

1-AMALIY MASHG'ULOT. ASOSIY TERMODINAMIK HOLAT PARAMETRLARI. IDEAL GAZ HOLAT TENGLAMALARI.

Tayanch iboralar: *ideal gazlar, ideal gaz qonunlari, bosimlar nisbati, hajmlar nisbat, universal gaz doimiysi, gazning zichligi, molekulyar massa.*

XVII – XIX asrlarda atmosfera bosimiga yaqin bosimlarda gazlar o'zini qanday tutishini tekshirgan tadqiqotchilar empirik yo'l bilan bir qancha muhim qonuniyatlarni ochdilar. Molekulalari orasida itarish va tortishish kuchlari bo'lmagan va molekulalari hech qanday hajmga ega bo'lmagan gazlarga **ideal gazlar** deyiladi.

Ideal gazlar Boyle–Mariot, Gey – Lyussak va Avogadro qonunlarga bo'ysunadi.

1. **Boyle–Mariot** qonuni tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Boyle-Mariott harorat o'zgarmaganda solishtirma hajm bilan mutlaq bosim orasidagi bog'lanishni aniqlagan. Bu qonun ingliz fizigi **Boyle tomonidan 1664 yilda** va fransuz ximigi **Mariott tomonidan 1676 yilda** ochilgan va quyidagicha ta'riflanadi: **harorat o'zgarmaganda, bosimlar nisbati, hajmlar nisbatiga teskari proporsional.**

Ta'rifni boshqacharoq aytsak: *Gazning doimiy miqdori (massasi o'zgarmas bo'lganda) bir xil haroratda ($T_1 = T_2$) $P_1 V_1$ ko'rsatkichli $P_1 V_1$ holatdan, $P_2 V_2$ holatga o'tganda uning bosimi hajmiga teskari proporsional o'zgaradi:*

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{yoki} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (1.9)$$

2. **Gey – Lyussak** qonuni. Gey-Lyussak tomonidan yanabir qonun yaratilgan bo'lib, ujisimning bosimio'zgarmagan holni tekshirdi.

Bu qonun, bosim o'zgarmaganda, mutlaq harorat bilan solishtirmahajm orasidagibog'lanishni ifodalaydi va quyidagicha ta'riflanadi: **bosim o'zgarmaganda, solishtirmahajmlar nisbati, haroratlarni nisbatiga to'g'ri proporsional.**

Ta'rifni boshqacharoq aytsak: *Agar o'zgarmas bosim ostidagi ($P_1 = P_2$) bir xil miqdordagi (1 kg) gaz isitilsa yoki sovutilsa, gazning hajmi uning absolyut haroratiga to'g'ri proporsional o'zgaradi:*

$$V_1 / V_2 = T_1 / T_2 \quad (1.10)$$

3. **Avogadro** qonuni. Bir xil bosim, harorati va hajmidagi har hil molekulalar soni teng bo'ladi. Bir xil harorati va bosimda, gazning zichligi ρ , molekulyar massasi μ ga proporsional bo'ladi.

$$\rho_1 / \rho_2 = \mu_1 / \mu_2 \quad (1.11)$$

Va bir birlik massa uchun

$$\mu_1 V_1 = \mu_2 V_2 \quad (1.12)$$

Normal sharoitda ($p=760 \text{ mm.sim.ust.}, t = 0^\circ \text{C}$)

1 kmol uchun:

$$V_\mu = 22,4 \text{ m}^3/\text{kmol},$$

ya'ni

$$V = 22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}. \quad (1.13)$$

Ideal gazning absolyut bosimi bilan solishtirma hajmi ko'paytmasini absolyut haroratga nisbatan o'zgarmas kattalik.

1 kg gaz uchun bu o'zgarmas kattalik R harfi bilan belgilanadi va u **GAZ DOIMIYSI** deyiladi:

$$\frac{Pv}{T} = R \text{ yoki } Pv = RT \quad (1.14)$$

(1.14) tenglama 1 **kg ideal gazning holat tenglamasi** yoki **Klayperon tenglamasi** deyiladi.

(1.14) tenglamaning ikkala qismini m kg ga ko'paytirib gazning ixtiyoriy miqdori uchun holat tenglamasini olamiz

$$PV = mRT \quad (1.15)$$

Gaz doimiysi R ning fizikaviy ma'nosini aniqlaymiz.

$$R = \frac{Pv}{T} = \frac{n}{m^2} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} : k = \frac{n \cdot m}{\text{kg} \cdot k} = \frac{J}{\text{kg} \cdot k}$$

Demak, gazdoimiysi R 1 kg gazning 1°C sitilganda bajarilgan kengayish solish- tirmaishibo'lib, har qanday gaz uchun o'zgarmas kattalikdir.

(1.14) tenglamaning ikkala qismini molekularyarmassa ga ko'paytirib, birmol ideal gaz uchun holat tenglamasini olamiz.

$$PV_\mu = \mu RT \quad (1.16)$$

tenglamadagi R_0 ko'paytma R_0 orqali belgilanadi va universal gaz doimiysi deyiladi. R_0 ning qiymati 1 mol gazning istalgan holati uchun o'zgarmas kattalikdir. (1.14) va (1.15) tenglamalar Klayperon

Mendeleev **tenglamasi** deb ataladi. Qulaylik maqsadida R_0 ning qiymatini normal fizik sharoitlarda his oblaymiz. Normal sharoitda, ya'ni $T_0 = 273,15 \text{ K}$ harorat va $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ atmosferabosimiga teng bosimda har qanday gazning 1 kmol $22,414 \text{ m}^3$ ga teng hajmni egallaydi.

$$V_\mu = 22,414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol bo'ladi}.$$

Bumiqdorlarni (1.14) ga qo'yib universal gaz doimiysining son qiymatini topamiz.

$$R_0 = \frac{P_0 V_\mu}{T_0} = \frac{101325 \cdot 22,414 \cdot 10^{-3}}{273,15} = 8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 8314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$\mu R = R_0$ bo'lgani uchun, gaz doimiysi R ning qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$R = \frac{R_0}{\mu} = \frac{8314}{\mu} \quad (1.17)$$

Masalan, kislorod uchun ($\mu_{O_2}=32$) gaz doimiysi:

$$R_{O_2} = \frac{8314}{32} = 259,8 \frac{J}{kg \cdot K};$$

azot uchun ($\mu_{N_2}=28,02$):

$$R_{N_2} = \frac{8314}{28,02} = 296,8 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Ideal gazlarning muvozanat holatlari uchun uning asosiy parametrlari P, V va T ga ta'luqli asosiy tenglama mavjud. Bu bog'liqlik Klayperon tenglamasi bilan ifodalanadi:

1 kg gaz uchun

$$PV = RT \quad (1.18)$$

Ixtiyoriy M gaz massasi uchun

$$PV = MRT \quad (1.19)$$

bunda, R – gaz doimiysi, $\frac{J}{kg \cdot K}$

Agarda M o'rniga μ (molekulyar massasi) qo'yilsa va $V_\mu = \mu V$ ekanligi e'tiborga olinsa, Klayperon – Mendeleev tenglamasi kelib chiqadi:

$$PV_\mu = R_\mu T \quad (1.20)$$

bu yerda: V_μ – ishchi jismning molekulyar hajmi, $m^3/kmol$; normal sharoitda $V_\mu = 22,4 m^3/kmol$;

$R_\mu = \mu R$ – universal gaz doimiysi.

MASALA YECHISH NAMUNALARI

1-masala: Havoning bosimi 760 mm. simob ustuniga, azotning parsial bosimi 598.2 mm. simob ustuniga teng bo'lsa, havodagi kislorodning parsial bosimini aniqlang.

Yechish: Kislorodning parsial bosimi quyidagiga teng:

$$P_{O_2} = P_{ar} - P_{N_2} = 760 - 598,2 = 161,8 mm \text{ simob ustuni.}$$

2-masala: 16 kg havoning bosimi $P = 0,24 MPa$ va harorati $t = 36^\circ C$ bo'lgandagi hajmi topilsin.

Yechish: Quyidagi holat tenglamasidan:

$$PV = MRT$$

Havoning hajmi

$$V = \frac{MRT}{P} = \frac{16 \cdot 287(36 + 273)}{0,24 \cdot 10^6} = 5,9 \text{ m}^3$$

bu yerda $R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{29} = 287 \text{ m} / \text{kg}^0 \text{S}, \mu = 29 \text{ (ilova, jadval - 1)}$

3-masala: Hajmi 60 m^3 bo'lgan idishning ichidagi karbonat angidridning (CO_2) harorati $t = 17^\circ \text{C}$ va bosimi $P = 7,5 \text{ MPa}$ ga teng. Gazning massasini aniqlang.

Yechish: Holat tenglamasidan gazning massasini topamiz.

$$M = \frac{PV}{RT} = \frac{7,5 \cdot 10^6 \cdot 60}{189 \cdot 290} = 8,21 \cdot 10^3$$

bu yerda $R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{44} = 189 \text{ J} / \text{kg}^0 \text{C}$

$$\mu = 44 \text{ (ilova, jadval-1)}$$

4-masala: Hajmi 45000 l , idish ichidagi gazning harorati $t = 6^\circ \text{C}$ va bosimi $P = 1,7 \text{ MPa}$ va massasi $M = 66 \text{ kg}$. Idish ichidagi gazning turini aniqlang.

Yechish: Idish ichidagi gazning turini uni molekulyar massasi yordamida aniqlash mumkin. Buning uchun holat tenglamasidan

$$\mu = \frac{8314 \cdot MT}{PV} = \frac{8314 \cdot 66 \cdot 279}{1,7 \cdot 10^6 \cdot 45} = 2$$

Demak idish ichidagi gazning turi vodorod ekan.

5-masala: SO gaziberilgan bo'lib, uning bosimi 1 barga, harorati 15°C ga teng.

Shu gazning zichligini toping.

Yechish: Quyidagi formulalardan foydalanamiz:

$$P = \frac{1}{v}, \quad PV = RT, \quad v = \frac{RT}{P} = \frac{297 \cdot 288}{1 \cdot 10^5} = 0,85 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$R_{\text{SO}} = \frac{R_{\mu}}{\mu_{\text{co}}} = \frac{8314}{28} = 297 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$\rho = \frac{1}{0,85} = 1,17 \text{ kg/m}^3$$

1-Amaliyga topshiriq

MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

1-masala: 2 kg azot 140°C harorat va $0,4 \text{ MPa}$ bosimda qanday hajmni egallaydi?

Javob: $V = 1,018 \text{ m}^3/\text{kg}$

2 – masala: Agar monometrning ko'rsatgichi $P=0,245$ MPa bosim barometr orqali $P_{\text{bar}}=93,325$ Pa (700 mm.sm.ust.) ga teng bo'lsa, u holda bug' qozonidagi mutlaq bosimni aniqlang. **Javob:** $P_{\text{mut}}=0,33$ MPa

3-masala: 1 kg azot 70°C harorat va 0,2 MPa bosimda qanday hajmni egallaydi?

Javob: $V=0,509$ m³/kg

4-masala: Bosimi 0,5 MPaga egabo'lgan havosilindrda harakatlanadi, uning hajmi 0,8 m³ ga teng. Agar harorati o'zgarmagan va havoning bosimini

MPaga chaqirilsa hajm qancha ga o'zgaradi? **Javob:** $V=0,5$ m³

5-masala: -20°C li ma'lum miqdorli gazning hajmi, harorati $+20^{\circ}\text{C}$ ga teng bo'lgan gazning hajmidan necha marta kam? Bosimni ikkala holda ham bir xil deb olinadi. **Javob:** 1,16 marta.

6 – masala: O₂ gazi berilgan bo'lib, uning bosimi 23 barga, harorati 280°C ga teng. Kislorodning solishtirma hajmini hisoblang. **Javob:** $V=0,062$ m³/kg

7 – masala: Simobli barometr bilan o'lchangan havoning bosimi 765 mm sm.ust. ga, harorat $t=20^{\circ}\text{C}$ ga teng. Bosimni Paga aylantiring. **Javob:** $P_{\text{bar}} = 1,02352$ Pa.

8 – masala: Agar monometrning ko'rsatgichi $P=0,9$ MPa bosim barometr orqali $P_{\text{bar}}=186,65$ Pa (700 mm.sm.ust.) ga teng bo'lsa, u holda bug' qozonidagi mutlaq bosimni aniqlang. **Javob:** $P_{\text{mut}}=0,66$ MPa

9-masala: 4 kg azot 280°C harorat va 0,8 MPa bosimda qanday hajmni egallaydi?

Javob: $V=2,036$ m³/kg

Nazorat va muhokama savollari:

1. Ideal gaz deb nimaga aytiladi?
2. Ideal gazning xossalari real gazning xossalari bilan farq qiladi?
3. Ideal gaz qonunlarini sanab bering.
4. Bosimlar nisbati, hajmlar nisbatini tushuntiring.
5. Universal gaz doimiysi deb nimaga aytiladi?

2-AMALIY MASHG'ULOT. GAZLARNING ISSIQLIK SIG'IMI

Tayanch iboralar: issiqlik miqdori, issiqlik sig'imi, solishtirma issiqlik sig'imi, Mayer tenglamasi, haqiqiy va o'rtacha issiqlik sig'imi.

Jismning bir gradusga isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori jismning **issiqlik sig'imi** deb aytiladi. Turli xil moddalarni bir xil temperaturagacha isitish uchun ularning har biriga turlicha

miqdordagi issiqlik energiyasini uzatish zarur bo‘ladi. Bu hol moddaning agregat holatiga va tuzilishiga bog‘liq.

Bu ta’rifdan moddaning issiqlik sig‘imi jismning ekstensiv xossasi ekanligi kelib chiqadi. Haqiqatan ham, ayni jism tarkibidagi moddalar qanchalik ko‘p bo‘lsa, shu jism issiqlik sig‘imining kattaligi ham shunchalik katta bo‘ladi.

Modda miqdori birligining issiqlik sig‘imi **solishtirma issiqlik sig‘imi deb aytiladi**. Solishtirma issiqlik sig‘imi moddaning intensiv xossasidir, ya’ni uning kattaligi moddaning tizimdagi miqdoriga bog‘liq bo‘lmaydi. Biz bundan buyon faqat solishtirma issiqlik sig‘imi bilan ish olib borishimiz tufayli solishtirma issiqlik sig‘imini soddagina qilib issiqlik sig‘imi deb ataymiz.

Haqiqiy va o‘rtacha issiqlik sig‘imi

Issiqlik sig‘imini c harfi bilan belgilaymiz. Issiqlik sig‘imining keltirilgan ta’rifi- dan

$$c = \frac{q_{1-2}}{t_2 - t_1} \quad (1.35)$$

ekanligi kelib chiqadi.

Bu yerda: t_1 – boshlang‘ich temperatura; t_2 – oxirgi temperatura;

q_{1-2} – t_1 temperaturadan t_2 temperaturagacha isitish jarayonida modda miqdori birligiga keltirilgan issiqlik.

Issiqlik sig‘imi o‘zgarmas kattalik emas. Temperatura o‘zgarishi bilan u o‘zgaradi, shuning uchun ham (1.35) nisbat yordamida aniqlanadigan issiqlik sig‘imi **haqiqiy issiqlik sig‘imi** deb aytiladigan issiqlik sig‘imidan farqli o‘laroq t_1 – t_2 temperaturalar intervalidagi **o‘rtacha issiqlik sig‘imi** deb aytiladi.

Haqiqiy issiqlik sig‘imi, jismga uni isitish jarayonida keltiriladigan issiqlik miq- doridan shu jismning temperaturasi bo‘yicha hosila olib aniqlanadi:

$$c = \frac{dq}{dt} \quad (1.36)$$

bundan

$$q_{1-2} = \int_{t_1}^{t_2} c dt \quad (1.37)$$

Termodinamikada issiqlik sig‘imi massaviy, molyar va hajmiy issiqlik sig‘imlari- ga ajratiladi. Moddaning massasi birligining temperaturasi 1 °C ga o‘zgartirish uchun zarur bo‘lgan issiqlik miqdori **massaviy issiqlik sig‘imi** deb aytiladi:

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta q}{\Delta T} \cdot \left[\frac{J}{kg \cdot grad} \right] \quad (1.38)$$

Moddaning hajm birligiga keltirilgan issiqlik miqdoriga **hajmiy issiqlik sig‘imi** deb aytiladi:

$$c^1 = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta q}{\Delta T} \cdot \left[\frac{J}{nm^3 \cdot grad} \right] \quad (1.39)$$

Moddaning bir *moli* (yoki kilomoli) ga keltirilgan issiqlik miqdoriga **molyar issiqlik sig‘imi** deb aytiladi:

$$\mu c = \frac{\mu}{m} \cdot \frac{\Delta q}{\Delta T} \cdot \left[\frac{J}{kmol \cdot grad} \right] \quad (1.40)$$

Yuqoridagi kattaliklar o‘rtasida quyidagicha bog‘liqlik mavjud:

$$c = \mu c / \mu; \quad (1.41)$$

$$c^1 = \mu c / 22,4 \quad (1.42)$$

va

$$c^1 = c p \quad (1.43)$$

Gazlar issiqlik sig‘imining molekulyar – kinetik nazariyasi. mayer tenglamasi

Termodinamik hisoblarda o‘zgarmas hajmda gazning issiqlik sig‘imi muhim ahamiyatga ega.

$$C_v = \frac{dq_v}{dT} \quad (1.44)$$

Ya’ni o‘zgarmas hajmda berilgan dq_v issiqlikni jismning dT harorat o‘zgarishiga nisbati izoxorik sig‘imiga teng bo‘ladi.

$P = const$ da issiqlik sig‘imi esa quyidagiga teng:

$$C_p = \frac{dq_p}{dT} \quad (1.45)$$

1 kg gaz uchun termodinamikaning birinchi qonunini yozamiz:

$$dq = du + dl = du + Pdv \quad (1.46)$$

$$dq = CdT \quad (1.47)$$

bu ifodani (1.46) ga qo'ysak,

$$CdT = du + Pdv \quad (1.48)$$

dT ga har ikkala tomonini bo'lamiz:

$$C = \frac{du}{dT} + P \frac{dv}{dT} \quad (1.49)$$

hosil bo'ladi.

Bunda quyidagi hollarni ko'rib chiqamiz.

1) Agar $v = \text{const}$ bo'lsa,

$$dv = 0, \quad P \frac{dv}{dT} = 0 \quad (1.50)$$

U holda,

$$C = C_v = \left(\frac{du}{dT} \right)_v \quad (1.51)$$

(1.51) dan

$$du = C_v dT \quad (1.52)$$

Hosil bo'lgan tenglamani (1.44) ga qo'ysak termodinamika 1 – qonunini issiqlik sig'imi orqali ifodasi hosil bo'ladi:

$$dq = C_v dT + Pdv \quad (1.53)$$

2) Agar $P = \text{const}$ bo'lsa, $dP = 0$ bo'ladi.

$Pv = RT$ tenglamasini integrallaymiz:

$$Pdv + vdP = RdT \quad (1.54)$$

(1.44) dan

$$dq_p = C_p dT \quad (1.55)$$

ni hosil qilish mumkin. (1.54) va (1.55) larni (1.53) ga qo'yamiz va xar ikkala tomonini dT ga bo'lamiz:

$$C_p dT = C_v dT + RdT$$

yoki

$$\boxed{C_p = C_v + R} \quad \text{va} \quad \boxed{C_p - C_v = R} \quad (1.54)$$

Hosil bo'lgan (1.54) tenglama **MAYER tenglamasi deb yuritiladi.**

Haqiqiy gazlar uchun $C_p - C_v > R$, chunki haqiqiy (real) gazlarda ($P = \text{const}$) kengayishda faqat tashqi emas, balki ichki ish ham bajariladi.

Klassik molekulyar – kinetik nazariyaga asosan ideal gaz oralaridagi o'zaro ta'sir kuchlari e'tiborga olinmaydigan absolyut qattiq molekulalardan tashkil topgan deb qaraladi. Bu

molekulalar faqat ilgarilanma va aylanma harakat energiyasiga ega. Molekulaning ilgarilanma harakatini uchta koordinata o'qlari bo'yicha yoyish mumkin, shuning uchun molekula ilgarilanma harakati bo'yicha uchta erkinlik darajasiga egadir. Aylanma erkinlik darajasi gazning atomlar soniga bog'liq.

Bir atomli gaz faqat ilgarilanma harakatning uchta erkinlik darajasiga ega ($i=3$). Ikki atomli gazning molekulasi ham ilgarilanma ham umumiy og'irlik markazi atrofida aylanma harakatda bo'ladi. Shuning uchun ikki atomli gaz 5 ta ($i=5$) erkinlik darajasiga ega, shundan 3 tasi ilgarilanma harakatga, 2 tasi esa aylanma harakatga tegishli.

Uch atomli va ko'p atomli gazlar 6 ta ($i=6$) erkinlik darajasiga ega. Kinetik nazariyadan ma'lumki, ideal gazning idish devoriga bosimi atomlar ilgarilanma harakat kinetik energiyasining $2/3$ qismiga teng, ya'ni

$$P = \frac{2}{3} \frac{nm\bar{w}^2}{2} \quad (1.55)$$

bu yerda: P – gazning bosimi, N/m^2 ; $n - 1\text{ m}^3$ dagi atomlar soni; m – bitta atomning massasi; $\bar{w}^2$ – atomlarning o'rtacha kvadrat tezligi

$$\bar{w}^2 = \frac{(w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_n^2)}{n} \quad (1.56)$$

bunda $w_1, w_2, \dots, w_n$ – alohida atomlar tezligi.

(1.55) tenglamani har ikkala tomonini kilomol hajm V_μ ga ko'paytirib 1 kmol gaz uchun tegishli tenglamani hosil qilamiz:

$$PV_\mu = \frac{2}{3} \frac{nV_\mu m\bar{w}^2}{2} \quad (1.57)$$

Bu tenglamada $nV_\mu = N - 1$ kmol gazdagi atomlar sonini ifodalaydi (N –Avogadro soni):

$$PV_\mu = \frac{2}{3} \frac{Nm\bar{w}^2}{2} \quad (1.58)$$

$\frac{m\bar{w}^2}{2}$ - bitta atomning ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasini ifodalaydi, u

holda 1 kmol bir atomli gazning ichki energiyasi barcha atomlarning kinetik energiyasiga teng bo'ladi:

$$\mu u = \frac{Nm\bar{w}^2}{2} \quad (1.59)$$

(1.58) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$PV_\mu = \frac{2}{3} \mu u \quad (1.60)$$

bundan

$$\mu u = \frac{2}{3} PV_{\mu} \quad (1.61)$$

Bunda $PV_{\mu} = \mu RT$ ekanligini e'tiborga olsak:

$$\mu u = \frac{3}{2} \mu RT \quad (1.62)$$

bo'ladi.

$R = 8,3142 \text{ kJ/kmolK}$, u holda bir atomli gaz uchun:

$$\mu u = \left(\frac{3}{2}\right) 8,3142 T = 12,5 T \quad (1.64)$$

(1.62) tenglamadan ichki energiyadan harorat bo'yicha hosila olamiz:

$$\frac{d \mu u}{dT} = \mu C_v = \frac{3}{2} \mu R \quad (1.64)$$

Bu tenglamadan ko'rinadiki, μC_v haroratga bog'liq emas. Demak, (1.62) tenglama bir atomli ideal gazning ichki energiyasini ifodalaydi, ya'ni bu gaz $PV_{\mu} = \mu RT$ tenglamaga bo'ysunadi, $\mu C_v = \text{const}$.

Bir atomli gazning molyar issiqlik sig'imi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{d \mu u}{dT} = \mu C_v = \frac{3}{2} \mu R$$

Bundan ko'rinadiki, bir atomli gazda harakatning har bir erkinlik darajasiga $12,5:3 = 4,16 \text{ kJ/kmol}^{\circ}\text{C}$ issiqlik energiyasi sarf bo'ladi. Agar (1.64) dan μC_v ning qiymatini Mayer tenglamasiga qo'ysak,

$$\mu C_p = \left[\frac{i+2}{2} \right] \mu R \quad (1.65)$$

yoki bir atomli gaz uchun

$$\mu C_p = \left[\frac{3+2}{2} \right] \cdot 8,3142 \approx 20,8 \text{ kJ/kmol } ^{\circ}\text{C}$$

Issiqlik sig'imini jarayonga va haroratga bog'liqligi

Turli moddalarning issiqlik sig'imlarini xarakterlash ularni o'zaro taqqoslab olish uchun va texnikaviy hisoblashlarda solishtirma issiqlik tushunchasi kiritilgan.

Moddaning miqdor birligi haroratini 1°C ga o'zgartirish uchun zarur bo'ladigan issiqlik miqdori **solishtirma issiqlik sig'imi** deyiladi.

Tanlangan birliklarga qarab turlicha solishtirma issiqlik sig'imlari bo'ladi:

1). 1 kg moddani haroratini 1 °C o'zgartirish uchun sarf bo'lgan issiqlik miqdori solishtirma massaviy issiqlik sig'imi deyiladi, ya'ni

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \cdot \frac{1}{m} \quad \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

2). 1 m³ moddaga nisbatan olingan, solishtirma hajmiy issiqlik sig'imi:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \cdot \frac{1}{V} \quad \frac{J}{m^3 \cdot ^\circ C}$$

3). 1 molga nisbatan olingan solishtirma molyar issiqlik sig'imi:

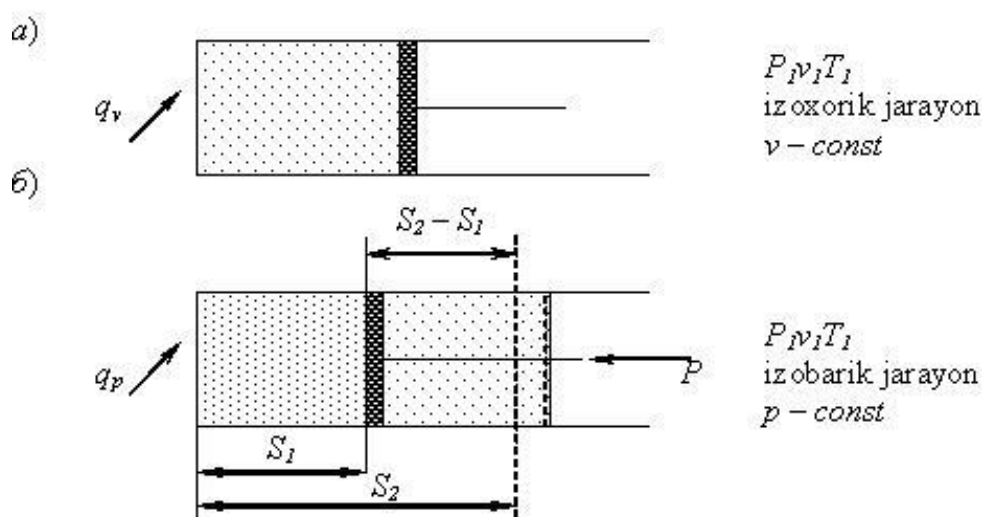
$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \cdot \frac{1}{\mu} \quad \frac{J}{mol \cdot ^\circ C}$$

O'zgaras hajmda va o'zgaras bosimdagi issiqlik sig'imi.

Gazsimon jismlarda issiqlik sig'imi suyuq va qattiq jismlardagidan farq qilib, jismga issiqlik keltirilayotgandagi yoki undan olib ketilayotgandagi tashqi sharoitlarga ko'p jihatdan bog'liq bo'ladi.

Issiqlik texnikasida o'zgaras hajmda ($v=const$) va o'zgaras bosimda ($P=const$) boradigan jarayonlar katta ahamiyatga ega. Jarayonlar o'zgaras hajmda borandagi issiqlik sig'imi – izoxorik issiqlik sig'imi C_v va o'zgaras bosimda

borandaga esa izobarik issiqlik sig'imi C_p deb ataladi. Gaz izoxoraviy isitilganda uning hajmi kengaymaydi. Binobarin, u tashqi kuchlarga qarshi ish bajarmaydi. Gaz izobarik isitilganda kengayib porshenga ta'sir etuvchi P kuchni yongib, porshenni unga siljitadi, ya'ni ish bajaradi. O'zgaras hajmda va o'zgaras bosimdagi issiqlik sig'imlarini tasviri 1.4-rasmda keltirilgan.



1.4-rasm. O'zgarmas hajmda va o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi.

Demak, bir gazning o'zini bir xil sharoitda bir xil haroratgacha qizdirilganda izobarik jarayonda izoxorik jarayonga nisbatan ko'p issiqlik sarflash kerak bo'ladi.

Ikkala silindrda ham gaz bir xil haroratga qadar qizigani uchun ikkinchi holda ($P = \text{const}$) issiqlik bajarilgan ish miqdori qadar (l) ko'p sarflanadi:

$$q_p = q_v + l \quad (1.66)$$

$$l = P (v_2 - v_1) = p \Delta v \quad (1.67)$$

Gazlarning issiqlik sig'imi uning fizikaviy tabiatiga, jarayon bajarayotgan sharoitga, shuningdek, haroratga bog'liq bo'ladi.

Agar issiqlik sig'imi haroratga bog'liq emas deb qabul qilinsa, quyidagi 1.2-jadvaldan foydalanish mumkin.

1.2-jadval

Gazlar	μ_{sv}	μ_{cp}	μ_{cv}	μ_{cp}	$\frac{c_p}{c_v} = k$
	KJ (kmol·K)		Kkal/(kmol·K)		
Biratomli	12,56	20,93	3	5	5/3=1,666
Ikkiatomli	20,93	29,31	5	7	7/5=1,4
Uchvako‘patomli	28,31	37,68	7	9	9/7=1,825

Haqiqiy va o'rtacha molyar issiqlik sig'imlarining

0-1000

⁰Charotlar oralig'ida qiymatini hisoblash uchun interpolyatsion formulalari 1.3-jadvalda berilgan.

1.3-jadval

Gazlar	$P = \text{const}$ dagi haqiqiy issiqlik sig'imi, kJ/(kmol·K)	$P = \text{const}$ dagi o'rtacha issiqlik sig'im kJ/(kmol·K)
N ₂	$\mu_{sv} = 28,5372 + 0,0005390 t$	$\mu_{cp}^1 = 28,7340 + 0,002349 t$
O ₂	$\mu_{cp} = 29,5802 + 0,006971 t$	$\mu_{cp}^1 = 29,20,80 + 0,004072 t$
H ₂	$\mu_{cp} = 28,3446 + 0,003152 t$	$\mu_{cp}^1 = 28,7210 + 0,001201 t$
CO ₂	$\mu_{cp} = 28,7395 + 0,005862 t$	$\mu_{cp}^1 = 28,8563 + 0,00268 t$
SO ₂	$\mu_{cp} = 41,3597 + 0,013204 t$	$\mu_{cp}^1 = 38,3955 + 0,010584 t$
SO ₂	$\mu_{cp} = 42,8728 + 0,013204 t$	$\mu_{cp}^1 = 40,4386 + 0,009956 t$
havo	$\mu_{cp} = 28,7558 + 0,005721 t$	$\mu_{cp}^1 = 28,8270 + 0,002708 t$
N ₂ O (bug')	$\mu_{cp} = 32,8367 + 0,011661 t$	$\mu_{cp}^1 = 33,1494 + 0,005275 t$

MASALA YECHISH NAMUNALARI

1 – masala. $C = \text{const}$ deb hisoblab, kislorodning bosim va hajmi o'zgarmagandagi hajmiy issiqlik sig'imini aniqlang.

Yechish: Ikki atomli gazlar uchun:

$$\mu C_v = 20,93 \text{ kJ} / \text{kmol} \cdot \text{K}$$

$$\mu C_p = 29,31 \text{ kJ} / \text{kmol} \cdot \text{K}$$

$$\text{demak kislorod uchun } C_v^1 = \frac{\mu C_v}{22,4} = \frac{20,93}{22,4} = 0,934 \text{ kJ} / \text{m}^3 \cdot \text{K}$$

$$C_p^1 = \frac{\mu C_p}{22,4} = \frac{29,31}{22,4} = 1,308 \text{ kJ} / \text{m}^3 \cdot \text{K}$$

2 – masala. Issiqlik sig'imini temperaturaga chiziqli bog'lanmagan deb hisoblab, bosim o'zgarmas bo'lganda $200 - 800^\circ\text{C}$ [$\text{kJ/kg} \cdot \text{grad}$] oralig'ida havo uchun o'rtacha issiqlik sig'imi C_{pm} hisoblansin.

Yechish. O'rtacha issiqlik sig'imi formulasi $C_m = \frac{q}{t_2 - t_1}$ ba $q_p = c_{pm2}t_2 - c_{pm1}t_1$ formulalardan

foydalanib:

$$(C_{pm})_{t_1}^{t_2} = \frac{C_{pm2}t_2 - C_{pm1}t_1}{t_2 - t_1}$$

Jadvaldan havo uchun quyidagini olamiz.

$$(C_{pm})_0^{800} = 1,0710 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{grad}$$

$$(C_{pm})_0^{200} = 1,0115 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{grad} \text{ bulardan:}$$

$$(C_{pm})_{200}^{800} = \frac{1,0710 \cdot 800 - 1,0115 \cdot 200}{800 - 200} = 1,091 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{grad}$$

2-Amaliyga topshiriq

MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

1– masala. Harorat bog'liqligiga e'tibor bermasdan kislorodning doimiy hajmdagi va doimiy bosimdagi massaviy issiqlik sig'imini aniqlang.

Javob: $C_v = 0,655 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$; $C_p = 0,916 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

2–masala. Havoning issiqlik sig'imi haroratga bog'liq emas deb hisoblab uning doimiy bosimidagi va doimiy hajmdagi, massaviy va xajmiy issiqlik sig'imlarini aniqlang. **Javob:**

$$C_v = 0,722 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}; C_p = 1,012 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}; C_v^1 = 0,935 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K};$$

$$C_p^1 = 1,308 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$$

3–masala. Uglerod oksid gazining hajmi o'zgarmaganda $(\mu S_{rm})_0^{1200} = 32,192 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{gr}$ bo'lgandagi $0 \div 1200^\circ \text{C}$ haroratlar oralig'idagi o'rtacha massaviy va o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imini aniqlang.

Javob: $\mu S_r - \mu S_v = \mu R \approx 8,314 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{gr}$. $\mu S_v \int_0^{1200} = 23,877 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{gr}$. $\mu S_{vm} \int_0^{1200} = 0,8528 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{gr}$

4–masala.

$200 \div 800^\circ \text{C}$ haroratlar oralig'idagi bosimo'zgarmaganda havoning o'rtacha issiqlik sig'imini aniqlang, bunda issiqlik sig'imini haroratga bog'liqligini chiziqli masdebbhisoblang.

Javob: $S_{rm} \int_{200}^{800} = 1,091 \text{ kJ/kg}\cdot\text{gr}$.

5–masala. Issiqlik sig'imining haroratga bog'liq ravishda o'zgarishi chiziqli bo'lmagan holat uchun, o'zgarmas bosim ostida, tarkibi $r_{CO_2} = 0,145\%$, $r_{O_2} = 0,065\%$, $r_{N_2} = 79,0\%$ bo'lgan 1 m^3 gazlarning aralashmasini 200°C dan 1200°C gacha qizdirish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdori topilsin.

Javob: $q_r = 1582 \text{ kJ/m}^3$.

6–masala. Uglerod oksid gazining hajmi o'zgarmaganda $(\mu S_{rm})_0^{1200} = 64,384 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{gr}$ bo'lgandagi $0 \div 2400^\circ \text{C}$ haroratlar oralig'idagi o'rtacha massaviy va o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imini aniqlang.

Javob: $\mu S_r - \mu S_v = \mu R \approx 8,314 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{gr}$. $\mu S_v \int_0^{1200} = 47,754 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{gr}$. $\mu S_{vm} \int_0^{1200} = 1,7056 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{gr}$

7–masala.

$400 \div 1600^\circ \text{C}$ haroratlar oralig'idagi bosimo'zgarmaganda havoning o'rtacha issiqlik sig'imini aniqlang, bunda issiqlik sig'imini haroratga bog'liqligini chiziqli masdebbhisoblang.

Javob: $S_{rm} \int_{200}^{800} = 2,182 \text{ kJ/kg}\cdot\text{gr}$.

8–masala. Issiqlik sig'imining haroratga bog'liq ravishda o'zgarishi chiziqli bo'lmagan holat uchun, o'zgarmas bosim ostida, tarkibi $r_{CO_2} = 0,29\%$, $r_{O_2} = 0,13\%$, $r_{N_2} = 158,0\%$ bo'lgan 1 m^3 gazlarning aralashmasini 200°C dan 1200°C gacha qizdirish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdori topilsin.

Javob: $q_r = 3164 \text{ kJ/m}^3$

Nazorat va muhokama savollari:

1. Isiqlik miqdorini tushuntiring
2. Issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi?
3. Solishtirma issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi?
4. Mayer tenglamasini yozing

3-AMALIY MASHG'ULOT. IDEAL GAZ ARALASHMALARI

Tayanch iboralar: *gazlar aralashmasi, Dalton qonuni, parsial bosim, gazlar aralashmasining tarkibi, massaviy ulushlar, hajmiy ulushlar, gazoanalizatorlar.*

Ishchi jism ko'pincha bir necha gazlarning aralashmasidan iborat bo'ladi. Masalan, ichki yonuv dvigatellarida tarkibiga vodorod, kislorod, uglerod II oksid, azot, karbonat angidrid va suv bug'lari kiradigan yonish maxsulotlari ishchi jismni tashkil qiladi.

Gazlar aralashmasining barcha tarkibiy qismlari bir xil harorat va bir xil to'la hajmga ega deb faraz qilinsa, har qaysi komponent, barcha aralashma kabi, ideal gazning holat tenglamasiga bo'ysunadi. Bu holda aralashmani hosil qiluvchi bir – biri bilan kimyoviy reaksiyaga kirishmaydigan komponentlarining bosimi Dalton qonuniga bo'ysunadi.

Dalton qonuni

Dalton qonunining ta'rifi: **Gazlar aralashmasining bosimi aralashma tarkibiga kiruvchi komponentlarning parsial bosimlarining yig'indisiga teng:**

$$P = p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

bunda $p_1 + p_2 + \dots + p_n$ - aralashma komponentlarining parsial bosimlari.

Gazlar aralashmasidagi biror komponent aralashma haroratida bo'lib, bir o'zi shu aralashma egallagan hajmni to'ldirganda ko'rsatadigan bosimi, ayni shu komponentning (gazning) **parsial bosimi** deyiladi. Dalton qonuni ideal gazlar uchungina o'rinalidir.

Aralashma tarkibining berilish usullari

Gazlarni aralashmasining tarkibi shu aralashma tarkibiga kiruvchi har qaysi komponentning miqdori bilan aniqlanadi. Aralashmaning tarkibi, odatda, massaviy yoki hajmiy ulushlar bilan beriladi.

Agar massasi m bo'lgan aralashma n ta komponentdan tashkil topgan bo'lsa, u holda aralashmadan ayrim komponentlarning massaviy ulushlari quyidagiga teng:

$$g_1 = \frac{m_1}{M_{ar}}; g_2 = \frac{m_2}{M_{ar}}; \dots; g_n = \frac{m_n}{M_{ar}}; \quad (1.21)$$

bu yerda $m_1, m_2, \dots, m_n$ – aralashmani hosil qiluvchi komponentlarning massalari.

Ma'lumki, aralashmadagi komponentlar massalarining yig'indisi barcha aralash- maning massasiga teng bo'ladi:

$$m_1 + m_2 + \dots + m_n = M_{ar} \quad (1.22)$$

Bu tenglik gazlar aralashmasi **massaviy tarkibining tenglamasi deyiladi.**

Agar massaviy ulushlarni qo'shsak:

$$g_1 + g_2 + \dots + g_n = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{M_{ar}} = \frac{M_{ar}}{M_{ar}} = 1$$

hosil bo'ladi.

Demak, aralashma komponentlarining massaviy ulushlarining yig'indisiga birga teng:

$$g_1 + g_2 + \dots + g_n = 1 \quad (1.23)$$

(1.23) tenglikka gazlar aralashmasi **nisbiy massaviy tarkibining tenglamasi deyiladi.**

Agar n ta komponentdan tarkib topgan aralashmaning umumiy hajmi v bo'lsa, u holda aralashmadagi komponentlarning hajmiy ulushlari quyidagiga teng bo'ladi:

$$r_1 = \frac{v_1}{V_{ar}}; r_2 = \frac{v_2}{V_{ar}}; \dots; r_n = \frac{v_n}{V_{ar}}; \quad (1.24)$$

bu yerda $v_1, v_2, \dots, v_n$ – aralashma tarkibiga kiruvchi komponentlarning parsial hajmlari.

Aralashma tarkibiga kiruvchi komponentning shu aralashma haroratidagi va bosimidagi hajmi uning parsial hajmi deyiladi.

Gazlar aralashmasidagi komponentlar parsial hajmlarining yig'indisi aralashma- ning umumiy hajmiga teng:

$$v_1 + v_2 + \dots + v_n = V_{ar} \quad (1.25)$$

U holda, hajmiy ulushlarning yig'indisi birga teng bo'ladi:

$$r_1 + r_2 + \dots + r_n = 1 \quad (1.26)$$

Massaviy va hajmiy ulushlar orasida quyidagi bog'lanish bor:

$$r_i = \frac{g_i R_i}{R} \quad (1.27)$$

bu yerda: v_i – komponentning hajmiy ulushi; R_i – komponentning gaz doimiysi; R – aralashmaning gaz doimiysi; g_i – komponentning massaviy ulushi.

Aralashma tarkibi, hamda uni komponentlar ko'rsatkichlari orqali ifodalash

Agar aralashmaning tarkibi berilgan va komponentlarining termodinamik xossalari ma'lum bo'lsa, hamda aralashmaning umumiy bosimi berilgan bo'lsa, u holda aralash- maning termodinamik xossalarini topish mumkin.

Masalan, aralashma 3 ta komponentdan iborat bo'lsin. Har qaysi komponent uchun Klapeyron tenglamasini yozamiz:

$$p_1 v = m_1 R_1 T$$

$$p_2 v = m_2 R_2 T$$

$$p_3 v = m_3 R_3 T$$

bu yerda p_1, p_2, p_3 – komponentlarning parsial bosimlari; v – aralashmaning hajmi; m_1, m_2, m_3 – komponentlarning massalari; T – barcha komponentlar uchun bir xil bo'lgan absolyut harorat.

Yuqoridagi ifodalarni qo'shamiz:

$$(p_1 + p_2 + p_3) v = (m_1 R_1 + m_2 R_2 + m_3 R_3) T$$

bunda Dalton qonuniga ko'ra $p_1 + p_2 + p_3 = P$ bo'ladi, u holda:

$$P v = (m_1 R_1 + m_2 R_2 + m_3 R_3) T \quad (1.28)$$

$$P v = m R T \quad (1.29)$$

(1.28) ni (1.29) ga bo'lamiz va aralashmaning gaz doimiysini aniqlaymiz:

$$R = \frac{m_1 R_1 + m_2 R_2 + m_3 R_3}{m} \quad (1.30)$$

yoki

$$R = g_1 R_1 + g_2 R_2 + g_3 R_3 \quad (1.31)$$

$$R = \frac{R_0}{\mu} \quad \text{ni etiborga olsak,}$$

$$R = g_1 R_1 + g_2 R_2 + g_3 R_3 = R_0 \left(\frac{g_1}{\mu_1} + \frac{g_2}{\mu_2} + \frac{g_3}{\mu_3} \right) \quad (1.32)$$

Aralashmaning solishtirma hajmi:

$$P V = m R T$$

dan

$$\frac{P V}{m} = R T$$

$$\text{bunda } \frac{V}{m} = v$$

$$P v = R T$$

yoki

$$v = \frac{R T}{P}$$

Gazning parsial bosimi massaviy ulush orqali Klapeyron tenglamasidan aniqlash mumkin:

$$P_i = \frac{m_i R_i T}{V} = P \frac{m_i R_i}{m R} = P g_i \frac{R_i}{R} = P g_i \frac{\mu}{\mu_i} \quad (1.33)$$

Agargazning tarkibi hajmiy ulushlardaberilsa, Boyl – Mariott qonunidan foydalanib, parsial bosimni $T = \text{const}$ da quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$P_i V = P V_i \text{ Ba } P_i = P \frac{V_i}{V} = r_i P \quad (1.34)$$

(1.34) tenglamaga asosan, xar bir gazning parsial bosimi gazlarga aralashmasi umumiy bosimining hajmiy ulushiga ko'paytma sigateng. Gazlarning

hajmiy ulushlari maxsus qurilmalar – gazoanalizatorlari yordamida aniqlanadi.

MASALA YECHISH NAMUNALARI

1-masala: Tutun gazlarining tarkibi quyidagicha: $CO_2=5 \text{ kg}$, $CO=2 \text{ kg}$, $N_2=13 \text{ kg}$. Komponentlarning massaviy ulushlari topilsin.

Yechish: Aralashmaning umumiy massasi $m=5+2+13=20 \text{ kg}$. Komponentlarning massaviy ulushlari:

$$g_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{m} = \frac{5}{20} = 0,25$$

$$g_{CO} = \frac{m_{CO}}{m} = \frac{2}{20} = 0,1$$

$$g_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{m} = \frac{13}{20} = 0,65$$

2-masala: Gazlarning aralashmasi ni massaviy tarkibi quyidagilardan iborat: $H_2=8,4\%$, $CO_2=17\%$, $O_2=48\%$, $N_2=26,6\%$. Uning gaz doimiysi, tuyulma molekulyar massasi va hajmiy ulushlari topilsin.

Yechish:

1. Aralashmaning gaz doimiysini quyidagi formuladan aniqlaymiz.

$$R_{ar} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot R_i$$

$$\begin{aligned} R_{ar} &= m'_{H_2} + R_{H_2} + m_{CO_2} + R_{CO_2} + m_{N_2} \cdot R_{H_2} + m_{O_2} \cdot R_{O_2} = \\ &= 0,084 \frac{8314}{2} + 0,17 \frac{8314}{44} + 0,48 \frac{8314}{32} + \\ &+ 0,266 \frac{8314}{28} = 584,2 \text{ J / kg}^0 \text{S} \end{aligned}$$

$$\mu_{H_2} = 2, \quad \mu_{CO_2} = 44, \quad \mu_{O_2} = 32, \quad \mu_{N_2} = 28 [\text{ilovadan}]$$

2. Aralashmaning tuyulma molekulyar massasini quyidagi formuladan aniqlaymiz.

$$\mu_{ar} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\mu_i}} = \frac{1}{\frac{m_{H_2}}{\mu_{H_2}} + \frac{m_{CO_2}}{\mu_{CO_2}} + \frac{m_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{m_{N_2}}{\mu_{N_2}}} = \frac{1}{\frac{0,084}{2} + \frac{0,17}{44} + \frac{0,48}{32} + \frac{0,266}{28}} = 14,3$$

3. Aralashlimaning hajmiy ulushlarini quyidagi formuladan aniqlaymiz.

$$r_i = \frac{\frac{m_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\mu_i}}$$

$$r_{H_2} = \frac{\frac{0,084}{2}}{\frac{0,084}{2} + \frac{0,17}{44} + \frac{0,48}{32} + \frac{0,266}{28}} = 0,597$$

$$r_{CO_2} = \frac{\frac{0,17}{44}}{\frac{0,084}{2} + \frac{0,17}{44} + \frac{0,48}{32} + \frac{0,266}{28}} = 0,055$$

$$r_{O_2} = \frac{\frac{0,48}{32}}{\frac{0,084}{2} + \frac{0,17}{44} + \frac{0,48}{32} + \frac{0,266}{28}} = 0,213$$

$$r_{N_2} = \frac{\frac{0,266}{28}}{\frac{0,084}{2} + \frac{0,17}{44} + \frac{0,48}{32} + \frac{0,266}{28}} = 0,135$$

3-masala. Issiqlik sig'imini haroratga bog'liq ravishda o'zgarishi chiziqli bo'lmagan holat uchun, o'zgarmas bosim ostida, tarkibi $r_{CO_2}=0,145$, $r_{O_2} = 0,065$, $r_{N_2}=79,0\%$ bo'lgan $1m^3$ gazlarning aralashmasini $200^\circ C$ dan $1200^\circ C$ gacha qizdirish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdori topilsin.

Yechish:

Qizdirish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdori quyidagi tenglamadan topiladi.

$$q_p = C'p_{m_{2ar}} \cdot t_2 - Cpm_{1ar} t_1 = \sum_{i=1}^n Cpm_2 r_2 - \sum_{i=1}^n Cpm_1 i \cdot r_1 \cdot t_1 = (Cpm_2 CO_2 + C_{pm_2 O_2} O_2 \cdot r_{O_2} + Cpm_2 N_2 \cdot r_{N_2}) \cdot t_2 - Cpm_1 C_{O_2} \cdot r_{CO_2} + Cpm_1 O_2 \cdot r_{O_2} + Cpm_1 N_2 \cdot r_{N_2}) \cdot t_1$$

Bu tenglamaga ilovada berilgan jadvallardan issiqlik sig'imlarining qiymatlarini quysak, kerak bo'lgan issiqlik miqdori topiladi.

$$q_p = (2,2638 \cdot 0,145 + 1,5005 \cdot 0,065 + 1,4202 \cdot 0,79) \cdot 1200 - (1,7373 \cdot 0,145 + 1,3352 \cdot 0,065 + 1,3038 \cdot 0,79) \cdot 200 = 1582 kJ/m^3$$

4 – masala: Atmosfera havosi taxminan quyidagi tarkibga ega: $m_{O_2}=23,2\%$; $m_{N_2}=76,8\%$ havoning hajmiy tarkibini, uning gaz doimiysini, molekulyar massasini va havoning bosimi barometr boyicha $P=101325\text{ Pa}$ (760 mm.sm.ust) bo'lsa, kislorod va azotning partsial bosimini toping.

Yechish: $r_i = \frac{\frac{m_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\mu_i}}$ tenglamadan foydalanib,

Hajmiy ulushni aniqlaymiz:

$$r_{O_2} = \frac{\frac{m_{O_2}}{\mu_{O_2}}}{\frac{m_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{m_{N_2}}{\mu_{N_2}}} = \frac{\frac{23,2}{32}}{\frac{23,2}{32} + \frac{76,8}{28}} = 0,21;$$

$$r_{N_2} = \frac{\frac{m_{N_2}}{\mu_{N_2}}}{\frac{m_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{m_{N_2}}{\mu_{N_2}}} = \frac{\frac{76,8}{28,02}}{\frac{23,2}{32} + \frac{76,8}{28,02}} = 0,79;$$

Havoning gaz doimiysi quyidagicha aniqlanadi:

$$R_{ar} = \sum_1^n m_i R_i = m_{O_2} R_{O_2} + m_{N_2} R_{N_2} = 0,232 \cdot 260 + 0,768 \cdot 295 = 287 \text{ j}/(kg \cdot grad)$$

Aralashmaning molekulyar massasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_{ar} = \sum_1^n r_i \mu_i = r_{O_2} \cdot \mu_{O_2} + r_{N_2} \mu_{N_2} = 0,21 \cdot 32 + 0,79 \cdot 28,02 = 28,9 \quad \text{yoki} \quad R_{ar} = \frac{8314}{\mu_{ar}}$$

$$\text{tenglamadan: } \mu_{ar} = \frac{8314}{R_{ar}} = \frac{8314}{287} = 28,9$$

Partsial bosimni quyidagi tenglamadan topamiz: $P_i=r_iP$,

demak: $P_{O_2}=r_{O_2} \cdot P=0,21 \cdot 760=159,4\text{ mm.sm.ust}$.

$P_{N_2}=r_{N_2} \cdot P=0,79 \cdot 760=600,6\text{ mm.sm.ust}$.

5 – masala. Gazlar aralashmasi vodorod va uglerod oksididan tashkil topgan. Vodorodning massaviy ulush $m_{H_2}=6,67\%$. Aralashmaning gaz doimiysi va normal sharoitdagi uning solishtirma hajmi aniqlansin.

Yechish: Quyidagi tenglamadan foydalanamiz:

$$R_{ar} = \sum_1^n m_i R_i = m_1 R_1 + m_2 R_2 = 0,0667 \cdot 4124 + 0,9333 \cdot 296,8 = 552 \text{ j}/(kg \cdot grad)$$

$PV=RT$ tenglamadan gazlar aralashmasining solishtirma hajmini topamiz:

$$V_H = \frac{RT_H}{P_H} = \frac{552 \cdot 273}{\frac{760}{750} \cdot 10^5} = 1,49 \text{ m}^3 / kg$$

3-Amaliyga topshiriq

MASALA YECHISH NAMUNALARI

1-masala. 1 m^3 quruq havoda taxminan $0,232\text{ m}^3$ kislorod va $0,768\text{ m}^3$ azot bor. Havoning tarkibini, uning gaz doimiysini va partsial bosimlarini aniqlang.

Javob: $m_{O_2} = 0,232$; $m_{N_2} = 0,768$ $R_{ar} = 287\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $P_{O_2} = 0,232 \cdot P_{ar}$ $P_{N_2} = 0,768 \cdot P_{ar}$

2-masala: Agar aralashmaning hajmiy tarkibi quyidagicha bo'lsa:

$\text{H}_2\text{O}=6\%$, $\text{CO}=1\%$, $\text{CO}_2=12\%$, $\text{O}_2=7\%$, $\text{N}=74\%$ gaz doimiysi, solishtirma hajmi va partsial bosim aniqlansin. Umumiy bosim $P=750\text{ mm.sm.ust.}$

Javob: $R_{ar}=281\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{grad})$; $V_{ar}=0,76\text{ m}^3/\text{kg}$; $P_{CO_2}=90\text{ mm.sm.ust.}$

3-masala. Quruqyonilg'imahsulotlarininghajmiytarkibi $\text{SO}_2=12,3\%$, $\text{O}_2=7,2\%$, $\text{N}_2=80,5\%$ (tarkibidasuvbug'iyog'q). Molekulyarmassasini, gazdoimiysini,

hamdazichligivamahsulotlarning $V=800^\circ\text{C}$ haroratdagisolishtirmahajmini hisoblang. **Javob:** $M_{ar}=30,3$, $R_{ar}=274\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $V=2,94\text{ m}^3/\text{kg}$; $\rho_{ar}=0,34\text{ kg}/\text{m}^3$.

4-masala. Generatorgaziquyidagihajmiytarkibigaega: $\text{N}_2=7,0\%$, $\text{SO}_2=27,6\%$, $\text{SO}_2=4,8\%$, $\text{N}_2=58,6\%$. Shugazning 150°C va $0,1\text{ MPa}$ dagimassaviyulushlarini,

molekulyarog'irligini, gazdoimiysini, zichligivaparsialbosimini aniqlang. **Javob:** $m_{H_2}=0,005$; $m_{CH_4}=0,012$; $m_{CO}=0,268$; $m_{CO_2}=0,079$; $m_{N_2}=0,614$; $R_{ar}=311,29\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $\mu_{ar}=26,72$; $\rho_{ar}=1,095$; $R_{H_2}=7\text{ kPa}$.

5-masala. Generatorgaziquyidagihajmiyqismlardan tarkib topgan: $\text{H}_2=18\%$, $\text{CO}=24\%$, $\text{CO}_2=6\%$, $\text{N}_2=52\%$. Generatorgazining gazdoimiysini va gaz tarkibining massaviyulushini aniqlang. **Javob:** $R_{ar}=342,32\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $m_{H_2}=1,48\%$; $m_{CO}=27,83\%$; $m_{CO_2}=10,86\%$; $m_{N_2}=60,03\%$.

6-masala. Agar aralashmaning hajmiy tarkibi quyidagicha bo'lsa: $\text{N}_2\text{O}=6\%$, $\text{SO}=1\%$, $\text{SO}_2=12\%$, $\text{O}_2=7\%$, $\text{N}_2=74\%$ gazdoimiysi, solishtirma hajmi va parsial bosim aniqlansin. Umumiy bosim $P=100\text{ kPa}$.

Javob: $R_{ar}=281\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $V_{ar}=0,76\text{ m}^3/\text{kg}$; $P_{SO}=1200\text{ kPa}$; $P_{CO_2}=12000\text{ Pa}$.

Nazorat va muhokama savollari:

1. Gazlar aralashmasi deganda nimani tushunasiz?

2. Dalton qonunini aytib bering.

3. Parsial bosim deb nimaga aytiladi?

4. Gazlar aralashmasining tarkibini aytib bering.

5. Massaviy va hajmiy ulushlarni ta'riflang.

4-AMALIY MASHG'ULOT. AYLANMA JARAYONLAR. KARNO TSIKLI.

NAZARIY MA'LUMOT

Ma'lumki, jismning bosimi va hajmi bilan harakterlanadigan holati PV-diagrammada nuqta bilan tasvirlanadi. Bunday diagrammada jism holatining o'zgarishi termodinamikaviy jarayon egri chizig'i bilan iftdalanadi. Jism bir qancha o'zgarishlarga uchrab, yana boshlang'ich holatiga qaytib keladigan ketma-ket qator jarayonlar aylanma jarayon, boshqacha aytganda sikl deyiladi.

Xozirgi zamon issiqlik dvigatellarini hisoblash issiqlik mexanikaviy ishga aylantiriladigan ideal aylantna jarayonlarga, ya'ni ideal sikllarga asoslangan. Real dvigatellarda sodir bo'ladigari haqiqiy issiqlik. jarayonlarining mukammalligini baholash uchun ideal sikllarni o'rganish zarur. Barcha ideal sikllar orasida mantiqan va mazmunan sodda bo'igan sifcJ- bu Karno siklidir. Bu sikl 1824 yili frantsuz dengiz ofiseri, injener -olim Karno Nikola Leonar Sadi «Olavning harakatlantiruvchi kuchi haqida mulohazalar» asarida issiqlik va ishning o'zaro bir-biriga o'zgarishi to'g'risidagi masala yechimini to'g'ri hal qilish natijasida kashf etildi.

Karno sikli-qaytar sikldir. U asosan 4 ta iarayondan. ya'ni 2 ta izotermik va 2 ta adiabatik jarayondan iborat.

Sistema (ideal eaz) devorlari va porshenli mutlaqo issiqlik o'tkazmaydigan silindrga joyittsirJalgan deb lans qiiayiik. Silindr tubs qajuiay jatvtyoji borishiga qarab, tashqi isitgich (issiqlik manbai) dan qi issiqlik miqdori uzluksiz keltirilib turish hisobiga o'zgarmas saqlanadi-Sistemada kechadigan jarayon o'zgarmas ($T=const$) temperaturada sodir bo'ladi. Qoldiq (ish bajarmagan) issiqlik miqdori q_2 sistemadan uzluksiz ravishda tashqi muhit-sovutgichga chiqariladi. q_1 issiqlik miqdori ham $V = const$ uzatiladi. Shuning uchun uning ishorasi musbat, q_2 ning ishorasi manfiy qabul qilinadi.

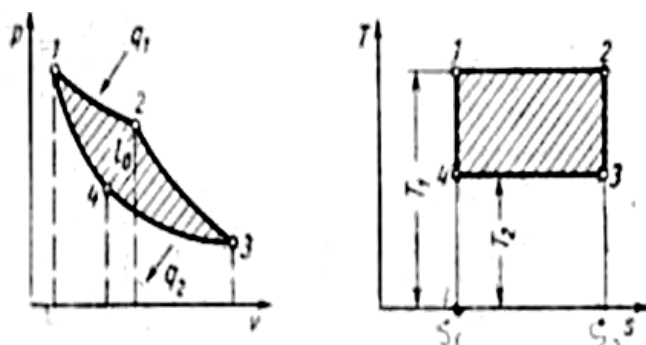
Sistema holati sekin o'zgarganda (gaz kengayganida yoki siqilganida) tashqi muhitdan mutlaqo izolyasiyalangan, ya'ni $dq=0$ bo'lishi shart. Shu shart bajarilsa sistemada kechadigan jarayon bizga ma'lumki adiabatik bo'ladi. (1-rasni, a) RV-diagramma, b) T-S diagramma)

Karno sikliningjarayonlari bilan tanishib chiqamiz.

Ma'lumki, sistemaning boshlang'ich holati parametrlari P_1, V_1, T_1 , bo'lgan 1-nuqta bilan aniqlanadi.

Birinchi jarayon - izotermik kengayish

Silindrning tubi issiqlik manbai bilan termik kontaktga bo'ladi. Sistema q_1 issiqlik oladi va 1,2 chiziq bo'yicha izotermik hisobiga ish bajaradi. 2-nuqtada issiqlik manbai silindrdan ajratib kuyiladi va sistema termik izolyasiyalanadi. (Silindrning tubi ideal issiqlik izolyasiya materiali bilan qoplanadi).



1-rasm

Ikkinchi jarayon-adiabatik kengayish

Gaz tashqi muhit bilan issiqlik almashmay 2,3 chiziq bo'yicha kengayadi porshen siljiydi va gaz o'zining ichki energiyasi hisobiga ish bajaradi. Bunda temperatura va bosim pasayadi. Sistemaning temperaturasi sovutgichning temperaturasi T_2 ga teng, porshenning harorati 3-nuqtada to'xtaydi. Shundan keyin silindr sovutgich bilan termik kontaktga keltiriladi va uchinchi jarayon boshlanadi.

Uchinchi iarayon-izotermik-siqilish

Porshen dastlabki holatiga sekin qaytadiki, gaz sovutgich temperaturasi issiqlikni uzatadi. Bunda tashqi kuchlar ustidan ish bajaradi. Uning hajmi kamayadi, temperaturasi o'zgarmay, jarayon esa ortadi. 4-nuqtada sistema termik izolyasiya qilinadi.

To'rtinchi jaravon- adiabatik siqilish

Tashqi kuchlar tomonidan gazning siqilishi davom etadi, lekin bunda issiqlik almashinuvi bulmaydi. Gazning hajmi kamayadi, temperaturasi va bosimi ortadi. Temperatura issiqlik manbaining T temperaturasi T_1 ga yetgach, siqilish jarayoni tuxtaydi va Kamo sikli yopiladi.

Shunday qilib diagrammada karno sikli yopiq egri chiziq 1, 2, 3, 4, 1 bilan tasvirlanadi. Bunda shu egri chiziq bilan chegaralangan yuzaga son jihatdan teng ish L bajariladi. (1-rasm, a)

1-rasm, b da Karno siklining T-S diagrammada 1,2,3,4,1 yuza son jihatdan Karno siklining foydali ishiga aylantirilgan issiqlik miqdoriga teng. Ikkala diagrammada yuzalar o'zaro teng.

Karno siklining termik foydali ish ko'ffisienti ushbu formuladan topiladi.

$$r_1 = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Xulosa

1) Karno sikling termik f.i.k. shu jismning xossalari bog'liq emas, balki, fakat absalyut T_1 va T_2 ning qiymati bilan aniqlanadi (Karno teoremasi);

2) Karno siklining termik f.i.k. qiymati T_1 ortish T_2 ga kamayishi bilan kattalashadi;

3) Karno siklining termik f.i.k. doimo birdan kichik bo'ladi, chunki u $T_2=0$ yoki $T_1 = \infty$ bo'lgandagina birga teng bo'lishi mumkin edi, ideal siklda ham bunday temperatura hosil qilib bo'lmaydi.

1-masala. Agar sovutgichning temperaturasi t_2 , issiqlik manbaining temperaturasi t_1 berilgan bo'lsa Karno siklining termik f.i.k. aniqlansin. Sovutgichning harorati $t_2^{\circ}S=23$, issiqlik manbai temperaturasi $t_1^{\circ}S=367$

Yechish:

Karno siklining termik (issiqlik) foydali ish ko'ffisienti quyidagi formuladan aniqlanadr.

$$r_1 = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

bu yerda- T_2 - sovutgichning harorati; T_1 - Issiqlik manbaining harorati.

Absolyut temperaturalarni aniqlaymiz:

$$T_2 = 273 + t_2 = 273 + 23 = 296$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 367 = 640$$

$$r_1 = \frac{296}{640} = 0,537$$

2-masala. Agar sovutgichning temperaturasi $t_2=27^{\circ}S$, Issiqlik manbaining temperaturasi $T_1=327^{\circ}S$ bo'lsa, Karno siklining termik F.I.K. aniqlansin.

Yechish:

Karno siklining termik foydali ish ko'ffisienti ma'lumki, quyidagi formuladan topiladi:

$$r_1 = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

bu yerda:

T_2 -sovutgichning harorati; T_1 -Issiqlik manbaining harorati

$$T_2 = 273 + t_2 = 273 + 27 = 300$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 327 = 600$$

$$r_1 = 1 - \frac{300}{600} = 0,5$$

5-AMALIY MASHG'ULOT.POLITROPIK (IZOBAR, IZOXOR,

IZOTERMICJARAYONLAR, ADIABATIK VAPOLITROPIK) JARAYONLAR

Tayanch iboralar: *Termodinamik jarayonlar, issiqlik, bajarilgan ish, termodinamik jarayonlarni tahlil qilish, adibata ko'rsatkichi.*

Ma'lumki, ishchi jismga issiqlik berilsa, yoki undan issiqlik olinsa, hamda mexanik ta'sir etilsa, uning holatini tavsiflovchi parametrlari o'zgaradi. Holat parametrlarining o'zgarishiga termodinamida **termodinamik jarayon** deb ataladi.

Haqiqiy sharoitlarda sodir bo'ladigan termodinamik jarayonlar ko'p bo'lib, issiqlik texnikasida faqat issiqlik dvigatellari, sovutish mashinalari, issiqlik nasosi, kompressorlar va shu kabi turli issiqlik mashinalarida ro'y beradigan jarayonlar o'rganiladi.

Haqiqiy (real) mashinalarda sodir bo'ladigan termodinamik jarayonlarni tadqiqot qilish murakkab ish hisoblanadi, chunki bunday jarayonlarda ishchi jismda uyurma hosil bo'lishi, ishchi jismning atrof – muhitga nurlanish orqali issiqlik berishi, oqish jarayonida ishqalanish yuzaga kelishi kabi xodisalar kuzatiladi.

Shuning uchun termodinamikada soddalashtirilgan ideal jarayonlar nazariy uslub yordamida tahlil qilinadi.

Termodinamikaviy jarayonlarni tahlil qilishdan maqsad: ishchi jism holat parametrlarining o'zgarish qonuniyatlarini aniqlash va energiya almashinish xususiyatlarini baholashdan iborat.

Ana shu maqsadda har bir termodinamik jarayon uchun quyidagilar aniqlanadi:

- 1. Jarayonning tenglamasi keltirib chiqariladi.**
- 2. Jarayonda ishchi jismning termik parametrlari orasida bog'liqlik aniqlanadi.**
- 3. Ichki energiyaning o'zgarishi hisoblanadi.**
- 4. Ishchi jismning termodinamik ishi aniqlanadi.**
- 5. Jarayonning issiqligi hisoblanadi.**
- 6. Entropiya va entalpiyaning o'zgarishi hisoblanadi.**

Demak, termodinamik jarayonlarni tahlil qilish orqali ishchi jismning barcha termik (p, v, T) va kalorik ($\Delta u, c, q, \Delta S, \Delta h$) parametrlari aniqlanadi.

Termodinamikada texnikada amaliy ahamiyatga ega bo'lgan quyidagi ideal gaz jarayonlari o'rganiladi:

- 1). Izoxorik jarayon ($v = \text{const}$);
- 2). Izobarik jarayon ($p = \text{const}$);
- 3). Izotermik jarayon ($T = \text{const}$);
- 4). Adibatik jarayon ($S = \text{const}, dq = 0$);
- 5). Politropik jarayon ($c = \text{const}$).

Yuqorida berilgan asosiy jarayonlarni tahlil qilishdan avval, ichki energiya va entalpiya holat funksiyasi ekanligi va ularning o'zgarishi jarayonning xarakteriga bog'liq emasligini

e'tiborga olish zarur. Shuning uchun ichki energiya va entalpiyaning o'zgarishini aniqlovchi, har qanday jarayonlarga ta'luqli bo'lgan tenglamalarni olish mumkin.

Masalan, izoxorik jarayonda $dv = 0$ va mexanik ish $l_v = 0$, u holda termodinamikaning 1-qonuni tenglamasi izoxorik jarayon uchun quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$q_v = \Delta u \quad (1.105)$$

Issiqlik miqdori $c_v = \text{const}$ da

$$q_v = c_v(t_2 - t_1) \quad (1.106)$$

Agar issiqlik sig'imi $c_v = f(t)$ bo'lsa, u holda

$$q_v = c_{vm} \left| t_2 \right|_0 - c_{vm} \left| t_1 \right|_0 \quad (1.107)$$

Demak, ichki energiyaning o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi

$$\Delta u = c_v(t_2 - t_1) \quad (1.108)$$

$$\Delta u = c_{vm} \left| t_2 \right|_0 - c_{vm} \left| t_1 \right|_0 \quad (1.109)$$

yoki differensial formada

$$du = c_v dt \quad (1.110)$$

Izobarik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni tenglamasidan issiqlik entalpiyaning o'zgarishiga teng ekanligini isbotlash mumkin.

$$dq = du + pdv \quad \text{yoki} \quad dq = dh - vdp$$

bunda $p = \text{const}$ va $dp = 0$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$dq_p = dh \quad (1.111)$$

yoki

$$q_p = \Delta h = h_2 - h_1 \quad (1.112)$$

$q_p = c_p(t_2 - t_1)$ va $dq_p = c_p dt$ ni hisobga olsak, ishchi jism entalpiyasining o'zgarishini hisoblash tenglamasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\Delta i = c_p(t_2 - t_1) \quad (1.113)$$

Agar $c_p = f(t)$ bo'lsa,

$$\Delta i = c_{pm} \left| t_2 \right|_0 - c_{pm} \left| t_1 \right|_0 \quad (1.114)$$

yoki

$$di = c_p dt \quad (1.115)$$

Shunday qilib, hosil qilingan (1.110) va (1.115) ichki energiya va entalpiyalarning o'zgarishini istalgan ideal gaz jarayonida hisoblash imkonini beradi.

Endi asosiy termodinamik jarayonlarni yuqorida bayon etilgan usul asosida tahlil qilamiz.

Izoxorik jarayon

O'zgarmas hajmda sodir bo'ladigan jarayon **izoxorik jarayon** deb ataladi ($v = \text{const}$). Izoxorik jarayonning grafigi $p-v$ koordinatalar sistemasida p o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqdan iborat. Izoxorik jarayon bosimni ortishi yoki kamayishi bilan sodir bo'lishi mumkin (1.9 – rasm).

Gaz holatining 1 va 2 nuqtalari uchun holat tenglamalarini yozib, parametrlari orasidagi bog'liqlikni aniqlaymiz:

$$p_1 v = RT_1; \quad p_2 v = RT_2.$$

Bu ifodalarni hadma – had bo'lamiz:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1.116)$$

Jarayonning issiqligini termodinamikaning birinchi qonuning tenglamasidan ham aniqlash mumkin.

U holda, $dq = du + p dv$, bunda $v = \text{const}$; $dv = 0$.

Demak,

$$dq_v = du = c_v dT \quad (1.117)$$

$c_v = \text{const}$ da

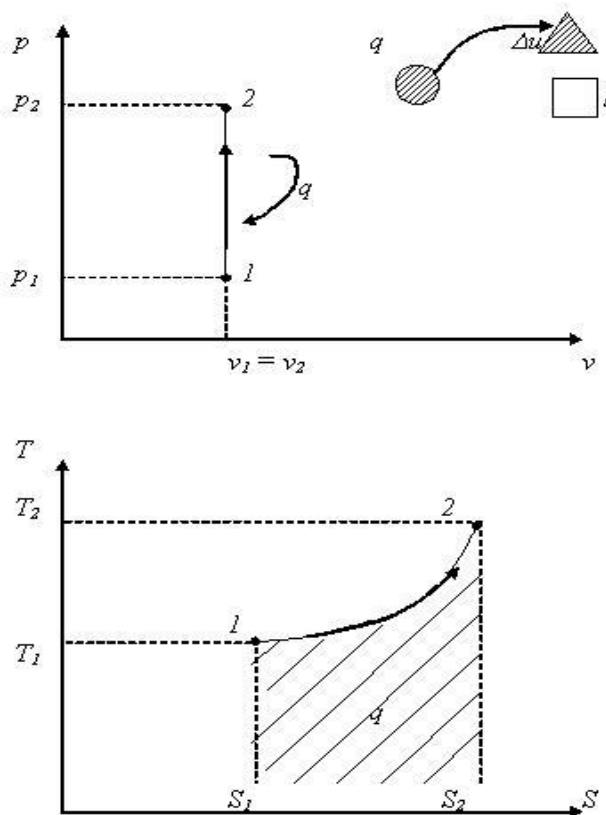
$$q_v = c_v \int_{T_1}^{T_2} dT = c_v (T_2 - T_1) \quad (1.118)$$

yoki $c_v = f(t)$ bo'lsa,

$$q_v = \Delta u = c_{vm} \left| \begin{matrix} T_2 \\ T_1 \\ 0 \end{matrix} \right| - c_{vm} \left| \begin{matrix} T_1 \\ T_1 \\ 0 \end{matrix} \right| \quad (1.119)$$

1.9 – rasm.
jarayonning P-V,
diagrammalarda

Izoxorik
bajarilmaydi,
 $dv=0, dl= pdv =0$.
berilgan
hammasi ichki
o'zgarishiga
Entalpiyaning
(1.113) va (1.114)
yordamida



Izoxorik
T-S
tasvirlanishi.
jarayonda ish
chunki $v = const$,
Shuning uchun
issiqlikning
energiyaning
sarflanadi.
o'zgarishi
tenglamalar
hisoblanadi.

Entropiyaning o'zgarishini quyidagi tenglamadan foydalanib aniqlaymiz:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (1.120)$$

Bunda $v_1 = v_2 = v = const$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} = c_v \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (1.121)$$

(1.121) tenglamadan ko'rinadiki, entropiya bilan harorat orasida logarifmik bog'liqlik mavjud. Shu sababli izoxorik jarayon $T-S$ diagrammada 1 – 2 egri chiziq bilan tasvirlanadi.

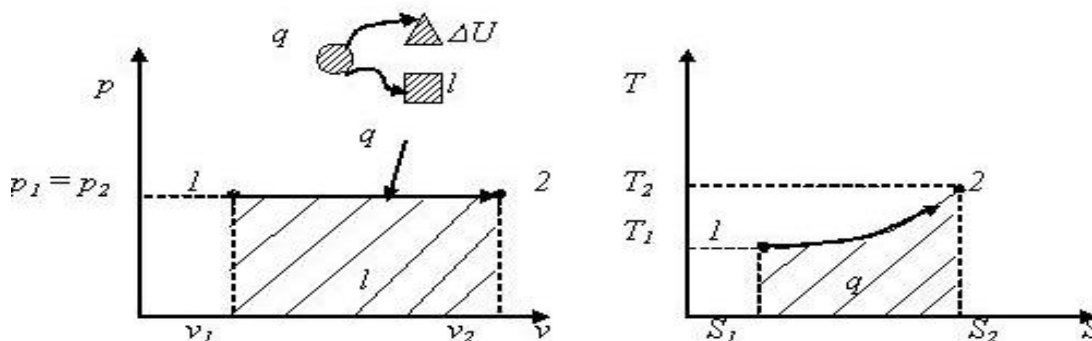
Jarayonga berilgan issiqlikning ichki energiyaga sarflanish ulushi izoxorik jarayonda quyidagicha baxolanadi:

$$\varphi_v = \frac{\Delta u_v}{q_v} = 1 \quad (1.112)$$

Chunki $q_v = \Delta u_v$.

Izobarik jarayonni tahlil qilish

O'zgaras bosimda sodir bo'ladigan jarayon **izobarik jarayon** deb ataladi. ($dp = 0$ yoki $p = \text{const}$). Izobarik jarayon $p - v$ koordinatalar sistemasida absissa o'qiga parallel to'g'ri chiziq bilan tasvirlanadi (1.10 – rasm).



1.10 – rasm. Izobarik jarayonning P-V, T-S diagrammalarda tasvirlanishi.

1 va 2 nuqtalar uchun holat tenglamasini yozib, ularni hadma - had bo'lamiz:

$$pv_1 = RT_1 \quad \text{va} \quad pv_2 = RT_2 \quad ,$$

bundan

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1.123)$$

Izobarik jarayonda gazning hajmi absolyut haroratga to'g'ri proporsional ravishda o'zgaradi.

1 kggazning bajargan ishini quyidagicha aniqlaymiz:

$$dl = pdv$$

yoki

$$l_p = p \int_{v_1}^{v_2} dv = p(v_2 - v_1) \quad (1.124)$$

Agar ideal gaz uchun $pv_2 = RT_2$ va $pv_1 = RT_1$ ekanligini nazarda tutsak,

$$l_p = R(T_2 - T_1) = R(t_2 - t_1) \quad (1.125)$$

(1.125) tenglamadan gaz doimiysi (R) ning fizikaviy ma'nosini keltirib chiqariladi. Agar izobarik jarayonda 1 kg gazning harorati 1°C ga o'zgargan bo'lsin ($\Delta t = t_2 - t_1 = 1^\circ$), u holda

$$l_p = R \quad \text{bo'ladi} \quad (1.126)$$

Demak, **gaz doimiysi** – bu izobarik jarayonda 1 kg gazning harorati 1°C ga o'zgarganda bajargan ishidir.

Izobarik jarayonda issiqlik miqdori quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$q_p = \Delta h = h_2 - h_1 \quad (1.127)$$

yoki

$$q_p = c_p(T_2 - T_1) = c_p(t_2 - t_1) \quad (1.128)$$

Agar $c_p = f(t)$ bo'lsa, u holda

$$q_p = c_{pm} \left| \begin{matrix} t_2 \\ t_2 \\ 0 \end{matrix} \right| - c_{pm} \left| \begin{matrix} t_1 \\ t_1 \\ 0 \end{matrix} \right| \quad (1.129)$$

Entropiyaning o'zgarishi:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} = c_p \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (1.130)$$

Jarayonda berilgan issiqlikning ichki energiyaga sarflanish ulushi:

$$\varphi_p = \frac{\Delta u}{q_p} = \frac{c_v \Delta T}{c_p \Delta T} = \frac{1}{k} < 1$$

Bunda

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

Izotermik jarayon ($T = const$)

O'zgarmas temperaturada sodir bo'ladigan jarayon **izotermik jarayon** deb ataladi. Izotermik jarayonning tenglamasini holat tenglamasidan keltirib chiqaramiz. Gazning izotermik kengayishida gazning ikkita holati uchun quyidagilar o'rinli bo'ladi:

$$p_1 v_1 = RT \quad \text{va} \quad p_2 v_2 = RT,$$

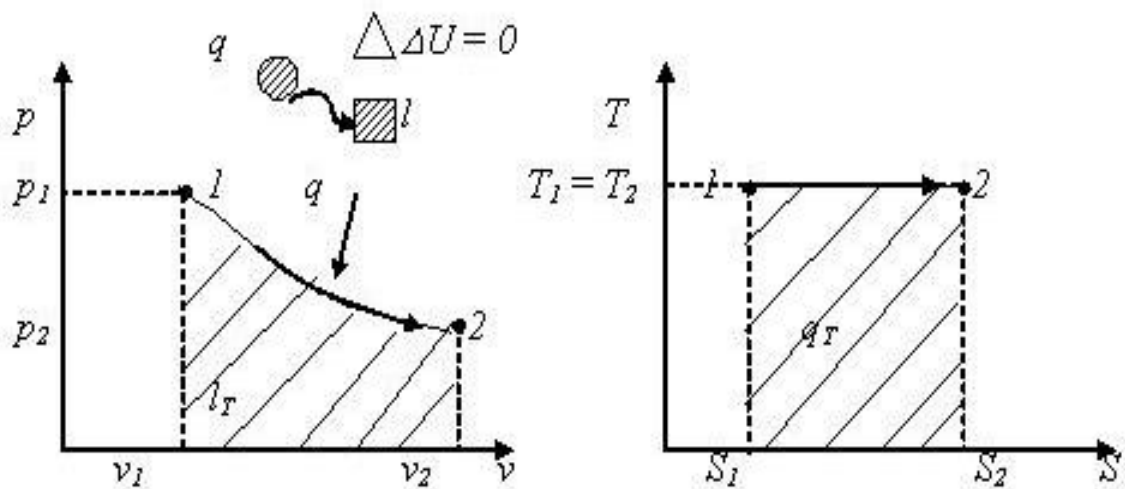
bundan:

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 \quad (1.131)$$

kelib chiqadi.

yoki

$$pv = const \quad (1.132)$$



1.11 – rasm. Izotermik jarayonning P-V, T-S diagrammalarda tasvirlanishi.

(1.132) tenglama izotermik jarayonning tenglamasi deyiladi. $p - v$ diagrammada izotermik jarayon teng yonli giperbola bilan tasvirlanadi (1.11 – rasm).

Izotermik jarayonda ichki energiya va entalpiyaning o'zgarishi nolga teng chunki $T = const$, $dT = 0$.

$$du = c_v dT = 0$$

Demak, bu jarayonda keltirilgan issiqlik faqat ish bajarishga sarf bo'ladi, ya'ni

$$dq = du + dl = 0 + dl = dl$$

yoki

$$dq_T = pdv$$

Issiqlikni quyidagicha aniqlaymiz:

$$q_T = l_T = \int p dv = p_1 v_1 \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = RT \ln v \Big|_{v_1}^{v_2} = RT (\ln v_2 - \ln v_1) = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

demak,

$$q_T = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = RT \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (1.133)$$

Bunda $p v = p_1 v_1 = p_2 v_2$ dan $p = \frac{p_1 v_1}{v}$ ni e'tiborga oldik. Jarayonning issiqligini entropiya

o'zgarishi orqali ham ifodalash mumkin:

$$dq = TdS, T = \text{const}$$

Bu tenglamani integrallaymiz:

$$q = T \int_{S_1}^{S_2} dS = T(S_2 - S_1) = T\Delta S \quad (1.134)$$

Izotermik jarayonda entropiyaning o'zgarishini (67) formuladan topamiz:

$$\Delta S_T = S_2 - S_1 = \frac{q_T}{T} = R \ln \frac{v_2}{v_1} = R \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (1.135)$$

Jarayonga berilgan issiqlikning ichki energiyaga sarflanish ulushi nolga teng.

$$\varphi_T = \frac{\Delta u}{q_T} = \frac{0}{q_T} = 0$$

Adiabatik jarayon

Ishchi jism atrof – muhit bilan issiqlik almashinuvisiz sodir qiladigan jarayonni **adiabatik jarayon** deyiladi. Adiabatik jarayonni tavsiflaydigan egri chiziq – adiabata deyiladi. Adiabatik jarayon uchun $dq = 0$ tenglik o'rinalidir.

Adiabatik jarayon tenglamasini termodinamikaning birinchi qonuni tenglamasidan keltirib chiqarish mumkin, ya'ni

$$dq = du + dl = c_v dT + p dv = 0 \quad (1.136)$$

yoki

$$dq = dh - v dp = c_p dT - v dp = 0 \quad (1.137)$$

yoki

$$c_v dT = -p dv \quad (1.138)$$

$$c_p dT = v dp \quad (1.139)$$

(1.139) tenglamani (1.138) ga bo'lsak,

$$\frac{c_p}{c_v} = k = \frac{v dp}{-p dv}$$

hosil bo'ladi. Bundan

$$k \frac{dv}{v} = -\frac{dp}{p} \quad (1.140)$$

$k = \text{const}$ ($c_p = \text{const}$, $c_v = \text{const}$) bo'lgan hol uchun (1.140) ni integrallaymiz:

$$k \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = - \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} \text{ yoki } k \ln \frac{v_2}{v_1} = \ln \frac{p_1}{p_2}$$

Potensirlashdan so'ng

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

bundan adiabata tenglamasini hosil qilamiz:

$$\boxed{pv^k = \text{const}} \quad (1.141)$$

$k = \frac{c_p}{c_v}$ - adiabata ko'rsatkichi deb yuritiladi.

Adiabata tenglamasi yordamida jarayonning parametrlari orasidagi bog'lanishlarni hosil qilamiz:

$$\left(\frac{p_2}{p_1} \right) = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k \quad (1.142)$$

yoki

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (1.143)$$

Jarayonning ikkita nuqtasi uchun holat tenglamalarini yozamiz:

$$p_1 v_1 = RT_1 \text{ va } p_2 v_2 = RT_2$$

bundan

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{v_1}{v_2}$$

Bu tenglamaga (1.142) dan bosimlar nisbatini keltirib qo'ysak, T va v orasidagi bog'lanishni hosil qilamiz:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \quad (1.144)$$

(1.142) va (1.144) tenglamalarni birgalikda yechamiz va p - T orasidagi bog‘liqlikni aniqlaymiz:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1.145)$$

Jarayonning ishi quyidagicha topiladi:

$$dl_q = - du \text{ yoki } l_q = - (u_2 - u_1) = u_1 - u_2 \quad (1.146)$$

Demak, adiabatik jarayonda gaz ichki energiyasining kamayishi evaziga ish bajaradi.

$$\Delta u = c_v(T_2 - T_1) \text{ ekanligini e'tiborga olsak,}$$

$$l_q = c_{vm}(T_1 - T_2) \quad (1.147)$$

yoki

$$\frac{c_p}{c_v} = k \text{ bo'lsa,}$$

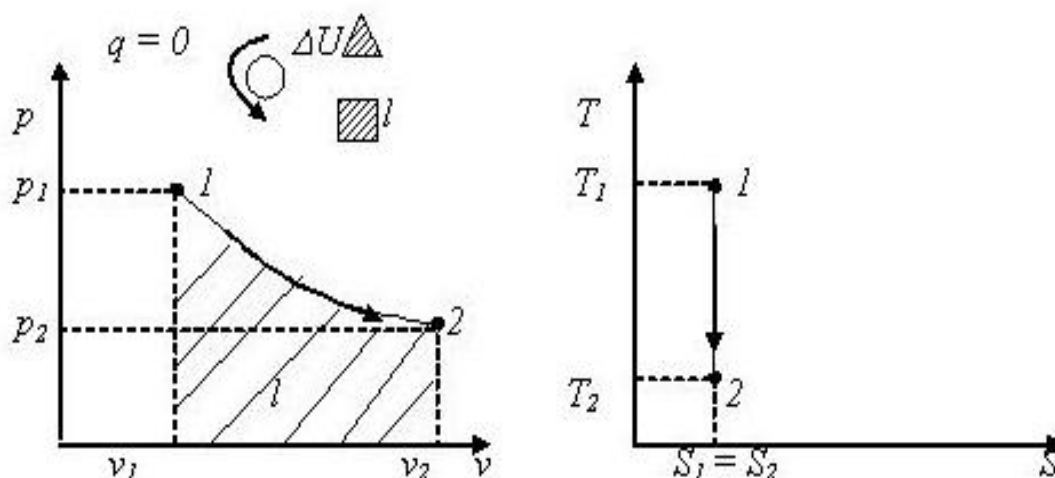
$$l_q = \frac{R}{k-1}(T_1 - T_2) \quad (1.148)$$

bo'ladi. Holat tenglamasidan $T_1 = \frac{p_1 v_1}{R}$ va $T_2 = \frac{p_2 v_2}{R}$ ni nazarda tutsak ish tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$l_q = \frac{1}{k-1}(p_1 v_1 - p_2 v_2) \quad (1.149)$$

Adiabatik jarayonda entropiyaning o'zgarishi nolga teng. Ya'ni, $dq = 0$ va $dS = \frac{dq}{T} = 0$.

Demak, adiabatik jarayonda gazning entropiyasi o'zgarmaydi. ($S = \text{const}$).



1.12 – rasm. Adiabatik jarayonning P-V, T-S diagrammalarda tasvirlanishi.

Shuning uchun ba'zi xollarda adiabatik jarayonni **izoentropik jarayon** deb ham yuritiladi. Adiabatik jarayonda entalpiyaning o'zgarishi (16) orqali aniqlanadi. Adiabatik jarayon $P - V$ va $T - S$ diagrammalarda 1.12 – rasmda tasvirlangan.

Politropik jarayon

O'zgarmas issiqlik sig'imga sodir bo'ladigan har qanday ideal gaz jarayoniga **politropik jarayon** deb ataladi. Politropik jarayonni ifodalaydigan egri chiziqqa politropa chizig'i deyiladi.

Politropik jarayon ta'rifidan ko'rinadiki, izoxorik, izobarik, izotermik va adiabatik jarayonlar o'zgarmas issiqlik sig'imida sodir bo'lsa, politropik jarayonning xususiy hollariga aylanadi. Politropik jarayonda issiqlik sig'imi $+\infty$ dan $-\infty$ gacha bo'lgan oraliqda qiymatlarga teng bo'lishi mumkin.

Politropik jarayonning issiqligini issiqlik sig'imi bilan haroratlar farqi ko'paytmasi orqali aniqlanadi:

$$q = c_p (t_2 - t_1) \quad \text{va} \quad dq = c_p dt \quad (1.150)$$

Politropik jarayon tenglamasini termodinamika birinchi qonunining tenglamasi asosida keltirib chiqaramiz:

$$dq = c_p dT = c_p dT - v dp \quad \text{va} \quad dq = c_p dT = c_v dT - p dv$$

Bu tenglamalardan quyidagini yozish mumkin:

$$\frac{c_n - c_p}{c_n - c_v} = \frac{-vdp}{pdv}$$

$$\frac{c_n - c_p}{c_n - c_v} = n \text{ bilan belgilasak,}$$

u holda

$$n \frac{dv}{v} = - \frac{dp}{p}$$

Bu tenglamani jarayonning boshi va oxiriga mos ravishda integrallaymiz:

$$n \lg \frac{v_2}{v_1} = \lg \frac{p_1}{p_2}$$

yoki

$$\boxed{pv^n = \text{const}} \quad (1.151)$$

Hosil bo'lgan tenglama (1.151) politropik jarayonning tenglamasi deyiladi. Bunda n – politropa ko'rsatkichi bo'lib, issiqlik sig'imining kattaligiga bog'liq. Politropik jarayon umumlashtiruvchi jarayon hisoblanadi va asosiy parametrlari orasidagi bog'liqlik quyidagi formulalar orqali aniqlanadi:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1}; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

Politropik jarayonning issiqlik sig'imi:

$$c_n = c_v \frac{(n-k)}{n-1} \quad (1.152)$$

Bunda quyidagi hollar bo'lishi mumkin:

- a) izoxorik jarayonda $n = \pm\infty$; $c_p = c_v$;
- b) izobarik jarayonda $n = 0$; $c_p = kc_v = c_r$;
- c) izotermik jarayonda $n = 1$; $c_p = \pm\infty$;
- d) adiabatik jarayonda $n = k$; $c_p = 0$.

Politropik jarayonda ishchi jism bajaradigan ish quyidagicha aniqlanadi:

$$l = \frac{1}{n-1}(p_1 v_1 - p_2 v_2) \quad (1.153)$$

yoki

$$l = \frac{RT_1}{n-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \quad (1.154)$$

Gazning ichki energiyasi o'zgarishi va politropik jarayonda issiqlik quyidagi formulalar orqali topiladi:

$$\Delta u = c_v(t_2 - t_1) \quad (1.155)$$

$$q = c_p(t_2 - t_1) = c_v \frac{n-k}{n-1} (t_2 - t_1) \quad (1.156)$$

Politropik jarayonda entalpiya va entropiyaning o'zgarishi:

$$i_2 - i_1 = c_p(t_2 - t_1) \quad (1.157)$$

$$dS = \frac{dq}{T} = \frac{c_n dT}{T}$$

$$\text{yoki } S_2 - S_1 = c_n \ln \frac{T_2}{T_1} = c_v \left[\frac{(n-k)}{(n-1)} \right] \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (1.158)$$

MASALA YECHISH NAMUNALARI

I-masala. Boshlang'ich parametrlari $P_1=6,8\text{MPa}$ va $t_1=12^\circ\text{C}$ bo'lgan $V=3001$ hajmdagi korbonat angidrid (CO_2) $t_2=85^\circ\text{C}$ gacha qizdirilgan. Gazning keyingi bosimini, massasini va qizdirish uchun sarfiangan issiqlik miqdorini izoxorik va izobarik jarayonlar uchun aniqlang. $C=\text{const}$ deb qabul qiling.

Yechish:

a) Izoxorik jarayon uchun gazning keyingi bosimi.

$$P_2 T_1 = P_1 T_2;$$

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{6,8 \cdot 358}{285} = 8,55\text{MPa}$$

Karbonat angidridning massasini ideal gazlarning hojat tenglamasidan aniqlaymiz.

$$P_1 V_1 = M R T_1$$

$$M = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{6,8 \cdot 10^6 \cdot 300 \cdot 10^{-3}}{189 \cdot 285} = 38\text{kg}$$

Sarflangan issiqlik miqdori

$$Q_v = MC_v(t_2 - t_1) = 38 \cdot 0,66(85 - 12) = 1834 \text{ kJ}$$

$$C_v = \frac{\mu C_v}{\mu} = \frac{29,31}{44} = 0,66 \text{ kJ / kg}^{\circ} \text{C}$$

b) Izaborik jarayon uchun

Bu jarayonda $P = \text{const}$ bo'lgan uchun

$$P_2 = P_1 = 6,8 \text{ MPa}$$

gazning miqdori ham o'zgarmaydi

$$M = 38 \text{ kg.}$$

Sarflangan issiqlik miqdori

$$Q_p = MC_p(t_2 - t_1) = 38 \cdot 0,86(85 - 12) = 2380 \text{ kJ}$$

$$C_p = \frac{\mu C_p}{\mu} = \frac{37,68}{44} = 0,86 \text{ kJ / kg}^{\circ} \text{C}$$

2-masala. Massasi $M = 115 \text{ kg}$, boshlang'ich parametrlari $P_1 = 3,7 \text{ MPa}$ va $t_2 = 50^{\circ} \text{C}$ bo'lgan vodorod $P_2 = 0,25 \text{ MPa}$ gacha kengaygan. Izotermik va adiabatik kengayish jarayonlari uchun vodorodning oxirgi parametrlarini, issiqlik miqdorini, bajarilgan ishni va ichki energiyaning o'zgarishini aniqlang.

Yechish:

a) Izometrik jarayon uchun

Bu jarayonda $T = \text{const}$ bo'lgani uchun

$$T_2 = t_1 = 50^{\circ} \text{C}$$

Ideal gazlarning holat tenglamasidan vodorodning keyingi hajmini aniqlaymiz.

$$V_2 = \frac{MRT_2}{P_2} = \frac{115 \cdot 4157 \cdot 323}{0,25 \cdot 10^6} = 617 \text{ m}^3$$

Vodorodni qizdirish uchun sarflangan issiqlik miqdori

$$Q = MRT_2 \cdot Q_n \frac{P_1}{P_2} = 115 \cdot 4157 \cdot 323 \ln \frac{3,7}{0,25} = 42,7 \cdot 10^7 \text{ J} = 424 \text{ MJ}$$

Bajarilgan ish

$$Z = Q = 424 \text{ MJ}$$

Izometrik jarayonda $T_1 = T_2$ bo'lgan uchun ichki energiyaning o'zgarishi

$$\Delta U = C_v(T_2 - T_1) = 0$$

b) Adiabatik jarayon uchun

Vodorodning keyingi harorati

$$T_2 = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 323 \left(\frac{0,25}{3,7} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 150 \text{ K}$$

$$\text{Hajmi } V_2 = \frac{MRT_2}{P_2} = \frac{115 \cdot 4157 \cdot 150}{0,25 \cdot 10^6} = 287 \text{ m}^3$$

Adiabatik jarayonda $Q=0$

Ichki energiyaning o'zgarishi

$$\Delta U = -Z = -\frac{MR}{k-1}(T_1 - T_2) = \frac{115 \cdot 4157}{1,4-1}(323-159) = -20,8 \cdot 10^7 \text{ J} = -208 \text{ MJ}$$

3-masala. $0,3 \text{ m}^3$ kislorodning izotermik kengayishi natijasida bosim $0,3 \text{ MPa}$ dan to $0,1 \text{ MPa}$ gacha pasayadi. Agar $t=20^\circ\text{C}$ bo'lsa, oxirgi hajmni va kengayishini aniqlang.

Yechish:

1. Oxirgi hajm

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad V_2 = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,3}{0,1 \cdot 10^6} = 0,9 \quad \text{m}^3$$

2. Kengayish ishi

$$L = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = 259,9 \cdot 296 \cdot \ln \frac{0,9}{0,3} = 260 \cdot 296 \cdot \ln 0,3 = 102 \text{ kJ.}$$

4-masala. Boshlang'ich parametrlari $0,3 \text{ MPa}$, 15°C va $0,8 \text{ m}^3$ bo'lgan havoning bosimini doimiy hajmda $0,1 \text{ MPa}$ gacha kamaytirish uchun qanaqa haroratgacha sovitish kerak? Buning uchun qancha issiqlikni olib ketish kerak?

Havoning issiqlik sig'imini doimiy deb hisoblang.

Yechish:

1. Holatning tenglamasidan havoning massasini topamiz:

$$M = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,8}{287 \cdot 288} = 2,9 \text{ kg.}$$

2. Oxirgi harorat

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad T_2 = \frac{P_2 T_1}{P_1} = \frac{0,1 \cdot 288}{0,3} = 96 \text{ K}; \quad t_2 = -177^\circ\text{C}$$

3. Olib ketilishi kerak bo'lgan issiqlik

$Q = MC_{vm}(t_2 - t_1)$ bu erda

$$S_{vm} = \frac{\mu C_v}{\mu} = \frac{20,93}{28,95} = 0,722$$

$$Q_v = 2,9 \cdot 0,722 \cdot 10^3 (-177 + 15) = -329 \text{ kJ}$$

5-masala. Diametri 0,4 m silindrda, bosimi 0,29 MPa va harorati 15° C bo'lgan 80 l havo joylashgan. Havoning issiqlik sig'imini doimiy deb hisoblangan holda, agar havoga 83,7 kJ issiqlik keltirilayotgan bo'lsa, porshen joyiga siljimasdan qolishi uchun unga ta'sir qilayotgan kuchini qanchaga oshishini aniqlang.

Yechish:

1. Havoning massasini topamiz $80 \text{ l} = 0,08 \text{ m}^3$

$$M = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{0,29 \cdot 10^6 \cdot 0,08}{287 \cdot 288} = 0,28 \text{ kg}$$

2. Havoning oxirgi haroratini, t_2 deb,

$$Q_v = MC_{vm}(t_2 - t_1)$$

$$t_2 = t_1 + \frac{Q}{MC_{vm}} + 15 + \frac{83,7}{0,28 \cdot 0,722} = 418,5^\circ \text{C}$$

3. Bosim

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{0,29 \cdot 10^6 (418,5 + 273)}{288} = 0,66 \text{ MPa}$$

4. Porshenga ta'sir qilishi kerak bo'ladigan kuchning ortishi:

$$G = P_2 \cdot F = 0,66 \cdot 10^6 \frac{\pi d^2}{4} = \frac{706 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 0,16}{4} = 85,5 \cdot 10^3 \text{ H}$$

5-Amaliyga topshiriq

MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

1-masala. Yopiq idishda harorati $t_1 = 10^\circ \text{C}$ va siyraklanishi $P_1 = 20 \text{ mm sim.ust.}$ bo'lgan gaz joylashgan. Barometr 75 kPa ni ko'rsatyapti. Gaz sovitilgandan keyin siyraklanish 150 mm sim.ust. ga teng bo'lib qoldi. Gazning oxirgi haroratini toping. **Javob:** $t_2 = -40,4^\circ \text{C}$.

2-masala. Hajmi $V = 0,5 \text{ m}^3$ idishda, bosimi $P_1 = 6 \text{ MPa}$ va harorati $t_1 = 527^\circ \text{C}$ CO_2 gazi joylashgan. Agar undan 420 kJ issiqlik olib ketilsa, bosim qanchaga o'zgaradi? **Javob:** $P_2 = 0,42 \text{ MPa}$.

3-masala. Ichki yonuv dvigatelining silindrida harorati 500°C havo joylashgan. Issiqlik keltirilishi natijasida havoning hajmi 2,2 barobar oshdi. Havoning kengayish jarayonida bosim deyarli o'zgarmay qoldi. Havoning oxirgi harorati, solishtirma issiqlikni va ishni toping. Issiqlik sig'imini haroratga egri chiziqli bog'liq deb hisoblang.

Javob: $t_2 = 1428^\circ \text{C}$; $q_r = 1088,7 \text{ kJ/kg}$; $l = 266,3 \text{ kJ/kg}$.

4-masala. Kompresordan chiqayotgan 190°C li havo sovitgichda doimiy $P = 0,5 \text{ MPa}$ bosimda to 20°C haroratgacha sovitilyapti. Ushbu parametrlarda kompressorning unumdorligi $30 \text{ m}^3/\text{soatga}$ teng. Sovituvchi suvning harorati 10°C ga oshgan bo'lsa, uning soatiga bo'ladigan sarfini toping.

Javob: 733 l/soat.

5-masala. Ichki yonuv dvigatelida, doimiy bosimda yonish jarayonida, gazning harorati $t_1=1500^{\circ}\text{C}$ gacha oshyapti. Gaz havoning xossalriga ega deb, 1 kg gazning kengayish ishini aniqlang. **Javob:** 287 kJ.

6-masala. 1 kg havoni izotermik siqish natijasida bosimi 0,1 MPa dan to 0,5 MPa gacha ko'tarilyapti. Hajmining kamayishini 10°C va 100°C haroratlar uchun aniqlang. **Javob:** $t = 10^{\circ}\text{C}; \Delta v = 0,65 \text{ m}^3; t = 100^{\circ}\text{C}; \Delta v = 0,86 \text{ m}^3$.

7-masala. Hajmi 40 l ballonda joylashgan va mutlaq bosimi 10 MPa harorati $t=15^{\circ}\text{C}$ bo'lgan azot bilan, sig'imi 100 cm^3 elektr lampa kolbasining qanchasini to'ldirish mumkin, agar kolbaning ichida, azot o'zining oldingi haroratida 200 mm sim. ust. ga teng siyraklanishga ega bo'lishi kerak bo'lsa. **Javob:** 54500 kolba.

8-masala. 1 kg SO_2 ning izotermik kengayishi natijasida uning hajmi uch barobar oshyapti va 120 kJ ga teng ish bajarilyapti. SO_2 ning kengayish jarayonidagi haroratini aniqlang. **Javob:** $t = 305^{\circ}\text{C}$.

9-masala. Havo 4,5 bar bosim bilan 1,2 bar bosimgacha kengayganda, uning harorati -45°C gacha soviydi. Boshlang'ich haroratni va 1 kg havoning bajargan ishini aniqlang. **Javob:** $t_1=61^{\circ}\text{C}; \ell=75,3 \text{ kJ/kg}$.

10-masala. $t_1=25^{\circ}\text{C}$ haroratli havo adiabatik sovishi natijasida uning harorati $t_2=-55^{\circ}\text{C}$ bo'ladi, bosim 1 bar gacha kamayadi. Boshlang'ich bosimni, 1 kg havoning kengayishidagi ishini toping. **Javob:** $P_1=3 \text{ bar}; \ell=57,4 \text{ kJ/kg}$.

11-masala. Ikki atomli gaz bilan politropik jarayon bajariladi. Politrop ko'rsatkichi 1,18. Harorat 150°C dan -14°C gacha pasayadi. Buning natijasida 149 kJ/kg issiqlik sarflanadi. Qanday gaz ekanligini aniqlang.

Javob: $C_v=0,745 \text{ kJ/kgK}, \mu=28 \text{ kg/kmol}$, azot gazi.

12-masala. 1 kg azotni politrop siqish natijasida 100 kJ issiqlik olib ketilyapti va 150 kJ ish sarflanyapti. Agar gazning boshlang'ich harorati 15°C bo'lsa, uning oxirgi haroratini toping. **Javob:** $t_2 = 81,8^{\circ}\text{C}$

13-masala. Boshlang'ich holat parametrlari $P_1=0,11 \text{ MPa}$ va $t_1=-10^{\circ}\text{C}$ politrop siqish jarayonida hajm to $1,1 \text{ m}^3$ gacha kamayyapti va bosim to $0,45 \text{ MPa}$ gacha oshyapti. Siqilish ishini va havoning oxirgi haroratini toping.

Javob: $n=1,4; Q=0; L=-412 \text{ kJ}; t_1=121^{\circ}\text{C}$

14-masala. Boshlang'ich parametrlari $P_1=0,9 \text{ MPa}$ va $t_1=20^{\circ}\text{C}$ dan to $P_2=1,0 \text{ MPa}$ gacha bo'lgan 1 kg havoning siqilish ishini va oxirgi haroratini izotermik, adiabatik va politrop siqilish jarayonlari uchun taqqoslang. ($n=1,25$). **Javob:** $l_{iz}=-202,2 \text{ kJ/kgK}$.

Nazorat va muhokama savollari:

1. Adiabatik jarayon deb qanday jarayonga aytiladi?
2. Politropik jarayonda issiqlik sig'imi qanday aniqlanadi?
3. Izoxorik jarayonda ish nimaga teng?
4. Izobarik jarayonda issiqlik ishga qanday aylanadi?
5. Adiabatik jarayon nimadan iborat?

6-AMALIY MASHG'ULOT.

ICHKI YONUV DVIGATELLARIGA DOIR MASALLAR

NAZARIY MA'LUMOTLAR.

Ma'lumki, jismning bosimi va hajmi bilan xarakterlanadigan holati PV – diagrammada nuqta bilan tasvirlanadi. Bunday diagrammada jism holatining o'zgarishi termodinamikaviy proses egri chizig'i bilan ifodalanadi. Jism bir qancha o'zgarishlarga uchrab, yana boshlang'ich holatiga qaytib keladigan ketma – ket qator proseslar aylanma proses, boshqacha aytganda sikl deyiladi.

Hozirgi zamon issiqlik dvigatellarini hisoblash issiqlik mexanikaviy ishga aylantiriladigan ideal aylanma proseslarga, ya'ni ideal sikllarga asoslangan. Real dvigatellarga sodir bo'ladigan haqiqiy issiqlik proseslarining mukammalligini baholash uchun ideal sikllarni o'rganish zarur. Ideal sikllarda proseslar qaytar bo'ladi. Ularda ishqalanish bo'lmasligi va ideal issiqlik izolyatorlari yo'qligi tufayli isroflar bo'lmaydi.

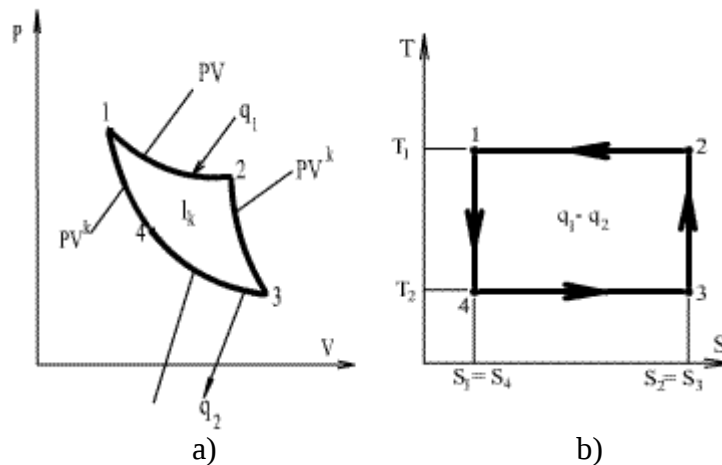
Ideal sikllarda sistemaga issiqlik keltirish prosesida ish jismining ximiyaviy tarkibi o'zgarmaydi, deb qaraladi. Real sikllarda issiqlik keltirish yoqilg'ining yonish prosesida amalga oshiriladi. Bunda ichki yonuv dvigatellarida yoqilg'ining yonish mahsulotlari, bug' turbinasida esa yuqori bosimli bug' ish jismi hisoblanadi.

Ideal sikllarda sistemadan issiqlik olib ketilishi prosessi bu issiqlikni sovutgichga berish sifatida qaraladi. Real sikllarda esa sistemadan issiqlik olib ketilishi ishlab bo'lgan gaz yoki bug'ni chiqarib yuborish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Ideal sikllarda adiabatik siqilish va kengayish proseslarida ish jismi bilan tashqi muhit orasida issiqlik almashinuvi bo'lmaydi. Real sikllarda kengayish va siqilish proseslarida esa issiqlik almashinuvi bo'ladi va ular adiabatik proseslarga to'la mos kelmasligi mumkin.

Barcha ideal sikllar orasida mantiqan ustivor va mazmunan sodda bo'lgan sikl – bu Karno sikli hisoblanadi. Bu sikl 1824 yili frantsuz dengiz ofitseri, injeneri – olimi Karno Nikola Leonar Sadi "Olovning xarakatlaniruvchi kuchi haqida mulohazalar" asarida issiqlik va ishning o'zaro bir – biriga o'zgarishi to'g'risidagi masala yechimini to'g'ri hal qilish natijasida kashf etgandir.

Karno sikli – qaytar sikldir. U asosan 4 ta prosesdan, ya'ni 2 ta izotermik va 2 ta adiabatik prosesdan iborat.



1 – rasm, a) da Karno siklining grafikaviy (PV – diagrammasi) tasviri keltirilgan bo'lib, unga nazar tashlaydigan bo'lsak, sistemaning boshlang'ich holati parametrlari P_1 , V_1 , T_1 bo'lgan 1 nuqta bilan aniqlanadi. Karno siklini hosil qiluvchi 4 tala siklini ko'rib chiqamiz.

Sistema (ideal gaz) devorlari va porshenli mutlaqo issiqlik o'tkazmaydigan tsilindrga joylashtirilgan deb faraz qilaylik. Tsilindr tubi qanday proses borishiga qarab, tashqi muhitdan termik izolyatsiyalanadi. Sistemaga undagi T_1 temperatura isitgich (issiqlik manbai) dan q_1 issiqlik miqdori uzluksiz keltirilib turishi hisobiga o'zgarmas saqlanadi. Sistemada kechadigan jarayon (proses) o'zgarmas ($T=\text{const}$) temperaturada sodir bo'ladi. Qoldiq (ish bajarmagan) issiqlik miqdori q_2 sistemadan uzluksiz ravishda tashqi muhit – sovutgichga chiqariladi. q_2 issiqlik miqdori xam $T_2=\text{const}$ temperaturada uzatiladi. Shuning uchun q_1 ning ishorasi musbat, q_2 ning manfiy deb qabul qilinadi.

Sistema holati keskin o'zgarganda (gaz kengayganida yoki siqilganida) tashqi muhitdan mutlaqo izolyatsiyalangan, ya'ni $dq=0$ bo'lishi shart. Shu shart bajarilsa sistemada kechadigan jarayon bizga ma'lumki adiabatik bo'ladi. (1 – rasm).

Birinchi proses – izotermik kengayish.

Tsilindrning tubi issiqlik manbai bilan termik kontaktda bo'ladi. Sistema q_1 issiqlik oladi va 1,2 chiziq bo'yicha izotermik kengayadi, bunda u tashqaridan berilgan issiqlik hisobiga ish bajaradi. 2 nuqtada issiqlik manbai tsilindrdan ajratib qo'yiladi va sistema termik izolyatsiyalanadi (tsilindrning tubi ideal issiqlik izolyatsiya materiali bilan qoplanadi).

Ikkinchi proses – adiabatik kengayish.

Gaz tashqi muhit bilan issiqlik almashmay 2,3 chiziq bo'yicha kengayadi, porshen siljiydi va gaz o'zining ichki energiyasi hisobiga ish bajaradi. Bunda temperatura va bosim pasayadi. Sistemaning temperaturasi sovutgichning temperaturasi T_2 ga yetgach, porshenning harorati 3 nuqtada to'xtaydi. Shundan keyin tsilindr sovutgich bilan termik kontaktda keltiriladi va uchinchi proses boshlanadi.

Uchinchi proses – izotermik siqilish.

Porshen dastlabki holatiga shunchalik sekin qaytadiki, gaz sovutgich temperaturasida issiqlikni uzatadi. Bunda tashqi kuchlar gaz ustidan ish bajaradi. Uning hajmi kamayadi, temperaturasi o'zgarmay proses bosimi esa ortadi. 4 nuqtada sistema termik izolyatsiya qilinadi.

To'rtinchi proses – adiabatik siqilish.

Tashqi kuchlar tomonidan gazning siqilishi davom etadi, lekin bunda issiqlik almashinuv bo'lmaydi. Gazning hajmi kamayadi, temperaturasi va bosimi ortadi. Temperatura issiqlik manbaining T temperaturasi T_1 ga yetgach, siqilish prosessi to'xtaydi va Karno sikli yopiladi.

Shunday qilib, diagrammada Karno sikli yopiq egri chiziqli 1,2,3,4,1 bilan tasvirlanadi. Bunda shu egri chiziqli bilan chegaralangan yuzaga son jihatdan teng ish L bajariladi. (1 – rasm,a).

1 – rasmda, b) da Karno siklining T – S diagrammasi keltirilgan. T – S diagrammada 1,2,3,4,1 yuza son jihatdan Karno siklining foydali ishiga aylantirilgan issiqlik miqdoriga teng. Ikkala diagrammada yuzalar o'zaro teng.

Karno siklining termik foydali ish koeffitsienti ushbu formuladan topiladi:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Xulosa:

- 1) **Karno siklining termik f.i.k. ish jismining xossalriga bog'liq emas, balki, faqat absolyut T_1 va T_2 ning qiymati bilan aniqlanadi (Karno teoremasi);**
- 2) **Karno siklining termik f.i.k. qiymati T_1 ortishi T_2 ga kamayishi bilan kattalashadi;**
- 3) **Karno siklining termik f.i.k. doimo birdan kichik bo'ladi, chunki u $T_2=0$ yoki $T_2=\infty$ bo'lgandagina birga teng bo'lishi mumkin edi, ideal siklda ham bunday temperatura hosil qilib bo'lmaydi.**

Karno sikli **etalon** bo'lib xizmat qiladi, real mashinalar yaratishga shu etalonga yaqinlashtirishga harakat qilish lozim.

Karno siklining termik f.i.k. ni oshirish uchun issiqlik manbai bilan sovutgich orasidagi temperaturalar farqini iloji boricha kattalashtirish kerak. Real sharoitlarda shu maqsadda ish jismining temperaturasi prosessning oxirida kamaytiriladi.

Real issiqlik dvigatelining f.i.k. qiymati shu temperaturalar chegarasida sodir bo'ladigan Karno siklining f.i.k. ga qanchalik yaqin bo'lsa, bu dvigatel shunchalik takomillashgan bo'ladi.

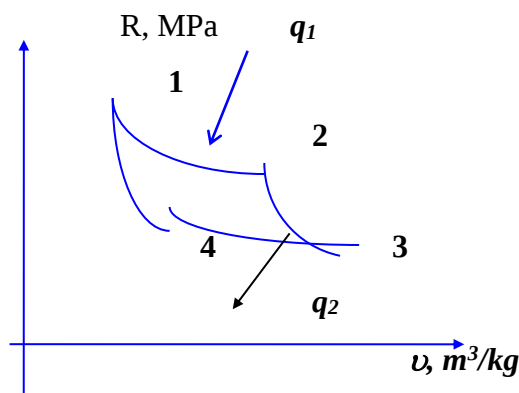
1-masala

Agar issiqlik manbaining harorati $t_1 = 327^\circ\text{S}$, issiqlik qabul qiluvchiniki esa $t_2 = 27^\circ\text{S}$, eng katta bosim **2MPa** va eng kichik bosim **0,12 MPa** bo'lsa, Karno siklining xarakterli nuqtalaridagi **1kg** havoning holat ko'rsatkichlari, bajargan ishi, issiqlik foydali ish koeffitsiyenti (FIK), siklga kiritilgan va sikldan chiqarilgan issiqlik miqdorlari aniqlansin. Siklning T-S diagrammasi qurilsin.

Yechish.

1. Xarakterli nuqtadagi ko'rsatkichlarni

aniqlaymiz:



1 – nuqta uchun (1-rasm):

Masalaning shartiga ko'ra:

$$R_1 = 2\text{MPa}$$

$$T_1 = t_1 + 273 = 600^\circ\text{S}.$$

Rasm 1. Karno siklining R-V diagrammasi

Solishtirma hajmni ideal gaz holat tenglamasidan topamiz:

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 600}{2 \cdot 10^6} = 0,86 \quad \text{m}^3 / \text{kg}$$

2 – nuqta uchun: Karno siklining shartiga ko'ra: $T_1 = T_2 = 600 \text{ K}$.

2 - 3 adiabatik jarayon bo'lganligi uchun:

$$\frac{P_3}{P_2} = \left(\frac{T_3}{T_2} \right)^{\frac{k}{k-1}} = \left(\frac{27 + 273}{600} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 0,089, \text{ bundan}$$

$$P_2 = \frac{P_3}{0,089} = \frac{0,12}{0,089} = 1,35 \text{ MPa.}$$

1 - 2 izotermik jarayon bo'lganligi uchun $\frac{P_1}{P_2} = \frac{v_2}{v_1}$, bundan

$$v_2 = \frac{P_1 \cdot v_1}{P_2} = \frac{2 \cdot 0,089}{1,35} = 0,127 \text{ m}^3/\text{kg}$$

3 – nuqta uchun: masalaning shartiga ko'ra

$$P_3 = 0,12 \text{ MPa}, \quad T_3 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

Solishtirma hajmni holat tenglamasidan topamiz:

$$v_3 = \frac{R \cdot T_3}{P_3} = \frac{287 \cdot 300}{0,12 \cdot 10^6} = 0,71 \text{ m}^3/\text{kg.}$$

4 – nuqta uchun: 3 - 4 izotermik jarayon bo'lgani uchun $T_3 = T_4 = 300 \text{ K}$.

4 - 1 adiabatik jarayon bo'lgani uchun

$$\frac{P_1}{P_4} = \left(\frac{T_1}{T_4} \right)^{\frac{k}{k-1}} = \left(\frac{600}{300} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 11,2, \text{ bundan}$$

$$P_4 = \frac{P_1}{11,2} = 0,18 \text{ MPa.}$$

Colishtirma hajmni holat tenglamasidan topamiz:

$$v_4 = \frac{R \cdot T_4}{P_4} = \frac{287 \cdot 300}{0,18 \cdot 10^6} = 0,48 \text{ m}^3/\text{kg.}$$

2. Sikldagi bajarilgan ish: $l = q_1 - q_2$,

bunda q_1 - siklga kiritilgan issiqlik;

q_2 - sikldan chiqarilgan issiqlik.

$$q_1 = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{P_1}{P_2} = 287 \cdot 600 \cdot \ln \frac{2}{1,35} = 67400 \quad \text{Ж/кг} = 67,4 \quad \text{кЖ/кг}$$

$$q_2 = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{P_4}{P_3} = 287 \cdot 300 \cdot \ln \frac{0,18}{0,12} = 33700 \quad \text{Ж/кг} = 33,7 \quad \text{кЖ/кг}$$

u holda $l = 67,4 - 33,7 = 33,7 \text{ kJ/kg}$.

3. Siklning issiqlik FIK:

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{600 - 300}{600} = 0,5$$

4. Siklning jarayonlarida entropiyaning o'zgarishini aniqlaymiz va Karno siklining T - S diagrammasini quramiz:

1 - 2 izoterma uchun:

$$S_2 - S_1 = R \cdot \ln \frac{P_1}{P_2} = 287 \cdot \ln \frac{2}{1,35} = 112 \quad \text{Ж/кг}^{\circ}\text{C} = 0,112 \quad \text{кЖ/кг}^{\circ}\text{C}$$

2 - 3 adiabata uchun: $S_3 - S_2 = 0$.

3 - 4 izoterma uchun:

$$S_4 - S_3 = R \cdot \ln \frac{P_3}{P_4} = 287 \cdot \ln \frac{0,12}{0,18} = -0,112 \quad \text{кЖ/кг}^{\circ}\text{C}$$

4 - 1 adiabata uchun: $S_1 - S_4 = 0$.

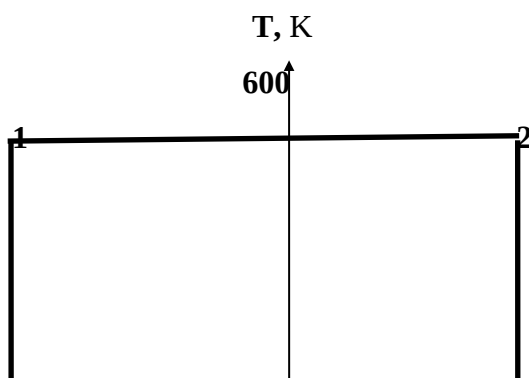
Siklning T - S diagrammasini qurish uchun uning xarakterli nuqtalaridagi entropiyalarning qiymatlarini aniqlaymiz.

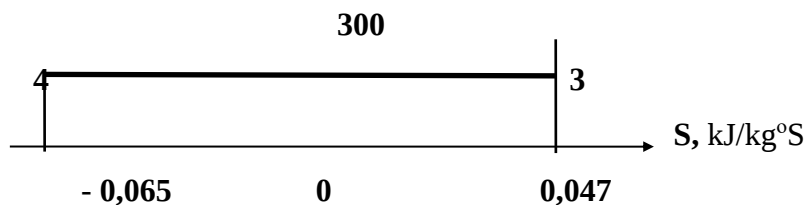
$$S_1 = c_p \cdot \ln \frac{T_1}{T_H} - R \cdot \ln \frac{P_1}{P_H} = 1,01 \cdot \ln \frac{600}{273} - 0,287 \cdot \ln \frac{2}{0,101} = -0,065 \quad \text{кЖ/кг}^{\circ}\text{C}$$

$$S_2 - S_1 = 0,112 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{S} \text{ bo'lgani uchun}$$

$$S_2 = S_1 + 0,112 = -0,065 + 0,112 = 0,047 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{S}.$$

$$S_3 = S_2 = 0,047 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{S}; \quad S_4 = S_1 = -0,065 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{S}.$$





Rasm 2. Karno siklining T-S diagrammasi

2-masala

Agar $R_1 = 0,12 \text{ MPa}$, $t = 17^\circ\text{S}$, siqish darajasi $\varepsilon = 4,5$ va siklga kiritilgan issiqlik miqdori $q_1 = 1340 \text{ kJ/kg}$ bo'lsa, issiqlikni $v = \text{const}$ bo'lganda siklga kiritiluvchi ichki yonish dvigatelining ideal sikli uchun xarakterli nuqtalaridagi holat ko'rsatkichlari, bajarilgan foydali ish, issiqlik FIK, siklning jarayonlarida entropiyaning o'zgarishi topilsin va siklning T - S diagrammasi qurilsin.

Yechish.

1. Siklning xarakterli nuqtalaridagi holat ko'rsatkichlarini aniqlaymiz.

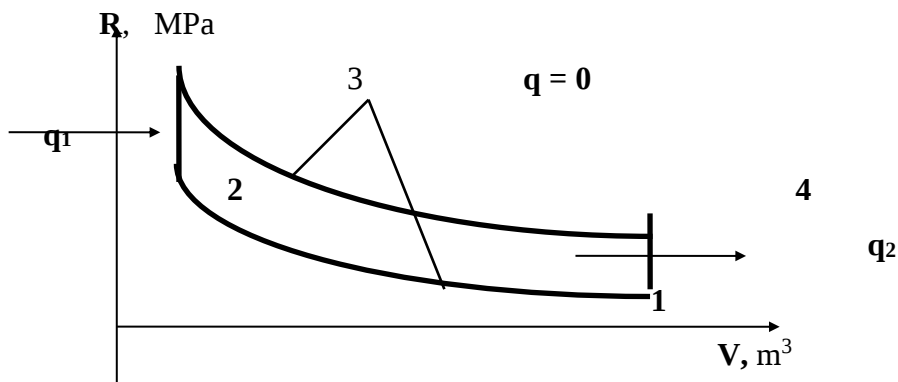
1-nuqta uchun: masalaning shartiga ko'ra: $R_1 = 0,12 \text{ MPa}$, $T_1 = 290 \text{ K}$. Solishtirma v_1 hajmni ideal gaz holat tenglamasidan topamiz:

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 290}{0,12 \cdot 10^6} = 0,69 \text{ m}^3/\text{kg}$$

2 - nuqta uchun:

Agar $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$ bo'lsa, bundan

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,69}{4,5} = 0,154 \text{ m}^3/\text{kg}$$



3 -rasm . Siklning R - V diagrammasi.

1 - 2 adiabatik jarayon bo'lgani uchun:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k, \text{ bundan } P_2 = P_1 \cdot \varepsilon^k = 0,12 \cdot 4,5^{1,4} = 0,98 \text{ MPa}$$

T_2 ning qiymatini holat tenglamasidan foydalanib topamiz:

$$T_2 = \frac{P_2 \cdot v_2}{R} = \frac{0,98 \cdot 10^6 \cdot 0,154}{287} = 520 \text{ K}$$

3 – nuqta uchun:

q_1 keltirilgan issiqlik miqdori masala shartiga ko'ra berilgani uchun q_1 tenglamasidan foydalanib T_3 ni topamiz:

$$q_1 = c_v \cdot (T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{q_1}{c_v} + T_2$$

bunda s_v - havoning o'zgarmas hajmidagi massaviy issiqlik sig'imi, kJ/kg °S.

$$c_v = \frac{\mu c_v}{\mu} = \frac{20,93}{29} = 0,72 \text{ kJ/kg}^\circ\text{S}$$

$$T_3 = \frac{1340}{0,72} + 520 = 2380, \text{ K. } v_3 = v_2 = 0,154 \text{ m}^3/\text{kg}$$

2 - 3 izoxorik jarayon bo'lgani uchun:

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3} \Rightarrow P_3 = \frac{P_2 \cdot T_3}{T_2} = \frac{0,98 \cdot 2380}{520} = 4,6 \text{ MPa}$$

4 – nuqta uchun: $v_4 = v_1 = 0,69, \text{ m}^3/\text{kg}$

3 - 4 adiabatik jarayon bo'lganligi uchun:

$$\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k \Rightarrow P_4 = P_3 \cdot \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k = P_3 \cdot \frac{1}{\varepsilon^k} = \frac{4,6}{4,5^{1,4}} = 0,56 \text{ MPa.}$$

4 - 1 izoxorik jarayon bo'lganligi uchun:

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1} \Rightarrow T_4 = \frac{P_4 \cdot T_1}{P_1} = \frac{0,56 \cdot 290}{0,12} = 1350 \text{ K}$$

2. Siklda bajarilgan foydali ish quyidagitenglikdan topiladi:

$$l = q_1 - q_2$$

bunda q_2 - sikldan chiqarilgan issiqlik,

$$q_2 = c_v \cdot (T_4 - T_1) = 0,72 \cdot (1350 - 290) = 764 \text{ kJ/kg}$$

u holda $l = q_1 - q_2 = 1340 - 764 = 576 \text{ kJ/kg}$.

3. Siklning issiqlik FIK

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{1340 - 764}{1340} = 0,43$$

4. Siklning jarayonlarida entropiyaning o'zgarishini aniqlaymiz va T-S diagrammasini quramiz:

1 - 2 adiabata uchun $S_2 - S_1 = 0$.

2 - 3 izoxora uchun:

$$S_3 - S_2 = c_v \cdot \ln \frac{T_3}{T_2} = 0,72 \cdot \ln \frac{2380}{520} = 1,1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

3 - 4 adiabata uchun: $S_4 - S_3 = 0$

4 - 1 izoxora uchun

$$S_1 - S_4 = c_v \cdot \ln \frac{T_1}{T_4} = 0,72 \cdot \ln \frac{290}{1350} = -1,1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

T-S diagrammani qurish uchun siklning xarakterli nuqtalaridagi entropiyalarning qiymatlarini aniqlaymiz:

$$S_1 = c_p \cdot \ln \frac{T_1}{T_H} - R \cdot \ln \frac{P_1}{P_H} = 1,01 \cdot \ln \frac{290}{273} - 0,287 \cdot \frac{0,12}{0,101} = 0,1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{S}$$

$$S_2 - S_1 = 0 \text{ bo'lgani uchun } S_2 = S_1 = 0,1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{S}$$

$$S_3 - S_2 = 1,1; \quad S_3 = 1,1 + S_2 = 1,1 + 0,1 = 1,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{S},$$

$$S_4 - S_3 = 0; \quad S_4 = S_3 = 1,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{S}$$

6-Amaliyga topshiriq

MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

1-masala

Agar issiqlik manbaining harorati $t_1 = 427^\circ\text{S}$, issiqlik qabul qiluvchiniki esa $t_2 = 37^\circ\text{S}$, eng katta bosim 3MPa va eng kichik bosim $0,13\text{MPa}$ bo'lsa, Karno siklining xarakterli nuqtalaridagi 2kg havoning holat ko'rsatkichlari, bajargan ishi, issiqlik foydali ish koeffitsiyenti (FIK), siklga kiritilgan va sikldan chiqarilgan issiqlik miqdorlari aniqlansin. Siklning T-S diagrammasi qurilsin.

2-masala

Agar $R_1 = 0,13 \text{ MPa}$, $t = 18^\circ\text{S}$, siqish darajasi $\epsilon = 5,5$ va siklga kiritilgan issiqlik miqdori $q_1 = 1341 \text{ kJ/kg}$ bo'lsa, issiqlikni $v=\text{const}$ bo'lganda siklga kiritiluvchi ichki yonish dvigatelining ideal sikli uchun xarakterli nuqtalaridagi holat ko'rsatkichlari, bajarilgan foydali ish, issiqlik FIK, siklning jarayonlarida entropiyaning o'zgarishi topilsin va siklning $T - S$ diagrammasi qurilsin.

7-AMALIY MASHG'ULOT

Porshenli kompressorlar

Masala 1

Havoning sarfi $500 \text{ m}^3/\text{soat}$ bo'lganda so'rilayotgan paytdagi bosim $0,1 \text{ MPa}$ va siqilgandan keyingi bosim $0,4 \text{ MPa}$ bo'lsa, izotermik siquvchi ideal quvvati N va sovituvchi suvga bir soatda beriladigan issiqlik miqdori Q aniqlansin.

Yechish.

Ideal kompressorning quvvati:

$$N = \frac{L}{3600 \cdot 1000}, \text{ kVt}$$

bunda L - izotermik siqishda bajarilgan ish

$$L = P_1 \cdot V \cdot \ln \frac{P_2}{P_1} = 2,3 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 500 \cdot \ln \frac{0,4}{0,1} = 69 \cdot 10^6 \text{ J/coam}$$

Unda ideal kompressorning quvvati

$$N = \frac{69 \cdot 10^6}{3600 \cdot 1000} = 19,1 \text{ kVt}$$

Sovituvchi suvga bir soatda beriladigan issiqlik miqdori

$$Q = L = 69 \cdot 10^6 \text{ J/soat.}$$

Masala 2

Kompressor bosimi $0,1 \text{ MPa}$ va harorati 27°S bo'lgan havoni $120 \text{ m}^3/\text{soat}$ sarf miqdorida so'rib, uni siqqandan keyingi bosimi $1,2 \text{ MPa}$ bo'ladi. Siqilgan havoning harorati t_2 hajmi V_2 , kompressorning havoni siqishda bajargan ishi L va quvvati N aniqlansin. Hisoblashni kompressor havoni izotermik, adiabatik va politropik siqish hollari uchun bajaring. Politropik ko'rsatkichni $1,3$ ga teng deb qabul qiling.

Yechish.

a) izotermik siqish uchun:

siqilgan havoning harorati: $t_2 = t_1 = 27^\circ\text{S}$.

Siqilgan havoning hajmi:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 \cdot P_1}{P_2} = \frac{120 \cdot 0,1}{1,2} = 10 \text{ m}^3 / \text{soat}$$

Izotermik siqish uchun kompressorning bajargan ishi

$$L = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{P_2}{P_1} = 2,3 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 120 \cdot \ln \frac{1,2}{0,1} = 29,8 \cdot 10^6 \text{ J/soat.}$$

Kompressorning sarflagan quvvati:

$$N = \frac{L}{3600 \cdot 1000} = \frac{29,8 \cdot 10^6}{3600 \cdot 1000} = 8,3 \text{ kVt.}$$

b) Adiabatik siqish uchun:

Siqilgan havoning harorati

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 300 \cdot \left(\frac{1,2}{0,1} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 600 \text{ K}$$

Adiabatik siqish uchun kompressorning ishi:

$$L = \frac{k}{k-1} \cdot P_1 \cdot V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 120 \left[\left(\frac{1,2}{0,1} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = 42 \cdot 10^6 \text{ J/soat}$$

Kompressorning sarflagan quvvati

$$N = \frac{L}{3600 \cdot 1000} = 11,6 \text{ kVt}$$

v) Politropik siqish uchun:

Siqilgan havoning harorati

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 300 \left(\frac{1,2}{0,1} \right)^{\frac{1,3-1}{1,3}} = 531 \text{ K}$$

Siqilgan havoning hajmi:

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}}} = \frac{120}{\left(\frac{1,2}{0,1}\right)^{\frac{1}{1,3}}} = 17,7 \text{ m}^3 / \text{coam}$$

Kompressorning politropik siqishdagi sarflangan ish:

$$L = \frac{n}{n-1} \cdot P_1 \cdot V_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{1,3}{1,3-1} \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 120 \cdot \left[\left(\frac{1,2}{0,1}\right)^{\frac{1,3-1}{1,3}} - 1 \right] = 39,9 \cdot 10^6$$

J/soat

Kompressorning sarflagan quvvati:

$$N = \frac{L}{3600 \cdot 1000} = \frac{39,9 \cdot 10^6}{3600 \cdot 1000} = 11,1 \text{ kVt}$$

3-masala

Bir pog'onali kompressorning zararli hajmining miqdori **8%** ni tashkil etadi. Uning havoni so'rish bosimi **0,1 MPa**, haydash bosimi esa **0,7 MPa**. Havoning siqilishi va kengayishi politropik jarayonda sodir bo'lib, politropik ko'rsatkichi **n=1,4** ga teng bo'lgan holat uchun kompressorning hajmiy FIK aniqlansin. Havoni qanday bosimda haydaganda kompressorning ish unumi **0** ga teng bo'ladi?

Echish:

Kompressorning hajmiy FIK quyidagi tenglikdan aniqlanadi:

$$\lambda = 1 - a \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] = 1 - 0,08 \cdot \left[\left(\frac{0,7}{0,1}\right)^{\frac{1}{1,4}} - 1 \right] = 0,76$$

Kompressorning ish unumi **0** ga teng bo'lishi uchun uning hajmiy FIK **0** ga teng bo'lishi kerak, ya'ni:

$$\lambda = 1 - a \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] = 1 - 0,08 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{0,1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] = 0$$

Bu tenglamadan **P₂** ning qiymatini aniqlasak, masalaning shartida so'ralgan bosimning qiymati kelib chiqadi:

$$P_2 = 3,82 \text{ MPa.}$$

Vazifa.

Boshlang'ich parametrlari **P_1 MPa**, **t_1 °S** va oxirgi bosimi **P_2 MPa** bo'lgan kompressorning ish unumi **M kg/soat** ga teng. Kompressorda havoning siqilishi politropik jarayonda sodir bo'lib, uning politropik ko'psatkichi **n** ga teng. Porshenning yurish oralig'ini silindrning diametriga nisbati **$S/D = 1,3$** . Kompressor tirsakli valining aylanish tezligi **ω , ayl/min**.

Kompressorni harakatlantiruvchi dvigatelining nazariy quvvati, porshenning yurish oralig'i va silindrning diametri topilsin.

P_1 , t_1 , P_2 , M , ω larning qiymatlari 6- jadval dan olinadi.

6-jadval

Shifrnin oxirgi sifri	P_1 , MPa	t_1 , °S	Shifrnin oxiridan oldingi sifri	P_2 , MPa	M , kg/soat	ω , ayl/min
0	0,1	16	0	0,55	300	200
1	0,1	24	1	0,60	320	250
2	0,1	13	2	0,64	360	300
3	0,1	20	3	0,68	390	320
4	0,1	26	4	0,71	370	350
5	0,1	22	5	0,73	400	270
6	0,1	25	6	0,75	420	210
7	0,1	17	7	0,85	460	330
8	0,1	15	8	0,92	490	160
9	0,1	9	9	0,90	510	180

Nazorat savoolari va topshiriqlar

1. Kompressor nima ? Uning tavsiflarini keltiring. Politropik, adiabatik va izotermik siqishda kompressor ishi uchun ifodalarni keltiring.
2. $p_v - T_s$ – diagrammalarda ko'p bosqichli kompressorning siqish jarayonini tahlil qiling. Ko'p bosqichli siqishning bir bosqichligiga nisbatan afzalliklarini qo'rsating.
3. Sovutiladigan va sovutilmaydigan kompressorlarning FIK lari qanday aniqlanadi?

7-Amaliyga topshiriq

MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

Masala 1

Havoning sarfi $600 \text{ m}^3/\text{soat}$ bo'lganda so'rilayotgan paytdagi bosim **0,2 MPa** va siqilgandan keyingi bosim **0,5 MPa** bo'lsa, izotermik siquvchi ideal quvvati **N** va sovutuvchi suvga bir soatda beriladigan issiqlik miqdori **Q** aniqlansin.

Masala 2

Kompressor bosimi **0,2 MPa** va harorati **28 °S** bo'lgan havoni **121 m³/soat** sarf miqdorida so'rib, uni siqqandan keyingi bosimi **1,3 MPa** bo'ladi. Siqilgan havoning harorati **t₂** hajmi **V₂**, kompressorning havoni siqishda bajargan ishi **L** va quvvati **N** aniqlansin. Hisoblashni kompressor havoni izotermik, adiabatik va politropik siqish hollari uchun bajaring. Politropik ko'rsatkichni **1,4** ga teng deb qabul qiling.

3-masala

Bir pog'onali kompressorning zararli hajmining miqdori **9%** ni tashkil etadi. Uning havoni so'rish bosimi **0,2 MPa**, haydash bosimi esa **0,8 MPa**. Havoning siqilishi va kengayishi politropik jarayonda sodir bo'lib, politropik ko'rsatkichi **n=1,5** ga teng bo'lgan holat uchun kompressorning hajmiy FIK aniqlansin. Havoni qanday bosimda haydaganda kompressorning ish unumi **0** ga teng bo'ladi?

Nazorat savoolari va topshiriqlar

1. Kompressor nima ? Uning tavsiflarini keltiring. Politropik, adiabatik va izotermik siqishda kompressor ishi uchun ifodalarni keltiring.
2. $p-v$ – $T-s$ – diagrammalarda ko'p bosqichli kompressorning siqish jarayonini tahlil qiling. Ko'p bosqichli siqishning bir bosqichligiga nisbatan afzalliklarini qo'rsating.
3. Sovutiladigan va sovutilmaydigan kompressorlarning FIK lari qanday aniqlanadi?

8-AMALIY MASHG'ULOT.

Konvektiv issiqlik almashinuvi

Masala 1.

Eni $v = 1,0 \text{ m}$ va uzunligi $l = 1,2 \text{ m}$ bo'lgan silliq plita shamol oqimiga qo'yilgan. Shamolning tezligi $\omega = 6 \text{ m/s}$, harorati $t_f = 20 \text{ }^\circ\text{S}$. Plitaning harorati $t_\omega = 80 \text{ }^\circ\text{S}$.

Issiqlik berish koeffitsiyenti α bilan plitadan havoga o'tayotgan issiqlik miqdori Q ni aniqlang.

Yechish

Masalaning shartidan aniq bo'lishicha bu yerda majburiy konveksiya sodir bo'lmoqda. Bunda Reynolds kriteriyasini topish kerak bo'ladi:

$$\text{Re}_{f,l} = \frac{\omega \cdot l}{\nu_f} = \frac{6 \cdot 1,2}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 4,78 \cdot 10^5$$

bu yerda ν_f - havoning quyushqoqligi, m^2/sek (ilova, 12 jadval)

$\text{Re} \geq 4 \cdot 10^4$ bo'lgan holda plita atrofida turbulent oqim kuzatiladi va bu hodisa uchun Nuselt kriteriyasi

$$\text{Nu}_{f,l} = 0,37 \cdot \text{Re}_{f,l}^{0,8} \cdot \text{Pr}_f^{0,43}$$

bu tenglamada Pr_f - Prandtl kriteriyasi (ilova, 12 jadval).

$$\text{Nu}_{f,l} = 0,037 \cdot (4,78 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 0,7^{0,43} = 1,12 \cdot 10^3$$

O'z navbatida

$$\text{Nu}_{f,l} = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda_f}$$

bu yerda λ_f - havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, $\text{Wt/m } ^\circ\text{S}$ (ilova, 12 jadval) va bu tenglamadan

$$\alpha = \frac{\text{Nu}_{f,l} \cdot \lambda_f}{l} = \frac{1,12 \cdot 10^3 \cdot 0,0267}{1,2} = 24,8 \text{ Wt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{S}$$

Plitadan havoga o'tayotgan issiqlik miqdori

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \Delta t = 24,8 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot (80 - 20) = 1790 \text{ Wt}$$

Masala 2

Diametri $d = 50 \text{ mm}$ va uzunligi $l = 3 \text{ m}$ bo'lgan gorizonta1 quvurdan suv oqib o'tadi. Suvning tezligi $\omega = 0,8 \text{ m/s}$, o'rtacha harorati $t_f = 50 \text{ }^\circ\text{S}$, quvur ichki yuzasining harorati $t_\omega = 70 \text{ }^\circ\text{S}$. Issiqlik berish koeffitsiyenti - α ni aniqlang.

Yechish

quvur ichidagi suvning oqim tartibini bilish uchun Reynolds kriteriyasini hisoblaymiz:

$$Re_f = \frac{\omega \cdot d}{\nu} = \frac{0,8 \cdot 0,05}{5,56 \cdot 10^{-7}} = 7,2 \cdot 10^4$$

bu tenglamada $\nu = 5,56 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ [ilova, 13 jadval].

quvurda suv turbulent tartibda oqmoqda, chunki $Re = 7,2 \cdot 10^4 > 10^4$.

Gorizonta1 quvurdagi turbulent oqim uchun Nuselt kriteriyasi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$Nu_f = 0,021 \cdot Re_f^{0,8} \cdot Pr_f^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_\omega} \right)^{0,25}$$

bu tenglamada $Rr_f = 3,54$; $Rr_\omega = 2,55$ [ilova, 13 jadval].

$$Nu_f = 0,021 \cdot (7,2 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 3,54^{0,43} \cdot \left(\frac{3,54}{2,55} \right)^{0,25} = 303$$

Issiqlik berish koeffitsiyenti

$$\alpha = Nu_f \cdot \frac{\lambda_f}{d} = 303 \cdot \frac{0,64}{0,05} = 3880 \text{ Wt/m}^2 \text{ }^\circ\text{S}$$

$$\lambda = 0,64 \text{ Wt/m}^2 \text{ }^\circ\text{S} \text{ [ilova, 13 jadval].}$$

Vazifa1

Cuv oqayotgan gorizonta1 quvurning diametri α va uzunligi l . Suvning oqim tezligi ω_f va harorati t_f , quvur ichki yuzasining harorati t_ω .

Issiqlik berish koeffitsiyenti α bilan quvurdan ajralayotgan issiqlik miqdori Q ni aniqlang. Masalani yechish uchun ma'lumotlar 1-jadvalda keltirilgan.

Jadval 1

Shifrning oxirgi soni	d, mm	l, mm	Shifrning oxiridan oldingi soni	ω_f , m/s	t_f , °S	t_ω , °S
0	100	3000	0	0,2	100	40
1	20	4000	1	1,0	80	25
2	25	1000	2	0,3	90	20
3	10	1150	3	0,3	120	60
4	35	1800	4	1,5	115	50
5	15	4500	5	0,4	110	30
6	45	5000	6	0,5	95	35
7	40	1500	7	1,7	85	15
8	55	3500	8	0,8	125	70
9	65	2500	9	0,9	145	65

8-Amaliyga topshiriq

MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

Masala 1.

Eni $v = 2,0 \text{ m}$ va uzunligi $l = 2,2 \text{ m}$ bo'lgan silliq plita shamol oqimiga qo'yilgan. Shamolning tezligi $\omega = 7 \text{ m/s}$, harorati $t_f = 30 \text{ °S}$. Plitaning harorati $t_\omega = 90 \text{ °S}$.

Issqlik berish koeffitsiyenti α bilan plitadan havoga o'tayotgan issiqlik miqdori Q ni aniqlang.

Masala 2

Diametri $d = 60 \text{ mm}$ va uzunligi $l = 3 \text{ m}$ bo'lgan gorizontal quvurdan suv oqib o'tadi. Suvning tezligi $\omega = 0,9 \text{ m/s}$, o'rtacha harorati $t_f = 60 \text{ °S}$, quvur ichki yuzasining harorati $t_\omega = 80 \text{ °S}$. Issiqlik berish koeffitsiyenti - α ni aniqlang.

9-AMALIY MASHG'ULOT. YOQILG'I VA YONISH JARAYONLARI.

NAZARIY MA'LUMOTLARI

Asosiy tarkibiy qismi ugleroddan iborat yonuvchi moddaga yoqilg'i deyiladi. Yoqilg'i qazib olinishi va tayyorlanishiga kura tabiiy va sun'iy bo'ladi. Tabiatda ishlatishga tayyor holda mavjud bo'lgan yoqilg'ilar tabiiy yoqilg'ilar deyiladi. Toshkumir, yonuvchi slaneslar, torf, neft, gaz, o'tin tabiiy yoqilg'i hisoblanadi. Qayta ishlash natijasida olinadigan yoqilg'ilar sun'iy yoqilg'ilar

deyiladi. Koks, kukun hol atigacha maydalangan qattiq yoqilg'i, briketlar, yogoch kumiri, benzin, kerosin, solyar moyi, mazo't va boshqalar sun'iy yoqilg'ilardir.

Yoqilg'i qattiq, suyuq va gaz holatida bo'ladi. Yoqilg'i tarkibi organik va mineral moddalardan iborat bo'ladi : S,N₂,O₂,N₂,S.

Yoqilg'ining agregat holatidan qat'iy nazar, uning tarkibidagi uglerod va vodorod asosiy bo'lib, suyuq yoqilg'ida ularning miqdori 85-87 %. Qattiq yoqilg'ida esa 50-90 % ni tashqil etadi. Antrasit (toshkumirning yuqori sifatlisi) tarkibida 93 % uglerod bo'lsa, yegochda 40 %ni tashqil qiladi.

Yoqilg'ining tarkibiy qismi foizlarda ifodalanadi, ya'ni uning ish, quruq, yonuvchi,organiq qismlarini tashqil qilgan kimyoviy elementlar yigindisi har bir hol at uchun 100 % deb qabo'l qilinadi :

Yoqilg'ining ish qismi

$C^i+H^i+O^i+N^i+S^i+A^i+W^i=100\%$ (- namlik)

Quruq massa qismi

$C^q+H^q+O^q+N^q+S^q+A^q=100\%$ (A-kul hosil bo'luvchi qismi)

Yonuvchi massa qismi

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

Organic massa qismi

$C^o+H^o+O^o+N^o=100\%$

Yoqilg'i tarkibida S va N qancha ko'p bo'lsa, u shuncha ko'p issiqlik beradi.

Yoqilg'i turlari

Yoqilg'i massasi yonuvchi qismining tarkibi o'zgarmas kattalik bo'lib, uning asosiy karakteristikasi hisoblanadi.

Yonuvchi massa tarkibiga kirgan kimyoviy elementlar reaksiyaga kirishishida (yonishida) ajralib chiqadigan issiqlik miqdori hamma element uchun bir xil emas. 1 kg uglerod to'la yonganda CO₂..... hosil bo'ladi va 3,28·10⁴ issiqlik miqdori ajraladi. Yoqilg'idagi oltingugurtning reaksiyaga kirishidan esa sulfid angidridiSO₂ hosil bo'ladi. U yoqilg'i tarkibidagi namlikdan vujudga kelgan suv bug'i bilan birikib sulfat kislotasi H₂SO₃ga aylanadi. Hosil bo'lgan H₂SO₃metall sirtlarini zanglatib yemiradi, bu ichki yonuv dvigatellariga salbiy ta'sir kursatadi.

Suyuq yoqilg'i asosan neftni 300-3700 °S qizdirishdan hosil bo'lgan bug'ni har xil fraktsiyalarga ajratish va ularni kondensatsiyalash (suyuqlantirish) yo'li bilan olinadi : suyuqlantirilgan gaz 1 %, benzin 15 % atrofida (suyuqlantirish temperaturasi 30-180 °S) , kerosin 17 % (tc=120-3150 °S) , solyar moyi 18 % (tc=180-3500 °S) va mazo't 45 % (qaynash temperaturasi tk=330-3150 °S) hamda qoldiq, massa 41 % atrofida bo'ladi.

Gaz yoqilg'isi asosan tabiiy gaz bo'lib, uning tarkibi metan (botqoq gazi) SN₄, vodorod H₂, azotN₂, yuqori darajadagi uglerod birikmalari SN, uglerod oksidi SO, karbonat angidridi SO₂ dan iborat, Turmushda ishlatiladigan gaz tozalangandan so'ng, unga gazning siqib chiqishini aniqlash maqsadida maxsus qo'shilma-odorizator qo'shiladi, u o'ziga xos sassiq hidga ega.

Yoqilg'i to'la yonganda ajralib chiqadigan issiqlik miqdori turlicha bo'lganligidan, ularni bir-biridan farqlash maqsadida, yoqilg'ining yonish issiqligi tushunchasi kiritilgan.

Ish yoqilg'isining birlik massasi to'la yonganda ajralgan issiqlik miqdori yonish issiqligi deyiladi. kj/kg yoki kj/m³ larda o'lchanadi. Yoqilg'ining yonishida ajraladigan issiqlik miqdori yuqori (qyu), va quyi (qku) bo'ladi.

qyuva qku orasidagi bog'lanish quyidagicha ifodalanadi.

$$q_{yo}^u=q_q^i+25(9H^i+W^i) \quad (1)$$

Yoqilg'ining yonishi va ortiqcha havo koeffitsenti.

Yoqilg'ining yonishi uchun albatta atmosfera havosi zarur bo'ladi. Uning miqdori ko'p yoki kam bo'lishiga qarab kimyoviy reaksiya (yonish) jadal yoki sust bo'ladi.

Yonish reaksiyasi quyidagicha boradi va oxiri SO₂,N₂O, va SO₂ hosil bo'lishi bilan tugaydi.





1 kg yoqilg'ining to'liq yonishi uchun zarur bo'lgan havo massasi quyidagi ifodadan topiladi.

$$m_{xh} = (g_{kh}/23,15) \cdot 100 = 0,115C^i + 0,334H^i + 0,043(S^i - O^i), \quad (3)$$

bunda

m_{xh} -nazariy hisob langan havo massasi, kg,

23,15-birlik hajmdagi havo tarkibidagi kislorod miqdori%;

C, H va S oldidagi koeffitsientlar, ularning havodagi O₂ ulushiga nisbatlari

Hazariy hisob langan havo massasini hajmiy birliklarda ifodalash uchun ni havo zichligiga (normal sharoitda) $p = 1,293 \text{ kg/m}^3$ ga bo'lamiz.

$$V_{xh} = \frac{m_{xh}}{\rho_x} = 0,089C^i + 0,0266H^i + 0,033(S^i - O^i) \quad (4)$$

bunda

V_{xh} 1kg yoqilg'ining atmosfera havosining nazariy hajmi, m³ /kg

To'liq yonishi uchun zarur bo'lgan haqiqiy havo miqdorining nazariy hisob lab topilgan miqdoriga nisbati ortiqcha havo koeffitsienti deyiladi va u quyidagicha ifodalanadi: $\alpha_x = V_x / V_{xh}$ axning kattaligi yoqilg'ining turiga, agregat hol atiga, reaksiya kechadigan sharoitga, yoqish usuliga, o'txona konstruksiyasiga va boshqalarga bog'liq. Takomillashgan o'txonalar uchun $\alpha_x = 1,05 - 1,1$. takomillashganlari uchun $\alpha_x = 1,3 - 1,5$ Karbyuratorli dvigatellar uchun $\alpha_x = 1,0 - 1,1$, dizelli dvigatellarda $\alpha_x = 2,0 - 2,2$, aviatsiya dvigatellarida $\alpha_x = 0,85 - 0,95$. Yoqilg'i yonish temperaturasi ham α_x ga bog'liq. Yoqilg'ining to'la yonishini ta'minlash uchun o'txonalarga havo miqdorini rostlovchi avtomatik moslamalar o'rnatiladi va shu bilan ularning f.i.k orttiriladi.

1 – masala:

Quyidagi tarkibiy qismga ega bo'lgan qattiq ishchi jismning pastki yonish issiqligini aniqlang: Cⁱ=70,4 %, Hⁱ=5,1, Oⁱ=11,6, Sⁱ=2, Nⁱ=0,9, Aⁱ=5, Wⁱ=5 %.

Yechish:

$$Q_i^{yo} = 3390^i + 1030 H^i - 109(O^i - S_x^i) - 25W^i = 339 \cdot 70,4 + 1030 \cdot 5,1 - 109(11,6 - 2) - 25 \cdot 5 = 27900 \text{ kJ / kg}$$

2 – masala:

Quyidagi tarkibiy qismga ega bo'lgan quruq gazsimon yoqilg'ining issiqlik sig'imini aniqlang: CO₂=0,1%, CH₄=97,9%, C₂H₆=0,5%, C₃H₈=0,2%, C₄H₁₀=0,1%, N₂=14,5%.

Yechish:

Gazsimon yoqilg'ilarni issiqlik sig'imi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q_q^i = Q_q^q = 0,108H_2 + 0,126CO + 0,234H_2S + 0,358CH_4 + 0,638C_2H_6 + 0,913C_3H_8 + 1,187C_4H_{10} + 1,461C_5H_{12} + 0,591C_2H_4 + 0,86C_3H_6 + 1,135C_4H_8 \cdot MJ / M^3.$$

$$Q_q^i = 0,358 \cdot 97,9 + 0,638 + 0,5 + 0,913 \cdot 0,2 + 1,187 \cdot 0,1 = 35 + 0,319 + 0,1826 + 0,1187 = 35,72 MJ / M^3.$$

3 – masala:

Quyidagi elementar tarkibiy qismga ega bo'lgan yoqilg'ining ishchi massasining quyi yonish issiqligi aniqlansin: Cⁱ=45,5%, Hⁱ=3,1%, Nⁱ=0,8%, Sⁱ=3,7%, Oⁱ=8,4%, Aⁱ=13,5%, Wⁱ=25%

Yechish:

Quyi ishchi massasining issiqlik sig'imi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q_q^i = 338C^i + 1025H^i - 108,5(O^i - S^i) - 25W^i = 338 \cdot 45,5 + 1025 \cdot 3,1 - 108,5(8,4 - 3,7) - 25 \cdot 25 = 17400 \text{ kJ / kg}$$

9-Amaliyga topshiriq

MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

1 – masala:

Quyidagi tarkibiy qismdagi yoqilg'i massasiga ega bo'lgan yoqilg'ining ishchi tarkibiy qismianiqhlansin: $C^{yo}=80,0\%$, $H^{yo}=5,6\%$, $O^{yo}=5,1\%$, $N^{yo}=1,2\%$, $S^{yo}=8,1\%$, $A^{yo}=27,5\%$, $W^{yo}=4\%$

2 –masala:

Quyidagi tarkibiy qismda berilgan quruq tabiiy gazning issiqlik sig'imi aniqlansin:

$H_2S=1,0\%$, $CO_2=0,2\%$, $CH_4=76,7\%$, $C_2H_6=4,5\%$, $C_3H_8=1,7\%$, $C_4H_{10}=0,8\%$, $C_5H_{12}=0,6\%$, $N_2=14,5\%$.

3 – masala:

Yonish issiqligi $Q_q^{yo} = 34000 \text{ kJ} / \text{m}^3$ bo'lgan tabiiy gazning issiqlik ekvivalenti aniqlansin.

Gazlarning atomligi va molekulyar massasi.

1-jadval

Ko'rsatgichlar	O ₂	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CH ₃	A ₂	H ₂ O	havo	NH ₃	S O ₂
Atomligi	2	2	2	2		5	3	4	1	3	2	4	3
Molekulyar massasi	32	2	28	28	44	16	46	15	40	18	29	17	64

Suvning fizik parametri

2-jadval

t, 0	$\lambda, \text{Wt/m}^0\text{S}$ $\text{Wt/m}^0\text{S}$	V, m^2/S	Pr
0	0,584	$17,89 \cdot 10^{-7}$	13,47
20	0,595	$10,06 \cdot 10^{-7}$	7,03
40	0,622	$6,59 \cdot 10^{-7}$	4,35
60	0,649	$4,78 \cdot 10^{-7}$	3,02
80	0,666	$3,65 \cdot 10^{-7}$	2,225
100	0,684	$2,95 \cdot 10^{-7}$	1,748
120	0,685	$2,52 \cdot 10^{-7}$	1,472
140	0,684	$2,17 \cdot 10^{-7}$	1,258
160	0,632	$1,91 \cdot 10^{-7}$	1,107

10-AMALIY MASHG'ULOT.ISSIQLIK ALMASHINUV APPARATLARI

Tayanch iboralar:Issiqlik tashuvchi, kondensatorlar, radiatorlar, issiqlik almashinuv apparati, Aralashtirgichli, Rekuperativli, Regenerativli.

Issiqlik tashuvchini qizdirish yoki sovitish uchun mo'ljalangan qurilma **issiqlik almashinuv apparati (IAA)** deyiladi. Issiqlik tashuvchi sifatida suyuqlik yoki gaz ishlatiladi. Issiqlik tashuvchilar isituvchi va isitiladigan tashuvchilarga bo'linadi. Masalan, qozon ichida qizigan gaz isituvchi issiqlik tashuvchi, qozondagi suv esa isitiladigan issiqlik tashuvchi hisoblanadi. Isitish radiatoridagi suv isituvchi issiqlik tashuvi, xonaga issiqlikni tarqatadigan havo esa, isitiladigan issiqlik tashuvchi hisoblanadi.

IAA lariga bug' qozonlari, kondensatorlar, bug' qizdirgichlar, havo isitkichlar, markaziy isitish asboblari, radiatorlar va shu kabilar misol bo'la oladi.

IAA lari o'zining shakli va o'lchamlari bilan hamda ishlatilayotgan ishchi jismi bilan bir – biridan katta farq kiladi. IAA lari xilma xil bo'lsada, issiqlik hisobining asosiy qoidalari ular uchun umumiy bo'lib qoladi. IAA lari texnikada nihoyatda keng tarqalgan, hozirgi vaqtda ularning aniq bir tasnifi yo'q. Quyida keltirilgan tasnif eng ko'p qo'llanilayotgan IAA lariga ta'luqlidir.

IAA larini quyidagicha tasniflash mumkin:

Aralashtirgichli. Bunday IAA larida issiq va sovuq issiqlik tashuvchi bir – biriga bevosita tegadi va keyin aralashib ketadilar. Masalan, qozon agregatidan chiqadigan yuqori temperaturali bug' yo suv sovuq yoki iliq suv bilan aralashtiriladi, so'ngra iste'molchilarga uzatiladi. Bunday IAA lariga gradirnyalar, deaeratorlar, skrubberlar va boshqa qurilmalar kiradi.

Rekuperativli. Bunday IAA larida issiqlik ajratuvchi devor (odatda metall) orqali uzatiladi. Bunday apparatlarga bug' generatorlari, bug' qizdirgichlari, suv isitkichlari, havo isitkichlari va turli xil bug'latgich apparatlari kiradi.

Hozirgi paytda rekuperativ apparatlar eng ko'p tarqalgan. Ular tuzilishi juda sodda, ixcham va issiqlik tashuvchilarning temperaturasini har doim o'zgarmasligini ta'minlaydi.

Rekuperativ apparatlar asosan metaldan ishlangan. Temperaturasi 400-450 °C bo'ladigan issiqlik tashuvchilar uchun esa quvurlar uglerodli po'latdan, temperaturasi 500-700 °C bo'ladigan issiqlik tashuvchilar uchun esa legirlangan po'latdan tayyorlanadi.

Regenerativli. Bunday IAA larida isitish (yoki sovitish) sirtining o'zi vaqt – vaqti bilan goh issiq, goh sovuq issiqlik tashuvchi bilan yuvilib turiladi.

Dastlab regenerator panellaridan qizigan issiqlik tashuvchi – domno va marten pechlari, vagrankalar va boshqalardagi yonish mahsulotlari yuboriladi.

Regeneratorning isitish sirti qizigan gazlardan issiqlik olib isiydi, so'ngra bu issiqlikni sovuq issiqlik tashuvchiga beradi. Bunday IAA lariga zamonaviy qozon agregatlarining havo isitgichlari misol bo'la oladi.

Issiqlik almashinuv apparatlarini hisoblash

IAA larini hisoblashdan asosiy maqsad issiqlik almashinuv yuzasini, issiqlik tashuvchilarning parametrlarini, issiqlik tashuvchilarning eng muvofiq sarfini va ularning tezligini, hamda apparatning eng muvofiq o'lchamlarini aniqlashdan iboratdir. IAA larini hisoblashda issiqlik balansi tenglamasi va issiqlik uzatish tenglamasi asosiy hisoblanadi. Issiqlik uzatish tenglamasi:

$$Q = kF(t_1 - t_2) \quad (3.1)$$

Bunda Q – issiqlik oqimi, Vt ; k - issiqlik uzatish koeffitsenti, $Vt/(m^2 \cdot K)$; F – issiqlik almashinuv yuzasi m^2 ; t_1 va t_2 – mos ravishda issiq va sovuq issiqlik tashuvchilar temperaturasi.

Issiqlik balansi tenglamasi

$$Q = m_1 \Delta h_1 = m_2 \Delta h_2$$

yoki

$$Q = V_1 \rho_1 c_{p1} (t_1^I - t_1^{II}) = V_2 \rho_2 c_{p2} ((t_2^I - t_2^{II})), \quad (3.2)$$

bu yerda $V_1 \rho_1$ va $V_2 \rho_2$ - issiqlik tashuvchilarning massaviy sarfi kg/s ; c_{p1} va c_{p2} - suyuqlikning t^I dan t^{II} gacha temperatura oralig'idagi o'rtacha issiqlik sig'imi; t_1^I va t_2^I suyuqlikning apparatga kirishdagi temperaturasi; t_1^{II} va t_2^{II} suyuqlikning apparatdan chiqishdagi temperaturasi. $V \rho c_p = W$ kattalikni suv ekvivalenti deb aytiladi.

Oxirgi tenglamani e'tiborga olib (2) tenglamani quyidagicha yozish mumkin.

$$\frac{(t_1^I - t_1^{II})}{(t_2^I - t_2^{II})} = \frac{W_2}{W_1} \quad (3.3)$$

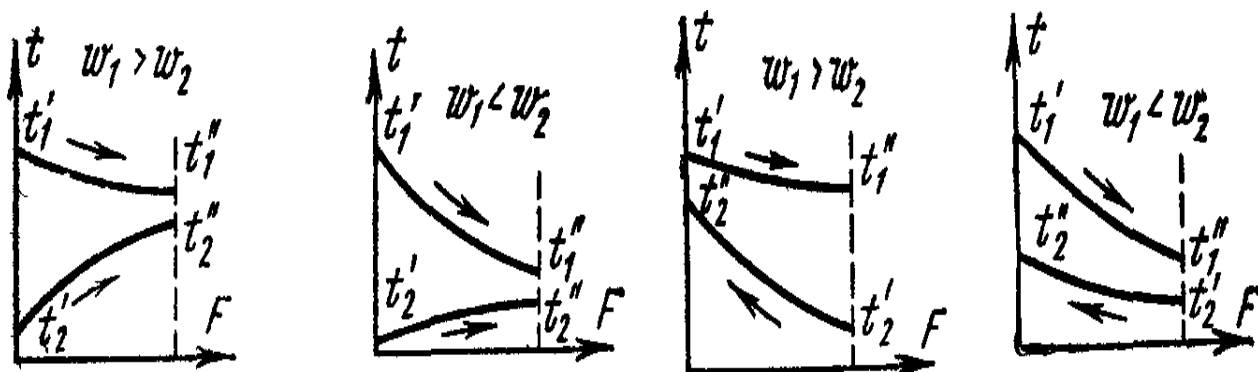
bunda W_1 va W_2 issiq va sovuq suyuqliklarning suv ekvivalentlari.

Demak, IAAda issiq va sovuq issiqlik tashuvchilar temperaturalarining o'zgarishi suv ekvivalentlariga teskari proportsional bo'lar ekan.

$$\frac{dt_1}{dt_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

Issiqlik uzatish tenglamasini (3.1) keltirib chiqarishda issiqlik tashuvchilarning temperaturasi apparatda o'zgarmaydi deb hisoblangan.

Haqiqatda esa issiqlik tashuvchilarning apparatdan o'tish vaqtida temperaturalar o'zgaradi, bundan tashqari temperatura o'zgarishiga suyuqlikning harakatlanish sxemasi va suv ekvivalentlari katta ta'sir qiladi.



3.1-rasm. Issiqlik tashuvchilarning to'g'ri oqimli harakatda temperaturalarining o'zgarishi.

3.1- rasmdan ko'rinib turibdiki, to'g'ri oqimda sovuq issiqlik tashuvchining oxirgi temperaturasi har doim qaynoq issiqlik tashuvchining temperaturasidan past bo'ladi. Qarshi oqimda (3.1-rasm) sovuq issiqlik tashuvchining temperaturasi qaynoq issiqlik tashuvchining temperaturasidan ancha katta bo'lishi mumkin. Demak, qarshi oqimli apparatlarda sovuq issiqlik tashuvchining temperaturasini, to'g'ri oqimli apparatdagiga qaraganda yuqoriroq ko'tarish mumkin ekan.

Bundan tashqari, rasmlardan ko'rinib turibdiki, temperatura o'zgarishlari bilan bir qatorda suyuqliklar temperaturalari farqi Δt ham o'zgaradi.

Δt va k kattaliklarni faqat elementar yuzi chegarasida o'zgarimas deb hisoblash mumkin. Shuning uchun elementar dF yuz uchun issiqlik uzatish tenglamasi faqat differentsial shaklda to'g'ri bo'ladi:

$$dQ = k dF \cdot \Delta t \quad (3.4)$$

Butun F yuz bo'ylab uzatilgan issiqlik oqimi (4) tenglamani integrallashdan aniqlanadi:

$$Q = \int_0^F k dF \Delta t = k F \Delta t_{o'rt} \quad (3.5)$$

Bunda $\Delta t_{o'rt}$ - butun isitish yuzasi bo'ylab temperaturaning o'rtacha logarifmik bosimi. Agar issiqlik uzatish koeffitsienti issiqlik almashinuv yuzasi bo'ylab ancha o'zgarsa, u holda uning o'rtacha qiymati olinadi:

$$k_{o'rt} = \frac{F_1 k_1 + F_2 k_2 + \dots + F_n k_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}$$

U holda $k_{o'rt} = \text{const}$ bo'lganda (5) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$Q = k_{o'rt} \int_0^F \Delta t dF \text{ yoki } Q = k_{o'rt} \Delta t_{o'rt} F$$

O'rtacha temperatura bosimini hisoblash

Agar issiqlik tashuvchilar temperaturalari to'g'ri chiziqli bo'yicha o'zgarsa u holda o'rtacha temperatura bosimi temperaturalarning o'rta arifmetik qiymatlarining ayirmasiga teng bo'ladi:

$$\Delta t_{o'rt} = \frac{(t_1' + t_1'')}{2} - \frac{(t_2' + t_2'')}{2} \quad (3.6)$$

Biroq ishchi suyuqliklar temperaturasi o'zgarishi to'g'ri chiziqli bo'lmaydi.

Shuning uchun (6) tenglamani temperaturalar uncha katta o'zgarmagan hollarda qo'llash mumkin.

$\Delta t_{o'rt}$ kattalikni to'g'ri oqim uchun, chiziqli bo'lmagan o'zgarishi uchun aniqlaymiz.

Ihtiyoriy olingan A kesimda qaynoq issiqlik tashuvchining temperaturasi t' , sovuq issiqlik tashuvchining temperaturasi t'' bo'lsin. Ularning farqi quyidagicha bo'ladi:

$$t' - t'' = \Delta t \quad (3.7)$$

dF elementar yuzadan uzatilayotgan issiqlik miqdorini quyidagi tenglamadan aniqlaymiz:

$$dQ = k dF \tau \quad (3.8)$$

dQ issiqlik uzatilganda qaynoq issiqlik tashuvchining temperaturasi t' ga pasayadi, sovuq issiqlik tashuvchining temperaturasi esa t'' ga ko'payadi, u holda:

$$dQ = -m_1 c_{p1} dt' = m_2 c_{p2} dt''$$

yoki

$$dt' = -\frac{dQ}{m_1 c_{p1}} \text{ va } dt'' = \frac{dQ}{m_2 c_{p2}}$$

(7) tenglamani differentsiallab unga dt' va dt'' larni qiymatini qo'yamiz va quyidagini hosil qilamiz:

$$d\tau = -\frac{dQ}{m_1 c_{p1}} - \frac{dQ}{m_2 c_{p2}}$$

yoki

$$dQ = \frac{d\tau}{\frac{1}{m_1 c_{p1}} + \frac{1}{m_2 c_{p2}}}$$

$$\left(\frac{1}{m_1 c_{p1}} + \frac{1}{m_2 c_{p2}} \right) = n \text{ deb belgilaymiz, u holda}$$

$$dQ = -\frac{d\tau}{n} \quad (3.9)$$

dQ ning ifodasini (3.8) tenglamaga qo'yamiz:

$$dQ = \frac{-d\tau}{n} = k dF \tau$$

yoki

$$dQ = \frac{-d\tau}{\tau} = k dF \tau \quad (3.10)$$

Agar n va k kattaliklar o'zgarmas bo'lsa, u holda (3.10) tenglamani $(t_1^1 - t_2^1) = \tau_1$ dan $(t_1^n - t_2^n) = \tau_2$ gacha va 0 dan F gacha integrallab quyidagini topamiz.

$$-\int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{d\tau}{\tau} = nk \int_0^F dF$$

Yoki

$$dQ = \frac{\ln \tau_1}{\tau_2} = nkF$$

bundan

$$n = \frac{\left(\frac{\ln \tau_1}{\tau_2} \right)}{kF} \quad (3.11)$$

(3.9) tenglamani integrallaymiz:

$$Q = \frac{(\tau_1 - \tau_2)}{n} \quad (3.12)$$

va unga (3.11) tenglamadan n ning qiymatini qo'yamiz.

$$Q = \frac{(\tau_1 - \tau_2)}{\left(\frac{\ln \tau_1}{\tau_2} \right)} \quad (3.13)$$

(3.13) tenglamadagi Δt_{urt} kattalikni temperaturaning o'rtacha logarifmik bosimi deb aytiladi.

To'g'ri oqimli IAA lar uchun

$$\Delta t_{urt} = (t'_1 - t'_2) - (t''_1 - t''_2) / 2.3 \lg[(t'_1 - t'_2) / (t''_1 - t''_2)] \quad (3.14)$$

Xuddi shunday yo'l bilan qarshi oqimli IAA lari uchun Δt_{urt} aniqlanadi.

$$\Delta t_{urt} = (t'_1 - t''_2) - (t''_1 - t'_2) / 2.3 \lg[(t'_1 - t''_2) / (t''_1 - t'_2)] \quad (3.15)$$

Qarshi oqimli IAA larining Δt_{urt} kiymati to'g'ri oqimli IAA larining Δt_{urt} kiymatidan xar doim katta bo'ladi. Shuning uchun qarshi oqimli IAA lari o'lchami kichik bo'ladi. IAA larning tejamliligi uning foydali ish koeffitsienti F.I.K. orqali aniqlanadi. F.I.K. sovuq issiqlik tashuvchini isitish uchun sarflangan kaynoq issiqlik tashuvchining issiqlik ulushini ko'rsatadi.

IAA larining issiqlik balansi odatda quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_{xis} \text{ yoki } q_1 + q_2 + q_3 = 100\%$$

Bu yerda Q_{xis} —qaynoq issiqlik tashuvchi atrof muhit temperaturasigacha sovutilganda u berishi mumkin bo'lgan issiqlik mikdori; Q_1 — sovuq suyuqlikni isitish uchun sarflangan issiqlik mikdori; Q_2 —IAA dan chikayotgan qaynoq suyuqlik bilan issiqlik isrofi; Q_3 — atrof muhitga issiqlikni isrof bulishi. Quyidagi

$$\frac{Q_1}{Q_{xuc}} \cdot 100\% = q_1 = \eta, \%$$

nisbatni IAA ni F.I.K. deyiladi

MASALA YECHISH NAMUNALARI

1-masala. Ichki yonuv dvigatelining teskari yo'nalishli suvli moy sovitgich moy 65 °C dan 55 °Cgacha sovityapti. Sovituvchi suvning kirishdagi harorati 16 °C va chiqishdagi harorati 25 °C. Moyning sarfi 0,8 kg/sek. Issiqlik uzatish koeffitsiyenti 280 Wt/m²C, moyning issiqlik sig'imi 2,45 kJ/kg °C. Issiqlik almashuv yuzasini va sovuq suvning sarfini toping.

Yechish:

$$Q = G_1 C_{p1} \Delta t_1 = 0,8 \cdot 2,45 (65 - 55) = 19,6 \text{ kVt.}$$

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

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

$$G = \frac{Q}{C_{p2} \cdot \Delta t_2} = \frac{19,6}{4,19 \cdot 9} = 0,52 \text{ kg/sek.}$$

2-masala. “Quvur-quvurda” turidagi qarama-qarshi yo'nalishli issiqlik almashuv apparatida suv 15°C dan 45°C gacha isitiladi. Suvning sarfi $G_2 = 3200 \text{ kg/soat}$. Tashqi quvurning ichki diametri $D = 48 \text{ mm}$ va bitta seksiya quvurining uzunligi $\ell = 1,9 \text{ m}$. Issiq suv diametri

$d_2/d_1=35/32$ mm bo'lgan po'lat quvurda harakatlanib kirishdagi harorati $t_1^1=95^0\text{C}$ ga teng. Issiq suvning sarfi $G_1= 2130$ kg/soat. "Quvur-quvurda" qarama-qarshi oqimli issiqlik almashuv apparatining isitish yuzasini va seksiyalar sonini aniqlang.

Yechish :

Suvning issiqlik sig'imi $s_t= 4,19$ kJ/kg ^0C .

Issiqlik miqdori:

$$Q=G_2c_{p2}(t_{c2}'' - t_{c2}') = \frac{3200}{3600} 4,19(45 - 15) = 111 \text{ kBT}$$

Issiq suvning chiqishdagi harorati

$$t_1'' = t_1' - \frac{Q}{G_1c_{p1}} = 95 - \frac{111 \cdot 3200}{2130 \cdot 4.19} = 50^0\text{C}$$

Issiqlik tashuvchilarning o'rtacha haroratini aniqlaymiz va shu harorat bo'yicha jadvallardan suvning fizik xususiyatlarini olamiz:

$$t_{s1}=0,5(t_{c2}' + t_{c2}'')=0,5(95+50)=72,5^0\text{C}$$

$$\rho_{s1}=976\text{kg/m}^3; \nu_{s1}=0,403 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$$

$$\lambda_{s1}=0,670 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot ^0\text{C}); \text{Rr}_{s1}=2,47$$

$$t_{s2}=0,5(t_{c2}' + t_{c2}'')=0,5(15+45)=30^0\text{S}.$$

$$\rho_{s2}=996\text{kg/m}^3; \nu_{s2}=0,805 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$$

$$\lambda_{s2}=0,618 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot ^0\text{C}); \text{Rr}_{s2}=5,42$$

Issiqlik tashuvchilarining tezligi

$$\omega_1 = \frac{4G_1}{\rho_{c1}\pi d_1^2 3600} = \frac{4 \cdot 2130}{976 \cdot 3,14 (3,2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 3600} = 0,755 \text{ m/s}$$

$$\omega_2 = \frac{4G_2}{\rho_{c2}\pi (D^2 - d_1^2) 3600} = \frac{4 \cdot 3200}{996 \cdot 3,14 (4,8^2 - 3,5^2) 10^{-4} \cdot 3600} = 1,06 \text{ m/s}$$

Issiq suv oqimi uchun Reynolds soni

$$\text{Re}_{s1} = \frac{\omega_1 d_1}{\nu_{c1}} = \frac{0,755 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2}}{0,403 \cdot 10^{-6}} = 6 \cdot 10^4$$

Issiq suv oqimi uchun turbulent holatda Nusselt sonini aniqlaymiz:

$$\text{Nu}_{s1}=0,021\text{Re}_{c1}^{0,8} \text{Pr}_{c1}^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}_{c1}}{\text{Pr}_{ci}}\right)^{0,25}$$

$$\text{Nu}_{s1}=0,021(6 \cdot 10^4)^{0,8} (2,47)^{0,43} \left(\frac{2,47}{3,5}\right)^{0,25} = 188$$

Issiq suvdan quvur devoriga issiqlik berish koeffitsiyenti:

$$\alpha_1 = \text{Nu}_{s1} \frac{\lambda_{c1}}{d_1} = 188 \frac{0,670}{3,2 \cdot 10^{-2}} = 3940 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot ^0\text{S}).$$

Sovuq suv oqimi uchun Reynolds sonini aniqlaymiz:

$$Re_{s2} = \frac{\omega_2 d_3}{\nu_{c2}} = \frac{1,06 \cdot 1,3 \cdot 10^{-2}}{0,805 \cdot 10^{-6}} = 1,71 \cdot 10^4$$

Bu yerda kanal uchun ekivalent diametr:

$$d_e = D - d_2 = 48 - 35 = 13 \text{ mm.}$$

Sovuq suv oqim uchun turbulent holatda Nusselt sonini aniqlaymiz:

$$Nu_{s2} = 0,017 Re_{c2}^{0,8} Pr_{c2}^{0,4} \left(\frac{Pr_{c2}}{Pr_{c2}} \right)^{0,25} \frac{D}{d_2}^{0,18}$$

$$Nu_{s2} = 0,017 (1,71 \cdot 10^4)^{0,8} (5,42)^{0,4} \left(\frac{5,42}{3,5} \right)^{0,25} \left(\frac{48}{35} \right)^{0,18} = 95$$

Quvur devoridan sovuq suvga issiqlik berish koefitsiyenti:

$$\alpha_2 = Nu_{s2} \frac{\lambda_{jc2}}{d_3} = 958 \frac{0,618}{1,3 \cdot 10^{-2}} = 4500 \text{ Wt/(m}^2 \cdot ^\circ\text{S)}.$$

Issiqlik uzatish koefitsiyenti:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3940} + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{45} + \frac{1}{4500}} = 1970 \text{ Wt/(m}^2 \cdot ^\circ\text{S)}$$

Bu holatda $\frac{t'_{jc1} - t''_{jc2}}{t''_{jc1} - t'_{jc2}} = \frac{50}{35} < 1,5$ bo'lgani uchun o'rtacha arifmetik haroratlar farqi quyidagicha

bo'ladi:

$$\Delta t_a = \frac{50 + 35}{2} = 42,5^\circ\text{S}$$

Issiqlik oqimining zichligi :

$$q = K \Delta t_a = 1970 \cdot 42,5 = 8,37 \cdot 10^4 \text{ Bt/m}^2.$$

Isitish sirt yuzasi :

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{111}{83,7} = 1,33 \text{ m}^2$$

Seksiyalar soni:

$$n = \frac{F}{\pi d_1 l} = \frac{1,33}{\pi \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,9} = 7$$

10-Amaliyga topshiriq

MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

1-masala. MS markali moy sovitish apparatida moy 70°C dan 30°C gacha sovitiladi. Sovituvchi suvning kirishdagi harorati 20°C ga teng. Moyning sarfi $G_1 = 10000 \text{ kg/soat}$ va suvning sarfi

$G_2=20400\text{kg/soat}$. Moy sovitish apparatidan chiqqan suvning haroratini aniqlang. **Javob:** $t_2''=30^\circ\text{C}$.

2-masala. Suv ekonomayzerida gaz bilan suv qarama-qarshi yʻnalishlarda harakatlanib, bir-biri bilan issiqlik almashinmoqda. Gazning sarfi $G_1=220\text{ t/soat}$, gazning ekonomayzeri kirishdagi harorati $t_1^1=400^\circ\text{C}$, gazning massaviy issiqlik sigʻimi $S_{r1}=1,04\text{ kJ/kgK}$. Suvning sarfi $G_2=120\text{ t/soat}$, suvning ekonomayzerga kirishdagi harorati $t_2^1=105^\circ\text{C}$. Gazdan suyuqlikka uzatiladigan issiqlik oqimi $Q=13,5\text{ MVt}$, gazdan suvga issiqlik uzatish koeffitsiyenti $k=79\text{ Vt/m}^2\text{ K}$. Suv ekonomayzeridagi issiqlik almashinish yuzasi topilsin. **Javob :** $F=1100\text{ m}^2$

3-Masala. “Quvur-quvurda” issiqlik almashuv apparatida transformator moyi suv bilan sovitiladi. Diametri $d_2/d_1=14/12\text{ mm}$ boʻlgan latun quvurida transformator moyi 4 m/s tezlik bilan harakatlanadi. Moyning kirishdagi harorati $t_1^1=100^\circ\text{C}$ va chiqishdagi harorati $t_1^{11}=60^\circ\text{C}$. Suvning tezligi $2,5\text{ m/s}$ va kirishdagi harorati $t_2^1=20^\circ\text{C}$. Tashqi quvurning ichki diametri $d_3=22\text{ mm}$. Issiqlik almashuv sirtining uzunligini toping. **Javob:** $\ell=11,6\text{ m}$.

4-Masala. Qarama-qarshi yoʻnalishli issiqlik almashuv apparatidagi issiq suvning kirishdagi harorati 80°C , chiqishdagi harorati 60°C va sarfi $G_1=2\text{ kg/s}$. Sovuq suvning kirishdagi harorati 10°C va sarfi $G_2=0,75\text{ kg/s}$. Issiqlik berish koeffitsiyentlari $\alpha_1=2000\text{ Vt/m}^2\text{K}$, $\alpha_2=4000\text{ Vt/m}^2\text{K}$

va devorning termik qarshiligi maʼlum boʻlsa, $\frac{\delta}{\lambda}=\frac{2\cdot 10^{-3}}{100}$ issiqlik almashuv apparatining sirt yuzasini aniqlang. **Javob :** $F=4,24\text{ m}^2$.

Nazorat va muhokama savollari:

- 1.Issiqlik tashuvchilarga nimalar kiradi?
- 2.Kondensatorlar, radiatorlarni vazifasi nimadan iborat?
- 3.Issiqlik almashinuv apparatlarining turlarini sanab bering.
- 4.Aralashtirgichli, Rekuperativli, Regenerativli issiqlik almashinuv apparatlari toʻgʻrisida maʼlumot bering.

11-AMALIY MASHGʻULOT.

YOQILGʻI VA YONISH JARAYONLARI. YONISH MAXSULOTINING HAJMI VA MASSASIGA DOIR MASALALAR.

NAZARIY MAʼLUMOTLARI

Asosiy tarkibiy qismi ugleroddan iborat yonuvchi moddaga yoqilgʻi deyiladi. Yoqilgʻi qazib olinishi va tayyorlanishiga kura **tabiiy** va **sunʻiy** boʻladi. Tabiatda ishlatishga tayyor holda mavjud boʻlgan yoqilgʻilar tabiiy yoqilgʻilar deyiladi. Toshkumir, yonuvchi slaneslar, torf, neft, gaz, oʻtin tabiiy yoqilgʻi hisoblanadi. Qayta ishlash natijasida olinadigan yoqilgʻilar sunʻiy yoqilgʻilar deyiladi. Koks, kukun hol atigacha maydalangan qattiq yoqilgʻi, briketlar, yogoch kumiri, benzin, kerosin, solyar moyi, mazoʻt va boshqalar sunʻiy yoqilgʻilardir.

Yoqilg'i qattiq, suyuq va gaz holatida bo'ladi. Yoqilg'i tarkibi organik va mineral moddalardan iborat bo'ladi : S, N_2, O_2, N_2, S .

Yoqilg'ining agregat holatidan qat'iy nazar, uning tarkibidagi uglerod va vodorod asosiy bo'lib, suyuq yoqilg'ida ularning miqdori 85-87 %. Qattiq yoqilg'ida esa 50-90 % ni tashkil etadi. Antrasit (toshkumirning yuqori sifatlisi) tarkibida 93 % uglerod bo'lsa, yegochda 40 %ni tashkil qiladi.

Yoqilg'ining tarkibiy qismi foizlarda ifodalanadi, ya'ni uning ish, quruq, yonuvchi, organik qismlarini tashkil qilgan kimyoviy elementlar yigindisi har bir holat uchun 100 % deb qabul qilinadi :

Yoqilg'ining ish qismi

$$C^i + H^i + O^i + N^i + S^i + A^i + W^i = 100\% \quad (- \text{namlik})$$

Quruq massa qismi

$$C^q + H^q + O^q + N^q + S^q + A^q = 100\% \quad (A\text{-kul hosil bo'luvchi qismi})$$

Yonuvchi massa qismi

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

Organik massa qismi

$$C^o + H^o + O^o + N^o = 100\%$$

Yoqilg'i tarkibida S va N qancha ko'p bo'lsa, u shuncha ko'p issiqlik beradi.

Yoqilg'i turlari

Yoqilg'i massasi yonuvchi qismining tarkibi o'zgarmas kattalik bo'lib, uning asosiy xarakteristikasi hisoblanadi.

Yonuvchi massa tarkibiga kirgan kimyoviy elementlar reaksiyaga kirishishida (yonishida) ajralib chiqadigan issiqlik miqdori hamma element uchun bir xil emas. 1 kg uglerod to'la yonganda CO_2 hosil bo'ladi va $3,28 \cdot 10^4$ issiqlik miqdori ajraladi. Yoqilg'idagi oltingugurtning reaksiyaga kirishidan esa sulfid angidridi SO_2 hosil bo'ladi. U yoqilg'i tarkibidagi namlikdan vujudga kelgan suv bug'i bilan birikib sulfat kislotasi H_2SO_3 ga aylanadi. Hosil bo'lgan H_2SO_3 metall sirtlarini zanglatib yemiradi, bu ichki yonuv dvigatellariga salbiy ta'sir kursatadi.

Suyuq yoqilg'i asosan neftni 300-3700 °S qizdirishdan hosil bo'lgan bug'ni har xil fraktsiyalarga ajratish va ularni kondensatsiyalash (suyuqlantirish) yo'li bilan olinadi : suyuqlantirilgan gaz 1 %, benzin 15 % atrofida (suyuqlantirish temperaturasi 30-180 °S) , kerosin 17 % (tc=120-3150 °S) , solyar moyi 18 % (tc=180-3500 °S) va mazo't 45 % (qaynash temperaturasi tk=330-3150 °S) hamda qoldiq, massa 41 % atrofida bo'ladi.

Gaz yoqilg'isi asosan tabiiy gaz bo'lib, uning tarkibi metan (botqoq gazi) SN_4 , vodorod H_2 , azot N_2 , yuqori darajadagi uglerod birikmalari SN , uglerod oksidi SO , karbonat angidridi SO_2 dan iborat, Turmushda ishlatiladigan gaz tozalangandan so'ng, unga gazning siqib chiqishini aniqlash maqsadida maxsus qo'shilma-odorizator qo'shiladi, u o'ziga xos sassiq hidga ega.

Yoqilg'i to'la yonganda ajralib chiqadigan issiqlik miqdori turlicha bo'lganligidan, ularni bir-biridan farqlash maqsadida, yoqilg'ining yonish issiqligi tushunchasi kiritilgan.

Ish yoqilg'isining birlik massasi to'la yonganda ajralgan issiqlik miqdori yonish issiqligi deyiladi. kJ/kg yoki kJ/m^3 larda o'lchanadi. Yoqilg'ining yonishida ajraladigan issiqlik miqdori yuqori (qyu), va quyi (qku) bo'ladi.

qyuva qku orasidagi bog'lanish quyidagicha ifodalanadi.

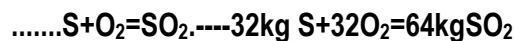
$$q_{yu} = q_{q} + 25(9H^i + W^i) \quad (1)$$

Yoqilg'ining yonishi va ortiqcha havo koeffitsenti.

Yoqilg'ining yonishi uchun albatta atmosfera havosi zarur bo'ladi. Uning miqdori ko'p yoki kam bo'lishiga qarab kimyoviy reaksiya (yonish) jadal yoki sust bo'ladi.

Yonish reaksiyasi quyidagicha boradi va oxiri SO_2, N_2O , va SO_2 hosil bo'lishi bilan tugaydi.





1 kg yoqilg'ining to'liq yonishi uchun zarur bo'lgan havo massasi quyidagi ifodadan topiladi.

$$m_{xh} = (g_{kh}/23,15) \cdot 100 = 0,115C^i + 0,334H^i + 0,043(S^i - O^i), \quad (3)$$

bunda

m_{xh} -nazariy hisob langan havo massasi, kg,

23,15-birlik hajmdagi havo tarkibidagi kislorod miqdori%;

C,H va S oldidagi koeffitsientlar, ularning havodagi O₂ ulushiga nisbatlari

Hazariy hisob langan havo massasini hajmiy birliklarda ifodalash uchun ni havo zichligiga (normal sharoitda) $p=1,293 \text{ kg/m}^3$ ga bo'lamiz.

$$V_{xh} = \frac{m_{xh}}{\rho_x} = 0,089C^i + 0,0266H^i + 0,033(S^i - O^i) \quad (4)$$

bunda

V_{xh} 1kg yoqilg'ining atmosfera havosining nazariy hajmi, m^3/kg

To'liq yonishi uchun zarur bo'lgan haqiqiy havo miqdorining nazariy hisob lab topilgan miqdoriga nisbati ortiqcha havo koeffitsienti deyiladi va u quyidagicha ifodalanadi: $\alpha_x = V_x/V_{xh}$ axning kattaligi yoqilg'ining turiga, agregat hol atiga, reaksiya kechadigan sharoitga, yoqish usuliga, o'txona konstruksiyasiga va boshqalarga bog'liq. Takomillashgan o'txonalar uchun $\alpha_x=1,05-1,1$. takomillashganlari uchun $\alpha_x=1,3-1,5$ Karbyuratorli dvigatellar uchun $\alpha_x=1,0-1,1$, dizelli dvigatellarda $\alpha_x=2,0-2,2$, aviatsiya dvigatellarida $\alpha_x=0,85-0,95$. Yoqilg'i yonish temperaturasi ham α_x ga bog'liq. Yoqilg'ining to'la yonishini ta'minlash uchun o'txonalarga havo miqdorini rostlovchi avtomatik moslamalar o'rnatiladi va shu bilan ularning f.i.k orttiriladi.

1 – masala:

Quyidagi tarkibiy qismga ega bo'lgan qattiq ishchi jismning pastki yonish issiqligini aniqlang: $C^i=70,4\%$, $H^i=5,1\%$, $O^i=11,6\%$, $S^i=2\%$, $N^i=0,9\%$, $A^i=5\%$, $W^i=5\%$.

Yechish:

$$Q_i^{yo} = 3390^i + 1030 H^i - 109(O^i - S_x^i) - 25W^i = 339 \cdot 70,4 + 1030 \cdot 5,1 - 109(11,6 - 2) - 25 \cdot 5 = 27900 \text{ kJ / kg}$$

2 – masala:

Quyidagi tarkibiy qismga ega bo'lgan quruq gazsimon yoqilg'ining issiqlik sig'imini aniqlang: $\text{CO}_2=0,1\%$, $\text{CH}_4=97,9\%$, $\text{C}_2\text{H}_6=0,5\%$, $\text{C}_3\text{H}_8=0,2\%$, $\text{C}_4\text{H}_{10}=0,1\%$, $\text{N}_2=14,5\%$.

Yechish:

Gazsimon yoqilg'ilarni issiqlik sig'imi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q_q^i = Q_q^g = 0,108H_2 + 0,126CO + 0,234H_2S + 0,358CH_4 + 0,638C_2H_6 + 0,913C_3H_8 + 1,187C_4H_{10} + 1,461C_5H_{12} + 0,591C_2H_4 + 0,86C_3H_6 + 1,135C_4H_8 \cdot \text{MJ / M}^3.$$

$$Q_q^i = 0,358 \cdot 97,9 + 0,638 + 0,5 + 0,913 \cdot 0,2 + 1,187 \cdot 0,1 = 35 + 0,319 + 0,1826 + 0,1187 = 35,72 \text{ MJ / M}^3.$$

3 – masala:

Quyidagi elementar tarkibiy qismga ega bo'lgan yoqilg'ining ishchi massasining quyi yonish issiqligi aniqlansin: $C^i=45,5\%$, $H^i=3,1\%$, $N^i=0,8\%$, $S^i=3,7\%$, $O^i=8,4\%$, $A^i=13,5\%$, $W^i=25\%$

Yechish:

Quyi ishchi massasining issiqlik sig'imi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q_q^i = 338C^i + 1025H^i - 108,5(O^i - S^i) - 25W^i = 338 \cdot 45,5 + 1025 \cdot 3,1 - 108,5(8,4 - 3,7) - 25 \cdot 25 = 17400 \text{ kJ / M}^3$$

4 – masala:

Quyidagi tarkibiy qismdagi yoqilg'i massasiga ega bo'lgan yoqilg'ining ishchi tarkibiy qismianiqlansin: $C^{yo}=80,0\%$, $H^{yo}=5,6\%$, $O^{yo}=5,1\%$, $N^{yo}=1,2\%$, $S^{yo}=8,1\%$, $A^{yo}=27,5\%$, $W^{yo}=4\%$

5 – masala:

Quyidagi tarkibiy qismda berilgan quruq tabiiy gazning issiqlik sig'imi aniqlansin:

H₂S=1,0%, CO₂=0,2%,CH₄=76,7%, C₂H₆=4,5%, C₃H₈=1,7%, C₄H₁₀=0,8%, C₅H₁₂=0,6%, N₂=14,5%.

6 – masala:

Yonish issiqligi $Q_q^{yo} = 34000 \text{ kJ} / \text{m}^3$ bo'lgan tabiiy gazning issiqlik ekvivalenti aniqlansin.

Gazlarning atomligi va molekulyar massasi.

1-jadval

Ko'rsatgichlar	O ₂	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂	CH ₃	A ₂	H ₂ O	havo	NH ₃	SO ₂
Atomligi	2	2	2	2	3	5	3	4	1	3	2	4	3
Molekulyar massasi	32	2	28	28	44	16	46	15	40	18	29	17	64

Suvning fizik parametri

2-jadval

t, 0	$\lambda, \text{Vt/m}^0\text{S}$	$\lambda, \text{Vt/m}^0\text{S}$	$V, \text{m}^2/\text{S}$	P_r
0	0,584		$17,89 \cdot 10^{-7}$	13,47
20	0,595		$10,06 \cdot 10^{-7}$	7,03
40	0,622		$6,59 \cdot 10^{-7}$	4,35
60	0,649		$4,78 \cdot 10^{-7}$	3,02
80	0,666		$3,65 \cdot 10^{-7}$	2,225
100	0,684		$2,95 \cdot 10^{-7}$	1,748
120	0,685		$2,52 \cdot 10^{-7}$	1,472
140	0,684		$2,17 \cdot 10^{-7}$	1,258
160	0,632		$1,91 \cdot 10^{-7}$	1,107

12-AMALIY MASHG'ULOT. Gazlarni oqib chiqishi

1-masala

Dvigatelning silindriga yoqilg'i havo yordamida puflanadi. Buning uchun forsunkaning soplosidan havo **R₁=5 MPa** bosim va **t₁=27 °C** harorat ostiga uzatiladi. Silindr ichidagi bosim **R₂=3,5 MPa**. Havoning soplodan oqib chiqish nazariy tezligini aniqlang.

Yechish.

Bosimlar nisbatini aniqlaymiz.

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{3,5}{5} = 0,7$$

Bu kattalik kritik miqdordan (0,58) katta bo'lganligi uchun oqim tezligi kritik tezlikdan kam bo'ladi va quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\omega = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot P_1 \cdot V_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}$$

bu tenglamadagi solishtirma hajm v_1 ni ideal gaz xolat tenglamasidan topamiz:

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 300}{5 \cdot 10^6} = 0,0172 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

u holda

$$\omega = \sqrt{2 \cdot \frac{1,4}{1,4 - 1} \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 0,0172 \cdot \left[1 - \left(\frac{3,5}{5} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right]} = 245 \text{ m/s}$$

2-masala

Ichki diametri **10mm** li quvurdan havo katta hajmli idishdan atmosferaga oqib chiqadi. Idishdagi havoning bosimi **P₁=10 MPa**, harorati **t₁=15 °C**. Atmosfera bosimi **P₂= 0,1 MPa**. Havoning kengayishini adiabatik jarayon deb qabul qilib, uning oqim tezligini va sarfini aniqlang.

Yechish:

Bosimlar nisbati. **P₂ / P₁ = 0,1/10 = 0,01**

Bu kattalik kritik miqdordan (0,528) kichik bo'lgani uchun oqim tezligi kritik tezlikka teng va

$$\omega_{kp} = 1,08 \cdot \sqrt{R \cdot T_1} = 1,08 \cdot \sqrt{287 \cdot 288} = 310 \text{ m/s.}$$

Bir sekunddagi havoning sarfi

$$M = 0,686 \cdot f \cdot \sqrt{\frac{P_1}{V_1}}$$

Bu tenglamadan havo oqib chiqayotgan quvurning ko'ndalang kesim yuzasi

$$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,01}{4} = 0,0000785 \text{ m}^2$$

Havoning solishtirma hajmi

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 288}{10 \cdot 10^6} = 0,00827 \text{ m}^3/\text{kg}$$

U holda havoning sarfi

$$M = 0,686 \cdot 0,0000785 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot 10^6}{0,00827}} = 1,87 \text{ kg/s.}$$

1-vazifa

Kislorodning bosimi **R₁** va harorati **t₁** bo'lib, o'zgarmas holda soplodan bosimi **R₂** bo'lgan muhitga oqib chiqmoqda. Soplo teshigining yuzasi **f₂**. Kislorodning oqib chiqish tezligini va sarfini aniqlang.

Vazifani yechish uchun ma'lumotlar jadval 7 da keltirilgan.

7-jadval

shifrning oxirgi soni	P_1 , MPa	P_2 , MPa	shifrning oxiridan oldingi soni	t_1 , °S	f_2 , mm ²
0	1,0	0,1	0	27	100
1	2,0	1,3	1	17	80
2	3,0	1,0	2	35	60
3	4,0	1,8	3	60	40
4	5,0	3,0	4	15	20
5	6,0	4,0	5	70	50
6	0,6	0,3	6	50	70
7	0,8	0,5	7	40	90
8	0,8	0,5	8	20	30
9	0,4	0,1	9	10	20

Nazorat savoolari va topshiriqlar

1. Ochiq termodinamik tizimlari aniqlanishini ifodalang va amaliyotdan misollar keltiring.
2. Oqim uchun issiqlik dinamikasi birinchi qonuni tenglamasini keltirib chiqaring va uning har xil yozilishlarini keltirig.
3. Texnikaviy va keltirilgan ish nima? Keltirilgan ishning geometrik interpretatsiyasini bering va bu ishning politropik va adiabatik jarayonlar uchun qanday aniqlanishini ko'rsating.
4. qisqa kanallarda ishchi jism oqishida uning massaviy sarfi tezligi uchun ifodani keltirib chiqaring. Bu tenglamalar tahlilini bajaring.
5. Bosimlar kritik nisbati, kritik tezlik, ishchi jismning maksimal massaviy sarfi nimani bildiradi? Torayuvchi soplardan oqayotgan ishchi jismning kritik tezligi va maksimal sarfi uchun ifodalarni yozing.
6. Kritik tezlik chiqish joyidagi tovush tezligiga teng ekanligini ko'rsating. Tezlik tovush tezligidan past bo'lganda kanal torayuvchi bo'lishi kerakligini, tezlik tovush tezligidan yuqori bo'lganda kanal kengayuvchi bo'lishligini isbotlang.

12-Amaliyga topshiriq

MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

1-masala

Dvigatelning silindriga yoqilg'i havo yordamida puflanadi. Buning uchun forsunkaning soplosidan havo $R_1=6 \text{ MPa}$ bosim va $t_1=28 \text{ }^\circ\text{C}$ harorat ostiga uzatiladi. Silindr ichidagi bosim $R_2=4,5 \text{ MPa}$. Havoning soplodan oqib chiqish nazariy tezligini aniqlang.

2-masala

Ichki diametri **11mm** li quvurdan havo katta hajmli idishdan atmosferaga oqib chiqadi. Idishdagi havoning bosimi **$P_1=11$ MPa**, harorati **$t_1=16$ °C**. Atmosfera bosimi **$P_2= 0,2$ MPa**. Havoning kengayishini adiabatik jarayon deb qabul qilib, uning oqim tezligini va sarfini aniqlang.

1-vazifa

Kislorodning bosimi **R_1** va harorati **t_1** bo'lib, o'zgarmas holda soplodan bosimi **R_2** bo'lgan muhitga oqib chiqmoqda. Soplo teshigining yuzasi **f_2** . Kislorodning oqib chiqish tezligini va sarfini aniqlang.

Vazifani yechish uchun ma'lumotlar jadval 7 da keltirilgan.

7-jadval

shifrnig oxirgi soni	P_1 , MPa	P_2 , MPa	shifrnig oxiridan oldingi soni	t_1 , °S	f_2 , mm ²
0	1,0	0,1	0	27	100
1	2,0	1,3	1	17	80
2	3,0	1,0	2	35	60
3	4,0	1,8	3	60	40
4	5,0	3,0	4	15	20
5	6,0	4,0	5	70	50
6	0,6	0,3	6	50	70
7	0,8	0,5	7	40	90
8	0,8	0,5	8	20	30
9	0,4	0,1	9	10	20

Nazorat savoolari va topshiriqlar

1. Ochiq termodinamik tizimlari aniqlanishini ifodalang va amaliyotdan misollar keltiring.
2. Oqim uchun issiqlik dinamikasi birinchi qonuni tenglamasini keltirib chiqaring va uning har xil yozilishlarini keltirig.
3. Texnikaviy va keltirilgan ish nima? Keltirilgan ishning geometrik interpretatsiyasini bering va bu ishning politropik va adiabatik jarayonlar uchun qanday aniqlanishini ko'rsating.
4. qisqa kanallarda ishchi jism oqishida uning massaviy sarfi tezligi uchun ifodani keltirib chiqaring. Bu tenglamalar tahlilini bajaring.
5. Bosimlar kritik nisbati, kritik tezlik, ishchi jismning maksimal massaviy sarfi nimani bildiradi? Torayuvchi soplardan oqayotgan ishchi jismning kritik tezligi va maksimal sarfi uchun ifodalarni yozing.
6. Kritik tezlik chiqish joyidagi tovush tezligiga teng ekanligini ko'rsating. Tezlik tovush tezligidan past bo'lganda kanal torayuvchi bo'lishi kerakligini, tezlik tovush tezligidan yuqori bo'lganda kanal kengayuvchi bo'lishligini isbotlang.

13-AMALIY MASHG'ULOT. Suv bug'i

quyidagi masalalarni yechishda **h-S** diagrammasidan foydalaning.

Masala 1

quvurdan o'tayotgan bug'ning bosimi **P₁=1,2 MPa** va harorati **t=260 °S**.
Bug'ning sarfi **M = 350 kg/s**, tezligi **ω= 50 m/s**.

Bug' o'tkazayotgan quvurning diametrini aniqlang.

Yechish.

Bug'ning sarf bo'lishi quyidagi tenglamadan aniqlanadi.

$$M = f \cdot \omega \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \omega \cdot \frac{1}{v}$$

bu yerda; **f**- trubaning ko'ndalang kesim yuzasi, m²;

d- trubaning diametri, m;

v- bug'ning solishtirma hajmi, m³/kg;

ρ- bug'ning zichligi, kg/m³.

Yuqoridagi tenglamadan

$$d = \sqrt{\frac{4Mv}{\pi\omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 350 \cdot 0,2}{3600 \cdot 3,14 \cdot 50}} = 0,22m = 22mm$$

Bug'ning solishtirma hajmi **h-S** diagrammasidan aniqlanadi, **v = 0,2 m³/kg**.

Masala 2

Trubinadan kondensatorga oqib htayotgan bug'ning bosimi **P = 0,01 MPa**, quruqlik darajasi **x = 0,83**, kondensatordan chiqayotgan kondensatning harorati **t = 35°S**. Bug'ni sovitish uchun ishlatilayotgan suvning harorati **Δt = 15 °S** ga ko'tarilishi uchun kondensatorga qancha miqdorda suv berish kerak?

Yechish.

1 kg bug' kondensatsiya bo'lishi natijasida ajralib chiqayotgan issiqlik

$$q_b = h_1 - h_2 = 2180 - 35 = 2145 \text{ kJ/kg}$$

bu yerda; h_1, h_2 - bug'ning avvalgi va keyingi holatlarining entalpiyalari, **h-S** diagrammadan aniqlaniladi.

$$h_1 = 2180 \text{ kJ/kg}; h_2 = 35 \text{ kJ/kg}.$$

Suvni isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik

$$Q_c = M C_R (t_2 - t_1) = M C_R \Delta t$$

bu yerda M -massasi 1 kg bug'ni sovitish uchun kerak bo'lgan suv miqdori, kg.

S_R - suvning massaviy izobarik issiqlik sig'imi, $S_R=4,18 \text{ kJ/kg}^0\text{S}$.

t_1, t_2 - suvning kondensatorga kirish va chiqishdagi haroratlari, ^0S .

Kondensatorga energetik balans shartini (bug'dan ajralib chiqqan issiqlikning hammasi suvni isitish uchun sarflanadi) xisobga olgan xolda

$$q_b = Q_c = M C_R \Delta t \quad \text{va}$$

$$M = \frac{q_b}{C_R \Delta t} = \frac{2145}{4,18 \cdot 15} = 34,2 \text{ kg}.$$

Masala 3

Harorati $t_1=400 \text{ }^0\text{S}$ bo'lgan **1 kg** suv bug'i tashqi muhit bilan issiqlik almashmagan holda kengaytirilgan. Shunda uning bosimi **$P_1=9 \text{ MPa}$** dan **$P_2=4 \text{ MPa}$** gacha kamaygan.

Bug'ning oxirgi xolat parametrlarini, entalpiyasining o'zgarishini va kengaytirishdagi bajargan ishini aniqlang.

Yechish.

h-S diagrammasidagi $t_1= 400 \text{ }^0\text{S}$ izoterma chizig'i bilan **$P_1=9 \text{ MPa}$** izobara chiziqlarini kesishgan nuqtasini aniqlaymiz. Bu nuqtani "**1**" deb belgilaymiz. Shu nuqtadan **$P_2= 4 \text{ MPa}$** ga teng izobara chizig'i bilan kesishish nuqtasini "**2**" deb belgilaymiz. Diagrammadan ko'rinadiki **1** va **2** nuqtalar Yuqorigi chegaraviy chiziqdan Yuqorida joylashgan bo'lib, bu nuqtalarga mos keluvchi bug'ning holati qizdirilgan bug' ekan.

1) Diagrammadan: $h_1 = 3125 \text{ kJ/kg}$, $t_1 = 400 \text{ }^0\text{C}$, $v_1= 0,03 \text{ m}^3/\text{kg}$,

$$h_2 = 2950 \text{ J/kg}, t_2= 290 \text{ }^0\text{S}, v_2= 0,05 \text{ kJ/kg}.$$

2) Entalpiyasining o'zgarishi:

$$h_1 - h_2 = 3125 - 2950 = 175 \text{ kJ/kg.}$$

3) Kengayishdagi ish:

$$l = u_1 - u_2 ,$$

bu tenglamada u_1 , u_2 - bug'ning boshlang'ich va keyingi holat ichki energiyasi:

$$u_1 = h_1 + p_1 \cdot v_1 = 3125 + \frac{9 \cdot 10^6 \cdot 0,03}{1000} = 3395 \text{ kJ/kg}$$

$$u_2 = h_2 + p_2 \cdot v_2 = 2950 + \frac{4 \cdot 10^6 \cdot 0,05}{1000} = 3150 \text{ kJ/kg.}$$

Demak,

$$l = 3375 - 3150 = 245 \text{ kJ/kg}$$

Vazifa 1

Bosimi r_1 va harorati t_1 bo'lgan **1 kg** suv bug'iga izotermik jarayonda **q** miqdorida issiqlik beriladi. Bug'ning keyingi holati, holat ko'rsatkichlarini, kengayishdagi bajargan ishini va ichki energiyasining o'zgarishini aniqlang.

h - s diagrammasida **s = const** - bu to'g'ri vertikal chiziq.

Masalani **h - s** diagramma yordamida yeching.

Masalani yechish uchun ma'lumotlar 8 jadvalda keltirilgan.

Jadval 8.

Shifrnig oxirgi soni	P_1 , MPa	t_1 , °S	Shifrnig oxiridan oldingi soni	q , kJ/kg
0	20	400	0	570
1	14	380	1	460
2	16	460	2	630
3	18	330	3	410
4	12	630	4	1280
5	10	360	5	740
6	9	490	6	920
7	8	550	7	800
8	6	370	8	490
9	5	300	9	550

13-Amaliyga topshiriq

MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

quyidagi masalalarni yechishda **h-S** diagrammasidan foydalaning.

Masala 1

quvurdan o'tayotgan bug'ning bosimi **$P_1=1,3 \text{ MPa}$** va harorati **$t=270 \text{ }^\circ\text{S}$** .
Bug'ning sarfi **$M = 450 \text{ kg/s}$** , tezligi **$\omega= 60 \text{ m/s}$** .

Bug' o'tkazayotgan quvurning diametrini aniqlang.

Masala 2

Trubinadan kondensatorga oqib htayotgan bug'ning bosimi **$P = 0,02 \text{ MPa}$** , quruqlik darajasi **$x = 0,93$** , kondensatordan chiqayotgan kondensatning harorati **$t = 45^\circ\text{S}$** . Bug'ni sovitish uchun ishlatilayotgan suvning harorati **$\Delta t = 16 \text{ }^\circ\text{S}$** ga ko'tarilishi uchun kondensatorga qancha miqdorda suv berish kerak?

Masala 3

Harorati **$t_1=500 \text{ }^\circ\text{S}$** bo'lgan **$2\text{kg}$** suv bug'i tashqi muhit bilan issiqlikalmashmagan holda kengaytirilgan. Shunda uning bosimi **$P_1=10 \text{ MPa}$** dan **$P_2=5 \text{ MPa}$** gacha kamaygan.

Bug'ning oxirgi xolat parametrlarini, entalpiyasining o'zgarishini va kengaytirishdagi bajargan ishini aniqlang.

14-AMALIY MASHG'ULOT.

Suv bug'i kuch qurilmalarining sikllari

Masala 1

Renkin siklida ishlayotgan bug' mashinasiga kirayotgan bug'ning bosimi **$P_1 = 1,5 \text{ MPa}$** va harorati **$t_1 = 300 \text{ }^\circ\text{S}$** , turbinadan chiqayotgan bug'ning bosimi **$P_2 = 0,01 \text{ MPa}$** . Bug'ning sarfi **$M = 940 \text{ kg/soat}$** .

qurilmaning foydali ish ko'effitsiyenti va quvvatini aniqlang.

Yechish.

qurilmaning foydali ish ko'effitsiyenti:

bu tenglamada $\mathbf{h}_1$ va $\mathbf{h}_2$ bug'ning kengayishidan avvalgi va keyingi entalpiyalari, kJ/kg; h'_2 - bosimi $\mathbf{R}_2$ ga teng bo'lgan kondensatning entalpiyasi, kJ/kg ($h'_2 = c_p \cdot t_k$, $s_r = 4,19 \text{ kJ/kg}^0\text{S}$, t_k - kondensat harorati).

$$\text{U holda} \quad \eta_t = \frac{3040 - 2190}{3040 - 47} = 0,3$$
$$N = M \cdot (h_2 - h_1) = \frac{940}{3600} \cdot (3040 - 2190) = 222 \text{ kVt}$$

Yechish.

Uchala sikl uchun ham foydali ish koeffitsiyentlari quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'}$$

h-S diagrammasidan:

a) birinchi sikl uchun

$$h_1=2620 \text{ kJ/kg}, h_2=1960 \text{ kJ/kg}, h_2' = 60 \text{ kJ/kg}$$

b) ikkinchi sikl uchun

$$h_1=2800 \text{ kJ/kg}, h_2=2090 \text{ kJ/kg}, h_2' = 60 \text{ kJ/kg}$$

v) uchunchi sikl uchun

$$h_1=3020 \text{ kJ/kg}, h_2=2230 \text{ kJ/kg}, h_2' = 60 \text{ kJ/kg}$$

U holda

$$a) \eta_t = \frac{2620 - 1960}{2620 - 60} = 0,257$$

$$b) \eta_t = \frac{2800 - 2090}{2800 - 60} = 0,259$$

$$v) \eta_t = \frac{3020 - 2230}{3020 - 60} = 0,267$$

Masala 3

Renkin siklida ishlayotgan bug' qurilmasiga qizdirilgan bug' kiritilgan. Bosimi $P_1 = 9 \text{ MPa}$ va harorati $t_1 = 450 \text{ }^\circ\text{S}$ bo'lgan bug' turbinada bosimi $P' = 2,9 \text{ MPa}$ gacha kengaygandan keyin uning bosimi o'zgartirilmay $t' = 350 \text{ }^\circ\text{S}$ gacha qayta qizdiriladi va yana turbinada bosimi $P_2 = 0,004 \text{ MPa}$ gacha kengayadi.

Siklning foydali ish koeffitsiyentini aniqlang.

Yechish

Sikldagi bug'ning kengayishi va qayta qizdirilishi 6 - rasmda ifodalangan. Bu rasmda 1 - 2 bug'ning dastlabki kengayishi, 2 - 3 bug'ni qayta qizdirish, 3 - 4 bug'ning keyingi kengayishi.

Bug' qayta qizdiriluvchi Renkin siklining foydali ish koeffitsiyenti quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(h_1 - h_k) + (h_3 - h_2)}$$

bu yerda h_1, h_2, h_3, h_4 - bug'ning 1,2,3 va 4 -holatlardagi (rasm 6) entalpiyasi, **kJ/kg**;

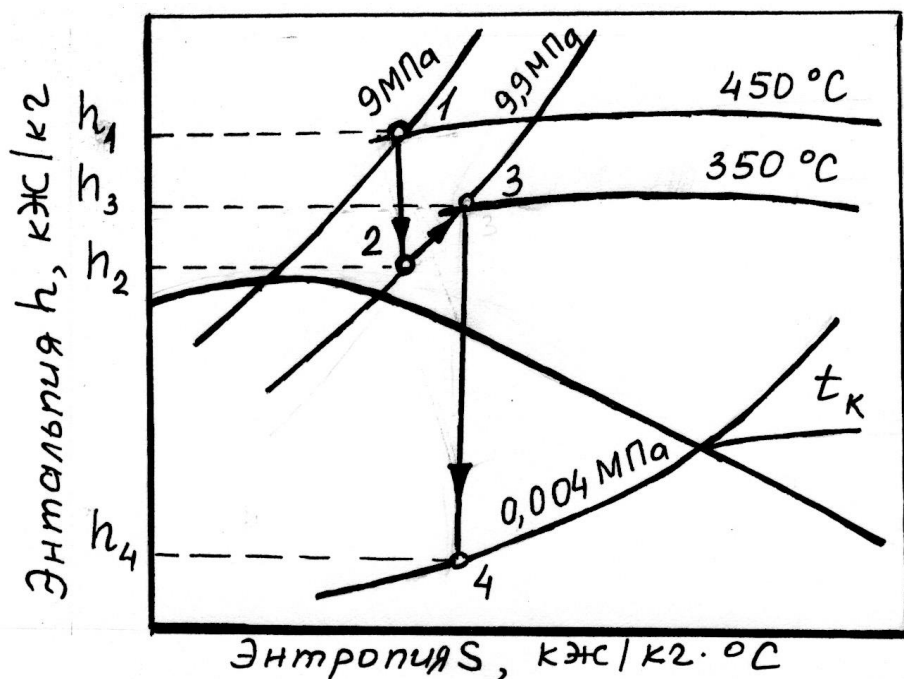
h_k - kondensatning entalpiyasi, **kJ/kg** ($h_k = c_r t_k$).

h - S diagrammasidan: $h_1 = 3260 \text{ kJ/kg}$, $h_2 = 2960 \text{ kJ/kg}$,

$h_3 = 3100 \text{ kJ/kg}$, $h_4 = 2030 \text{ kJ/kg}$, $h_k = 121 \text{ kJ/kg}$.

U holda

$$\eta_t = \frac{(3260 - 2960) + (3100 - 2030)}{(3260 - 121) + (3100 - 2960)} = 0,42$$



Bug' qizdirgichga kirayotgan bug'ning bosimi P_1 va quruqlik darajasi X_1 . qizdirgichdan chiqqan bug' turbinada bosimi P_2 gacha adiabatik jarayonda kengayadi. Turbinadan kondensatorga kirayotgan bug'ning quruqlik darajasi X_2 .

- 1) Bug' qizdirgichda 1 kg bug'ga berilgan issiqlik miqdorini (kJ/kg hisobida) va Renkin siklining issiqlik foydali ish koeffitsiyentini aniqlang.
- 2) Agarda bug' qizdirgichda bug' qo'shimcha Δt ga qizdirilgach yana P_2 bosimgacha kengaytirilsa (X_2 bu holatda o'zgaradi) Renkin siklining foydali ish koeffitsiyenti qancha bo'ladi?
- 3) Bug'ni qizdirish va kengayish jarayonlarini $h - S$ diagrammasida chizib ko'rsating (masshtabsiz chizish mumkin).

Masalani yechish uchun ma'lumotlar 9 jadvalda keltirilgan.

Jadval 1

Shifrnig oxirgi soni	P_1 , MPa	X_1 ,	Shifrnig oxirgidan oldingi soni	P_2 , MPa	X_2 ,	Δt , °S
0	6	0,87	0	0,12	0,98	110
1	4,7	0,85	1	0,15	0,99	120
2	6,9	0,91	2	0,09	0,95	100
3	3,1	0,94	3	0,08	0,97	90
4	4,3	0,89	4	0,14	0,96	130
5	2,5	0,9	5	0,05	0,98	185
6	5,7	0,92	6	0,07	0,95	160

7	3,5	0,88	7	0,035	0,94	105
8	4,5	0,86	8	0,02	0,96	140
9	5,0	0,89	9	0,025	0,98	115

Nazorat savoolari va topshiriqlar

1. Bug' kuch qurilmalari sxemalarini tasvirlang va ularning bir biridan farq qiluvchi xususiyatlarini ko'rsating.

2. Bug' kuch qurilmasi siklining FIK ni oshirish yo'llarini ko'rsating. Siklning T_s – koordinatalardagi tasvirlanishidan foydalanib, sikl tahlilini bajaring.

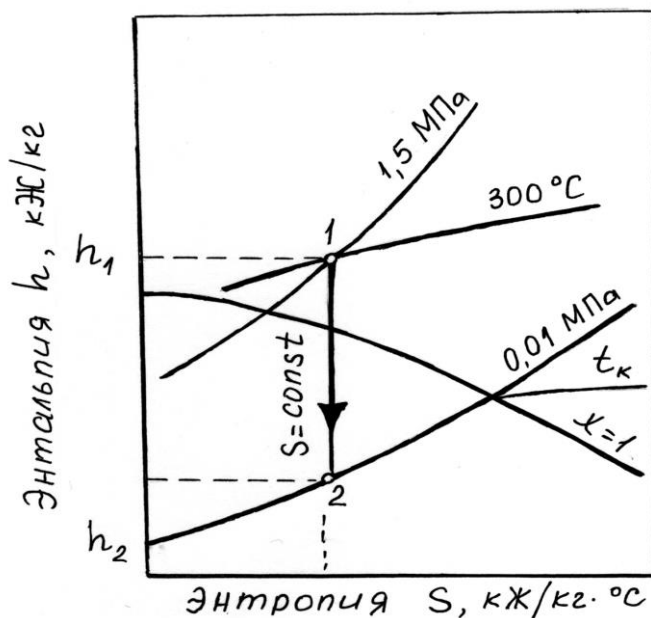
14-Amaliyga topshiriq

MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

Masala 1

Renkin siklida ishlayotgan bug' mashinasiga kirayotgan bug'ning bosimi $P_1 = 1,6 \text{ MPa}$ va harorati $t_1 = 400^\circ\text{S}$, turbinadan chiqayotgan bug'ning bosimi $P_2 = 0,02 \text{ MPa}$. Bug'ning sarfi $M = 8940 \text{ kg/soat}$.

qurilmaning foydali ish ko'effitsiyenti va quvvatini aniqlang.



Rasm 1. h - S diagrammasidan foydalanish sxemasi

Masala 2

Uchta bug' qurilmasi Renkin siklida ishlamoqda. Uchta siklga ham boshlang'ich bosim $P_1=3 \text{ MPa}$, keyingi bosim $P_2=0,03 \text{ MPa}$.

Birinchi siklida ishchi jism - quruqlik darajasi $x=0,9$ bo'lgan nam bug'; ikkinchi siklida - quruq to'yingan bug' va uchinchi siklida xarorati $t_1=300^\circ\text{C}$ bo'lgan qizdirilgan bug'.

Sikllarning foydali ish koeffitsiyentlarini aniqlang va bir-biri bilan solishtiring.

Masala 3

Renkin siklida ishlayotgan bug' qurilmasiga qizdirilgan bug' kiritilagan. Bosimi $P_1 = 10 \text{ MPa}$ va harorati $t_1 = 550^\circ\text{S}$ bo'lgan bug' turbinada bosimi $P' = 3,9 \text{ MPa}$ gacha kengaygandan keyin uning bosimi o'zgartirilmay $t' = 450^\circ\text{S}$ gacha qayta qizdiriladi va yana turbinada bosimi $P_2 = 0,005 \text{ MPa}$ gacha kengayadi.

Siklning foydali ish koeffitsiyentini aniqlang.

Nazorat savoolari va topshiriqlar

1. Bug' kuch qurilmalari sxemalarini tasvirlang va ularning bir biridan farq qiluvchi xususiyatlarini ko'rsating.

2. Bug' kuch qurilmasi siklining FIK ni oshirish yo'llarini ko'rsating. Siklning T_s – koordinatalardagi tasvirlanishidan foydalanib, sikl tahlilini bajaring.

15-AMALIY MASHG'ULOT. TERMODINAMIK SIKLLAR

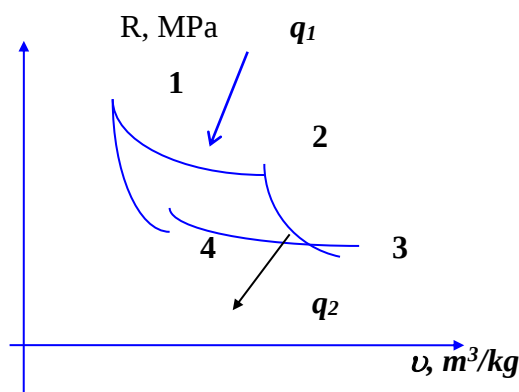
1-masala

Agar issiqlik manbaining harorati $t_1 = 327^\circ\text{S}$, issiqlik qabul qiluvchiniki esa $t_2 = 27^\circ\text{S}$, eng katta bosim 2 MPa va eng kichik bosim $0,12 \text{ MPa}$ bo'lsa, Karno siklining xarakterli nuqtalaridagi 1 kg havoning holat ko'rsatkichlari, bajargan ishi, issiqlik foydali ish koeffitsiyenti (FIK), siklga kiritilgan va sikldan chiqarilgan issiqlik miqdorlari aniqlansin. Siklning T - S diagrammasi qurilsin.

Yechish.

1. Xarakterli nuqtadagi ko'satkichlarni

aniqlaymiz:



Rasm 1. Karno siklining P-V diagrammasi

1 – nuqta uchun (1-rasm):

Masalaning shartiga ko'ra:

$$P_1 = 2 \text{ MPa}$$

$$T_1 = t_1 + 273 = 600^\circ\text{S}.$$

Solishtirma hajmni ideal gaz holat tenglamasidan topamiz:

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 600}{2 \cdot 10^6} = 0,86 \quad \text{m}^3 / \text{kg}$$

2 – nuqta uchun: Karno siklining shartiga ko'ra: $T_1 = T_2 = 600 \text{ K}$.

2 - 3 adiabatik jarayon bo'lganligi uchun:

$$\frac{P_3}{P_2} = \left(\frac{T_3}{T_2} \right)^{\frac{k}{k-1}} = \left(\frac{27 + 273}{600} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 0,089, \text{ bundan}$$

$$P_2 = \frac{P_3}{0,089} = \frac{0,12}{0,089} = 1,35 \text{ MPa.}$$

1 - 2 izotermik jarayon bo'lganligi uchun $\frac{P_1}{P_2} = \frac{v_2}{v_1}$, bundan

$$v_2 = \frac{P_1 \cdot v_1}{P_2} = \frac{2 \cdot 0,089}{1,35} = 0,127 \text{ m}^3/\text{kg}$$

3 – nuqta uchun: masalaning shartiga ko'ra

$$P_3 = 0,12 \text{ MPa, } T_3 = 27 = 273 = 300 \text{ K}$$

Solishtirma hajmni holat tenglamasidan topamiz:

$$v_3 = \frac{R \cdot T_3}{P_3} = \frac{287 \cdot 300}{0,12 \cdot 10^6} = 0,71 \text{ m}^3/\text{kg.}$$

4 – nuqta uchun: 3 - 4 izotermik jarayon bo'lgani uchun $T_3 = T_4 = 300 \text{ K}$.

4 - 1 adiabatik jarayon bo'lgani uchun

$$\frac{P_1}{P_4} = \left(\frac{T_1}{T_4} \right)^{\frac{k}{k-1}} = \left(\frac{600}{300} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 11,2, \text{ bundan}$$

$$P_4 = \frac{P_1}{11,2} = 0,18 \text{ MPa.}$$

Colishtirma hajmni holat tenglamasidan topamiz:

$$v_4 = \frac{R \cdot T_4}{P_4} = \frac{287 \cdot 300}{0,18 \cdot 10^6} = 0,48 \text{ m}^3/\text{kg.}$$

2. Sikldagi bajarilgan ish: $l = q_1 - q_2$,

bunda q_1 - siklga kiritilgan issiqlik;

q_2 - sikldan chiqarilgan issiqlik.

$$q_1 = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{P_1}{P_2} = 287 \cdot 600 \cdot \ln \frac{2}{1,35} = 67400 \text{ J/kg} = 67,4 \text{ kJ/kg}$$

$$q_2 = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{P_4}{P_3} = 287 \cdot 300 \cdot \ln \frac{0,18}{0,12} = 33700 \quad \text{Ж} / \text{кг} = 33,7 \text{ Ж} / \text{кг}$$

u holda $l = 67,4 - 33,7 = 33,7 \text{ kJ/kg}$.

3. Siklning issiqlik FIK:

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{600 - 300}{600} = 0,5$$

4. Siklning jarayonlarida entropiyaning o'zgarishini aniqlaymiz va Karno siklining T - S diagrammasini quramiz:

1 - 2 izoterma uchun:

$$S_2 - S_1 = R \cdot \ln \frac{P_1}{P_2} = 287 \cdot \ln \frac{2}{1,35} = 112 \quad \text{Ж} / \text{кг}^{\circ}\text{C} = 0,112 \text{ Ж} / \text{кг}^{\circ}\text{C}$$

2 - 3 adiabata uchun: $S_3 - S_2 = 0$.

3 - 4 izoterma uchun:

$$S_4 - S_3 = R \cdot \ln \frac{P_3}{P_4} = 287 \cdot \ln \frac{0,12}{0,18} = -0,112 \text{ Ж} / \text{кг}^{\circ}\text{C}$$

4 - 1 adiabata uchun: $S_1 - S_4 = 0$.

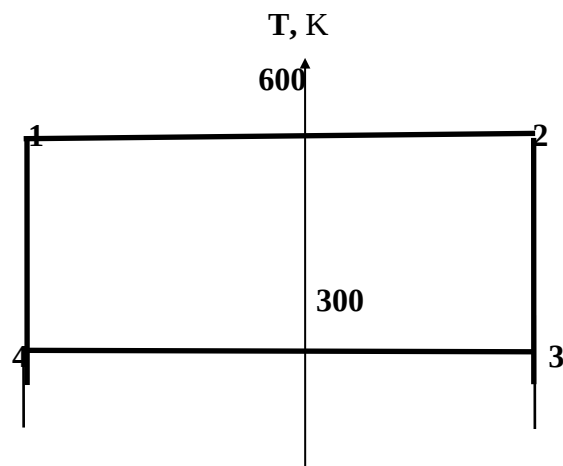
Siklning T - S diagrammasini qurish uchun uning xarakterli nuqtalaridagi entropiyalarning qiymatlarini aniqlaymiz.

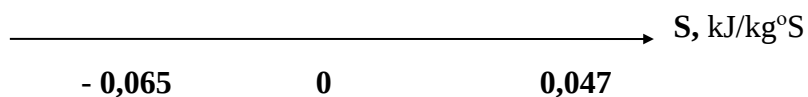
$$S_1 = c_p \cdot \ln \frac{T_1}{T_H} - R \cdot \ln \frac{P_1}{P_H} = 1,01 \cdot \ln \frac{600}{273} - 0,287 \cdot \ln \frac{2}{0,101} = -0,065 \text{ Ж} / \text{кг}^{\circ}\text{C}$$

$S_2 - S_1 = 0,112 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{S}$ bo'lgani uchun

$$S_2 = S_1 + 0,112 = -0,065 + 0,112 = 0,047 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{S}.$$

$$S_3 = S_2 = 0,047 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{S}; \quad S_4 = S_1 = -0,065 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{S}.$$





Rasm 2. Karno siklining T-S diagrammasi

2-masala

Agar $P_1 = 0,12 \text{ MPa}$, $t = 17^\circ\text{S}$, siqish darajasi $\varepsilon = 4,5$ va siklga kiritilgan issiqlik miqdori $q_1 = 1340 \text{ kJ/kg}$ bo'lsa, issiqlikni $v=\text{const}$ bo'lganda siklga kiritiluvchi ichki yonish dvigatelining ideal sikli uchun xarakterli nuqtalaridagi holat ko'rsatkichlari, bajarilgan foydali ish, issiqlik FIK, siklning jarayonlarida entropiyaning o'zgarishi topilsin va siklning T - S diagrammasi qurilsin.

Yechish.

1. Siklning xarakterli nuqtalaridagi holat ko'rsatkichlarini aniqlaymiz.

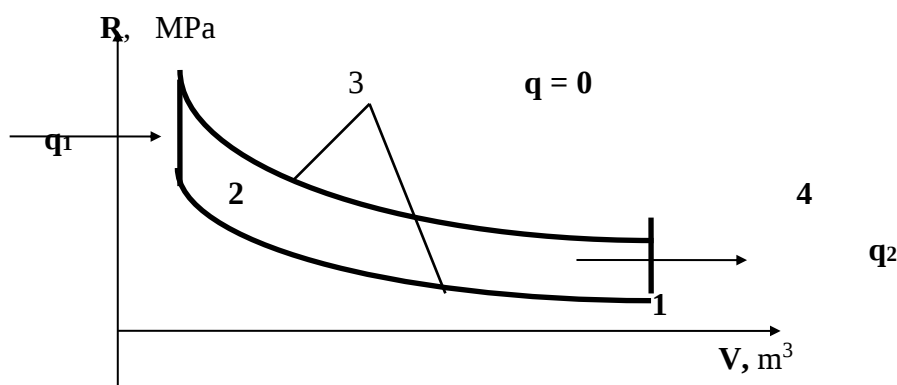
1-nuqta uchun: masalaning shartiga ko'ra: $R_1 = 0,12 \text{ MPa}$, $T_1 = 290 \text{ K}$. Solishtirma v_1 hajmni ideal gaz holat tenglamasidan topamiz:

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 290}{0,12 \cdot 10^6} = 0,69 \text{ m}^3/\text{kg}$$

2 - nuqta uchun:

Agar $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$ bo'lsa, bundan

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,69}{4,5} = 0,154 \text{ m}^3/\text{kg}$$



3 -rasm . Siklning P - V diagrammasi.

1 - 2 adiabatik jarayon bo'lgani uchun:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k, \text{ bundan } P_2 = P_1 \cdot \varepsilon^k = 0,12 \cdot 4,5^{1,4} = 0,98 \text{ MPa}$$

T_2 ning qiymatini holat tenglamasidan foydalanib topamiz:

$$T_2 = \frac{P_2 \cdot v_2}{R} = \frac{0,98 \cdot 10^6 \cdot 0,154}{287} = 520 \text{ K}$$

3 – nuqta uchun:

q_1 keltirilgan issiqlik miqdori masala shartiga ko'ra berilgani uchun q_1 tenglamasidan foydalanib T_3 ni topamiz:

$$q_1 = c_v \cdot (T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{q_1}{c_v} + T_2$$

bunda s_v - havoning o'zgarmas hajmidagi massaviy issiqlik sig'imi, kJ/kg $^{\circ}$ S.

$$c_v = \frac{\mu c_v}{\mu} = \frac{20,93}{29} = 0,72 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{S}$$

$$T_3 = \frac{1340}{0,72} + 520 = 2380, \text{ K.} \quad v_3 = v_2 = 0,154 \text{ m}^3/\text{kg}$$

2 - 3 izoxorik jarayon bo'lgani uchun:

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3} \Rightarrow \Rightarrow P_3 = \frac{P_2 \cdot T_3}{T_2} = \frac{0,98 \cdot 2380}{520} = 4,6 \text{ MPa}$$

4 – nuqta uchun: $v_4 = v_1 = 0,69, \text{ m}^3/\text{kg}$

3 - 4 adiabatik jarayon bo'lganligi uchun:

$$\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k \Rightarrow P_4 = P_3 \cdot \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k = P_3 \cdot \frac{1}{\varepsilon^k} = \frac{4,6}{4,5^{1,4}} = 0,56 \text{ MPa.}$$

4 - 1 izoxorik jarayon bo'lganligi uchun:

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1} \Rightarrow T_4 = \frac{P_4 \cdot T_1}{P_1} = \frac{0,56 \cdot 290}{0,12} = 1350 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

2. Siklda bajarilgan foydali ish quyidagitenglikdan topiladi:

$$l = q_1 - q_2$$

bunda q_2 - sikldan chiqarilgan issiqlik,

$$q_2 = c_v \cdot (T_4 - T_1) = 0,72 \cdot (1350 - 290) = 764 \text{ kJ/kg}$$

u holda $l = q_1 - q_2 = 1340 - 764 = 576 \text{ kJ/kg.}$

3. Siklning issiqlik FIK

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{1340 - 764}{1340} = 0,43$$

4. Siklning jarayonlarida entropiyaning o'zgarishini aniqlaymiz va **T-S** diagrammasini quramiz:

1 - 2 adiabata uchun $S_2 - S_1 = 0$.

2 - 3 izoxora uchun:

$$S_3 - S_2 = c_v \cdot \ln \frac{T_3}{T_2} = 0,72 \cdot \ln \frac{2380}{520} = 1,1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

3 - 4 adiabata uchun: $S_4 - S_3 = 0$

4 - 1 izoxora uchun

$$S_1 - S_4 = c_v \cdot \ln \frac{T_1}{T_4} = 0,72 \cdot \ln \frac{290}{1350} = -1,1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

T-S diagrammani qurish uchun siklning xarakterli nuqtalaridagi entropiyalarning qiymatlarini aniqlaymiz:

$$S_1 = c_p \cdot \ln \frac{T_1}{T_H} - R \cdot \ln \frac{P_1}{P_H} = 1,01 \cdot \ln \frac{290}{273} - 0,287 \cdot \frac{0,12}{0,101} = 0,1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{S}$$

$$S_2 - S_1 = 0 \text{ bo'lgani uchun } S_2 = S_1 = 0,1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{S}$$

$$S_3 - S_2 = 1,1; \quad S_3 = 1,1 + S_2 = 1,1 + 0,1 = 1,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{S},$$

$$S_4 - S_3 = 0; \quad S_4 = S_3 = 1,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{S}$$

1-vazifa

Porshenli ichki yonish dvigatelining issiqlikdinamikasi siklidagi xarakterli nuqtalarida ishchi jism parametrlari, sikldagi bajarilgan ish, siklga kiritilgan va undan chiqarilgan issiqlik miqdorlari, siklning issiqlik FIK, sikldagi jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi aniqlansin va masshtabda siklning **r - v** va **T - S** diagrammalari qurilsin.

Hisoblash uchun kerakli ma'lumotlar:

Siklning shartli belgilari:

- o'zgarmas hajmda issiqlik keltirilgan sikl-1, o'zgarmas bosimga issiqlik keltirilgan sikl-2, aralash sikl-3;
- ishchi jism - 1 kg havo;
- ishchi jismning dastlabki parametrlari **P₁** va **t₂**;
- sikldagi maksimal bosim **P_{max}**;
- o'zgarmas hajmda keltirilgan issiqlik miqdori **q_{1v}**,
o'zgarmas bosimdagisi esa - **q_{1R}**;
- siqish darajasi - **ε**;

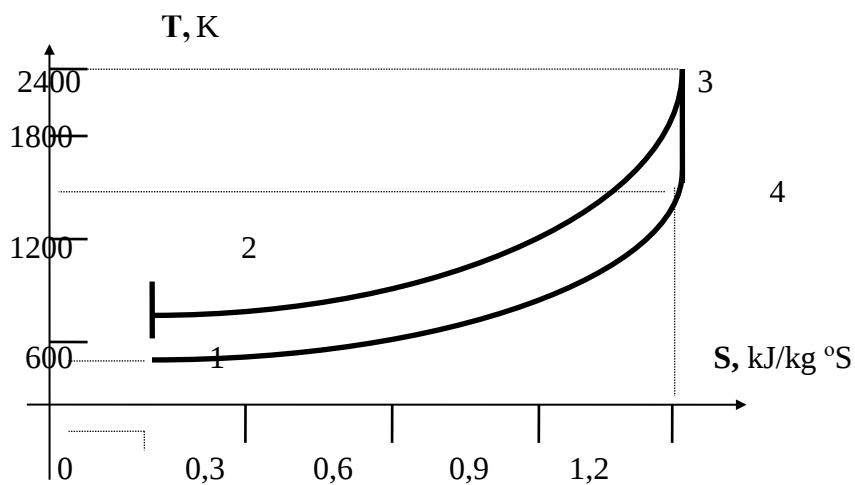
- bosim ortish darajasi - λ ;
- keyingi kengayish darajasi - ρ ;
- siqilish va kengayishning adiabatik ko'rsatkichi $k = 1,4$;
- havoning issiqlik sig'irlari S_R yoki S_V ;
- havoning o'zgarmas gaz doimiysi $R = 287 \text{ J/kg}^\circ\text{S}$

Berilgan sikl va q_{1V} , q_{1R} , ε , λ , ρ va P_{max} qiymatlari shifrnig oxirgi soniga qarab 5.1- jadvalidan tanlab olinadi.

P_1 , t_1 , C_R va S_V qiymatlari esa shifrnig oxirigidan oldingi soniga qarab 5.2- jadvalidan tanlab olinadi.

5.1-jadval

Berilgan kattaliklar	Shifrnig oxirgi soni									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S i k l	1	2	3	1	2	3	3	2	1	3
q_{1V} , kJ/kg	-	200	-	1500	-	-	-	-	1200	500
q_{1R} , kJ/kg	-	800	1200	-	-	600	-	600	-	-
ε , %	6,5	15	14	7,0	16	15,1	14	15,1	7,5	14
λ	3,5	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-
ρ	-	-	-	-	1,4	-	1,4	-	-	1,6
P_{max} , MPa	-	-	-	-	-	5,8	-	-	-	-



Rasm 4. Siklning T-S diagrammasi.

5.2-jadval

Berilgan kattaliklar	Shifrnig oxiridan oldingi soni									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_1 , MPa	0,1	0,099	0,1	0,1	0,098	0,098	0,101	0,1	0,101	0,099
t_1 , $^\circ\text{S}$	17	27	15	20	27	25	5	10	7	17

$S_R, \text{kJ/kg}^0\text{S}$	1,0	-	-	1,01	-	-	1,01	1,0	-	1,01
$S_V, \text{kJ/kg}^0\text{S}$	-	0,722	0,72	-	0,72	0,72	-	-	0,72	-

15-AMALIY TOPSHIRIQ.

1-masala

Agar issiqlik manbaining harorati $t_1 = 328^\circ\text{S}$, issiqlik qabul qiluvchiniki esa $t_2 = 28^\circ\text{S}$, eng katta bosim **3MPa** va eng kichik bosim **0,13 MPa** bo'lsa, Karno siklining xarakterli nuqtalaridagi **2kg** havoning holat ko'rsatkichlari, bajargan ishi, issiqlik foydali ish koeffitsiyenti (FIK), siklga kiritilgan va sikldan chiqarilgan issiqlik miqdorlari aniqlansin. Siklning T-S diagrammasi qurilsin.

2-masala

Agar $P_1 = 0,13 \text{ MPa}$, $t = 18^\circ\text{S}$, siqish darajasi $\varepsilon = 4,6$ va siklga kiritilgan issiqlik miqdori $q_1 = 1341 \text{ kJ/kg}$ bo'lsa, issiqlikni $v = \text{const}$ bo'lganda siklga kiritiluvchi ichki yonish dvigatelining ideal sikli uchun xarakterli nuqtalaridagi holat ko'rsatkichlari, bajarilgan foydali ish, issiqlik FIK, siklning jarayonlarida entropiyaning o'zgarishi topilsin va siklning T - S diagrammasi qurilsin.

Hisoblash uchun kerakli ma'lumotlar:

Siklning shartli belgilari:

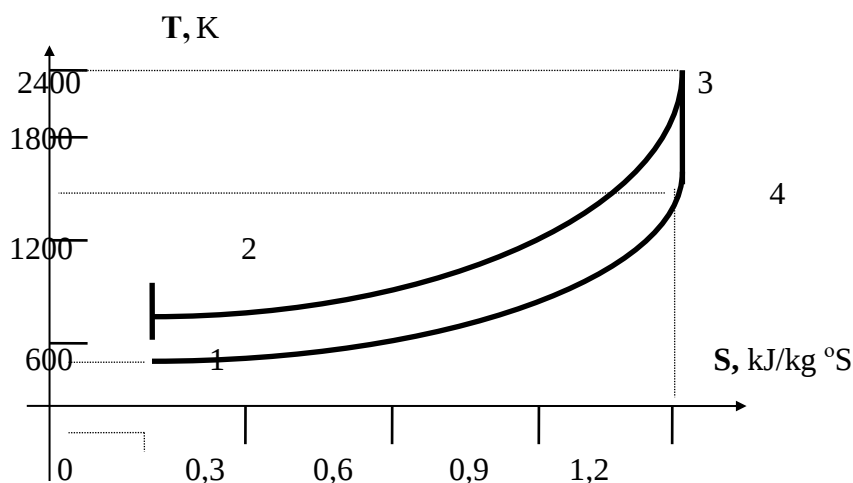
- o'zgarmas hajmda issiqlik keltirilgan sikl-1, o'zgarmas bosimga issiqlik keltirilgan sikl-2, aralash sikl-3;
- ishchi jism - 1 kg havo;
- ishchi jismning dastlabki parametrlari P_1 va t_2 ;
- sikldagi maksimal bosim $P_{\max}$;
- o'zgarmas hajmda keltirilgan issiqlik miqdori q_{1V} , o'zgarmas bosimdagisi esa - q_{1R} ;
- siqish darajasi - ε ;
- bosim ortish darajasi - λ ;
- keyingi kengayish darajasi - ρ ;
- siqilish va kengayishning adiabatik ko'rsatkichi $k = 1,4$;
- havoning issiqlik sig'implari S_R yoki S_V ;
- havoning o'zgarmas gaz doimiysi $R = 287 \text{ J/kg}^0\text{S}$

Berilgan sikl va q_{1V} , q_{1R} , ε , λ , ρ va $P_{\max}$ qiymatlari shifrnin oxirgi soniga qarab 5.1- jadvalidan tanlab olinadi.

P_1 , t_1 , C_R va S_V qiymatlari esa shifrnin oxirigidan oldingi soniga qarab 5.2- jadvalidan tanlab olinadi.

1-jadval

Berilgan kattaliklar	Shifrning oxirgi soni									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S i k l	1	2	3	1	2	3	3	2	1	3
q_{1V} , kJ/kg	-	200	-	1500	-	-	-	-	1200	500
q_{1R} , kJ/kg	-	800	1200	-	-	600	-	600	-	-
ε , %	6,5	15	14	7,0	16	15,1	14	15,1	7,5	14
λ	3,5	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-
ρ	-	-	-	-	1,4	-	1,4	-	-	1,6
$P_{\max}$, MPa	-	-	-	-	-	5,8	-	-	-	-



Rasm 4. Siklning T-S diagrammasi.

2-jadval

Berilgan kattaliklar	Shifrning oxiridan oldingi soni									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_1 , MPa	0,1	0,099	0,1	0,1	0,098	0,098	0,101	0,1	0,101	0,099
t_1 , °S	17	27	15	20	27	25	5	10	7	17
S_R , kJ/kg ⁰ S	1,0	-	-	1,01	-	-	1,01	1,0	-	1,01
S_V , kJ/kg ⁰ S	-	0,722	0,72	-	0,72	0,72	-	-	0,72	-

Nazorat savollari va topshiriqlar

1. Issiqlik dinamikasi ikkinchi qonuni formulasini keltiring va ma'nosini ayting. Issiqlik hodisalari bilan boradigan makroskopik jarayonlari tahlili uchun nimaga issiqlik dinamikasi birinchi qonuniga qo'shimcha ikkinchi qonun kerak bo'ladi? 2. Siklning issiqlik FIK va sovutish koeffitsiyentining tahlilini bering.
3. Karno sikli uchun asosiy asosiy hollarni ifodalang. Karno sikli har qanday qaytar sikllar etalon ekanligini isbotlang.
4. Umumlashgan Karno sikli issiqlik FIK Karno sikli FIK teng ekanligini isbotlang.

