

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

O'RTA MAXSUS KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI

M.M. ALIMOVA, SH.S. MAVJUDOVA, S.R. AXMATOVA

TERMODINAMIKA ASOSLARI

Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma

*500 000-Muhandislik, ishlov berish va qurilish tarmoqlari,
3520700-Texnologik mashinalar va jihozlar (tarmoqlar) bo'yicha;
3520702-Shamollatish tizimlari, sovutish, kriogen texnikalari
agregatlari va mashinalarini montaj qilish, sozlash va
ishlatish yo'nalishi*

TOSHKENT
«IQTISOD-MOLIYA»
2013

UO'K 536(075)

KBK 22.137

A-36

Taqrizchilar:

A.I. Anarbayev – O'zFA Energetika va avtomatika Instituti
«Qayta tiklanuvchi manbalar» laboratoriyasi yetakchi
ilmiy xodimi, t.f.n.;

X.A. Alimov – ToshDTU IE kafedrası dotsenti, t.f.n.

Alimova M.M.

Termodinamika asoslari. Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma / M.M. Alimova, Sh.S. Mavjudova, S.R. Axmatova; O'zR Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi, O'rta maxsus kasb-hunar ta'limi markazi. — T.: «IQTISOD-MOLIYA», 2013, -168 bet.

O'quv qo'llanmada jismning holati, holat o'zgarish parametrlari, issiqlik sig'imi, termodinamik jarayonlar, suv bug'i, nam havo, issiqlik uzatish turlari, issiqlik almashuv apparatlari, issiqlik dvigatellari, dvigatellar sikllari, gaz va bug' turbina qurilmalarining sikllari bayon etilgan.

Shuningdek, o'quv qo'llanmada termodinamika asoslari bilan birgalikda issiqlik uzatish turlari: issiqlik almashuv apparatlari tog'risida ham ma'lumotlar keltirilgan.

UO'K 536(075)

KBK 22.137

ISBN 978-9943-13-426-3

© «IQTISOD-MOLIYA», 2013

© Mualliflar, 2013

KIRISH

Termodinamika issiqlik effektlari bilan sodir bo'ladigan turli jarayonlarda energiyaning aylanish qonunlarini o'rganadigan fan. Termodinamika so'zi yunoncha so'zdan olingan bo'lib, «termos» – issiqlik, «dinamikos» – kuch degan ma'noni bildiradi.

Texnikaviy termodinamika fan sifatida M.V.Lomonosov (1746-y.) tomonidan energiyaning aylanish va saqlanish qonunining ochilishi, uning «Issiqlik va sovuqlik sabablari» (1747-y.) degan ishida issiq moddalar mikrozarraçalarining harakatdaligini isbotlash, (1765-y.) rus mexanigi I.I.Polzunov tomonidan birinchi universal bug' mashinasining kashf etilishi natijasida universal porshenli dvigatellarining chizmasi yaratilishi va termodinamikaning ikkinchi qonunining yaratilishi natijalarida yuzaga kelgan. XIX asrning oxirida termodinamika fani rivojlanadi. Termodinamikaning rivojlanishiga R.Mayer (1872-y.), D.Joul (1843-1846-y.), E.X.Lens (1844-y.), S.Karno (1824-y.), R.Klaziuz (1854-y.) va V.Tomson (1856-y.) o'z ishlari bilan katta hissa qo'shganlar.

Termodinamika – fizik, kimyoviy va texnik termodinamika qismlariga bo'linadi.

Aniq holatlardagi umumiy uslublarga, qoidalarga, fizik xossalarga xos bo'lgan jarayonlarni o'rgatadigan termodinamikaning qismi umumiy fizik termodinamika deyiladi.

Ishtirok etuvchi jismning kimyoviy xossalari o'zgarishini, ular-dagi issiqlik almashinishini o'rgatadigan qismi kimyoviy termodinamika deyiladi.

Texnik termodinamika esa energiyaning o'zaro bir-biriga aylanishini, ya'ni issiqlik miqdorini ishga aylanishini va ishni issiqlikka aylanishini o'rganadi. Bu jarayonlar issiqlik dvigatellari va sovtutish mashinalarida keçhadi.

Termodinamikani o'rganishda va uni aniq masalalarini tahlil qilishda tabiiy fanlarda qabul qilingan bir hodisaning uslubi ikkinchisidan farq qilishiga e'tibor berish kerak bo'ladi.

Ko'pgina tajriba materiallarini tahlil qilish davomida yig'ilgan qonuniyatlarni ifodalash natijasida termodinamikaning uchta qonuni yuzaga keldi.

Termodinamikaning I qonuni energiyani saqlanish va bir turdan ikkinchi turga o'tish qonuni asosida yaratildi.

Termodinamikaning II qonuni esa energiya almashinuvida jarayonlarning bajarilish yo'nalishlari o'zgarishlarini o'rgatadi. Bu qonunga binoan ikkinchi tur abadiy dvigatel yaratib bo'lmaydi.

Termodinamikaning III qonuni jismni mutlaq nol haroratga intilishdagi holatini tushuntirib beradi.

Turli xil bog'lanishlardagi energiya almashinish jarayonlarini izohlashda faqat shunday fizik tushunchalar va kattaliklar ishlatiladiki, ular materialni mikroskopik (molekulyar) tuzilishiga bog'liq bo'lmagan tushunchalarning ma'nosi bo'lib hisoblanadi. Bu kattaliklar o'lchanadi yoki o'lchangan kattaliklar bo'yicha hisoblanadi. Ular katta sondagi jismni mikroskopik bo'lakchalari ta'siri natijalarini xarakterlaydi.

Issiqlik apparatlarini loyihalash va qurish uchun uning vazifasini, ishlash uslubini va u yerda bo'ladigan issiqlik uzatish jarayonlarini bilish kerak. Issiqlik uch xil usulda: issiqlik o'tkazuvchanlik, konveksiya va nurlanish usulida uzatiladi. Har bir texnologik jarayonlarning bajarilishida issiqlik energetik qurilmalari qo'llaniladi. Issiqlik energetik qurilmalari energiyani bir turdan ikkinchi turga aylantirib beradi. Aniq masalalarni hisoblashda, ifodalarni keltirib chiqarishda va ular orasidagi bog'lanishlarni aniqlashda matematika fanining o'rni katta. Jismlarni, hodisalarni va jarayonlarni o'rganishda, tahlil qilishda fizika va kimyo fani bo'yicha yetarli bilimlarni talab etadi.

Termodinamika fanidan olingan bilimlar erkin va obod Vatan, farovon hayot qurishda, mustaqil respublikamizning ravnaqi uchun bilimli, intellektual saviyasi keng, axloq-odobli barkamol insonni tarbiyalashda muhim ahamiyatga ega.

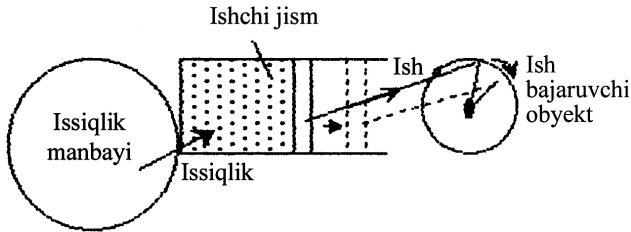
1-bo'lim. TEXNIKAVIY TERMODINAMIKA

I bob. IDEAL GAZLARNING XUSUSIYATLARI

1-§. Ishchi jism va termodinamik tizim

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

O'zaro va atrof-muhit bilan issiqlik almashinadigan jismlar majmuasiga termodinamik tizim deyiladi. Energetikada elektr stansiyani hamma mashinalari yoki issiqlik dvigatelining alohida qismlari va ichida gaz joylashgan porshenli silindrlar termodinamik tizimga misol bo'la oladi. O'rganilayotgan termodinamik tizimga kirmaydigan atrof-dagi hamma jismlar atrof-muhit, deb ataladi (1-rasm).



1-rasm. Termodinamik tizim.

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

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

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

2-§. Asosiy termodinamik holat parametrlari

Ishchi jismning fizik holatini ifodalaydigan kattaliklar holat parametrlari deyiladi. Asosiy termodinamik holat parametrlariga: mutlaq bosim, mutlaq harorat va solishtirma hajm kiradi. Jismning holati o'zgaranda bosim, harorat va solishtirma hajm keskin o'zgaradi. Shuning uchun bu parametrlar termik parametrlar deyiladi.

Bosim.

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

$$P = \frac{F}{S}, [Pa] = N / m^2 \quad (1)$$

1 N/m² – bu birlik Paskal (1 Pa) deyiladi. 1 Pa unchalik katta bo'lmagani uchun texnikada kPa va MPa ishlatiladi.

1 kPa (kilopaskal) = 10³ Pa.

1 MPa (megapaskal) = 10⁶ Pa.

Bu birliklardan tashqari 1 bar = 10⁵ Pa – bu bosim atmosfera bosimiga yaqin bo'lgan bosimdir.

Bosim o'lchov birliklaridan yana biri 1 kg kuch sm² (kg · k/sm²) yoki boshqa ko'rinishda quyidagicha yoziladi: kg/sm², bu 1 kg/sm² = 1 at bu texnik atmosfera deyiladi.

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

1 MPa = 10 bar = 10,2 at = 10⁶ Pa.

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

Fizik atmosfera (1 atm) 0 °C haroratda 760 mm sim.ust. ga teng.

Bosim quyidagi turlarga bo'linadi:

1. Atmosfera yoki barometrik bosim P_{bar} – bu atmosfera havosining bosimidir.

2. Ortiqcha yoki manometrik bosim $P_{\text{ort}}(P_{\text{man}})$ – atmosfera bosimidan yuqori bo'lgan bosimdir.

3. Vakuu (siyraklanish) P_{vak} – bu atmosfera bosimidan kichik bosimdir.

4. Mutlaq bosim P_{mut} – bu jismga ta'sir etayotgan to'liq bosimdir.

Bulardan faqat mutlaq bosim gaz yoki suyuqlikning holat parametri bo'la oladi.

Agar biror idishdagi bosim atmosfera bosimidan yuqori bo'lsa, unda mutlaq bosim quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{mut} = P_{bar} + P_{ort} \quad (2)$$

Agar aksincha, idishdagi bosim atmosfera bosimidan kichik bo'lsa, unda mutlaq bosim quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{mut} = P_{bar} - P_{vak} \quad (3)$$

Bosimning turli o'lchov birliklari orasidagi nisbatni quyidagi jadval orqali ko'rishimiz mumkin.

1.1-jadval

Birliklar	Pa	bar	kg · k/sm ²	mm sim.ust.	mm suv ust.
1 Pa	1	10 ⁻⁵	1,02 · 10 ⁻⁵	7,5024 · 10 ⁻³	0,102
1 bar	105	1	1,02	7,5024 · 10 ²	1,02 · 10 ⁴
kg · k/sm ²	9,8 · 10 ⁴	0,9806	1	735	104
mm sim.ust.	133,3	1,33 · 10 ⁻³	1,36 · 10 ³	1	13,6
mm suv ust.	9,8067	9,80 · 10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	7,35 · 10 ⁻²	1

Harorat.

Harorat jismning qiziganlik darajasini ko'rsatadigan katta-likdir.

Harorat ikki xil bo'ladi:

1. Mutlaq harorat – T, K (Kelvin shkalasi).
2. Emperik harorat – t, °C (Selsiy shkalasi).

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

Asosiy termodinamik parametr bo'lib, mutlaq harorat hisoblanadi va u T bilan belgilanadi, Kelvinda o'lchanadi. Amalda esa har

bir asbob Selsiy gradusida o'lchab beradi. Shuning uchun ularning orasidagi bog'lanishni quyidagicha yozamiz:

$$T K = t ^\circ C + 273,16.$$

Molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasiga proporsional bo'lgan haroratga mutlaq harorat deyiladi.

Angliya va AQSHda qo'llaniladigan Farengeyt shkalasida muzning erish harorati 32 °F va qaynash harorati 212 °F deb qabul qilingan, demak,

$$t ^\circ C = 5/9 (t ^\circ F - 32)$$

$$t ^\circ F = 9/5 t ^\circ C + 32$$

1.2-jadval

Turli harorat shkalalari orasidagi nisbat

Shkalalar nomi	Selsiy shkalasi, t, °C	Renkin shkalasi T, °Ra	Farangeyt shkalasi, t, °F	Reomyur shkalasi t, °R
Selsiy shkalasi, t, °C	–	5/9T °Ra -273,15	t, °F -32 / 1,8	1,25 t °R
Renkin shkalasi °Ra	1,8 (t °C +273,15)	–	T °F+459,7	1,8(1,25 t °R +273,15)
Farangeyt shkalasi °F	1,8 t °C +32	T °Ra -459,67	–	9/4t °R
Reomyur shkalasi °R	0,8 t °C	0,8(5/9T °Ra -273,15)	4/9(t °F-32)	–

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

$$v = V / m, m^3 / kg \quad (4)$$

zichlik (ρ) – solishtirma hajmga teskari bo'lgan kattalikdir.

$$\rho = 1/v, kg/m^3 \quad (5)$$

3-§. Ideal gazning holat tenglamasi

Termodinamik tekshirish usullarini soddalashtirish uchun ideal gaz haqida tushuncha kiritilgan.

Ideal gazlarda:

1. Gaz molekulari orasida o'zaro tortishish kuchlari mavjud emas.

2. Gaz molekularining o'lchamlari hisobga olinmasa ham bo'ladigan darajada kichik.

3. Gaz molekularining o'zaro to'qnashuvi xuddi elastik sharhlarning to'qnashuvidek sodir bo'ladi.

Siyraklashtirilgan real gazlarning xossalari ideal gazga yaqin (masalan: He – geliy). Haqiqatda ideal gazning o'zi yo'q. Lekin ideal gaz qonunlarini o'rganish real gazning turli xil sharoitlarda qanday xususiyatda bo'lishini aniqlashga yordam beradi. Ideal gazning holat tenglamasini keltirib chiqarish uchun ideal gazning asosiy qonunlarini esga olamiz.

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

$$Pv = \text{const.}$$

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

$$\frac{v}{T} = \text{const.}$$

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

$$\frac{P}{T} = \text{const.}$$

1834-yilda Boyl-Mariott va Gey-Lyussak qonuni asosida Klappeyron ideal gazning holat tenglamasi keltirib chiqaradi:

$$\frac{Pv}{T} = \text{const.}$$

Gazning mutlaq bosimini hajmiga ko'paytmasining mutlaq haroratga nisbati o'zgarmaydi va u R bilan belgilanadi. Bu katalik gaz doimiysi deb ataladi:

$$\frac{Pv}{T} = R \quad (6)$$

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

R – gaz doimiysi $\left[\frac{J}{kgK} \right]$

Gaz doimiysining fizik ma’nosi: gaz doimiysi 1 kg gazning $1^\circ C$ ga isitilganda o’zgarish bosimda bajargan kengayish ishidir.

1 kg jism uchun ideal gazning holat tenglamasi:

$$Pv = RT \quad (7)$$

m kg gaz uchun holat tenglamasi:

$$Pv = mRT \quad (8)$$

1 kmol gaz uchun holat tenglamasi:

$$Pv = \mu RT \quad (9)$$

μR – universal gaz doimiysi, uning qiymatini normal sharoit uchun hisoblaymiz. Normal sharoitda bosim $P=101325$ Pa, harorat $T=273^\circ K$ va hajm $v=22,4$ m³/kmol ga teng.

$$\mu R = \frac{101325 \cdot 22,4}{273} = 8314 \left[\frac{J}{kgK} \right] \quad (10)$$

Har qanday gazning gaz doimiysi quyidagicha aniqlanadi:

$$R_i = \frac{\mu R}{\mu_i} \left[\frac{J}{kgK} \right]$$

μ_i – gazning molekulyar massasi.

4-§. Real gazning holat tenglamasi

Real gaz molekullari o’zining oxirgi hajmiga va o’zaro tortishish kuchlariga ega.

Mendeleyev–Klapeyron tenglamasiga tegishli tuzatmalar kiritib, real gaz holatini aks ettiradigan ifodani hosil qilish mumkin. Buni 1873-yilda Van-der-Vals bajaradi. U ikkita tuzatma molekullarning hajmga bog’liqligiga tuzatma va molekullar orasida o’zaro tortishish kuchlarini hisobga oluvchi tuzatma kiritdi.

Mendeleyev–Klapeyron tenglamasini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$v = \frac{RT}{P} \quad (11)$$

real gaz molekulari oxirgi hajmi v_{mol} va molekulari orasidagi bo'shliqni $v_{bo'sh}$ hisobga olsak, molekular harakat qiladigan hajm $v-b$ ga teng bo'ladi, $v_{mol}+v_{bo'sh}$

$$P = \frac{RT}{v-b} \quad (12)$$

Real gaz molekularining idish devoriga urilishi kuchsizroq bo'ladi. Real gazning bosimi ideal gazning bosimidan Δp ga kichik bo'ladi.

$$\Delta p = \frac{a}{v^2}$$

$$P = \frac{RT}{v-b} - \Delta p$$

Shularga asoslangan holda Van-der-Vals tenglamasini yoza-miz:

$$\left(P + \frac{a}{v^2} \right) (v-b) = RT \quad (13)$$

bu yerda, a , v – doimiy koeffitsiyentlar;

$\frac{a}{v^2}$ – ichki bosim.

Masala. Hajmi 60 l harorati 25 °C bo'lgan ballondagi kislorodning manometr bo'yicha bosimi 1100 kPa, barometr ko'rsatkichi 745 mm sim. ust. ga teng. Kislorodning massasini toping.

Yechish:

$$P = P_{bar} + P_{man} = 1100 + 99,3 = 1199,3 \text{ kPa}$$

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

5-§. Ideal gaz aralashmalari

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

Kichik bosimli gaz aralashmasini ko'rib chiqamiz.

Bu gaz aralashmasi o'z hajmiga (V_{ar} , m³), haroratiga (T_{ar} , K), bosimi (P_{ar} , Pa) va massasi (m_{ar} , kg)ga ega.

CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₂N₆, N₂ – aralashma komponentlari.

Dalton qonuniga ko'ra aralashma bosimi aralashmadagi gazlar komponentlarining parsial bosimlari yig'indisiga teng.

$$P_{ar}=P_1+P_2+P_3+\dots+P_n$$

$$P_{ar} = \sum_{i=1}^n P_i \quad (14)$$

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ – parsial bosimlar.

Gaz aralashmalari uchun holat tenglamasi:

$$P_{ar}V_{ar}=m_{ar}R_{ar}T_{ar}$$

Aralashma tarkibi: massaviy, hajmiy va molyar ulushlarda berilishi mumkin. Aralashmaning massaviy ulushi m_1 birinchi komponent massasi, m_2 ikkinchi komponent massasi m_3 uchinchi komponent massasidan iborat aralashmani ko'rib chiqamiz.

n aralashmaning massasi:

$$m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n = m_{ar} \quad (15)$$

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

$$g_1 = \frac{m_1}{m_{ar}}; g_2 = \frac{m_2}{m_{ar}}; g_3 = \frac{m_3}{m_{ar}}; \dots g_n = \frac{m_n}{m_{ar}};$$

$$g_1+g_2+g_3+\dots+g_n=1 \text{ (100 \%)} \quad (16)$$

Aralashmaning massaviy ulushi foizlarda beriladi, masalan, havo uchun:

$$g_{n2} = 0,77 \text{ (77 \%)}; g_{o2} = 0,23 \text{ (23 \%)}$$

Aralashmaning massaviy ulushi. Agar ideal gaz aralashmasi komponenti aralashma haroratda o'zining parsial bosimi ostida emas, balki aralashmaning to'la bosimi ostida bo'lsa, u holda uning hajmi V_i kattaligiga teng bo'ladi, bu kattalik i – gazning keltirilgan hajmi deb ataladi. Gaz aralashmasining to'la hajmi keltirilgan hajmlarning yig'indisiga teng:

$$V_1+V_2+V_3+\dots+V_n=V_{ar};$$

$V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ – komponentlarning keltirilgan hajmi V_{ar} – aralashmaning to'la hajmi.

Aralashmaning hajmiy ulushi deb, gazning keltirilgan hajmini aralashma hajmining nisbatiga aytiladi va u r harfi bilan belgilanadi:

$$r_1 = \frac{V_1}{V_{ar}}; r_2 = \frac{V_2}{V_{ar}}; r_3 = \frac{V_3}{V_{ar}}; \dots r_n = \frac{V_n}{V_{ar}};$$

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

$$r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n = 1 \text{ (100 \%)}.$$

Hajmiy ulush foizda beriladi, havo uchun:

$$r_{n2} = 0,79 \text{ (79 \%)}; r_{o2} = 0,21 \text{ (21 \%)}.$$

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

$$x_i = \frac{Z_i}{Z_{ar}},$$

$$\sum x_i = 1 \text{ (100 \%)}$$

Z_i – gaz moli soni;

Z_{ar} – aralashma moli soni.

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

Ideal gaz aralashmalarini hisoblashda molyar massasidan foydalaniladi.

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

$$\mu_{ar} = \mu_1 r_1 + \mu_2 r_2 + \mu_3 r_3 + \dots + \mu_n r_n \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

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

$$\mu_{ar} = \frac{1}{\frac{g_1}{\mu_1} + \frac{g_2}{\mu_2} + \frac{g_3}{\mu_3} + \dots + \frac{g_n}{\mu_n}}; \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

Aralashmaning gaz doimiysi:

$$ar = \frac{8314}{\mu_{ar}}; \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmol } ^\circ\text{C}} \right]. \quad (17)$$

Parsial bosimlarni aniqlash:

$$P_i = r \cdot P_{ar}$$

Hajmiy ulush va massaviy ulush orasidagi bo'g'liqlik:

$$r_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^n g_i}; \quad g_i = \frac{r_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n r_i \mu_i}.$$

Nazorat uchun savollar

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

II bob. TERMODINAMIKANING BIRINCHI QONUNI

6-§. Ideal gazlarning issiqlik sig'imi

Termodinamik jarayonda ishchi jismga berilgan issiqlik miqdori, shu jismning solishtirma issiqlik sig'imi orqali aniqlanadi. Solishtirma issiqlik sig'imi deb, 1 kg jismni haroratini 1 °C qizdirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga aytiladi va u c harfi bilan belgilanadi:

$$c_x = \frac{q}{t_2 - t_1}; \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right] \quad (18)$$

q – solishtirma issiqlik miqdori, kJ/kg;

t_1 – boshlang'ich harorat;

t_2 – jismning oxirgi harorati;

x – jarayon turi.

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

$$c_x = f(T)$$

Shuning uchun 2 xil kattalik: o'rtacha issiqlik sig'imi va haqiqiy issiqlik sig'imi tushunchasi kiritilgan.

O'rtacha issiqlik sig'imi:

$$c_x = \frac{q}{t_2 - t_1} \quad (19)$$

Haqiqiy issiqlik sig'imi deb, haroratlar farqi nolga intilayotgandagi o'rtacha issiqlik sig'imiga aytiladi:

$$c_{haq} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}. \quad (20)$$

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

1) massaviy issiqlik sig'imi – $c_x \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right]$

$$2) \text{ hajmiy issiqlik sig'imi} - c'_x = \frac{Q}{V_0(t_2 - t_2)} \left[\frac{kJ}{m^3 \text{ } ^\circ\text{C}} \right] \quad (21)$$

V_0 – normal sharoitga keltirilgan hajm.

$$3) \text{ molyar issiqlik sig'imi} - \mu c_x \left[\frac{kJ}{kmol \text{ } ^\circ\text{C}} \right]$$

Issiqlik sig'implari orasidagi bog'lanish:

$$c_x = c'_x \quad v_0 = \frac{\mu c_x}{\mu} \quad (22)$$

Termodinamik hisoblashlarda o'zgarmas bosim $p=\text{const}$ jarayonidagi issiqlik sig'imi va o'zgarmas hajm $v=\text{const}$ jarayonidagi issiqlik sig'imi muhim o'rin tutadi. O'zgarmas bosim jarayonidagi issiqlik sig'imi izobarik – massaviy (c_p), hajmiy (c'_p), molyar issiqlik sig'imi (μc_p) deyiladi. O'zgarmas hajm jarayonidagi issiqlik sig'imi izoxorik – massaviy (c_v), hajmiy (c'_v), molyar issiqlik sig'imi (μc_v) deyiladi.

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

$$c_p > c_v.$$

Buni quyidagicha izohlash mumkin, ya'ni $P=\text{const}$ jarayonida hajmning o'zgarishi hisobiga ma'lum ish bajariladi, issiqlik miqdori ko'p sarflanadi va $V=\text{const}$ jarayonida ish bajarilmaydi, ichki energiya o'zgaradi.

Izobar va izoxor issiqlik sig'implari bir-biri bilan quyidagi tenglama orqali bog'lanadi:

$$c_p - c_v = R.$$

Bu tenglama – Mayer tenglamasi deb yuritiladi.

Mayer tenglamasini molyar issiqlik sig'imi uchun quyidagicha yozamiz:

$$\mu c_p - \mu c_v = 8,314.$$

Izobar issiqlik sig'imini izoxor issiqlik sig'imiga nisbatini k bilan belgilab, termodinamik hisoblashlarda ko'p ishlatiladi.

$$\frac{c_p}{c_v} = k \quad (23)$$

k – adiabatada ko‘rsatkichi yoki Puasson koeffitsiyenti deb yuritiladi.

Termodinamik hisoblashlarda ortacha issiqlik sig‘imi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$c_{1,2} = \frac{c|_0^t t_2 - c|_0^t t_1}{t_2 - t_1} \quad (24)$$

Issiqlik sig‘imi haroratga bog‘liq bo‘lmasa ($c=\text{const}$), uning qiymati quyidagi jadval yordamida aniqlanadi.

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

Gaz aralashmalari uchun issiqlik sig‘imi quyidagi ifodalardan foydalanadi:

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

Aralashmaning hajmiy issiqlik sig‘imi:

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

Aralashmaning molyar issiqlik sig‘imi:

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

Masala. $c=\text{const}$ deb hisoblab, kislorodning bosimi va hajmi o‘zgarishidagi hajmiy issiqlik sig‘imini aniqlang.

Yechish: Ikki atomli gazlar uchun:

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

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

$$\text{Demak, } c'_p = \frac{\mu c_v}{22,4} = \frac{20,93}{22,4} = 0,934 \text{ kJ/m}^3.$$

$$c'_p = \frac{\mu c_p}{22,4} = \frac{29,31}{22,4} = 1,308 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}.$$

7-§. Termodinamik jarayonda ish va issiqlik miqdori

Tashqi muhitning o'zaro ta'siri natijasida jismning holatini o'zgarishi termodinamik jarayon deb ataladi.

Muvozanat holatdagi jism deb, uning har bir nuqtasida bosimi, harorati va hajmi (P, T, v) va boshqa fizik xususiyatlar bir xilda bo'ladigan holatga aytiladi.

Agar silindrdagi gaz porshen yordamida siqilganda yoki kengaytirilganda, ishchi jism silindr hajmining har qanday nuqtasida harorat va bosim har xil bo'ladi – bu holat nomuvozanat holat deyiladi.

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

Jarayonlarda jism energiyasi ikki xil usulda bir jismdan ikkinchi jisimga o'tishi mumkin.

Birinchi usul: bunda issiq jismdan unga nisbatan sovuq bo'lgan jisimga energiya o'tadi. Bu usuldagi energiyaning miqdori issiqlik miqdori deyiladi va o'tish usuli – energiyaning issiqlik formasida uzatilishi deb ataladi. Issiqlik Q bilan belgilanadi, J da o'lchanadi.

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

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

1 kg ishchi jismning ishi – solishtirma ish bo'ladi va u L bilan belgilanadi, $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$; issiqlik miqdori esa – solishtirma issiqlik miq-

dori bo'ladi va u q bilan belgilanadi, $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$.

Gazning bajargan ishini hisoblash:

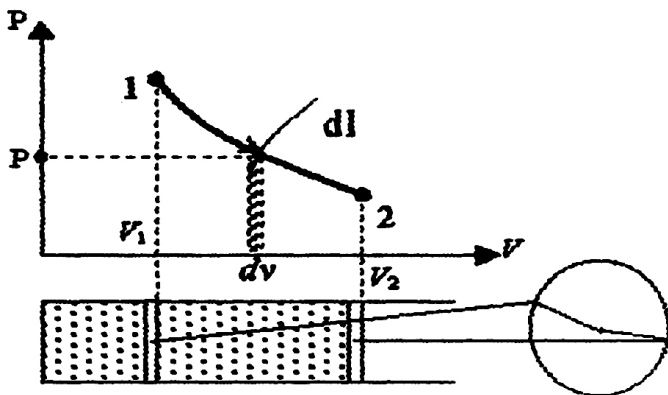
Ishning ifodasini ko'rib chiqish uchun 1–2 jarayonda gaz hajmini o'zgarishini ko'rib chiqamiz.

Hajmni cheksiz kichik o'zgarishida cheksiz kichik ish 1 kg gaz uchun:

$$dl = pdv \quad (25)$$

Gazning v_1 dan v_2 gacha hajm o'zgarishida bajarilgan ish:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} pdv \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (26)$$



2-rasm. P - V diagramma.

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

8-§. Ichki energiya va entalpiya

Jismning ichki energiyasi molekularning boshlang'ich, kinetik va potensial energiyasidan iborat bo'ladi.

$$U = E_0 + E_{kin} + E_{pot} \quad (27)$$

Ideal gazlar uchun kinetik energiyadan iborat bo'ladi:

$$U = U_{kin}$$

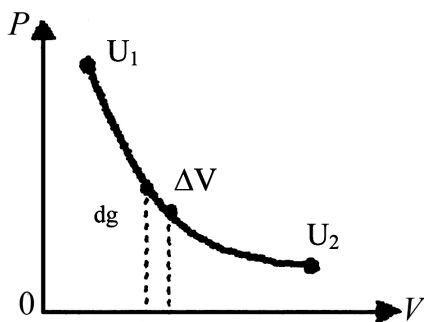
Ichki energiya bosim, hajm va haroratning funksiyasidir, $U = f(P, v, T)$

$$U = f(P)$$

$$U = f(v)$$

$$U = f(T)$$

Ana shu yozilgan ifodani P - V diagrammada ko'rsatadigan bo'lsak, u quyidagicha ifodalanadi: P , v , T o'zgarishi bilan keskin o'zgaradi (3-rasm).



3-rasm.

Ichki energiya jismni bir holatdan ikkinchi holatga qaysi yo'l bilan o'tishiga bog'liq emas hamda jismning boshlang'ich va oxirgi holati bilan aniqlanadi.

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

Tizimning ichki energiyasi bilan tizimning bosimi (P) hajmining ko'paytmasini yig'indisiga entalpiya deb ataladi va h orqali belgilanadi.

$$h = U + pV \quad [J], [kJ] \quad (28)$$

Solishtirma entalpiya:

$$h = u + pv \quad [J/kg] [kJ/kg]. \quad (29)$$

Entalpiya va ichki energiya holat parametri bo'lib, moddaning kollarik xossalari deb ataladi.

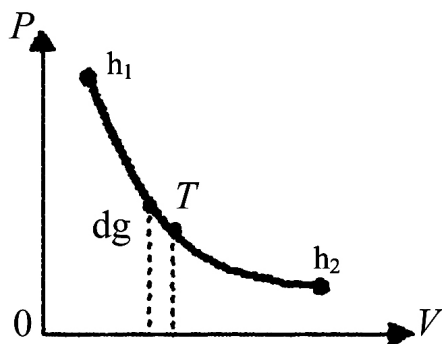
Entalpiya haroratga bog'liq bo'lgan kattalikdir.

$$h = f(T)$$

$$dh = c_p dT$$

Entalpiya ham holat parametri bo'lib, shu P, v, T o'zgarishi bilan keskin o'zgaradi, shuning uchun $h=F(P, v, T)$ bo'ladi.

Oxirgi yozilgan ifodani ham $P-v$ diagrammada chizib izohlab berish mumkin



4-rasm.

Entalpiya holat parametri bo'lgani uchun jismning boshlang'ich va oxirgi parametrlariga bog'liq ravishda o'zgaradi, shuning uchun:

$$h_{1a2} = h_{1b2} = h_{1c2}.$$

9-§. Termodinamikaning birinchi qonuni

Termodinamikaning birinchi qonuni energiyaning saqlanish va aylanish qonunining tatbiqidir.

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

$$Q = \Delta U + L \quad [kJ]$$

1 kg jism uchun termodinamikaning birinchi qonuni:

$$q = \Delta u + l \quad \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Δu – ichki energiyaning o'zgarishi;

l – bajarilgan ish.

Termodinamikaning birinchi qonunining analitik ifodasi:

$$dq = du + dl \quad (30)$$

Ishni ifodasi:

$$dl = pdv \quad (31)$$

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

$$dq = du + pdv \quad (32)$$

termodinamikaning birinchi qonunini entalpiya yordamida yozi-lishini keltirib chiqaramiz.

Buning uchun ishni quyidagicha ifodalaymiz:

$$pdv = d(pv) - vdp \quad (33)$$

Bu ifodani (32) ifodaga qo'yamiz:

$$dq = du + d(pv) - vdp = d(u + pv) - vdp \quad (34)$$

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

$$dq = dh - vdp \quad (35)$$

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

$$dq = c_v dt + pdv \quad du = c_v dT \quad (36)$$

$$dq = c_p dT - vdp \quad dh = c_p dT \quad (37)$$

10-§. Entropiya

Entropiya ham holat parametrlaridan bo'lib, S harfi bilan belgilanadi va o'zgarish ma'nosini bildiradi. Tizimga issiqlik berilganda uning holati o'zgaradi. Elementar qismda berilgan issiqlik dq ga va harorati T ga teng.

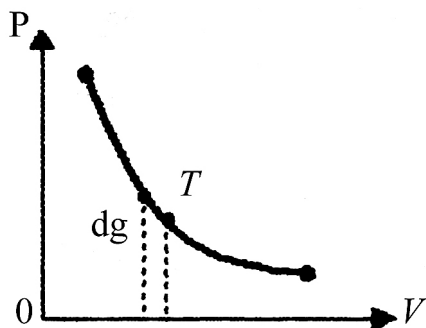
$$\frac{dq}{T} = dS \quad (38)$$

Entropiya – tizim holatining shunday funksiyasiki, bu funk-

siyaning qaytuvchan jarayonidagi cheksiz kichik o'zgarishi mazkur tizimga kiritilgan cheksiz kichik issiqlik miqdorining shu issiqlik

kiritilgan holatdagi mutlaq harorat nisbatiga teng: $S = \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right]$

$$dq = T \cdot dS \quad (39)$$



5-rasm.

Agar: 1) $ds > 0$ bo'lsa, $s_2 > s_1$ entropiya ortadi.

$dq > 0$ issiqlik ortadi.

2) $ds < 0$ bo'lsa, $s_2 < s_1$ entropiya kamayadi.

$dq < 0$ issiqlik ajraladi.

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

Entropiya haqida tushunchaga ega bo'lganimizdan keyin biz har qanday sodir bo'layotgan jarayonlar uchun issiqlik diagrammasi $T-s$ diagrammani chizib, u jarayonda harorat va entropiyani o'zgarishini izohlab berishimiz mumkin. $T-s$ diagrammasi jarayonning issiqligini aniqlab beruvchi diagramma bo'lib hisoblanadi.

Masala. Kengayish jarayonida 1 kg kislorodga 262 kJ issiqlik keltiriladi. Agar uning harorati jarayon natijasida $950^{\circ}C$ pasaysa, gazning bajargan ishi nimaga teng. Issiqlik sig'imining haroratga bog'liqligini hisobga olmang.

Javob. 201 kJ/kg.

Yechish.

1. Kislorod uchun (ikki atomli gaz)

$$\mu c_v = 20,93 \text{ kJ/kmolK}$$

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

$$\Delta u = c_v \cdot \Delta t = 0,635 \cdot 950 = 61 \text{ kJ/kg}$$

$$l = q - \Delta i = 262 - 61 = 201 \text{ kJ/kg.}$$

Nazorat uchun savollar

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

III bob. ASOSIY TERMODINAMIK JARAYONLARNING TAHLILI

Shu davrga qadar fizika kursidan bizga ma'lum bo'lgan beshta asosiy jarayonlar mavjud. Ular quyidagilar:

$P = \text{const}$ – izobarik jarayon.

$V = \text{const}$ – izoxorik jarayon.

$T = \text{const}$ – izotermik jarayon.

$dq = 0$, $S = \text{const}$, $p \cdot v^k = \text{const}$ – adiabatik jarayon.

$C_n = \text{const}$, $p \cdot v^n = \text{const}$, $n = \pm\infty$ – politropik jarayon.

Bu jarayonlarni tahlil qilish quyidagicha olib boriladi:

1. Jarayonning tenglamasi.
2. Parametlar orasidagi bog'lanish va uni P - v , T - s diagrammalarda ko'rinishi.
3. Jarayonning ichki energiyasi. Hamma jarayonlar uchun ichki energiyaning o'zgarishi quyidagi ifoda bilan ifodalanadi:

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

4. Jarayonning bajargan ishi.

5. Jarayonning issiqligi.

6. Jarayonning entropiyasining o'zgarishi.

11-§. Izobarik jarayon

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

$$P = \text{const.}$$

2. Parametlar orasidagi bog'lanish va diagrammada ko'rinishi. Gazlarning holat tenglamasiga binoan, boshlang'ich va oxirgi nuqtalar uchun:

$$P_1 v_1 = RT_1 \tag{40}$$

$$P_2 v_2 = RT_2 \quad (41)$$

(40) ni (41) ga bo'lib quyidagini hosil qilamiz.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}; \quad \frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}; \quad \frac{v}{T} = \text{const.} \quad (42)$$

Gey-Lyussak qonunining ifodasidir. Demak, $P=\text{const}$ da hajm o'zgarishi haroratlar o'zgarishiga to'g'ri proporsional.

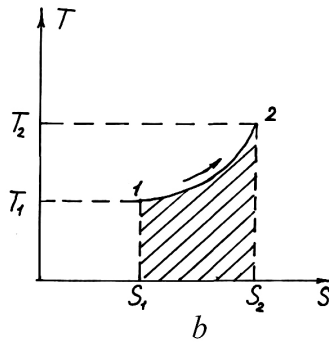
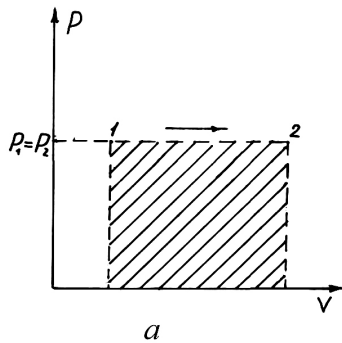
3. Ichki energiyaning o'zgarishi:

$$\Delta u = c_v dT; \quad \Delta u = c_v(T_2 - T_1) = c_v(t_2 - t_1) \quad (43)$$

4. Jarayonning ishi:

$$dl = p dv$$

$$l = p(v_2 - v_1) = pv_2 - pv_1 = RT_2 - RT_1 = R(T_2 - T_1) \quad (44)$$



6-rasm. a – izobarik jarayonning $P-v$ diagrammada ko'rinishi; b – izobarik jarayonning $T-s$ diagrammada ko'rinishi.

5. Jarayonning issiqligi

$$dq = du + ldu \text{ yoki } q_p = c_p(T_2 - T_1) \quad (45)$$

6. Entropiyaning o'zgarishi:

$$\Delta s = c_p \ln \frac{v_2}{v_1}. \quad (46)$$

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

12-§. Izo xorik jarayon

1. Hajm o'zgarmaydigan jarayonga *izoxor jarayon* deyiladi.

$$V = \text{const}$$

2. Parametrlar orasidagi bog'lanish.

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

$$P_1 v_1 = RT_1 \quad (47)$$

$$P_2 v_2 = RT_2. \quad (48)$$

(47) va (48) ni bo'lib quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}; \quad \frac{P}{T} = \text{const}. \quad (49)$$

Demak, $V = \text{const}$ jarayonida bosimlar nisbati haroratlar nisbatiga to'g'ri proporsional.

(49) ifoda Sharl qonunining ifodasidir.

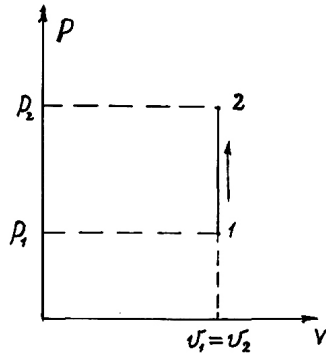
3. Ichki energiyaning o'zgarishi:

$$du = c_v dT \quad (50)$$

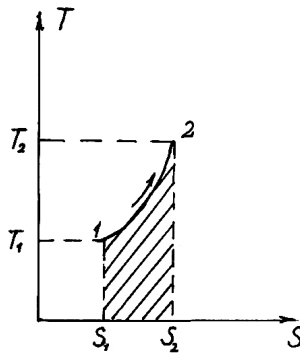
$$\Delta u = c_v(T_2 - T_1) = c_v(T_2 - T_1)$$

4. Jarayonning ishi:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv. \quad (51)$$



a



b

7-rasm. a – izoxorik jarayonning P - V diagrammada ko‘rinishi;
b – izoxorik jarayonning T - S diagrammada ko‘rinishi

$V = \text{const}$ bo‘lganida $l_v = 0$, ya‘ni izoxor jarayonda gaz ish bajarilmaydi.

5. Jarayonning issiqligi:

$$q = \Delta u + l \quad (52)$$

ish bajarilmagani uchun issiqlik miqdori:

$$q = \Delta u \quad \text{yoki} \quad q_v = c_v(T_2 - T_1)$$

6. Entropiyaning o‘zgarishi:

$$\Delta s = c_v \frac{T_2}{T_1}. \quad (53)$$

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

13-§. Izotermik jarayon

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

$$T = \text{const}$$

2. Parametrlar orasidagi bog'lanish (1) va (2) holatlar o'zgarishidagi holat tenglamasini yozamiz:

$$p_1 v_1 = RT_1 \quad (54)$$

$$p_2 v_2 = RT_2 \quad (55)$$

(54)ni (55)ga bo'lamiz:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{v_2}{v_1} \quad (56)$$

Demak, bu jarayonda bosimlar nisbati hajmlar nisbatiga teskari proporsional.

(56) ifoda Boyle-Mariott qonuni deyiladi.

3. $T=\text{const}$ bo'lgani uchun $\Delta T = 0$ bo'ladi. Shuning uchun $\Delta u = c_v(T_2 - T_1) = 0$, ya'ni jismni harorati o'zgarmasa, uning ichki energiyasi o'zgarmaydi.

4. Jarayonning ishi:

$$dl_p = p dv \quad (57)$$

(57) ifodani integrallasak:

$$L_p = \int_{v_1}^{v_2} p dv. \quad (58)$$

Holat tenglamasi $Pv = RT$ dan $P = \frac{RT}{v}$ ni aniqlaymiz va (58)

ifodadagi P ni o'rniga qo'yamiz:

$$l_p = \int_{v_1}^{v_2} p \, dv = \int_{v_1}^{v_2} RT \frac{dv}{v} \quad (59)$$

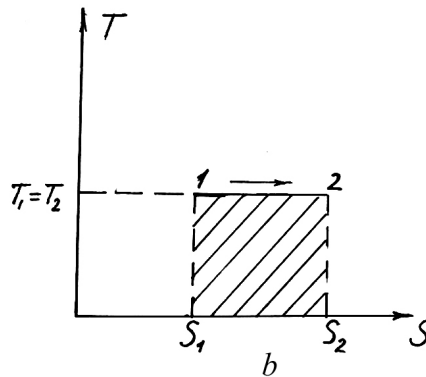
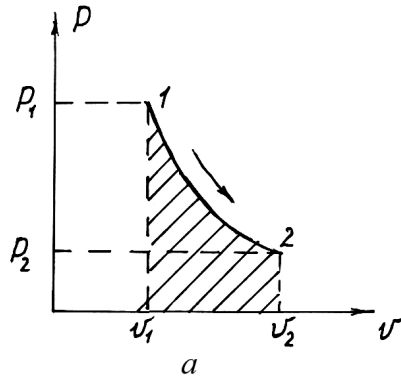
$$l_p = RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (60)$$

5. Jarayonning issiqligi. $T = \text{const}$ jarayon bo'lgani uchun $du = 0$ bo'ladi, shuning uchun:

$$dq = dl \quad (61)$$

yoki:

$$q_T = l_T \quad \text{yoki} \quad l_T = RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (62)$$



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

6. Entropiya o'zgarishi:

$$\Delta s = \frac{dq}{T} = R \ln \frac{v_2}{v_1} \text{ kJ/kg.} \quad (63)$$

14-§. Adibatik jarayon

1. Tizimga issiqlik keltirilmaydi va undan issiqlik olinmaydi, binobarin $dq = 0$, shuning uchun entropiya o'zgarmay qoladi, $S = \text{const}$.

Ko'rib turibmizki, bu jarayonda P ham, v ham, T ham o'zgaradi. Bular orasidagi bog'lanishni topish uchun termodinamikaning birinchi qonunini yozamiz:

$$dq = c_p dT - v dP \quad (64)$$

$$dq = c_v dT + P dv \quad (65)$$

(64) ni (65) ga bo'lamiz:

$$\frac{c_p}{c_v dT} = -\frac{v dP}{P dv} \text{ yoki } \frac{c_p}{c_v} = -\frac{v dP}{P dv} \quad (66)$$

$$\frac{c_p}{c_v} = k \quad (68)$$

k – adiabatik ko'rsatkich deb belgilab, (66) ifodani integrallaymiz:

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = k \ln \frac{v_2}{v_1}; \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^k \quad (67)$$

bu yerda, $P_1 v_1^k = P_2 v_2^k$

bundan,

$$P v^k = \text{const} \quad (68)$$

bu ifoda adiabatik jarayonning tenglamasi deyiladi. Parametrlar orasidagi bog'lanish.

2. Bosim va hajm orasidagi bog'lanish:

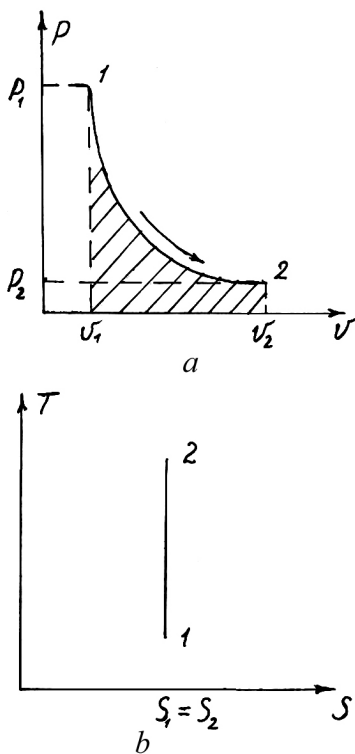
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k$$

Harorat va hajm orasidagi bog'lanish:

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

Harorat va bosim orasidagi bog'lanish:

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



9-rasm. a – adiabatik jarayonning $P-v$ diagrammasi; b – adiabatik jarayonning $T-s$ diagrammasi

3. Ichki energiyaning o'zgarishi:

$$\Delta u + l = 0, \Delta u = c_v (T_2 - T_1) \quad (69)$$

4. Jarayonning ishi:

$$l = \frac{R}{k-1}(T_1 - T_2) = \frac{1}{k-1}(P_1 v_1 - P_2 v_2) \quad (70)$$

5. Jarayonning issiqligi

$$q = 0$$

6. Entropiyaning o'zgarishi

$$\Delta s = 0$$

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

15-§. Politropik jarayon

1. Jarayonning tenglamasi.

$$pv^n = \text{const}$$

$n = \pm\infty$ o'zgaradi.

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

$$dq = c_n dT = c_v dT + P dv \quad (71)$$

$$dq = c_n dT = c_p dT - v dP \quad (72)$$

(71) ni (72) ga bo'lamiz:

$$\frac{(c_n - c_v)dT}{(c_n - c_p)dT} = -\frac{v dP}{P dv}; c_n = c_v \frac{n-k}{n-1}$$

bu yerda, c_n – politropik jarayonning issiqlik sig'imi.

$$\frac{c_n - c_v}{c_n - c_p} = -\frac{v}{P} \frac{dP}{dv}$$

$\frac{c_n - c_v}{c_n - c_p} = n$ deb belgilasak, (n – politropik ko'rsatkich)

$$n = -\frac{v dP}{P dv} \quad (73)$$

va (73) ifodani integrallaymiz:

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

undan, $Pv^n = \text{const}$ hosil bo'ladi, ushbu ifoda politropik jarayonning tenglamasi deyiladi.

2. Parametrlar orasidagi bog'lanish.

Bosim va hajm orasidagi bog'lanish:

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

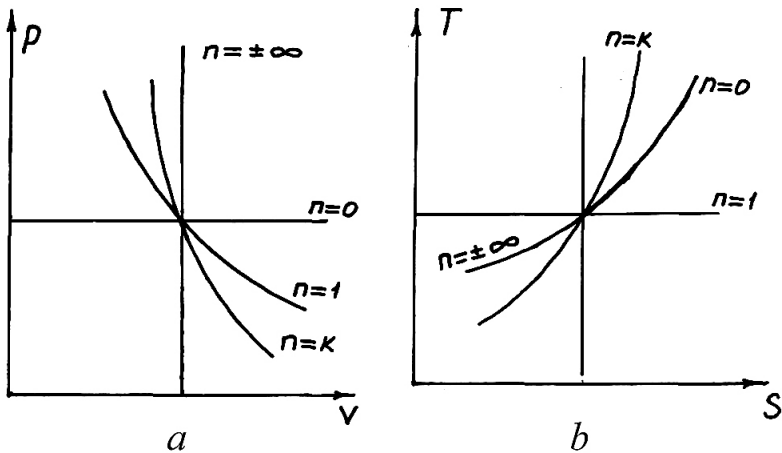
Harorat va hajm orasidagi bog'lanish:

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

Harorat va bosim orasidagi bog'lanish:

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

Bu jarayonning $P-v$ va $T-s$ diagrammada ko'rinishi quyidagichadir:



10-rasm. a – politropik jarayonning $P-v$ diagrammasi;
b – politropik jarayonning $T-s$ diagrammasi

Har bir jarayon uchun politripik ko'rsatkichning qiymatlari:

$$n = 0 \quad P = \text{const};$$

$$n = 1 \quad Pv = \text{const};$$

$$n = k \quad Pvk = \text{const};$$

$$n = \pm\infty \quad V = \text{const}.$$

3. Ichki energiyaning o'zgarishi: $\Delta u = c_v \Delta T$

4. Jarayonning ishi:

$$l_{pol} = \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2) \quad (74)$$

$$l_{pol} = \frac{1}{n-1}(P_1 v_1 - P_2 v_2) \quad (75)$$

$$l_{pol} = \frac{RT}{n-1} \left[\left(1 - \frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \quad (76)$$

5. Jarayonning issiqligi:

$$q = c_n (t_2 - t_1) \quad (77)$$

6. Entropiyaning o'zgarishi:

$$\Delta s = c_n \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (78)$$

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

Kengayish jarayoni:

– birinchi guruh $n < 1$ – issiqlik keltiriladi $q > 0$, gazning ichki energiyasi ortadi, $\Delta U > 0$;

– ikkinchi guruh: $k > n > 1$ – issiqlik keltiriladi $q > 0$, gazning ichki energiyasi kamayadi, $\Delta U < 0$;

– uchinchi guruh: $n > k$ – issiqlik olib ketiladi $q < 0$, gazning ichki energiyasi kamayadi, $\Delta U < 0$.

Siqilish jarayoni:

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

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

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

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

Masala.

20. Bosim $P_1 = 0,3$ mPa va harorati $t_1 = 25$ °C bo'lgan 6 m³ havo doimiy bosimda $t_2 = 130$ °C gacha qizdiriladi. Havoga berilgan issiqlikni ishni va ichki energiyani o'zgarishini ($s = \text{const}$).

$$Q = mc_p(t_2 - t_1);$$

$$c_p = \frac{\mu c_p}{\mu 1} = \frac{29,3}{29} = 1;$$

$$m = \frac{PV_1}{RT_1} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 6}{287 \cdot 298} = 21 \text{ kg};$$

$$Q = 21 \cdot 1(130 - 25) = 2205 \text{ kJ};$$

$$L = mR(T_2 - T_1) = 210 \cdot 287(130 - 25) = 632,8 \text{ kJ};$$

$$\Delta U = Q - L = 2209 - 632,8 = 1572,2 \text{ kJ}.$$

Nazorat uchun savollar

1. Qanday termodinamik jarayonlarni bilasiz?
2. Izoxor jarayonning tahlilini keltiring.
3. Izobar jarayonning tahlilini keltiring.
4. Izotermik jarayonning tahlilini keltiring.
5. Adiabatik jarayonning tahlilini keltiring.
6. Politropik tahlilini keltiring.

IV bob. TERMODINAMIKANING IKKINCHI QONUNI

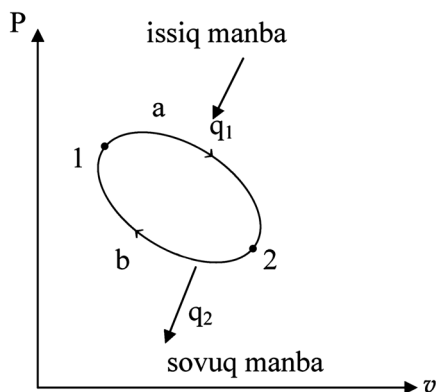
16-§. Aylanma jarayonlar

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

Agar jarayon soat strelkasi bo'ylab harakat qilsa, ya'ni kengayish chizig'i torayish chizig'idan yuqori joylashgan bo'lsa, bunday jarayon to'g'ri sikl deyiladi. To'g'ri siklda issiqlik ishga aylanadi. Bu siklda kengayish ishi torayish ishidan katta bo'ladi. Bu sikl bo'yicha barcha issiqlik mashinalari ishlaydi (11-rasm).

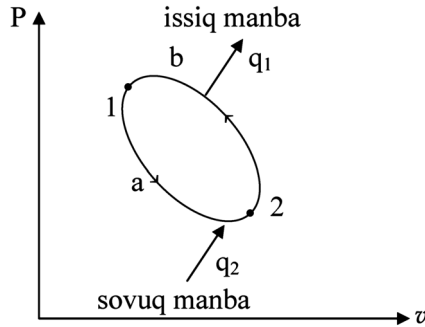
Agar jarayon soat strelkasiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, kengayish chizig'idan teskari sikl pastda joylashgan bo'lsa, bunday jarayon teskari sikl deyiladi. Teskari siklda ish issiqlikka aylanadi. Bu siklda kengayish ishi torayish ishidan kichik bo'ladi. Bu sikl bo'yicha barcha sovutish mashinalari ishlaydi (12-rasm).

Ishchi diagramma bo'lgan $P-v$ diagrammada aylanma jarayonlarni ko'rishimiz mumkin.



11-rasm. To'g'ri aylanma jarayonning $P-v$ diagrammada ko'rinishi:

$1a_2$ – kengayish chizig'i; $2b_1$ – torayish chizig'i; q_1 – berilgan issiqlik miqdori; q_2 – ajralgan issiqlik miqdori



12-rasm. **Teskari aylanma jarayonning P - v diagrammada ko'rinishi:**
 $1a_2$ – kengayish chizig'i; $2b_1$ – torayish chizig'i

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

$$\eta = \frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (79)$$

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

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

$$\epsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2} \quad (80)$$

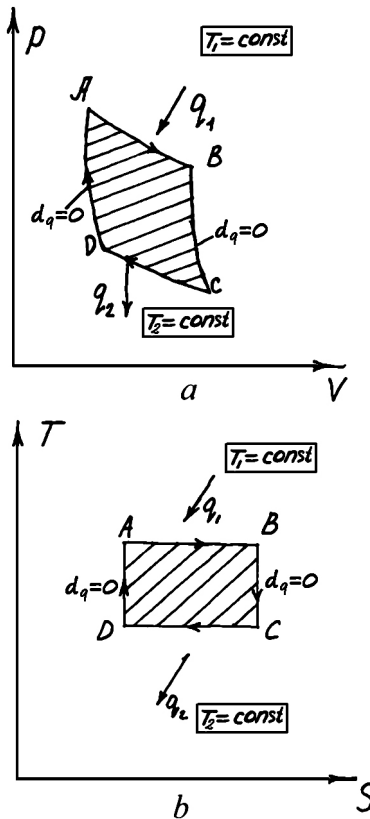
$\epsilon > 1$ sovutish mashinalari uchun ϵ (3 ÷ 7) gacha bo'ladi.

Aylanma jarayonlar to'g'risidagi tushunchalarni mustahkamlash uchun issiqlik mashinalarining ishlashini xarakterlaydigan eng ideal sikl ko'rib chiqiladi.

17-§. Karno sikli

Karno sikli ideal sikl bo'lib, ikkita izotermik, ikkita adiabatik jarayondan tashkil topgan. Uni ikkita diagrammada ko'rinishini chizamiz (13-rasm).

A nuqtadan boshlab ishchi jismga issiqlik manbayidan issiqlik beriladi, shuning natijasida izotermik kengayish jaroyoni so-dir bo'ladi. Kengayish jaroyoni adiabatik ravishda davom etadi, bu esa tashqi muhit bilan issiqlik almashinmaganligi tufayli ichki energiyani o'zgarishi hisobiga ish bajaradi.



13-rasm. a – Karno siklining P - v diagrammasi; b – Karno siklining T - s diagrammasi: AB – izotermik kengayish; BC – adiabatik kengayish; CD – izotermik torayish; DA – adiabatik torayish

C nuqtadan boshlab torayish jarayoni boshlanadi, bu esa issiqlikni harorati kichik bo'lgan sovuq manbaga olib ketishi hisobiga amalga oshiriladi.

Demak, CD jarayoni izotermik torayish jarayonidir. Siqilish jarayoni C nuqtada tugamay, DA jarayoni orqali adiabatik ravishda ichki energiyani o'zgarishi hisobiga amalga oshiriladi. Shunday qilib, ishchi jism o'zining boshlang'ich holatidan chiqib, avval kengayib, so'ngra torayib, yana o'zining avvalgi holatiga qaytib keladi, ya'ni ish bajariladi.

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

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (81)$$

bu yerda, η_t – foydali ish koeffitsiyenti, %;

q_1 – berilgan issiqlik miqdori, J, kJ

$$q_1 = \Delta s T_1$$

q_2 – ajralgan issiqlik miqdori, J, kJ

$$q_2 = \Delta s T_2$$

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

$$\eta_t^k = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (82)$$

bu yerda, T_1 – issiq manbaning harorati, K;

T_2 – sovuq manbaning harorati, K.

Karno siklining foydali ish koeffitsiyenti issiqlik manbayi va sovutgichning harorati bo'yicha aniqlanadi.

$$\eta_t^k < 1, \text{ (60 \%)} \quad (83)$$

Teskari Karno sikli uchun:

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (84)$$

18-§. Termodinamikaning ikkinchi qonuni

Termodinamikaning birinchi qonuni issiqlikni ishga va ishni issiqlikka aylanishini ta'kidlaydi, lekin bu aylanishlarni qaysi sharoitlarda amalga oshishini ko'rsatmaydi. Termodinamikaning birinchi qonuni issiq jismdan sovuq jismga issiqlikni o'tishi va aksincha bo'lishi to'g'risidagi savolga javob bera olmaydi. Issiqlik issiq jismdan sovuq jismga o'tadi. Ish bajarish hisobiga issiqlik miqdorini yo'nalishini o'zgartirish mumkin. Tabiatda ish issiqlikka ishqalanishda, zarbda va boshqalarda aylanadi. Issiqlik mashinalarida issiqlik ishga issiqlik manbayi va sovutgichlarda haroratlar farqi mavjudligida aylanadi. Bunda issiqlikning hammasi ishga aylanmaydi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni issiqlik miqdorining yo'nalishini va shart-sharoitlarini ko'rsatadi.

Termodinamikaning ikkinchi qonunining matematik ifodasi:

$$ds \geq \frac{dQ}{T} \quad (85)$$

bu yerda, s – entropiya;

dQ – issiqlik manbayidan olingan issiqlik miqdori;

T – issiqlik manbayining mutlaq harorati.

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

Termodinamikaning ikkinchi qonunining ta'riflari.

Sadi Karno ta'rifi: issiqlikni mexanik ishga aylantirish uchun haroratlar farqi bo'lishi kerak (ya'ni $T_1 = \text{const}$ issiqlik manbayi $T_2 = \text{const}$ va sovutgich).

Klauzius ta'rifi: issiqlik o'z-o'zicha kompensatsiyasiz sovuq jismdan issiq jismga o'ta olmaydi.

Tomson ta'rifi: issiqlik mashinalariga berilgan issiqlikning hammasini ishga aylantirib bo'lmaydi. Bu issiqlikning bir qismi sovutgichga uzatiladi, ya'ni ikki turdagi abadiy dvigatelni yaratib bo'lmaydi.

Masala.

1 kg havo 927 °C va 27 °C haroratlar oralig'ida Karno sikliga

berilgan issiqlik $Q_1=30$ kJ ga teng. Siklning FIKni va foydali ishni toping.

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{1200} = 0,75; (75 \%)$$

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

$$L = \eta_t Q_1 = 0,75 \cdot 30 \text{ kJ} = 22,5 \text{ kJ}.$$

Nazorat uchun savollar

1. Aylanma jarayonlar deb nimaga aytiladi?
2. Qanday sikl to'g'ri sikl deyiladi?
3. Qanday sikl teskari sikl deyiladi?
4. Karno sikli va uning FIK?
5. Termodinamikaning ikkinchi qonuni ta'riflarini ayting?
6. Termodinamikaning ikkinchi qonunining analitik ifodasini keltiring.

V bob. SUV BUG'I

19-§. Bug'lanish va bug'ning termodinamik parametrlari

Ma'lumki, barcha moddalar harorat va bosimga bog'liq holda qattiq, suyuq va gaz holati (fazalar)da bo'lishi mumkin. Moddaning bir holatdan ikkinchi holatga o'tishi faza o'zgarishi yoki **fazaviy o'tish** deb ataladi. Masalan, suyuq fazaning gaz fazaga o'tishi – bug' hosil bo'lish, gaz fazaning suyuq fazaga o'tishi esa **kondensatsiya** deyiladi.

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

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

Suyuqligi bilan muvozanatda turgan bug' – **to'yingan bug'** deyiladi. Muvozanat vaqtida bug'ning zichligi o'zgarmas bo'ladi, bu zichlik muayyan bosimga to'g'ri keladi. Bu bosim **to'yingan bug'ning elastikligi** deyiladi. To'yingan bug'ning bosimi harorat

ko'tarilishi bilan ortadi. Harorat qancha yuqori bo'lsa, suyuqlikning shuncha ko'p molekulari gaz fazaga o'tadi va bug'ning muvozanat topgandagi zichligi, binobarin, bosimi shunchalik katta bo'ladi. Suyuqlikka tegib turgan va uning ustidagi bo'shliqni to'yintiradigan bug' – **to'yingan nam bug'** deb ataladi.

To'yingan nam bug' bug' bilan juda mayda suv tomchilari-ning aralashmasidir. Bug'dagi suyuqlik zarralarining miqdori bug'ning quruq yoki namlik darajasini belgilaydi.

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

Qaynash deb – suyuqlikning faqat erkin sirtidan emas, balki butun hajmi bo'yicha intensiv ravishda bug'ga aylanishi va bug' pufakchalarining tez hosil bo'lishi hamda ko'payib borishiga aytiladi.

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

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

To'yingan bug'ning bug' saqlami – bug' hosil bo'lish jarayonida nam miqdori kabi quruq bug'ning miqdori ham 0 dan 1 gacha o'zgarishi mumkin.

Agar 1 kg bug'da X kg quruq bug' va (1-X) kg nam bo'lsa, X – kattalik **bug' saqlami** yoki bug'ning quruqlik darajasi deyiladi, ya'ni bu nam bug' tarkibidagi quruq bug'ning miqdoridir.

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

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

$$\Delta t = t - t_m \quad (86)$$

t – o'ta qizigan bug'ning harorati;
 t_m – to'yingan quruq bug'ning harorati.

20-§. Suv bug'ining $P-v$ diagrammasi

Bug' hosil bo'lish jarayonini $P-v$ diagrammada tasvirlanishini ko'rib chiqishda quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

a) suyuqlikning 0°C dagi barcha parametrlari «nol» indeksi bilan (t_0, v_0, h_0, S_0).

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

d) to'yingan quruq bug' parametrlarini ikkita shtrix bilan (v'', h'', S'').

e) to'yingan nam bug' parametrlarini x indeks bilan (v_{xv}, h_{xv}, S_{xv}).

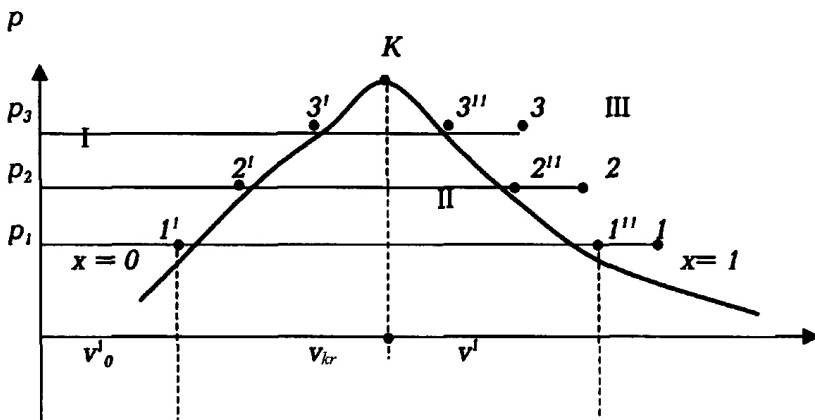
f) O'ta qizigan bug' parametrlarini indeksiz (v, h, S) belgilaymiz.

Silindrda porshen ostida 1 kg suv bor va uni bug'ga aylantirish kerak, deb faraz qilaylik. Silindrning porsheniga tashqi tomondan yuk – P kuch quyilgan va bu kuch silindr ichida bosimni o'zgarmas bo'lishini ta'minlaydi, deb faraz qilaylik.

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

Shu sababli bug' hosil bo'lishini $p-v$ diagrammada suvning qaynashiga mos keladigan haroratdan boshlaymiz. Bug' hosil

bo'lishining boshlanishi diagrammada 1' nuqta bilan belgilanadi. Bu 1 kg suv to'yinish harorati va bosimida (p_1 ; t_1) da) silindrda v_1 hajmni egallaydi. Xuddi shu paytda silindrda faqat bir fazali sistemaning o'zi suv bo'ladi.



14-rasm. Suv bug'ining $p-v$ diagrammasi

Silindrga yana issiqlik keltirilganda suv asta-sekin bug'ga aylanadi. Bug' hosil bo'lish jarayoni o'zgarmas bosimda 1'-1'' izobara bo'yicha boradi. Bu izobara bir vaqtning o'zida izoterma hamdir, chunki shu vaqtda keltirilgan issiqlik suv va bug' haroratini oshirishga emas, balki molekulalar tortishish kuchini yengishga va bug'ning kengayish ishiga sarf bo'ladi. Bu vaqtda silindrda ikki fazali muhit: suv - bug' bo'ladi, bu muhit **to'yingan nam bug'** deyiladi. 1'' nuqtada suyuqlikning oxirgi zarrasi ham bug'ga aylanadi. Bu nuqtada berilgan 1 kg suv to'liq 1 kg to'yingan quruq bug'ga aylanadi. Silindrda yana bir fazali muhit paydo bo'ladi - bu to'yinish harorati va bosimidan, parametrlari v'' , p'' , t' bo'lgan **to'yingan quruq bug'**dir.

1'' nuqtadan keyingi jarayon bug'ning o'ta qizish yo'nalishida yoki, aksincha kondensatlanishi yo'nalishida ketishi mumkin.

Agar silindrga o'zgarmas bosimda issiqlik keltirilishi davom ettirilsa, u holda to'yingan quruq bug' o'ta qizigan bug'ga aylanishi 1'' - 1 izobara bo'yicha davom etadi, bu izobara endi izoter-

ma bo'la olmaydi, chunki keltirilgan issiqlik bug'ning qizishiga, haroratini oshishiga sarf bo'ladi.

Agar to'yingan quruq bug'dan (1" nuqta) o'zgarmas bosimda va haroratda issiqlik olib ketilsa, u holda 1 kg to'yingan bug' asta-sekin 1"-1' chiziq bo'yicha kondensatlanib, 1 kg suvga aylanaadi (1' nuqta).

Shunday qilib, 1'-1" chiziq bo'yicha chapdan o'ngga ketadigan jarayon bug' hosil bo'lish jarayoni, 1'-1" chiziq bo'yicha o'ngdan chapga ketadigan jarayon esa, kondensatlanish jarayoni deb ataladi.

Endi 1 kg suvni $p_2 > p_1$ bosimda bug'ga aylanish jarayonini ko'rib chiqamiz. Ma'lumki, bosim ortishi bilan qaynash harorati ham ko'tariladi. Suv qaynash harorati $t_2 > t_1$ gacha isib, hajmi $v_2 > v_1$ gacha ko'payadi. Shuning uchun suvning qaynay boshlashini ko'rsatuvchi nuqta 2', 1' nuqtadan o'ngga siljiydi. Bosim ortishi bilan to'yingan quruq bug'ning zichligi ortadi $\left(v = \frac{1}{\rho}\right)$, demak

solishtirma hajmi kamayadi. Shuning uchun 2" nuqta 1" nuqtadan chapga siljiydi. Bosimni oshira borsak, to'yingan quruq bug'ning solishtirma hajmi kichiklashib boradi, muayyan haroratda va unga mos keladigan bosimda suv bilan bug' hajmlarining ayirmasi nolga teng bo'lib qoladi. Suvning qaynay boshlash nuqtasi bilan bug' hosil bo'lishining tugash nuqtasi, biror K nuqtada ustma-ust tushadi. Bu K nuqta – moddaning **kritik nuqtasi**, deb ataladi. Kritik nuqtada suyuqlik bilan uning to'yingan bug'i orasidagi farq yo'qoladi. Suyuqlik bilan bug'ning solishtirma hajmi, zichliklari bir xil bo'lib qoladi. Kritik haroratda va undan yuqori haroratlarda suv gazga o'xshab qoladi, bosim ko'tarilganda, uning hajmi kamayadi. Bu holatni, gazzimon holat deyish mumkin.

Shunday qilib, kritik holatdagi modda bir fazali bo'lib, bir vaqtning o'zida ham gaz holatidagi, ham suyuq jismlarning xos-salariga ega bo'ladi.

I suyuqlik holati;

II to'yingan bug' holati;

III o'ta qizigan bug' holati.

21-§. Suyuqlik va quruq bug'ning asosiy parametrlari. Bug' hosil bo'lish issiqligi

Suvning $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ da va turli bosimlardagi solishtirma hajmini taqriban $v_0 \approx 0,001\text{ m}^3/\text{kg}$ ga teng, deb hisoblash mumkin

$\left(v_0 = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1000} = 0,001\text{ m}^3/\text{kg} \right)$. Qaynayotgan suvning solishtir-

ma hajmi v' , bosimning ortishi bilan, ya'ni harorat ham ortadi va yuqori bosimlarda $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dagi solishtirma hajmidan sezilarli farq qiladi. Masalan, $P = 50\text{ bar}$ bosimda $v' = 0,0012859\text{ m}^3/\text{kg}$, $P = 220\text{ bar}$ bo'lsa, $v' = 0,00269\text{ m}^3/\text{kg}$ bo'ladi. Suvning haroratini 0° dan ma'lum bosimdagi qaynash haroratigacha oshirish uchun sarflanadigan issiqlik miqdori quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

$$q = h' - h'_0 \quad (87)$$

bunda: h' – qaynayotgan suvning entalpiyasi;

h'_0 – suvning $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dagi entalpiyasi.

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

$$S'_0 = 0; \quad h'_0 = 0. \quad (88)$$

Suvning uchlamchi nuqtasidagi parametrlari quyidagiga teng:

$$P_A = 0,00611\text{ bar}; \quad v_A = 0,001\text{ m}^3/\text{kg}; \quad t_A = 0,01\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Suvning uchlamchi nuqtadagi ichki energiyasi:

$$u'_0 = h'_0 - p_0; \quad V_0^1 = 0 - 0,00611 \cdot 10^5 \cdot 0,001 = -0,611\text{ J/kg}. \quad (89)$$

Bu kattalik juda kichik miqdor bo'lib, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ da suvning ichki energiyasini taqriban $u'_0 \approx 0$ deb hisoblash mumkin. Qaynayotgan suyuqlikning entalpiyasi bosimi va haroratiga, asosan, to'yingan suv bug'ining jadvalidan aniqlanadi.

Qaynayotgan suvning ichki energiyasi entalpiya ifodasi orqali aniqlanadi:

$$h = u + pv$$

yoki:

$$u' = h' - pv' \quad (90)$$

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

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

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

$U\varphi$ – ichki, ψ – tashqi bug' hosil bo'lish issiqligiga bo'linadi.

Quruq to'yingan bug'ning entalpiyasi:

$$H'' = h' + r \quad (91)$$

Quruq to'yingan bug'ning ichki energiyasi:

$$U'' = h'' - pv'' \quad (92)$$

To'yingan bug'ning holati bitta parametr: bosim yoki harorat bilan aniqlanadi. i'' , h' , r , v'' , v' ning qiymatlari suv bug'ining jadvallaridan topiladi.

22-§. Nam to'yingan va o'ta qizigan suv bug'ining asosiy parametrlari

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

$$v_x = v'' \cdot x + (1-x) \cdot v' \quad (93)$$

yoki:

$$v_x \approx v'' \cdot x \quad (94)$$

O'ta qizigan bug' maxsus qurilmalarda nam bug'ga issiqlik

berish orqali hosil qilinadi. 1 kg quruq bug'ni o'ta qizigan bug'ga aylantirish uchun sarflanadigan issiqlik o'ta qizish issiqligi deyiladi. Bu issiqlik quyidagiga teng:

$$q_n = \int_{t_H}^t c_p dt \quad (95)$$

bunda, c_p – o'zgarmas bosimda o'ta qizigan bug'ning haqiqiy issiqlik sig'imi.

O'ta qizigan bug'ning ichki energiyasi:

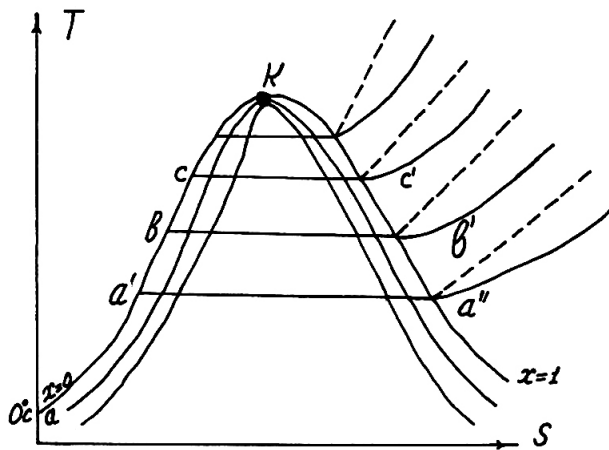
$$u = h - pv \quad (96)$$

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

Entalpiya, entropiya va solishtirma hajm qiymatlari suv bug'ining jadvallaridan aniqlanadi.

23-§. Suv bug'ining T - s diagrammasi

Bu diagramma suv bug'i bilan bo'lgan jarayonlarni o'rganishda va ularni hisoblashda katta ahamiyatga egadir. Diagrammaning ahamiyatli tomoni shundaki, chizilgan egri chiziq tagidagi yuza ishchi jismga berilayotgan va undan olib ketilayotgan issiqlikni ifodalaydi.

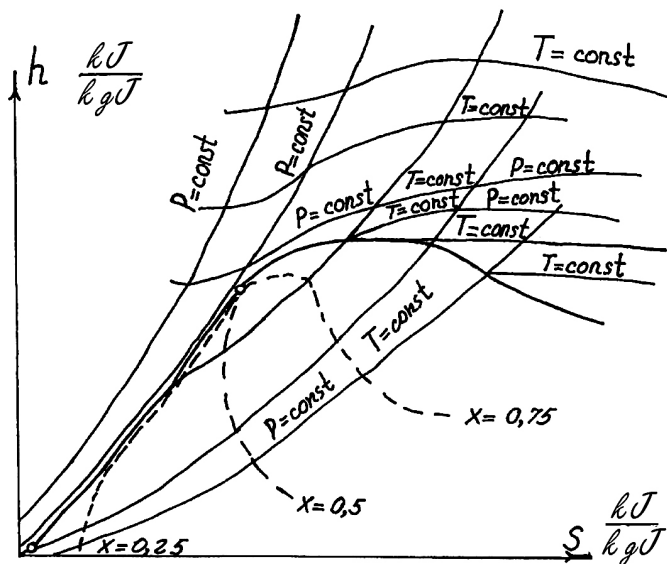


15-rasm. Suv bug'ining T - s diagrammasi

Diagrammadagi har bir nuqta jismning aniq holatini xarakterlaydi. Suyuqlikning $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dagi entropiyasi nolga teng bo'lgani uchun $T-s$ koordinatada ordinata o'qida joylashadi. Suvni $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan to'yinish harorati (t_T) gacha isitilishi aa' jarayoni bilan davom etadi. Bug' hosil bo'lishi jarayoni ($t_T = \text{const}$) gorizontaal $a'a''$ chizig'i bilan ifodalanadi. Bug'ning qizitilishi esa $a''d$ izobara chizig'i bilan ifodalanadi. Lekin bug'ni qizitilish izobarasi suvni isitilish izobarasidan tikroq bo'ladi, buning sababi qizitilish harorati isitilish haroratiga qaraganda yuqoriroqdir. Shunday chiziqlarni o'tkazishni davom ettirsak, chiziqlar k nuqtada birlashadi.

24-§. Suv bug'ining $h-s$ diagrammalari

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



16-rasm. Suv bug'ining $h-s$ diagrammasi

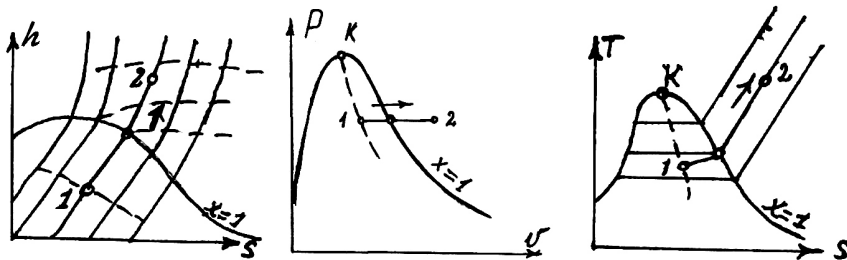
Bu diagrammalar yordamida suv bug'ining to'yinish harorati, bosimi, solishtirma hajmi, entalpiyasi, entropiyasi, quruqlik darajasi kabi parametrlari aniqlanadi.

Suv bug'i uchun $h-s$ diagrammani birinchi bo'lib 1904-yilda Molye taklif qilgan. Hozirgi vaqtda issiqlik – texnik hisoblarda M.P.Vukalovich tomonidan tuzilgan $h-s$ diagrammadan foydalaniladi. $h-s$ diagrammani qurishda ordinata o'qi bo'ylab entalpiya, absissa bo'ylab esa entropiya qiymatlari joylashtirilgan. Koordinata boshi qilib suvning uchlamchi nuqtasi qabul qilingan. Issiqlik jarayonlarini hisoblashda suv bug'ining $T-s$ va $h-s$ diagrammalarini qo'llash issiqlik-texnik hisoblarni ancha soddalashtiradi. Ko'p hollarda suv bug'ini topish uchun jadvallardan foydalaniladi. Bu jadvallar harorat, bosim bo'yicha suv bug'ining hamma parametrlarini aniqlashga yordam beradi.

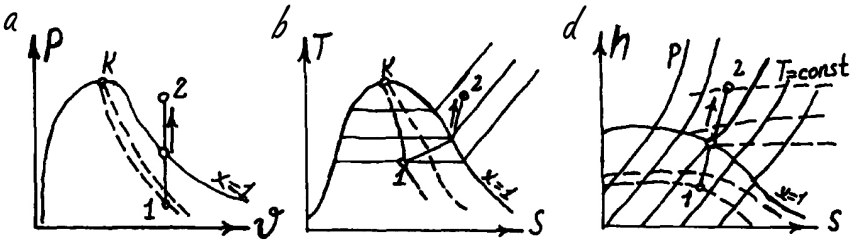
Suv bug'ining parametrlarini suv bug'i jadvallaridan foydalanib, aniqlasa bo'ladi.

25-§. Suv bug'i bilan bo'ladigan jarayonlar

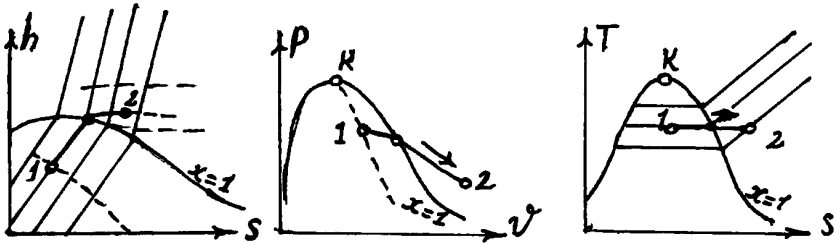
Suv bug'ining to'yingan va o'ta qizigan holatidagi masalalarni yechishda $h-s$ diagrammadan yoki jadvallardan foydalanish mumkin bo'ladi. Chunki ular eng qulay va aniq qiymat beruvchi uslub hisoblanadi. Suv bug'ini parametrlarini aniqlashda yanada qulay uslub – grafik usuli bilan suv bug'ini parametrlarini aniqlashdir. Suv bug'i bilan bo'ladigan har bir jarayonni $P-v$, $T-s$, $h-s$ diagrammalarda chizilishini ko'rib chiqamiz.



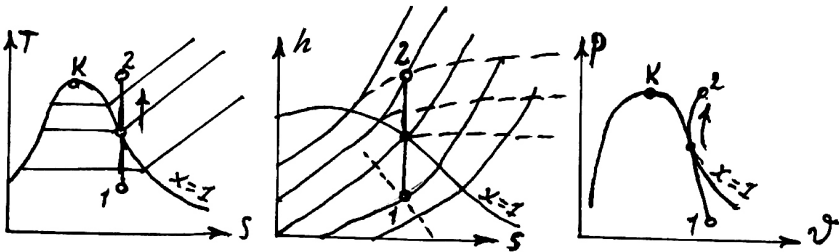
Suv bug'i bilan bo'ladigan izobar jarayon



Suv bug'i bilan bo'ladigan izoxor jarayon



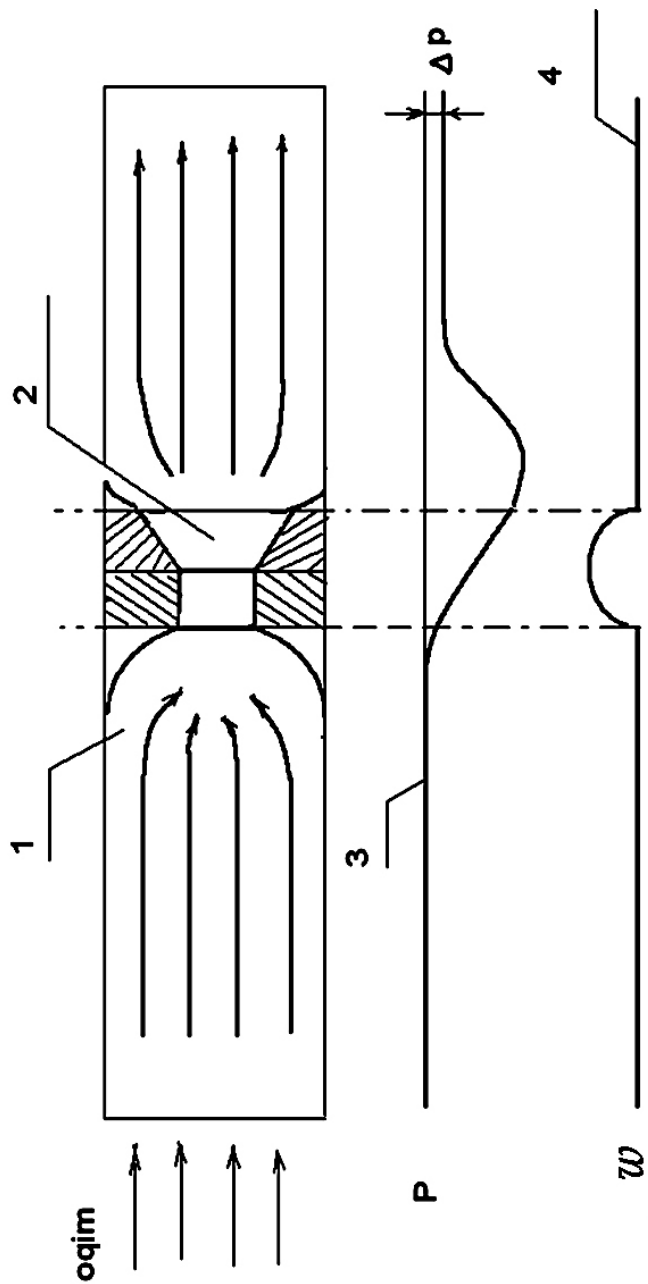
Suv bug'i bilan bo'ladigan izotermik jarayon



17-rasm. Suv bug'i bilan bo'ladigan adiabatik jarayon

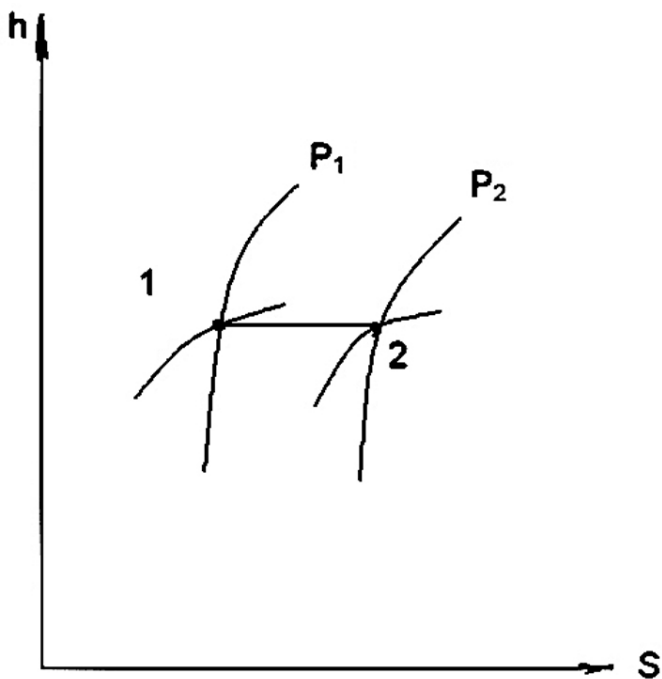
26-§. Gaz (bug'larni drossellash yoki ezish

Gaz harakat qilayotgan quvur yo'lida kanal ko'ndalang qismining keskin kamayishi (torayishi) amaliyotda tez-tez uchraydi. Quvurning bu joyida gaz bosimining kamayishi sodir bo'ladi, lekin gaz tashqi ish bajarmaydi. Gaz va bug'lar quvurning toraygan joylaridan o'tayotganda, bosimining kamayish ho-



18-rasm. 1 – oqim harakatlanuvchi quvur; 2 – drossel qurulmasi;
 3 – bosimni o'zgarish diagrammasi; 4 – tezlikni o'zgarishi diagrammasi

disasi drossellash yoki gazni ezish deyiladi. Bunday holat gazni torayuvchan yuzadan o'tishida hosil bo'ladi, ya'ni kanal bo'ylab harakatlanayotgan jismni harakatlanishida drossel qurilmalari-dan foydalanish hisobiga yuzaga keladi. Gaz oqayotgan quvur yo'lidagi har bir jo'mrak (kran), diafragma, venturi quvuri yoki boshqacha usulda quvurning torayishi drossellashga olib keladi. Bunday drossel qurilmalari o'rnatilishi natijasida oqib o'tayotgan oqimning harakat tezligi ortib, bosimi kamayadi. O'rnatilayotgan drossel qurilmasining diametri quvurning diametriga qaraganda kichik bo'lgani uchun ham drossel qurilma o'rnatilgan qismida mahalliy qarshiliklar, oqimning shu drossel qurilmaga kirishda to'planib qolishi yuzaga keladi va shuning natijasida ortiqcha bosim yuzaga keladi. Qurilmadan o'tish davomida bosim kamayadi, tezlik ortadi. Ideal gaz harorati o'zgarmaydi. Gaz oqimining toraya boshlashi diafragma yetmasdan oldinroq boshlanadi. Oqimning torayishi diafragmadan biroz o'tguncha davom eta-



Drossellanishni h-s diagrammada ifodalanish

di, undan keyin gaz oqimi kengaya borib, quvur kengligini to'la egallaydi. Diafragma oldida va orqasida gaz oqimi bo'lmagan "o'lik zona" hosil bo'lib, u yerda, gaz (bug')ning uyurmali harakatini hosil qiladi.

Bunday harorat pasayishi yoki ortishi boshlang'ich haroratni ortishi hamda kamayishi bilan bog'liqdir. Bunday harorat inver-siya harorati deyiladi. Ushbu boshlang'ich haroratda real gaz harorati drossellanish jarayonida o'zgarmaydi va u o'zini ideal gazdek tutadi.

Drossellanish jarayonida real gazlarning harorati o'zgarishi Joul–Tomson effekti deyiladi. Ideal gaz uchun Joul–Tomson effekti nolga teng.

Aniqlik bilan drossellanish jarayonida entalpiyani boshlang'ich va oxirgi holatlarida bir-biriga teng deb qabul qilish mumkin, ya'ni:

$$h_1 = h_2 \quad (97)$$

Ifoda drossellanish tenglamasi deyiladi, ya'ni drossellanishda entalpiya o'zgarmaydi. Drossellanish qaytmas jarayon bo'lgani uchun u hech qanday diagramma bilan ifodalanmaydi.

Bug'ning drossellanish bilan bog'liq bo'lgan masalalarni yechishda bug'ni drossellanishdan keyingi parametrlarini aniqlashga keltiriladi. Bunday masalalarni osonroq yechish $h-s$ diagramma yordamida olib boriladi, chunki entalpiya drossellanish-gacha va undan keyin bir xil bo'lgani uchun oxirgi boshlang'ich nuqtasi 1 dan o'tadigan, oxirgi bosimi P_2 bo'lgan izobara bilan kesishadigan gorizontaal chiziq bilan ifodalanadi. 2 nuqtada drossellanishdan keyingi bug'ning parametrlari aniqlanadi. Buni quyidagi $h-s$ diagrammada korishimiz mumkin:

Masala.

Suv bug'ining $h-s$ diagrammasidan foydalanib, bug'ning entalpiyasini aniqlang: a) $P = 1$ MPa bosimdagi quruq to'yingan bug'ning; b) $P = 1$ MPa va $x = 0,95$ bo'lgan nam to'yingan bug'ning; d) $P = 1$ MPa va $t = 300$ °C bo'lgan bug'ning entalpiyasini aniqlang.

Berilgan:

A. $P = 1$ MPa

B. $P = 1 \text{ MPa}$, $x = 0,95$

D. $P = 1 \text{ MPa}$, $t = 300 \text{ }^\circ\text{C}$

h'' -?, i_x -? $i-x$

Yechish. Suv bug'ining $h-s$ diagrammasidan foydalanib, quyidagilarga ega bo'lamiz:

a) $h'' = 2780 \text{ kJ/kg}$.

b) diagrammadan $P = 1 \text{ MPa}$ va $x = 0,95$ larni aniqlab, bu chiziqning kesishgan nuqtasini aniqlaymiz. Bundan $i_x = 2680 \text{ kJ/kg}$ ekanligi ma'lum bo'ladi.

d) $h-s$ diagrammadan $P = 1 \text{ MPa}$ va $t = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ haroratni aniqlaymiz va quyidagiga ega bo'lamiz: $h = 3045 \text{ kJ/kg}$.

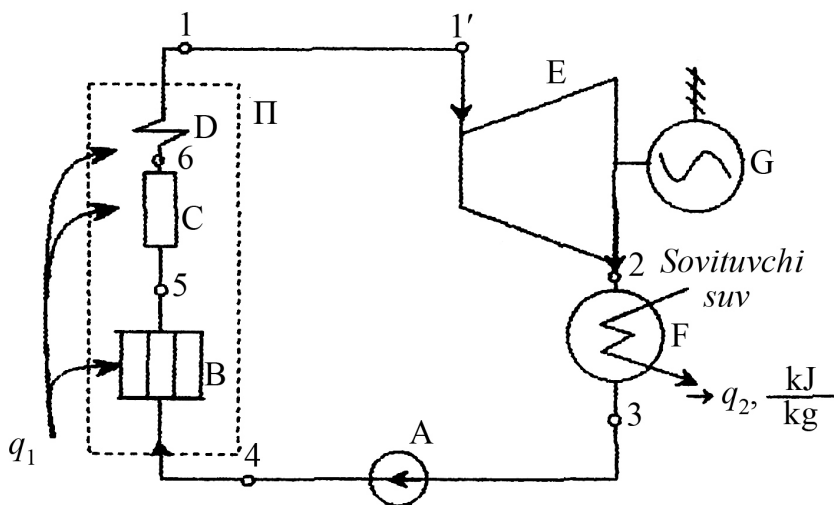
Nazorat uchun savollar

1. Suv bug'ining asosiy xossalari nimadan iborat?
2. Suv bug'i necha turga bo'linadi?
3. Nam to'yingan bug' deb nimaga aytiladi?
4. Quruq to'yingan bug' qanday parametrlarga ega bo'ladi?
5. O'ta qizigan bug' qanday parametrlar bilan xarakterlanadi?
6. Suv bug'ining $P-V$ diagrammasini chizib ko'rsating.
7. Suv bug'ining $T-s$ diagrammasida suyuqlik holatida parametrlarini o'zgarishini tushuntirib bering.
8. Suv bug'ining $h-s$ diagrammasi qanday qulaylikka ega?

VI bob. BUG' TURBINA QURILMALARI

27-§. Bug' turbina qurilmalari sikli

Bug' turbina qurilmalarida suv bug'i asosiy ishchi jism bo'lib xizmat qiladi. Bu qurilmalarda suv bug'ining issiqlik energiyasi mexanik energiyaga aylanadi va elektr generatorda elektr energiyasiga aylanadi. Bug' turbina qurilmalari ko'rinishini chizmasi 19-rasmda keltirilgan.

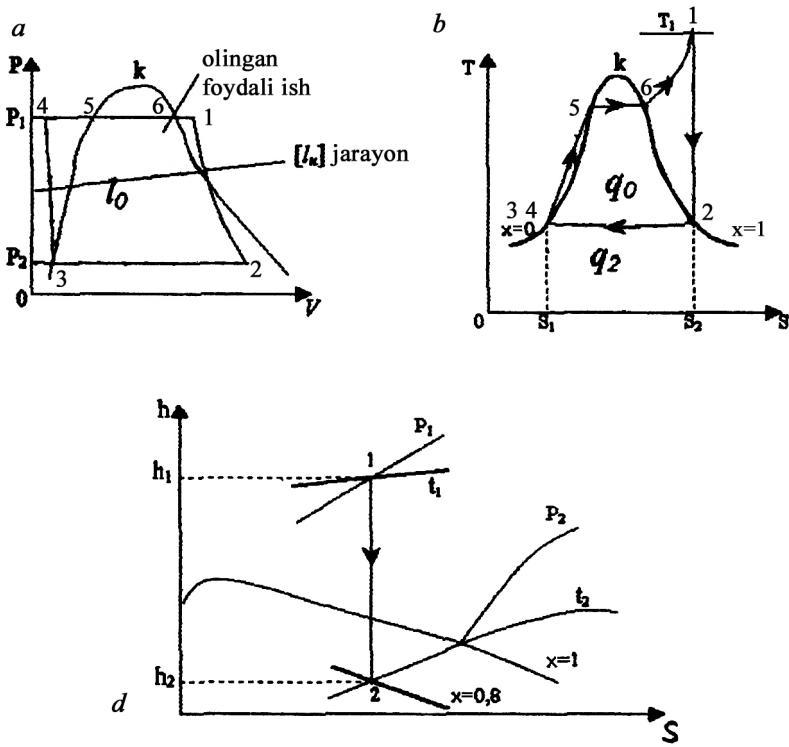


19-rasm. Bug' turbina qurilmasining chizma tasviri:

A – nasos; T – bug' qozoni; B – suv ekonomayzeri; C – bug'latuvchi qism, D – bug' qizdirgich; E – bug' turbini; G – elektr generator; F – kondensator

Kimyoviy tozalangan suv nasos yordamida bosimi orttirilib, bug' qozoniga yuboriladi. Yoqilg'i bug' qozoniga yuborilib, u yerda, issiqlik miqdori olinadi. Issiqlik ekonomayzerda suvni qay-

nash haroratigacha qizdirishga, keyin bug'lantiruvchi qismda nam to'yingan bug' hosil qilishga sarflanadi. Bug' bug' qizdirgichda yanada qizdirilib, o'ta qizigan bug'ga aylantiriladi. O'ta qizigan bug' turbinaning parraklariga urilib, harakat hosil qiladi, ya'ni bug'ning issiqlik energiyasi avval kinetik energiyaga (turbina soplosida), so'ngra mexanik energiyaga aylanadi. Ishlatilib bo'lingan bug' juda kichik bosimda bo'lgani uchun kondensatorga kelib tushadi va qaytadan suvga aylanadi, bunday massa kondensat deyiladi.



20-rasm. Renkin siklining diagrammalari: a - P-V; b - T-s va d - h-s T-s, va h-s diagrammalarida: 1-2 - turbinadagi adiabatik kengayish jarayoni; 2-3 - kondensatoridagi ish jarayoni; 3-4 - nasos ishi; 4-5 - ekonomayzer ishi; 5-6 - bug' qozonida bug' hosil bo'lishi; 6-1 - o'ta qizigan bug'

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

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h'_2} \quad (98)$$

bu yerda, h_1, h_2 – turbinadagi adiabatik kengayish jarayoni sodir bo'lishidagi bug'ning boshlang'ich va oxirgi entalpiyasi.

$h'_2 = c_p t_2 - P_2$ bosimdagi suvning entalpiyasi. Bu ifodaga kataliklarni suv bug'ining h -s diagrammasidan olinadi.

28-§. Oraliq qizdirishli bug' turbina qurilmalari sikli

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

Buning natijasida bug' turbina qurilmasining FIK 3–5 % ortadi.

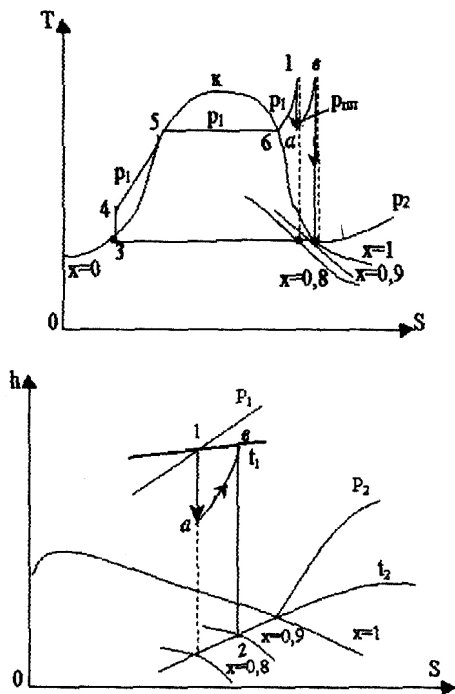
T -s va h -s diagrammalarda bu siklning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi.

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_a) + (h_b - h_2)}{(h_1 - h'_2) + (h_b - h_a)}. \quad (99)$$

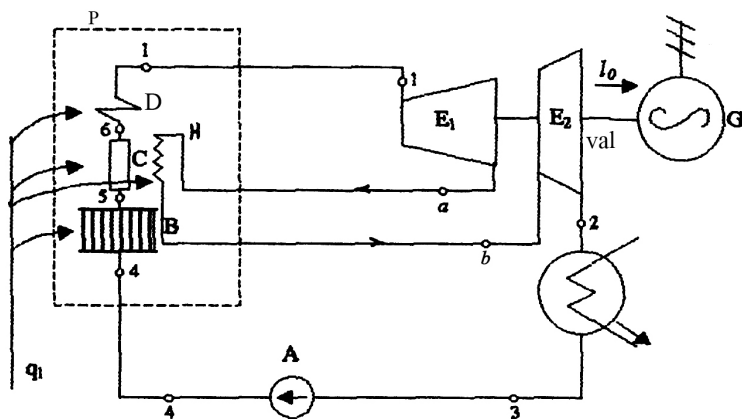
h_1, h_2, h_c, h_b lar suv bug'ining h -s diagrammasidan olinadi.

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

Regenerativ suv qizdirgichlarning qo'llanishi natijasida FIK 10–12 %ga oshadi. Bundan tashqari ishchi parraklarning balandligini kamaytirishga olib keladi.



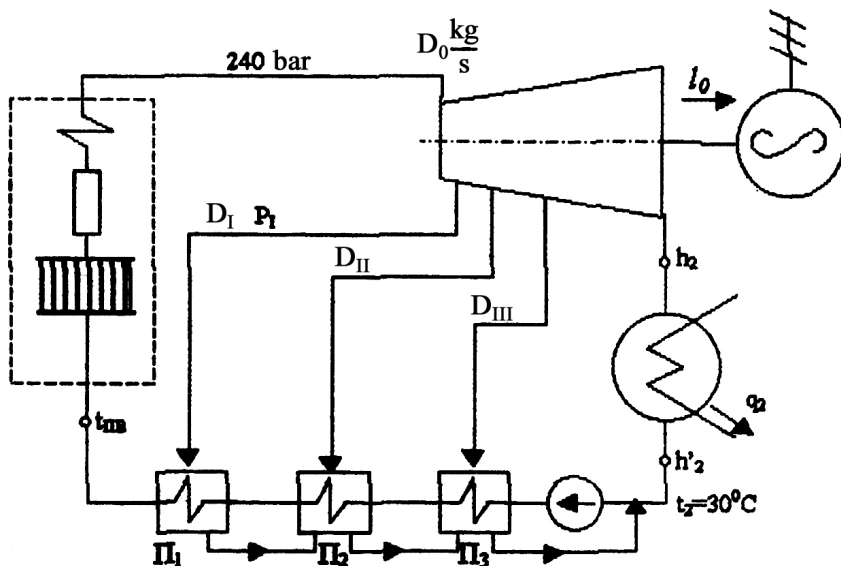
21-rasm. Oraliq qizdirishning $T-s$ va $h-s$ diagrammalari



22-rasm. Bug'ni oraliq qizdirishni chizma tasviri:
 E_1 – bug' turbinasining yuqori bosimli qismi; E_2 – bug' turbinasining past bosimli qismi; N – oraliq qizdirgich.

Oraliq qizdirishli sikl uchun FIK:

Bug' turbina qurilmasini regenerativ siklini chizmasi (23-rasm).



23-rasm. Suvni regenerativ isitilishini chizma tasviri:

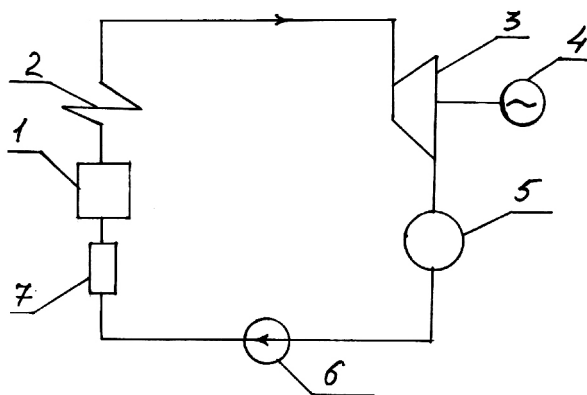
Π_1, Π_2, Π_3 – regenerativ suv qizdirgichlar; D_0 – bug' sarfi, D_I, D_{II}, D_{III} – I, II, III bug'ni olinishidagi sarfi; $\Pi_{1\text{ ol}}$ – bug'ni olinishidagi bosim.

29-§. Issiqlik bilan ta'minlash asoslari

IEM, ya'ni issiqlik elektr markaz, deb ham elektr energiya, ham issiqlik energiyasi bilan ta'minlovchi stansiyalarga aytiladi. Bu qurilmaning avvalgi qurilmalaridan farqi shuki, bug' turbinasida ishlatilib bo'lingan bug'ning miqdori kondensatorga emas, balki iste'molchiga kelib tushadi. Natijada bug'ni turbina-da ishlatilishi tufayli va uning parraklari aylanish tufayli mexanik energiya, so'ngra elektr energiya hosil bo'ladi. Uning chizma tasviri 24-rasmda keltirilgan.

Iste'molchiga borgan qismidan, issiq suv va issiqlik bilan

ta'minlanadi. Shu sharoitda ishlaydigan elektrostansiyalarni is-siqlik elektr markazlar deyiladi.



24-rasm. Issiqlik bilan ta'minlashning chizma tasviri:

1 – bug' qozoni; 2 – bug' qizdirgich; 3 – bug' turbinasi; 4 – elektr genera-tor; 5 – iste'molchi; 6 – kondensat nasosi; 7 – isitgich

Masala.

$\Pi_1 = 50$ bar, $t_1 = 500$ °C va $\Pi_2 = 0,1$ bar bo'lgandagi entalpiyalar qiymatlari:

$$h_1 = 3440 \text{ kJ/kg}; h_2 = 2210 \text{ kJ/kg}; h'_2 = 192 \text{ kJ/kg};$$

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

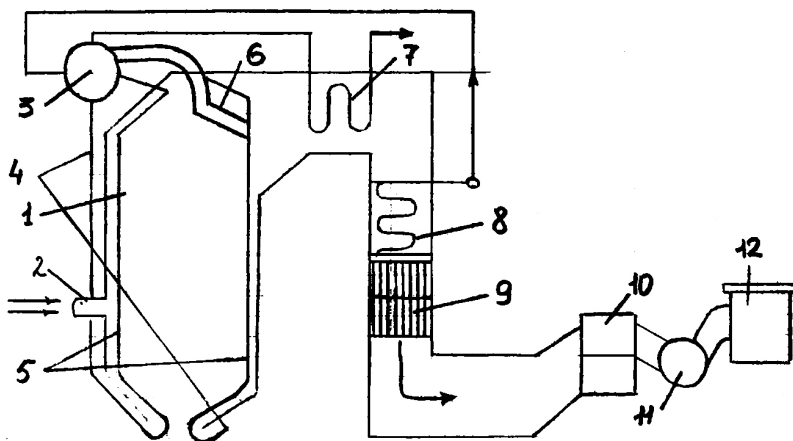
30-§. Bug' qozonlari

Suv bug'ini hosil qiladigan qurilmaga bug' qozoni deb ataladi. Suv bug'i bug' dvigatellarini harakatga keltiradi, sanoat va qishloq xo'jaligining ishlab chiqarishdagi ehtiyojlarida va binolarni isitishda ishlatiladi. Issiq suv ishlab chiqarishda, umumiy va yashash uylarini isitishda hamda aholining kommunal-maishiy ehtiyojlari uchun ishlatiladi. Bug' qozonlarida bug' yoqilg'idan ajralgan is-siqlik yordamida hosil qilinadi. Zamonaviy bug' qozonining chizma tasviri 25-rasmda keltirilgan va u bug' qizdirgich, suv ekono-

mayzeri va havo qizdirgichdan iborat. Bug' qozonda hosil bo'lgan bug'ning harorati ortadi, bu esa bug' turbina qurilmasini foydali ish koeffitsiyentini oshishiga olib keladi.

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

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

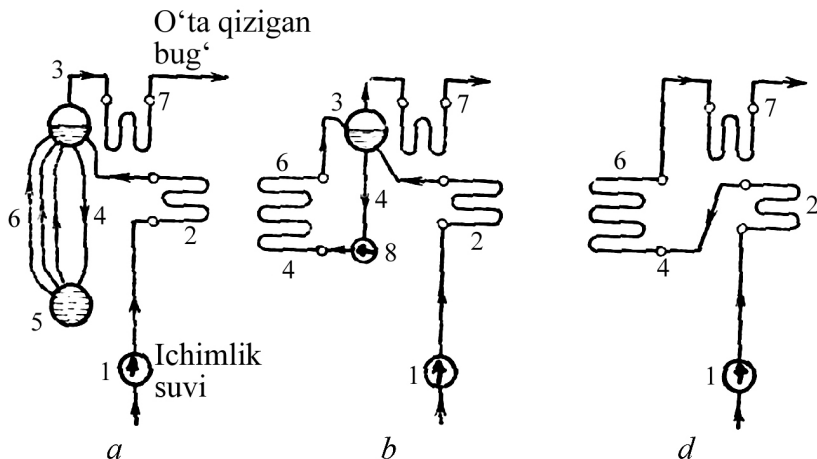


25-rasm. Tabiiy sirkulyatsiyaga ega bo'lgan bug' qozoni:

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

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

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



26-rasm. a – tabiiy sirkulyatsiyali bug' qozoni; b – sun'iy sirkulyatsiyali bug' qozoni; d – barabansiz bug' qozoni: 1 – nasos; 2 – ekonomayzer; 3 – baraban; 4 – suvni haydovchi quvur; 5 – kollektor; 6 – bug' hosil qiluvchi quvurlar; 7 – bug' qizdirgich; sirkulyatsiya nasosi

Bug' qozonlari suvning harakatlanishiga ko'ra 3 xil bo'ladi:

1. Tabiiy ravishda bug' va suv aralashmasi harakatlanadigan bug' qozonlari (26- a rasm).
2. Sun'iy ravishda sirkulyatsiya bo'ladigan (nasos yordamida) bug' qozonlari (26- b rasm).
3. Barabanga ega bo'lmagan bug' qozonlari (26- d rasm).

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

Qozon qurilmasining asosiy ish xarakteristikalariga quyidagilar kiradi:

a) bug' unumdorligi (qozonning quvvati), bu vaqt birligida hosil bo'lgan bug' miqdori bilan aniqlanadi;

b) bug'ning parametrlari (bosimi va o'ta qizish harorati);

d) qozon agregatining foydali ish koeffitsiyenti.

Qozon qurilmalarini quyidagi belgilarga ko'ra tasniflash mumkin:

1. Bug' unumiga ko'ra:

a) past unumli 15–20 t/soat

b) o'rtacha unumli 25 (30 dan 160 (220 t/soat gacha)

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

2. Bug' bosimiga ko'ra:

a) past bosimli 9 at gacha (1 MPa)

b) o'rta bosimli 14–40 at (1,4(4 MPa)

d) yuqori bosimli 100 at (140 at)

e) yuqori kritik bosimli 255 at

31-§. Qozon qurilmasining issiqlik balansi

Issiqlik balansi deb, qozon qurilmasida yoqilg'ini yonishida ajralib chiqqan issiqlik bilan foydali ishlatilgan issiqlikka va issiqlikning yo'qolishidagi issiqliklar orasidagi muvozanatga aytiladi. Issiqlik balansi 1 kg qattiq (suyuq) yoki 1 m³ gazsimon yoqilg'i uchun qozon qurilmasida o'rnatilgan issiqlik holatiga ko'ra tuziladi.

Issiqlik balansining tenglamasi (kJ/kg, kJ/m³) quyidagi ko'rinishga ega:

$$Q_q^i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (100)$$

yoki foizda ifodalanishi:

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100 \% \quad (101)$$

bu yerda, $q_1 = \left(\frac{Q_1}{Q_q^i}\right) 100 \%$, $q_2 = \left(\frac{Q_2}{Q_q^i}\right) 100 \%$.

(100) va (101) tenglamalarida Q_p^i yoqilg'ini yonish issiqligi; $Q_1(q_1)$ – qozon qurilmasida bug' olish uchun foydali ishlatilgan is-

siqlik; $Q_2(q_2)$ – chiqib ketayotgan tutun gazlari bilan yo‘qolgan issiqlik – $Q_3(q_3)$ yoqilg‘ini ximik noto‘liq yonishida yo‘qolgan issiqlik; $Q_4(q_4)$ – yoqilg‘ini mexanik noto‘liq yonishida yo‘qolgan issiqlik; $Q_5(q_5)$ – atrof-muhitga yo‘qolgan issiqlik; $Q_6(q_6)$ – shlakning fizik issiqligi bilan yo‘qolgan issiqlik.

Yoqilg‘ining yonish issiqligi (kJ/kg, kJ/m³) 1 kg qattiq (suyuq) yoki 1 m³ gazsimon yoqilg‘i uchun quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$Q_q^i = Q_q^i = Q_{yoq} + Q_h + Q_p + Q_k \quad (102)$$

bu yerda,

Q_q^i va Q_q^i – ishchi massaviy qattiq va suyuq yoqilg‘ining va quruq massaviy gazsimon yoqilg‘ining quyi yonish issiqligi, kJ/kg, kJ/m³;

Q_h – yoqilg‘ining fizik issiqligi; kJ/kg, kJ/m³;

Q_h – o‘txonaga havo bilan kirgan issiqlik, kJ/kg, kJ/m³;

Q_p – o‘txonaga bug‘li purkanish bilan kirgan issiqlik, kJ/kg, kJ/m³;

Q_k – slanetslarni yonishida karbonatlarning joylashishiga sarflangan issiqlik, kJ/kg.

Yoqilg‘ining fizik issiqligi:

$$Q_{yoq} = c_{yoq}^i \cdot t_{yoq} \quad (103)$$

bu yerda, c_{yoq}^i – ishchi massaviy yoqilg‘ining issiqlik sig‘imi, kJ/kg °C;

t_{yoq} – o‘txonaga kirayotgan harorati, °C.

Ishchi massaviy yoqilg‘ining issiqlik sig‘imi:

$$c_{yoq}^i = c_{yoq}^k \frac{100 - W^4}{100} + c_{H_2O} \frac{W^4}{100} \quad (104)$$

bu yerda, c_{yoq}^k , c_{H_2O} va c_{H_2O} – mos ravihda quruq massaviy qattiq yoqilg‘ining va suvning issiqlik sig‘imi, kJ/kg·K.

c_{yoq}^k ansratsit uchun 0,921, toshko‘mir uchun – 0,962, qo‘ng‘ir ko‘mir uchun – 1,088, frezer torflari uchun – 1,297 va slanetslar uchun – 1,046 ga teng.

Mazutning issiqlik sig'imi:

$$c_{yoq} = 1,74 + 0,0025 t_{yoq} \quad (105)$$

Qozon qurilmasidan tashqarida yoqilg'i oldindan qizdirilganda (mazutni qizdirish, yoqilg'ini quritish va boshqalar), uning fizik issiqligi hisobga olinadi.

O'txonaga havo bilan kiritilgan issiqlik:

$$Q_h = \alpha_y V^0 c'_{p_x} \Delta t_h \quad (106)$$

bu yerda, α_y o'txonadagi havoning ortiqchalik koeffitsiyenti;

V^0 – 1 kg yoqilg'ini yoqish uchun kerakli havoning nazariy hajmi, m^3/kg ;

c'_{p_x} – bosim doimiy bo'lganda havoning o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imi, $kJ/m^3 \cdot K$;

havoning harorati 300 gacha bo'lganda $c'_{p_x} = 1,33 kJ/m^3 \cdot K$;

Δt_h – qizdirilgan va sovuq havoning haroratlari farqi, $^{\circ}C$.

O'txonaga bug'li purkanish bilan kiritilgan issiqlik:

$$Q_p = W_p (h_p - 2510) \quad (107)$$

bu yerda, W_p va h_p mos ravishda purkashga yoki yoqilg'ini changlantirishga berilgan sarfi va entalpiyasi, kg/kg , kJ/kg . Purkash uchun $W_p = 0,7 \dots 0,8 kg/kg$, bug'li forsunkalarda changlantirish uchun $W_p = 0,35 kg/kg$. Bug'-mexanikli forsunkalar uchun $W_{p,q} = 0,3 \dots 0,035 kg/kg$.

Slanetslarni yondirishda karbonatlar joylashishiga sarflangan issiqlik:

$$Q_k = 40,6 k(CO_2)_k^i$$

bu yerda, k – karbonatlar joylashishi koeffitsiyenti.

Qozon qurilmasida foydali ishlatilgan issiqlik (kJ/kg)

$$Q_1 = \frac{D_{o'qb}}{B} [(h_{o'qb} - h_{is}) + \frac{P}{100} (h_{qs} - h_{tb})] + D_{tb} (h_{tb} - h_{is}) \quad (108)$$

bu yerda, $D_{o'qb}$, D_{tb} – mos ravishda o'ta qizigan va to'yingan bug'ning sarfi, kg/s ; B – natural yoqilg'i sarfi, kg/s ; $h_{o'qb}$, h_{tb} , h_{is} , h_{qs} – mos ravishda o'ta qizigan, to'yingan, iste'mol suvining va qozon suvining entalpiyasi, kJ/kg ; P – to'xtovsiz purkash kattaligi, %.

Suv isitish qozonlarida foydali ishlatilgan issiqlik:

$$Q_1 = \frac{M_s}{V} (h_2 - h_1) \quad (109)$$

bu yerda, h_1 va h_2 – mos ravishda qozonga kirgan va chiqqan suvning entalpiyasi, kJ/kg;

M_s – suvning sarfi, kg/s.

qozon qurilmasida foydali ishlatilgan issiqlik (%):

$$q_1 = \left(\frac{Q_1}{Q_d^i} \right) 100 \% \quad (110)$$

Chiqib ketayotgan tutun gazlari bilan issiqlikning yo'qolishi:

$$Q_2 = (V_{chiq} c'_{pchiq} \theta_{chiq} - \alpha_{chiq} V^0 c'_{px} t_h) (100 - q_4) / 100$$

bundan,

$$Q_2 = (J_{chiq} - \alpha_{chiq} J_{s.h.}^0) (100 - q_4) / 100 \quad (111)$$

bu yerda, V_{chiq} – qozon qurilmasidagi oxirgi gaz yo'lidan chiqqan (tutun) gazlarining hajmi, m³/kg;

c'_{pchiq} – bosim doimiy bo'lganda gazlarning o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imi, kJ/m³ K;

θ_{chiq} – oxirgi gaz yo'lidan chiqib ketayotgan gazning harorati, °C;

α_{chiq} – qozon qurilmasidan tashqarigi havoning ortiqchalik koeffitsiyenti;

V_0 – 1 kg yoqilg'ini yondirish uchun kerakli havoning nazariy hajmi, m³/kg;

t_h – qozonxonadagi xonaning harorati, °C;

q_4 – mexanik noto'liq yonishda yo'qolgan issiqlik, %;

$J_{chiq}, J_{s.h.}^0$ – mos ravishda yonish mahsulotlarining va sovuq havoning entalpiyasi, kJ/kg.

Yoqilg'ining ximik noto'liq yonishida issiqlikning yo'qolishi yonish mahsulotlarida CO miqdori bilan aniqlanadi:

$$Q_3 = 237(C^i + 0,375S_{yoq}^i)CO / (RO_2 + CO) \quad (112)$$

bu yerda, C^i va S_{yoq}^i – yoqilg'idagi uglerod va oltingugurt miqdori, %;

CO – chiqib ketayotgan gazlardagi uglerod oksidining miqdori, %;

$RO_2 = CO_2 + SO_2$ – chiqib ketayotgan gazlardagi CO_2 va SO_2 miqdori, %.

Yoqilg'ining ximik noto'liq yonishida issiqlikning yo'qolishi, (%):

$$q_3 = \left(\frac{Q_3}{Q_p^i} \right) 100 \% \quad (113)$$

Yoqilg'ining mexanik noto'liq yonishida issiqlikning yo'qolishi uch tashkil etuvchidan tuziladi: yoqilg'i shlaki Q_i^{shk} (kJ/kg) bilan issiqlikni yo'qolishi, o'txona panjarasidan yoqilg'ini tushishida issiqlikning yo'qolishi Q_i^t (kJ/kg) va chiqib ketayotgan gazlarda yoqilg'i zarrachalari bilan issiqlikning yo'qolishi Q_i^{ket} (kJ/kg), ya'ni:

$$Q_i = Q_i^{shl} + Q_i^t + Q_i^{ket} \quad (114)$$

Yoqilg'ining mexanik noto'liq yonishida issiqlikning yo'qolishi, (%):

$$q_4 = \left(\frac{Q_4}{Q_p^i} \right) 100 = \frac{327 A^4}{Q_p^i} \left(a_{shlt} \frac{c_{shl+tr}}{100 - c_{shl+tr}} + a_{ket} \frac{c_{ket}}{100 - c_{ket}} \right)$$

bu yerda, A^4 – yoqilg'idagi kulning miqdori %,

a_{shl+tr} , a_{ket} – o'txonada yoqilg'i bilan berilgan umumiy kul ulushi, %;

c_{shl+tr} , c_{ket} – shlakda, proval va olib ketishda yonuvchining miqdori, %.

Atrof-muhitga issiqlikning yo'qolishi (kJ/kg) qozon qurilmasining sirt yuzasini o'lchovlariga, qoplama sifati va issiqlik izolyatsiyasiga bog'liq.

Hisoblashlarda atrof-muhitga issiqlikning yo'qolishi normativ bo'yicha olinadi, qozon qurilmasini tekshirishda esa issiqlik balansini tenglamasida aniqlanadi:

$$Q_5 = Q_p^i - (Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_6) \quad (115)$$

yoki:

$$q = 100 - (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \quad (116)$$

Tashqol (shlak)ning fizik issiqligi orqali issiqlikni yo'qolishi:

$$Q_6 = a_t c_t t_t A^4 / 100 \quad (117)$$

bu yerda, a_t – tashqol (shlak)dagi yoqilg'i kulining ulushi, kamerali o'txona uchun $a_t = 1 - a_{umr}$, qatlamli o'txona uchun a_t ga proval a_{pr} dagi yoqilg'i kulining ulushini qo'shish kerak.

c_t – tashqolning issiqlik sig'imi, kJ/kg K;

t_t – tashqolning harorati, °C;

A^4 – yoqilg'idagi kulning miqdori, %.

Tashqolning fizik issiqligi orqali (%) issiqlikning yo'qolishi

$$q_6 = \left(\frac{Q_6}{Q_q^i} \right) 100 = a_t c_t t_t A^4 / Q_q^i \quad (118)$$

Agregatning (brutto) va qurilmaning (netto) foydali ish koefitsiyentlari. Qozon agregatining (brutto) foydali ish koefitsiyentlari uning ish samaradorlik darajasini ifodalaydi va u qozon agregatida ishlatilgan issiqlik miqdorining yoqilg'ining umumiy issiqligi nisbatiga teng, ya'ni:

$$\eta_{bq}^{br} = \left(\frac{Q_1}{Q_q^i} \right) 100 \quad (119)$$

yoki:

$$\eta_{bq}^{br} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (120)$$

Qozon qurilmasining (netto) FIK o'z ehtiyojlariga (yoritish, nasoslarni issiqlikdan tushirish va b.) sarflangan issiqlikdan tashqari qozon agregatining FIK teng, ya'ni:

$$\eta_{bq}^{nt} = \eta_{bq}^{br} - \frac{Q_{ue}}{BQ_q} 100 \quad (121)$$

bu yerda, Q_{ue} – o'z ehtiyojlariga sarflangan issiqlik, kJ/kg

Yoqilg'ining sarfi qozon agregatini issiqlik hisoblashlarida yoqilg'ining natural va hisobiy sarfi farqlanadi.

Yoqilg'ining natural sarfi (kg/s) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$B = \frac{D_{o'qb}(h_{o'qb} - h_{is}) + (P/100)(h_{ks} - h_{is})D_{bt}(h_{tb} - h_{is})}{Q_q^i \eta_{bq}^{br}} \quad (122)$$

bu yerda, η_{bq}^{br} – qozon agregatining (brutto) FIK, %.

Yoqilg'ining hisobiy sarfi mexanik noto'liq yonishni hisobga olib aniqlanadi:

$$B_x = B(1 - \frac{q_i}{100}) \quad (123)$$

bu yerda, q_i – mexanik noto'liq yonishda issiqlikning yo'qolishi

32-§. Bug' turbinalari va ularning ishlash uslubi

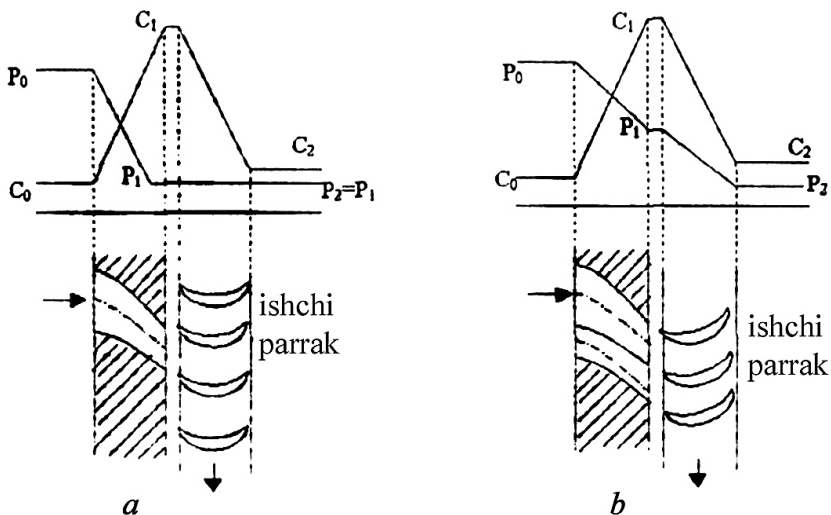
Bizga ma'lumki, elektr energiyani ishlab chiqarish jarayoni murakkab bo'lib, u issiqlik elektr stansiyalarida, gidroelektr stansiyalarda, atom elektr stansiyalarida amalga oshiriladi. Issiqlik elektr stansiyalarining ishlash jarayonini misol qilsak, u yerda ishchi jism bo'lgan suv bug'ining issiqlik energiyasini mexanik energiyaga aylanishi hisobiga elektr energiyasi hosil bo'ladi. Bu esa turbogeneratorlarda amalga oshiriladi. Demak, turbinaning vazifasi ikkita ketma-ket jarayondan tashkil topgan bo'lib, biri – bug'ning issiqlik energiyasini kinetik energiyasiga, ikkinchisi – kinetik energiyani mexanik energiyaga aylanishini amalga oshirib beradi. Turbina stator va rotor qismlariga bo'linadi. Stator bu qo'zg'almas qism bo'lib, unda soplo yo'naltiruvchi parraklar, taqsimlovchi drossel qurilma, tezliklar regulyatori, podshipniklar, reduktor, moy nasosi va boshqalar joylashgan. Rotor – bu qo'zg'aluvchan qism bo'lib, unda val, disk ishchi parraklar joylashgan.

Turbina ikki turga bo'linadi:

- Aktiv turbina;
- Reaktiv turbina.

Aktiv turbinalarda hamma ishlatishi mumkin bo'lgan issiqlik soploda amalga oshadi, ya'ni bosim oxirgi bosimgacha kamayadi, ishchi parraklarda esa o'zgarmaydi. Tezlik soploda ortadi, so'ngra parraklarda sekin-asta kamayadi (27- a rasm).

Reaktiv turbinalarda esa ishlatish mumkin bo'lgan issiqlik-



27-rasm. a – aktiv turbinadagi jarayon; b – reaktiv turbinadagi jarayon

ning bir qismi soplarda, qolgan qismi esa ishchi parraklarda amalga oshiriladi (27- b rasm).

Aktiv turbinaning ishlash uslubini ko'rib chiqamiz. Bug' qozonida suvning qaynash natijasida hosil bo'lgan o'ta qizigan bug', bug' harakatlanuvchi quvurlar yordamida bug'ni taqsimlovchi drossel qurilma (drossel klapani)siga kelib tushadi. U yerdan bug' turbinaning asosiy elementi bo'lgan soploga kelib tushib, u yerda bug'ning bosimi kamayib, tezligi ortadi (ya'ni issiqlik energiyasi kinetik energiyaga aylanadi). Shunday katta tezlik bilan bug' soplodan chiqib turbinaning valiga o'rnatilgan ishchi parraklarga uriladi va natijada parraklar aylana boshlaydi, ya'ni harakat sodir bo'ladi, kinetik energiya mexanik energiyaga aylanadi.

Turbinaga kelayotgan bug'ning boshlang'ich bosimi – P_0 soplodan chiqayotgan bug'ning bosimi – P_1 tezligi esa C_1 ga teng bo'ladi.

Bug' turbinaning birinchi pog'onasidan uning qo'zg'almas qismida joylashtirilgan yo'naltiruvchi parraklar yordamida ikkinchi pog'onaga, so'ngra keyingi pog'onalarga o'tib harakatini davom ettiradi.

Bug' P_0 bosim bilan soploga yuboriladi. Bu yerda, uning potensial energiyasi kinetik energiyaga aylantiriladi. C_1 tezlik bilan soplodan chiqib, bug' birinchi qator ishchi parraklarga kelib tushadi, bu yerda, uning kinetik energiyasi ishga aylanadi. Shunda uning yo'nalishi o'zgaradi. C_2 tezlik bilan birinchi pog'ona ishchi parraklaridan chiqib, bug' birinchi qator yo'naltiruvchi parraklarga kelib tushib, o'zini yo'nalishini o'zgartiradi va ikkinchi qator ishchi parraklarga kelib tushadi.

So'ngra bug' u yerdan ikkinchi qator yo'naltiruvchi parraklarga kelib tushadi, undan chiqib uchinchi qator ishchi parraklarga yo'naladi va harakat davom etadi. Turbinaning uchinchi pog'onasidan chiqayotganda bug' juda katta bo'lmagan tezlikka ega bo'ladi.

Nazorat uchun savollar

1. Bug' turbina qurilmalarini izohlab bering.
2. Renkin siklining $P-V$ va $T-s$ diagrammasini sharhlab bering.
3. Renkin siklining FIKni ifodasini yozib bering.
4. Bug'ni oraliq qizdirish chizmasini chizing.
5. Suvni regenerativ isitish chizmasini chizib bering.
6. Nima uchun bug'ni oraliq qizdirish va suvni isitish ishlatiladi?
7. Bug' qozonining asosiy vazifasi nimadan iborat?
8. Bug' qozonining ekonomayzeri nimaga xizmat qiladi?
9. Bug' qizdirgich bug' qozonining qaysi qismida joylashgan.
10. Bug' qozonining issiqlik balansi nima?
11. Bug'turbinasining vazifasi va turlarini ayting.

VII bob. NAM HAVO

33-§. Asosiy tushunchalar

Atmosfera havosining tarkibida ma'lum miqdorda suv bug'lari bo'ladi. Quruq havo bilan suv bug'larining aralashmasiga nam havo deb ataladi. Nam havo asosan ventilyatsiya sistemalarida, havoni mo'tadillash (konditsioner), sovutish qurilmalarida va materiallarni quritish jarayonlarida ishlatiladi.

Suv bilan ta'minlash manbalaridan uzoqda joylashgan issiqlik elektr stansiyalarida, texnikaviy suvni sovutish jarayonlarida ham nam havoning xossalari katta ahamiyatga ega.

Nam havo gazlar aralashmasining xususiy hollaridan biridir. Dalton qonuniga asosan, gazlar aralashmasidagi har bir gaz o'zini shu aralashma haroratida, aralashmaning butun hajmini egallagandek tutadi, boshqacha qilib aytganda, gazlar aralashmasidagi gazlarning parsial bosimlari yig'indisi, shu aralashmaning umumiy bosimiga teng.

Quruq havoning parsial bosimini – p_{havo} bilan, suv bug'ining parsial bosimini – p_b va aralashmaning bosimini p – bilan belgilasak, Dalton qonunini quyidagicha yozamiz:

$$P = p_{havo} + p_b \quad (124)$$

Odatda, nam havoning bosimi atmosfera bosimi (B) ga teng bo'lgani uchun quyidagini yozish mumkin:

$$B = p_{havo} + p_b \quad (125)$$

Havo aralashmasida suv bug'i qanchalik ko'p bo'lsa, aralashmada suv bug'ining parsial bosimi shunchalik yuqori bo'ladi. Nam havodagi suv bug'ining parsial bosimi p_s nam havoning mazkur haroratdagi to'yinish bosimidan yuqori bo'la olmaydi, ya'ni:

$$p_b \leq p_s \quad (126)$$

bo'lsa, nam havoni to'yinmagan, $p_b = p_s$ bo'lganda nam havoni to'yingan nam havo deyiladi.

Agar to'yinmagan havoni o'zgarmas bosimda sovutsak, shunday harorat hosil bo'ladi, bunda bug' to'yina boshlaydi. Bu harorat – nam havoning shudring nuqtasi deb ataladi (t_{sh}). Agar havoning shudring nuqtasidan past haroratgacha sovutilsa, bug' kondensatsiyalana boshlaydi va tuman hosil bo'lib, havo o'ta to'yingan holatni oladi. Nam havoning asosiy termodinamik xarakteristikalariga quyidagilar kiradi: mutlaq namlik, nisbiy namlik, zichlik, gaz doimiysi, nam saqlami va entalpiya.

34-§. Nam havoning termodinamik parametrlari

Mutlaq namlik – bu ma'lum harakatdagi 1 m^3 nam havodagi suv bug'ining massasiga teng kattaligidir (kg/m^3 yoki g/m^3).

Nam havoni tavsiflash qulay bo'lishi va issiqlik – texnik hisoblarni osonlashtirish maqsadida nisbiy namlik tushunchasidan foydalaniladi.

Nisbiy namlik deb, nam havodagi suv bug'i parsial bosimining, suv bug'ining mazkur haroratdagi to'yinish bosimi nisbatiga aytiladi:

$$\varphi = \frac{p_b}{p_s} \quad (127)$$

yoki:

$$\varphi = \frac{p_b}{p_s} 100 \% \quad (128)$$

Nisbiy namlik (φ) foiz hisobida ifodalanadi. $0 \leq p_b < p_s$ bo'lganida $0 \leq \varphi \leq 100 \%$ oralig'ida o'zgaradi.

Agar $\varphi = 0$ – quruq havo; $\varphi = 1$ yoki $\varphi = 100 \%$ – to'yingan havo; $\varphi < 1$ – to'yinmagan havoga tegishlidir.

Agar nam havodagi suv bug'ini ideal gaz holat tenglamasiga bo'ysunadi deb qaralsa, u holda:

$$P_b v_b = R_b T \quad (129)$$

$$p_s v'' = R_b T \quad (130)$$

$$\frac{p_b}{p_s} = \frac{v''}{v_b} \quad (131)$$

yoki:

$$\frac{p_b}{p_s} = \frac{v''}{v_b} = \frac{\rho_b}{\rho''} = \frac{\rho_b}{\rho_s}, \quad (132)$$

demak,

$$\varphi = \frac{\rho_b}{\rho_s} = \frac{p_b}{p_s} \quad (133)$$

Nam havoning nam saqlami deb, nam havo tarkibidagi bug' massasining quruq havo massasi nisbatiga aytiladi:

$$d = \frac{m_b}{m_x} = \frac{\rho_b}{\rho_x} \quad (134)$$

Nam saqlami (d) g/kg da hisoblanadi. Nam saqlami quyidagi ifodalar yordamida ham aniqlanadi:

$$d = 0,622 \frac{p_b}{p - p_b} = \frac{0,622 p_b}{p_{havo}} \quad (135)$$

Nam havo atmosfera bosimida bo'ladigan hol uchun esa

$$d = 0,622 \frac{p_b}{B - p_b} \quad (136)$$

Nam havoning zichligi, quruq havo va suv bug'ining zichliklarining yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\rho = \rho_b + \rho_h \quad (137)$$

$$\rho = \frac{p}{RT}; \quad \rho = \rho_b r_b + \rho_h r_h \quad (138)$$

Nam havoning gaz doimiysi quyidagiga teng:

$$R = \frac{8314,2}{\mu_{ar}} \quad (139)$$

Nam havoning entalpiyasi, quruq havo va suv bug'i entalpiyalarining yig'indisiga teng:

$$h = h_h + h_b \quad (140)$$

Har xil jismlarni issiq havo yordamida quritishda uning nam saqlami ortadi. Bu jarayon suvni adiabatik bug'lanishi deyiladi. Bunda bug'lanish uchun kerak bo'lgan issiqlik atrofda havodan olinadi. Natijada havoning harorati pasayadi, bu pasayish havoning adiabatik to'yinish haroratigacha davom etadi. Bu harorat ho'l termometr harorati deyiladi.

Amaliyotda nisbiy namlikni aniqlashda psixrometr asbobi ishlatiladi. Psixrometr ikkita termometrdan iborat. Bittasi quruq termometr, ikkinchi termometr uchi ho'l mato bilan o'raladi va u nam termometr deb ataladi. Nam termometr ko'rsatgan harorat haqiqiy ho'l termometr haroratiga teng emas, chunki ho'l termometr uchi issiqlik uzatilishi natijasida har doim yuqoriroq bo'ladi.

35-§. Nam havoning $h-d$ diagrammasi

Nam havoning parametrlarini grafik usulda 1918-yilda professor A.K.Ramzin tomonidan taklif etilgan $h-d$ diagrammadan foydalanib aniqlash ancha qulaydir.

Bu diagrammada ordinata o'qlariga h , kJ/kg entalpiya, absissa o'qi bo'ylab esa – namlik saqlami d , g/kg quruq havo kattaliklari qo'yib chiqilgan. Turli chiziqlarni qulay joylashtirish maqsadida koordinata o'qlari 135° bo'lgan burchak ostida joylashtiriladi. Shunday qilib, namlik saqlami d chiziqlari vertikal bo'lib, entalpiya chiziqlari esa, h – qiya to'qri chiziqlar bo'ladi. Diagrammada quyidagi chiziqlar mavjud:

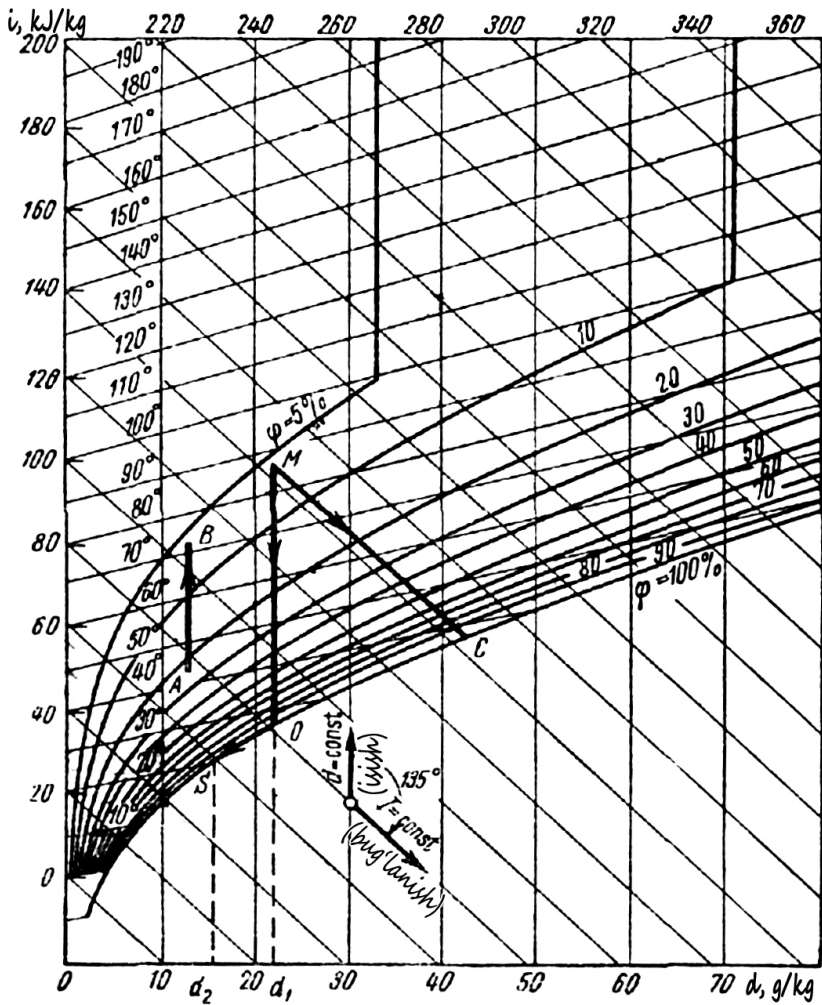
O'zgarmas entalpiya chizig'i (izoentalpiya) – (ordinata o'qiga 45° burchak ostida joylashgan to'qri chiziq) $h = \text{const}$.

Namlik saqlami chizig'i – $d = \text{const}$ – absissa o'qiga parallel.

$t = \text{const}$ – to'qri chizig'i.

$\varphi = \text{const}$.

p – chizig'i – havodagi suv bug'ining parsial bosimini aniqlashga imkon beradi.



28-rasm. Nam havoning $h-d$ diagrammasi

Masala.

$h-d$ diagrammadan foydalanib, harorati $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ va nisbiy namligi $\varphi = 70\%$ bo'lgan nam havoning entalpiyasi, namlik saqlami, parsial bosimi va shudring nuqtasini toping.

Yechish. $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ va ($\varphi = 70\%$ orqali diagrammada 1 nuqtani

belgilaymiz. 1 nuqta berilgan havoning holatini aniqlaydi. Bu nuqtadan $h = \text{const}$ chizig'iga parallel chiziq o'tkazib, entalpiyasi $h = 201$ kJ/kg havoga teng ekanligini aniqlaymiz. 1 nuqtadan $d = \text{const}$ ga vertikal tushirib, namlik saqlami – $d = 60$ g/kg, parsial bosim chizig'i bilan kesishgan nuqtada $P = 0,087$ bar, $\varphi = 100$ % egri chizig'i bilan kesishgan nuqtadan shudring nuqtasini $t_p = 42$ °C ni topamiz (28-rasm). Demak, javob: $h = 201$ kJ/kg; $d = 60$ g/kg; $P = 0,087$ bar; $t_p = 42$ °C.

Nazorat uchun savollar

1. Nam havo deb nimaga aytiladi?
2. Nam havoning asosiy xarakteristikalarini izohlab bering.
3. Nisbiy namlik deb, nimaga aytiladi?
4. Nam saqlamining mazmuni nimani ifodalaydi?
5. Nam havoni aralashma deb aytsa, bo'ladimi?
6. Nam havoni $h-d$ diagrammasida qanday chiziqlar chizilgan?
7. $h-d$ diagrammada qizitilish va sovitilish holatlarini chizib ko'rsating.

VIII bob. KOMPRESSOR

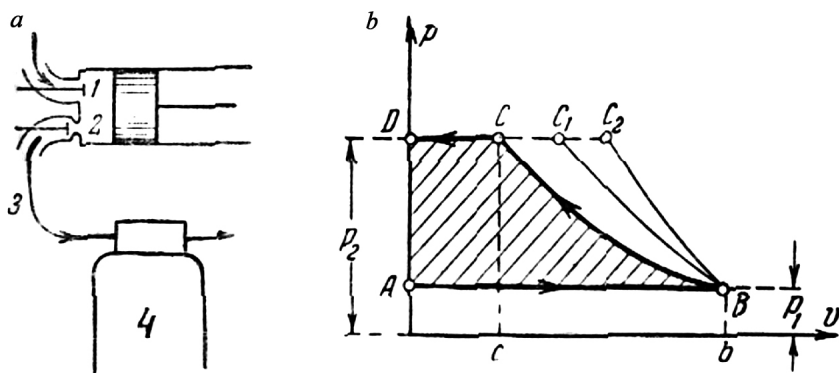
36-§. Kompessorlar va ularning turlari

Kompessorlar turli gazlarni siqish uchun xizmat qiladi. Kompessorlarda olinadigan siqilgan havo, texnikaning turli so-halarida keng qo'llaniladi. Masalan: siqilgan havoda ishlovchi bo'lg'alarda, metallurgiya sanoatida, o'choqlarga havo purkash-da, metallarga qurilishda: pardozlash ishlarini bajarishda, metall quymalarning sirtini qumli oqim bilan tozalashda va hokazolar.

Ular porshenli, ro'tatsion, markazdan qochma va o'qli kom-pressorlarga bo'linadi.

Porshenli kompressorlar. Bir pog'onali porshenli kompressor-ning chizmasini ko'rib chiqamiz (29-rasm).

Porshen (29- a rasm) pastga harakatlanganda, silindrdagi bo-sim atmosfera bosimiga nisbatan kamayib ketadi, natijada atmo-sfera bosimining kuchi tufayli surish klapani (1) ochilib, silindr havo bilan to'ladi. Porshen qayta yuqoriga qarab harakatlangan-da, silindrdagi havo atmosfera bosimiga nisbatan katta bosim bi-



29-rasm. Bir pog'onali-porshenli kompressor

lan siqiladi, natijada surish klapani (1) yopilib, tashqi havoning silindr bilan aloqasi uziladi. Porshenning yuqoriga qarab harakatlaniishi davom etadi va silindrda havo haydash (2) klapanini va haydash quvuridagi siqilgan havo qarshiligini yenguniga qadar siqiladi. Shu daqiqada haydash klapani ochilib, siqilgan havo porshen yordamida resiver (4)ga kelib tushadi.

Bir pog'onali kompressorni P - V koordinatadagi grafigi (29- b rasm)ni ko'rib chiqamiz.

AB – surish jarayoni, BC – siqish jarayoni, CD – haydash jarayoni.

Siqish chizig'i havodan olib ketilayotgan issiqlik miqdoriga ko'ra BC – izotermik, BC_2 – adiabatik va BC_1 – politropik bo'lishi mumkin. Siqish jarayonida havoni sovutish suv orqali amalga oshiriladi.

Izotermik torayishda kompressorning ishi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$l = P_1 v_1 \ln \frac{P_2}{P_1} = +RT \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (141)$$

Agar so'rilayotgan havoning massasini M kg, hajmini v_1 , m^3 da ifodalansa, unda ish ifodasi quyidagicha ifodalanadi:

$$L_0 = P_1 V_1 \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (142)$$

Izotermik torayishdagi olib ketilgan issiqlik quyidagicha aniqlanadi:

$$q = l_0 \text{ yoki } Q = L_0$$

Adiabatik torayishdagi ish quyidagicha aniqlanadi:

$$l_0 = \frac{k}{k-1} P_1 v_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (143)$$

Agar so'rilayotgan havo massasi M kg, hajmi V m^3 da bo'lsa, u holda:

$$L_0 = \frac{k}{k-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (144)$$

Undan tashqari adiabatik siqilishda kompressorning ishi quyidagicha aniqlanadi:

$$l_0 = h_2 - h_1 \quad (145)$$

bu yerda, h_1 va h_2 – havoning boshlang'ich va oxirgi entalpiya kataliklari.

Politropik torayishda bajarilgan ish quyidagicha aniqlanadi:

$$l_0 = \frac{n}{n-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (146)$$

Agar so'rilayotgan havo massasi M kg, hajmi V m³ da berilsa, u holda ish quyidagicha aniqlanadi:

$$L_0 = \frac{n}{n-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (147)$$

Izotermik torayish davomida kompressorni ishga tushirishdagi nazariy quvvati (kVt):

$$N_{is} \frac{P_1 V \ln \lambda}{10^3} = \frac{P_1 V \ln \frac{P_2}{P_1}}{10^3} \quad (148)$$

Adiabatik torayishdagi nazariy quvvat (kVt):

$$N_{ad} \left(\frac{k}{k-1} \frac{P_1 V}{10^3} \right) \left(\lambda^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \quad (149)$$

bunda, k – adiabat koeffitsienti.

Politropik torayishdagi nazariy quvvat (kVt):

$$N_{pol} = \left(\frac{n}{n-1} \frac{P_1 V}{10^3} \right) \left(\lambda^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \quad (150)$$

bunda, k – politropa koeffitsienti.

Kompressor sovishi bilan ishlashidagi effektiv quvvati:

$$N_e = \frac{N_{iz}}{\eta_{e,iz}} \quad (151)$$

bunda, $\eta_{e,iz}$ – kompressorning izotermik effektiv FIK.

Kompressorning sovimasdan avvalgi effektiv quvvati (kVt):

$$\eta_e \frac{N_{ad}}{\eta_{e.ad}} \quad (152)$$

bunda, $\eta_{e.ad}$ – kompressorning adiabatik effektiv FIK

Kompressorning effektiv FIK

$$\eta_{e.iz} = \eta_{iz} \cdot \eta_m \quad \eta_{e.ad} = \eta_{ad} \cdot \eta_m \quad (153)$$

η_{iz} , η_{ad} – kompressorning izotermik va adiabatik indikator FIK

η_m – kompressorning mexanik FIK.

Porshenli kompressorning indikator yoki ichki quvvati (kVt):

$$N_i = \frac{P_i V_n n}{10^3} \quad (154)$$

bunda, P_i – o'rtacha indikator bosim, Pa;

V_n – silindrning ishchi hajmi, m³;

n – valning aylanish chasto'tasi, ay/sek.

Kompressorning effektiv quvvati (kVt)

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_m} \quad (155)$$

37-§. Ko'p pog'onali kompressorlar

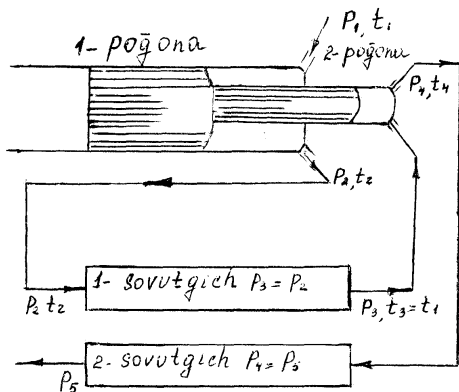
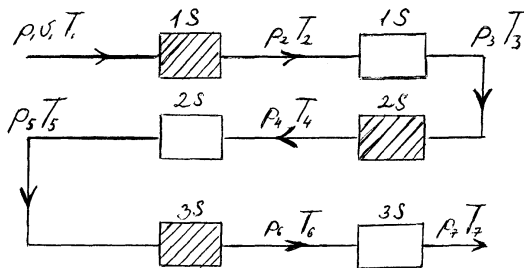
Biz korib chiqqan bir pog'onali kompressorlarda siqilgan havoning bosimi uncha yuqori bo'lmaydi hamda silindr va uning qopqog'i orasida siqilib ulgurmagani havoning miqdori ko'payib ketadi. Bu esa, o'z navbatida, kompressorning unumdorligini pasaytirib yuboradi.

Yuqori bosimli siqilgan havo hosil qilish uchun ko'p pog'onali kompressorlar ishlatiladi, bunda havoning torayishi bir nechta ketma-ket silindrlarda oraliq sovutish bilan amalga oshiriladi.

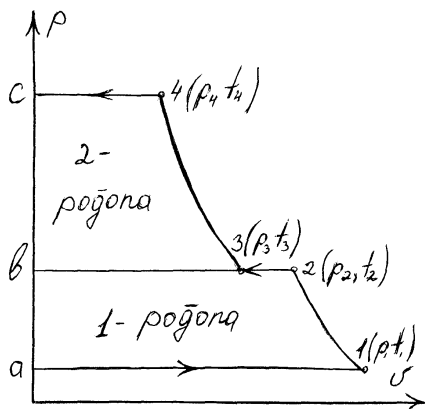
Uni quyidagi chizmada ko'rishimiz mumkin:

Har bir silindrda havoni ushbu usulda torayishini mumkin bo'lgan harorat rejimida amalga oshirish mumkin.

Rasmda ikki pog'onali qurilmaning chizmasi va diagrammasi keltirilgan.



30-rasm.  - sovutgich;  - kompressor



P-V diagrammada:

a-1 – birinchi silindrda havoni soʻrilishi;

1-2 – birinchi silindrda havoni torayishi;
 2-*b* – havoni birinchi sovutgichga yuborilishi;
 V-3 – sovigan havoni birinchi sovutgichga, ikkinchi silindrda soʻrilishi.

Bosimni orttirish darajasi kop pogʻonali kompressorning har bir pogʻonasida quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\lambda = n^2 \sqrt{\frac{P_z}{P_1}} \sqrt{\frac{P_z}{P_1}} \quad (156)$$

bunda, *z* – kompressor pogʻonalari soni;
P_z – oxirgi pogʻonadan chiqishdagi gazning bosimi, Pa;
P₁ – birinchi pogʻonaga kirishdagi gazning bosimi, Pa;
 (ψ = 1,1, ..., 1,5 – pogʻonalar orasida bosimni yoʻqolishini hisobga oluvchi koeffitsiyenti.

Kompressorning nazariy uzatishi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$V_H = 2el(\pi D - z\delta)n \quad (157)$$

bunda, *e* – eksentrisitet, m;
l – rotur uzunligi, m;
D – korpusning ichki diametri, m;
z – plastinkalar soni;
 δ – plastinka qalinligi, m;
n – valning aylanish chastoʻtasi, ay/sek.

Kompressorning haqiqiy uzatishi quyidagi ifodadan aniqlanadi.

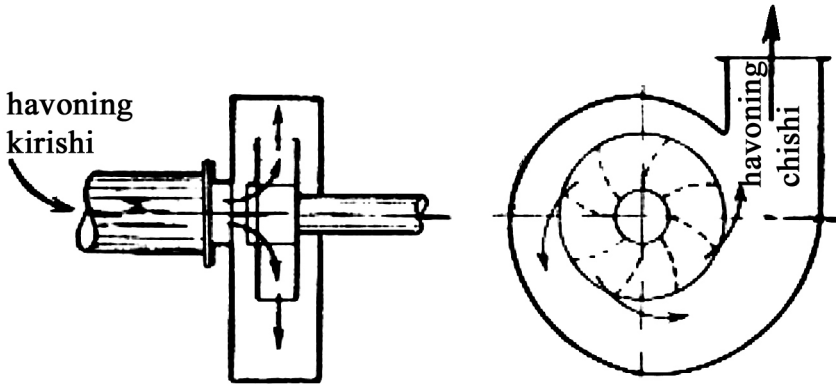
$$V = 2\eta_V el(\pi D - z\delta)n \quad (158)$$

bunda, (*V* – kompressorning uzatish koeffitsiyenti.

Kompressorni ishga tushishidagi nazariy va effektiv quvvati sovutish bilan (149), (151) ifodadan, sovimasdan (149) va (152) ifodalardan aniqlanadi.

38-§. Markazdan qochma kompressorlar

Markazdan qochma kompressorlarda havoni siqish markazdan qochma kuchlar hisobiga amalga oshadi.



31-rasm.

Havo markazdagi teshik orqali aylanayotgan ishchi parraklarga keladi. Havo kanallardan o'tib haydash quvuriga yo'naltiriladi.

Kompressorning adiabatik FIK:

$$\eta_{a4} = \left(\lambda^{\frac{k-1}{k}} - 1\right) \left(\lambda^{\frac{k-1}{k\eta_{pol}}} - 1\right) \quad (159)$$

bunda, η_{pol} – kompressorning politropik FIK ($\eta_{pol} = 0,78...0,82$)
Kompressorning ishlashidagi effektiv quvvati (kVt)

$$N_e = \frac{M(h_2 - h_1)}{\eta_{ad} \cdot \eta_n} \quad (160)$$

bunda, h_1, h_2 – gazning adiabatik torayishidagi va birinchi pog'onaga kirishdagi entalpiyasi, kJ/kg.;

M – kompressorning massaviy uzatishi, kg/sek.

Nazorat uchun savollar

1. Kompressor qurilmasining vazifasini tushuntirib bering.
2. Kompressorlarning turlari qanday?
3. Kompressorda qanday termodinamik jarayonlar hosil bo'ladi?
4. Kompressorning nazariy quvvati qanday aniqlanadi?
5. Kompressorlarda bajarilgan ish qanday aniqlanadi?

6. Kompessorning indikator diagrammasini chizib, undagi bo'ladigan jarayonlarni tushuntirib bering.

7. Nazariy diagramma bilan indikator diagrammalarning farqi nimada?

IX bob. ICHKI YONUV DVIKATEL SIKLLARI

39-§. Ichki yonuv dvigatellari haqida tushuncha

Ichki yonuv dvigatellari avtomobillarda, samolyotlarda, tanklarda, traktorlarda, motorli lotkalar va boshqalarda quyiladi.

To'rt taktli benzinda ishlaydigan dvigatelni ko'rib chiqamiz: ichki yonuv dvigatelining asosiy qismi bo'lib, yoqilg'i yonishini hosil qiluvchi bir va bir nechta silindr hisoblanadi. Silindrning ichida esa porshen harakatlanadi. Porshen metall sterjen bilan ta'minlangan bo'lib, u porshenni shatun bilan bog'lashga xizmat qiladi. Shatun esa, o'z navbatida, porshen orqali tirsakli valga harakatni berishga xizmat qiladi. Silindrning yuqori qismida ikkita yopiq klapanlari bo'lib, biri yoqilg'ini purkashga xizmat qilsa, ikkinchisi ishlatilib bo'lgan gazlarni chiqarib yuborishga xizmat qiladi. Klapanlar po'latli sterjenlarni harakati tufayli hisobga ochiladi. Klapanlardan tashqari silindrning yuqori qismida svecha joylashgan – bu aralashmani elektr uchqun yordamida yonishga xizmat qiladi.

Benzinli ichki yonuv dvigatellarida yonuvchi aralashmani hosil qiluvchi asosiy qismi karbyurator hisoblanadi. Dvigatelni ish bajarishi 4 ta taktdan iboratdir.

I takt – so'rish. So'ruvchi klapan ochilib, porshenni pastga qarab harakatlanish davomida yonuvchi aralashma karbyuratordan silindrga o'tadi.

II takt – torayish. So'ruvchi klapan yopilishi bilan porshenning yuqoriga harakatlanishi tufayli aralashma siqiladi.

III takt – yonish. Porshen eng yuqori holatga o'tganda, aralashma svecha orqali beriladigan elektr uchqun yordamida yoqiladi. Shuni hisobiga bosim ko'tarilganligi tufayli, kuch porshenni yana pastga itaradi, bu harakat tirsakli valga beriladi, shuni natijasida ish bajariladi. Ish bajarilish hisobiga yoqilg'i mahsulotlari soviydi va bosim pasayib bosim atmosfera bosimigacha yetib keladi.

IV takt – chiqarib yuborish. Chiqarib yuboruvchi klapan ochilib ishlatilib bo'lgan gazlar tashqi muhitga glushitel orqali chiqarib yuboriladi. Yuqorida keltirilgan taktlardan uchinchisi ishchi bo'lib hisoblanadi.

40-§. Dizel dvigatelining tuzilishi

Bizga ma'lumki, ichki yonuv dvigatellarining foydali ish koefitsiyentini oshirish uchun torayish darajasini oshirishimiz zarur bo'ladi. Siqilish yuqori bo'lganda yonuvchi aralashma kuchliroq isiydi va yoqilg'ini yonishida harorat yuqori bo'ladi. Siqilish darajasini oshirish esa dvigatel detallarini detonatsiyasi (darz ketishi) ga olib keladi. Ana shunday kamchilikni XIX asr oxirida R. Dizel olimi tomonidan tuzilgan dvigatelda bartaraf qilingan. Dizel dvigatelda yo'nuvchi aralashma emas, balki toza havo siqiladi. Siqilish 11–12 marotaba olib boriladi, bunda havoning harorati 500–600 °C gacha ko'tariladi. Siqilish jarayoni tugashi bilan silindrga forsunka orqali suyuq yoqilg'i purkaladi. Silindrda gi siqilgan havoning yuqori harorati tufayli yonish jarayoni bo'ladi. Neftni yonishi jarayoni avtomobil dvigatellariga qaraganda uzoqroq davom etadi. Porshen pastga qarab harakatlanadi va ish bajaradi. So'ngra ishlatilib bo'lgan gazlar atrof-muhitga chiqarib yuboriladi.

Dizel dvigatellari benzinli dvigatellarga qaraganda (38 %ga) iqtisodli hisoblanadi. Dizel dvigatellari teploxodlarda, traktorlarda, yuk mashinalarida quyiladi. Bu dvigatelning eng asosiy yaxshi tomonlaridan biri shuki, u arzon yoqilg'ida ishlaydi. Undan tashqari ular alohida yondirish sistemasini talab qilmaydi.

41-§. Ichki yonuv dvigatellari nazariy sikllarining termodinamik tahlili

Mexanik energiya ishlab chiqarishning asosini tashkil etuvchi, issiqlikning ishga aylanishi bilan bog'liq bo'lgan jarayonlar, texnikada juda muhim ahamiyatga ega va bu maqsadda qo'llaniladigan mashinalar issiqlik dvigatellari deb ataladi.

Issiqlik dvigatellarida sodir bo'ladigan jarayonlarni tadqiqot qilishning ilmiy asosi esa texnik termodinamikadir.

Termodinamika fanining asoschisi, fransuz muhandis-fizigi Sadi Karno o'zining 1824-yilda nashr qilingan «Olovning harakatlantiruvchi kuchi va bu kuchni yuzaga keltiruvchi mashinalar» degan asarida issiqlikning ishga aylanish shartlarini o'rganib, ichki yonuv dvigatellarini yaratish mumkinligini bashorat qiladi. Silindr ichidagi porshen ostida yoqilg'ining bevosita yonishi hisobiga issiqlik dvigatellarida ishlaydigan, yonishning gazsimon mahsuloti ishlatiladi. Real dvigatellarda, Karno siklini amalga oshirish mumkin emasligini ta'kidlash lozim va shunga ko'ra, real dvigatellarning FIK (η_p) Karno siklining FIK (η_k) dan kichik bo'ladi. Ideal sikldagi izotermalar va adiabatlar qiyaliklari orasidagi ozgina farq keskin cho'zilgan diagramma siklini vujudga keltiradi.

Shuni qayd qilish kerakki, real sharoitlarda ishchi jismga izotermik ravishda issiqlik kiritish va issiqlik chiqarishga juda katta qiyinchiliklar tufayli erishish mumkin. Shuning uchun ham, ichki yonuv dvigatellarida izobarik va izoxorik issiqlik keltirish va issiqlik olib ketish jarayonlari qo'llaniladi. Bu esa o'z navbatida zarur (kerakli) bosimni keskin kamaytiradi, dvigatel konstruksiyasini soddalashtiradi, hamda ishqalanish tufayli yo'qotilishlarni kamaytiradi va natijada dvigatelning sodda, kompaktli va iqtisodiylikiga erishiladi.

Odatda, termodinamikada u yoki bu dvigatelning samaradorligi ko'rilayotganda, bu dvigatellarda sodir bo'layotgan jarayonlarni qaytar jarayon deb siklni yopiq sikl deb hisoblaydilar, ya'ni dvigatelning qandaydir ideallashtirilgan siklini qaraydilar.

Hozirgi vaqtda zamonaviy ichki yonuv dvigatellarida, issiqlik keltiradigan (beradigan) sikllarning quyidagi uch turidan foydalaniladi: o'zgarmas hajmda ($V = \text{const}$) issiqlik keltiruvchi, nemis muhandis fizigi N. Otto tomonidan 1876-yilda kashf qilingan sikl; o'zgarmas bosimda $P = \text{const}$ issiqlik keltiruvchi R. Dizel tomonidan kashf qilingan sikl; qisman o'zgarmas hajmda, qisman o'zgarmas bosimda issiqlik keltiruvchi 1904-yilda rus olimi G.V. Trinkler tomonidan kashf qilingan sikl. Shuni qayd qilish kerakki, barcha sikllarda issiqlik olib ketilishi, faqat izoxor jarayonida amalga oshiriladi. Siklning xarakteristikallari:

a) $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$ – torayish darajasi, gaz boshlang‘ich hajmi v_1 ni torayish jarayoni oxiridagi hajm v_2 – ga nisbati;

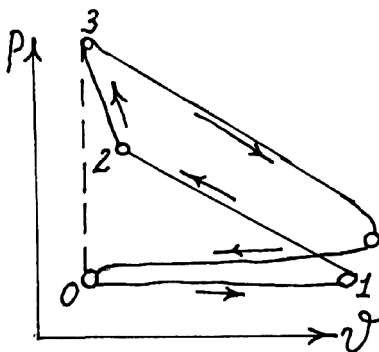
b) $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$ – issiqlik kiritilishdagi bosim ortish darajasi, ya‘ni o‘zgarmas bosimda issiqlik keltirilishi jarayoni oxirida va boshidagi gaz bosimlar nisbati;

d) $\rho = \frac{v_3}{v_2}$ – issiqlik keltirilishidagi dastlabki kengayish darajasi, ya‘ni aralash siklda issiqlik keltirish jarayoni oxiridagi gaz hajmini, boshlang‘ich holdagi gaz hajmiga nisbati.

42-§. $V=\text{const}$ bo‘lganda issiqlik keltiruvchi sikl

Real porshenli dvigatellarning ishini tekshirishni silindrni ichidagi porshenni holatini o‘zgarishini ko‘rsatuvchi diagrammadan foydalaniladi. Bu diagramma indikator deb ataluvchi asbob yordamida olingani uchun uni indikator diagramma deb ataladi. 29-rasmda o‘zgarmas hajmda yoqilg‘ini tez yonib bo‘luvchi sikli ko‘rsatilgan.

Hajm o‘zgarmaganda issiqlik keltiruvchi dvigatelning ideal siklini diagramma ko‘rinishi quyidagicha bo‘ladi.

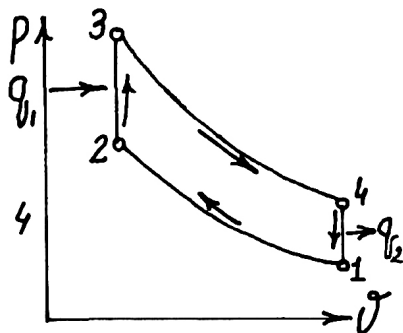


32-rasm. $V=\text{const}$ bo‘lganida issiqlik keltiruvchi IYDning indikator diagrammasi

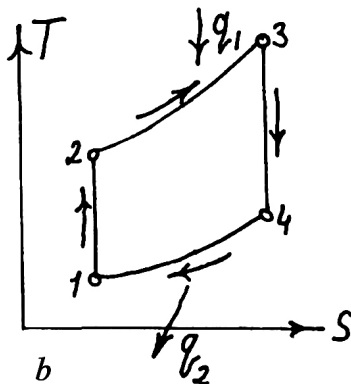
Bu sikl ikkita izoxora va ikkita adiabatadan tashkil topgan bo'lib, ideal gaz boshlang'ich parametrlari P_1, v_1 va T_1 bilan 1-2 chiziq orqali adiabatik 2 nuqtagacha siqiladi. So'ngra 2-3 chiziq orqali ishchi jismga issiqlik q_1 keltiriladi. 3 nuqtadan boshlab 3-4 chizig'i bo'ylab ishchi jism kengayadi, so'ngra 4-1 izoxora orqali q_2 issiqlik olib ketiladi.

Bu siklning xarakteristikasi bo'lib, torayish koeffitsiyent $\epsilon = \frac{v_1}{v_2}$

va bosimni oshirish darajasi $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$ hisoblanadi.



a



b

33-rasm. a - $v = \text{const}$ bo'lganida issiqlik keltiruvchi siklning $P-v$ diagrammasi; b - $v = \text{const}$ bo'lganida issiqlik keltiruvchi siklning $T-s$ diagrammasi

Shu siklning foydali ish koeffitsiyentini aniqlaymiz.

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}, \quad (161)$$

bu yerda, q_1 – keltirilgan issiqlik miqdori;
 q_2 – olib ketilgan issiqlik miqdori.

Keltirilgan issiqlik miqdori i :

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2) \quad (162)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori i esa:

$$q_2 = c_v (T_4 - T_1) \quad (163)$$

Termik FIK:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_v (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (164)$$

(164) tenglamadagi T_2, T_3, T_4 haroratlarini aniqlaymiz. 1–2 adiabatik jarayon bo'lgani uchun:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} \quad (165)$$

bundan,

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1} \quad (166)$$

2–3 izoxorik jarayon bo'lgani uchun:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} = \lambda. \quad (167)$$

bundan,

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda = T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda \quad (168)$$

3–4 adiabatik jarayon bo'lgani uchun:

$$\frac{T_4}{T_1} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (169)$$

bundan,

$$T_4 = T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \cdot \lambda \quad (170)$$

hamma topilgan qiymatlarni FIK ifodasiga quyish bilan quyidagini hosil qilamiz.

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2 - T_3}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \cdot \lambda - T_1}{T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda - T_1 \varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (171)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (172)$$

43-§. $P = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl

Avvalgi ko'rib chiqilgan siklning FIKdan ko'rinib turibdiki, uni oshirish uchun torayish darajasini oshirishimiz zarur bo'ladi, bu esa yonuvchi massaning o'z-o'zidan yonish harorati bilan cheklanadi. Hozirgi ko'radigan siklimiz shu cheklanishni yo'qotadi, bu esa yoqilg'i bilan havoni alohida torayish orqali amalga oshiriladi. Havo dvigatelning silindrida siqiladi, yoqilg'i esa yoqilg'i nasosida siqiladi.

Bunday siklni nemis muhandisi Dizel ixtiro qilgan. Bunday siklning $P-v$ va $T-s$ diagrammalari 34-rasmda ko'rsatilgan.

Bunday siklning FIK:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (173)$$

Keltirilgan issiqlik miqdori i :

$$q_1 = c_p(T_3 - T_2) \quad (174)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori i esa

$$q_2 = c_v(T_4 - T_1) \quad (175)$$

Olingan qiymatlarning FIK ifodasiga qo'yish natijasida:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1(T_4 - T_1)}{k(T_3 - T_2)} \quad (176)$$

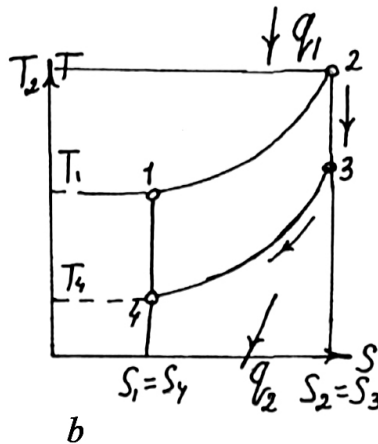
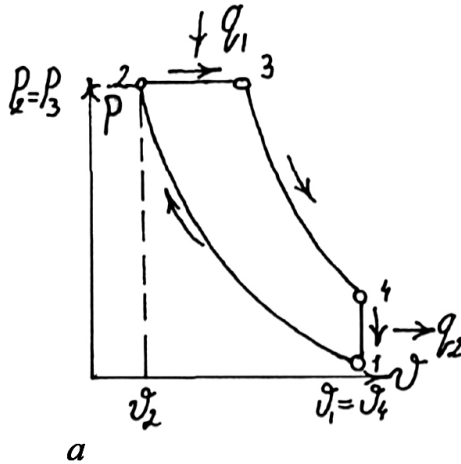
T_2, T_3, T_4 haroratlarni T_1 orqali ifodalaymiz.

1-2 adiabata orqali:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k = \varepsilon^{k-1} \quad (177)$$

bundan,

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1} \quad (178)$$



34-rasm. a – $P = \text{const}$ bo‘lganda issiqlik keltiruvchi siklning $P-v$ diagrammasi; b – $P = \text{const}$ bo‘lganda issiqlik keltiruvchi siklning $T-s$ diagrammasi

2–3 izobara orqali:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho \quad (179)$$

bundan,

$$T_3 = T_2 \cdot \rho = T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \rho \quad (180)$$

3-4 adiabata orqali:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{\rho v_2}{V_1}\right)^{k-1} \quad (181)$$

bundan,

$$T_4 = T_3 \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} = T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \rho \cdot \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \cdot \rho^k \quad (182)$$

Shu qiymatlarni FIK ifodasiga qo'yish bilan quyidagini hosil qilamiz.

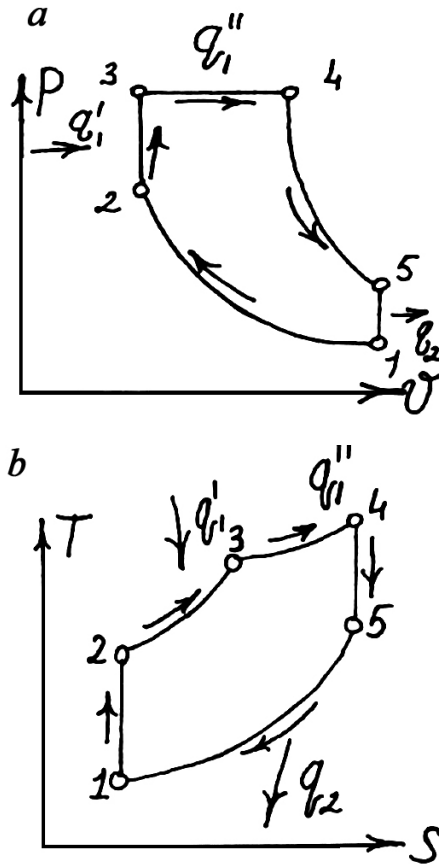
$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \cdot \rho^k - 1}{k(T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \rho - T_1 \varepsilon^{k-1})} = 1 - \frac{\rho^k - 1}{k \cdot \varepsilon^{k-1} (\rho - 1)} \quad (183)$$

Oxirgi ifodadan ko'rinib turibdiki, FIK ortishi torayish darajasi va adiabata ko'rsatkichlariga bog'liq ekan.

Bunday sikl bilan kompressorli dvigatellar ishlaydi va siqilgan havoning yuqori bosimi tufayli forsunka orqali yoqilg'i purkalishi natijasida yoqilg'ining yonish jarayoni amalga oshiriladi.

44-§. Aralashgan holda $V = \text{const}$ va $P = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl

Bu siklning afzalligi shundaki, kompressorsiz ishlaydigan sikl bo'lib, suyuq yoqilg'i yoqilg'i nasosidan yoqilg'i forsunkasi orqali silindrning bosh qismiga kichik tomchi shaklida yuboriladi. Bu tomchilar siqilgan havoga tushishi bilan avval hajm, so'ngra bosim o'zgarimganda yonadi. Bunday jarayonlar 35-rasmda ko'rsatilgan.



35-rasm. a – aralashgan holda issiqlik keltiruvchi siklning P - v diagrammasi; b – aralashgan holda issiqlik keltiruvchi siklning T - s diagrammasi

Ishchi jism P_1 , v_1 , T_1 parametrlar bilan adiabatik 1–2 chiziq bilan siqiladi. Izoxora 2–3 orqali ishchi jismga q_1' , izobara 3–4 orqali q_1'' issiqlik keltiriladi. So'ngra ishchi jism 4–5 adiabata chizig'i orqali kengayadi va 5–1 chiziq orqali q_2 issiqlik olib ketiladi. Shu siklni foydali ish koeffitsiyentini aniqlaymiz.

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1' + q_1''} \quad (184)$$

Keltirilgan issiqlik miqdori i :

$$q'_1 = c_v(T_3 - T_2) \quad (185)$$

$$q''_1 = c_p(T_4 - T_3) \quad (186)$$

Ajralgan issiqlik miqdori:

$$q_2 = c_v(T_5 - T_1) \quad (187)$$

Olingan qiymatlarning FIK ifodasiga qo'yish natijasida:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q'_1 + q''_1} = 1 - \frac{C_v(T_5 - T_1)}{C_v(T_3 - T_2) + C_p(T_4 - T_3)} \quad (188)$$

T_2, T_3, T_4, T_5 haroratlarni T_1 orqali ifodalaymiz.

1–2 adiabata orqali:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1}$$

bundan,

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1} \quad (189)$$

2–3 izoxora orqali:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \lambda \quad (190)$$

bundan, $T_3 = T_2 \lambda = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \lambda \quad (191)$$

3–4 izobara orqali:

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{V_4}{V_3} = \rho, \quad (192)$$

bundan,

$$T_4 = T_3 \cdot \rho \text{ va } T_4 = T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda \cdot \rho \quad (193)$$

4–5 adiabata orqali:

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{k-1} = \left(\frac{V_4}{V_1}\right)^{k-1} \quad (194)$$

$$\rho : \varepsilon \frac{V_4}{V_3} : \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_1} \quad (195)$$

5–1 izoxora orqali:

$$\frac{T_5}{T_4} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad (196)$$

$$T_5 = T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda \cdot \rho \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}}; \quad T_5 = T_1 \cdot \lambda \cdot \rho^k \quad (197)$$

Shu qiymatlarni FIK ifodasiga quyish bilan quyidagini hosil qilamiz.

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} [(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)]} \quad (198)$$

Oxirgi ifodadan ko'rinib turibdiki, siklning FIK k , ε , λ , ρ larining o'zgarishi bilan o'zgaradi.

Masala.

Porshenli ichki yonuv dvigateli $v = \text{const}$ da yoqilg'ini yonish sikli bo'yicha ishlaydi. Shu siklni har bir nuqtasidagi parametrlarini, olingan ishni, keltirilgan va olib ketilgan issiqlikni termik FIK-ni aniqlang, agar $P_1 = 1 \text{ bar}$, $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 3,6$; $\lambda = 3,33$; $k = 1,4$ bo'lsa. Ishchi jism – havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

Yechish. Hisoblashni 1 kg havo uchun olib boramiz:

1-nuqta:

$$P_1 = 1 \text{ bar}, \quad t = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

holat tenglamasidan $P_1 v_1 = RT_1$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 293}{1 \cdot 10^5} = 0,84 \text{ m}^3/\text{kg}$$

2-nuqta:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 3,6 \quad v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,84}{3,6} = 0,233 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Adiabatik torayishdagi harorat

$$T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = 293 \cdot 3,6^{0,4} = 489 \text{ K}$$

$$t_2 = 216 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_2 = \frac{RT_2}{v_2} = \frac{287 \cdot 489}{0,233} = 6,02 \text{ bar}$$

3-nuqta:

$$v_3 = v_2 = 0,233 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Izoxor jarayonda parametrlar orasidagi bug'lanishga asoslanib:

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \lambda = 3,33$$

$$P_3 = P_2 \lambda = 6,02 \cdot 3,33 = 20 \text{ bar.}$$

$$T_3 = T_2 \lambda = 489 \cdot 3,33 = 1628 \text{ K, } t_3 = 1355 \text{ }^\circ\text{C}$$

4-nuqta:

$$P_3 = P_2 \lambda = 6,02 \cdot 3,33 = 20 \text{ bar.}$$

$$T_3 = T_2 \lambda = 489 \cdot 3,33 = 1628 \text{ K, } t_3 = 1355 \text{ }^\circ\text{C}$$

5-nuqta:

$$v_4 = v_1 = 0,84 \text{ m}^3/\text{kg.}$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = T_3 \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = 1628 \frac{1}{3,6^{0,4}} = 976 \text{ K}$$

$$P_4 = P_1 \frac{T_4}{T_1} = 1 \frac{976}{293} = 3,33 \text{ bar}$$

$$q_1 = c_v(T_3 - T_2) = (20,93/28,96)(1628 - 489) = 825 \text{ kJ/kg}$$

$$q_2 = c_v(T_4 - T_1) = (20,93/28,96)(976 - 293) = 495 \text{ kJ/kg}$$

Termik FIK

$$\eta_t = (825 - 495)/825 = 0,4 = 40 \%$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{3,6^{0,4}} = 0,4 = 40 \%$$

Sikl ishi:

$$l_0 = q_1 - q_2 = 330 \text{ kJ/kg}$$

Nazorat uchun savollar

1. Ichki yonuv dvigatellari deb qanday dvigatellarga aytiladi?
2. Ichki yonuv dvigatellarining sikllari necha xil bo'ladi?
3. Ichki yonuv dvigatellarining sikllarining asosiy xarakteristikalarini ayting?
4. Hajm o'zgarmaganda issiqlik keltiruvchi siklning FIKni ifodasini yozib bering.
5. Hajm o'zgarmaganda issiqlik keltiruvchi siklning FIKni qanday oshirish mumkin?
6. Dizel siklining FIKni ifodasida asosiy rol o'ynaydigan fakturlar nimalar?
7. Aralash holda issiqlik keltiruvchi termodinamik jarayonlarini sozlab bering.
8. Dvigatellarini ishlash uslubini tushuntirib bering.

X bob. GAZ TURBINA QURILMALARINING SIKLLARI

45-§. Gaz turbina qurilmalari (GTQ)

Porshenli ichki yonuv dvigatellarining asosiy kamchiligi quvvatining cheklanganligi, ishchi jismni adiabatik kengayishini atmosfera bosimiga olib borib bo'lmastir. Bunday kamchilik gaz turbina qurilmalarida bo'lmaydi. Ularda ishchi jism sifatida suyuq yoki gaz yoqilg'ilarni yonishidan hosil bo'lgan mahsulotlari ishlatiladi. Ishchi jism yuqori harorat va bosim bilan yonish kamerasidan soploga yuboriladi va katta tezlik bilan turbinaning parraklariga uriladi, uning kinetik energiyasi mexanik energiya olish uchun ishlatiladi.

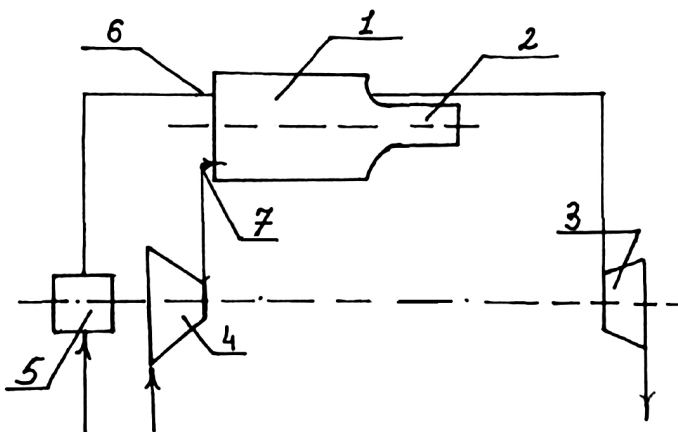
GTQning ichki yonuv dvigatellariga qaraganda ancha qulaylik tomonlari bor: kam metall sarflanishi, og'irligini kamligi, quvvatini ko'pligi, yuqori aylanishlar soniga ega. Lekin ularni qurishda ko'p masalalarni yechishga to'g'ri keladi. Eng avval turbinaga kelayotgan gazning haroratini oshirish zarur, bu esa GTQ sining FIKni oshiradi.

46-§. $P = \text{const}$ bo'lgandagi issiqlik keltiruvchi GTQning sikli

$P = \text{const}$ bo'lganda yoqilg'ini yonishiga ega bo'lgan siklning chizma tasviri 36-rasmda ko'rsatilgan.

Kompressor (4)da siqilgan havo quvvuri (7) orqali va yoqilg'i nasos (5)dan forsunka (6) orqali yonish kamerasi (1)ga kelib tushadi. Bu yerda, yonish jarayoni amalga oshadi va yonish mahsulotlari soploga tushib, u yerda ishchi jism atmosfera bosimiga yaqin bo'lgan bosimgacha kengayadi. So'ngra soplodan gaz turbinasi (3)ning ishchi parraklariga kelib urilib, atmosferaga chiqa-

rib yuboriladi. Shunday siklni $P-v$, $T-s$ diagrammasi 36-rasmlarda koʻsatilgan. Ishchi jism P_1 , v_1 , T_1 parametrlar bilan adiabatik ravishda 1–2 siqildi. Soʻngra ishchi jismga issiqlik keltirildi, bu izobara chizigʻi 2–3 orqali amalga oshirildi.



36-rasm. $P=\text{const}$ boʻlgandagi issiqlik keltiruvchi GTQ sikli:
 1 – yonish kamerasi; 2 – soplo; 3 – gaz turbinasi; 4 – kompresor;
 5 – yoqilgʻi nasosi; 6 – forsunka; 7 – havo quvuri.

Ishchi jism turbinada adiabatik kengayadi (3–4 chizigʻi), keyin ishchi jism avvalgi boshlangʻich holatiga qaytadi (4–1 chizigʻi). Bu siklning xarakteristikasi boʻlib, bosimni oshirish darajasi $\beta = \frac{P_2}{P_1}$ va

izobar kengayish darajasi $\rho = \frac{v_3}{v_2}$ hisoblanadi.

T siklning FIKni hisoblaymiz:

$$\eta_t^{\text{GTQ}} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (199)$$

Keltirilgan issiqlik miqdori:

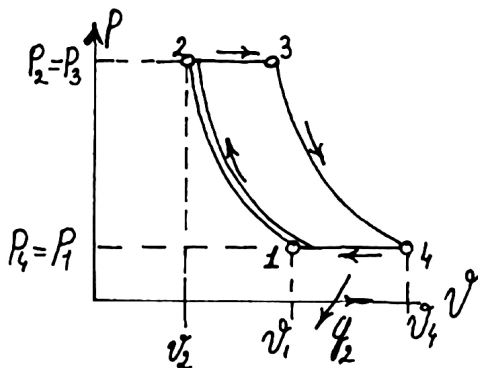
$$q_1 = c_p (T_3 - T_2) \quad (200)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori esa:

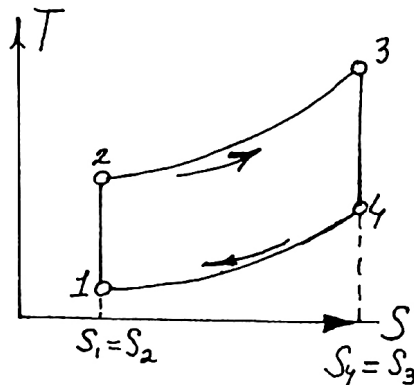
$$q_2 = c_p (T_4 - T_1) \quad (201)$$

T_2, T_3, T_4 haroratlarini T_1 orqali ifodalaymiz.
1-2 adiabatga orqali:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \beta^{\frac{k-1}{k}} \quad (202)$$



37-rasm. $P = \text{const}$ GTQ $P-v$ diagrammasi



38-rasm. $P = \text{const}$ GTQ $T-s$ diagrammasi

bundan,

$$T_2 = T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \quad (203)$$

2–3 izobara orqali:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho \quad (204)$$

bundan,

$$T_3 = T_2 \quad \text{va} \quad T_3 = T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \cdot \rho \quad (205)$$

3–4 adiabata orqali:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} \quad (206)$$

bundan,

$$T_4 = T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \cdot \rho \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} = T_1 \cdot \rho \quad (207)$$

Shu qiymatlarni FIK ifodasiga qo'yish bilan quyidagini hosil qilamiz.

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1 \rho - T_1}{T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \rho - T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{\rho - 1}{\beta^{\frac{k-1}{k}} (\rho - 1)}, \quad (208)$$

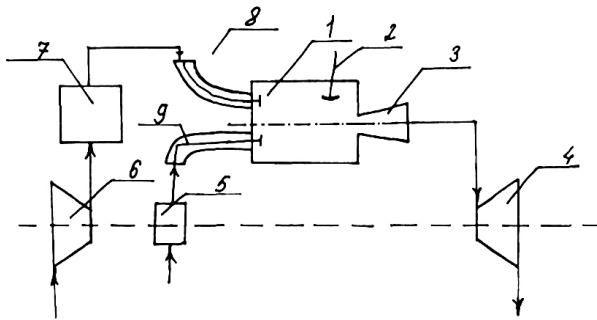
$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}. \quad (209)$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, FIK bosimni oshirish darajasiga va adiabata ko'rsatkichiga bog'liq bo'ladi.

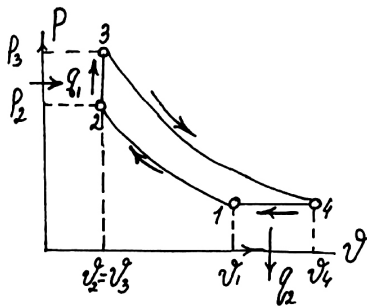
47-§. $v = \text{const}$ jarayonida issiqlik keltiruvchi gaz turbina qurilmasining sikli

Bu siklning chizma tasviri 39-rasmda keltirilgan.

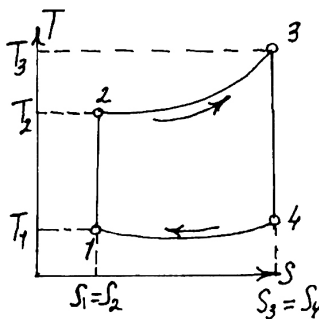
Kompressorda siqilgan havo resiver orqali havo klapanidan yonish kamerasiga kelib tushadi. U yerga yoqilg'i nasosidan yoqilg'i tushib, yonish jarayoni amalga oshadi, so'ngra yonishda hosil bo'lgan mahsulotlar gaz turbinasida adiabatik kengayadi, ishlatilib bo'lingan gazlar tashqariga chiqarib yuboriladi. Bunday siklning $P-v$ va $T-s$ diagrammasini quyidagi chizmada ko'ramiz.



39-rasm. $v = \text{const}$ GTQsining chizma tasviri: 1 – yonish kamerasi; 2 – soplo quvuri; 3 – soplo; 4 – gaz turbinasi; 5 – yoqilg‘i nasosi; 6 – kompressor; 7 – resserver; 8 – havo klapani; 9 – forsunka



40-rasm. $v = \text{const}$ bo‘lganda issiqlik keltiruvchi GRQ siklining $P-v$ diagrammasi



41-rasm. $v = \text{const}$ bo‘lganda issiqlik keltiruvchi GTQ siklining $T-s$ diagrammasi

Bu siklning xarakteristikallari bo'lib, bosimni oshirish darajasi $\beta = \frac{P_2}{P_1}$ va qo'shimcha bosimni oshirish darajasi $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$ hisoblanadi.

Keltirilgan issiqlik miqdori:

$$q_1 = c_p(T_3 - T_2) \quad (210)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori esa:

$$q_2 = c_p(T_4 - T_1)$$

q_1 va q_2 ning qiymatlarini FIK aniqlash ifodasiga qo'yib, quyidagilarni olamiz:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{k(T_4 - T_1)}{T_3 - T_2} \quad (211)$$

T_2, T_3, T_4 haroratlarni T_1 orqali ifodalaymiz.

1–2 adiabata orqali:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \beta^{\frac{k-1}{k}} \quad (212)$$

bundan,

$$T_2 = T_1 = \beta^{\frac{k-1}{k}} \quad (213)$$

2–3 izoxora orqali:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} = \lambda \quad (214)$$

bundan,

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda \quad \text{va} \quad T_2 = T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \cdot \lambda \quad (215)$$

3–4 adiabata orqali:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_1}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_1}{P_2 \lambda}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{1}{(\lambda \beta)^{\frac{k-1}{k}}} \quad (216)$$

bundan,

$$T_4 = T_3 \left(\frac{1}{\beta \lambda}\right)^{\frac{k-1}{k}} = T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \lambda \left(\frac{1}{\beta \lambda}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad \text{va} \quad T_4 = T_1 \lambda^{\frac{k-1}{k}} \quad (217)$$

Olingan ifodalarning qiymatlarini FIK ifodasiga quyish bilan quyidagini hosil qilamiz.

$$\eta_t = 1 - \frac{\frac{1}{k(\lambda^k - 1)}}{\beta^k (\lambda - 1)}, \quad (218)$$

(183) ifodadan ko'rinib turibdiki, siklning FIK k , β , λ kattaliklarni ortishi bilan ortadi.

Masala.

Bosim o'zgarmas bo'lgandagi gaz turbina qurilmasining ($P=\text{const}$) siklini har bir nuqtasidagi parametrlarini, foydali ishini, keltirilgan va olib ketilgan issiqlikni, FIKni aniqlang, agar $P_1=1$ bar, $t_1=27^\circ\text{C}$ $t_2=700^\circ\text{C}$, $\beta=P_2/P_1=10$; $k=1,4$ berilgan bo'lsa. Ishchi jism – havo. Issiqlik sig'imini o'zgarmas deb hisoblang.

Yechish.

1-nuqta: $t_2=700^\circ\text{C}$, $\beta=P_2/P_1=10$; $k=1,4$ m^3/kg

$$2\text{-nuqta: } \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}; \quad T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_2 = 300 \cdot 10^{0,4/1,4} = 300 \cdot 1,93 = 579 \text{ K}$$

$$t_2 = 306^\circ\text{C}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \beta \quad P_2 = P_1 \beta = 1 \cdot 10 = 10 \text{ bar}$$

$$P_2 v_2 = R T_2 v_2 = \frac{R T_2}{P_2} = \frac{287 \cdot 579}{10 \cdot 10^5} = 0,166 \text{ m}^3/\text{kg}$$

3-nuqta: $T_3=700+273=973 \text{ K}$

$$P_3=P_2=10 \text{ bar}$$

$$v_3 = v_2 \frac{T_3}{T_2} = 0,166 \frac{973}{579} = 0,279 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Issiqlik miqdori:

$$q_1 = q_{2-3} = c_p(T_3 - T_2) = (29,31/28,96)(973 - 579) = 399 \text{ kJ/kg}$$

$$q_2 = q_{4-1} = c_p(T_4 - T_1) = (29,31/28,96)(500 - 300) = 202 \text{ kJ/kg}$$

Siklning ishi:

$$l_0 = q_1 - q_2 = 399 - 202 = 197 \text{ kJ/kg}$$

Siklning termik FIK:

$$\eta_t = 1 - q_2 / q_1 = 1 - (202 / 399) = 0,494.$$

Nazorat uchun savollar

1. Gaz turbina qurilmalarining asosiy qulayliklari.
2. GTQLarni qayerlarda qurish mumkin?
3. $V=\text{const}$ issiqlik keltiruvchi siklning chizma tasvirini chizib ko'rsating.
4. $V=\text{const}$ issiqlik keltiruvchi siklning $R-V$ va $T-s$ diagramasini chizib ko'rsating.
5. $P=\text{const}$ issiqlik keltiruvchi siklning chizma tasvirini chizib ko'rsating.
6. $P=\text{const}$ issiqlik keltiruvchi siklning $R-v$ va $T-s$ diagramasini chizib ko'rsating.
7. Ikkala siklning FIK qanday kattaliklarga bog'liq.

XI bob. SOVUTISH QURILMALARI SIKLLARI

48-§. Sovutish qurilmalari

Termodinamikaning ikkinchi qonuniga asosan, teskari Karno sikli bo'yicha past haroratli manbadan yuqori haroratli manbaga issiqlikni mexanik ish sarflab olinadi. Atrof-muhitning haroratidan doim past haroratni ta'minlovchi qurilmalarga sovutish qurilmalari deyiladi.

Sovutish qurilmalarida issiqlik-kuch qurilmasidagi kabi ish jismini siquvchi qurilma (kompressor yoki nasos) va ishchi jismni kengaytiradigan qurilma bo'ladi. Sovutish qurilmasida ishchi jismi (xladoagent)ning ish bajarib kengayish jarayonida sovutish uchun ishlatiladigan qurilmalar detanderlar deb ataladi. Detanderlar issiqlik jihatidan yaxshilab izolyatsiya qilinadi, bunda kengayish jarayoni adiabatik jarayonga iloji boricha yaqin bo'ladi. Detanderlar porshenli va turbinali detanderlarga bo'linadi. Porshenli detanderning chizma tasviri porshenli dvigatel chizmasiga, turbinali detanderning chizmasi esa gaz turbina chizmasiga o'xshash bo'ladi.

Sovutish qurilmasi siklining effektivligini oshirish uchun sovutish koeffitsiyenti deb ataladigan koeffitsiyent $\bar{\epsilon}$ qo'llaniladi; u quyidagicha aniqlanadi:

$$\bar{\epsilon} = \frac{q_2}{l_s} \quad (219)$$

bu yerda, q_2 – ajralgan issiqlik miqdori;
 l_s – siklning bajargan ishi.

$$\bar{\epsilon} = \frac{q_2}{q_1 - q_2} \quad (220)$$

bo'ladi.

Sovutish qurilmalari xladoagent turi bo'yicha ikkita asosiy guruhga bo'linadi:

1. Gazli (jumladan, havoli) sovutish qurilmalari; havoli sovu-tish qurilmasida havo to'yinish chizg'idan uzoq bo'lgan holatda bo'ladi;

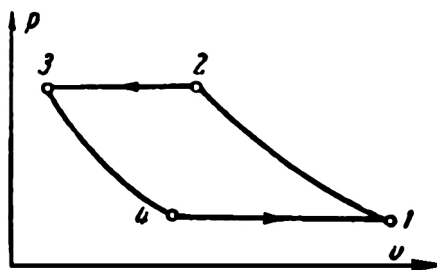
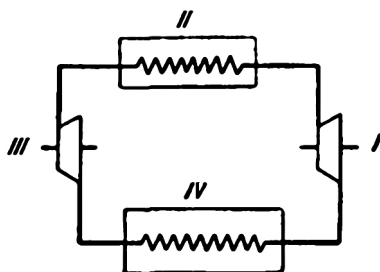
2. Bug'li sovutish qurilmalari, ularda xladoagent sifatida turli moddalarning bug'laridan foydalaniladi.

Bug'li sovutish qurilmalari o'z navbatida bug'-kompresorli, bug'-ejektorli va absorbsion qurilmalarga bo'linadi.

Bu qurilmalarda ishchi jism bo'lib, past haroratda qaynaydigan suyuqlik: ammiak, oreon, uglekislota va boshqalar ishlatiladi.

49-§. Havoli kompressor sovutish mashinasi

Kompressorda havo adiabatik (1–2) siqilib, havo sovutgichda sovutilib, detanderga yuboriladi. Detanderda havo adiabatik (3–4) kengayadi, harorati kamayadi. Songra sovutish xonasiga yubori-ladi. Sovutish xonasida sovutilayotgan jismlardan (4–1) issiqlikni olib, kompressorga yuboriladi va barcha jaroyon qaytariladi.



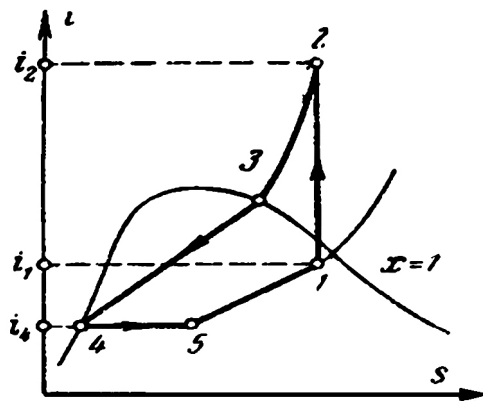
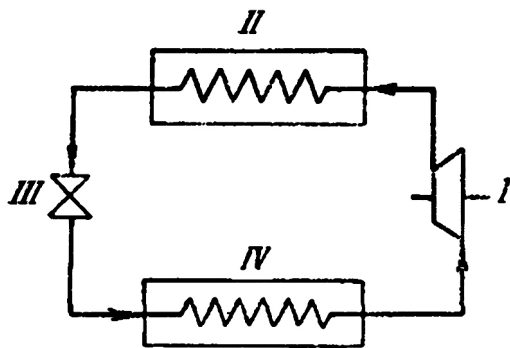
42-rasm. I – kompressor; II – havoli sovutgich; III – detander;
IV – sovutish xonasi.

Bu qurilmaning sovutish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1} \quad (221)$$

Havoli kompressor sovutish qurilmalari juda katta qo'pol bo'lgani uchun bug'li sovutish qurilmalari ishlatiladi.

50-§. Bug'li sovutish qurilmalari



43-rasm. I – kompressor; II – kondensator; III – drossel ventili; IV – sovutish xonasi

Kompressorda bug'adiabatik (1–2) siqiladi, keyin kondensatorida $p=\text{const}$ da sovitiladi (2–3), so'ngra bug' kondensatga (3–4) aylanadi. Suyuqlik drossel ventelida drossellanadi, ya'ni bosimi kamayadi (4–5). So'ngra past haroratli nam to'yingan bug' sovutish xonasida issiqlikni olib (5–1) quritilib, kompressorga yuboriladi.

Sovutish koeffitsiyenti:

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (222)$$

h_1 – nam to'yingan bug' entalpiyasi;

h_2 – o'ta qizigan bug' entalpiyasi;

h_4 – suvning entalpiyasi.

Nazorat uchun savollar

1. Sovutish qurilmalarining asosiy vazifalari.
2. Sovutish qurilmalari necha guruhga bo'linadi?
3. Havoli kompressor sovutish mashinasining elementlari va ishlash uslubi.
4. Bug'li sovutish qurilmalarining elementlari va ishlash uslubi.
5. Sovutish koeffitsiyentining ma'nosi.

II bo'lim. ISSIQLIK ALMASHINUVI

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

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

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

Konveksiya faqat suyuqlik va gazlarda sodir bo'ladi. Zarrachalarning harakatlanishi natijasida o'rin almashish hodisasiga konveksiya deyiladi. Issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya bir paytda sodir bo'lganda konvektiv issiqlik almashinuvi deyiladi.

Konveksiya ikki xil bo'ladi: erkin va majburiy konveksiya. Erkin konveksiya zichliklar farqi hisobiga sodir bo'ladi, majburiy konveksiya esa tashqi kuch ta'sirida (nasos, ventilyatorlar yordamida) sodir bo'ladi.

Nurlanish usulida issiqlik elektromagnit to'lqinlari yordamida uzatiladi.

Tabiatda issiqlik ham, issiqlik o'tkazuvchanlik ham, konveksiya ham nurlanish uslublarida uzatiladi.

XII bob. ISSIQLIK O‘TKAZUVCHANLIK

51-§. Asosiy tushunchalar

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

$$t = f(x, y, z, \tau)$$

τ – vaqt.

Harorat maydoni ikki xil holatda bo‘ladi:

1. Barqaror harorat maydoni (harorat vaqt o‘tishi bilan o‘zgar olmaydi).

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

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

$t = f(x)$ bo‘ladi.

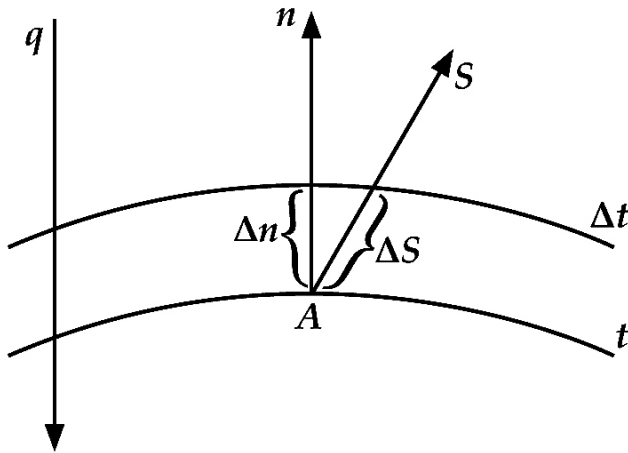
Harorat gradiyenti. Jismning bir xil haroratlari nuqtalarini birlashtirsak, izotermik sirt hosil bo‘ladi. 2 ta izotermik sirt: t haroratli va Δt ga ko‘p bo‘lgan haroratli sirtni ko‘rib chiqamiz. Bu sirtlar bir-biri bilan kesishmaydi. A nuqtadan izotermik sirtga har xil yo‘nalishlar o‘tkazsak, harorat o‘zgarishi har xil bo‘ladi. Izotermik sirtga normal bo‘yicha yo‘nalish o‘tkazsak, haroratning o‘zgarishi yuqori bo‘ladi.

Harorat o‘zgarishini Δt izotermalar orasida normal bo‘yicha masofa Δn ning nisbatiga harorat gradiyenti deyiladi.

$$\text{grad } t = \lim \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{\partial t}{\partial n} \quad \Delta n \rightarrow 0 \quad (223)$$

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

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c_p} \quad (224)$$



a – harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti;

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}; \quad (225)$$

Laplas operatori:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (226)$$

q_v – jismning ichki issiqlik manbai.

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

1. Geometrik shart (jismning o'lchamlari, tuzilishi);
2. Fizik shart (jismning fizik xususiyatlari);
3. Vaqt sharti (barqaror, nobarqaror holat);
4. Chegara shartlari uch xil bo'ladi:

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

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

III tartibli chegara sharti suyuqlik harorati: t_{s_1}, t_{s_2}

$$\alpha(t_s - t_d) = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \quad (227)$$

Fure qonuni. Issiqlik o'tkazuvchanlikning asosiy qonuni Fure qonunidir. Fure qonuniga asosan izotermik dF (m^2) yuzadan

vaqt birligi τ (s) ichida o'tayotgan issiqlik miqdori dQ (J) harorat gradiyentiga proporsionaldir:

$$dQ = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \cdot dF \cdot d\tau \quad \text{Vt} \quad (228)$$

bu yerda, λ – issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti (Vt/mK), jismning fizik kattaligi bo'lib, qiymati son jihatdan haroratlar farqi 1°C bo'lganda devorning birlik qatlamidan vaqt birligi ichida o'tadigan issiqlik miqdori teng.

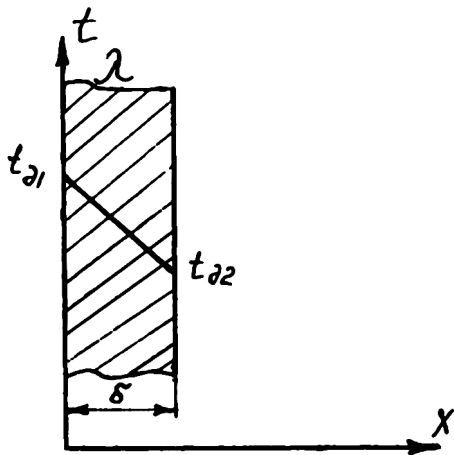
Izotermik sirtidan vaqt birligi ichida o'tadigan issiqlik miqdori issiqlik oqimining zichligi deyiladi.

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

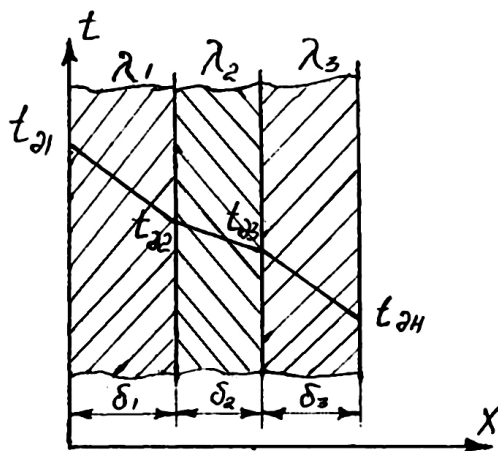
$$q = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right), \text{Vt/m}^2 \quad (229)$$

52-§. Barqaror holatda yassi bir qatlamli va ko'p qatlamli devorning issiqlik o'tkazuvchanligi

Qalinligi δ (mm) va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ bo'lgan bir qatlamli yassi devor berilgan (43-rasm). Devorning tashqi va ichki yuzasida haroratlar o'zgarmas, $t_{\partial 1}$ va $t_{\partial 2}$ deb olinadi. Berilgan sharoitda harorat maydoni bir o'lchamli bo'ladi, harorat faqat devor yuzasiga perpendikulyar yo'nalishda o'zgaradi.



44-rasm.



45-rasm.

Bu yassi devor uchun Fure qonunini yozamiz:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \quad (231)$$

bu ifodani ∂t orqali yozamiz:

$$\partial t = -\frac{q}{\lambda} \partial x \quad (232)$$

ifodani integrallab:

$$t = -\frac{q}{\lambda} x + c \quad (233)$$

ifodani olamiz.

c va t larni chegara shartidan aniqlaymiz, $x = 0$ bo'lganda $c = t_{\partial 1}$ ga, $x = \delta$ bo'lganda $t = t_{\partial 2}$ ga teng deb, issiqlik oqimi zichligini hisoblash ifodasiga ega bo'lamiz:

$$q = (\lambda / \delta) (t_{\partial 1} - t_{\partial 2}) \quad \text{Vt/m}^2 \quad (234)$$

bu yerda, $t_{\partial 1} - t_{\partial 2}$ – haroratlar farqi;

λ – devorning issiqlik o'tkazuvchanligi, Vt/mK ,

δ / λ – devorning termik qarshiligi.

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

$$Q = qF\tau = (\lambda / \delta)(t_{\partial 1} - t_{\partial 2}) F \tau \quad (235)$$

Yassi ko'p qatlamli devor uchun (masalan, 3 qatlamli devor uchun (43-rasm) issiqlik oqimi zichligi quyidagi ifoda orqali topiladi.

$$q = \frac{t_{\partial_1} - t_{\partial_2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{t_{\partial_1} - t_{\partial_{n+1}}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \text{ Vt} \setminus \text{m}^2 \quad (236)$$

bu yerda, n – qatlamlar soni;

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

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

$$t_{\partial_2} = t_{\partial_1} - q \frac{\delta_1}{\lambda_1} \quad (237)$$

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

$$t_{\partial_4} = t_{\partial_3} - q \frac{\delta_3}{\lambda_3} \quad (238)$$

Ko'p qatlamli yassi devorda haroratning o'zgarish yo'nalishi siniq, to'g'ri chiziqlarda tasvirlanadi.

53-§. Barqaror holatda bir qatlamli silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligi

$\lambda = \text{const}$ bo'lgan sharoitda silindrik devorda harorat logarifmik egri chiziq bo'yicha o'zgaradi va quyidagi tenglama bilan ifodalanadi.

$$t = t_{\partial_1} - (t_{\partial_1} - t_{\partial_2}) \frac{\ln \frac{d}{d_1}}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (239)$$

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

$$Q = (2\pi\lambda l(t_{\partial_1} - t_{\partial_2})) / \ln \frac{d_2}{d_1} \text{ Vt}, \quad (240)$$

Issiqlik oqimi zichligi silindrik devorning ichki yuza birligiga berilgan bo'lishi mumkin:

$$q_1 = \frac{Q}{\pi d_1 l} = \frac{2\lambda(t_{\partial_1} - t_{\partial_2})}{d_1 \cdot \ln(d_2 / d_1)} \text{ Vt/m}, \quad (241)$$

va tashqi yuza birligiga:

$$q_2 = \frac{Q}{\pi d_2 l} = \frac{2\lambda(t_{\partial_1} - t_{\partial_2})}{d_2 \cdot \ln(d_2 / d_1)} \text{ Vt/m}, \quad (242)$$

hamda quvur uzunligi birligida (issiqlik oqimining chiziqli zichligi):

$$q_l = \frac{Q}{l} = \frac{\pi(t_{\partial_1} - t_{\partial_2})}{1/2\lambda \cdot \ln(d_2 / d_1)} \text{ Vt/m}. \quad (243)$$

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

$$q_l = \frac{\pi(t_{\partial_1} - t_{\partial_3})}{1/2\lambda_1 \cdot \ln(d_2 / d_1) + 1/2\lambda_2 \cdot \ln(d_3 / d_2)} \text{ Vt/m}, \quad (244)$$

qatlamlar orasidagi chegara haroratlari:

$$t_{\partial_2} = t_{\partial_1} - q_l \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (245)$$

Nazorat uchun savollar

1. Issiqlik almashuvi necha turga bo'linadi?
2. Issiqlik o'tkazuvchanlik qanday yuzaga keladi?
3. Metallar, suyuqliklar va gazlardagi issiqlik o'tkazuvchanlik qanday?
4. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining fizik ma'nosi?
5. Bir va ko'p qatlamli yassi devorning barqaror sharoitdagi issiqlik o'tkazuvchanligi.
6. Bir va ko'p qatlamli silindrik devorning barqaror sharoitdagi issiqlik o'tkazuvchanligi.

XIII bob. KONVEKTIV ISSIQLIK ALMASHINUVI (ISSIQLIK BERISH)

54-§. Umumiy tushunchalar

Konvektiv issiqlik almashinuvi yoki issiqlik berish deb, qattiq jism bilan suyuqlik yoki gazlar orasidagi issiqlik almashuviga aytiladi. Konvektiv issiqlik almashinuvi bir vaqtning o'zida ikki usul: konveksiya va issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan amalga oshiriladi. Bunda issiqlik tarqalishi harakatlanuvchi muhitga (suyuqlik yoki gazga) uzluksiz bog'liqdir.

Issiqlik berish jadalligi ko'p hollarda issiqlik tashuvchining issiqlik berish yuzasiga nisbatan harakat tezligiga bog'liq bo'ladi. Issiqlik tashuvchining harakati erkin yoki majburiy bo'lishi mumkin.

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

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

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

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

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

1884-yilda Reynolds o'zining tajribalari asosida suyuqlikning harakatini laminar yoki turbulent bo'lishini ko'rsatib berdi.

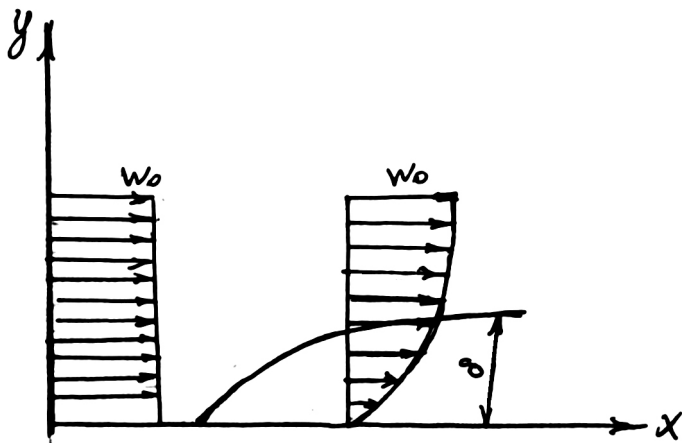
Suyuqlikning zarrachalarini bir tekisda aralashmagan holda yuzaga kelishiga laminar oqim deyiladi. Bunda oqish yo'nalishida normal bo'yicha issiqlikning uzatilishi asosan issiqlik o'tkazuvchanlik bilan amalga oshadi. Suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanligi ancha kichik bo'lganligi sababli tezlik uncha katta bo'lmaydi.

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

Turbulent oqimda issiqlik oqim ichida issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan barcha zarrachalarning aralashishi bildan tarqaladi, shuning uchun ham issiqlik almashinishi turbulent oqimida yuqoriroq bo'ladi.

Reynolds suyuqlikning quvurdagi oqish tartibini o'lchamsiz qiymat bilan aniqlanishini ko'rsatdi, bu qiymat Reynolds soni deb ataladi. Laminar suyuqlik yoki gaz bir tekisda qatlam-qatlam bo'lib harakatlanadi ($Re < 2300$), turbulent oqimda qatlamlar bir-biri bilan aralashib harakatlanadi ($Re > 10\ 000$).

Suyuqlikning quvur bo'ylab harakatlanishini o'ziga xos xususiyatlari bor. Tezligi o'zgarmas bo'lgan suyuqlikni quvur bo'ylab harakatini ko'rib chiqamiz (46-rasm).



46-rasm.

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

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

Issiqlik berish jarayonini hisoblashda Nyuton–Rixman qonunidan foydalaniladi:

$$Q = \alpha(t_{\delta} - t_m) F \quad (246)$$

bu yerda, Q – issiqlik oqimi, Vt ;

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

t_m – atrof-muhit harorati, $^{\circ}C$,

t_{δ} – devor sirtining harorati, $^{\circ}C$;

F – issiqlik almashinuv yuzasi, m^2 .

Issiqlik berish koeffitsiyenti (α) son jihatdan 1 sekund vaqt ichida $1 m^2$ yuzadan muhitga yoki muhitdan $1 m^2$ yuzaga haroratlar farqi ($t_d - t_m$) yoki ($t_m - t_d$) $1^{\circ}C$ ga teng bo'lganda, berilgan issiqlik miqdoriga teng, agar $t_d > t_m$ bo'lsa, $\Delta t = t_d - t_m$; agar $t_m > t_d$ bo'lsa, $\Delta t = t_m - t_d$ bo'ladi.

Issiqlik oqimi zichligi:

$$q = \alpha \Delta t \quad Vt/m^2 \quad (247)$$

ga teng.

55-§. O'xshashlik nazariyasi asoslari

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

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

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

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

Reynolds mezoni:

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

Gragof mezoni:

$Gr = \frac{g\beta \Delta t x^3}{\nu^2}$ – bu tenglik oqim ko'tarilishi kuchini qovushqoqlik kuchiga bo'lgan nisbatini ifodalaydi.

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

$Nu = \alpha x / \lambda$ – konvektiv issiqlik almashinuvini ifodalovchi kattalik.

Bu yerda, w – issiqlik tashuvchini harakat tezligi, m/s;

x – geometrik aniqlovchi kattalik, m;

ν – kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti, m²/s;

$a = \lambda / c\rho$ – harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m²/s;

g – erkin tushish tezlanishi, m/s²;

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

$\Delta t = t_d - t_m$ – haroratlar farqi;

λ – issiqlik tashuvchining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Wt/mK.

α – issiqlik berish koeffitsiyenti, $\text{Wt/m}^2\text{K}$;
 c – issiqlik tashuvchining issiqlik sig'imi, J/kgK ;
 ρ – issiqlik tashuvchining zichligi, kg/m^3 .

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

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

$$Nu = f(\text{Re}, \text{Pr}) \quad (248)$$

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

$$Nu = f(\text{Gr}, \text{Pr}) \quad (249)$$

56-§. Quvurlarda majburiy oqimda issiqlik berish

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

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

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

$$Nu_{sd} = 0,15 \text{Re}_{sd}^{0,33} \cdot \text{Pr}_s^{0,33} (\text{Gr}_{sd} \cdot \text{Pr}_s)^{0,1} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_s}{\text{Pr}_D}\right)^{0,25} \cdot \varepsilon_e \quad (250)$$

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

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

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

$$Nu_{sd} = 0,02 Re_{sd}^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_s}{Pr_\delta}\right)^{0,25} \quad (251)$$

Pr_δ – devordagi suyuqlikni o'rtacha harorati bo'yicha olinadi.

To'g'ri tekis quvurda turbulent harakat qilayotgan gazning issiqlik berish koeffitsiyentini quyidagi ifoda orqali hisoblash mumkin.

$$Nu_{s(x/d)} = 0,022 Re_{s(x/d)}^{0,8} \cdot Pr_s^{0,43} \cdot \varepsilon_\delta \quad (252)$$

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

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

57-§. Erkin harakatlanishda issiqlik berilishi

Gravitatsion kuch ta'sirida erkin harakat hosil bo'ladi. Harakatlar turbulent va laminar bo'lishi mumkin.

Erkin laminar harakatda vertikal devorning issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula orqali topiladi:

$$Nu_{sx} = 0,6(Gr_{sx} Pr_s)^{0,25} \left(\frac{Pr_s}{Pr_\delta}\right)^{0,25} \quad (253)$$

Laminar oqimida $tsq = \text{const}$ bo'lganda, vertikal devorning issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$Nu_{s,l} = 0,63(Gr_{s,l} Pr_s)^{0,25} \left(\frac{Pr_s}{Pr_\delta}\right)^{0,25} \quad (254)$$

Suyuqlikning gorizontaal quvur atrofida erkin laminar harakatlanganda, o'rtacha issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$Nu_{s,d} = 0,5(Gr_{s,d} Pr_s)^{0,25} \left(\frac{Pr_s}{Pr_\vartheta}\right)^{0,25} \quad (255)$$

Rivojlangan turbulent harakat ($Gr_{s,x} Pr_s$) bo'lganda, vertikal devor bo'ylab erkin harakatlanishda issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$Nu_{s,x} = 0,15(Gr_{s,x} Pr_s)^{0,33} \left(\frac{Pr_s}{Pr_\vartheta}\right)^{0,25} \quad (256)$$

(208), (209), (210), (211) formulalarda aniqlanuvchi harorat deb qizigan yuzadan uzoqroqdagi harorat qabul qilinadi.

(208) va (211) formulalarda aniqlanishi kerak bo'lgan kattalik sifatida x qabul qilingan. x – devorning boshidan boshlab issiqlik berish koeffitsiyenti aniqlanuvchi maydonga bo'lgan masofa, (209) ifodada – devor uzunligi, (210) formulada esa d – quvurning tashqi diametri.

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

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

$$q = (\lambda_{ekv} / \lambda) (t_{\partial_1} - t_{\partial_2}) Vt / m^2 \quad (257)$$

bu yerda, λ_{ekv} – chegaralangan hajmda issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya bilan issiqlik o'tishini hisobga oluvchi issiqlik o'tkazuvchanlikning ekvivalent koeffitsiyenti,

$$\lambda_{ekv} = \varepsilon_k \lambda \quad (258)$$

bu yerda, λ – suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Vt/mK ;

ε_k – issiqlik o'tishida konveksiyaning ta'sirini ifodalovchi koeffitsiyent.

$(Cr - Pr)d > 10^3$ bo'lgan aniqlikda $\varepsilon_k = 0,8(Cr - Pr)_0^{0,25}$ deb qabul qilish mumkin.

Aniqlanuvchi harorat sifatida:

$$t_s = 0,5(t_{\partial_1} - t_{\partial_2}), \quad (259)$$

Aniqlanuvchi kattalik uchun teshik qalinligi δ_m qabul qilingan. Gorizontall teshik bo'lgan sharoitda yuqori yuzasini harorati pastki qismdagi haroratdan yuqori bo'ladi, suyuqlik harakat qilmaydi va $\lambda_{ekv} = \lambda$, konvektiv issiqlik almashinuvi qiymati nolga teng bo'ladi.

Masalalar.

Gorizontall issiqlik almashuv apparatining diametri $d = 400$ mm, sirtining harorati $t_{q,s} = 200$ °C va xonadagi havoning harorati $t_h = 30$ °C ga teng bo'lganda vaqt birligi ichida 1 m^2 gorizontall issiqlik almashuv apparati sirtidan o'tgan issiqlikni aniqlang.

Javob: $q = 1000 \text{ Vt} / \text{m}^2$.

Yechish:

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q = \alpha(t_{q,s} - t_h).$$

Issiqlik berish koeffitsiyenti erkin konveksiya uchun:

$$Nu = 0,5(Gr_s Pr_s)^{0,25}$$

havo haroratida $t_h = 30$ °C parametrlarni jadvaldan olamiz :

$$\gamma = 16,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}, \quad \lambda = 2,67 \cdot 10^{-2} \text{ Vt/m} \cdot \text{°C}$$

$$\beta = 1/T = 1/30 + 273 = 1/303 \text{ K}^{-1}; \quad Pr = 0,701$$

$$(Gr_s Pr_s) = \frac{g\beta\Delta t d^3}{\gamma^2} Pr_s = \frac{9,81 \cdot (200 - 30)0,4^3}{303(16 \cdot 10^{-6})} 0,701 = 9,75 \cdot 10^8$$

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

Bu yerdan issiqlik berish koeffitsiyentini topamiz:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d} = 88,2 \frac{2,67 \cdot 10^{-2}}{0,4} = 5,9 \text{ Vt/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Vaqt birligi ichida 1 m² issiqlik almashuv sirtidan o'tgan issiqlik:

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

Nazorat uchun savollar

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

XIV bob. NURLANISH USULIDA ISSIQLIK UZATILISHI

58-§. Asosiy tushunchalar

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

Nurlanish to'liq uzunligi $\lambda(m)$ yoki tebranish chastotasi $\nu = c/\lambda$ bilan ifodalanadi, bu yerda, $c = 2,9979 \cdot 10^8$ m/s – bu vakuumdagi elektromagnit to'liqlarni tarqalish tezligidir.

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

$$\Phi = \frac{\delta Q}{d\tau} \quad (260)$$

Φ – nurlanish oqimi, [Vt];

δQ – nurlanish energiyasi, [J];

τ – vaqt, [s].

issiqlik oqimini jismning yuzasiga nisbati nurlanish deyiladi:

$$E = \frac{\delta\Phi}{dF} \text{ Vt/m}^2. \quad (261)$$

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

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

Nurlanishdagi issiqlik balansining ifodasi:

$$Q = Q_A + Q_R + Q_D$$

yoki:

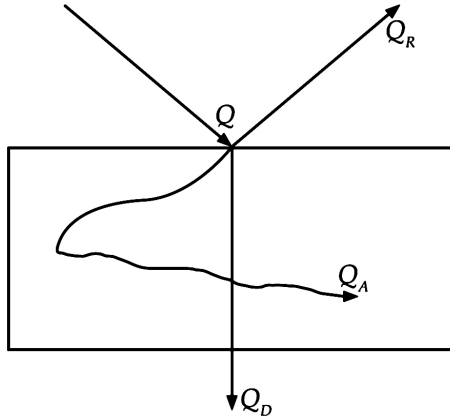
$$A + R + D = 100\%$$

bu yerda,

$A = \frac{Q_A}{Q}$ – yutish koeffitsiyenti;

$R = \frac{Q_R}{Q}$ – qaytish koeffitsiyenti;

$D = \frac{Q_D}{Q}$ – o'tish koeffitsiyenti.



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

59-§. Nurlanishning asosiy qonunlari

1. Stefan-Bolsman qonuni.

Nurlanish energiyasi bilan mutlaq qora jismning mutlaq haroratini to'rtinchi darajasiga to'g'ri proporsional:

$$E = \sigma_0 T^4 \quad (262)$$

σ_0 – Bolsman doimiysi; $\sigma_0 = 5,67 \text{ Vt/m}^2 \text{ K}^4$.

Amaliy hisoblashlarda bu qonun quyidagicha ifodalanadi:

$$Q = c(T/100)^4 F \quad (263)$$

bu yerda, c – kulrang jismning nurlanish koeffitsiyenti, $\text{Vt/m}^2 \text{ K}^4$.

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

$$Q_{1-2} = c_{kel} F [(T_1 / 100)^4 - (T_2 / 100)^4] \quad (265)$$

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

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

$$c_{kel} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_0}} Vt/m^2 K \quad (266)$$

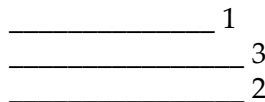
bu yerda, T_1, T_2 – nurlanuvchi jism va atrof-muhitning mutlaq harorati, $^{\circ}C$;

c_1, c_2 – kulrang jismlarning nurlanish koeffitsiyenti;

$c_0 = 5,67 Vt/m^2 K$ – absolyut qora jismning nurlanish koeffitsiyenti;

$c_{kel} = \varepsilon \cdot c_0$ ifodasidan aniqlanadi, ε – qoralik darajasi.

Har xil nurlanuvchi tizimlarda nurlanish yo'li bilan issiqlik almashishni kamaytirish uchun ekranlardan foydalaniladi (47-rasm).



47-rasm. 1, 2 – nur tarqatayotgan jism; 3 – ekran.

Agar ikkita yassi parallel sirt orasiga ekran qo'yilsa va ekran ham, sirtlari ham bir xil materialdan tayyorlangan bo'lsa, u holda berilgan issiqlik miqdori ikki marta kamayadi. Agar n ta ekran qo'yilsa, berilgan issiqlik miqdori n marta kamayadi.

2. Plank qonuni.

Bu qonun absolyut qora jismning va istalgan jismning nurlanish qobiliyati bilan harorat va to'liq uzunligi orasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

U quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$M_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} \quad (267)$$

Bu yerda, M_{λ} – mutlaq qora jismning nurlantirish qobiliyati;

λ – to‘lqin uzunligi, m;

$c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16}$ Plank doimiysi Vt m²;

$c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2}$ Plank doimiysi mK;

e – natural logarifmi asosi.

3. Vin qonuni.

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

$$T\lambda_{\max} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ mK},$$

ya’ni maksimal to‘lqin uzunlik jismlarning mutlaq haroratiga bog‘liq bo‘lib, u haroratni pasayishi tomonga yo‘naladi.

4. Kirxgof qonuni.

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

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \frac{E_3}{A_3} = \dots = \frac{E_0}{A_0} = E_0(T) \quad (268)$$

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

Bu qonun quyidagicha ta’riflanadi:

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

Bu qonunning tenglamasidan ko‘rinib turibdiki, kulrang jismlarning qoralik darajasi son jihatidan uning yotish xususiyatiga teng, ya’ni:

$$A = \varepsilon.$$

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

Masalalar.

Diametri 120 mm bo‘lgan quvur 400x400 mm² kesimli kanal-

ga o'rnatilgan. Quvur izolyatsiyasining sirtidagi harorat 127°C . G'isht kanal 1 m quvurdan nurlanish orqali yo'qolgan issiqlikni aniqlang. Sirtlardagi qorayish darajasi 0,93 ga teng deb olinsin.

Yechish.

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

1 m quvurdan nurlanish orqali yo'qolgan issiqlik:

$$Q = \varepsilon_{kel} l_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F_1 = 0,915 \cdot 5,67 \cdot 0,377 \left[\left(\frac{400}{100} \right)^4 - \left(\frac{300}{100} \right)^4 \right] = 342 \text{ Vt}$$

Nazorat uchun savollar

1. Nurlanish yo'li bilan issiqlik almashinishning sodir bo'lishi shart-sharoitlarini aytib bering.

2. Absolyut qora, oq va shaffof jismlar nima?

3. Nurlanishning effektivligi nima?

4. Nurlanish qonunlarini izohlab bering.

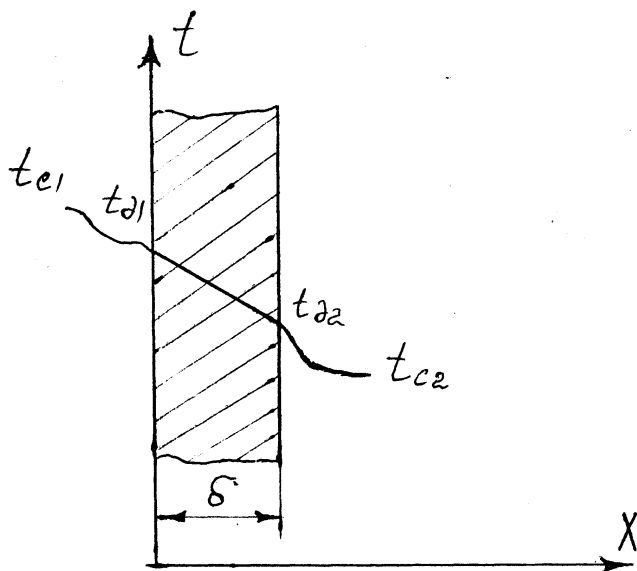
5. Jism parallel joylashganda nurlanish energiyasi qanday aniqlanadi?

6. Ekraning vazifasini ayting?

XV bob. ISSIQLIKNING UZATILISHI

60-§. Bir qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishi

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



48-rasm. t_{c1} – issiq suyuqlik (gaz)ning harorati; $t_{\partial 1}$ – devorning ichku sirti harorati; $t_{\partial 2}$ – devorning tashqi sirti harorati; t_{c2} – sovuq suyuqlik (gaz)ning harorati

Qalinligi δ va sirt yuzasi 1 m^2 bo'lgan bir qatlamli devorning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti $\lambda(\text{Vt/mK})$ muhit haroratlari $t_{c1} \geq t_{c2}$ hamda ikkala tomonini α_1 va α_2 issiqlik berish koeffitsiyentlari berilgan (57-rasm). Issiq muhitdan devorga issiqlik konveksiya orqali o'tadi:

$$q = \alpha_1(t_{c_1} - t_{\partial_1}) \quad (269)$$

devordan issiqlik o'tkazuvchanlik orqali o'tadi:

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_{\partial_1} - t_{\partial_2}) \quad (270)$$

devordan muhitga konveksiya orqali o'tadi:

$$q = \alpha_2(t_{\partial_1} - t_{c_2}) \quad (271)$$

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

$$q = \frac{t'_{c_1} - t'_{c_2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = k(t_{c_1} - t_{c_2}) \text{ Vt/m}^2 \quad (272)$$

bu yerda, k – issiqlik uzatish koeffitsiyenti.

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

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

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \text{ Vt/m}^2\text{K} \quad (274)$$

61-§. Ko'p qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatish

Ko'p qatlamli yassi devor orqali o'tayotgan issiqlik oqimining zichligi, masalan, uch qatlamli devor orqali o'tgan issiqlik:

$$q = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} = k(t_{c_1} - t_{c_2}) \text{ Vt/m}^2 \quad (275)$$

bu yerda,

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ Vt/m}^2\text{K} \quad (276)$$

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

$$Q = q \cdot F = k \cdot \Delta t \cdot F \quad \text{Vt} \quad (277)$$

Devor qatlamlari orasidagi haroratlar quyidagicha topiladi:

$$\begin{aligned} t_{\partial_1} &= t_{c_1} - q \frac{1}{\alpha_1}; \\ t_{\partial_2} &= t_{c_1} - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right); \\ t_{\partial_3} &= t_{c_1} - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right). \end{aligned} \quad (278)$$

62-§. Bir qatlamli va ko'p qatlamli silindrik devor orqali issiqlik uzatish

Issiqlik oqimining chiziqli zichligi:

$$q_l = \frac{\pi(t_{c_1} - t_{c_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} = k_l \pi (t_{c_1} - t_{c_2}) \text{ Vt/m} \quad (279)$$

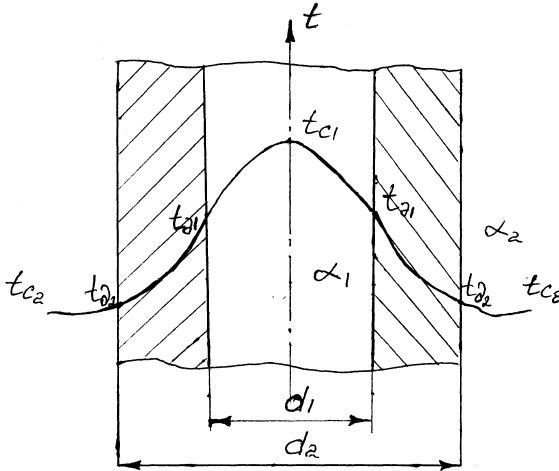
bu yerda, k_l – issiqlik uzatishning chiziqli koeffitsiyenti – son jihatdan bir muhitdan ikkinchi muhitga vaqt birligi ichida uzunligi 1 m bo'lgan quvur devorida haroratlar farqi 1°C ga teng bo'lganda, o'tayotgan issiqlik miqdoriga teng (49-rasm).

Issiqlik uzatish chizig'li koeffitsiyentiga teskari bo'lgan kattalik $R = 1/k_l$ issiqlik uzatishning chiziqli termik qarshiligi deyiladi.

$$R_e = \frac{1}{k_l} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2} \text{ m}^2\text{K/Vt} \quad (280)$$

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

$$q_e = \frac{\pi(t_{\partial_1} - t_{\partial_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_3 d_3}} \quad (281)$$



49-rasm.

Qatlamlar orasida harorat quyidagi formulalar orqali topiladi:

$$\begin{aligned} t_{\partial_1} &= t_{c_1} - q_e \frac{1}{\pi \alpha_1 d_1}; \\ t_{\partial_2} &= t_{c_1} - \frac{q_e}{\pi} \cdot \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}; \\ t_{\partial_3} &= t_{c_1} - \frac{q_e}{\pi} \cdot \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_1}. \end{aligned} \quad (282)$$

63-§. Issiqlik izolyatsiyasi. Kritik diametr.

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

Issiqlik izolyatsiyasida issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan materiallar ishlatiladi. Masalan, asbest, probka, slyuda, sherst, shishali paxta va boshqalar.

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

$$R_s = \frac{1}{k_s} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}. \quad (283)$$

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

Shularni hisobga olganda isolyatsiyaning kritik diametri:

$$d_{kr} = d_{iz} = 2\lambda_{2iz} / \alpha_2 \quad (284)$$

Agar: $d_{iz} > d_{kr}$ bo'lsa, issiqlik yo'qolishi kam bo'ladi, $d_{kr} \leq d_{iz}$ bo'lsa, izolyatsiya samardor bo'ladi.

Masalalar.

Bug' o'txonasidagi gazning harorati 1200 °C, qozondagi suvning harorati 200 °C, issiqlik berish koeffitsiyentlari 45 Vt/m²K va 6000 Vt/m²K, devor qalinligi 14 mm va devorning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti 58 Vt/m²K bo'lganda, o'txona yassi devoridan o'tgan issiqlik oqimining zichligini va devor sirtidagi haroratini toping.

Yechish.

Issiqlik uzatish koeffitsiyenti:

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

Qozon devoridan o'tgan issiqlik oqimining zichligi:

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

Devorning tashqi va ichki sirtidagi harorati:

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

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

Nazorat uchun savollar

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

XVI bob. ISSIQLIK ALMASHUV APPARATLARI

64-§. Issiqlik almashuv apparatlari

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

Issiqlik almashinuv apparatlarini ishlash usuliga ko'ra rekupe-rativ, regenerativ va aralashtiruvchi apparatlarga bo'linadi.

Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv apparatlarda issiq al-mashinuvi issiq va sovuq issiqlik tashuvchilarning bir-biriga be-vosita aralashishi yo'li bilan amalga oshiriladi. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv apparatlariga gradirnyalar, skrubberlar va boshqa qurilmalar misol bo'la oladi.

Regenerativ issiqlik almashinuv apparatlarida isitilish (yoki sovitilish) sirtining o'zini vaqti-vaqti bilan goh issiq, goh sovuq is-siqlik tashuvchilar oqib turishi bilan issiqlik almashinuvi amalga oshiriladi. Dastlab regenerativ kanallariga issiq issiqlik tashuvchi – domna va marten pechlari va grankalar va boshqalardagi yonish mahsulotlari yuboriladi. Regenerativning isitish sirti qizigan gaz-lardan issiqlik olib isiydi, so'ngra bu issiqlikni sovuq issiqlik ta-shuvchiga beradi.

Regenerativ issiqlik almashinuv apparatlari metallurgiya, shi-sha pishirish va shunga o'xshash qizigan havo beriladigan boshqa pechlarda ishlatiladi.

Rekupe-rativ issiqlik almashinuv apparatlarida issiqlik issiq suyuqlikdan sovuq suyuqlikka qattiq sirt orqali uzatiladi. Masa-lan, bug' generatorlari, bug' qizdirgich lar, suv isitgichlar va bosh-qalar. Rekupe-rativ issiqlik almashinuv apparati to'g'ri oqimli, teskari oqimli va ko'ndalang oqimli apparatga bo'linadi.

To'g'ri oqimli issiqlik almashinuv apparatlarida issiq va sovuq tashuvchilar bir tomonga parallel ravishda oqadi.

Teskari oqimli apparatlarida bir-biriga qarama-qarshi yo'nal-gan bo'ladi.

Texnikada rekuperativ issiqlik almashinuv apparatlari keng ishlatiladi.

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

$$Q = G_1 C_{P1} (t'_1 - t''_1) = G_2 C_{P2} (t''_2 - t'_2) [kVt] \quad (285)$$

bu yerda, G_1 – issiq suyuqlik sarfi, kg/s;

G_2 – sovuq suyuqlik sarfi, kg/s;

C_{P1} – issiq suyuqlikning issiqlik sig'imi, kJ/kg °C;

C_{P2} – sovuq suyuqlikning issiqlik sig'imi, kJ/kg °C;

t'_1 – issiq suyuqlikning apparatga kirishdagi harorati, °C;

t''_1 – issiq suyuqlikning apparatdan chiqishdagi harorati, °C;

t'_2 – sovuq suyuqlikning apparatga kirishdagi harorati, °C;

t''_2 – sovuq suyuqlikning apparatdan chiqishdagi harorati, °C.

Issiqlik almashinuv yuzasi issiqlik uzatish ifodasidan topiladi.

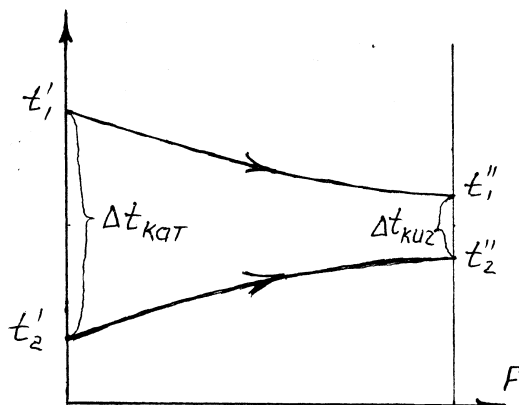
$$Q = k \Delta t_{\log} F [Vt] \quad (286)$$

k – issiqlik uzatish koeffitsiyenti; Vt / m²K

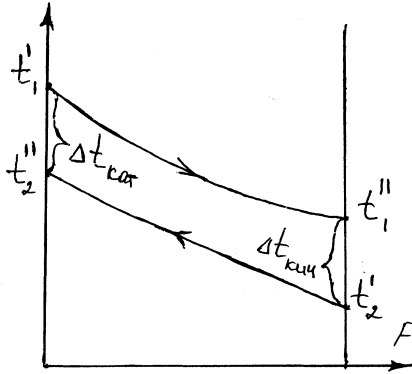
Δt_{\log} – o'rtacha logarifmlik haroratlar farqi, °C.

F – sirt yuzasi, m².

O'rtacha logarifmik haroratlar farqi haroratlar grafigi yordamida aniqlanadi (50-rasm).



50-rasm. To'g'ri oqimli



51-rasm. Teskari oqimli

$$\Delta t_{\log} = \frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{\ln \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kich}}} \quad (287)$$

bu yerda,

Δt_{kat} – katta haroratlar farqi;

Δt_{kich} – kichik haroratlar farqi.

Masalan, to'g'ri oqimli uchun $\Delta t_{kat} = t_1' - t_2'$; $\Delta t_{kich} = t_1'' - t_2''$

Masalalar.

Ichki yonuv dvigatelining teskari yo'nalishli suvli moy sovutgich moy 65 °C dan 55 °C gacha sovityapti. Sovituvchi suvning kirishdagi harorati 16 °C va chiqishdagi harorati 25 °C. Moyning sarfi 0,8 kg/sek. Issiqlik uzatish koeffitsiyenti 280 Vt/m² °C, moyning issiqlik sig'imi 2,45 kJ/kg °C. Issiqlik almashuv yuzasini va sovuq suvning sarfini toping.

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

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{\ln \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kich}}} = \frac{(65-55) - (55-16)}{\ln \frac{65-55}{55-16}} = 39,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{19600}{280 \cdot 39,5} = 1,77 \text{ m}^2;$$

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

Nazorat uchun savollar

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

Tayanch iboralar

- Holat parametrlari – ishchi jismning holatini o‘zgarishi;
- Holat tenglamasi – termik parametrlarni bog‘lanish ifodasi;
- Termodinamik tizim – o‘zaro va atrof-muhit bilan issiqlik almashinadigan jismlar majmuasi;
- Issiqlik sig‘imi – jismga qancha miqdorida issiqlikni berilishi;
- Issiklik miqdori – energiyaning issiqlik usulida uzatilishi;
- Ish – energiyaning ish usulida uzatilishi;
- Termodinamikaning birinchi qonuni – issiqlikni bajarilgan ishga aylanishi;
- Termodinamik jarayonlar – ishchi jismni holatini izohlash;
- Termodinamikaning ikkinchi qonuni – issiqlikni bir qismini ishga aylanishi va qolganini sovutgichga berilishi;
- Issiklik manbayi – issiqlikni ishchi jismga berilishi;
- Sovutkich – ishchi jismdan issiqlikni qabul qilish;
- Foydali ish koeffitsiyenti (FIK) – issiqlikni qanchasini ishga aylanishi;
- Suv bug‘i – termodinamik jarayonlarda ishtirok etuvchi ishchi jism;
- Qaynash – jismni agregat holatini o‘zgarishi;
- Kondensatsiya – qaynayotgan jismdan issiqlikni olib ketilishi tufayli kondensatning hosil bo‘lishi;
- Mezon – issiqlik uzatilishidagi kattaliklarning fizik ma‘nosini ifodalaydigan o‘lchamsiz kattalik;
- Issiqlik balansi – berilgan va sarflangan issiqlikning muvozanati;
- Bug‘ turbina qurilmalari (BTQ) – bug‘ning issiqlik energiyasini elektr energiyaga aylantiruvchi qurilma;
- Gaz turbina qurilmalari (GTQ) – yoqilg‘ini yonishidan hosil bo‘lgan gazlarni ishlatuvchi qurilma;
- Ichki yonuv dvigatellari (IYoD) – yoqilg‘ini yonishida hosil bo‘lgan issiqlikni ishlatishda ish bajaradigan qurilma;
- Qozonxona – bug‘ hosil qiluvchi qurilma;
- Kondensator – bug‘ni suvga aylantiruvchi qurilma;
- Ekonomayzer – suvni isitib beruvchi qurilma.

Izohli soʻzlar

- Parametr – kattalik;
- Absolyut – mutlaq;
- Ishchi jism – gaz yoki bugʻ
- Solishtirma – moddaning birligi;
- Entalpiya – toʻliq energiya;
- Entropiya – issiqlik aylanishi;
- Eksergiya – maksimal ish;
- Izobarik jarayon – bosimi oʻzgarmas jarayon;
- Izoxorik jarayon – hajmi oʻzgarmas jarayon;
- Izotermik jarayon – harorati oʻzgarmas jarayon;
- Adiabatik jarayon – tashqi muhit bilan issiqlik almashilmaydigan jarayon;
- Politropik jarayon – jarayonlarning mujassamliligi;
- Sikl – aylanma jarayon;
- Fazaviy oʻtish – bir fazadan ikkinchi fazaga oʻtish holati;
- Bugʻlanish – jism yuzasidan suyuqlikni bugʻ holatga oʻtishi;
- Sublimatsiya – qattiq holatdan bugʻ holatga oʻtish;
- Desublimatsiya – gaz holatdan qattiq holatga oʻtish;
- Erish – qattiq holatdan suyuq holatga oʻtish;
- Konveksiya – jism zarrachalarining siljishi;
- Kriteriy – mezon;
- 1 t n.e. – 1 tonna neft ekvivalenti (1 t.sh.yo. *1,5)

Ilovalar

1-jadval

SI xalqaro birliklar sistemasi

Kattalik	O'lchov birligi	Birlikning yozilishi
Asosiy birliklar		
uzunlik	metr	m
kg	massa	kilogramm
vaqt	sekund	sek
elektr to'kining kuchi	Amper	A
Kelvinning termodinamik harorati	Kelvin	K
modda miqdori <i>i</i>	mol	mol
yuza	metr kvadrat	m ²
hajm	metr kub	m ³
tezlik	sekundiga metr	m/s
tezlanish	s/kv ga metr	m/s ²
zichlik	metr kubga kilogramm	kg/m ³
kuch	Nyuton	N
bosim	Paskal	Pa
ish, energiya, issiqlik miqdori <i>i</i>	Joul	J
quvvat, issiqlik oqimi	Vatt	Vt
solishtirma issiqlik sig'imi	kilogramm Kelvinga Joul	J/kgK
entalpiya	kilogrammga Joul	J/kg
issiqlik oqimi zichligi	metr kvadratga Vatt	Vt/m ²
issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti	metr kvadrat Kelvinga Vatt	Vt/m(K)
issiqlik berish koeffitsiyenti	metr kvadrat Kelvinga Vatt	Vt/m ² (K)
nurlanish koeffitsiyenti	metr kvadrat Kelvin ⁴ darajasiga Vatt	Vt/m ² (K ⁴)

Energiya	1 kkal=4,187 kJ
Kuch	1 kg=9,81 N
Solishtirma og'irlik	1 kg/sm ³ =9,81 N/m ³
Zichlik	1 kgs ² /m ⁴ =9,81 kg/m ³
Bosim	1 kg/sm ² =0,981 105 Pa
Dinamik qovushqoqlik koeff.	1 kgs/m ² =9,81 Pa s
Issiqlik sig'imi	1 kkal/(kg(°C)q=4,187 kJ/(kg(°C)
Entalpiya	1 kkal/kg=4,187kJ/kg
Issiqlik oqimi	1 kkal/soat=1,163 Vt
issiqlik oqimi zichligi	1 kkal/m ² /soat=1,163 Vt/m ²
issiqlik oqimi hajmiy zichligi	1 kkal/m ³ /soat=1,163 Vt/m ³
issiqlik o'tkazuvchanlik koeff.	1 kkal/m/soat(°C)=1,163 Vt/m(°C)
issiqlik berish koeffitsiyenti	1 kkal/m ² /soat(°C)=1,163 Vt/m ² (°C)
nurlanish koeffitsiyenti	1 kkal/m ² /soat(K ⁴) =1,163 Vt/(m ² (K ⁴))

Karrali va ulushli birliklar hosil bo'lishidagi qo'shimchalar

Qo'shim-chalarning nomlanishi	Belgilanisi	Qiymati	Qo'shim-chalarning nomlanishi	Belgilanisi	Qiymati
Deka	da	10 ¹	Desi	d	10 ⁻¹
Gekto	g	10 ²	Santa	s	10 ⁻²
Kilo	k	10 ³	Milli	m	10 ⁻³
Mega	M	10 ⁶	Mikro	mk	10 ⁻⁶
Giga	G	10 ⁹	Nano	n	10 ⁻⁹
Tera	T	10 ¹²	Piko	p	10 ⁻¹²

**Muhim gazlarning molekulyar massa, zichlik va normal sharoitda kilomol hajmlari
hamda gaz doimiylari**

Modda	Kimyoviy yozilishi	Molekulyar massa, μ	Zichlik ρ , kg/m^3	kilomol hajmlari μ_0 , m^3/kg	Gaz doimiysi $J/(\text{kg}\cdot\text{K})$
1	2	3	4	5	6
Havo	-	28,96	1,239	22,40	287,0
Kislorod	O ₂	32,00	1,429	22,39	259,8
Azot	N ₂	28,026	1,251	22,40	296,8
Atmosfera azoti	N ₂	28,16	(1,257)	(22,40)	(295,3)
Geliy	He	4,003	0,179	22,42	2078,0
Argon	Ar	39,994	1,783	22,39	208,2
Vodorod	H ₂	2,016	0,090	22,43	4124,0
Uglerod oksidi	CO	28,01	1,250	22,40	296,8
Uglerod-(IV)-oksid	CO ₂	44,01	1,977	22,26	188,9
oltungugurt-(IV)-oksid	SO ₂	64,06	2,926	21,89	129,8
Metan	CN ₄	16,032	0,717	22,39	518,8
Etilen	C ₂ N ₄	28,052	1,251	22,41	296,6
Koks	-	11,50	0,515	22,33	721,0
Ammiak	NH ₃	17,032	0,771	22,08	488,3
Suv bug'i	N ₂ O	18,016	(0,804)	(22,40)	(461)

Kislorodning issiqlik sig'imi

Harorat t, °C	Molyar issiqlik sig'imi, kJ/(kmol · K)			Massaviy issiqlik sig'imi, kJ/(kg · K)		Hajmiy issiqlik sig'imi, kJ/(m ³ · K)	
	μs _r	μs _v	μs _{pm}	μs _{pm}	μs _{vm}	μs' _{pm}	μs' _{vm}
0	29,274	20,959	29,274	0,9148	0,6548	1,3059	0,9349
100	29,877	21,562	29,538	0,9232	0,6632	1,3176	0,9466
200	30,815	22,500	29,931	0,9353	0,6753	1,3352	0,9642
300	31,832	23,517	30,400	0,9500	0,6900	1,3561	0,9852
400	32,758	24,443	30,878	0,9651	0,7051	1,3775	1,0065
500	33,549	25,234	31,334	0,9793	0,7193	1,3980	1,0270
600	34,202	25,887	31,761	0,9927	0,7327	1,4168	1,0459
700	34,746	26,431	32,150	0,0048	0,7448	1,4344	1,0634
800	35,203	26,888	32,502	1,0157	0,7557	1,4499	1,0789
900	35,584	27,269	32,825	0,0258	0,7658	1,4645	1,0936
1000	35,914	27,599	33,118	1,0350	0,7750	1,4775	1,1066
1100	36,216	27,901	33,386	1,0434	0,7834	1,4892	1,1183

4-jadvalning davomi

1200	36,488	28,173	33,633	25,318	1,0509	0,7913	1,5005	1,1296
1300	36,752	28,437	33,863	25,548	1,0580	0,7984	1,5106	1,1396
1400	36,999	28,684	34,076	25,761	1,0647	0,8051	1,5202	1,1493
1500	37,242	28,927	34,282	25,967	1,0714	0,8114	1,5294	1,1585
1600	37,480	29,165	34,474	26,159	1,0773	0,8173	1,5378	1,1669
1700	37,715	29,400	34,658	26,343	1,0831	0,8231	1,5462	1,1752

5-jadval

Azotning issiqlik sig'imi

Harorat	Molyar issiqlik sig'imi, kJ/(kmol · K)			Massaviy issiqlik sig'imi, kJ/(kg · K)			Hajmiy issiqlik sig'imi, kJ/(m ³ · K)	
	μs_r	μs_v	μs_{pm}	μs_{pm}	μs_{om}	μs_{pm}	$\mu s'_{pm}$	$\mu s'_{om}$
0	29,115	20,800	29,115	20,800	1,0392	0,7423	1,2987	0,9278
100	29,199	20,884	29,144	20,829	1,0404	0,7427	1,3004	0,9295
200	29,471	21,156	29,228	20,913	1,0434	0,7465	1,3038	0,9328
300	29,952	21,637	29,383	21,068	1,0488	0,7519	1,3109	0,9399

5-jadvalning davomi

400	30,576	22,261	29,601	21,286	1,0567	0,7599	1,3205	0,9496
500	31,250	22,935	29,864	21,549	1,0660	0,7691	1,3322	0,9613
600	31,920	23,605	30,149	21,834	1,0760	0,7792	1,3452	0,9743
700	32,540	24,225	30,451	22,136	1,0869	0,7900	1,3586	0,9877
800	33,101	24,786	30,748	22,433	1,0974	0,8005	1,3716	1,0006
900	33,599	25,284	31,037	22,722	1,1078	0,8110	1,3845	1,0136
1000	34,039	25,724	31,313	22,998	1,1179	0,8210	1,3971	1,0178
1100	34,424	26,109	31,577	23,262	1,1271	0,8302	1,4089	1,0379
1200	34,773	26,448	31,828	23,513	1,1359	0,8395	1,4202	1,0492
1300	35,070	26,745	32,067	23,752	1,1447	0,8478	1,4306	1,0597
1400	35,330	27,005	32,293	23,978	1,1526	0,8558	1,4407	1,0697
1500	35,556	27,231	32,502	24,187	1,1602	0,8633	1,4499	1,0789
1600	35,757	27,432	32,699	24,384	1,1673	0,8704	1,4587	1,0877
1700	35,937	27,612	32,883	24,568	1,1736	0,8771	1,4671	1,0961

Uglerod-(II)-oksidining issiqlik sig'imi

Harorat $t, ^\circ\text{C}$	Molyar issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$			Massaviy issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$		Hajmiy issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$	
	μs_r	μs_v	μs_{pm}	μs_{em}	μs_{pm}	μs_{vm}	$\mu s'_{vm}$
0	35,860	27,545	35,860	27,545	0,8148	0,6259	1,5998
100	40,206	31,891	38,112	29,797	0,8658	0,6770	1,7003
200	43,689	35,374	40,059	31,744	0,9102	0,7214	1,7373
300	46,515	38,200	41,755	33,440	0,9487	0,7599	1,8627
400	48,860	40,515	43,250	34,935	0,9826	0,7938	1,9297
500	50,825	42,500	44,573	36,258	1,0128	0,8240	1,9887
600	52,452	44,137	45,753	37,438	1,03	0,8508	2,0411
700	53,826	45,511	46,813	38,498	1,0639	0,8746	2,0884
800	54,977	46,662	47,763	39,448	1,0852	0,8964	2,1311
900	55,952	47,637	48,617	40,302	1,1045	0,9157	2,1692
1000	56,773	48,458	49,392	41,077	1,1225	0,9332	2,2035
1100	57,472	49,157	50,099	41,784	1,1384	0,9496	2,2349
1200	58,071	49,756	50,740	42,425	1,1530	0,9638	2,2638
1300	58,586	50,271	51,322	43,007	1,1660	0,9772	2,2898
1400	59,030	50,715	51,858	43,543	1,1782	0,9893	2,3136
1500	59,411	51,096	52,348	44,033	1,1895	1,0006	2,3354
1600	59,737	51,422	52,800	44,485	1,1995	1,0107	2,3555
1700	60,022	51,707	53,218	44,903	1,2091	1,0203	2,3743

Suv bug'ining issiqlik sig'imi

Harorat $t, ^\circ\text{C}$	Molyar issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$						Massaviy issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$		Hajmiy issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$	
	μs_r	μs_v	μs_{pm}	μs_{em}	μs_{pm}	μs_{em}	μs_{pm}	μs_{em}	$\mu s'_{pm}$	$\mu s'_{em}$
0	33,499	25,184	33,499	25,184	1,8594	1,3980	1,4943	1,1237		
100	34,055	25,740	33,741	25,426	1,8728	1,4114	1,5052	1,1342		
200	34,964	26,649	34,118	25,803	1,8937	1,4323	1,5223	1,1514		
300	36,036	27,721	34,575	26,260	1,9192	1,4574	1,5424	1,1715		
400	37,191	28,876	35,090	26,775	1,9477	1,4863	1,5654	1,1945		
500	38,406	30,091	35,630	27,315	1,9778	1,5160	1,5897	1,2188		
600	39,662	31,347	36,195	27,880	2,0092	1,5474	1,6148	1,2439		
700	40,951	32,636	36,789	28,474	2,0419	1,5805	1,6412	1,2703		
800	42,249	33,934	37,392	29,077	2,0754	1,6140	1,6680	1,2971		
900	43,513	35,198	38,008	29,693	2,1097	1,6483	1,6957	1,3247		
1000	44,723	36,408	38,619	30,304	2,1436	1,6823	1,7229	1,3519		
1100	45,858	37,543	39,226	30,911	2,1771	1,7158	1,7501	1,3791		
1200	46,913	38,598	39,825	31,510	2,2106	1,7488	1,7769	1,4059		
1300	47,897	39,582	40,407	32,092	2,2429	1,7815	1,8028	1,4319		
1400	48,801	40,486	40,976	32,661	2,2743	1,8129	1,8280	1,4570		
1500	49,639	41,324	41,525	33,210	2,3048	1,8434	1,8527	1,4817		
1600	50,409	42,094	42,056	33,741	2,3346	1,8728	1,8761	1,5052		
1700	51,133	42,818	42,576	34,261	2,3630	1,9016	1,8996	1,5286		

Havoning issiqlik sig'imi

Harorat	Molyar issiqlik sig'imi, kJ/(kmol · K)						Massaviy issiqlik sig'imi, kJ/(kg · K)		Hajmiy issiqlik sig'imi, kJ/(m ³ · K)	
	μs_r	μs_v	μs_{pm}	μs_{em}	μs_{pm}	μs_{em}	μs_{pm}	μs_{em}	$\mu s'_{pm}$	$\mu s'_{em}$
0	29,073	20,758	29,073	20,758	1,0036	0,7164	1,2971	0,9261		
100	29,266	20,951	29,152	20,758	1,0061	0,7193	1,3004	0,9295		
200	29,676	21,361	29,299	20,984	1,0115	0,7243	1,3071	0,9362		
300	30,266	21,951	29,521	21,206	1,0191	0,7319	1,3172	0,9462		
400	30,949	22,634	29,789	21,474	1,0283	0,7415	1,3289	0,9579		
500	31,640	23,325	30,095	21,780	1,0387	0,7519	1,3427	0,9718		
600	32,301	23,986	30,405	22,090	1,0496	0,7624	1,3565	0,9856		
700	32,900	24,585	30,723	22,408	1,0605	0,7733	1,3708	0,9998		
800	33,432	25,117	31,028	22,713	1,0710	0,7842	1,3842	1,0312		
900	33,905	25,590	31,321	23,006	1,0815	0,7942	1,3976	1,0262		
1000	34,315	26,00	31,598	23,283	1,0907	0,8039	1,4097	1,0387		
1100	34,679	26,394	31,862	23,547	1,0999	0,8127	1,4214	1,0505		
1200	35,002	26,687	32,109	23,794	1,1082	0,8215	1,4327	1,0618		
1300	35,291	26,976	32,343	24,028	1,1166	0,8294	1,4432	1,0722		
1400	35,546	27,231	32,565	24,250	1,1242	0,8369	1,4528	1,0819		
1500	35,772	27,457	32,774	24,259	1,1313	0,8441	1,4620	1,0911		
1600	35,977	27,662	32,967	24,652	1,1380	0,8508	1,4708	1,0999		
1700	36,170	27,855	33,151	24,836	1,1443	0,8570	1,4788	1,1078		

Quruq bug'ning fizik xossalari ($V=760$ mm sim.ust $\approx 1,01 \cdot 10^5$ Pa)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$s, \text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$	$\lambda, \text{Wt/m} \cdot ^\circ\text{C}$	$a \cdot 10^6, \text{m}^2/\text{s}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Pa} \cdot \text{s}$	$v \cdot 10^6, \text{m}^2/$	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	12,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,63	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	26,2	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09	0,692
23,90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49	0,682

To'yinish chizig'idagi suvning fizik xossalari

$t, ^\circ\text{C}$	$r \cdot 10^{-5},$ Pa	$\rho, \text{kg/m}^3$	$h, \text{kJ/kg}$	$s_v, \text{kJ}/$ $(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$	$\lambda \cdot 10^2,$ $\text{Wt/m} \cdot ^\circ\text{C}$	$a \cdot 10^8,$ m^2/s	$\mu \cdot 10^6,$ Pa \cdot s	$\nu \cdot 10^6,$ m^2/s	$\beta \cdot 10^4,$ K^{-1}	$\sigma \cdot 10^4,$ N/m	Pr
0	1,013	999,9	0,00	4,212	55,1	13,1	1788	1,789	-0,63	756,4	13,67
10	1,013	999,7	42,04	4,191	57,4	13,7	13,06	1,306	+0,70	741,6	9,52
20	1,013	998,2	83,91	4,183	59,9	14,3	1004	1,006	1,82	726,9	7,02
30	1,013	995,7	125,7	4,174	61,8	14,9	801,5	0,805	3,21	712,2	5,42
40	1,013	992,2	167,5	4,174	63,5	15,3	653,3	0,659	3,87	696,5	4,31
50	1,013	988,1	209,3	4,174	64,8	15,7	549,4	0,556	4,49	676,9	3,54
60	1,013	983,2	251,1	4,179	65,9	16,0	469,9	0,478	5,11	662,2	2,98
70	1,013	977,8	293,0	4,187	66,8	16,3	406,1	0,415	5,70	643,5	2,55
80	1,013	971,8	335,0	4,195	67,4	16,6	355,1	0,365	6,32	625,9	2,21
90	1,013	965,3	377,0	4,208	68,0	16,8	314,9	0,326	6,95	607,2	1,95
100	1,013	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,43	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,98	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,47
130	2,70	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36

10-jadvalning davomi

140	3,61	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,18	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,55	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,55	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,08	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,20	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,98	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88

To'yinish chizig'idagi suv bug'ining fizik xossalari

$t, ^\circ\text{C}$	$r \cdot 10^{-5}, \text{Pa}$	$\rho'', \text{kg}/\text{m}^3$	$h'', \text{kJ}/\text{kg}$	$r, \text{kJ}/\text{kg}$	$s_v, \text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Wt}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$	$a \cdot 10^8, \text{m}^2/\text{s}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Pa} \cdot \text{s}$	$v \cdot 10^6, \text{m}^2/\text{s}$	Pr
100	1,013	0,598	2675,9	2256,8	2,135	2,372	18,58	11,97	20,02	1,08
110	1,43	0,826	2691,4	2230,8	2,177	2,489	13,83	12,46	15,07	1,09
120	1,98	1,121	2706,5	2230,0	2,206	2,593	10,50	12,85	11,46	1,09
130	2,70	1,496	2720,7	2202,8	2,257	2,686	7,972	13,24	8,85	1,11
140	3,61	1,966	2734,1	2174,3	2,315	2,791	6,130	13,54	6,89	1,12
150	4,76	2,547	2746,7	2145,0	2,395	2,884	4,728	13,93	5,47	1,16
160	6,18	3,258	2758,0	2114,4	2,479	3,012	3,722	14,32	4,39	1,18
170	7,92	4,122	2768,0	2082,6	2,583	3,128	2,939	14,72	3,57	1,21
180	10,03	5,157	2778,5	2049,5	2,709	3,268	2,339	15,11	2,93	1,25
190	12,55	6,394	2786,4	2015,2	2,856	3,419	1,872	15,60	2,44	1,30
200	15,55	7,862	2793,1	1978,8	3,023	3,547	1,492	15,99	2,03	1,36
210	19,08	9,588	2798,2	1940,7	3,199	3,722	1,214	16,38	1,71	1,41
220	23,20	11,62	2801,5	1900,5	3,408	3,896	0,983	16,87	1,45	1,47
230	27,98	13,99	2803,2	1857,8	3,634	4,094	0,806	17,36	1,24	1,54
240	33,48	16,76	2803,2	1813,0	3,881	4,291	0,658	17,76	1,06	1,61

Transformator yog'ining haroratga bog'liq fizik xossalari

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho,$ kg/m^3	s_v kJ/(kg·°C)	$\lambda,$ Wt/m·°C	$\mu \cdot 10^6,$ Pa·s	$\nu \cdot 10^6,$ m^2/s	$a \cdot 10^6,$ m^2/s	$\beta \cdot 10^4,$ K^{-1}	Pr
0,0	892,5	1,549	0,1123	629,8	70,5	8,14	6,80	846
10	886,4	1,620	0,1115	335,5	37,9	7,83	6,85	484
20	880,3	1,666	0,1106	198,2	22,5	7,56	6,90	298
30	874,2	1,729	0,1008	128,5	14,7	7,28	6,95	202
40	868,2	1,788	0,1090	89,4	10,3	7,03	7,00	146
50	862,1	1,846	0,1082	65,3	7,58	6,80	7,05	111
60	856,0	1,905	0,1072	49,5	5,78	6,58	7,10	87,8
70	850,0	1,964	0,1064	38,6	4,54	6,36	7,15	71,3
80	843,9	2,026	0,1056	30,8	3,66	6,17	7,20	59,3
90	837,8	2,085	0,1047	25,4	3,03	6,00	7,25	50,5
100	831,8	2,144	0,1038	21,3	2,56	5,83	7,30	43,9
110	825,7	2,202	0,1030	18,1	2,20	5,67	7,35	38,8
120	819,6	2,261	0,1022	15,7	1,92	5,50	7,40	34,9

MS-20 yog'ining haroratga bog'liq fizik xossalari

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$s_v, \text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$	$\lambda, \text{Wt/m}\cdot^\circ\text{C}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Pa}\cdot\text{s}$	$\nu \cdot 10^6, \text{m}^2/\text{s}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{m}^2/\text{s}$	$\beta \cdot 10^4, \text{K}^{-1}$	Pr
-10	990,3	1,951	0,136	-	-	7,75	6,24	-
0	903,6	1,980	0,135	-	-	7,58	6,24	-
+10	897,9	2,010	0,135	-	-	7,44	6,31	-
20	892,3	2,043	0,134	10026	1125	7,30	6,35	15400
30	886,6	2,072	0,132	4670	526	7,19	6,38	7310
40	881,0	2,106	0,131	2433	276	7,08	6,42	3890
50	875,3	2,135	0,130	1334	153	7,00	6,46	2180
60	869,6	2,165	0,129	798,5	91,9	6,86	6,51	1340
70	864,0	2,198	0,128	498,3	58,4	6,75	6,55	865
80	858,3	2,227	0,127	336,5	39,2	6,67	6,60	588
90	852,7	2,621	0,126	234,4	27,5	6,56	6,64	420
100	847,0	2,290	0,126	171,7	20,3	6,44	6,69	315
110	841,3	2,320	0,124	132,4	15,7	6,36	6,73	247
120	835,7	2,353	0,23	101,0	12,1	6,25	6,77	193
130	830,0	2,382	0,122	79,76	9,61	6,17	6,82	156
140	824,4	2,420	0,121	61,80	7,50	6,08	6,87	123
150	818,7	2,445	0,120	53,17	6,50	6,00	6,92	108

MK yog'ining haroratga bog'liq fizik xossalari

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$s_v, \text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$	$\lambda, \text{Wt/m} \cdot ^\circ\text{C}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Pa} \cdot \text{s}$	$v \cdot 10^6, \text{m}^2/\text{s}$	$a \cdot 10^6, \text{m}^2/\text{s}$	$\beta \cdot 10^4, \text{K}^{-1}$	Pr
10	911,0	1,645	0,1510	35414	3883	9,94	8,56	39000
20	903,0	1,712	0,1485	18560	1514	9,58	8,64	15800
30	894,5	1,758	0,1461	6180	691,2	9,28	8,71	7450
40	887,5	1,804	0,1437	3031	342,0	8,97	8,79	3810
50	879,0	1,851	0,1413	1638	186,2	8,69	8,86	2140
60	871,5	1,897	0,1389	961,4	110,6	8,39	8,95	1320
70	864,0	1,943	0,1363	603,3	69,3	8,14	9,03	858
80	856,0	1,989	0,1340	399,3	46,6	7,89	9,12	591
90	848,2	2,035	0,1314	273,7	32,3	7,61	9,20	424
100	840,7	2,081	0,1290	202,1	24,0	7,33	9,28	327
110	838,0	2,127	0,1264	145,2	17,4	7,11	9,37	245
120	825,0	2,173	0,1240	110,4	13,4	6,92	9,46	193,5
130	817,0	2,219	0,1214	87,31	10,7	6,69	9,54	160,0
140	809,2	2,265	0,1188	70,34	8,70	6,53	9,65	133,3
150	801,6	2,311	0,1168	56,90	7,10	6,25	9,73	113,5

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Zohidov R.A., Avezov R.R., Vardiyashvili A.B., Alimova M.M. Issiqlik texnikasining nazariy asoslari. O'q.qo'l. 1-qism. –T.: TDTU, 2005.
2. Баскаков А.П. Теплотехника. –М.: Энергоатомиздат, 2001.
3. Бахшиева Л.Т. / Под ред. А.А. Захаровой. Техническая термодинамика и теплотехника. –М.: Академия, 2006.
4. Кудинов В.А., Карташов Е.М. Техническая термодинамика. –М.: Высшая школа. 2005.
5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: – Энергия, 1981.
6. Андрианова Т.Н. и др. Сборник задач по технической термодинамике. М.: Мел, 2000 .
7. Краснощеков К.А., Сукомел А.С. Сборник задач по теплопередаче. М.: Энергия, 1991.
8. http://dhes.ime.mrsu.ru/studies/tot/tot_lit.htm

Mundarija

Kirish	3
--------------	---

1-bo'lim. Texnikaviy termodinamika

I bob. Ideal gazlarning xususiyatlari

1-§. Ishchi jism va termodinamik tizim	5
2-§. Asosiy termodinamik holat parametrlari	6
3-§. Ideal gazning holat tenglamasi	8
4-§. Real gazning holat tenglamasi	10
5-§. Ideal gaz aralashmalari	11

II bob. Termodinamikaning birinchi qonuni

6-§. Ideal gazlarning issiqlik sig'imi	15
8-§. Ichki energiya va entalpiya	19
9-§. Termodinamikaning birinchi qonuni	21
10-§. Entropiya	22

III bob. Asosiy termodinamik jarayonlarning tahlili

11-§. Izobarik jarayon	25
12-§. Izoxorik jarayon	27
14-§. Adiabatik jarayon	31
15-§. Politropik jarayon	33

IV bob. Termodinamikaning ikkinchi qonuni

16-§. Aylanma jarayonlar	37
17-§. Karno sikli	39
18-§. Termodinamikaning ikkinchi qonuni	41

V bob. Suv bug'i

19-§. Bug'lanish va bug'ning termodinamik parametrlari	43
20-§. Suv bug'ining $P-v$ diagrammasi	45
21-§. Suyuqlik va quruq bug'ning asosiy parametrlari. Bug' hosil bo'lish issiqligi	48
22-§. Nam to'yingan va o'ta qizigan suv bug'ining asosiy parametrlari	49
23-§. Suv bug'ining $t-s$ diagrammasi	50
24-§. Suv bug'ining $h-s$ diagrammalari	51

25-§. Suv bug'i bilan bo'ladigan jarayonlar	52
26-§. Gaz (bug')larni drossellash yoki ezish	53

VI bob. Bug' turbina qurilmalari

27-§. Bug' turbina qurilmalari sikli	58
28-§. Oraliq qizdirishli bug' turbina qurilmalari sikli	60
29-§. Issiqlik bilan ta'minlash asoslari	62
30-§. Bug' qozonlari	63
31-§. Qozon qurilmasining issiqlik balansi	66
32-§. Bug' turbinalari va ularning ishlash uslubi	72

VII bob. Nam havo

33-§. Asosiy tushunchalar	75
34-§. Nam havoning termodinamik parametrlari	76
35-§. Nam havoning $h-d$ diagrammasi	78

VIII bob. Kompessor

36-§. Kompessorlar va ularning turlari	81
37-§. Ko'p pog'onali kompressorlar	84
38-§. Markazdan qochma kompressorlar	86

IX bob. Ichki yonuv dvigatel sikllari

39-§. Ichki yonuv dvigatellari haqida tushuncha	89
40-§. Dizel dvigatelining tuzilishi	90
41-§. Ichki yonuv dvigatellari nazariy sikllarining termodinamik tahlili	90
42-§. $V = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl	92
43-§. $P = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl	95
44-§. Aralashgan holda $V = \text{const}$ va $P = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl	97

X bob. Gaz turbina qurilmalarining sikllari

45-§. Gaz turbina qurilmalari (GTQ)	103
46-§. $P = \text{const}$ bo'lgandagi issiqlik keltiruvchi GTQning sikli	103
47-§. $V = \text{const}$ jarayonida issiqlik keltiruvchi gaz turbina qurilmasining sikli	106

XI bob. Sovutish qurilmalari sikllari

48-§. Sovutish qurilmalari	111
49-§. Havoli kompressor sovitish mashinasi	112
50-§. Bug'li sovitish qurilmalari	113

2-bo'lim. Issiqlik almashinuvi
XII bob. Issiqlik o'tkazuvchanlik

51-§. Asosiy tushunchalar	116
52-§. Barqaror holatda yassi bir qatlamli va ko'p qatlamli devorning issiqlik o'tkazuvchanligi	118
53-§. Barqaror holatda bir qatlamli silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligi	120

XIII bob. Konvektiv issiqlik almashinuvi (Issiqlik berish)

54-§. Umumiy tushunchalar	122
55-§. O'xshashlik nazariyasi asoslari	125
56-§. Quvurlarda majburiy oqimda issiqlik berish	126
57-§. Erkin harakatlanishda issiqlik berilishi	127

XIV bob. Nurlanish usulida issiqlik uzatilishi

58-§. Asosiy tushunchalar	131
59-§. Nurlanishning asosiy qonunlari	132

XV bob. Issiqlikning uzatilishi

60-§. Bir qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishi	136
61-§. Ko'p qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatish	137
62-§. Bir qatlamli va ko'p qatlamli silindrik devor orqali issiqlik uzatish	138
63-§. Issiqlik izolyatsiyasi. Kritik diametr.	139

XVI bob. Issiqlik almashuv apparatlari

64-§. Issiqlik almashuv apparatlari	142
Tayanch iboralar	146
Izohli so'zlar	147
Ilovalar	148
Foydalanilgan adabiyotlar	166

M.M. Alimova, Sh.S. Mavjudova, S.R. Axmatova

TERMODINAMIKA ASOSLARI

O'quv qo'llanma

Muharrir N. Rustamova
Badiiy muharrir M. Odilov
Kompyuterda sahifalovchi A. Tillaxo'jayev

Nashr lits. AI № 174, 11.06.2010.
Bosishga ruxsat 23.08.2013da berildi. Bichimi 60x84^{1/16}.
Ofset qog'ozi №2. «Palatino Linotype» garniturası.
Shartli b.t. 9,76. Nashr-hisob t. 10,5. Adadi 490 dona.
33-buyurtma.

«IQTISOD-MOLIYA» nashriyotida tayyorlandi.
100084. Toshkent. Kichik halqa yo'li ko'chasi, 7-uy.

«HUMOYUNBEK-ISTIQLOL MO'JIZASI» bosmaxonasida
ofset usulida chop etildi.
100003. Toshkent. Olmazor ko'chasi, 171-uy.