}38.$$

12.4. BUG‘ QOZONLARI

Suv bug‘ini hosil qiladigan qurilmaga bug‘ qozoni deb ataladi. Suv bug‘i bug‘ dvigatelllarini harakatga keltiradi, sanoat va qishloq xo‘jaligining ishlab chiqarishdagi ehtiyojlarida va binolarni isitishda ishlatiladi. Issiq suv ishlab chiqarishda, umumiy va yashash uylarini isitishda, hamda aholining kommunal-maishiy ehtiyojlari uchun ishlatiladi. Bug‘ qozonlarida yoqilg‘idan ajralgan issiqlik yordamida bug‘ hosil qilinadi. Zamonaviy bug‘ qozonining chizma tasviri 60-rasmda keltirilgan va u bug‘ qizdirgich, suv ekonomayzeri va havo qizdirgichdan iborat. Bug‘ qozonda hosil bo‘lgan bug‘ning harorati ortadi, bu esa bug‘ turbina qurilmasini foydali ish koeffitsiyentini oshishiga olib keladi.

Suv ekonomayzeri va havo qizdirgich qozonda yoqilgan yoqilg‘ining issiqligidan yaxshi foydalanish uchun o‘rnatiladi.

Qozon agregati tarkibiga quyidagilar kiradi: o‘txona qurilmasi (gorelka bilan kamera); qozon agregatining asosiy elementlaridan biri bo‘lgan bug‘ qozoni, unda bug‘ hosil bo‘ladi; bug‘ berilgan parametrlargacha qizdiriladigan bug‘ qizdirgich, bug‘ qozoniga beriladigan suvni isitish uchun mo‘ljallangan ekonomayzer va yoqilg‘ini yoqish uchun o‘txonaga beriladigan havoni qizdirish uchun havo qizdirgichlar kiradi.

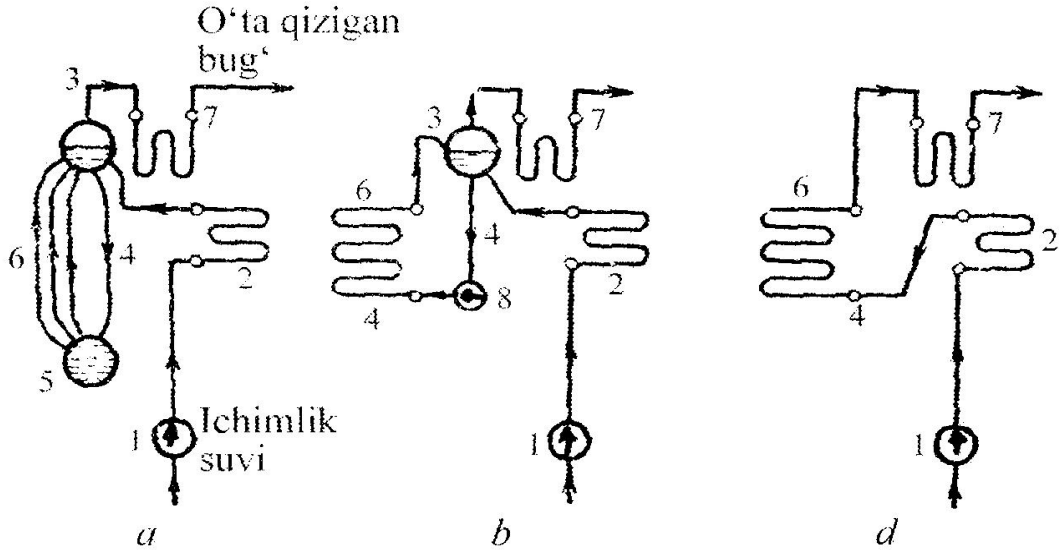


12.7-rasm. Tabiiy sirkulyatsiyaga ega bo‘lgan bug‘ qozoni:

1-o‘choq kamerasi; 2-gorelka; 3-baraban; 4-suvni olib tushuvchi quvurlar; 5-bug‘ hosil qiluvchi quvurlar: 6-orqa ekranning davomi (feston); 7-bug‘ qizdirgich ; 8-ekonomayzer; 9-havo qizdirgich ; 10-kukun ushlovchi; 11-tutun suruvchi; 12-tutun so‘ruvchi quvur.

O‘choqda yoqilg‘i yoqiladi, buning natijasida ajralib chiqqan issiqlik miqdorining bir qismi nurlanish yo‘li bilan bug‘ hosil qiluvchi quvurlarga uzatiladi. Bu sirtlar ekran deb ataladi. Yonib bo‘lgan mahsulotlar bug‘ qizdirgich , havo qizdirgichdan o‘tib tutun so‘ruvchi yordamida atmosferaga chiqarib yuboriladi.

Iste'mol suvi nasos yordamida ekonomayzerga beriladi, bu yerda suv toyinish haroratigacha qizdirib, bug‘ qozonining barabaniga keladi. Bu yerdan suv tushuvchi quvurlar orqali 5 ekran quvuriga keladi. Ekran quvurlarida hosil bo‘lgan bug‘ va suv aralashmasi 3 barabanga kelib tushadi va bu erda suvdan bug‘ ajratiladi. Bug bug‘ qizdirgichga yuborilib o‘ta qizigan bug‘ hosil qilinadi.



12.8-rasm: a – tabiiy sirkulyasiyali bug‘ qozoni; b - sun'iy sirkulyasiyali bug‘ qozoni; d - barabansiz bug‘ qozoni; 1-nasos; 2-ekonomayzer; 3-baraban; 4- suvni haydovchi quvur; 5-kollekto‘r ; 6-bug‘ hosil qiluvchi quvurlar; 7- bug‘ qizdirgich.

Bug‘ qozonlari suvning harakatlanishiga ko‘ra 3 hil bo‘ladi:

1. Tabiiy ravishda bug‘ va suv aralashmasi harakatlanadigan bug‘qozonlari (61, a-rasm)
2. Sun'iy ravishda sirkulyatsiya bo‘ladigan (nasos yordamida) bug‘ qozonlari (61, b-rasm)
3. Barabanga ega bo‘lmagan bug‘ qozonlari (61, v-rasm)

Bug‘ ishlab chiqarish uchun mo‘ljallangan inshooat va qurilmalar kompleksi qozon agregati bilan qo‘shimcha qurilmalardan tashkil topadi.

Qozon qurilmasining asosiy ish xarakteristikalariga quyidagilar kiradi:

Bug‘ unumdorligi (qozonning quvvati), bu vaqt birligida hosil bo‘lgan bug‘ miqdori bilan aniqlanadi.

Bug‘ning parametrlari (bosimi va o‘ta qizish harorati)

Qozon agregatining foydali ish koeffitsienti

Qozon qurilmalarini quyidagi belgilarga ko‘ra tasniflash mumkin:

1. Bug‘ unumiga ko‘ra:

a) past unumli 15-20 t/soat

b) o‘rtacha unumli 25(30 dan 160(220 t/soat gacha

v) yuqori unumli 220(250 t/soat va yuqori

2. Bug‘ bosimga ko‘ra:

a) past bosimli 9 at gacha (1 MPa)

b) o‘rta bosimli 14-40 at (1,4(4 MPa)

v) yuqori bosimli 100 at (140 at

g) yuqori kritik bosimli 255 at

12.5. Qozon qurilmasining issiqlik balansi

Issiqlik balansi deb, qozon qurilmasida yoqilg‘ining yonishida ajralib chiqqan issiqlikni foydali ishlatilgan issiqlikka va issiqlikni yoqolishiga taqsimlanishiga aytiladi. Issiqlik balansi 1 kg qattiq (suyuq) yoki 1 m^3 gazsimon yoqilg‘i uchun qozon qurilmasida o‘rnatilgan issiqlik holatiga ko‘ra tuziladi.

Issiqlik balansining tenglamasi (kJ/kg, kJ/m^3) quyidagi ko‘rinishga ega

$$Q^{и}_{к} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \qquad (12.3)$$

yoki foizda ifodalanishi

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100\ \% \qquad (12.4)$$

bu yerda $q_1=(\frac{Q_1}{Q^{и}_{к}})\ 100\%$, $q_2=(\frac{Q_2}{Q^{и}_{к}})\ 100\ \%$

(100) va (101) tenglamalarida $Q^{и}_{к}$ mavjud issiqlik; Q_1 (q_1) – qozon qurilmasida buq’ olish uchun foydali ishlatilgan issiqlik; Q_2 (q_2) – chiqib ketayotgan tutun gazlari bilan yoqolgan issiqlik,– Q_2 (q_3) yoqilg‘ini ximik noto‘liq yonishida yo‘qolgan issiqlik; Q_4 (q_4) – yoqilg‘ini mexanik noto‘liq yonishida yo‘qolgan issiqlik; Q_5 (q_5) –atrof muhitga yo‘qolgan issiqlik; Q_6 (q_6) – shlakning fizik issiqligi bilan yo‘qolgan issiqlik.

Mavjud issiqlik (kJ/kg, kJ/m^3) 1 kg qattiq (suyuq) yoki 1 m^3 gazsimon yoqilg‘i uchun quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$Q^{и}_{м} = Q^{и}_{к} + Q_{ёк} + Q_{Х} + Q_{ф} + Q_{к} \qquad (12.5)$$

bu yerda

$Q^{и}_{к}$ va $Q^{к}_{к}$ – – ishchi massaviy qattiq va suyuq yoqilg‘ining va quruq massaviy gazsimon yoqilg‘ining quyi yonish issiqligi, kJ/kg, kJ/m^3;

Q_{tl} – yoqilg‘ining fizik issiqligi; kJ/kg, kJ/m^3;

$Q_{Х}$ – o‘txonaga havo bilan kirgan issiqlik, kJ/kg, kJ/m^3;

Q_{f} – o‘txonaga bug‘li purkanish bilan kirgan issiqlik, kJ/kg, kJ/m^3;

Q_{k} – slanetslarning yonishida karbonatlarning joylashishiga sarflangan issiqlik, kJ/kg.

Yoqilg‘ining fizik issiqligi

$$Q_{yoq} = c^{и}_{ёк} \cdot t_{yoq} \qquad (12.6)$$

bu erda $c^{и}_{ёк}$ – ishchi massaviy yoqilg‘ining issiqlik sig‘imi, kJ/kg ^{0}C;

$t_{ёк}$ – o‘txonaga kirayotgan harorati, ^{0}C.

Ishchi massaviy yoqilg‘ining issiqlik sig‘imi

$$c^{и}_{ёк} = c^{к}_{ёк} \frac{100 - W^4}{100} + c_{H_2O} \frac{W^4}{100} \qquad (12.7)$$

bu yerda $c^{к}_{ёк}$ c_{H_2O} va c_{H_2O} – mos ravihda quruq massaviy qattiq yoqilg‘ining va suvning issiqlik sig‘imi, kJ/kg •K.

$c^{к}_{ёк}$ antsratsit uchun 0,921, toshko‘mir uchun – 0,962, qung‘ir ko‘mir uchun – 1,088, frezer torflari uchun – 1,297 va slanetslar uchun – 1,046 ga teng.

Mazutning issiqlik sig‘imi

$$c_{yoq} = 1,74 + 0,0025\, t_{yoq} \qquad (12.8)$$

Qozon qurilmasidan tashqarida yoqilg‘i oldindan qizdirilganda (mazutni qizdirish, yoqilg‘ini quritish va boshqalar) uning fizik issiqligi hisobga olinadi.

O‘txonaga havo bilan kiritilgan issiqlik

$$Q_h = \alpha_y V^0 c'_{p_x} \Delta t_x \qquad (12.9)$$

bu yerda α_y o‘txonadagi havoning ortiqchalik koeffitsiyenti,

V_0 – 1 kg yoqilg‘ini yoqish uchun kerakli havoning nazariy hajmi, m^3/ kg;

c'_{p_x} - bosim doimiy bo‘lganda havoning o‘rtacha hajmiy issiqlik sig‘imi, kJ/m^3•K; havoning harorati 300 gacha bo‘lganda c'_{p_x} = 1,33 kJ/m^3•K;

Δt_x – qizdirilgan va sovuq havoning haroratlari farqi, ^{0}C.

O‘txonaga bug‘li purkanish bilan kiritilgan issiqlik

$$Q_ф = W_ф (i_ф – 2510) \qquad (12.10)$$

bu yerda $W_ф$ va $i_ф$ mos ravishda purkashga yoki yoqilg‘ini changlantirishga berilgan sarfi va entalpiyasi, kg/kg, kJ/kg. Purkash uchun $W_ф$ = 0,7…0,8 kg/kg, bug‘li forsunkalarda changlantirish uchun $W_ф$ =0,35 kg/kg, Bug‘-mexanikli forsunkalar uchun $W_ф$q=,03…0,035 kg/kg.

Slanetslarni yondirishda karbonatlar joylashishiga sarflangan issiqlik

$Q_q = 40,6\ k(CO_2)^и_к$

bu yerda k – karbonatlar joylashishi koeffitsiyenti.

qozon qurilmasida foydali ishlatilgan issiqlik (kJ/kg)

$$Q_1 = \frac{Д_{укб}}{B}[(h_{o‘qb} – h_{is}) + \frac{P}{100}(h_{qs} – h_{tb})] + D_{tb}(h_{tb} – h_{is}) \qquad (12.11)$$

bu yerda D_{uqb} , D_{tb} – mos ravishda o‘ta qizigan va to‘yingan bug‘ning sarfi, kg/s; V – natural yoqilg‘I sarfi, kg/s; h_{uqb} , h_{tb}, h_{is}, h_{qs} – mos ravishda o‘ta qizigan, toyingan, iste'mol suvining va qozon suvining entalpiyasi, kJ/kg; P

– to‘xtovsiz purkash kattaligi, %

Suv isitish qozonlarida foydali ishlatilgan issiqlik

$$Q_1 = \frac{M_c}{B}[(h_2 – h_1) \qquad (12.12)$$

bu yerda h_1 va h_2 – mos ravishda qozonga kirgan va chiqqan suvning entalpiyasi, kJ/kg;

M_s – suvning sarfi, kg/s.

qozon qurilmasida foydali ishlatilgan issiqlik (%)

$$q_1 = (\frac{Q_1}{Q^и_д}) \ 100\% \qquad (12.13)$$

Chiqib ketayotgan tutun gazlari bilan issiqlikning yo‘qolishi

$Q_2 = (V_{chiq} \ Sr_{chiq} \theta_{chiq} - \alpha_{chiq} \ V^0 c'_{px} \ t_h) \ (100 - q_4) / 100$ bundan

$$Q_2 = (J_{chiq} - \alpha_{chiq} \ J^0_{cx}) \ (100 - q_4) / 100 \qquad (12.14)$$

bu yerda V_{chiq} – qozon qurilmasidagi oxirgi gaz yo‘lidan chiqqan (tutun) gazlarining hajmi, m^3/kg;

sr_{chiq} – bosim doimiy bo‘lganda gazlarning o‘rtacha hajmiy issiqlik sig‘imi, $kJ/m^3 K$;

$\theta_{чиқ}$ - oxirgi gaz yo‘lidan chiqib ketayotgan gazning harorati, ^0C;

α_{chiq} - qozon qurilmasidan tashqarigi havoning ortiqchalik koeffitsiyenti;

V_0 – 1 kg yoqilg‘ini yondirish uchun kerakli havoning nazariy hajmi, m^3/kg;

t_h – qozonxonadagi xonaning harorati, ^0C;

q_4 – mexanik noto‘liq yonishda yo‘qolgan issiqlik; %;

J_{chiq} , J^0_{cx} - mos ravishda yonish mahsulotlarining va sovuq havoning entalpiyasi, kJ/kg.

Yoqilg‘ining kimyoviy noto‘liq yonishida issiqlikning yo‘qolishi yonish mahsulotlarida CO miqdori bilan aniqlanadi:

$$Q_3=237(C^и+0,375S^и_у)CO/(RO_2+CO) \qquad (12.15)$$

bu yerda Si va $C^и_у$ - yoqilg‘idagi uglerod va oltingugurt miqdori , %;

CO – chiqib ketayotgan gazlardagi uglerod oksidining miqdorii, %;

$RO_2 = CO_2 + SO_2$ – chiqib ketayotgan gazlardagi CO_2va SO_2 miqdori , %.

Yoqilg‘ining kimyoviy noto‘liq yonishida issiqlikning yoqolishi (%)

$$q_3 = (\frac{Q_3}{Q^и_р}) \ 100\% \qquad (12.16)$$

Yoqilg‘ining mexanik noto‘liq yonishida issiqlikning yoqolishi uch tashkil etuvchidan tuziladi: yoqilg‘i shlaki $Q^{шл}_и$ (kJ/kg) bilan issiqlikni

yoqolishi, o‘txona panjarasidan yoqilg‘ini tushishida issiqlikning yoqolishi $Q_{и}^{т}$ (kJ/kg) va chiqib ketayotgan gazlarda yoqilg‘i zarrachalari bilan issiqlikning yoqolishi

$Q_{и}^{кет}$ (kJ/kg), ya'ni

$$Q_i = Q_i^{shl} + Q_i^{t} + Q_i^{ket} \qquad (12.17)$$

Yoqilg‘ining mexanik noto‘liq yonishida issiqlikning yoqolishi (%),

$$q_4 = \left(\frac{Q_4}{Q_р^и}\right) 100 = \frac{327 A^4}{Q_р^и}\left(a_{shlt}\frac{c_{shl+t}}{100 - c_{shl+t}} + a_{ket}\frac{c_{ket}}{100 - c_{ket}}\right)$$

bu yerda $A^{и}$ – yoqilg‘idagi kulning miqdori %,

a_{sl+t} , a_{ket} – o‘txonada yoqilg‘i bilan berilgan umumiy kul ulushi, %;

c_{shl+t},$c_{кет}$ –shlakda,proval va olib ketishda yonuvchining miqdori, %.

Atrof-muhitga issiqlikning yo‘qolishi (kJ/kg) qozon qurilmasining sirt yuzasini ulchovlariga, qoplama sifati va issiqlik izolyatsiyasiga bogliq..

Hisoblashlarda atrof muhitga issiqlikning yo‘qolish i normativ boyicha olinadi, qozon qurilmasini tekshirishda esa issiqlik balansi tenglamasida aniqlanadi:

$$Q_5 = Q_р^и - (Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_6) \qquad (12.18)$$

yoki

$$q = 100 - (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \qquad (12.19)$$

Tashqol (shlak) ning fizik issiqligi orqali issiqlikni yoqolishi

$$Q_6 = a_t\, s_t\, t_t A^4 / 100 \qquad (12.18)$$

bu yerda a_t – tashqol (shlak)dagi yoqilg‘i kulining ulushi, kamerali o‘txona uchun $a_т = 1 - a_{un}$, qatlamli o‘txona uchun a_t ga proval $a_{пр}$ dagi yoqilg‘i kulining ulushini qo‘shish kerak.

s_t – tashqolning issiqlik sig‘imi, kJ/kg K;

t_t - tashqolning harorati, ^{0}S;

A^4 – yoqilg‘idagi kulning miqdori , %.

Tashqolning fizik issiqligi orqali (%) issiqlikning yo‘qolishi

$$q_6 = \left(\frac{Q_6}{Q_р^и}\right) 100 = a_t\, s_t\, t_т A^4 / Q_р^и \qquad (12.20)$$

Agregatning (brutto) va qurilmaning (netto) foydali ish koeffitsiyentlari. qozon agregatining (brutto) foydali ish koeffitsiyentlari uning ish samaradorlik darajasini ifodalaydi va u qozon agregatida ishlatilgan issiqlik miqdorining yoqilg‘ining umumiy issiqligiga nisbatiga teng, ya'ni:

$$\eta_{ка}^{бр} = (\frac{Q_1}{Q_р^и})\ 100 \qquad (12.21)$$

yoki

$$\eta_{ка}^{бр} = 100 - (\ q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \qquad (12.22)$$

Qozon qurilmasining (netto) fi.k. o‘z ehtiyojlariga (yoritish, nasoslarni issiqlikdan tushirish va b.) sarflangan issiqlikdan tashqari qozon agregatining fi.k. teng, ya'ni

$$\eta_{кя}^{нт} = \eta_{ка}^{бр} - \frac{Q_{ие}}{BQ_р^и}\ 100 \qquad (12.23)$$

bu yerda Q_{UE} – o‘z ehtiyojlariga sarflangan issiqlik, kJ/kg

Yoqilg‘ining sarfi qozon agregatini issiqlik hisoblashlarida yoqilg‘ining natural va hisobiy sarfi farqlanadi.

Yoqilg‘ining natural sarfi (kg/s) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$B = \frac{D_{УКБ}(h_{УКБ} - h_{ис}) + (P/100)(h_{кс} - h_{ис})D_{ТБ}(h_{ТБ} - h_{ис})}{Q_р^и \eta_{ка}^{бр}}\ 100 \qquad (12.24)$$

bu yerda $\eta_{ка}^{бр}$ - qozon agregatining (brutto) f.i.k., %.

Yoqilg‘ining hisobiy sarfi mexanik noto‘liq yonishni hisobga olib aniqlanadi:

$$B_x = B(1-\frac{qi}{100}) \qquad (12.25)$$

bu yerda q_i - mexanik noto‘liq yonishda issiqlikning yoqolishi

12.6. Bug‘ turbinalari va ularning ishlash uslubi

Bizga ma'lumki, elektr energiyani ishlab chiqarish jarayoni murakkab bo‘lib, u issiqlik elektr stansiyalarida, gidroelektr stansiyalarida atom

elektr stansiyalarida amalga oshiriladi. Issiqlik elektr stantsiyalarining ishlash jarayonini misol qilsak, u yerda ishchi jism bo‘lgan suv bug‘ining issiqlik energiyasini mexanik energiyaga aylanishi hisobiga elektr energiyasi hosil bo‘ladi. Bu esa turbogeneratorlarda amalga oshiriladi. Demak, turbinaning vazifasi ikkita ketma-ket jarayondan tashkil topgan bo‘lib, biri - bug‘ning issiqlik energiyasini kinetik energiyasiga, ikkinchisi - kinetik energiyani mexanik energiyaga aylanishini amalga oshirib beradi. Turbina stator va rotor qismlariga bo‘linadi. Stator bu qo‘zg‘almas qism bo‘lib, unda soplo yo‘naltiruvchi parraklar, taqsimlovchi drossel qurilma, tezliklar regulyatori, podshipniklar, reduktor, moy nasosi va boshqalar joylashgan. Rotor bu qo‘zg‘aluvchan qism bo‘lib, unda val, disk bilan qo‘yilgan bo‘lib ishchi parraklar esa unga o‘rnatilgandir.

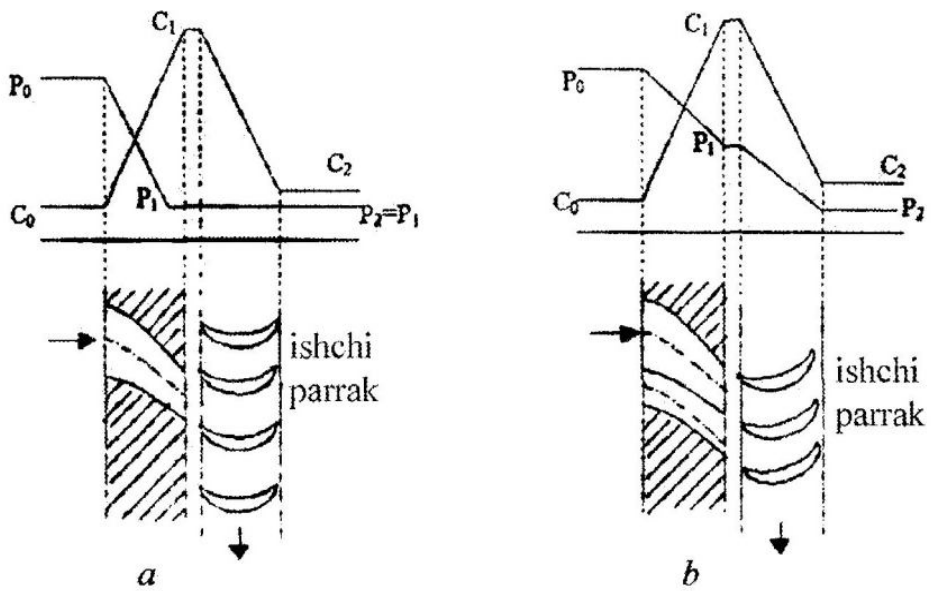
Turbina ikki turga bo‘linadi:

Aktiv turbina

Reaktiv turbina

Aktiv turbinalarda hamma ishlatishi mumkin bo‘lgan issiqlik soploda amalga oshadi, ya'ni vallarda bosim oxirgi bosimgacha kamayadi, ishchi parraklarda esa o‘zgarmaydi. Tezlik soploda ortadi, songra parraklarda sekin-asta kamayadi (27-a rasm).

Reaktiv turbinalarda esa ishlatish mumkin bo‘lgan issiqlikning bir qismi soploda, qolgan qismi esa ishchi parraklarda amalga oshiriladi (27- b rasm).



34-rasm. a) aktiv turbinadagi jarayon; b) reaktiv turbinadagi jarayon

Aktiv turbinaning ishlash uslubini ko‘rib chiqamiz. Buq’ qozonida suvning qaynash natijasida hosil bo‘lgan o‘ta qizigan bug‘, bug‘ harakatlanuvchi quvurlar yordamida bug‘ni taqsimlovchi drossel qurilma (drossel klapani)siga kelib tushadi. U yerdan bug‘ turbinaning asosiy elementi bo‘lgan soploga kelib tushib, u yerda bug‘ning bosimi kamayib tezligi ortadi (ya'ni issiqlik energiyasi kinetik energiyaga aylanadi). Shunday katta tezlik bilan bug‘ soplodan chiqib turbinaning valiga o‘rnatilgan ishchi parraklarga uriladi va natijada parraklar aylana boshlaydi, ya'ni harakat sodir bo‘ladi, kinetik energiya mexanik energiyaga aylanadi.

Turbinaga kelayotgan bug‘ning boshlang‘ich bosimi - P_o soplodan chiqayotgan bug‘ning bosimi - P_1 tezligi esa c_1 ga teng bo‘ladi.

Bug‘ turbinaning birinchi pog‘onasidan uning qo‘zg‘almas qismida joylashtirilgan yo‘naltiruvchi parraklar yordamida ikkinchi pog‘onaga, songra keyingi pog‘onalarga o‘tib harakatini davom ettiradi. Bug‘ P_o bosim bilan soploga yuboriladi. Bu yerda uning potentsial energiyasi kinetik energiyaga aylantiriladi. c_1 tezlik bilan soplodan chiqib, buq’ birinchi qator ishchi parraklarga kelib tushadi, bu yerda uning kinetik energiyasi ishga aylanadi. Shunda uning yonalishi uzaradi. c_2 tezlik bilan birinchi pog‘ona ishchi parraklaridan chiqib, bug‘ birinchi qator yo‘naltiruvchi parraklarga kelib tushib, o‘zini yo‘nalishini o‘zgartiradi va ikkinchi qator ishchi parraklarga kelib tushadi.

So‘ngra bug‘ yerdan ikkinchi qator yo‘naltiruvchi parraklarga kelib tushadi, undan chiqib uchinchi qator ishchi parraklarga yo‘naladi va harakat davom etadi. Turbinaning uchinchi pog‘onasidan chiqayotganda bug‘ juda katta bo‘lmagan tezlikka ega bo‘ladi.

Nazorat uchun savollar

1. Bug’ turbina qurilmalarining izohlab bering.
2. Renkin siklini P-V va T-s diagrammasini sharhlab bering.
6. Renkin siklini FIK ni ifodasini yozib bering.
7. Bug‘ni oraliq qizdirish chizmasini chizing.
8. Suvni regenerativ isitish chizmasini chizib bering.
9. Nima uchun bug‘ni oraliq qizdirish va suvni isitish ishlatiladi?
10. Bug’ qozonining asosiy vazifasi nimadan iborat?
11. Bug’ qozonining ekonomayzeri nimaga xizmat qiladi?
12. Bug’ qizdirgich buq’ qozonining qaysi qismida joylashgan.

XIII bob. GAZ TURBINA QURILMALARI

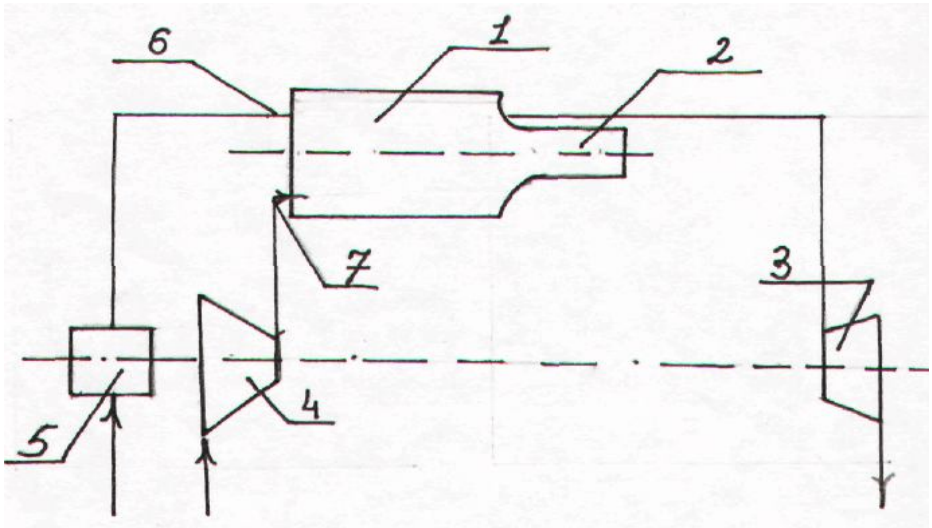
Porshenli ichki yonuv dvigatellarining asosiy kamchiligi quvvatining cheklanganligi, ishchi jismni adiabatik kengayishini atmosfera bosimiga olib borib bo‘lmasligidir. Bunday kamchilik gaz turbina qurilmalarida bo‘lmaydi. Ularda ishchi jism sifatida suyuq yoki gaz yoqilqilarni yonishidan hosil bo‘lgan mahsulotlari ishlatiladi. Ishchi jism yuqori harorat va bosim bilan yonish kamerasidan soploga yuboriladi va katta tezlik bilan turbinaning parraklariga uriladi, uning kinetik energiyasi mexanik energiya olish uchun ishlatiladi.

GTQ ning ichki yonuv dvigatellariga qaraganda ancha qulaylik tomonlari bor: kam metall sarflanishi, og‘irligini kamligi, quvvatini kopligi, yuqori aylanishlar soniga ega. Lekin ularni qurishda ro‘p masalalarni yechishga to‘g‘ri keladi. Eng avval turbinaga kelayotgan gazning haroratini oshirish zarur, bu esa GTQ sining f.i.k.ni oshiradi.

13.1. P=const bo‘lgandagi issiqlik keltiruvchi GTQ sining sikli

P=const bo‘lganda yoqilg‘ini yonishiga ega bo‘lgan siklning chizma tasviri 13.1-rasmda ko‘rsatilgan.

Kompressor (4) da siqilgan havo forsunka (7) orqali va yoqilg‘i nasos (5) dan forsunka (6) orqali yonish kamerasi (1) ga kelib tushadi.



13.1-rasm. P=const bo‘lgandagi issiqlik keltiruvchi GTQ sikli

1-yonish kamerasi; 2- soplo; 3-gaz turbinasi; 4-turbokompressor, 5-yoqilg‘i; 6-forsunka; 7-forsunka.

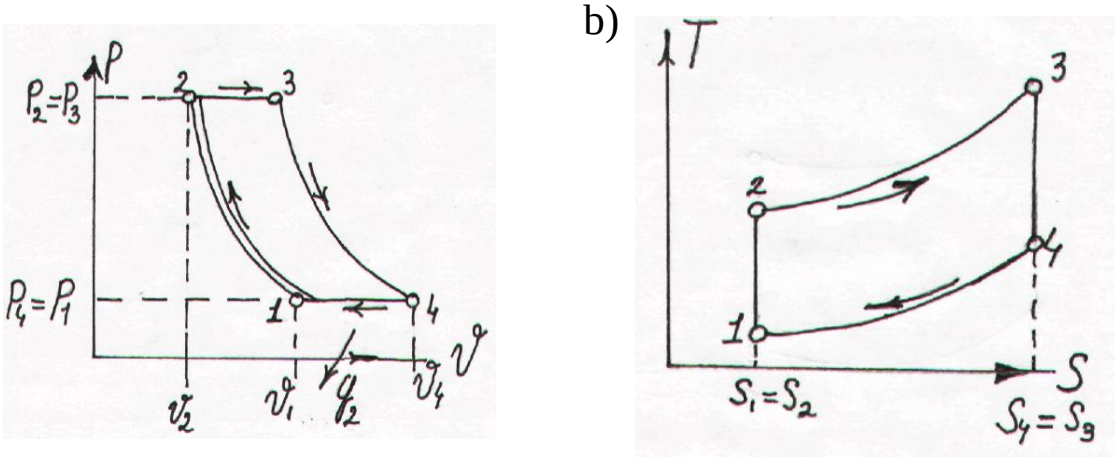
Bu yerda yonish jarayoni amalga oshadi va yonish mahsulotlari soploga tushib, bu erda ishchi jism atmosfera bosimiga yaqin bo‘lgan bosimgacha kengayadi. So‘ngra soplodan gaz turbinasi (3) ning ishchi parraklariga kelib urilib, atmosferaga chiqarib ketadi.

Shunday siklni P-v, T-s diagrammasi 13.1-rasmlarda ko‘satilgan.

Ishchi jism P_1, V_1 , T_1 parametrlar bilan adiabatik ravishda 1-2 chiqildi. So‘ngra ishchi jism issiqlik keltirildi, bu izobara chizig‘i 2-3 orqali amalga oshirildi.

So‘ngra ishchi jism turbinada adiabatik kengayadi (3-4 chizih’i), So‘ngra ishchi jism avvalgi boshlang‘ich holatiga qaytadi (4-1 chiziqi). Bu siklning xarakteristikasi bo‘lib, bosimni oshirish darajasi $\beta=\frac{P_2}{P_1}$ va izobar kengayish darajasi $\rho=\frac{v_3}{v_2}$ hisoblanadi.

a) b)



13.1-rasm. a) P=const gaz turbina qurilmasining P-v diagrammasi b) P=const gaz turbine qurilmasining T-s diagrammasi

Siklning f.i.k.ni hisoblaymiz:

$$\eta_t^{\text{ГТК}} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \qquad (13.1)$$

Keltirilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = c_p (T_3 - T_2) \qquad (13.2)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori esa

$$q_2 = c_p (T_4 - T_1) \qquad (13.3)$$

T_2 , T_3 , T_4 , haroratlarni T_1 orqali ifodalaymiz.

1-2 adiabata orqali:

$$\frac{T_2}{T_1} = (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad . \qquad (13.4)$$

bundan:

$$T_2 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad . \qquad (13.5)$$

2-3 izobara orqali: $\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho \quad .$ (13.6)

bundan: $T_3 = T_2 \cdot \rho$ ва $T_3 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \rho$ (13.7)

3-4 adiabata orqali:

$$\frac{T_4}{T_3} = (\frac{P_4}{P_3})^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = (\frac{P_1}{P_2})^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \frac{1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}, \qquad (13.8)$$

bundan: $T_4 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \rho \frac{1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = T_1 \cdot \rho$ (13.9)

Shu qiymatlarni f.i.k. ifodasiga qo‘yish bilan quyidagini hosil qilamiz.

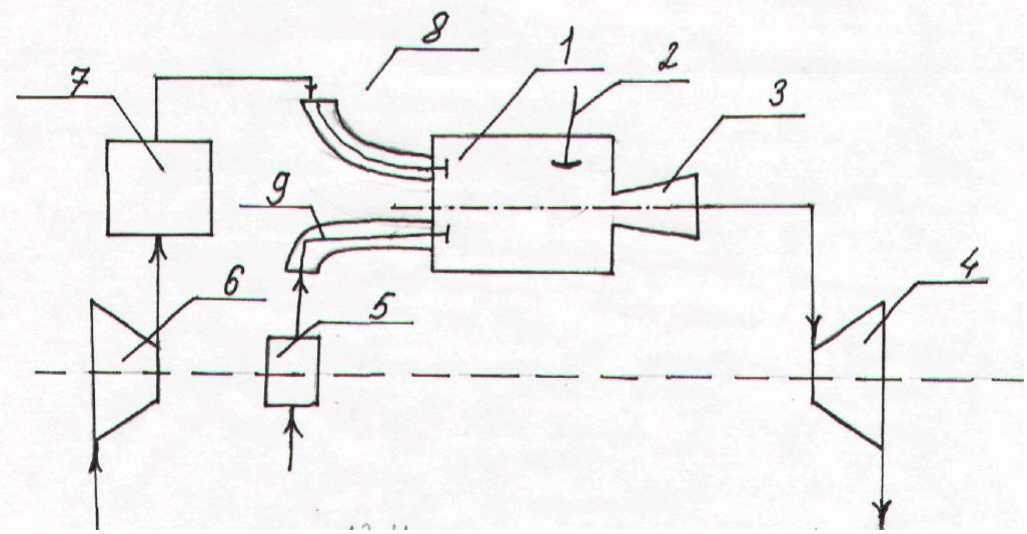
$$\eta_t = 1 - \frac{T_1\rho - T_1}{T_1\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\rho - T_1\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = 1 - \frac{\rho - 1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}(\rho - 1)}, \qquad (13.10)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} \qquad (13.11)$$

Bu ifodadan ko‘rinib turibdiki, FIK bosimni oshirish darajasiga va adiabata ko‘rsatkichiga bogliq ekan.

13.2. V=const jarayonida issiqlik keltiruvchi gaz turbina qurilmasining sikli

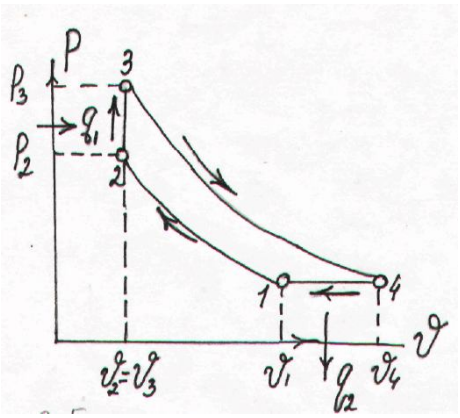
Kompressorda siqilgan havo ressiver orqali havo klapanidan yonish kamerasiga kelib tushadi. U yerga yoqilg‘i nasosidan yoqilg‘i tushib, yonish jarayoni bo‘ladi, So‘ngra yonishda hosil bo‘lgan mahsulotlar gaz turbinasiga tushib, ishlatilib bulingan gazlar tasqariga chiqarib yuboriladi.



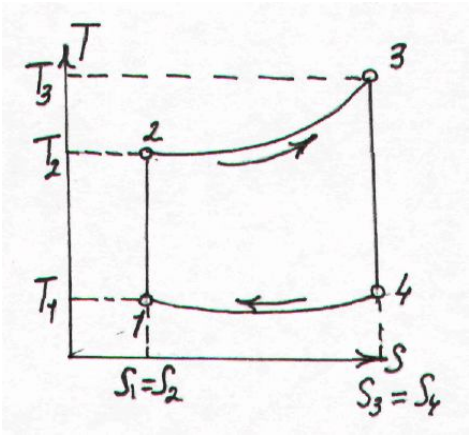
13.2-rasm. V=const gaz turbina qurilmasining chizma tasviri

Bunday siklning P-v va T-s diagrammasini quyidagi chizmada ko‘ramiz.

a)



b)



13.3 -rasm. a) V=const bo‘lganda issiqlik keltiruvchi siklning P-v diagrammasi; b) V=const bo‘lganda issiqlik keltiruvchi siklning T-s diagrammasi

Keltirilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = c_V (T_3 - T_2) \qquad (13.12)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori i esa

$$q_2 = c_p (T_4 - T_1)$$

q_1 va q_2 ning qiymatlarini FIK aniqlash ifodasiga qo‘yib, quyidagilarni olamiz:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_V(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{\kappa(T_4 - T_1)}{T_3 - T_2} \qquad (13.13)$$

T_2 , T_3 , T_4 haroratlarni T_1 orqali ifodalaymiz.

1-2 adiabata orqali:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad . \qquad (13.14)$$

bundan:

$$T_2 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad . \qquad (13.15)$$

2-3 izoxora orqali:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} = \lambda \quad . \qquad (13.16)$$

bundan:

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda \quad \text{ва} \quad T_2 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \lambda \qquad (13.17)$$

3-4 adiabata orqali:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{P_1}{P_3}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{P_1}{P_2\lambda}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \frac{1}{(\lambda\beta)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}, \qquad (13.18)$$

bundan:

$$T_4 = T_3\left(\frac{1}{\beta\lambda}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \lambda\left(\frac{1}{\beta\lambda}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \text{ва} T_4 = T_1 \lambda^{\frac{1}{\kappa}} \qquad (218)$$

Shu qiymatlarni FIK ifodasiga quyish bilan quyidagini hosil qilamiz.

$$\eta_t = 1 - \frac{\kappa(\lambda^{\frac{1}{\kappa}} - 1)}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}(\lambda - 1)}, \qquad (219)$$

(183) ifodadan ko‘rinib turibdiki, siklning FIK κ , β , λ kattaliklarni ortishi bilan ortadi.

Masala

Bosim o‘zgarmas bo‘lgandagi gaz turbina qurilmasining (P=const) siklini har bir nuqtasidagi parametrlarini, foydali ishini, keltirilgan va olib ketilgan issiqlikni, FIKni aniqlang, agar P_1=1 бar, t_1=27^{0}C t_2=700^{0}C,λ=P_2/P_1=10; κ=1,4 berilgan bo‘lsa. Ishchi jism – havo. Issiqlik sig‘imini o‘zgarmas deb hisoblang.

YEchish:

1-nuqta: $t_2=700^0C, \lambda=P_2/P_1=10$; $\kappa=1,4$ m^3/kg

2-nuqta:

$\frac{T_2}{T_1}=(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{k-1}{k}}$; $T_2=T_1(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{k-1}{k}}=T_1\lambda^{\frac{k-1}{k}}$

$T_2=300\ 10^{0,4/1,4}=300\ 1,93=579$ K

$t_2=306^0C$

$\frac{P_2}{P}=\lambda$ $P_2=P_1\lambda=1\cdot10=10$ бar

$P_2v_2=RT_2$ $v_2=\frac{RT_2}{P_2}=\frac{287\cdot579}{10\cdot10^5}=0,166\ m^3/kg$

3-nuqta: : $T_3=700+273=973$ K

$P_3=P_2=10$ бar

$v_3=v_2\frac{T_3}{T_2}=0,166\frac{973}{579}=0,279\ m^3/kg$

Issiqlik miqdori:

$q_1=q_{2-3}=c_p(T_3-T_2)=(29,31/28,96)(973-579)=399$ kJ/kg

$q_2=q_{4-1}=c_p(T_4-T_1)=(29,31/28,96)(500-300)=202$kJ/kg

Tsiklning ishi:

$\ell_0=q_1-q_2=399-202=197$ kJ/kg

Tsiklning termik FIK:

$\eta_t=1-q_2/q_1=1-(202/399)=0,494$

Nazorat uchun savollar

1. Gaz turbina qurilmalarining asosiy qulayliklari.
2. GTQ larni qaerlarda qurish mumkin?
3. V=const issiqlik keltiruvchi siklning chizma tasvirini chizib ko‘rsating.
4. V= const issiqlik keltiruvchi siklning P-V va T-s diagramasini chizib ko‘rsating.
5. P= const issiqlik keltiruvchi siklning chizma tasvirini chizib ko‘rsating.
6. P= const issiqlik keltiruvchi siklning P-V va T-s diagramasini chizib ko‘rsating.
7. Ikkala siklning FIK qanday kattaliklarga bog‘liq.

Tayanch iboralar

Holat parametrlari – ishchi jismning holatini aniqlovchi kattalik;

Holat tenglamasi – termik parametrlarning o‘zgarish ifodasi;

Termodinamik sistema - o‘zaro va atrof muhit bilan issiqlik almashinadigan jismlar majmuasiga

Issiqlik sig‘imi – jismga qancha miqdorida issiqlikni berilishi ;

Issiklik miqdori – energiyaning issiqlik usulida uzatilishi

Ish - energiyaning ish usulida uzatilishi

Termodinamikaning I qonuni – issiqlikni bajarilgan ishga aylanishi;

Termodinamik jarayonlar – ishchi jismni holatini izohlash;

Termodinamikaning II qonuni – issiqlikning bir qismini ishga aylanishi va qolganini sovutgichga berilishi;

Issiqlik manbai – issiqlikni ishchi jismga berilishi;

Sovutkich – ishchi jismdan issiklikni qabul qilish ;

Foydali ish koeffitsiyenti (FIK) – issiqlikni qanchasini ishga aylanishi;

Suv bug‘i – termodinamik jarayonlarda ishtirok etuvchi ishchi jism;

Qaynash – jismning agregat holatini o‘zgarishi;

Kondensatsiya – qaynayotgan jismdan issiqlikning olib ketilishi tufayli kondensatning hosil bo‘lishii;

Mezon – issiqlik uzatilishidagi kattaliklarning fizik ma'nosini ifodalaydigan o‘lchamsiz kattalik;

Issiqlik balansi – berilgan va sarflangan issiklikning muvozanati;

Bug‘ turbina qurilmalari (BTQ) – ishchi jism issiqligini bajarilgan ishga aylanishida ishtirok etuvchi qurilma;

Gaz turbina qurilmalari (GTQ) - yoqilg‘ining yonishidan hosil bo‘lgan gazlarni ishlatuvchi qurilma;

Ichki yonuv dvigatellari (IYOD) - yoqilg‘ining yonishida hosil bo‘lgan issiqlikni ishlatishda ish bajaradigan qurilma;

Qozonxona – bug‘ hosil qiluvchi qurilma;

Kondensator – bug‘ni suvga aylantiruvchi qurilma;

Ekonamayzer – suvni isitib beruvchi qurilma.

Izohli sozlar

Parametr – kattalik;
Absolyut – mutloq;
Ishchi jism – gaz yoki bug‘
Solishtirma – moddaning birligi;
Entalpiya – to‘liq energiya;
Entropiya – issiqlik aylanishi;
Eksergiya – maksimal ish;
Izobarik jarayon – bosimi o‘zgarmas jarayon;
Izoxorik jarayon – hajmi o‘zgarmas jarayon;
Izotermik jarayon – harorati o‘zgarmas jarayon;
Adiabatik jarayon – tashqi muhit bilan issiqlik almashilmaydigan jarayon;
Politropik jarayon – jarayonlarning mujassamliligi;
Sikl – aylanma jarayon;
Fazaviy o‘tish – bir fazadan ikkinchi fazaga o‘tish holati;
Bug‘lanish – jism yuzasidan suyuqlikni bug‘ holatga o‘tishi;
Sublimatsiya – qattiq holatdan bug‘ holatga o‘tish;
Desublimatsiya – gaz holatdan qattiq holatga o‘tish;
Erish – qattiq holatdan suyuq holatga o‘tish;
Konveksiya – jism zarrachalarining siljishi;
Kriteriy - mezon;
1.t.n.e. – 1 tonna neft ekvivalenti (1 t.sh.yo. *1,5)

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Zohidov R.A., Avezov R.R., Vardiyashvili A.B., Alimova M.M. Issiqlik texrukasining nazariy asoslari. O'q.qo'l. T. 1-qism. –T; ToshDTU 2005.

2. Баскаков А.П. Теплотехника. Учеб. для вузов -М.:
Энергоатомиздат, 2001.

3. Бахшиева Л.Т. / Под ред. А.А. Захаровой. Техническая термодинамика и теплотехника. Учеб. пособие для вузов -М.: Академия, 2006.

4. Кудинов В.А., Карташов Е.М. Техническая термодинамика. Учеб. для вузов -М.: Высшая школа. 2005.

5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С Теплопередача. Учеб. для вузов Учеб. для вузов М.:~ Энергия, 1981.

6. Андрианова Т.Н. и др. Сборник задач по технической термодинамике. Учеб. для вузов М: Мел, 2000 .

7. Краснощеков К.А., Сукомел А.С. Сборник задач по теплопередаче. Учеб. пособие для вузов. М: Энергия, 1991.

8. Мр://dhes.ime.mrsu.ru/studies/tot/tot_lit.htm

Mundarija

	Kirish	3
1 bo‘lim	**Texnik termodinamika**	
I bob.	**Ideal gazlarning xususiyatlari**	5
1.1	Ishchi jism va termodinamik tizim	5
1.2	Asosiy termodinamik holat parametrlari	5
1.3	Ideal gazning hola ttenglamasi	8
1.4	Real gazning holat tenglamasi	10
1.5	Ideal gazar alashmalari	11
II bob.	**Termodinamikaning birinchi qonuni**	14
2.1	Ideal gazlarning issiqlik sig‘imi	14
2.2	Termodinamik jarayonda ish va issiqlik miqdori	16
2.3	Ichki energiya va entalpiya	18
2.4	Termodinamikaning birinchi qonuni	20
2.5	Entropiya	21
III bob.	**Asosiy termodinamik jarayonlarning taxlili**	23
3.1	Izobarik jarayon	23
3.2	Izoxorik jarayon	24
3.3	Izotermik jarayon	26
3.4	Adiabatik jarayon	27
3.5	Politropik jarayon	29
IV bob	**Termodinamikaning ikkinchi qonuni**	33
4.1	Aylanma jarayonlar	33
4.2	Karno sikli	34
4.3	Termodinamikaning ikkinchi qonuni	36
V bob	**Suv bug‘i**	38
5.1	Bug‘lanish va bug‘ning termodinamik parametrlar	38
5.2	Suv bug‘ining P-V diagrammasi	39
5.3	Suyuqlik va quruq bug‘ning asosiy parametrlari.	42
5.4	Nam to‘yingan va o‘ta qizigan suv bug‘ning asosiy parametrlari	44
5.5	Suv bug‘ining T-s diagrammasi	44
5.6	Suv bug‘ining h-s diagrammasi	45
5.7	Suv bug‘i bilan bo‘ladigan jarayonlar	46
II bo‘lim	**Issiqlik almashinuvi**	49
VI bob	**Issiqlik o‘tkazuvchanlik**	49
6.1	Asosiy tushunchalar	50
6.2	Barqaror holatda yassi bir qatlamli va ko‘p qatlamli devo‘rning issiqlik otkazuvchanligi	51

6.3	Barqaror holatda bir qatlamli silindrik devo‘rning issiqlik o‘tkazuvchanligi	53
VII bob	**Konvektiv issiqlik almashinuvi**	55
7.1	Asosiy tushunchalar	55
7.2	O‘xshashlik nazariyasi asoslari	57
7.3	Quvurlarda majburiy oqimda issiqlik berish	58
7.4	Erkin harakatlanishda issiqlik berilishi	59
VIII bob	**Nurlanish usulida issiqlik uzatilishi**	63
8.1	Asosiy tushunchalar	63
8.2	Nurlanishning asosiy qonunlari	64
IX bob	**Issiqlikning uzatilishi**	67
9.1	Bir qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishi	67
9.2	Ko‘p qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatish	68
9.3	Bir qatlamli va ko‘p qatlamli silindrik devor orqali issiqlik uzatish	69
9.4	Issiqlik izolyatsiyasi. Kritik diametr.	70
Xbob	**Issiqlik almashuv apparatlari**	72
10.1	Issiqlik almashuv apparatlari	72
III.bo‘lim.	**ISSIQLIK ENERGETIK QURILMALARI**	75
XIbob.	**Yoqilg‘i**	75
11.1	Yoqilg‘ining tarkibi va asosiy xususiyatlari	75
11.2	Yoqilg‘ining yonish issiqligi.	75
11.3	Havoning hajmi. Yonish mahsulotlarining hajmi va massasi.	77
XIIbob	**Bug‘ turbina qurilmalari**	79
12.1	Buq turbina qurilmalari sikli	79
12.2	Oraliq qizdirishli buq turbina qurilmalari sikli	81
12.3	Issiqlik bilan ta'minlash asoslari	83
12.4	Bug' qozonlari	84
12.5	Qozon qurilmasining issiqlik balansi	86
12.6	Bug‘ turbinalari va ularning ishlash uslubi	91
XIII bob	**Gaz turbina qurilmalarining sikllari**	94
13.1	Bosim o‘zgarmas bo‘lgandagi issiqlik keltiruvchi GTQ sining sikli	94
13.2	Hajm o‘zgarmas bo‘lgandagi issiqlik keltiruvchi GTQ sining sikli	97
	Tayanch iboralar	100
	Izohli sozlar	101
	Adabiyotlar	102