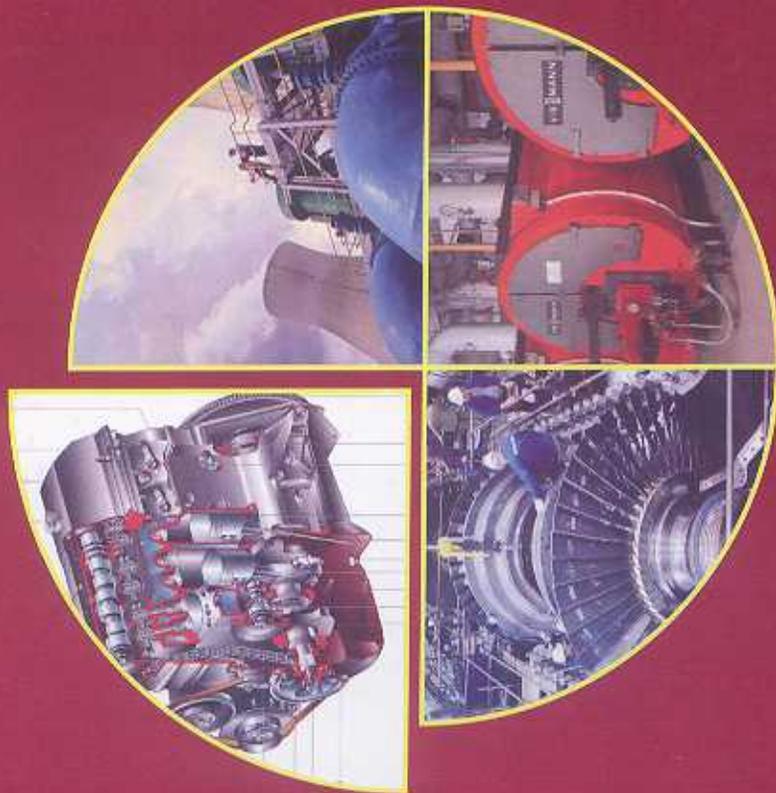


R.A. ZOHIDOV,
M.M. ALIMOVA,
SH.S. MAVJUDOVA

ISSIQLIK TEXNIKASI



ISSIQLIK TEXNIKASI

R.A. ZOHIDOV, M.M. ALIMOVA,
SH.S. MAVJUDOVA

ISBN 978-9943-391-02-4



9 789943 391024



№ 313.
Z-99.

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

R.A. ZOHIDOV
M.M. ALIMOVA
SH.S. MAVJUDOVA

ISSIQLIK TEXNIKASI

*Oliy va o'rtta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan
Texnologik mashinalar va jihozlar bakalavriat ta'lim yo'nalishi
talabatlari uchun darslik sifatida tavsiya etilgan*



O'ZBEKISTON FAYLASUFLARI MILLIY
JAMIYATI NASHIRIYO'I
TOSHKENT
2010

31.3

Z-78

Zohidov, R.A.

Issiqlik texnikasi: o'quv qo'llanma/ R.A. Zohidov, M.M. Alimova, Sh.S. Mavjudova; O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi. — Toshkent: «O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati» nashriyoti, 2010. — 200 b.

I. Alimova, M.M. II. Mavjudova, Sh.S.

BBK 31.3ya 73

Darslikda jismlarning holati, holat o'zgarish parametrlari, issiqlik sig'imi, termodinamik jarayonlar, issiqlik uzatish turlari, issiqlik almashuv apparatlari, issiqlik dvigatellari, gaz va bug' turbin qurilmalarining sikllari bayon etilgan. Yoqilg'ij va uning turlari, ichki yonuv dvigatellarining sikllari, sovitish va moylash tizimlari ko'rib chiqilgan.

Taqrizchilar:

O'zFA Energetika va avtomatika institutining Sanoat energiyasi tejamo-kordigi laboratoriyasi mudiri, t.f.n. A.I. Anarbayev
ToshDTU IYE kafedrası dotsenti, t.f.n. X.A. Alimov

ISBN 998-9943-319-88-1

KIRISH

Issiqlik texnikasi umumtexnik fundamental fanlardan biri bo'lib, texnikada issiqlikni hosil qilish usullarini, issiqlikni energiyaning boshqa turiga aylantirish usullarini, issiqlikni uzatish usullarini va issiqlik ishlatilishini o'rgatadi.

Sanoatning metallurgiya, mashinasozlik, tog'-kon ishi va boshqa sohalarida issiqlik berish va uning ajralib chiqishi, issiqlik almashuvi, mashina, qurilmalarda sodir bo'ladigan issiqlik jarayonlari hamda elektr energiya va issiqlikdan umumiy foydalanish muhim ahamiyatga ega. Issiqlik texnikasi fani yuqori malakali va raqobatbardosh kadrlar tarbiyalab tayyorlashda asosiy o'rinni tutadi. Bu fan talabalarni ilimga qiziqtirish, qonunlar texnikada qo'llanilishi, termodinamik jarayonlarni hisoblash, issiqlik kuch qurilmalarining optimal holatlarini aniqlashga tayyorlashda yordam beradi.

Issiqlik texnikasi fani uch bo'limgan iborat:

- 1) texnikaviy termodinamika;
- 2) issiqlik uzatilishi;
- 3) issiqlik energetik qurilmalari.

Termodinamika so'zi grekcha so'zdan olingan bo'lib «termos» — issiqlik, «dinamikos» — kuch degan ma'noni bildiradi.

Texnikaviy termodinamika issiqlik effektlari bilan sodir bo'ladigan turli jarayonlarda energiyaning bir turdan ikkinchi turga o'tishi, ya'ni issiqlikning ishga va ishning issiqlikka aylanishini o'rganadigan fan. Texnikaviy termodinamika fan sifatida M.V.Lomonosov (1746-y.) tomonidan energiyaning aylanish va saqlanish qonuni ochilishi tufayli yuzaga kelgan. M.V. Lomonosovning «Issiqlik va sovuqlik sabablari» (1747-y.) degan ishi issiq moddalar mikrozarrachalarining harakatidagini isbotlashga bag'ishlangan. Rus mexanigi I.I.Polzunov tomonidan birinchi universal bug' mashinasining kashf etilishi (1765-y.) natijasida universal porshenli dvigatellarining chizmasi va termodinamikaning ikkinchi qonuni yaratildi.

Termodinamikaning rivojlanishiga R.Mayer (1872-y.), A.Joul (1843-1846-y.), E.X.Lens (1844-y.), C.Karno (1824-y.), R.Klaziuz (1854-y.) va V.Tomson (1856-y.) o'z ishlari bilan katta hissa qo'shishgan. Termodinamikaning ikkinchi qonunining yaratilishi dvigatellarning foydali ish ko'rsatuvini bahirish yo'llarini ko'rsatadi.

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. Issiqlik texnikasini o'rganish jarayonida aniq masalalarni hisoblash, ifodalarni keltirib chiqarish va ular orasidagi bog'lanishlarni aniqlashda matematika fanining o'rni kattadir. Jismlarni, hodisalar va jarayonlarni o'rganishda, tahlil qilishda fizika va kimyo fani bo'yicha bilimlar talab etiladi.

Issiqlik texnikasi fanidan olingan bilimlar faqat fan-texnika taraqqiyoti uchun zarur bo'libgina qolmay, balki ozod va obod Vatan, erkin va farovon hayot qurish, mustaqil Respublikamiz ravnaqi uchun intellektual saviyasi keng, axloq-odoblilik barkamol insonni tarbiyalashga ham o'z hissasini qo'shadi.

I BO'LIM. TEXNIKAVIY TERMODINAMIKA

I BOB. UMUMIY MA'LUMOTLAR

1-§. Termodinamik uslubning asosiy xususiyatlari

Ma'lumki, energiya almashinish jarayonlari muhitdagi holatlar bilan bog'liq holda to'y beradi.

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

Termodinamikaning konkret holatlardagi umumiy uslublar, qoidalar, fizik xossalarga xos bo'lgan jarayonlarni o'rgatadigan qismi umumiy fizik termodinamika deyiladi.

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

Texnik termodinamika esa issiqlik miqdori bajarilgan ishga o'tishdagi qonun-qoidalarni issiqlik texnikasiga tatbiq qilish, ya'ni issiqlik dvigatellari va sovitish mashinalari nazariyasi bilan shug'ullanishdir.

Termodinamikani o'rganishda va uning konkret masalalarini tahlil qilishga qaratilganda tabiiy fanlarda qabul qilingan bir hodisaning uslubi ikkinchisidan farq qilishiga e'tibor berish kerak bo'ladi.

Termodinamik uslubning xususiyatlaridan quyidagilarni asosiy deb hisoblasak bo'ladi.

1. Termodinamik uslub ko'plab tajriba materiallarini tahlil qilish davomida yig'ilgan qonuniyatlarni ifodalash natijasida tuzilgan. Keyinchalik bu natijalar termodinamikaning uchta qonuni sifatida yuzaga keldi.

Termodinamikaning I qonuni energiyani saqlash va uning bir turdan ikkinchi turga o'tishi qonuni asosida yaratildi.

Termodinamikaning II qonuni esa energiya almashuvi jarayonlarini bajarish yo'nalishlari o'zgarishlarini o'rgatadi. Bu qonunga binoan abadiy dvigatel yaratib bo'lmaydi.

Termodinamikaning III qonuni esa jismning mutlaq nol haroratga intilishdagi holatini tushuntirib beradi.

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

kattaliklar makroskopik, fenomenologik yoki termodinamik kattaliklar deb ataladi, ular mikroskopik kattaliklardan farqli o'laroq alohida molekulalar, atomlar va boshqa bo'lakchalar holatini xarakterlaydi.

XIX asr oxirida statistik termodinamika rivojlandi. Bu statistik fizikaning bir qismi hisoblanadi. Statistik termodinamikada makroskopik jism xossalari jism elementar bo'laklardan tuzilganligining konkret ko'rinishi asosida hisoblanadi.

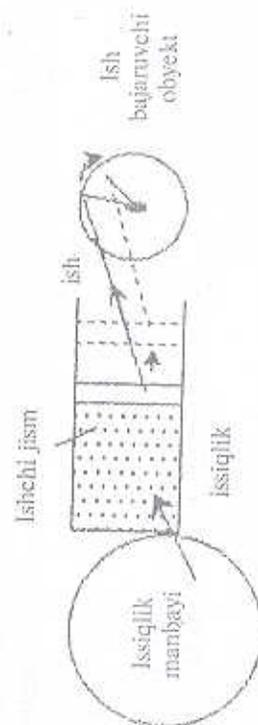
2-§. Ishchi jism va termodinamik tizim

Issiqlik mashinalarida 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 stansiyaning hamma mashinalari yoki issiqlik dvigateling alohida qismlari va ichida gaz joylashgan porshenli silindrlar termodinamik tizimga misol bo'la oladi. O'rganilayotgan termodinamik tizimga kirmaydigan hamma jismlar **atrof-muhit** deb ataladi.

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

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



1-rasm. Termodinamik tizim

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

3-§. Asosiy termodinamik holat parametrlari

Istalgan termodinamik tizim uchun bir qancha fizik kattaliklar yig'indisi ko'rsatilgan bo'ladi, shular orqali berilgan tizimni boshqa bir tizimdan ajratish hamda tizimdagi o'zgarishlarni tekshirish, tizim atrof muhit bilan o'zaro ta'sir etishini tekshirish mumkin bo'ladi. Bunday kattaliklar yig'indisiga **tizimning holati** deyiladi.

Ishchi jismning fizik holatini ifodalaydigan kattaliklar **holat parametrlari** deyiladi. Holat parametrlariga: mutlaq bosim, mutlaq harorat, solishtirma hajm, zichlik, ichki energiya, entalpiya, entropiya va boshqalar kiradi. Jismning holati o'zgaranda bosim, harorat va solishtirma hajm keskin o'zgaruvchan parametrlar bo'lgani uchun ularni **termik parametrlar** deyiladi.

Bosim. Sirtning birlik yuziga tik ta'sir etuvchi kuchga **bosim** deyiladi.

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

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 at = 1 kg k/sm² = 10⁴ mm suv ust.;

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_{atm} — bu atmosfera havosining bosimi;

2) ortiqcha yoki manometrik bosim P_{ort} (P_{man}) — atmosfera bosimidan yuqori bosim;

3) vakuum (siyraklanish) P_{vak} — bu atmosfera bosimidan kichik bosimdir;

4) mutloq bosim P_{mut} — bu jisimga 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 $P = P_{\text{sur}} + P_{\text{at}}$

(2)

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

$$P = P_{\text{sur}} - P_{\text{vak}} \quad (3)$$

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

1.1-jadval

| Birliklar | Pa | bar | kg k/cm ² | mm sim.ust. | mm suv ust. |
|------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1Pa | 1 | 10 ⁻⁵ | 1,02 · 10 ⁻⁵ | 7,5024 · 10 ⁻³ | 0,702 |
| 1bar | 10 ⁵ | 1 | 1,02 | 7,5024 · 10 ² | 1,02 · 10 ⁴ |
| 1 kg k/cm ² | 9,8 · 10 ⁴ | 0,9806 | 1 | 735 | 10 ⁴ |
| 1 mm sim.ust. | 133 | 1,33 · 10 ⁻³ | 1,36 · 10 ⁻³ | 1 | 13,6 |
| 1 mm suv ust. | 9,8067 | 9,80 · 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁴ | 7,35 · 10 ⁻² | 1 |

Harorat. Harorat jismning qiziganlik darajasini ko'rsatadigan kattalikdir, boshqacha qilib aytganda gaz molekularning o'rtacha kinetik energiyasiga proporsional bo'lgan kattalikdir.

- Harorat 2 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'rsatkichi farqining 100 ga bo'lingandagi bir bo'lagi Selsiy gradusi (°C) deb qabul qilinadi.

Angliya va AQSH da qo'llaniladigan Farengeyt shkalasida muzning erish harorati 32°C va suvning qaynash harorati 212°C deb qabul qilingan, demak

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{5}{9} (t \text{ } ^\circ\text{F} - 32)$$

$$t \text{ } ^\circ\text{F} = \frac{9}{5} t \text{ } ^\circ\text{C} + 32$$

SI tizimida mutlaq harorat Kelvin shkalasida o'chanadi. Amalda esa har bir asbob Selsiy gradusida o'lchab beradi. Shuning uchun ularning orasidagi bog'lanishni quyidagicha yozamiz:

$$T \text{ } ^\circ\text{K} = t \text{ } ^\circ\text{C} + 273,15$$

Turli harorat shkalalari orasidagi nisbat

1.2-jadval

| Shkalalar nomi | Selsiy shkalasi, t, °C | Renkin shkalasi T, Ra | Farengeyt shkalasi, t, °F | Reomeyur shkalasi t, °R |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|--|-------------------------|
| Selsiy shkalasi, °C | — | 5/9 T°Ra-273,15 | $t \text{ } ^\circ\text{F} = \frac{9}{5} t \text{ } ^\circ\text{C} + 32$ | 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) |
| Faran-geyt shkalasi, °F | 1,8 t °C+32 | t °Ra-459,67 | — | 9/4 t °R |
| Reomer shkalasi, °R | 0,8 t °C | 0,8(5/9 T°Ra-273,15) | 4/9(t °F-32) | — |

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

$$\rho = \frac{V \text{ } m^3}{m \text{ } kg} \quad (4)$$

zichlik ρ — solishtirma hajmga teskari bo'lgan kattalikdir.

$$\rho = \frac{1 \text{ } m}{V \text{ } m^3} \cdot \frac{kg}{m^3}$$

Nazorat savollari

1. Termodinamik tizim nima?
2. Ishchi jism nima?
3. Holat parametrlari deb qanday parametrlarga aytiladi?
4. Bosim va uning turlari haqida tushuncha bering.
5. Harorat nima?
6. Absolut harorat nima?
7. Shkalalar orasidagi bog'lanishni tushuntirib bering.
8. Zichlik va solishtirma hajm to'g'risida tushuncha bering.

II BOB

IDEAL GAZLARNING XUSUSIYATLARI

4-§. Ideal gazlarning holat tenglamasi

Termodinamik tekshirish usullarini soddalashtirish uchun ideal gaz haqida tushuncha kiritilgan.

Ideal gazlarda:

- 1) gaz molekullari orasida o'zaro tortishish kuchlari mavjud emas;
- 2) gaz molekullarining o'lehamlari hisobga olmasa ham bo'ladigan darajada kichik;
- 3) gaz molekullarining o'zaro to'qnashuvlari xuddi elastik sharhlarning to'qnashuvidek sodir bo'ladi.

Siyaklashtirilgan real gazlarning xossalari ideal gazga yaqin (masalan; N, gely). 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

$$P \cdot v = \text{const}$$

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

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

Ikkala qonunni birlashtirsa holat tenglamasi kelib chiqadi:

$$\frac{P \cdot v}{T} = \text{const}$$

Gaz mutlaq bosimining hajmiga ko'paytmasining mutlaq haroratga nisbati o'zgar olmaydi va u R bilan belgilanadi. Bu kattalik **gaz doimiysi** deb ataladi.

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

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

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

Gaz doimiysining fizik ma'nosi shundan iboratki, gaz doimiysi 1 kg gaz haroratini 1 °C ga isitilganda bosim o'zgarmas sharoitida bajarigan 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 $v_0 = 22,4$ m³/kmol ga teng.

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

Har qanday gazning gaz doimiysi quyidagicha aniqlanadi:

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

μ_i - i gazning molekulyar og'irligini toping.
Masala. Kislorodning gaz doimiysini toping.

$$R_{O_2} = \frac{8314}{32} = 260 \left[\frac{J}{kgK} \right]$$

Havoning gaz doimiysini toping.

$$R_{\text{havo}} = \frac{8314}{29} = 287 \left[\frac{J}{kgK} \right]$$

5-§. Real gazlarning holat tenglamasi

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

Mendeleev-Klapeyron tenglamasiga tegishli tuzatmalar kiritib, real

gaz holatini aks ettiradigan ifodani hosil qilish mumkin. Bu vazifani 1873-yilda Van-der-Vaals bajardi. U ikkita molekularning hajmga bog'liqligiga tuzatma va molekular orasida o'zaro tortishish kuchlarini hisobga oluvchi tuzatma kiritdi.

Mendeleyev-Klapeyron tenglamasini quyidagicha ifodalash mumkin:

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

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

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

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-Vaals tenglamasini yozamiz:

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

bu yerda: a , b — doimiy koeffitsientlar;

$\frac{a}{v^2}$ — 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.usf. ga teng. Kislorodning massasini toping.

Yechish:

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

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

6-§. Ideal gazlar aralashmasi

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

Kichik bosimli gaz aralashmasini ko'rib chikamiz.

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

CH_4 , C_2H_6 , ... C_2H_{10} — aralashma komponentlari.

Dalton konuniga 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 bosim.

Gaz aralashmalari uchun holat tenglamasi

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

Aralashma tarkibi: massaviy, hajmiy va molyar ulushlarda berilishi mumkin.

m_1 — birinchi komponent massasi, m_2 — ikkinchi komponent massasi, m_3 uchunchi komponent massasi va hokazolardan iborat aralashmani ko'rib chiqamiz. p komponentlardan iborat aralashmaning massasi:

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

Aralashmaning massaviy ulushi deb, gaz massasining aralashma massasiga nisbatiga aytiladi va g harfi bilan belgilanadi

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

$$g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n = 1 \quad (100\%)$$

(16)

Aralashmaning massaviy ulushi foizlarda beriladi, masalan, havo uchun $g_{N_2} = 0,77$ (77%); $g_{O_2} = 0,23$ (23%)

Agar ideal gaz aralashmasi komponenti aralashma temperaturasida 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:

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = V$$

$$V_1, V_2, V_3, \dots, V_n - \text{komponentlarning keltirilgan hajmi};$$

$$V_{ar} - \text{aralashmaning to'la hajmi}.$$

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

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

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

$$r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n = 1 (100\%)$$

Hajmiy ulush foizda beriladi, havo uchun:

$$r_{N_2} = 0,79 (79\%); r_{O_2} = 0,21 (21\%);$$

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

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

$$\sum x_i = 1 (100\%)$$

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 massadan foydalaniladi.

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

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

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

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

Aralashmaning gaz doimiysi:

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

Parsial bosimlarni aniqlash:

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

Hajmiy ulush va massaviy ulush orasidagi bog'liqlik:

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

7-§. Ideal gazlarning issiqlik sig'imi

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

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

q - solishtirma issiqlik miqdori, kJ/kg;

t_1 - boshlang'ich harorat;

t_2 - jisimning oxirgi harorati;

x - jarayon turi.

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

$$c_x = f(T)$$

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

1) o'rtacha issiqlik sig'imi - jisimning boshlang'ich va oxirgi harorati oralig'idagi

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

2) haqiqiy issiqlik sig'imi deb, haroratlarning farqi nolga intilayotgandagi o'rtacha issiqlik sig'imiga aytiladi.

$$c_{\text{toq}} = \lambda m \frac{q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (20)$$

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

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

$$2) \text{ hajmiy issiqlik sig'imi } - c_v$$

$$c'_x = \frac{Q}{V_0(t_2 - t_1)} \left[\frac{kJ}{m^3^{\circ}C} \right] \quad (21)$$

V_0 - normal sharoitga keltirilgan hajm.

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

Issiqlik sig'implari orasidagi bog'lanish:

$$c'_x = c'_v \nu_0 = \frac{\mu c_x}{\mu} \quad (22)$$

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: $P = \text{const}$ jarayonida hajmning o'zgarishi hisobiga ma'lum ish bajariladi, $V = \text{const}$ jarayonida esa ish bajarilmaydi.

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.

Molyar issiqlik sig'imi uchun Mayer tenglamasini quyidagicha yozamiz:

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

Izobar issiqlik sig'imining izoxor issiqlik sig'imiga nisbati k bilan belgilanib, termodinamik hisoblashlarda ko'p ishlatiladi.

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

k - adiabat ko'rsatkichi yoki Puasson koeffitsienti deb yuritiladi.

Issiqlik sig'imining haroratga to'g'ri chiziq bo'yicha bog'liqligini quyidagi ifoda orqali ifodalaymiz:

$$c = a + bt$$

Bu ifodada a va b koeffitsientlar o'zgarmas kattaliklar bo'lib, jarayonning borishiga bog'liqdir.

$$c_m = \frac{c_1 + c_2}{2} = \frac{a + bt_1 + a + bt_2}{2} - \text{o'rtacha issiqlik sig'imining}$$

haroratga bog'liq ravishda yozilishi.

$$q = \left[a + \frac{b}{2}(t_1 + t_2) \right] (t_2 - t_1) - \text{issiqlik miqdorini aniqlash ifodasi.}$$

Issiqlik sig'imining haroratga egri chiziq bo'yicha bog'liqligi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$c = a + bt + dt^2$$

$$q = c_m \int_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1) dt$$

$$(24)$$

Termodinamik hisoblashlarda o'rtacha issiqlik sig'imi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$c_{1,2} = \frac{c_p t_2 - c_p t_1}{t_2 - t_1} \quad (25)$$

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

| Gazlar | μc_v | μc_p | $\mu c_p - \mu c_v$ | k |
|------------------|-----------|-----------|---------------------|------|
| 1 atomli | 12,6 | 20,9 | 20,9 | 1,66 |
| 2 atomli | 20,9 | 29,2 | 29,2 | 1,4 |
| 3 va ko'p atomli | 29,2 | 37,3 | 37,3 | 1,33 |

Gaz aralashmalarida issiqlik sig'imi uchun quyidagi ifodalardan foydalaniladi:

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

Aralashmaning hajmiy issiqlik sig'imi:

$$c_{ar} = \sum_{i=1}^n f_i c_p \text{ va } c_v = \sum_{i=1}^n f_i c_{vi}$$

Aralashmaning molyar issiqlik sig'imi:

$$\mu c_i = \sum_{i=1}^n f_i \mu c_{pi} \text{ va } \mu c_v = \sum_{i=1}^n f_i \mu c_{vi}$$

Masalalar

1. Hajmi 0,9 m³ bo'lgan idishning ichida 1,5 kg CO gazi joylashgan. Shu gazning solishtirma hajmi va zichligini aniqlang.

Berilgan:
V=0,9 m³
M=1,5 kg
v=?, p=?

$$\text{Yechish. } v = \frac{V}{M} = \frac{0,9}{1,5} = 0,6 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{1}{0,6} = 1,66 \text{ kg/m}^3$$

2. Bug' qozonida bosim P=0,04 MPa, barometrik bosim 725 mm sim.ust.ga teng bo'lganda mutlaq (absolyut) bosimni toping.

$$\text{Javob: } P_{mut} = 136660 \text{ Pa.}$$

3. Bug' qozonidagi bug'ning harorati 350° F ga teng. Bu haroratni °C da ifodalang.

$$\text{Javob: } t = 176,6^\circ\text{C.}$$

4. CO gazi berilgan bo'lib, uning bosimi 1 bar ga, harorati 15° C ga teng. Shu gazning zichligini toping.

Berilgan:

$$P=1 \text{ bar}$$

$$t=15^\circ\text{C}=288 \text{ K}$$

p=?

Yechish:

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

$$R_{CO} = \frac{R_u}{\mu_{CO}} = \frac{8314}{28} = 297 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

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

5. 1 kg azot 70°C harorat va 0,2 mPa bosimda qanday hajmi egallaydi? Javob: v=0,509 m³/kg.

6. O₂ gazi berilgan bo'lib, uning bosimi 23 bar ga, harorati 280 °C ga teng. Kislorodning solishtirma hajmini hisoblang. Javob: v = 0,062 m³/kg

7. Bosimi 0,5 MPa ga ega bo'lgan havo silindrda harakatlanadi, uning hajmi 0,8 m³ ga teng. Agar harorat o'zgarmaganda havoning bosimi 0,8 MPa gacha oshirilsa hajm qanchaga o'zgaradi? Javob: V=0,5 m³

8. Havoning issiqlik sig'imi haroratga bog'liq emas deb hisoblab, uning doimiy bosimdagi va doimiy hajmdagi, massaviy va hajmiy issiqlik sig'ini aniqlang.

$$\text{Javob: } C_p = 0,722 \text{ kJ/kgK}; C_v = 1,012 \text{ kJ/kgK}; \\ C'_p = 0,935 \text{ kJ/kgK}; C'_v = 1,308 \text{ kJ/kgK.}$$

9. C=const deb hisoblab, kislorodning bosimi va hajmi o'zgarmagandagi hajmiy issiqlik sig'imini aniqlang.

Yechish: Ikki atomlik gazlar uchun:

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

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

III BOB

TERMODINAMIKANING BIRINCHI QONUNI

8-§. Termodinamik jarayonda ish va issiqlik miqdori

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

Muvozanat holatdagi jism deb, uning har bir nuqtasida P, T va boshqa fizik xususiyatlar bir xilda bo'ladigan holatdagi jismga aytiladi.

Agar silindrdagi gaz porshen yordamida siqilganda yoki kengaytirilganda ishchi jism silindr hajmining har qanday nuqtasida T va P har xil bo'lsa, bu holat **nomuvozanat holat** deyiladi.

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

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

Birinchi usul: 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 usulga 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 jismlarning ishi — ζ bilan belgilanadi va solishtirma ish deyiladi, $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$; issiqlik miqdori — q bilan belgilanadi va solishtirma

issiqlik miqdori deyiladi, $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$.

Gazning bajargan ishini hisoblash. Ishning ifodasini ko'rib chiqish uchun 1-2 jarayonda gaz hajmi o'zgarishini ko'rib chiqamiz (2-rasm).

Hajmning cheksiz kichik o'zgarishi dv da belgilanadi, cheksiz kichik ish $dJ = p dv$ ko'rinishda bo'ladi. (26)

$$\text{Demak: } C_p = \frac{\mu C_p}{22,4} = \frac{20,93}{22,4} = 0,934 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}$$

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

10. Uglarod oksid gazining hajmi o'zgarmaganda $(\mu C_{p,0})^{1200} = 32,192$ kJ/kmol · gr bo'lgandagi 0÷1200°C haroratlar oralig'idagi o'rtacha massaviy va o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imini aniqlang.

Yechish: $\mu C_p - \mu C_v = \mu R \approx 8,314$ kJ/kmol · gr ifodasidan $\mu C_v = \int_0^{1200} \mu C_v$ ni aniqlaymiz:

$$\mu C_v = \int_0^{1200} \mu C_v = \int_0^{1200} (\mu C_p - 8,314) = 32,192 \cdot 1200 - 8,314 \cdot 1200 = 23,877 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{gr}$$

$$\mu C_{\text{vm}} = \int_0^{1200} \mu C_v = \frac{23,877}{1200} = 0,8528 \text{ kJ/kg} \cdot \text{gr}$$

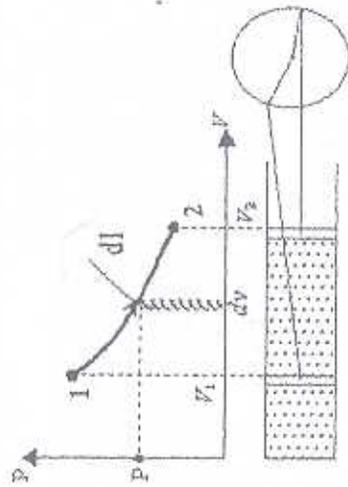
$$\mu C_{\text{vm}} = \int_0^{1200} \mu C_v = \frac{23,877}{22,4} = 1,0659 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{gr}$$

Nazorat savollari

1. Ideal va real gazlar haqida tushuncha bering.
2. Ideal gazning holat tenglamasini yozib bering.
3. Real gazning holat tenglamasini yozib bering.
4. Ideal gaz aralashmasi deb nimaga aytiladi?
5. Ideal gaz aralashmalari qanday tarkibda beriladi?
6. Issiqlik sig'imi nima uchun ishlatiladi?
7. Issiqlik sig'imi necha xil bo'ladi?
8. Mayer tenglamasini ayting.

Gazning v_1 dan v_2 gacha hajm o'zgarishida bajarilgan ish

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv \left[\frac{kJ}{kg} \right] \text{ ko'rinishida bo'ladi.} \quad (27)$$



2-rasm. p-v diagramma

p-v diagrammadagi 1-2- $v_2 - v_1$ -1 yuza bajarilgan ishga teng va bu diagramma **ishchi diagramma** deyiladi. Gazning bajarilgan 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.

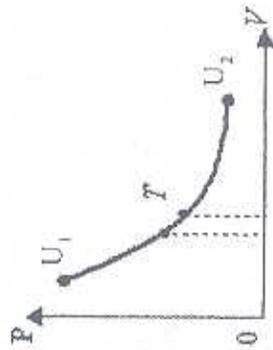
9-§. Ichki energiya va entalpiya

Jismining ichki energiyasi molekullarning boshlang'ich, kinetik va potensial energiyasidan iborat bo'ladi.

$$U = E_0 + E_{kin} + E_{pot} \quad (28)$$

Ideal gazlar uchun:

$$U = U_{kin}$$



3-rasm.

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

$$\begin{aligned} U &= f(P) \\ U &= f(v) \\ U &= f(T) \end{aligned}$$

Ana shu yozilgan ifodani P-v diagrammada ko'rsatadigan bo'lsak, u quyidagicha ifodalanadi: P, v, T o'zgarishi bilan keskin o'zgaradi va oxirgi parametrlari o'zgarishi bilan o'zgaradi.

Ichki energiya jismining bir holatdan ikkinchi holatga qaysi yo'l bilan o'tishiga bog'liq emas.

Jism ichki energiyasining biror jarayonda o'zgarishi jarayonning xarakteriga bog'liq emas hamda jismining boshlang'ich va oxirgi holati bilan aniqlanadi.

$$\Delta U = U_2 - U_1 = c_v (t_2 - t_1)$$

Tizim ichki energiyasi yig'indisi u bilan tizim bosimi P ning tizim hajmi kattaligi V ga ko'paytmasi yig'indisining kattaligi **entalpiya** deb ataladi va h orqali belgilanadi.

$$H = U + pV \quad [J], [kJ]$$

$$(29)$$

Solishtirma entalpiya:

$$h = u + pV \quad [J/kg], [kJ/kg]. \quad (30)$$

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

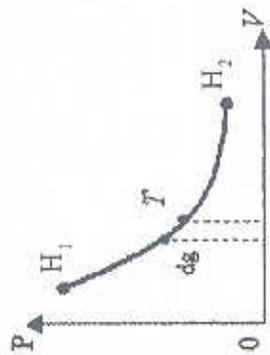
Entalpiya haroratga bog'liq bo'lgan kattalikdir.

$$h = f(T)$$

$$dh = c_p dT$$

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 jismining boshlang'ich va oxirgi parametrlariga bog'liq ravishda o'zgaradi, shuning uchun

10-§. Termodinamikaning birinchi qonuni

Termodinamikaning birinchi qonuni energiya saqlanishi va aylanishi qonunining tathbiqidir.

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

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

1 kg jisim uchun termodinamikaning I-qonuni quyidagicha ifodalanadi:

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

bu yerda: Δu — ichki energiyaning o'zgarishi, l — bajarilgan ish.

Termodinamikaning I qonunining analitik ifodasi:

$$dq = du + dl \quad (31)$$

Ishning ifodasi quyidagichadir:

$$dl = p \, dv \quad (32)$$

Termodinamikaning I qonunining ichki energiya yordamida yozilishi:

$$dq = du + p \, dv \quad (33)$$

Termodinamikaning I qonuni entalpiya yordamida yozilishini keltirib chiqaramiz. Buning uchun ko'paytmaning differensialidan ishni quyidagicha ifodalaymiz:

$$p \, dv = d(p \cdot v) - v \, dp \quad (34)$$

bu ifodani 33 ifodaga qo'yamiz

$$dq = du + d(p \cdot v) - v \, dp = d(u + p \cdot v) - v \, dp \quad (35)$$

bu ifodadagi $u + p \cdot v = h$ deb belgilaymiz va u entalpiya deb ataladi. So'ngra entalpiya yordamida yozilishini hosil qilamiz.

$$dq = dh - v \, dp \quad \text{deb ifodalaymiz.} \quad (36)$$

Issiqlik miqdori termodinamik jarayon xarakteriga bog'liq. I qonun analitik ifodasining issiqlik sig'imi yordamida yozilishi quyidagi ko'rinishga ega:

$$dq = c_v \, dt + p \, dv \quad \text{bu yerda} \quad du = c_v \, dt \quad (37)$$

$$dq = c_p \, dt - v \, dp \quad \text{bu yerda} \quad dh = c_p \, dt \quad (38)$$

11-§. Entropiya

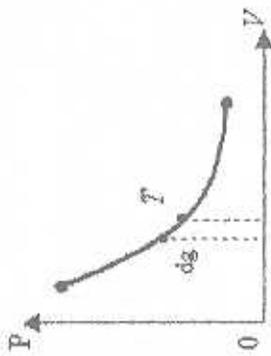
Entropiya ham holat parametrlaridan bo'lib, C harfi bilan belgilanadi va o'zgarish ma'nosini bildiradi. Tizimga issiqlik berilganda uning holati o'zgaradi. Elementar qismda berilgan issiqlik dq va harorati T ga teng.

$$\frac{dq}{T} = ds \quad (39)$$

Entropiya — tizim holatning shunday funksiyasi, bu funksiyaning qaytuechan jarayondagi cheksiz kichik o'zgarishi mazkur tizimga kiritilgan cheksiz kichik issiqlik miqdorining shu issiqlik kiritilgan holatdagi harorat nisbatiga teng.

$$S = \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right] \quad (40)$$

$$dq = T \cdot ds$$



5-rasm

Agar: 1) $ds > 0$, $S_2 > S_1$ bo'lsa, entropiya ortadi $dq > 0$ da issiqlik ortadi.

2) $ds < 0$, $S_2 < S_1$ bo'lsa, entropiya kamayadi $dq < 0$ da issiqlik ajraladi.

3) $ds = 0$, $S_2 = S_1$, $dq = 0$ adiabatik jarayon.

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

Masalalar

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

Javob: 20 kJ/kg.

Yechish:

1. Kislorod uchun (ikkı atomlı gaz)
 $\mu C_p = 20,93 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$

$$C_p = \frac{\mu C_p}{\mu} = \frac{20,93}{32} = 0,635 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

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

$$I = q \cdot \Delta t = 262 - 61 = 201 \text{ kJ/kg.}$$

2. 10 kg neft moyi qizitilsa va aralashtirib turilsa, harorati qanday o'zgaradi? Bunda keltirilayotgan issiqlik miqdori $Q = 200 \text{ kJ}$ va aralashtirish ishi $L = 36 \text{ kJ}$. Moyning issiqlik sig'imi 2 kJ/kg teng.
 Javob: $\Delta t = 11,8^\circ\text{C}$.

3. Quvvati 100 ot kuchiga ega bo'lgan ichki yonuv dvigateli, sinov paytida suv bilan sovutiladigan tormozga ulanayapti.

Agar suvning harorati tormozdan o'tayotganida 400°C ga ko'tarilsa va issiqlikning 15%i tormozdan havo bilan atrof-muhitga olib ketilayotgan bo'lsa, sovituvechi suvning sarfini toping.
 Javob: $0,373 \text{ kg/s}$.

4. Quvvati 500 MvT bug' turbinali elektrostantsiya yonish issiqligi $Q_p = 33,5 \text{ MJ/m}^3$ bo'lgan tabiiy gazni soatiga 145000 m^3 sarflayotgan bo'lsa, uning FIK (foydali ish koeffitsienti)ni aniqlang.
 Javob: 37%.

5. Elektrostantsiyaning qozonxonasida 10 soatlik ish davomida yonish issiqligi $Q_p = 29300 \text{ kJ}$ bo'lgan 100 t toshko'mir yoqilgan.
 Agar issiqlik energiyasini elektr energiyaga aylantirish jarayonining FIK 20% ni tashkil qilsa, ishlab chiqarilgan elektroenergiyaning miqdorini va stansiyaning o'rta quvvatini toping.
 Javob: 162780 kVt/s; $N_{o'rt} = 16278 \text{ kVt}$.

6. Harorati 20°C 2 l suvi bor idishga quvvati 800 Vt elektr qizitgich joylashtirilgan. Suvning qaynash harorati 100°C gacha qizishi uchun qancha vaqt kerak bo'ladi?
 Idishning atrof-muhitga yo'qotadigan issiqligini hisobga olmang.
 Javob: $t = 30 \text{ min}$.

Nazorat savollari

1. Ichki energiya nima?
2. Entalpiya nima?
3. Entropiya nima?
4. Termodinamikaning birinchi qonuni ta'rifini bering.
5. Termodinamikaning birinchi qonunining analitik ifodasini yozib bering.

IV BOB. ASOSIY TERMODINAMIK JARAYONLARNING TAHLILI

Shu davrga qadar fizika kursidan bizga ma'lum bo'lgan beshra asosiy jarayonlar mavjud. Ular quyidagilardir.

1. $P = \text{const}$ – izobarik jarayon.
2. $V = \text{const}$ – izoxorik jarayon.
3. $T = \text{const}$ – izotermik jarayon.
4. $dq = 0$, $S = \text{const}$, $p \cdot V^\gamma = \text{const}$ – adiabatik jarayon.
5. $C_p = \text{const}$, $p \cdot V^n = \text{const}$, $n = \pm \infty$ – politropik jarayon.

Bu jarayonlarni tahlil qilish quyidagicha olib boriladi:

- 1) jarayonning tenglamasi
- 2) parametrlar orasidagi bog'lanish va uning P - v , T - s diagrammalarda ko'rinishi.
- 3) jarayonning ichki energiyasi. Hamma jarayonlar uchun ichki energiyaning o'zgarishi $\Delta u = C_v \Delta T$ ifoda bilan ifodalanadi;
- 4) jarayonning bajarilgan ishi;
- 5) jarayonning issiqligi;
- 6) jarayon entropiyasining o'zgarishi.

12-§. Izobarik jarayon

Bosim o'zgaraydigan jarayonga izobarik jarayon deyiladi va u quyidagi tenglama orqali yoziladi: $P = \text{const}$.

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

$$P_1 V_1 = RT_1 \quad (41)$$

$$P_2 V_2 = RT_2 \quad (42)$$

(41) ni (42) ga bo'lib quyidagini hosil qilamiz.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_2}{T_2} \cdot \frac{V_1}{T_1} = \text{const} \quad (43)$$

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

Ichki energiyaning o'zgarishi:

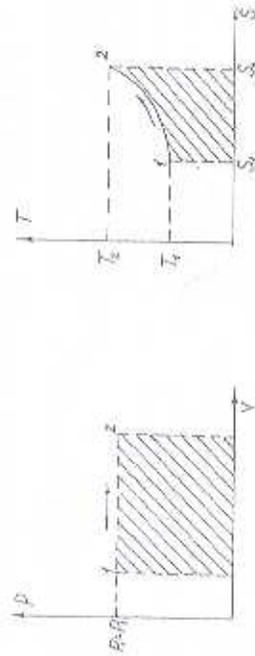
$$du = C_v dT; \Delta u = C_v (T_2 - T_1) = C_v (t_2 - t_1) \quad (44)$$

Jarayonning ishi:

$$dI = p dv$$

Ishni integrallab izobarik jarayonning ishini aniqlaymiz:

$$l = p(v_2 - v_1) = pv_2 - pv_1 = RT_2 - RT_1 = R(T_2 - T_1) \quad (45)$$



6-rasm. a) P - V diagrammadagi ko'rinishi — $P = \text{const}$;
b) T - S diagrammadagi ko'rinishi — $P = \text{const}$.

Jarayonning issiqligi

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

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'p qismi ichki energiya o'zgarishi ortishiga va oz qismi mexanik ish bajarishga sarf bo'ladi.

13-§. Izoxorik jarayon

Hajm o'zgarmaydigan jarayonga **izoxorik jarayon** deyiladi.

$$V = \text{const}$$

Parametrlar orasidagi bog'lanish.

Jarayon sodir bo'lishida gazning 1 va 2 nuqtalari uchun holat tenglamasini yozamiz:

$$P_1 v_1 = RT_1 \quad (48)$$

$$P_2 v_2 = RT_2 \quad (49)$$

(48) va (49) ni bo'lib quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (50)$$

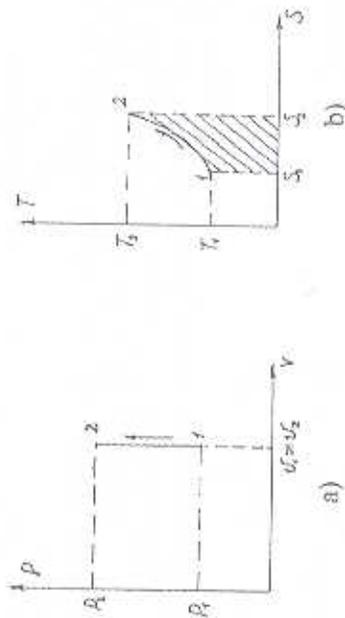
Demak, $V = \text{const}$ jarayonida bosimlar nisbati haroratlar nisbatiga to'g'ri proporsional. (50) ifoda Sharl qonunining ifodasidir. Ichki energiyaning o'zgarishi

$$du = c_v dT \quad (51)$$

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

Jarayonning ishi:

$$l = \int_1^2 p dV = 0 \quad (52)$$



7-rasm. a) P - V diagrammadagi ko'rinishi — $V = \text{const}$;
b) T - S diagrammada ko'rinishi — $V = \text{const}$.

Termodinamikaning I qonuniga binoan $dq = du + dl$ lekin $V = \text{const}$ bo'lganida $l_v = 0$, ya'ni izoxor jarayonda gaz ish bajarmaydi.

Jarayonning issiqligi

$$q = \Delta u + l$$

$$(53)$$

$$l = 0 \text{ bo'lgani uchun } q = \Delta u \text{ yoki } q_v = c_v(T_2 - T_1)$$

Entropiyaning o'zgarishi

$$\Delta S = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (54)$$

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

14-§. Izotermik jarayon

Harorat o'zgarmaydigan jarayonga **izotermik jarayon** deyiladi. Uning tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$T = \text{const}$

(1) va (2) holatlar o'zgarishidagi holat tenglamasini yozamiz:

$$P_1 V_1 = RT_1 \quad (55)$$

$$P_2 V_2 = RT_2 \quad (56)$$

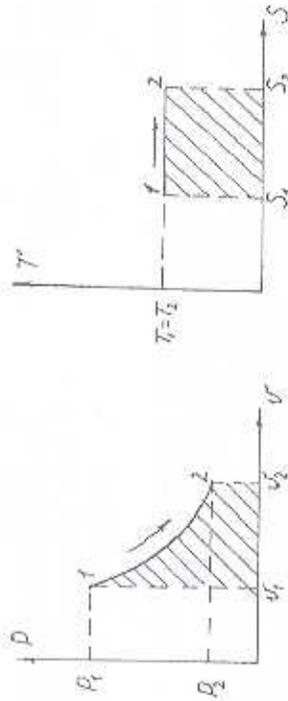
(55)ni (56)ga bo'lamiz

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad (57)$$

Demak, bu jarayonda bosimlar nisbati hajmlar nisbatiga teskari proporsional (57) ifoda Boyl-Mariott qonuni ifodasidir.

$T = \text{const}$ bo'lgani uchun $\Delta T = 0$ bo'ladi. Shuning uchun

$\Delta u = c_v(T_2 - T_1) = 0$, ya'ni jismning harorati o'zgarmasa, uning ichki energiyasi o'zgarmaydi.



a) P - V diagrammadagi ko'rinishi - $T = \text{const}$;

b) T - S diagrammadagi ko'rinishi - $T = \text{const}$.

Jarayonning ishi:

$$dL = p dv \quad (58)$$

(58) ifodani integrallasak

$$L = \int_{V_1}^{V_2} p dv \quad (59)$$

Holat tenglamasi $PV = RT$ dan $P = \frac{RT}{V}$ ni aniqlaymiz va (59) ifodadan

P ning o'rniga qo'yamiz:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} RT \frac{dV}{V} \quad (60)$$

$$L = RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (61)$$

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

$$dq = dL \quad (62)$$

yoki

$$q_T = L, \text{ yoki } L_T = RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (63)$$

Entropiya o'zgarishi:

$$\Delta S_T = \frac{dq}{T} = R \ln \frac{V_2}{V_1}, \text{ kJ/kg} \quad (64)$$

15-§. Adiabatik jarayon

Sistemaga issiqlik keltirilmaydi va undan issiqlik olinmaydi, ya'ni $dq = 0$ bo'lsa, entropiya o'zgarmay qoladi $S = \text{const}$ yoki $\Delta S = 0$.

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

$$dq = c_p dT - v dp \quad (65)$$

$$dq = c_v dT + p dv \quad (66)$$

(65) ni (66) ga bo'lamiz:

$$\frac{c_p dT}{c_v dT} = \frac{v dp}{p dv} \quad \text{yoki} \quad \Delta S = c_p \ln \frac{V_2}{V_1} + c_v \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (67)$$

(67) ifodani integrallaymiz:

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = k \ln \frac{V_2}{V_1}; \quad \text{yoki} \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^k \quad (68)$$

Bu yerda $\frac{c_p}{c_v} = k$ adiabata ko'rsatkichi

$$P_1 v_1^k = P_2 v_2^k$$

bundan:

$$P_2^k = \text{const}$$

bu ifoda adiabatik jarayonning tenglamasi deyiladi.

Endi parametrlar orasidagi bog'lanishni topamiz:

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:

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

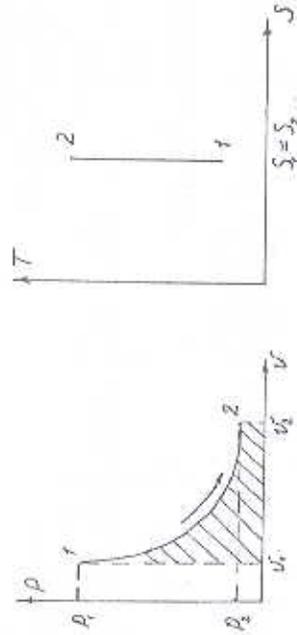
Ichki energiyaning o'zgarishi:

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

Jarayonning ishi:

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

$$l = c_v (T_1 - T_2) \text{ chunki } l = -\Delta u$$



9-rasm. a) adiabatik jarayonning P-V diagrammasi;
b) adiabatik jarayonning T-C diagrammasi.

Jarayonning issiqligi

$$q=0$$

Entropiyaning o'zgarishi

$$\Delta s=0$$

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

16-§. Politropik jarayon

Jarayonning tenglamasi.

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

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

Tenglamani keltirib chiqarish uchun termodinamika birinchi qonunining ichki energiya va entalpiya yordamida yozilishi ifodasini ko'ramiz:

$$dq = c_v dT = c_v dT + P dv \quad (72)$$

$$dq = c_p dT = c_p dT - v dP \quad (73)$$

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

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

$$C_n = C_v \frac{n-k}{n-1} \text{ - politropik issiqlik sig'imi}$$

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

$$\frac{c_p - c_v}{c_p - c_v} = n \quad (74) \text{ deb belgilaymiz va u politropik ko'rsatkich}$$

deb ataladi.

$$n = - \frac{v dP}{P dv}; \quad n \frac{dP}{P} = - \frac{dv}{v}; \quad n \ln P = - \ln v$$

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

Endi parametrlar orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz.

Bosim va hajm orasidagi bog'lanish:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma}$$

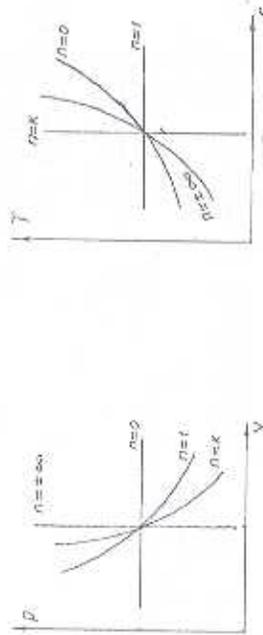
Harorat va hajm orasidagi bog'lanish:

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

Harorat va bosim orasidagi bog'lanish:

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

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



10-rasm. a) politropik jarayonning P-V diagrammasi;
b) politropik jarayonning T-C diagrammasi.

- 1) $n=0$ $P=\text{const}$
- 2) $n=1$ $PV=\text{const}$
- 3) $n=k$ $PV^k=\text{const}$
- 4) $n=\pm\infty$ $V=\text{const}$

Ichki energiyaning o'zgarishi $\Delta u = C_v \Delta T$
Jarayonning ishi:

$$\ell_{\text{pol}} = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2) \quad (75)$$

$$\ell_{\text{pol}} = \frac{1}{n-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2) \quad (76)$$

$$\ell_{\text{pol}} = \frac{RT}{n-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \quad (77)$$

Jarayonning issiqligi

$$q = C_n (T_2 - T_1) \quad (78)$$

Entropiyaning o'zgarishi

$$\Delta S = C_n \ln \frac{T_1}{T_2} \quad (79)$$

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.

Masalalar

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

Javob: $t_2 = -40,4^\circ\text{C}$.

2. Hajmi $V=0,5\text{m}^3$ idishda, bosimi $P=6\text{MPa}$ va harorati $t_1=527^\circ\text{C}$ CO₂ gazi joylashgan. Agar undan 420kJ issiqlik olib ketilsa, bosim qanchaga o'zgaradi?

Javob: $P_2=0,42\text{MPa}$.

3. Diametri 0,4 m silindrd, bosimi 0,29 MPa va harorati 15°C bo'lgan 80 l havo joylashgan.

Havoning issiqlik sig'imini doimiy deb hisoblagan holda, agar havo 83,7 kJ issiqlik keltirilayotgan bo'lsa, porshen joyiga siljimasdan qolishi uchun unga ta'sir qilayotgan kuch qanchaga oshishini aniqlang.

Yechish:

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

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

Havoning oxirgi haroratini t_2 deb olamiz

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

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

Bosim

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

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

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

4. Qozon qurilmasining tutun gazlari havo qizitgich orqali o'tib ketyapti. Gazlarning boshlang'ich harorati $t_{G1}=300^\circ\text{C}$, oxirgisi $t_{G2}=160^\circ\text{C}$, gazning sarfi 1000 kg/soat ga teng. Havoning boshlang'ich harorati $t_{H1}=15^\circ\text{C}$ va sarfi 910 kg/soat.

Agar havo qizitgichning yo'qotishi 4 % bo'lsa, qizigan havoning haroratini toping. Qozondan chiqib ketayotgan tutun gazlari va havoning o'rtacha issiqlik sig'imlarini (S_{tm}) tegishli ravishda 1,0467 va 1,0048 kJ/kgK larga teng deb qabul qiling.

Javob: $t_2 = 168,9^\circ\text{C}$.

5. Ichki yonuv dvigatelining silindrida harorati 500°C havo joylashgan. Issiqlik keltirilishi natijasida havoning hajmi 2,2 barobar oshdi. Havoning kengayish jarayonida bosim deyarli o'zgarмай qoldi.

Havoning oxirgi harorati, solishtirma issiqlikni va ishini toping. Issiqlik sig'imini haroratga egri chiziqli bog'liq deb hisoblang.

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

6. Qozon qurilmasining havo qizitgichida havo 20°C dan to 250°C gacha, 0,1 MPa doimiy mutlaq bosimda isitilyapti. Havo issiqlik sig'imining haroratga bog'liqligini hisobga olgan holda, 1 kg havoni isitish uchun sarf bo'ladigan issiqlikni va havoning kengayishi natijasida bajariladigan solishtirma ishini aniqlang.

Javob: $q = 234,6\text{ kJ/kg}$; $l = 66\text{ kJ/kg}$.

Yechish:

Qizitilayotgan havoning ko'rsatilgan oraliq uchun doimiy bosimdagi va hajmdagi massaviy issiqlik sig'imini $\mu C_{pm}|_{20}^{250}$ topamiz:

a) buning uchun jadvaldan

$$\mu C_{p,0}|_{20}^{250} = 28,827 + 0,002708 \cdot 250 = 29,504\text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$$

$$\mu C_{p}|_{20}^{250} = 28,827 + 0,002708 \cdot 20 = 28,881\text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$$

Keyin

$$\mu C_{tm}|_{20}^{250} = \frac{29,504 \cdot 250 - 28,81 \cdot 20}{250 - 20} = \frac{7376 - 577,62}{230} = 29,5581\text{ kJ/}$$

kmolK

$\mu = 28,95\text{ kg/kmol}$; $R = 0,287195\text{ kJ/kg}$.

b) $C_p|_{20}^{250}$ ga qiymatni aniqlaymiz.

$$\mu C_{p,m} \Big|_{20}^{250} = \frac{\mu C_p \Big|_{20}^{250}}{\mu} = \frac{29,558}{28,95} = 1,021 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

v) Mayer qonuniga asosan

$$C_p - C_v = R \text{ dan: } C_p \Big|_{20}^{250} = C_v \Big|_{20}^{250} - R = 1,021 - 0,287 = 0,734 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$P = \text{const}$ jarayonida sarf bo'ladigan issiqlik miqdori

$$q_p = C_{p,m} \Big|_{20}^{250} (t_2 - t_1) = 1,021 \cdot 230 = 234,83 \text{ kJ/kg}$$

$P = \text{const}$ jarayonda kengayish ishi:

$$\ell = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1)$$

yoki birinchi qonunga asosan

$$\ell = q - \Delta U$$

a) agar birinchi usul bo'yicha hisoblasak, holat tenglamasidan havoning boshlang'ich va oxirgi solishtirma hajmlarini topishimiz zarur.

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287,195(20 + 273)}{0,1 \cdot 10^6} = 0,842 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{287,195(250 + 273)}{0,1 \cdot 10^6} = 1,502 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Unda:

$$\ell = P(v_2 - v_1) = 0,1 \cdot 10^6(1,502 - 0,842) = 0,66 \cdot 10^6 = 66,0 \text{ kJ/kg};$$

b) agar birinchi qonun bo'yicha topmoqchi bo'lsak, jarayon davomida ichki energiyaning o'zgarishini aniqlashimiz kerak:

$$\Delta U = c_{v,m}(T_2 - T_1) = 0,734 \cdot (523 - 293) = 168,774 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{unda } \ell = q - \Delta U = 234,83 - 168,774 = 66,056 \text{ kJ/kg.}$$

7. Ichki yonuv dvigatelida doimiy bosimda yonish jarayonida gazning harorati $t_1 = 1500^\circ\text{C}$ gacha oshyapti.

Gaz havoning xossalari ega deb, 1 kg gazning kengayish ishini aniqlang.

Javob: 287 kJ.

8. Gazga, doimiy bosimda keltirilayotgan issiqlik, uning ichki energiyasi o'zgarishiga va ish bajarishga sarf bo'lavapti. Agar izobar qizdirilayotgan 1 kg havoning kengayish ishi 20,5 kJ ni tashkil qilsa, keltirilayotgan

issiqlik miqdorini va havo haroratining o'zgarishini aniqlang. Issiqlik sig'imini doimiy deb hisoblang.

Javob: $\Delta t = 71,4^\circ\text{C}$; $Q = 71,8 \text{ kJ/kg}$.

9. Ichki yonuv dvigatelinin silindri ichida siqilish jarayonining oxirida mutlaq bosimi 4 MPa va harorati 550°C , $Q = 150 \text{ kJ/kg}$ issiqlik keltirilgandan keyingi parametrlarni aniqlang, agar issiqlikning 50% $v = \text{const}$ da 50% i $P = \text{const}$ da keltirilayotgan bo'lsa. Ishtchi jism (gaz) havoning xossalari ega deb hisoblang. Issiqlik sig'imining haroratga bog'liqligini hisobga olmag.

Javob: $t = 728^\circ\text{C}$; $P = 4,5 \text{ MPa}$; $v = 0,059 \text{ m}^3/\text{kg}$.

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

Javob: 54500 kolba.

11. 0,3 m³ kislorodning izotermik kengayishi natijasida bosim 0,3 MPa dan to 0,1 MPa gacha pasayadi. Agar $t = 20^\circ\text{C}$ bo'lsa, oxirgi hajmi va kengayishini aniqlang.

Javob: $V_2 = 0,9 \text{ m}^3$; $L = 102 \text{ kJ}$

Yechish:

Oxirgi hajm

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

Kengayish ishi

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

12. 1 kg havo boshlang'ich harorati 15°C va boshlang'ich bosimi 1 bar bilan adiabatik siqiladi. Ishni, oxirgi hajmi va oxirgi haroratni aniqlang.

Adiabatik jarayondagi parametrlar orasidagi bog'lanishdan quyidagini topamiz.

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

bundan: $T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$ $\kappa=1,4$ deb qabul qilamiz.

$$T_2 = 288 \cdot 8^{\frac{0,4}{1,4}} = 288 \cdot 8^{0,286} = 288 \cdot 10811 = 521 \text{ K}$$

$$T_2 = 521 - 273 = 248^\circ\text{C}$$

Sarflangan ish quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{R}{\kappa-1} (T_1 - T_2) = \frac{0,287}{0,4} (288 - 521) = -167,2 \text{ kJ/kg}$$

Oxirgi hajmini holat tenglamasidan topamiz:

$$P_1 V_1 = RT_1 \text{ dan: } V_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{287 \cdot 521}{8 \cdot 10^5} = 0,74 \text{ m}^3/\text{kg}$$

13. Havo 4,5 bar bosim bilan 1,2 bar bosimgacha kengayganda, uning harorati -45°C gacha soviydi. Boshlang'ich haroratni va 1 kg havoning bajargan ishini aniqlang.

Javob: $t_1 = 61^\circ\text{C}$; $l = 75,3 \text{ kJ/kg}$.

14. $t_1 = 25^\circ\text{C}$ haroratli havo adiabatik sovishi natijasida uning harorati $t_2 = -55^\circ\text{C}$ bo'ladi, bosim 1 bar gacha kamayadi. Boshlang'ich bosimni, 1 kg havoning kengayishidagi ishini toping.

Javob: $R_1 = 3 \text{ bar}$; $l = 57,4 \text{ kJ/kg}$.

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

$$Q = C_v \frac{n-k}{n-1} (t_2 - t_1)$$

$$149 = C_v \frac{1,18-1,4}{1,18-1} (-14-150)$$

$$149 = C_v \frac{-0,22}{0,18} (-164)$$

$$149 = 200 C_v$$

$$C_v = \frac{149}{200} = 0,745 \text{ kJ/kg K}$$

Issiqlik sig'imini qiymati $C_v = 0,745 \text{ kJ/kgK}$ Endi μ ni topamiz:

$$\mu = \frac{\mu C_v}{\epsilon_v} = \frac{20,33}{0,745} = 28 \text{ kg/kmol}$$

Demak, azot gazi ekan.

16. 1 kg argon gazi berilgan bo'lib, uning boshlang'ich bosimi 1,8 MPa bo'lib politropik jarayon bajarilishi natijasida uning bosimi $P_2 = 2P_1 = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ gacha va hajmi $V_2 = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$ gacha o'zgaradi. Bajargan ishni va issiqlikni aniqlang.

Javob: $l = 146 \text{ kJ/kg}$; $q = 453 \text{ kJ/kg}$.

17. Boshlang'ich holat parametrlari $P_1 = 0,11 \text{ MPa}$ va $t_1 = -10^\circ\text{C}$ politrop siqish jarayonida hajm to 1,1 m³ gacha kamayyapti va bosim to 0,45 MPa gacha oshyapti.

Siqilish ishini va havoning oxirgi haroratini toping.

Javob: $n = 1,4$; $Q = 0$; $L = -412 \text{ kJ}$; $t_2 = 121^\circ\text{C}$

18. Boshlang'ich parametrlari $P_1 = 0,9 \text{ MPa}$ va $t_1 = 20^\circ\text{C}$ dan to $R_2 = 1,0 \text{ MPa}$ gacha bo'lgan 1 kg havoning siqilish ishini va oxirgi haroratini izotermik, adiabatik va politrop siqilish jarayonlari uchun taqqoslang. ($n = 1,25$)

Javob: $l_k = -202,2 \text{ kJ/kgK}$.

Nazorat savollari

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

V BOB. TERMODINAMIKANING IKKINCHI QONUNI

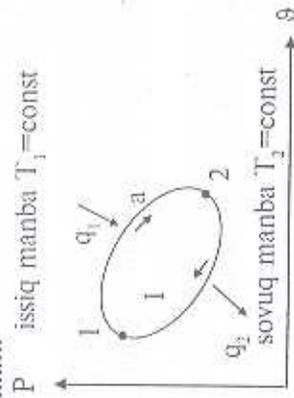
17-§. Aylanma jarayonlar

Jism bir qancha o'zgarishlarga uchrab, ish bajarib, yana o'zining dastlabki holatiga qaytib kelishiga **aylanma jarayonlar** deyiladi. Aylanma jarayon degani — sikl (davriylik)dir.

Agar jarayon soat strelkasi bo'ylab harakat qilsa, ya'ni kengayish chizig'i siqilish chizig'idan to'g'ri joylashgan bo'lsa, bunday aylanma jarayon **to'g'ri sikl** deyiladi. 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 pastda joylashgan bo'lsa, bunday aylanma jarayon **teskari sikl** deyiladi. Bu siklda kengayish ishi torayish ishidan kichik bo'ladi. Bu sikl bo'yicha barcha sovutish mashinalari ishlaydi. (12-rasm)

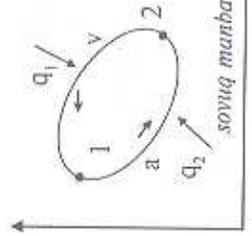
Ishchi diagramma bo'lgan P-V diagrammada aylanma jarayonlarni ko'rishimiz mumkin.



11-rasm. To'g'ri aylanma jarayonning P-V diagrammadagi ko'rinishi.

1a2 — kengayish chizig'i; 2v1 — siqilish chizig'i;
 q_1 — berilgan issiqlik miqdori; q_2 — ajralgan issiqlik miqdori

P issiq manba $T_1 = \text{const}$



12-rasm. Teskari aylanma jarayonning P-V diagrammadagi ko'rinishi.

1a2 — kengayish chizig'i;
2v1 — siqilish 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 ko'effitsienti bilan ifodalanadi. Siklning foydali ish ko'effitsienti jismga berilgan issiqlikning qanchasi ishga aylanganligini bildiradi.

$$\eta_1 = \frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (80)$$

$\eta_1 < 1$ (100%) issiqlik mashinalari uchun FIK taxminan 40% ni tashkil etadi.

Teskari sikl sovutish ko'effitsienti bilan ifodalanadi va u e harfi bilan belgilanadi.

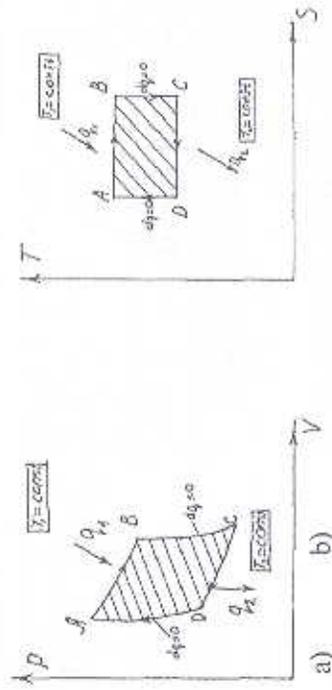
$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2} \quad (81)$$

$\varepsilon > 1$. Sovutish mashinalari uchun ε (3+7) gacha bo'ladi.

Aylanma jarayonlar to'g'risidagi tushunchamizni mustahkamlash uchun issiqlik mashinalarining ishlashini xarakterlaydigan eng ideal siklni ko'rib chiqamiz.

18-§. Karno sikli

Bu sikl aylanma jarayonlar ichida eng ideal sikl bo'lib, ikkita izotermik, ikkita adiabatik jarayondan tashkil topgandir. Uning ikkita diagrammadagi ko'rinishini chizamiz.



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

a nuqtadan boshlab issiqlik manbai bo'lgan issiqlik beruvchidan ishchi jisimga issiqlik beriladi, shuning natijasida izotermik kengayish jarayoni sodir bo'ladi. Kengayish jarayoni be jarayoni bo'lib adiabatik ravishda davom etadi, bu esa tashqi muhit bilan issiqlik almashimaganligi tufayli ichki energiya o'zgarishi hisobiga bo'ladi.

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

Demak, cd jarayoni izotermik siqilish jarayomidir. Siqilish jarayoni c nuqtada tugamay, da jarayoni orqali adiabatik ravishda ichki energiya 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 siklning foydali ish koeffitsienti quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi.

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (82)$$

bu erda: η_1 — foydali ish koeffitsient %

q_1 — keltirilgan issiqlik miqdori J, kJ

$$q_1 = \Delta S T_1$$

q_2 — olib ketilgan issiqlik miqdori J, kJ

$$q_2 = \Delta S T_2$$

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

$$\eta_1^k = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (83)$$

bu yerda: T_1 — issiq manbaning harorati, °K;

T_2 — sovuq manbaning harorati, °K.

Karno siklining foydali ish koeffitsienti issiqlik manbaya va sovuqchining harorati bo'yicha aniqlanadi.

$$\eta_1^k < 1, \text{ (60\%)} \quad (84)$$

Teskari Karno sikli uchun:

$$\epsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (85)$$

19-§. Termodinamikaning ikkinchi qonuni

Termodinamikaning I qonuni issiqlikning ishga va ishning issiqlikka aylanishini ta'kidlaydi, lekin bu aylanishlar qaysi sharoitlarda amalga oshirishini ko'rsatmaydi.

Termodinamikaning I qonuni issiq jismdan sovuq jisimga issiqlik o'tishi va aksincha bo'lishi to'g'risidagi savolga javob bera olmaydi. Issiqlik issiq jismdan sovuq jisimga o'tadi. Ish bajarish hisobiga issiqlik miqdori yo'nalishini o'zgartirish mumkin.

Tabiatda ish issiqlikka ishqalanish, zarb va boshqalar hisobiga aylanadi. Issiqlik mashinalarida issiqlik ishga issiqlik manbaya va sovuqchilarda haroratlar farqi mavjudligida aylanadi. Bunda issiqlikning hammasi ishga aylanmaydi.

Termodinamikaning II qonuni issiqlik oqimining yo'nalishini va shart-sharoitlarni ko'rsatadi.

Termodinamika II qonunining matematik ifodasi:

$$ds \geq \frac{dQ}{T} \quad (86)$$

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 II-qonuni ko'p ta'riflarga ega. Ulardan asosiyarlari quyidagilardir:

Sadi Karno ta'rifi: issiqlikni mexanik ishga aylantirish uchun haroratlar farqi bo'lishi kerak (ya'ni issiqlik manbaya va sovuqchilari).

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

Tomson ta'rifi: issiqlik mashinalariga berilgan issiqlikning hammasini ishga aylantirib bo'lmaydi. Bu issiqlikning bir qismi sovuqchiga uzatiladi. Agar issiqlik butunlay ishga aylantirilsa, II turdagi abadiy dvigatellar yaratilgan bo'lar edi, lekin bunday dvigatellarni yaratib bo'lmaydi.

20-§. Ekssergiya

Jismning boshlang'ich holati P_1 , T_1 dan atrof-muhit bilan muvozanatlashgan oxirgi holati ko'rsatkichlari P_0 va T_0 gacha bo'lgan qaytar jarayonda maksimal ish olish mumkin. Ishchi jism bajarayotgan

maksimal ishlash qobiliyati eksergiya deyiladi va e harfi bilan belgilanadi. Bunda sovutgich sifatida T_0 haroratli tashqi muhit qabul qilinadi va jarayon oxirida ishchi jism uni o'rab turuvchi muhit bilan termodinamik muvozanatga keladi.

Yopiq tizimlar uchun jismlar energiyasining o'zgarishini ko'rib chiqamiz. Ishchi jism P , V , T va C ko'rsatkichlar bilan qaytar jarayonni amalga oshirib, termodinamikaning I qonuniga asosan jarayonda atrof-muhit bilan ishchi jism ichki energiyasining o'zgarishi unga tashqi issiqlik ta'siri (kiritilishi va chiqarilishi) bilan yoki ish bajarish hisobiga amalga oshirilishi mumkin. Ishchi jismga issiqlik kiritish (yoki chiqarish) jarayonning muvozanatlash shartini bajarib, o'rab turuvchi muhitning o'zgarish harorati T_0 amalga oshiriladi, ya'ni berilgan holat uchun $\delta q = T_0 ds$. Yopiq tizimda jism eksergiyasi ds bajarilgan ishdan o'rab turuvchi muhit bosimini yengish uchun sarf bo'lgan ish ($P_0 d\theta$) ni ayirmasiga teng bo'ladi.

Shunday qilib:

$$de = \delta q - du - P_0 d\theta = T_0 ds - du - P_0 d\theta.$$

Integrallab solishtirma eksergiyani hosil qilamiz:

$$e = T_0 (s_1 - s_0) - (u_1 - u_0) - P_0 (\theta_1 - \theta_0) = (u_1 - u_0) - T_0 (s_1 - s_0) + P_0 (\theta_1 - \theta_0)$$

yoki

$$e = (h_1 - h_0) - T_0 (s_1 - s_0)$$

bunda h va S_0 - ishchi jismning uni o'rab turgan muhit bilan muvozanatlashadigan entalpiyasi va entropiyasi.

T_1 haroratli issiqlik manbaidagi o'rab turuvchi muhit harorati T_0 ga teng haroratli issiqlik qabul qiluvchi (sovutkich) dan va ishchi jismdan tashkil topgan izolatsiyalangan tizimda issiqlik manbaidan ishchi jismga q_1 miqdorda issiqlik berilgan bo'lsin. Bu holda olinishi mumkin bo'lgan maksimal Karnonning $T_1 - T_0$ oralig'ida amalga oshadigan qaytar sikli ishga teng bo'ladi:

$$\epsilon_{\max} = \eta_{1,x} \cdot q_1$$

Karno sikli uchun FIK.

$$\eta_1 = 1 - \frac{T_0}{T_1}$$

ekanligidan issiqlik oqimi uchun eksergiya ifodasini olamiz.

$$\epsilon_4 = q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) \quad (87)$$

Eksergiya tushunchasidan issiqlik apparatlarini jarayonlarining mukammal darajasini tahlil qilish uchun foydalanildi. Issiqlik apparatiga P_1 , T_1 parametrdli ishchi jism oqimi kiritilganda issiqlik manbasidan q_1 issiqlik olinadi, P_2 , T_2 parametrlar bilan apparatdan chiqariladi, shunda apparatda ϵ_1 foydali ish bajariladi. Eksergiya yo'qolishi Δe quyidagiga teng:

$$\Delta e = |(e_1 + y_{e_{q_1}} - e_2) - \epsilon_1| \quad (88)$$

bunda e_1 va e_{q_1} - jismning va issiqlik oqimining apparatga kiritiladigan eksergiyasi, e_2 - apparatdan chiqariladigan eksergiya ϵ_1 - ishchi jism bajarilgan foydali ish. Eksergiya FIK

$$\eta_1 = 1 - \frac{\Delta e}{e_1} \quad (89)$$

bunda Δe - kiritiladigan va chiqariladigan eksergiyalar farqi e_1 - kiritiladigan eksergiya.

Masalalar

1. 1 kg havo 927°C va 27°C haroratlar oralig'ida Karno sikliga berilgan issiqlik $Q_1 = 30$ kJ ga teng. Siklning FIK ni va foydali ishni toping.

$$\eta_1 = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{1150} = 0,74 \quad (74\%)$$

$$L = \frac{Q_1}{\eta_1}; \quad L = \eta_1 \cdot Q_1 = 0,74 \cdot 30 \text{ kJ} = 22,2 \text{ kJ}$$

2. Bosimi $P = 8$ bar va $t = 250^\circ\text{C}$ bo'lgan 1 kg kislorodning entropiyasini aniqlang. Issiqlik sig'imi o'zgarish deb hisoblang.

$$S = C_p \ln \frac{T}{273} - R \ln \frac{P}{P_0}$$

Ikki atomli gazlar uchun $\mu C_p = 29,3$ kJ/kmol · K va $R = 8,314$ kJ/kmol · K bo'lgani uchun, unda

$$S = \frac{29,3}{32} \ln \frac{523}{273} - \frac{8,314}{32} \cdot 2,303 \ln \frac{8}{1,013}$$

$$S = 0,5978 - 0,5373 = 0,0605 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}.$$

3. 6,4 kg azot gazining $P=5$ bar va $t=300^\circ\text{C}$ bo'lgandagi entropiyasini aniqlang. Issiqlik sig'imini o'zgarmas deb hisoblang.

$$\text{Javob: } S=1,94 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}.$$

4. 1 kg kislorod $t_1=127^\circ\text{C}$ bo'lganda hajmini 5 marotaba orttiradi, shunda harorati $t_2=27^\circ\text{C}$ gacha kamayadi.

Issiqlik sig'imini o'zgarmas deb hisoblab, entropiyaning o'zgarishini aniqlang.

$$\text{Javob: } \Delta S=0,2324 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

5. Haroratlari $t_1=627^\circ\text{C}$ va $t_2=27^\circ\text{C}$ bo'lgan 1 kg havo Karno siklini bajaradi, bunda eng katta bosim 60 bar, eng kichigi esa 1 bar ga teng.

Har bir nuqtadagi parametrlarni – ish, termik FIK, keltirilgan va olib ketilgan issiqlikni aniqlang.

Yechish:

1-nuqta: $P_1 = 60$ bar; $T_1 = 900$ K; $v_1 = ?$
 Holat tenglamasidan:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 900}{60 \cdot 10^5} = 0,043 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

2-nuqta: $T_1 = 900$ K; $P_2 = ?$

2-3 adiabatik jarayon uchun:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1,4}{\gamma_1}} = 3^{0,4} = 46,8$$

$P_2 = 1 \cdot 46,8 = 46,8$ bar

1-2 izotermik jarayon uchun

$P_1 v_1 = P_2 v_2$

$$v_2 = \frac{P_1 v_1}{P_2} = \frac{60 \cdot 0,043}{46,8} = 0,055 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

3-nuqta:

$P_3 = 1$ bar; $T_3 = 300$ K; $v_3 = ?$

$$\frac{RT_3}{P_3} = \frac{287 \cdot 300}{1 \cdot 10^5} = 0,861 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

4-nuqta: $T_4 = 300$ K

4-1 adiabatik jarayon uchun:

$$\frac{P_1}{P_4} = \left(\frac{T_1}{T_4} \right)^{\frac{\gamma_1}{\gamma_1 - 1}} = 46,8$$

$$P_4 = \frac{P_1}{46,8} = 1,284 \text{ bar}$$

3-4 izotermik jarayon uchun

$P_3 v_3 = P_4 v_4$

$$v_3 = \frac{P_4 v_4}{P_3} = \frac{1 \cdot 0,861}{1,284} = 0,671 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Siklining FIK:

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{900 - 300}{900} = 0,667$$

Keltirilgan issiqlik miqdori:

$$q_1 = RT_1 \lambda m \frac{v_2}{v_1} = 2,303 \cdot 0,287 \cdot 900 \lambda m \frac{0,055}{0,043} = 63,6 \text{ kJ/kg}$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori:

$$q_2 = RT_3 \lambda m \frac{v_3}{v_4} = 2,303 \cdot 0,287 \cdot 300 \lambda m \frac{0,861}{0,671} = 21,5 \text{ kJ/kg}.$$

Siklining ishi:

$$l_0 = q_1 - q_2 = 63,6 - 21,5 = 42,1 \text{ kJ/kg}.$$

6. 1 kg azot va 1 kg vodorod harorati $t_1 = 15^\circ\text{C}$ da 0,1 MPa dan 1 MPa bosimgacha izotermik siqiladi.

Qaysi gaz uchun entropiya katta bo'ladi va necha marotaba (boshqa gaz entropiyasining o'zgarishiga nisbatan)?

Javob: $S_{H_2}/S_{N_2} = 13,9$

7. Harorati 100 °C va bug'lanish issiqligi $r=2257$ kJ/kg ga teng bo'lganda 1 kg suvning bug'lanishidagi entropiyasini aniqlang.

Javob: $IS = 6,05$ kJ/kg · K

Nazorat savollari

1. Aylanna jarayonlar deb nimaga aytiladi?
2. Karno sikli va uning FIK?
3. Termodinamikaning II qonuni nimani izohlab beradi?
4. Termodinamika II qonunining analitik ifodasini keltiring.
5. Eksbergiya haqida tushuncha bering.
6. To'g'ri va teskari sikl nima?

VI BOB. SUV BUG'I

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

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

Bug'lanish: Moddaning suyuq holatdan bug' holatiga o'tishi bug'lanish deyiladi. Bunda molekullarning bir qismi suyuqlik yuzasidan ajralib chiqadi va uning ustida bug' hosil qiladi. Bug'lanishda ajralib chiqayotgan molekular yuzada qolgan molekullarning 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 molekular ham bunday ish bajaravermaydi. Kinetik energiyasi ancha katta bo'lgan molekullargina bunday ish bajara oladi.

Agar suyuqlikning harorati o'zgarmas saqlab turilsa, ya'ni unga to'xtovsiz issiqlik keltirib turilsa, u holda uchib chiqayotgan molekullarning soni to'xtovsiz ortib boradi. Lekin bug' molekullari 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 molekular soni shu vaqt ichida suyuqlikka qaytayotgan molekular soniga teng, deganidir.

Suyuqligi bilan dinamik 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 molekullari gaz fazaga o'tadi va bug'ning muvozanat topgandagi zichligi, binobarin, bosimi shunchalik katta bo'ladi. Suyuqlikka tegib turgan va uning ustidagi bosimni to'yintiradigan bug' — to'yingan nam bug' deyiladi.

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

Agar suyuqlik o'zgarmas bosimda isitilsa, uning molekullarining

barcha hajm bo'yicha harakat tezligi ortadi va bug' hosil bo'lishi kuchayadi. Bug' hosil bo'ladigan bosimga qat'iy muvofiq keladigan muayyan haroratda bug'lanish jarayoni qaynash jarayoniga aylanadi.

Qaynash. Suyuqlikning faqat erkin sirtidan emas, balki butun hajmi bo'yicha intensiv ravishda bug'ga aylanishi va bug' pufakchalarning tez hosil bo'lishi va ko'payib borishi — **qaynash** deb ataladi.

Qaynash sodir bo'ladigan harorat va bosim bir-biriga bog'liqlidir. 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 bug' 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 kattalik nam bug' tarkibidagi quruq bug' miqdoridir.

$(1-X)$ — kattalik esa **nam saqlami** yoki bug'ning **namlik darajasi** deyiladi. Masalan, $X = 0,85$ bo'lsa, $(1-X) = (1-0,85) = 0,15$ bo'ladi, ya'ni to'yingan nam bug'da 85 % quruq bug', 15 % suv bo'ladi.

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

$$\Delta t = t - t_m \quad (90)$$

t — o'ta qizigan bug'ning harorati;

t_m — to'yingan quruq bug'ning harorati.

22-§. Suv bug'ining P - V diagrammasi

Bug' hosil bo'lish jarayoni p-v diagrammada tasvirlanishini ko'rib chiqishda quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

- suyuqlikning 0°C dagi barcha parametrlari "nol" indeksi bilan (t_0, v_0, h_0, S_0);
- to'yinish haroratidagi parametrlarni bitta shtrix bilan (t', v', h', S');
- to'yingan quruq bug' parametrlarini ikkita shtrix bilan (v'', h'', S'');
- to'yingan nam bug' parametrlarini x indeksi bilan (v_x, h_x, S_x);
- o'ta qizigan bug' parametrlarini indeksiz (v, h, S).

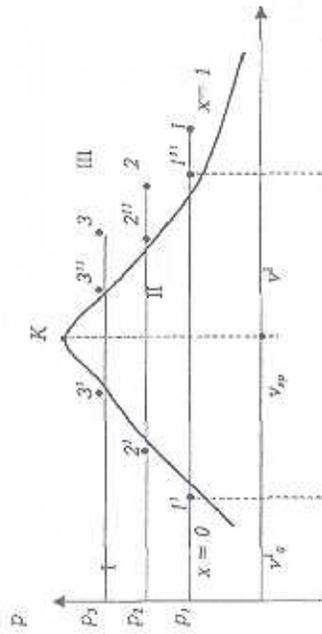
Silindrda porshen ostida 1 kg suv bor va uni bug'ga aylantirish kerak, deb faraz qilaylik. Silindrning porsheniga tashqi tomondan yuk — r kuch

quyilgan va bu kuch silindr ichida bosim o'zgarmas bo'lishini ta'minlaydi, deb faraz qilaylik.

Diagrammada abstsissa o'qiga suvning va hosil bo'lgan bug'ning nisbiy hajmi, ordinatalar o'qiga esa silindrda bosim qo'yilgan. Shuni aytib o'tish kerakki, diagrammadagi egri chiziq, 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 tuzishda qat'iy proporsiyalarga rioya qilsak va suvning hajmini abstsissalar 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 tuzib chiqishni suyuqlikni 0°C dan qaynash haroratigacha isitishdan boshlash lozim edi. Lekin bu oraliqda suvning hajmi shunchalik kam o'zgaradiki, uni diagrammada tasvirlashning ahamiyati qolmaydi.

Shu sababli bug' hosil bo'lishini P-9 diagrammada suvning qaynashiga mos keladigan haroratdan boshlaymiz (14-rasm).

Bug' hosil bo'lishining boshlanishi diagrammada 1' nuqta bilan belgilanadi. Bu 1 kg suv to'yinish harorati va bosimida (p', t' , da) silindrda v_t hajmini egallaydi, degan so'z. Xuddi shu paytda silindrda faqat bir fazali sistemaning o'zi, ya'ni suv bo'ladi, xolos.



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 molekular 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^{II} nuqtada suyuqlikning oxirgi zarrasi ham bug'ga aylanadi. Bu nuqtada berilgan 1 kg suv to'liq 1 kg to'yingan quruq bug'ga aylanadi. Silindrdagi yana bir fazali muhit paydo bo'ladi — bu to'yinish harorati va bosimidan parametrlari v^I, p^I, t^I bo'lgan to'yingan quruq bug'dir.

1^{II} nuqtadan keyingi jarayon bug'ning o'ta qizish yo'nalishida yoki aksincha kondensatsiyalanish 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^{II} — 1 izobara bo'yicha davom etadi, bu izobara endi izoterma bo'la olmaydi, chunki keltirilgan issiqlik bug'ning qizishiga va harorat oshishiga sarf bo'ladi.

Agar to'yingan quruq bug'dan (1^{II} nuqta) o'zgarmas bosimda va haroratda issiqlik olib kerilsa, u holda 1 kg to'yingan bug' asta-sekin 1^I — 1^I chiziq bo'yicha kondensatlanib, 1 kg suvga aylanadi (1^I nuqta). Shunday qilib, 1^I — 1^{II} chiziq bo'yicha chapdan o'ngga ketadigan jarayon bug' hosil bo'lish jarayoni, 1^I — 1^{II} chiziq bo'yicha o'ngdan chapga ketadigan jarayon esa, kondensatlanish jarayoni deb ataladi.

Endi 1 kg suv $\rho_2 > \rho_1$ 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^I, 1^I nuqtadan o'ngga silijiydi. Bosim ortishi bilan to'yingan quruq bug'ning

zichligi ortadi $\left(v = \frac{1}{\rho} \right)$, demak solishtirma hajmi kamayadi. Shuning uchun 2^I nuqta 1^{II} nuqtadan chapga silijiydi. 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 gazsimon holat deyish mumkin.

Shunday qilib, kritik holatdagi modda bir fazali bo'lib, bir vaqtning o'zida ham gaz holatida, ham suyuq jismlarning xossalari ega bo'ladi.

14-rasmda I — suyuqlik holati, II — to'yingan bug' holati, III — o'ta qizigan bug' holati ko'rsatilgan.

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

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

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

hajmi v' . Bosim ortishi bilan, harorat ham ortadi va yuqori bosimlarda 0°C dagi solishtirma hajmdan sezilarli farq qiladi. Masalan, $\rho = 50 \text{ bar}$ 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°C dan ma'lum bosimdagi qaynash haroratigacha oshirish uchun sarflanadigan issiqlik miqdori quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

$$q = h' - h_0' \quad (91)$$

bunda: h' — qaynayotgan suvning entalpiyasi;

h_0' — suvning 0°C dagi entalpiyasi.

Kritik nuqta k dagi holat parametrlarining qiymatlari quyidagicha:

$$P_k = 221 \text{ bar}; v_k = 0,00326 \text{ m}^3/\text{kg}; t_{cp} = 374^\circ\text{C}$$

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

$$S_0^I = 0; h_0^I = 0. \quad (92)$$

Suvning uchlarni nuqtasidagi parametrlari quyidagiga teng:

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

Suvning uchlarni nuqtadagi ichki energiyasi:

$$U_0^I = h_0^I - p_0; V_0^I = 0 - 0,00611 \cdot 10^3 \cdot 0,001 = -0,611 \text{ J/kg}. \quad (93)$$

Bu kattalik juda kichik miqdor bo'lib, 0°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

$$u = h' - pv \quad (94)$$

Qaynash haroratigacha qizdirilgan suvga yana issiqlik berilishi davom ettirilsa, bug'lanish sodir bo'la boshlaydi. Bug'lanish davomida harorat

oxirgi suv tomchisi bug'ga aylanamagunga qadar o'zgaraydi. 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 p — ichki, v — tashqi bug' hosil bo'lish issiqligiga bo'linadi
Quruq to'yingan bug'ning entalpiyasi:

$$h'' = h' + r \quad (95)$$

Quruq to'yingan bug'ning ichki energiyasi:

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

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

24-§. Nam to'yingan va o'ta qizigan suv bug'ning asosiy parametrlari

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

$$v_x = v'' \cdot x + (1-x) \cdot v' \quad (97)$$

yoki

$$v_x \approx v'' \cdot x \quad (98)$$

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:

$$q_o = \int_{t_o}^t c_p dt \quad (99)$$

bunda ξ_r — o'zgarmas bosimda o'ta qizigan bug'ning haqiqiy issiqlik sig'imi.

O'ta qizigan bug'ning ichki energiyasi:

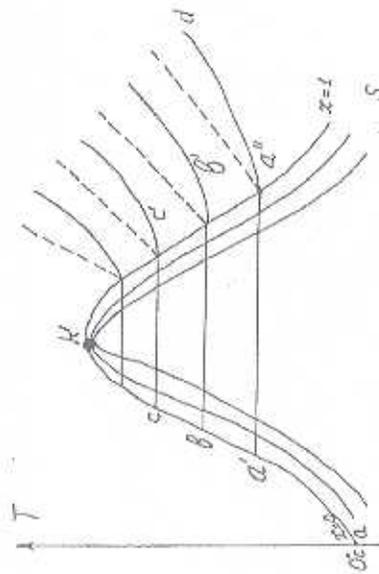
$$u = h - pv \quad (100)$$

bunda v — o'ta qizigan bug'ning solishtirma hajmi, m³/kg.

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

25-§. Suv bug'ining T-s diagrammasi

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



15-rasm. Suv bug'ining T — S diagrammasi

Diagrammadagi har bir nuqta jismining aniq holatini xarakterlaydi. Suyuqlikning 0°C dagi entropiyasi nolga teng bo'lgani uchun T-s koordinatada ordinata o'qida joylashadi (15-rasm). Suvni 0°C dan to'yinish harorati (t_r) gacha isitilishi aa' jarayoni bilan davom etadi. Bug' hosil bo'lish jarayoni ($t_r = \text{const}$) gorizontal aa'' chizig'i bilan ifodalanadi. Bug'ning qizitilishi esa a'd izobara chizig'i bilan ifodalanadi. Lekin bug'ning qizitilish izobarasi suvning isitilish izobarasidan tikroq bo'ladi, buning sababi qizitilish harorati isitilish haroratiga qaraganda yuqoriroqdir. Shunday chiziqni o'tkazishni davom ettirsak, chiziqlar K nuqtada birlashadi.

26-§. Suv bug'ining h — S diagrammasi

Suv bug'i uchun eng zamonaviy jadval va diagrammalarni professor M.P.Vukalovich ishlab chiqqan. Bu diagrammalar yordamida suv bug'ining to'yinish harorati, bosimi, solishtirma hajmi, entalpiyasi,

Masalalar

1. Bug'ning quyidagi holati berilgan: $p=2$ MPa va $t=340^{\circ}\text{C}$. h -s diagrammasidan foydalanib, entropiya, harorat va bug'ning qizdirilish darajasini aniqlang.

Berilgan:

$$p=2 \text{ MPa}, t=340^{\circ}\text{C}$$

$$S_1, t_1, v_1?$$

Yechish:

h -s diagrammadan $p=2$ MPa bosim va $t=340^{\circ}\text{C}$ haroratni aniqlab, bu chiziqlarni o'zaro kesishtiramiz va entalpiyani aniqlaymiz.
 $h=3110$ kJ/kg.

So'ngra entropiyani aniqlaymiz.

$$S = (\text{kg} \cdot \text{K})$$

Keyin jadval yordamida qizdirilish darajasini aniqlaymiz.

$$\Delta t_{\text{ov}} = t_1 - t_2 = 340 - 212,37 = 127,63^{\circ}\text{C}$$

Bunda t_1 to'yinish harorati $t_1 = 212,37^{\circ}\text{C}$

2. Bosimi $p=0,8$ MPa va quriganlik darajasi $x=0,96$ bo'lgan suv bug'ining h , S , va v parametrlarini h -s diagrammadan foydalanib aniqlang. Olingan natijalarni esa ifoda va jadval yordamida olingan natijalar bilan solishtiring.

Berilgan:

$$p=0,8 \text{ MPa}, x=0,96$$

$$h, S, v, S_1, v_1?$$

Yechish:

h -s diagrammasiga berilgan qiymatlarni qo'yib quyidagi natijalarga ega bo'lamiz.

$$h_x = 2687 \text{ kJ/kg}, S_x = 6,5 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}), v_x = 0,3 \text{ m}^3/\text{kg}$$

3. Bosimi $p=10$ MPa va quriganlik darajasi $x=0,98$ bo'lgan 1kg nam bug'ni $t=480^{\circ}\text{C}$ gacha qizdirish uchun kerak bo'ladigan issiqlik miqdorini aniqlang.

Berilgan:

$$p=10 \text{ MPa}, x=0,98, M=1 \text{ kg}, t=480^{\circ}\text{C}$$

$$q_1, -?$$

Yechish:

Buning uchun suv bug'ining h -s diagrammasidan foydalanamiz. $p=10$ MPa va $x=0,98$ parametrlari bug' uchun $h=2765$ kJ/kg to'g'ri keladi. Harorat $t=480^{\circ}\text{C}$ gacha qizdirilganda esa $h=3430$ kJ/kg.

Kerak bo'lgan issiqlik miqori quyidagi ifodadan topiladi.
 $q_1 = h - h_0 = 3430 - 2765 = 665$ kJ/kg.

4. Bosimi $p=1,2$ MPa va solishtirma hajmi $v=0,18$ m³/kg ga teng bo'lgan suv bug'ining holatini aniqlang.

Berilgan:

$$p=1,2 \text{ MPa}$$

$$v=0,18 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Suv bug'ining holati-?

Javob: O'ta qizigan bug'.

5. Agar $p=2$ MPa va $x=0,9$ bo'lsa, nam bug'ning solishtirma hajmini toping.

Berilgan:

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

$$x=0,9$$

$$v_x, -?$$

Javob: $v_x = 0,089622$ m³/kg.

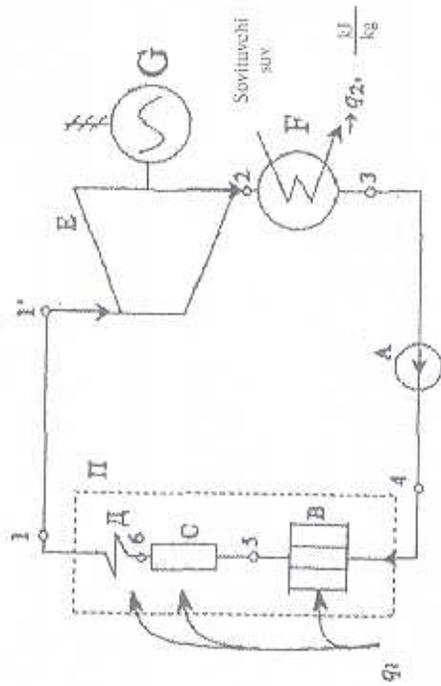
Nazorat savollari

1. Suv bug'ining asosiy xossalari nimalardan 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 R - V diagrammasini, chizib ko'rsating.
7. Suv bug'ining T - s diagrammasida suyuqlik holatida parametrlar o'zgarishini tushuntirib bering.
8. Suv bug'ining h - s diagrammasi qanday qulaylikka ega?

VII BOB. BUG' TURBINA QURILMALARI

28-§. Renkin sikli

Bug' turbina qurilmalarida suv bug'i asosiy ishchi jism bo'lib xizmat qiladi. Bu qurilmalarda suv bug'ining issiqlik energiyasi mexanik energiyaga va elektr generatorda elektr energiyasiga aylanadi. Bug' turbina qurilmalari ko'rinishini chizma tasviri quyidagichadir:



21-rasm. Bug' turbina qurilmasining chizma tasviri:
A - nasos; B - suv ekonomayzeri; C - bug'latuvchi qism; D - bug' qizdirgich;
E - bug' turbina; F - elektr generator; G - suv qozoni

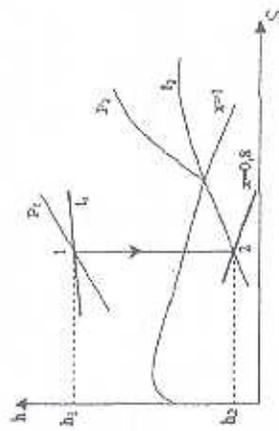
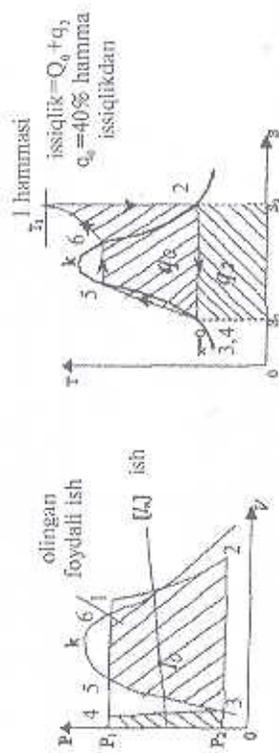
Kimyoviy tozalangan suv va yoqilg'i bug' qozoniga yuborilib u yerda yonish jarayoni amalga oshiriladi. Suv ekonomayzerida qaynash haroratigacha qizdiriladi, keyin bug'lantiruvchi qismda nam to'yingan bug' hosil qilinadi. Bug' bug' qizdirgichga yuboriladi. U yerda bug' yanada qizdirilib, o'ta qizigan bug'ga aylantiriladi. O'ta qizigan bug' turbinaning parraklariga urilib harakat hosil qiladi, ya'ni bug'ning issiqlik energiyasi avval kinetik energiyaga (turbina soplosida), so'ngra mexanik energiyaga aylanadi. Ishlatib bo'lingan bug' juda kichik bosimda bo'lgani uchun kondensatorga kelib tushadi va qaytadan suvga aylanadi, bunday massa kondensat deyiladi.

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

$$\eta_1 = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'} \quad (101)$$

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

$h_2' = Cp_k t_2$; - P_k bosimda qaytgan suvning entalpiyasi. Bu ifodaga kattaliklar suv bug'ining diagrammasidan olinadi. Keyingi vazifa shu siklning FIKni oshirishdan iborat.



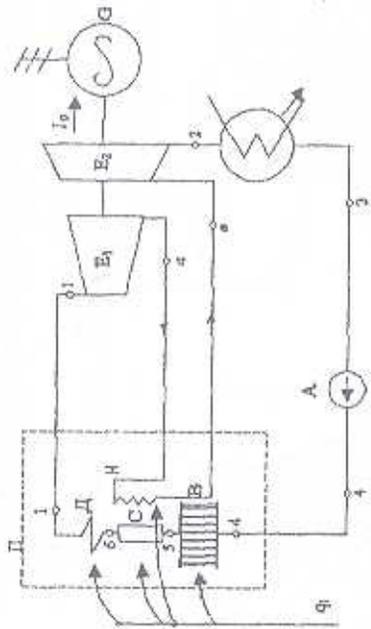
22-rasm. Renkin siklining P-V, T-s, va h-s diagrammalari: 1-2 - turbinadagi adiabatik kengayish jarayoni; 2-3 - kondensatoridagi ish jarayoni; 3-4 - nasos ishi; 4-5 - ekonomayzer ishi; 5-6-bug' qozonida bug' hosil bo'lishi; 6-1 - bug'ni bug' qizdirgichda qizdirilishi

29-§. Oraliq qizdirishli bug' turbina qurilmalari sikli

Renkin siklining FIK ni oshirish uchun turbinaga kelayotgan bug'ning bosimi va haroratini oshirish kerak. Buning uchun ishlatilayotgan bug' oraliq qizdiriladi, ya'ni turbinaning yuqori bosim qismida ishlatilgan

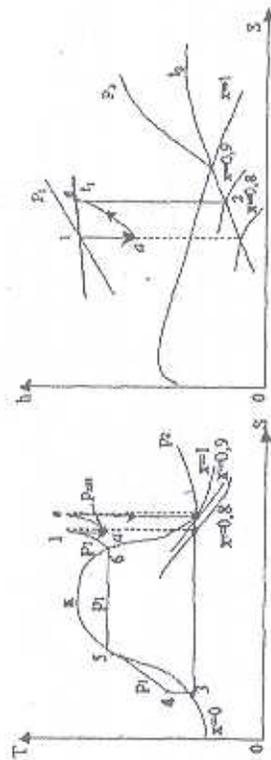
bug' oraliq qizdirigichda qizdirilib turbinaning past bosimli qismiga yuboriladi.

Buning natijasida bug' turbina qurilmasining FIK 3-5 % ortadi. T-s va h-s diagrammalarda bu siklining ko'rinishi quyidagicha bo'ladi.



23-rasm. Bug'ning oraliq qizdirishli chizma tasviri.

E_1 — bug' turbinasining yuqori bosimli qismi; E_2 — bug' turbinasining past bosimli qismi; H — oraliq qizdirigich



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

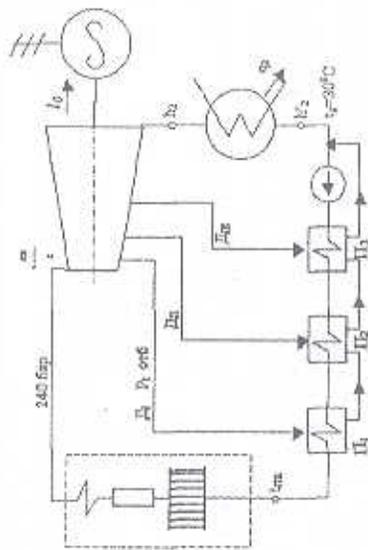
Oraliq qizdirishli sikl uchun FIK:

$$\eta_i = \frac{(h_1 - h_a) + (h_g - h_2)}{(h_1 - h_2) + (h_g - h_a)} \quad (102)$$

h_1, h_2, h_g, h_a lar suv bug'ining h-s diagrammasidan olinadi. Renkin siklining FIKni yanada oshirish uchun regenerativ qizdirigichlar

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.

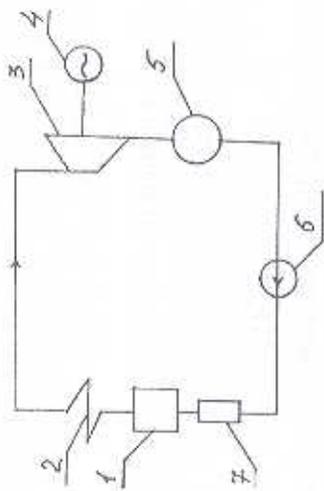
Regenerativ suv qizdirigichlarning qo'llanishi natijasida FIK 10-12% ga oshadi. Bundan tashqari, ularning qo'llanishi ishchi parraklarning balandligini kamaytirishga olib keladi.



25-rasm. Suv regenerativ isitilishning chizma tasviri

Π_1, Π_2, Π_3 — regenerativ suv qizdirigichlar; D_0 — bug' sarfi; D_1, D_2, D_3 — I, II, III bug' olinishidagi sarfi; $P_{1,at}$ — bug' olinishidagi bosim.

30-§. Issiqlik bilan ta'minlash asoslari



26-rasm. Issiqlik bilan ta'minlashning chizma tasviri

1 — bug' qozoni; 2 — bug' qizdirigich; 3 — bug' turbinasi; 4 — elektr generator; 5 — iste'molchi; 6 — kondensat nasosi; 7 — isitgich.

Issiqlik elektr markaz (IEM) deb, ham elektr energiya, ham issiqlik energiyasi bilan ta'minlovchi stansiyalarga aytiladi. Bu qurilmaning avvalgi qurilmalardan farqi shuki, bug' turbinasida ishlatilib bo'lingan bug'ning miqdori kondensatorga emas, balki iste'molchiga kelib tushadi. Natijada bug' turbinada ishlatilishi va uning parraklari aylanishi tufayli mexanik energiya, so'ngra elektr energiya hosil bo'ladi. Uning chizima tasviri 26-rasmda keltirilgan.

Iste'molchiga borgan qismdan issiq suv va issiqlik bilan ta'minlanadi. Shu sharoitda ishlaydigan elektrostansiyalar **issiqlik elektr markazlar** deyiladi.

Masalalar

1. Turbinadan avvalgi parametrlari $P_1=90$ at, kondensatoridagi bosim $P_2=0,04$ at. Agar nisbiy ichki FIK $\eta_{oi}=0,84$ bo'lsa, turbinada kengaygandan keyingi bug'ning holatini aniqlang.

Yechish:

Mumkin bo'lgan issiqlik tushishini aniqlaymiz.

$$H_0=H_1-\eta_1=329,7 \text{ kkal/kg.}$$

Haqiqiy issiqlik tushishi:

$$H_1=H_0 \cdot \eta_{oi}=329,7 \cdot 0,84=276,9 \text{ kkal/kg}=1160,2 \text{ kJ/kg.}$$

Turbinadan avvalgi entalpiya:

$$H_{2s}=h_1-H_1=808,2-276,9=531,3 \text{ kkal/kg}=1426 \text{ kJ/kg.}$$

2. Regeneratsiyasiz ishlaydigan quvvati $N_0=250$ mVt, bosimi $P_1=235$ at, $t=556^\circ\text{C}$, $P_2=0,35$ ata bo'lgan o'ta qizigan bug'ning kondensatsion turbinadagi soatlik sarfi va solishtirma sarfini aniqlang. Turbinaning FIK $\eta_{oi}=0,85$, mexanik FIK $\eta_m=0,98$, elektr generatorning FIK $\eta_e=0,37$.

Javob: $D=17,2$ kg/soat; $d=1,3$ kg/kVt·soat.

3. Boshlang'ich parametrlari $P_1=90$, $t=480^\circ\text{C}$ va oxirgi bosimi $P_2=0,04$ at bo'yicha ishlaydigan bug' turbinasining mutlaq ichki FIKni aniqlang, agar nisbiy ichki FIK $\eta_{oi}=0,82$ bo'lsa.

Javob: $\eta_{oi}=0,344$.

4. Bug' turbina qurilmasi Renkin sikli bo'yicha quyidagi parametrlar bilan ishlaydi: $P_1=9$ MPa, $t_1=535^\circ\text{C}$, kondensatoridagi bosim $P_2=40$ kPa. Turbina va ta'minlovchi nasosning ishini, ta'minlovchi nasos ishlaganda va ishlamagandagi termik FIKlarni hamda ularning farqlarini aniqlang.

Javob: $l_1=1435$ kJ/kg, $l_{\text{nas}}=9,2$ kJ/kg, $\eta_1=0,426$, nasossiz ishlaganda $\eta_1=0,428$, $\eta_1/\eta_2=0,4\%$.

5. Boshlang'ich parametrlari $P_1=20$ bar, $t_1=400^\circ\text{C}$, kondensatoridagi bosim $P_2=0,04$ bar bo'lgan suv bug'i Renkin sikli bo'yicha ishlaydi. Shu siklning bajargan ishini toping.

Javob: $l_0=1161$ kJ/kg.

6. Bug'ning boshlang'ich parametrlari $P_1=90$ at, $t_1=500^\circ\text{C}$, kondensatoridagi bosimi $P_2=0,04$ at.

Agar nisbiy ichki FIK $\eta_{oi}=0,84$ bo'lsa, bug'ning turbinada kengaygandan keyingi holatini aniqlang.

Bo'lishi mumkin bo'lgan issiqlik tushishini aniqlaymiz. $H_0=h_1-h_2=329,7$ kkal/kg.

Haqiqiy issiqlik tushishi:

$$H_1=h_0 \cdot \eta_{oi}=329,7 \cdot 0,84=276,9 \text{ kkal/kg}=1160,2 \text{ kJ/kg.}$$

Turbinadan avvalgi entalpiya:

$$H_{2s}=h_1-H_1=808,2-276,9=531,3 \text{ kkal/kg}=1426 \text{ kJ/kg.}$$

7. $P_1=50$ bar, $t_1=500^\circ\text{C}$ va $P_2=0,1$ bar bo'lgandagi entalpiyalar qiymatlari:

$$h_1=3440 \text{ kJ/kg; } h_2=2210 \text{ kJ/kg; } h_3=192 \text{ kJ/kg;}$$

$$\eta_1=\frac{3440-2210}{3440-192}=0,38.$$

Nazorat savollari

1. Bug' turbina qurilmalarini izohlab bering.
2. Renkin siklining P-V va T-s diagrammasini sharhlab bering.
3. Renkin sikli FIKning 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?

VIII BOB. NAM HAVO

31-§. Asosiy tushunchalar

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

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

Nam havo gazlar aralashmasining xususiy hollaridan biridir. Dalton konuniga 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 konunini quyidagicha yozamiz:

$$p = p_{\text{havo}} + p_b \quad (103)$$

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

$$B = p_{\text{havo}} + p_b \quad (104)$$

Havo aralashmasidagi 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 kattalik p_b , p nam havoning mazkur haroratdagi to'yinish bosimidan yuqori bo'la olmaydi, ya'ni

$$p_b \leq p \quad (105)$$

bo'lsa, nam havo to'yinmagan, $p_b < p$, bo'lgan nam havo to'yingan nam havo deb ataladi.

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

32-§. Nam havoning termodinamik parametrlari

Absolut namlik — ma'lum harakatdagi 1 m³ nam havodagi suv bug'ining massasiga teng kattaligidir (kg/m³ yoki g/m³).

Nam havoni tavsiflashda 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 bosimiga nisbatiga aytiladi:

$$\varphi = \frac{p_b}{p_s} \quad (106)$$

yoki

$$\varphi = \frac{p_b}{p_s} \cdot 100 \% \quad (107)$$

Nisbiy namlik (φ) foiz hisobida ifodalanadi. $0 \leq p_b < p_s$, bo'lgani uchun $0 \leq \varphi \leq 100 \%$ bo'ladi.

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

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

$$p_b v_b = R_b T \quad (108)$$

$$p_s v_s = R_s T \quad (109)$$

$$\frac{p_b}{p_s} = \frac{v_s}{v_b} \quad (110)$$

yoki

$$\frac{p_b}{p_s} = \frac{v_s}{v_b} = \frac{p_b}{p_s} = \frac{p_b}{p_s} \quad (111)$$

demak,

$$\varphi = \frac{p_b}{p_s} = \frac{p_b}{p_s} \quad (112)$$

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

$$d = \frac{m_b}{m_s} = \frac{p_b}{p_s} \quad (113)$$

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

1. Harorat $t=60^{\circ}\text{C}$ va barometrik bosim $B=745$ mm.sim.usl., nisbiy namligi $\varphi=60\%$ bo'lgan havoning nam saqlamini aniqlang.

Nam saqlami quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$d = \frac{P_b}{P_k}$$

Nisbiy namlik esa $\varphi = \frac{P_b}{P_T}$ bundan $P_b = \varphi P_T$

$P_T = 0,2031$ at.

$P_b = 0,6 \cdot 0,2031 = 0,1219$ at.

O'ta qizigan bug' uchun jadvaldan $t=60^{\circ}\text{C}$, $P=0,1219$ at da $V=12,83$ m^3/kg ni aniqlaymiz.
Bunda:

$$\rho_a = \frac{1}{V} = \frac{1}{12,83} = 0,078 \text{ kg/m}^3$$

Havoning parsial bosimi:

$P_H = P - P_b = 745/735,6 - 0,1219 = 1,0128 - 0,1219 = 0,8909$ at.

$$\rho_H = \frac{P_H}{RT} = \frac{0,874 \cdot 10^5}{287(273 + 60)} = 0,914 \text{ kg/m}^3$$

$$d = \frac{0,078}{0,914} = 0,0853 \text{ kg/kg.q.h.} = 85,3 \text{ g/kg.q.h.}$$

d ning qiymatini boshqa ifodadan ham topsa bo'ladi:

$$d = 622 \cdot \frac{P_b}{B - P_b} = 622 \cdot \frac{0,1209}{0,8979} = 85,1 \text{ g/kg.q.h.}$$

Nazorat savollari

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 havoning aralashma deb aysa bo'ladimi?
6. Nam havoning h-d diagrammasida qanday chiziqalar chizilgan?
7. h-d diagrammada qizitilish va sovutilish holatlarini chizib ko'rsating.

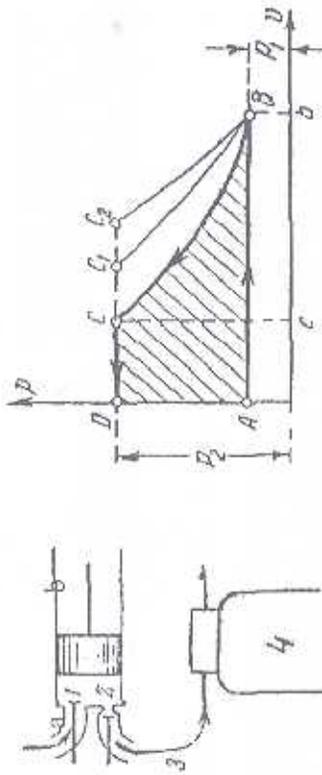
IX BOB. KOMPRESSOR

34-§. Kompressorlar va ularning turlari

Kompressorlar turli gazlarni siqish uchun xizmat qiladi. Kompressorlarda olinadigan siqilgan havo texnikaning turli sohalarida keng qo'llaniladi. Masalan, siqilgan havoda ishlovchi bolg'alarda; metallurgiya sanoatida: o'choqlarga havo purkashda; metallarga katta bosim ostida qurilishda: pardozlash ishlarini bajarishda, metall quymalarning sirtini qumli oqim bilan tozalashda va h.k.

Ular porshenli, rotatsion, markazdan qochma va o'qli kompressorlarga bo'linadi.

Porshenli kompressorlar. Bir pog'onali porshenli kompressorning chizmasini ko'rib chiqamiz. (28-rasm).



28-rasm. Bir pog'onali porshenli kompressor

Porshen pastga harakatlenganda silindrdagi bosim atmosfera bosimiga nisbatan kamayib ketadi, natijada atmosfera bosimining kuchi tufayli so'rish klapani (2) ochilib, silindr havo bilan to'ldi. Porshen qayta yuqoriga qarab harakatlenganda silindrdagi havo atmosfera bosimiga nisbatan katta bosim bilan siqiladi, natijada so'rish klapani (2) yopilib, tashqi havoning silindr bilan aloqasi uziladi. Porshenning yuqoriga qarab harakatlanishi davom etadi va silindrdagi havo haydash klapani va haydash quvuridagi siqilgan havo qarshiligini yengguniga qadar siqiladi. Shu daqiqada haydash klapani ochilib, siqilgan havo porshen yordamida resiver (4) ga kelib tushadi.

Bir pog'onali kompressorning P-V koordinatadagi grafigi (28,b-rasm)ni ko'rib chiqamiz.

AB — soʻrinish jarayoni, BC — siqish jarayoni, CD — haydash jarayoni. Siqish chizigʻi havodan olib ketilayotgan issiqlik miqdoriga koʻra BC — izotermik, BC₁ — adiabatik va BC₁ — politropik boʻlishi mumkin. Siqish jarayonida havoni sovitish suv orqali amalga oshiriladi.

Soʻrinish hajmi V_s ning silindrdagi ishchi hajmi V_n ga boʻlgan nisbati kompressor pogʻonasi hajmiy FIK deyiladi.

$$\eta_{\text{haj}} = \frac{V_s}{V_n} = 1 - \sigma \left(h_m^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \quad (120)$$

bunda $\sigma = \frac{V_0}{V_n}$ — siqilib ulgurmagan havoning nisbiy hajmi;

V_0 va V_n — silindrdagi zararli va ishchi hajmlari;

λ — bosimni oʻrtish darajasi;
 μ — politropa koʻrsatkichi.

Bosimni oʻrtish darajasi deb, kompressor pogʻonasida chiqishdagi bosimning pogʻonaga kirishdagi bosimga nisbatiga aytiladi:

$$\lambda = \frac{P_2}{P_1} \quad (121)$$

Bir pogʻonali porshenli kompressorning haqiqiy ishchi jarayoni indikator diagramma koʻrinishida berilgan va u nazariysidan asosan soʻruvchi va chiqarib yuboruvchi klapanlardagi yoʻqolishlar bilan farqlanadi.

Kompressorning haqiqiy uzatishi V ning nazariy uzatish V_n ga boʻlgan nisbati uzatish koeffitsienti deyiladi.

$$\eta_v = \frac{V}{V_n} \quad (122)$$

Kompressorning nazariy uzatishi (m^3/sek) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$V_n = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) (S \cdot n) \quad (123)$$

bunda: D — silindrdagi diametri, m;

S — porshenning yurishi, m;

n — valning aylanish tebranishi, ayl/sek.

Kompressorning uzatish koeffitsienti quyidagi ifodadan aniqlanishi mumkin:

$\eta_v = \eta_{\text{kol}} \cdot \eta_r \cdot \eta_i \cdot \eta_{\text{og}}$ — soʻrinish tizimi qarshiligidagi soʻrinish davomida bosim kamayishini hisobga olinadigan koeffitsient;

η_i — silindr devorlariga tekkan gaz qizishida harorat oʻrtishini hisobga oladigan koeffitsient;

η_{og} — soʻruvchi klapanlarning juda mahkam yopilmasligi natijasida gaz oqib ketishini hisobga oladigan koeffitsient.

Agar soʻrilyotgan gazning bosimi va harorati P_0 , T_0 va silindrdagi gaz siqilishidagi boshlangʻich parametrlar P_1 , T_1 aniq boʻlsa, u holda η_r va η_i quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\eta_r = \frac{P_1}{P_0} \quad (124)$$

$$\eta_i = \frac{T_0}{T_1} \quad (125)$$

Gazning oqib ketishini hisobga oluvchi koeffitsient:

$$\eta_{\text{og}} = 1 - \left(\frac{G_{\text{og}}}{G_{\text{og}T}} \right)$$

bunda: $G_{\text{og}T}$ va G_{og} — torayish va chiqarib yuborish jarayonidagi oqib ketishda soʻrilyotgan gazning sarfi, kg/sek.

Kompressorning massaviy uzatilishi (kg/sek) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$M = \frac{P_1 V}{RT_1} \quad (126)$$

bunda: P_1 — soʻrinish bosimi, Pa;

V — soʻrinish bosimida kompressorning haqiqiy hajmiy uzatishi, m^3/sek ;

R — gaz doimiysi, J/(kg·K);

T_1 — soʻrinish mutlaq harorati, K.

Izotermik torayish davomida kompressorni ishga tushirishdagi nazariy quvvat (kVt)

$$N_z = \frac{P_1 V \lambda n \lambda}{10^3} = \frac{P_1 V \lambda n \frac{P_2}{P_1}}{10^3} \quad (127)$$

Adiabatik torayishdagi nazariy quvvat (kVt)

$$N_{sk} = \frac{k}{k-1} \frac{P_1 V}{10^3} \left(\lambda^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \quad (128)$$

bunda: k — adiabat ko'rsatkichi.

Politropik torayishdagi nazariy quvvat (kVt)

$$N_{pot} = \frac{m}{m-1} \frac{P_1 V}{10^3} \left(\lambda^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right) \quad (129)$$

bunda: k — politropa ko'rsatkichi.

Kompressor sovishi bilan ishlashdagi effektiv quvvati

$$N_c = \frac{N_z}{\eta_{e,z}} \quad (130)$$

bunda: $\eta_{e,z}$ — kompressorning izotermik effektiv FIK

Kompressorning sovimasdan avvalgi effektiv quvvati (kVt)

$$\eta_c = \frac{N_{od}}{\eta_{e,od}} \quad (131)$$

bunda: $\eta_{e,od}$ — kompressorning adiabatik effektiv FIK

Kompressorning effektiv FIK

$$\eta_{e,z} = \eta_{e,z} \cdot \eta_m \quad \eta_{e,od} = \eta_{e,od} \cdot \eta_m \quad (132)$$

$\eta_{e,z}$, $\eta_{e,od}$ — kompressorning izotermik va adiabatik indikator FIK

η_m — kompressorning mexanik FIK

Porshenli kompressorning indikator yoki ichki quvvati (kVt)

$$N_i = \frac{P_1 V n}{10^3} \quad (133)$$

bunda: P_1 — o'rtacha indikator bosim, Pa;

V_n — silindrning ishchi hajmi, m^3 ;

n — valning aylanish chastotasi, ayl/sek.

Kompressorning effektiv quvvati (kVt)

$$N_c = \frac{N_i}{\eta_c} \quad (134)$$

Bosimni orttirish darajasi ko'p pog'onali kompressorning har bir pog'onasida quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\lambda = \psi \sqrt[n]{\frac{P_z}{P_1}}$$

bunda: z — kompressor pog'onalari soni;

P_z — gazning oxirgi pog'onadan chiqishdagi bosimi, Pa;

P_1 — gazning birinchi pog'onaga kirishdagi bosimi, Pa;

$\psi = 1,1, \dots, 1,5$ — pog'onalar orasida bosim yo'qolishini hisobga oluvchi koeffitsient.

Plastinkali rotatsion kompressorlar

Kompressorning nazariy uzatishi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$V_n = 2 e \ell (\pi D - z \delta) n \quad (135)$$

bunda: e — eksentrisitet, m;

ℓ — rotor uzunligi, m;

D — korpusning ichki diametri, m;

z — plastinkalar soni;

δ — plastinka qalinligi, m;

n — valning aylanish chastotasi, ayl/sek.

Kompressorning haqiqiy uzatishi quyidagi ifodadan aniqlanadi.

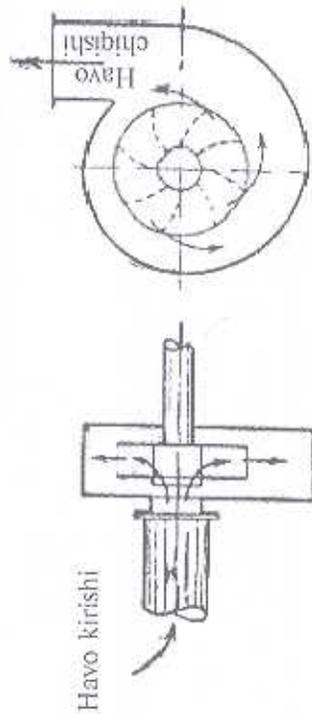
$$V = 2 \eta_v e \ell (\pi D - z \delta) n \quad (136)$$

bunda: η_v — kompressorning uzatish koeffitsienti.

Kompressorning ishga tushishdagi nazariy va effektiv quvvati sovitish bilan (128), (129) ifodadan, sovimasdan (127) va (130) ifodalardan aniqlanadi.

35-§. Markazdan qochma kompressorlar

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



29-rasm. Markazdan qochma kompressor

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

$$\eta_{ad} = \left(\lambda \frac{k-1}{k}\right) \left(\lambda \frac{k-1}{k \eta_{pol}} - 1\right) \quad (137)$$

bunda: η_{pol} — kompressorning politropik FIK ($\eta_{pol} = 0,78 \dots 0,82$)
Kompressorning ishlashdagi effektiv quvvati (kVt)

$$N_e = \frac{M(h_2 - h_1)}{\eta_{os} \cdot \eta_n} \quad (138)$$

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

M — kompressorning massaviy uzatishi, kg/sek.

Masalalar

1. Bir pog'onali porshenli kompressor bosimining ortish darajasi $\lambda = 10$ va politrop ko'rsatkichi $m=1,3$ kattaliklar bilan ishlaydi. Agar zararli moddaning nisbiy hajmi $\sigma=0,04$; $\eta_c=0,975$; $\eta_v=0,96$; $\eta_{os}=0,98$ bo'lsa, kompressorning uzatish koeffitsientini aniqlang.

Javob: $\eta_v = 0,74$

2. Bir pog'onali kompressor bosimining ortish darajasi $\lambda=3,5$ va politrop ko'rsatkichi $m=1,1$ kattaliklar bilan ishlaydi. Agar zararli

moddaning qiymati $\sigma=0,045$; havoni so'rish parametrlari $P_0 = 1 \cdot 10^5$ Pa va $t=25$ °C, torayish boshlanish parametrlari $P_1 = 0,98 \cdot 10^5$ Pa va $t=36$ °C, so'rilyotgan havoning sarfi $G_{so'r} = 0,12$ kg/sek, oqib ketayotgan havoning sarfi $G_{ot} = 0,0024$ kg/sek bo'lsa, hajmiy FIKni va kompressorning uzatish koeffitsientini aniqlang.

Javob: $\eta_{pol} = 0,905$; $\eta_v = 0,839$

3. Bir pog'onali kompressor bosimining ortish darajasi $\lambda=7$ va kengayishdagi politropa ko'rsatkichi $m=1,3$ bo'lgan kattaliklar bilan ishlaydi. Agar silindr diametri $D=0,2$ m, porshenning yurishi $S=0,18$ m, valning aylanish chastotasi $n=900$ ayl/min, torayib ulgurmagan havoning nisbiy hajmi $s=0,05$ va bosim kamayishini hisobga oladigan koeffitsient $h_1=0,92$ bo'lsa, kompressorning haqiqiy uzatishini aniqlang.

Javob: $V = 0,064$ m³/sek.

Nazorat savollari

1. Kompressor qurilmasining vazifasini tushuntirib bering.
2. Kompressorlarning turlari qanday?
3. Kompressor qanday termodinamik jarayonlar hosil bo'ladi?
4. Kompressorning nazariy quvvati qanday aniqlanadi?
5. Kompressorlarda bajarilgan ish qanday aniqlanadi?
6. Kompressorning indikator diagrammasini chizib, unda bo'ladigan jarayonlarni tushuntirib bering.
7. Nazariy diagramma bilan indikator diagrammalarning farqi nimada?

X BOB. ICHKI YONUV DVIGATELLARINING SIKLLARI

36-§. Ichki yonuv dvigatellari sikllarining termodinamik tahlili

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

Issiqlik dvigatellarida sodir bo'ladigan jarayonlarni tadqiq 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 kuchi 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 gazsimon yonish 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 qiyaaliklari orasidagi o'zgina 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 ishqalamish tufayli yo'qotilishlarni kamaytiradi. Natijada dvigatelning soddasi, ixcham va iqtisodiylikiga erishiladi.

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

Hozirgi vaqtda zamonaviy ichki yonuv dvigatellarida issiqlik keltiradigan (beradigan) sikllarning quyidagi uch turidan foydalaniladi: o'zgarmas hajmda ($V = const$) issiqlik keltiruvchi, nemis muhandis fizigi N.Otto tamonidan 1876-yilda kashf qilingan sikl; o'zgarmas bosimda

$P = const$ 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 izoxorik jarayonda amalga oshiriladi. Siklining xarakteristikalari:

a) $\epsilon = \frac{V_1}{V_2}$ — siqilish darajasi, gaz boshlang'ich hajmi V_1 ning siqilish jarayoni oxiridagi hajm V_2 ga nisbati;

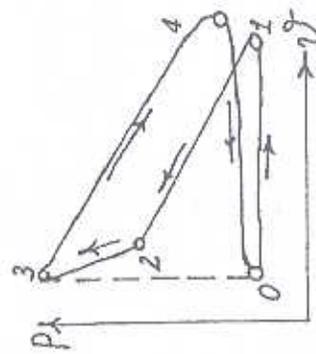
b) $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$ — issiqlik kiritilishda bosim oshish darajasi, ya'ni o'zgarmas bosimda issiqlik keltirilishi jarayoni oxirida va boshidagi gaz bosimlar nisbati;

d) $\rho = \frac{V_3}{V_2}$ — issiqlik keltirilishidagi dastlabki kengayish darajasi, ya'ni aralash siklda issiqlik keltirish jarayoni oxiridagi gaz hajmining boshlang'ich holdagi gaz hajmiga nisbati.

37-§. Hajm o'zgarmas bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl

Real porshenli dvigatellarning ishini tekshirishda silindr ichidagi porshen holatining o'zgarishini ko'rsatuvchi diagrammadan foydalaniladi. Bu diagramma indikator deb ataluvchi asbob yordamida olingani uchun indikator diagramma deb ataladi. 30-rasmda o'zgarmas hajmda yoqilg'ining tez yonib bo'luvchi sikli ko'rsatilgan.

Hajm o'zgarماغanda issiqlik keltiruvchi dvigatel ideal siklining diagramma ko'rinishi quyidagicha bo'ladi.

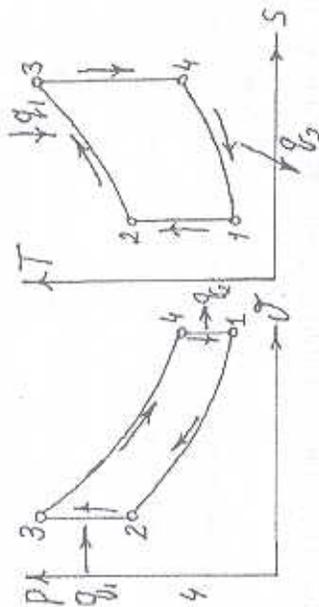


30-rasm. $V=const$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi IYOD (ichki yonuv dvigateli)ning indikator diagrammasi

Bu sikl ikkita izoxora va ikkita adiabatadan tashkil topgan bo'lib, ideal gaz boshlang'ich parametrlari P, V_1 va T_1 bilan 1-2 chiziq orqali adiabatik 2 nuqtagacha siqiladi. So'ngra 2-3 chiziq orqali ishehi jismga issiqlik q_1 keltiriladi. 3 nuqtadan boshlab 3-4 chizig'i bo'ylab ishechi jism kengayadi, so'ngra 4-1 izoxora orqali q_2 issiqlik olib ketiladi.

Bu siklning xarakteristikasi siqilish ko'effitsienti $\epsilon = \frac{V_1}{V_2}$ va bosimni

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



31-rasm. $V = \text{const}$ bo'lganida issiqlik keltiruvchi siklning P - V diagrammasi

32-rasm. $V = \text{const}$ bo'lganida issiqlik keltiruvchi siklning T - S diagrammasi

Shu siklning foydali ish ko'effitsientini aniqlaymiz.

$$\eta_r = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (139)$$

bu yerda: q_1 - keltirilgan issiqlik miqdori;
 q_2 - olib ketilgan issiqlik miqdori.

Keltirilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori esa

$$q_2 = c_v (T_4 - T_1)$$

Termik FIK

$$\eta_r = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_v (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (140)$$

$$(141)$$

$$(142)$$

(148) tenglamadagi T_2, T_3, T_4 haroratlarni aniqlaymiz. 1-2 adiabatik jarayon bo'lgani uchun:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1} \quad (143)$$

bundan:

$$T_2 = T_1 \epsilon^{\kappa-1} \quad (144)$$

2-3 izoxorik jarayon bo'lgani uchun:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} = \lambda \quad (145)$$

bundan:

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda = T_1 \epsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda \quad (146)$$

3-4 adiabatik jarayon bo'lgani uchun:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} = \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}} \quad (147)$$

bundan:

$$T_4 = T_3 \cdot \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}} = T_1 \cdot \lambda \cdot \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}} \quad (148)$$

Hamma topilgan qiymatlarni FIK ifodasiga qo'yish bilan quyidagini hosil qilamiz.

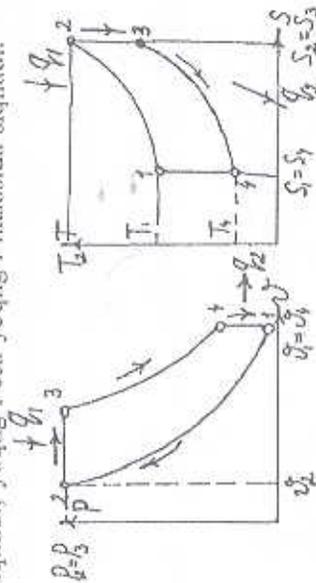
$$\eta_r = 1 - \frac{T_2 - T_3}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \cdot \lambda - T_1}{T_1 \epsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda - T_1 \epsilon^{\kappa-1}} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}} \quad (149)$$

$$\eta_r = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}} \quad (150)$$

38-§. Bosim o'zgarmas bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl

Avvalgi ko'rib chiqilgan siklning FIKdan ko'rinib turibdiki, uni oshirish uchun siqilish 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 havoning alohida siqilishi orqali amalga oshadi. Havo dvigatelning silindrida siqiladi, yoqilg'i esa yoqilg'i nasosida siqiladi.



33-rasm. $P=const$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklining $P-V$ diagrammasi 34-rasm. $P=const$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklining $T-S$ diagrammasi

Bunday siklni nemis muhandisi Dizel ixtiro qilgan. Bunday siklining $P-V$ va $T-S$ diagrammalari 33- va 34-rasmlarda ko'rsatilgan.

Bunday siklining FIK

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (151)$$

Keltirilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = c_p (T_3 - T_2) \quad (152)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori esa

$$q_2 = c_v (T_4 - T_1) \quad (153)$$

Olingan qiymatlar FIKning ifodasiga qo'yish natijasida:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1(T_4 - T_1)}{\kappa(T_3 - T_2)} \quad (154)$$

T_2, T_3, T_4 haroratlarni T_1 orqali ifodalaymiz. 1-2 adiabatada orqali:

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

bundan:

$$T_2 = T_1 \epsilon^{\kappa-1} \quad (155)$$

2-3 izobara orqali:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \rho$$

bundan:

$$T_3 = T_2 \cdot \rho = T_1 \epsilon^{\kappa-1} \cdot \rho \quad (156)$$

3-4 adiabatada orqali:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1}$$

bundan:

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} = T_1 \epsilon^{\kappa-1} \cdot \rho \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} = T_1 \cdot \rho^{\kappa} \quad (157)$$

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

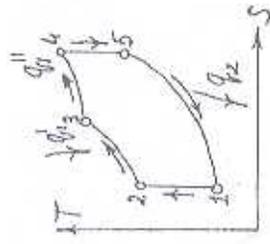
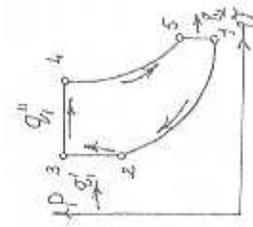
$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{\kappa(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \cdot \rho^{\kappa} - T_1}{\kappa(T_1 \epsilon^{\kappa-1} \cdot \rho - T_1 \epsilon^{\kappa-1})} = 1 - \frac{\rho^{\kappa} - 1}{\kappa \cdot \epsilon^{\kappa-1} (\rho - 1)} \quad (158)$$

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

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

39-§. Aralash holda issiqlik keltiruvchi sikl

Bu siklining afzalligi shundaki, u kompressorli ishlaydigan sikl bo'lib, suyuq yoqilg'i nasosidan nasosdan yoqilg'i forsunkasi orqali silindrning bosh qismiga kichik tomchi shaklida yuboriladi. Bu tomchilar siqilgan havoga tushishi bilan avval hajm o'zgarmaganda, so'ngra bosim o'zgarmaganda yonadi. Bunday jarayonlar 35 va 36-rasmlarda ko'rsatilgan.



35-rasm. Aralashgan holda issiqlik keltiruvchi siklining P-V diagrammasi

36-rasm. Aralashgan holda issiqlik keltiruvchi siklining T-S diagrammasi

Ishchi jism P, V, T, T_1 parametrlar bilan adiabatik 1-2 chiziq bilan siqiladi. Izoxora 2-3 orqali ishchi jismga q_1 , izobara 3-4 orqali q_2 issiqlik keltiriladi. So'ngra ishchi jism 4-5 adiabat chizig'i orqali kengayadi va 5-1 chiziq orqali q_3 issiqlik olib ketiladi. Shu siklining foydali ish ko'rsatkichini aniqlaymiz.

$$\eta_l = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1 + q_1} \quad (159)$$

Keltirilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2) \quad (160)$$

$$q_2 = c_p (T_4 - T_3) \quad (161)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori esa

$$q_3 = C_v (T_5 - T_1) \quad (162)$$

Olingan qiymatlarni FIK ifodasiga qo'yish natijasida:

$$\eta_l = 1 - \frac{q_2}{q_1 + q_1} = 1 - \frac{C_p (T_4 - T_3)}{C_v (T_3 - T_2) + C_p (T_4 - T_3)} \quad (163)$$

T_2, T_3, T_4, T_5 haroratlarni T_1 orqali ifodalaymiz. 1-2 adiabat orqali:

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

bundan: $T_2 = T_1 \epsilon^{\kappa-1}$ (164)

2-3 izoxora orqali:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \lambda$$

bundan: $T_3 = T_2 \cdot \lambda$ va $T_3 = T_1 \epsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda$ (165)

3-4 izobara orqali:

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{V_4}{V_3} = \rho$$

bundan: $T_4 = T_3 \cdot \rho$ va $T_4 = T_1 \epsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda \cdot \rho$ (166)

4-5 adiabat orqali:

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

$\rho: \epsilon = \frac{V_4}{V_3} \cdot \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_2} \cdot \frac{V_1}{V_1}$ (167)

5-1 izoxora orqali: $\frac{T_5}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_5}\right)^{\kappa-1} + \frac{\rho^{\kappa-1}}{\epsilon^{\kappa-1}}$

$$T_5 = T_1 \epsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \frac{\rho^{\kappa-1}}{\epsilon^{\kappa-1}}$$

$$T_5 = T_1 \cdot \lambda \cdot \rho^{\kappa} \quad (168)$$

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

$$\eta_l = 1 - \frac{\lambda \rho^{\kappa} - 1}{\epsilon^{\kappa-1} [(\lambda - 1) + \kappa \lambda (\rho - 1)]} \quad (169)$$

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

Masalalar

1. Gaz dvigateli harorat $t=25^{\circ}\text{C}$ bo'lganda soatiga 500 m^3 havoni so'radi, bunda nisbiy namlik $\varphi=0,4\%$. Dvigatel soatiga qancha suv bug'ini so'radi?

Javob: $4,6\text{ kg/soat}$.

2. Porshenli ichki yonuv dvigateli $V=\text{const}$ da yoqilg'ining yonish sikli bo'yicha ishlaydi. Shu siklning har bir nuqtasidagi parametrlarini, olingan ishni, keltirilgan va olib ketilgan issiqlikning termik FIKni aniqlang, agar $P_1=1\text{ bar}$, $t_1=20^{\circ}\text{C}$, $\varepsilon=3,6$; $\lambda=3,33$; $k=1,4$ bo'lsa. Ishchi jism — havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblang.

Yechish: Hisoblashni 1 kg havo uchun olib boramiz:

1-nuqta:

$$P_1=1\text{ bar}, t_1=20^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Holat tenglamasidan } P_1 V_1 = RT_1$$

$$V_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 293}{1 \cdot 10^5} = 0,84\text{ m}^3/\text{kg}$$

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 siqilishdagi harorat

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = 293 \cdot 3,6^{0,4} = 489\text{K}$$

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

$$P_2 = \frac{RT_2}{V_2} = \frac{287 \cdot 489}{0,233} = 6,02\text{ bar}$$

3-nuqta:

$$V_3 = V_2 = 0,233\text{ m}^3/\text{kg}$$

Izoxorik jarayonda parametrlar orasidagi bog'lanishga asoslanib,

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \lambda = 3,33$$

$$P_3 = P_2 \lambda = 6,02 \cdot 3,33 = 20\text{ bar}$$

$$T_3 = T_2 \lambda = 489 \cdot 3,33 = 1628\text{ K}, t_3 = 1355^{\circ}\text{C}$$

4-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

$$\eta = (825 - 495)/825 = 0,4 = 40\%$$

$$\eta_1 = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{3,6^{0,4}} = 0,4 = 40\%$$

Sikl ishi:

$$C_0 = q_1 - q_2 = 330\text{ kJ/kg}$$

3. $V=\text{const}$ da issiqlik keltiradigan porshenli ichki yonuv dvigatelinin siqilish darajasi $\varepsilon=5$, bosimning oshish darajasi $\lambda=1,5$. Ishchi jism — havo. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblang, shu siklning FIKni aniqlang.

Javob: $\eta_1=0,476$.

4. $R=\text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl bilan ishlaydigan siklning xarakterli nuqtalardagi parametrlarini, foydali ishni, termik FIKni,

keltirilgan va olib ketilgan issiqlikni aniqlang, agar $P_1=1$ bar, $t_1=20^\circ\text{C}$, $e=12,7$, $k=1,4$ bo'lsa. Ishchi jism — havo. Issiqlik sig'imini o'zgarmas deb hisoblang.

Javob: $v_1=0,84$ m³/kg; $P_2=35,1$ bar; $v_2=0,0661$ m³/kg; $t_2=536^\circ\text{C}$;
 $T_2=1345$ K; $P_3=35,1$ bar; $P_4=2,64$ m³/kg; $t_4=500^\circ\text{C}$;
 $q_1=818$ kJ/kg; $q_2=347$ kJ/kg;
 $l_0=471$ kJ/kg $\eta_1=57,6\%$.

5. $V=\text{const}$ bo'lgan ichki yonuv dvigatelinin sikli berilgan. Havoning boshlang'ich holatidagi parametrlari $P_1=0,8$ at, $t_1=17^\circ\text{C}$. Siqilish darajasi $e=4,6$. Keltirilgan issiqlik 1005,6 kJ/kg ni tashkil qiladi. Agar silindrning siljishi $d=240$ mm, porshenning siljishi $S=340$ mm va ikki marotaba aylanishdagi aylanish soni minutiga $n=200$ bo'lsa, termik FIK va quvvatni toping.

Javob: $\eta_1=0,457$, $N=14,5$ kVt.

6. Aralashgan holda issiqlik keltiruvchi ichki yonuv dvigatelinin sikli berilgan. Ishchi jism — havo. Uning boshlang'ich parametrlari $P_1=0,1$ at, $t_1=30^\circ\text{C}$, $e=4,6$, $\lambda=2,0$, $r=1,2$.

Siklning har bir nuqtasidagi parametrlar keltirilgan issiqlik, ish, termik FIK aniqlansin, bunda issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblansin.

Javob: $v_1=0,87$ m³/kg; $v_2=0,124$ m³/kg; $v_3=0,149$ m³/kg;
 $P_2=1,52$ MPa; $P_3=3,05$ MPa; $P_4=0,26$ MPa;
 $t_3=1047^\circ\text{C}$; $t_4=1311^\circ\text{C}$; $t_5=511^\circ\text{C}$;
 $q_1=744,2$ kJ/kg; $\eta_1=0,532$; $l_0=396$ kJ/kg.

7. $P=\text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikli berilgan. Ishchi jism — havo, uning parametrlari $P_1=100$ kPa, $e=14$, $\rho=1,5$, $k=1,4$. Silindrning diametri $d=0,3$ m, porshenning siljishi $S=0,45$ m.

Siklning har bir nuqtasidagi parametrlar va FIKni aniqlang. Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb hisoblang.

Javob: $V_1=V_2=0,0341$ m³; $V_3=0,00244$ m³; $V_4=0,00366$ m³;
 $P_2=4,02$ MPa; $P_4=0,176$ MPa; $\eta_1=0,65$.

8. Atmosfera havosidagi bug'ning parsial bosimi 0,2 at, harorati 70°C bo'lganda nam havoning nisbiy namligini aniqlang.
 Javob: $\varphi=62,9\%$.

Nazorat savollari

1. Ichki yonuv dvigatellari deb qanday dvigatellarga aytiladi?
2. Ichki yonuv dvigatellarning sikllari necha xil bo'ladi?
3. Ichki yonuv dvigatellari sikllarining asosiy xarakteristikalarini ayting.
4. Hajm o'zgarimganda issiqlik keltiruvchi siklning FIKni ifodasini yozib bering.
5. Hajm o'zgarimganda issiqlik keltiruvchi siklning FIKni qanday oshirish mumkin?
6. Dizel siklining FIK ifodasida asosiy rol o'ynaydigan omillar nimalar?
7. Reaktiv dvigatellarning termodinamik jarayonlarini so'zlab bering.
8. To'g'ri oqimli havo reaktiv dvigatellarning ishtilash uslubini tushuntirib bering.

XI BOB. GAZ TURBINA QURILMALARINING SIKLLARI

40-§. Gaz turbina qurilmalari (GTQ)

Porshenli ichki yonuv dvigatellarining asosiy kamchiligi quvvatining cheklanganligi, ishchi jismning adiabatik kengayishini atmosfera bosimiga olib borib bo'lmashligidir. Bunday kamchilik gaz turbina qurilmalarida bo'lmaydi. Ularda ishchi jism sifatida suyuq yoki gaz yoqilg'ilar yonishidan hosil bo'lgan mahsulotlar 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'irlikning kamligi, quvvati ko'pligi, yuqori aylanishlar soniga egaligi. Lekin ularni qurishda ko'p masalalarni yechishga to'g'ri keladi. Eng avval turbinaga kelayotgan gazning haroratini oshirish zarur, bu esa GTQ ning FIKni oshiradi.

41-§. Bosim o'zgarmas bo'lganda issiqlik keltiruvchi GTQning sikli

$P = \text{const}$ bo'lganda yoqilg'ini yonishiga ega bo'lgan siklning chizma tasviri 37-rasmda ko'rsatilgan.

Kompressor (4) da siqilgan havo forsunka (7) orqali va yoqilg'i nasos (5) dan forsunka (6) orqali yonish kamerasi (1) ga kelib tushadi. Bu yerda yonish jarayoni amalga oshadi va yonish mahsulotlari soploga tushib, bu yerda ishchi jism atmosfera bosimiga yaqin bo'lgan bosimgacha kengayadi. So'ngra soplodan gaz turbinasi (3)ning ishchi parraklariga kelib urilib, atmosferaga chiqarib ketadi. Shunday siklning P-V, T-S diagrammasi 38- va 39-raslarda ko'rsatilgan. Ishchi jism P_1, V_1, T_1 parametrlar bilan adiabatik ravishda 1-2 ga olib chiqildi. So'ngra ishchi jismga issiqlik keltirildi, bu izobara chizig'i 2-3 orqali amalga oshirildi.

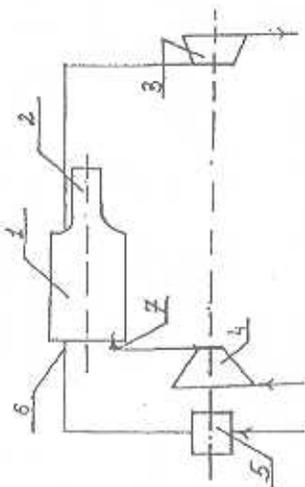
So'ngra ishchi jism turbinada adiabatik kengayadi (3-4 chizig'i), keyin ishchi jism avvalgi boshlang'ich holatiga qaytadi (4-1 chizig'i). Bu siklning

xarakteristikasi bo'lib, bosimni oshirish darajasi $\beta = \frac{P_2}{P_1}$ va izobarik

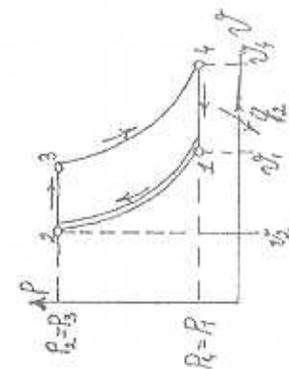
kengayish darajasi $\rho = \frac{V_3}{V_4}$ hisoblanadi.

Siklning FIKni hisoblaymiz:

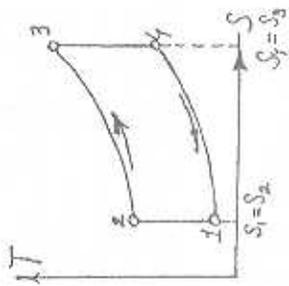
$$\eta_1^{GTQ} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (170)$$



37-rasm. $P = \text{const}$ bo'lgandagi issiqlik keltiruvchi GTQ sikli
1- yonish kamerasi; 2- soplo; 3- gaz turbinasi; 4- turbokompressor;
5- yoqilg'i; 6- forsunka; 7- forsunka.



38-rasm. $P = \text{const}$ GTQ P-V diagrammasi



39-rasm. $P = \text{const}$ GTQ T-S diagrammasi

Keltirilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = C_p (T_3 - T_2)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori esa

$$q_2 = C_p (T_4 - T_1)$$

T_2, T_3, T_4 , haroratlarni T_1 orqali ifodalaymiz. 1-2 adiabatga orqali:

$$(171)$$

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

bundan:

$$T_2 = T_1 \beta^{\kappa-1} \quad (172)$$

2-3 izobara orqali:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \rho$$

bundan:

$$T_3 = T_2 \cdot \rho = T_1 \beta^{\kappa-1} \cdot \rho \quad (173)$$

3-4 adiabatada orqali:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^\kappa = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^\kappa = \frac{1}{\beta^\kappa},$$

bundan:

$$T_4 = T_1 \beta^{\kappa-1} \cdot \beta^\kappa \cdot \rho = T_1 \cdot \rho \quad (174)$$

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

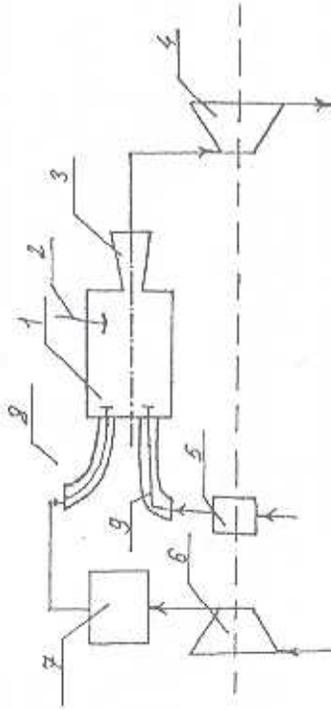
$$\eta_1 = 1 - \frac{T_1 \rho - T_1}{T_1 \beta^\kappa \rho - T_1 \beta^\kappa} = 1 - \frac{\rho - 1}{\beta^\kappa (\rho - 1)} \quad (175)$$

$$\eta_1 = 1 - \frac{1}{\beta^\kappa}$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, FIK bosimni oshirish darajasiga va adlabata ko'rsatkichiga bog'liq ekan.

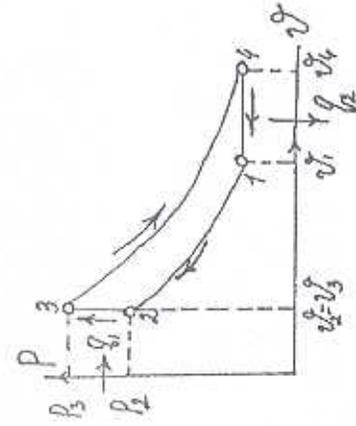
42-§. Hajm o'zgarmas bo'lganda issiqlik keltiruvchi gaz turbina qurilmasining sikli

Bu siklining chizma tasviri 40-rasmda keltirilgan.

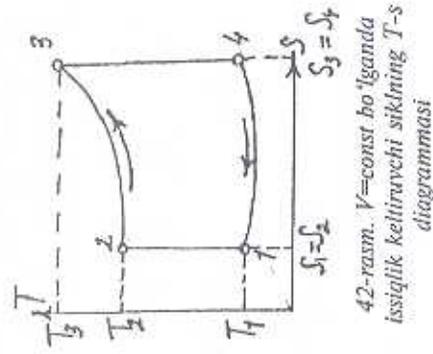


40-rasm. $V = \text{const}$ GTQning chizma tasviri

Kompressorda siqilgan havo resiver orqali havo klapanidan yonish kamerasiga kelib tushadi. U yerga yoqilg'i nasosidan yoqilg'i tushib, yonish jarayoni sodir bo'ladi, so'ngra yonishda hosil bo'lgan mahsulotlar gaz turbinasiga tushib, ishlatilib bo'lingan gazlar tashqariga chiqarib yuboriladi. Bunday siklining P-V va T-s diagrammasini quyidagi chizmada ko'ramiz.



41-rasm. $V = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklining P-V diagrammasi



42-rasm. $V = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklining T-s diagrammasi

Bosimni oshirish darajasi $\beta = \frac{P_2}{P_1}$ va qo'shimcha bosimni oshirish darajasi $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$. Bu siklining xarakteristikalari bo'lib hisoblanadi.

Keltirilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = C_v (T_3 - T_2) \quad (176)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori esa

$$q_2 = C_p (T_4 - T_1) \quad (177)$$

q_1 va q_2 ning qiymatlarini FIK ni aniqlash ifodasiga qo'yib, quyidagilarni olamiz:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_p (T_4 - T_1)}{c_v (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{\kappa (T_4 - T_1)}{T_3 - T_2} \quad (178)$$

T_3, T_4, T_2 haroratlarini T_1 orqali ifodalaymiz, 1-2 adiabata orqali:

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

bundan:

$$T_2 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (179)$$

2-3 izoxora orqali:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} = \lambda$$

bundan:

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda \text{ va } T_2 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \lambda \quad (180)$$

3-4 adiabata orqali:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{P_1}{P_2 \beta \lambda}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \frac{1}{\beta \lambda^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}, \quad (181)$$

bundan:

$$T_4 = T_3 \left(\frac{1}{\beta \lambda}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \lambda^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \frac{1}{\beta \lambda^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} \text{ va}$$

$$T_4 = T_1 \lambda^{\frac{1}{\kappa}} \quad (182)$$

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

$$\eta_t = 1 - \frac{\kappa(\lambda^{\frac{1}{\kappa}} - 1)}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} (\lambda - 1)}, \quad (183)$$

(183) ifodadan ko'rinib turibdiki, siklning FIK κ, β, λ kattaliklar ortishi bilan ortadi.

Masalalar

1. Bosim o'zgarmas bo'lgandagi gaz turbina qurilmasi ($P = \text{const}$) siklining har bir nuqtasidagi parametrlarini, foydali ishini, keltirilgan va olib ketilgan issiqlikni, FIK ni aniqlang, agar $P_1 = 1$ bar, $t_1 = 27^\circ\text{C}$, $t_2 = 700^\circ\text{C}$, $\lambda = P_3/P_1 = 10$; $\kappa = 1,4$ berilgan bo'lsa. Ishchi jism — havo. Issiqlik sig'imini o'zgarmas deb hisoblang.

Yechish:

1-nuqta: $V_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 300}{1 \cdot 10^5} = 0,861 \text{ m}^3/\text{kg};$

2-nuqta: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}; T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = T_1 \lambda^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$

$T_3 = 300 \cdot 10^{0,4/1,4} = 300 \cdot 1,93 = 579 \text{ K}$

$$t_2 = 306^\circ\text{C}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \rho \quad P_2 = P_1 \lambda = 1 \cdot 10 = 10 \text{ bar}$$

$$P_2 V_2 = RT_2 \quad V_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{287 \cdot 579}{10 \cdot 10^5} = 0,166 \text{ m}^3/\text{kg}$$

3-nuqta: $T_3 = 700 + 273 = 973 \text{ K}$
 $P_3 = P_2 = 10 \text{ bar}$

$$V_3 = V_2 \frac{T_3}{T_2} = 0,166 \frac{973}{579} = 0,279 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{T_1 \cdot 973}{T_4 \cdot 300}$$

4-nuqta: $T_4 = \frac{973 \cdot 300}{579} = 504 \text{ K}$

$$t_4 = 229^\circ\text{C} \quad P_4 = P_1 = 1 \text{ bar}$$

$$\frac{V_4}{V_1} = \frac{T_4}{T_1}; \quad V_4 = V_1 \frac{T_4}{T_1} = 0,861 \cdot \frac{504}{300} = 1,45 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Issiqlik miqdori:

$$q_1 = q_{2,3} = C_p (T_3 - T_2) = (29,31/28,96)(973 - 579) = 399 \text{ kJ/kg}$$

$$q_2 = q_{4,1} = C_p (T_4 - T_1) = (29,31/28,96)(500 - 300) = 202 \text{ kJ/kg}$$

Siklining ishi:

$$\zeta = q_1 - q_2 = 399 - 202 = 197 \text{ kJ/kg}$$

Siklining termik FIK:

$$\eta = 1 - q_2/q_1 = 1 - (202/399) = 0,494$$

2. Gaz turbinasi $P = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltirish bo'yicha ishlaydi. Bunda quyidagi parametrlar aniq: $P = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 40^\circ\text{C}$, $t_2 = 400^\circ\text{C}$, yanik bosimni oshirish darajasi $\lambda = 8$; Ishchi jism — havo. Xarakterli nuqtalardagi parametrlar, keltirilgan va olib ketilgan issiqlik, sikl bajarilishidagi ish va termik FIKni aniqlang. Issiqlik sig'imini o'zgarimas deb hisoblang.

$$V_2 = 0,204 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad t_2 = 297^\circ\text{C}$$

$$V_3 = 0,438 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad t_3 = 948^\circ\text{C};$$

$$V_2 = 1,93 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad q_1 = 659 \text{ kJ/kg}$$

$$q_2 = 364 \text{ kJ/kg}; \quad I_0 = 296 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = 0,45$$

Javob: $V_1 = 0,9 \text{ m}^3/\text{kg}$; $P_2 = 8 \text{ bar}$

3. Gaz turbinasi qurilmasi $R = \text{const}$ sikli bo'yicha ishlaydi. Quyidagi parametrlar berilgan: $t_1 = 30^\circ\text{C}$, $t_2 = 400^\circ\text{C}$, $\lambda = P_2/P_1 = 4$. Ishchi jism — havo. Shu siklining termik FIKni aniqlang.

Javob: $\eta = 0,585$.

4. $P = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi GTQning FIKni aniqlang, bunda uning bosimni oshirish darajasi 1) $\beta_1 = 5$; 2) $\beta_2 = 10$; 3) $\beta_3 = 20$ ga teng. Ishchi jismini havoning xossalriga ega bo'lgan jism deb hisoblang. Adiabata ko'rsatkichi $k = 1,4$.

Javob: $\eta_1 = 0,369$; $\eta_2 = 0,482$; $\eta_3 = 0,575$.

5. Gaz turbinasi $P = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl bilan ishlaydi, bosimni oshirish darajasi $\beta = 12$.

Ikkita holat uchun shu siklining FIKni aniqlang:

1) ishchi jism — havo; 2) ishchi jism — geliy.

Javob: $\eta_1 = 0,508$; $\eta_2 = 0,630$.

6. Gaz turbinasi qurilmasining bug' turbinasiga parametrlari $P_3 = 1,0 \text{ MPa}$, $t_1 = 700^\circ\text{C}$ bo'lgan geliy kiradi. Turbinaning ichki nisbiy FIK $0,86$, turbinadan keyingi bosim $P_2 = 0,1 \text{ MPa}$ ga teng. Agar turbinaning haqiqiy quvvati $N_e = 40 \text{ MVt}$ bo'lsa, soatiga sarflangan issiqlik va geliyning turbinadan chiqishidagi haroratini aniqlang.

Javob: $t = 196^\circ\text{C}$; $m_1 = 55,1 \cdot 10^3 \text{ kg/s}$.

Nazorat savollari

1. Gaz turbinasi qurilmalarining asosiy qulayliklari nimadan iborat?

2. GTQni qayerlarda qurish mumkin?

3. $P = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklining chizma tasvirini chizib ko'rsating.

4. $V = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklining R-V va T-s diagrammasini chizib ko'rsating.

5. $R = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklining chizma tasvirini chizib ko'rsating.

6. $R = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklining R-V va T-s diagrammasini chizib ko'rsating.

7. Ikkala siklining FIK qanday kattaliklarga bog'liq.

II BO'LIM. ISSIQLIK ALMASHINUVI

Issiqlik uzatishi yoki issiqlik almashuvi qattiq, suyuq va gazsimon jismlarda issiqlikning tarqalishini o'rganadi.

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

Issiqlik o'tkazuvchanlik deb, jism mikrozarrachalarning tebranma harakati orqali issiqlikning uzatilishiga aytiladi. Issiqlik o'tkazuvchanlik asosan qattiq jismlarda sodir bo'ladi. Issiqlik o'tkazuvchanlikda issiqlik gazlarda har xil energiyaga ega molekularning to'qnashuvida, suyuqliklarda molekularning tebranishida metallarda erkin elektr 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 2 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.

XII BOB. ISSIQLIK O'TKAZUVCHANLIK

43-§. Asosiy tushunchalar

Harorat maydoni. Jismining turli nuqtalaridagi haroratlar to'plamiga harorat maydoni deyiladi.

$t = f(x, y, z, \tau)$

τ - vaqt.

Harorat maydoni 2 xil holatda bo'ladi:

- 1) barqaror harorat maydoni (harorat vaqt o'tishi bilan o'zgar olmaydi);
 - 2) beqaror harorat maydoni (harorat vaqt o'tishi bilan o'zgaradi).
- Harorat maydoni uch o'lchamli $t = f(x, y, z)$, ikki o'lchamli $t = f(x, y)$ va bir o'lchamli $t = f(x)$ bo'ladi.

Harorat gradienti. Jismining bir xil haroratlari nuqtalarini birlashtirsak, izotermik sirt hosil bo'ladi. 2 ta izotermik sirt: t harorati va Δt ga ko'p bo'lgan haroratli sirtini 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 yaqori bo'ladi.

Harorat o'zgarishining (Δt) izotermalar orasida normal bo'yicha masofa Δn ga nisbati **harorat gradienti** deyiladi.

$$\text{grad } t = \text{lin} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) \Delta n \rightarrow 0 = \frac{\partial t}{\partial n} \quad (184)$$

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

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_x}{c\rho} \quad (185)$$

a - harorat o'tkazuvchanlik koeffitsienti; $a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$;

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \text{ Laplas operatori}$$

q_x - jismining ichki issiqlik manbai.

Bir qiymatli shartlari. Differensial tenglamani konkret hodisaga tabiiq etish uchun bir qiymatli shartlarni bilish kerak.

1. Geometrik shart (jismining o'lchamlari, tuzilishi);
 2. Fizik shart (jismining fizik xususiyatlari);
 3. Vaqt sharti (barqaror, beqaror holat);
 4. Chegara shartlari:
- I tartibli chegara sharti $t = f(x, y, z, \tau)$;
 II tartibli chegara sharti $q = f(x, y, z, \tau)$;

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

$$\alpha (t_c - t_0) = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)$$

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 gradientiga proporsionaldir:

$$dQ = -\lambda (\partial t / \partial n) \cdot dF \cdot d\tau \quad (186)$$

bu yerda: λ - issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsienti (Vt/mK) jismning fizik kattaligi bo'lib, qiymati son jihatdan haroratlar farqi $1^\circ C$ bo'lganda devorning birlik qatlamidan vaqt birligi ichida o'tadigan solishtirma issiqlik miqdoriga teng.

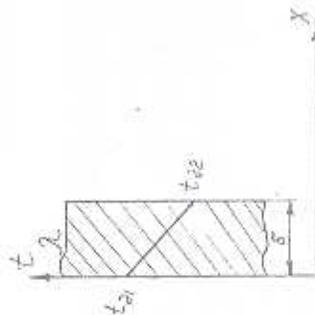
Izotermik sirtidan vaqt birligi ichida o'tadigan issiqlik miqdori **issiqlik oqimining zichligi** deyiladi.

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

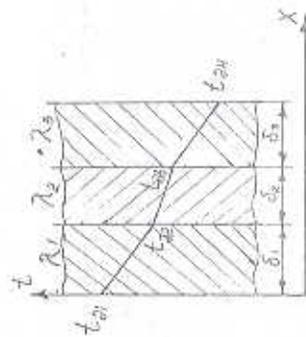
$$q = -\lambda (\partial t / \partial n), Vt/m^2 \quad (187)$$

44-§. Barqaror holatda yassi bir qatlamli devorning issiqlik o'tkazuvchanligi

Qalinligi δ (mm) va issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsienti λ bo'lgan bir qatlamli yassi devor berilgan (43-rasm). Devorning tashqi yuza va ichki yuzasida haroratlar o'zgarmas, t_{a1} va t_{a2} qilib turiladi. Berilgan sharoitda harorat maydoni bir o'lchamli bo'ladi, harorat faqat devor yuzasiga perpendikulyar yo'nalishda o'zgaradi.



43-rasm.



44-rasm.

Bu yassi devor uchun Fure qonunini yozamiz:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \quad (188)$$

bu ifodani dt orqali yozamiz

$$dt = -\frac{q}{\lambda} dx \quad (189)$$

(189) ifodani integrallab,

$$t = -\frac{q}{\lambda} x + c \quad (190)$$

ifodani olamiz.

c va t larni chegara shartidan aniqlaymiz, $x=0$ bo'lganda $c = t_{a1}$ ga, $x=\delta$ bo'lganda $t = t_{a2}$ ga teng deb hisoblab, issiqlik oqimi zichligini hisoblash ifodasiga ega bo'lamiz:

$$q = (\lambda / \delta) (t_{a1} - t_{a2}) Vt/m^2 \quad (191)$$

bu yerda: $t_{a1} - t_{a2} = \Delta t$ - haroratlar farqi;

λ / δ - devorning issiqlik o'tkazuvchanligi, Vt/m^2K ,

δ / λ - devorning termik qarshiligi.

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

$$Q = q F \tau = (\lambda / \delta) (t_{a1} - t_{a2}) F \tau \quad (192)$$

Yassi ko'p qatlamli devor uchun (masalan, 3 qatlamli devor uchun) issiqlik oqimi zichligi quyidagi ifoda orqali topiladi (44-rasm).

$$q = \frac{t_{a1} - t_{a2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{t_{a1} - t_{a2}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, Vt/m^2 \quad (193)$$

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 turgan qatlamlar orasidagi haroratlarni quyidagi ifodalardan topish mumkin:

$$t_{a2} = t_{a1} - q \frac{\delta_1}{\lambda_1}$$

$$t_{a1} = t_{a2} - q \frac{\delta_2}{\lambda_2}$$

$$t_{o_2} = t_{o_1} - q \frac{\delta_3}{\lambda_3} \quad (194)$$

Ko'p qatlamli yassi devorda harorat o'zgarishi yo'nalishi siniq chiziqda tasvirlanadi.

45-§. 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.

$$t = t_{o_1} - (t_{o_1} - t_{o_2}) \frac{\ln \frac{d}{d_1}}{\ln \frac{d}{d_2}} - \frac{d_2}{d_1} t_{o_2} \quad (195)$$

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

$$Q = (2\pi\lambda l (t_{o_1} - t_{o_2})) / \ln \frac{d_2}{d_1}; \quad Vt/m, \quad (196)$$

Issiqlik oqimi zichligi silindrik devorning ichki yuza birligiga berilgan bo'lishi mumkin:

$$q_1 = \frac{Q}{\pi d_1 \lambda} = \frac{2\lambda(t_{o_1} - t_{o_2})}{d_1 \cdot \ln(d_2/d_1)}; \quad Vt/m, \quad (197)$$

va tashqi yuza birligiga:

$$q_2 = \frac{Q}{\pi d_2 \lambda} = \frac{2\lambda(t_{o_1} - t_{o_2})}{d_2 \cdot \ln(d_2/d_1)}; \quad Vt/m, \quad (198)$$

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

$$q_3 = \frac{Q}{\lambda} = \frac{\pi(t_{o_1} - t_{o_2})}{1/2\lambda \cdot \ln(d_2/d_1)}; \quad Vt/m, \quad (199)$$

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

$$q_3 = \frac{\pi(t_{o_1} - t_{o_2})}{1/2\lambda_1 \cdot \ln(d_2/d_1) + 1/2\lambda_2 \cdot \ln(d_3/d_2)}; \quad Vt/m, \quad (200)$$

Qatlamlar orasidagi chegara haroratlari:

$$t_{o_3} = t_{o_1} - q_3 \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (201)$$

Masalalar

1. Qalinligi 390 mm bo'lgan g'isht devorning ichki sirtidagi harorat 300°C va tashqi sirtidagi harorat 60°C ga teng. Devor orqali issiqlikning yo'qolishi $q = 178 \text{ Vt/m}^2$ bo'lganda, g'isht devorning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientini toping.

Yechish:

$$\lambda = (q \delta) / (t_{o_1} - t_{o_2}) = 178 \cdot 0,39 / (300 - 60) = 0,29 \text{ Vt/m}^2 \cdot \text{C}.$$

2. Ichki diametri 140 mm bug' quvuri qalinligi $\delta_3 = 20 \text{ mm}$ va $\delta_2 = 40 \text{ mm}$ bo'lgan 2 ta qatlamlar bilan izolatsiyalangan. Quvur va izolatsiya qatlamlarining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientlari: $\lambda_1 = 55 \text{ Vt/m}^2 \cdot \text{C}$, $\lambda_2 = 0,037 \text{ Vt/m}^2 \cdot \text{C}$, $\lambda_3 = 0,14 \text{ Vt/m}^2 \cdot \text{C}$. Quvurning ichki sirtidagi harorat $t_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ va tashqi sirtidagi harorat $t_2 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$. Bug' quvurining qalinligi $\delta = 5 \text{ mm}$. 1 m bug' quvuri orqali o'tgan issiqlik oqimini toping.

Yechish:

$$q_3 = \frac{2\pi(t_1 - t_2)}{1/\lambda_1 \cdot \ln(d_2/d_1) + 1/\lambda_2 \cdot \ln(d_3/d_2) + 1/\lambda_3 \cdot \ln(d_4/d_3)} = \frac{2 \cdot 3,14(300 - 55)}{1/55 \ln(150/140) + 1/0,037 \ln(130/150) + 1/0,14 \ln(270/190)} = 172,5 \text{ Btr/m}$$

3. Uzunligi $l = 5 \text{ m}$, balandligi $h = 4 \text{ m}$ va qalinligi $\delta = 250 \text{ mm}$ bo'lgan qizil g'isht devordan o'tgan issiqlik oqimini toping. Devor sirtidagi haroratlari $t_1 = 110 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ va qizil g'ishtning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda = 0,7 \text{ Vt/m}^2 \cdot \text{C}$ ga teng.

Javob: $Q = 3920 \text{ Vt}$.

4. Uzunligi 180 mm bo'lgan alyuminiy g'ola bir tarafdin $t_1 = 400^\circ\text{C}$ isitilgan va ikkinchi tarafdin $t_2 = 10^\circ\text{C}$ sovutgich bilan siqilgan. Agar issiqlik oqimi $Q = 176,8 \text{ Vt}$, issiqlik o'tkazuvchanlik ko'rsatkichi $\lambda = 204 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ va yon sirtlaridan issiqlik yo'qolishi bo'lmaganda g'olaning termik qarshiligi, harorat gradienti va ko'ndalang kesimi yuzasini toping.
 Javob: $R = 0,88 \cdot 10^{-3} (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{Vt}$;
 $\text{grad } t = 2166,7 (\text{K}/\text{m})$; $F = 400 \text{ mm}^2$.

5. Yassi sirtini shunday izolyatsiya qilish kerakki, bunda vaqt birligi ichida birlik yuzadan o'tgan issiqlik 450 Vt/m^2 g'dan oshmasin. Izolyatsiya sirtlaridagi haroratlari $t_1 = 450^\circ\text{C}$ va $t_2 = 50^\circ\text{C}$ ga teng. Ikki xil holat uchun izolyatsiya qalinligini aniqlang:

a) sovelitdan qilingan izolyatsiya uchun issiqlik o'tkazuvchanlik ko'rsatkichi

$$\lambda = 0,09 + 0,0000874 t \quad \text{Vt/m}^\circ\text{C}$$

b) asbotermitdan qilingan izolyatsiya uchun issiqlik o'tkazuvchanlik ko'rsatkichi

$$\lambda = 0,109 + 0,000146 t \quad \text{Vt/m}^\circ\text{C}$$

Javob: a) $\delta = 100 \text{ mm}$; b) $\delta = 130 \text{ mm}$.

6. Bug' qozoni yonish kamerasi devorining qalinligi $\delta_1 = 150 \text{ mm}$ bo'lgan shamot, qalinligi $\delta_2 = 50 \text{ mm}$ bo'lgan diatomit va qalinligi $\delta_3 = 250 \text{ mm}$ bo'lgan qizil g'ishtdan iborat. Materiallarning issiqlik o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari mos ravishda $\lambda_1 = 0,93$; $\lambda_2 = 0,13$ va $\lambda_3 = 0,7 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ ga teng. Yonish kamerasining ichki sirtidagi harorat $t_1 = 1200^\circ\text{C}$ va tashqi sirtidagi harorat $t_4 = 50^\circ\text{C}$ ga teng. Yonish kamerasining devoridan o'tgan issiqlik oqimining zichligi va qatlamlar yopishgan sirtlaridagi haroratlarni aniqlang.

Javob: $q = 1274 \text{ Vt/m}^2$, $t_2 = 995^\circ\text{C}$, $t_3 = 505^\circ\text{C}$.

Yechish:

Issiqlik oqimining zichligi quyidagicha aniqlanadi:

$$q = \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1200 - 50}{\frac{0,15}{0,93} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,25}{0,7}} = 1274 \text{ Vt/m}^2$$

Qatlamlar yopishgan sirtlardagi haroratlarni aniqlaymiz:

$$t_2 = t_1 - q \frac{\delta_1}{\lambda_1} = 1200 - 1274 \frac{0,15}{0,93} = 995^\circ\text{C};$$

$$t_3 = t_2 + q \frac{\delta_2}{\lambda_2} = 50 + 1274 \frac{0,25}{0,7} = 505^\circ\text{C}$$

7. Uzunligi 3 m, ichki diametri 140 mm li bug' quvuri qalinligi $\delta_1 = 20 \text{ mm}$ va $\delta_2 = 40 \text{ mm}$ bo'lgan izolyatsiya qatlamlardan iborat. Quvurning va izolyatsiya qatlamlarining issiqlik o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari mos ravishda $\lambda_1 = 55$; $\lambda_2 = 0,037$ va $\lambda_3 = 0,14 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ ga teng. Quvurning ichki sirtidagi harorat $t_1 = 300^\circ\text{C}$ va izolyatsiyaning tashqi sirtidagi harorat $t_4 = 55^\circ\text{C}$ ga teng. Bug' quvurining qalinligi $\delta = 5 \text{ mm}$. Bug' quvuridan o'tgan issiqlik oqimini aniqlang.

Javob: $517,5 \text{ Vt/m}$.

Yechish:

Bug' quvurining tashqi diametrlari topamiz:

$$d_2 = d_1 + 2\delta_1 = 140 + 2 \cdot 5 = 150 \text{ mm};$$

Izolyatsiya diametrlarini topamiz:

$$d_3 = d_1 + 2\delta_1 = 150 + 2 \cdot 20 = 190 \text{ mm},$$

$$d_4 = d_1 + 2\delta_1 = 190 + 2 \cdot 40 = 270 \text{ mm};$$

Issiqlik oqimi:

$$Q = \frac{2\pi(t_1 - t_4)l}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}} = \frac{2 \cdot 3,14(300 - 55) \cdot 3}{\frac{1}{55} \ln \frac{150}{140} + \frac{1}{0,037} \ln \frac{190}{150} + \frac{1}{0,14} \ln \frac{270}{190}} = 517,5 \text{ Vt/m}$$

8. Agar 85-masaladagi izolyatsiya qatlamlarining o'rmini almashitirsak, izolyatsiyalangan bug' quvuridan o'tgan issiqlik qanday o'zgaradi?

Javob: 490 Vt/m .

9. Diametri 160/170 mm li bug' quvuri $\delta = 100$ mm va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda_w = 0,062(1+0,00363 t)$ $Vt/m^{\circ}C$ bo'lgan izolatsiya qatlami bilan iborat. Quvurning tashqi sirtidagi harorat $t_1 = 300^{\circ}C$, izolatsiyaning tashqi sirtidagi harorat $50^{\circ}C$ ga teng bo'lganda 1 m bug' quvurdan yo'qolgan issiqlikni va quvurning ichki sirtidagi haroratni aniqlang.
Javob: $q_1 = 205 Vt/m$, $t_2 = 300^{\circ}C$.

Nazorat savollari

1. Issiqlik uzatilishi hodisasi qanday hodisasi hisoblanadi?
2. Issiqlik o'tkazuvchanlik hodisasi sodir bo'lishining shart-sharoitlarini tushuntirib bering.
3. Bir qiyamati shartlarni ayting?
4. Fure qonunini ayting.
5. Bir qatlamli yassi devorning issiqlik o'tkazuvchanligini tushuntirib bering.
6. Bir va ko'p qatlamli silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligini tushuntirib bering.
7. Devor sirtlaridagi haroratlarni aniqlang.

XII BOB. KONVEKTIV ISSIQLIK ALMASHINUVI (ISSIQLIK BERISH)

46-§. Umumiy tushunchalar

Konvektiv issiqlik almashuvi yoki **issiqlik berish** deb, qattiq jism bilan suyuqlik yoki gazlar orasidagi issiqlik almashuviga aytiladi. Konvektiv issiqlik almashuvi 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 jihatdan bir xil bo'lmagan massaviy kuchlar maydoni (gravitatsion, magnit, elektr yoki inersiya maydonlari kuchlari) ta'siridagi harakati tushuntiriladi.

Majburiy harakat yoki **majburiy konveksiya** tizim chegaralariga qo'yilgan tashqi yuzga kuchlari yoki tizim ichidagi suyuqlikka quyilgan 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 zichliklarning farqi tufayli sodir bo'ladi.

Majburiy konveksiya esa tashqi kuch—ventilator yoki nasos ta'sirida sodir bo'ladi.

Suyuqlik oqishining tartibi konvektiv issiqlik almashuvi yuzaga kelishining asosini tashkil etadi.

1884-yilda Reynolds o'z tajribalari asosida suyuqlik harakatining **laminar** yoki **turbulent** bo'lishini ko'rsatib berdi.

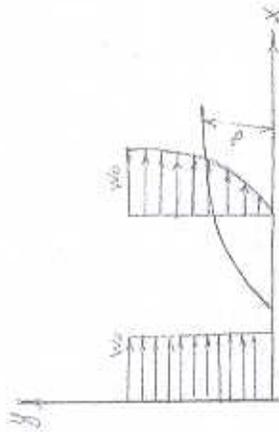
Suyuqlik zarrachalarining bir tekisda aralashmagan holda yuzaga kelishiga **laminar oqim** deyiladi. Bunda oqish yo'nalishida normal bo'yicha issiqlikning uzatilishi asosan issiqlik o'tkazuvchanlik bilan amalga oshadi. Suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanligi ancha kichik bo'lganligi sababli tezlik uncha 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 orqali barcha zarrachalarning aralashishi bilan issiqlik oqimi tarqaladi, shuning uchun ham turbulent oqimda issiqlik almashinishi yuqoriroq bo'ladi.

Reynolds suyuqlikning quvurdagi oqish tartibi o'lichamsiz qiymat bilan aniqlanishini ko'rsatadi. 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 ($Re > 10\ 000$).

Suyuqlik quvur bo'ylab harakatlanishining o'ziga xos xususiyatlari bor. Tezligi o'zgarmas bo'lgan suyuqlikning quvur bo'ylab harakatini ko'rib chiqamiz (45-rasm).



45-rasm

Suyuqlik quvur bo'ylab oqib boshlashi bilan devorlar yaqinidagi suyuqlik zarrachalari ishqalamish natijasida 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. δ oqim bo'ylab bu qatlarning qalinligi ortadi. Tezlik ortishi bilan chegara qatlarning qalinligi kattalashadi. Suyuqlikning qovushqoqligi ortishi bilan qatlarning qalinligi ham ortadi. Bu o'z navbatida suyuqlikdan qattiq jism sirtiga issiqlik berishni 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 qatlarning qalinligi kamayadi. Natijada issiqlik almashinishi ortadi.

Issiqlik berish jarayonini hisoblashda Nyuton-Rixman qonunidan foydalaniladi:

$$Q = \alpha (t_d - t_m) F \quad (202)$$

bu yerda: Q — issiqlik oqimi, Wt ;

α — issiqlik berish ko'effitsienti, Wt/m^2K ;

t_m — atrof-muhit harorati, $^{\circ}C$;
 t_d — devor sirtining harorati, $^{\circ}C$;
 F — issiqlik almashuv yuzasi, m^2 .

Issiqlik berish ko'effitsienti 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:

$$q = \alpha \Delta t \quad Wt/m^2 \text{ ga teng.} \quad (203)$$

47-§. O'xshashlik nazariyasi asoslari

Konvektiv issiqlik almashuvi ko'p o'zgaruvchanli va bir ma'noli differensial tenglamalar bilan izohlanadi.

Issiqlik berish ko'effitsientini analitik hisoblash, tenglamalarni yechish juda ko'p qiyinchiliklarga olib keladi. Shuning uchun o'xshashlik nazariyasiga asoslanib, issiqlik berish ko'effitsientini 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 jarayonlar o'xshashligini aniqlashga imkon beradi.

Konvektiv issiqlik almashuvining asosiy o'xshashlik mezonlari (sonlari) — Reynolds, Grashof, Prandtl va Nusselt mezonlaridir.

$Re = \frac{wX}{\nu}$ — bu tenglik oqim inersiya kuchining qovushqoqlik kuchiga bo'lgan nisbatini ifodalaydi.

$Gr = \frac{g\beta\Delta t x^3}{\nu^2}$ — bu tenglik oqim ko'tarilishi kuchining qovushqoqlik kuchiga bo'lgan nisbatini ifodalaydi.

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

$Nu = \alpha / \lambda$ — konvektiv issiqlik almashuvini ifodalovchi kattalik.

bu yerda: w — issiqlik tashuvchining harakat tezligi, m/s ;

x — geometrik aniqlovchi kattalik, m ;

ν — kinematik qovushqoqlik ko'effitsienti, m^2/s ;

$a = \lambda / cp$ — harorat o'tkazuvchanlik ko'effitsienti, m^2/s ;

g - erkin tushish tezlanishi, m/s^2 ;

β - hajmiy kengayish harorat koeffitsienti, $\frac{1}{K}$;

$\Delta t = t_f - t_w$ - haroratlar farqi;

λ - issiqlik tashuvchining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, W/mK .

α - issiqlik berish koeffitsienti, W/m^2K ;

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 almashuvi jarayonlarining o'xshashlik mezonlari son jihatdan bir-biriga teng bo'lishi kerak. Issiqlik almashuvi jarayonlarining o'xshashligi bir xil mezon tenglamalari bilan izohlanadi.

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

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (204)$$

Issiqlik tashuvchining laminar (ko'proq erkin) harakatida o'xshashlik tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad (205)$$

48-§. Quvurlarda majburiy oqimda issiqlik berish

Suyuqlik quvur bo'ylab harakatlanganda oqimga qarshilik kuchlari ta'sirida suyuqlik harakati butun quvur ko'ndalang kesimi va uzunligi bo'ylab o'zgarib boradi. Suyuqlik oqimi turbulent va laminar holatda bo'lishi mumkin. Suyuqlikning fizik xususiyatlari o'zgarishi tufayli laminar oqimda ($Re \leq 2300$) 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'rtacha issiqlik berish koeffitsientining taxminiy qiymatini quyidagi formula orqali hisoblash mumkin:

$$Nu_{qd} = 0,15 Re_{qd}^{0,33} \cdot Pr_{\epsilon}^{0,33} (Gr_{\text{ort}} \cdot Pr_s)^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_s}{Pr_b}\right)^{0,25} \cdot \epsilon_{\epsilon} \quad (206)$$

bu yerda: ϵ_{ϵ} - quvur uzunligi f ning diametri d ga nisbatini hisobga oluvchi tuzatma.

ϵ_{ϵ} ning λ/d kattalikka bog'liq ravishdagi qiymatlari jadvalda ko'rsatilgan. O'xshashlik mezonlaridagi indeks suyuqlikning yoki devorning o'rtacha haroratlariga tegishligini ko'rsatadi. (d - devor; s - suyuqlik).

Suyuqlik turbulent ($Re \geq 10000$) harakatlanganda, $t/d > 50$ bo'lsa, issiqlik berish koeffitsientining o'rtacha qiymati α ni quyidagi formula orqali topish mumkin.

$$Nu_{qd} = 0,02 Re_{qd}^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_s}{Pr_b}\right)^{0,25} \quad (207)$$

Pr_b - devordagi suyuqlikning o'rtacha harorati bo'yicha olinadi.

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

$$Nu_{s(x/d)} = 0,022 Re_{s(x/d)}^{0,8} \cdot Pr_s^{0,43} \cdot \epsilon_{\lambda} \quad (208)$$

Agar $(x/d) \geq 15$ bo'lsa, $\epsilon_{\lambda} \approx 1$ va $(x/d) < 15$ bo'lsa, $\epsilon_{\lambda} = 1,38 (x/d)^{0,12}$ ga teng bo'ladi.

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

49-§. 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 koeffitsienti quyidagi formula orqali topiladi:

$$Nu_{\infty} = 0,6 (Gr_{\infty} Pr_s)^{0,25} \left(\frac{Pr_s}{Pr_b}\right)^{0,25} \quad (209)$$

Laminar oqimda $t_s = \text{const}$ bo'lganda vertikal devorning issiqlik berish koeffitsienti quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$Nu_{x,d} = 0,63(Gr_{x,d} Pr_p)^{0,25} \left(\frac{Pr_p}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (210)$$

Suyuqlik gorizontal quvur atrofiga erkin laminar harakatlanganda o'rtaicha issiqlik berish koeffitsienti quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$Nu_{x,d} = 0,5(Gr_{x,d} Pr_p)^{0,25} \left(\frac{Pr_p}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (211)$$

Rivojlangan turbulent harakat ($Gr_{x,d} Pr_p$) bo'lganda vertikal devor bo'ylab erkin harakatlanishda issiqlik berish koeffitsienti quyidagi formula orqali topiladi:

$$Nu_{x,d} = 0,15(Gr_{x,d} Pr_p)^{0,33} \left(\frac{Pr_p}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (212)$$

(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 koeffitsienti aniqlanuvchi maydonga bo'lgan masofa, (209) ifodada l — 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 koeffitsienti suyuqlikning turiga, uning harakati, devorlar orasidagi haroratlar farqi, teshiklarning geometrik kattaliklariga bog'liq bo'ladi.

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

$$q = (\lambda_{kv} / \delta) (t_{q_1} - t_{q_2}), \quad Vt/m^2 \quad (213)$$

bu yerda: λ_{kv} — chegaralangan hajmda issiqlik o'tkazuvchanlik va konvektsiya bilan issiqlik o'tishini hisobga oluvchi issiqlik o'tkazuvchanlikning ekvivalent koeffitsienti,

$$\lambda_{kv} = e_k \lambda \quad (214)$$

bu yerda: λ — suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, Vt/mK ;

e_k — issiqlik o'tishida konvektsiyaning ta'sirini ifodalovchi koeffitsienti.

$(Gr - Pr)_d > 10^3$ bo'lgan aniqlikda $\epsilon_k = 0,8 (Gr - Pr)_d^{0,25}$ deb qabul qilish mumkin.

Aniqlanuvchi harorat sifatida:

$$t_s = 0,5 (t_{q_1} - t_{q_2}), \quad ^\circ C \text{ bo'ladi.} \quad (215)$$

Aniqlanuvchi kattalik qilib teshik qalindigi δ_m qabul qilingan. Gorizontal teshik bo'lgan sharoitda yuqori yuzasining harorati pastki qismdagi haroratdan yuqori bo'ladi. Suyuqlik harakat qilmaydi va $\lambda_{kv} = \lambda$, konvektiv issiqlik almashuvi qiymati nolga teng bo'ladi.

Masalalar

1. Gorizontal issiqlik almashuv apparatining diametri $d = 400$ mm, sirtining harorati $t_{sc} = 200$ °C va xonadagi havoning harorati $t_h = 30$ °C ga teng bo'lganda vaqt birligi ichida 1 m² gorizontal issiqlik almashuv apparati sirtidan o'tgan issiqlikni aniqlang.

Javob: $q = 1000$ Vt / m^2 .

Yechish:

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q = \alpha (t_{sc} - t_h)$$

Erkin konvektsiya uchun issiqlik berish koeffitsienti:

$$Nu = 0,5 (Gr_p Pr_p)^{0,25}$$

Havo haroratida $t_x = 30$ °C parametrlarni jadvaldan olamiz:

$$\gamma = 16,0 \cdot 10^{-6}, \text{ m}^2/\text{s}; \lambda = 2,67 \cdot 10^{-2} \text{ Vt/m}^\circ\text{S}$$

$$\beta = 1/T = 1/30 + 273 = 1/303 \text{ K}^{-1}; Rr = 0,701$$

$$(Gr_p Pr_c) = \frac{g\beta\Delta t d^3}{\gamma^2} Pr_s = \frac{9,81 \cdot (200 - 30)0,4^3}{303(16 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 0,701 = 9,75 \cdot 10^8$$

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

Bu yerdan issiqlik berish koeffitsientini topamiz:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d} = 88,2 \frac{2,67 \cdot 10^{-2}}{0,4} = 5,9 \text{ Vt} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vaqt birligi ichida 1 m² issiqlik almashuv sirtidan o'tgan issiqlik $q = \alpha (t_{sc} - t_h) = 5,9 (200 - 30) = 1000$ Vt / m^2 .

2. Agar plita sirtining harorati $t_{qs} = 100$ °C va atrof-muhitning harorati

$t_s = 20^\circ\text{C}$ ga teng bo'lsa, balandligi 2 m bo'lgan vertikal plitaning issiqlik berish koeffitsientini aniqlang.

Javob: $\alpha = 7,92 \text{ Vt} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

3. Moy bakidagi MC markali moy diametri 20 mmli gorizontal quvurlar yordamida bir xil haroratda saqlanadi. Moyning harorati $s = 60^\circ\text{C}$ va quvur sirtidagi harorat $t_{qs} = 90^\circ\text{C}$ bo'lganda quvur sirtidan moyga berilgan issiqlik berish koeffitsientini aniqlang.

Javob: $\alpha = 96,2 \text{ Vt} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

4. Kvadrat kesimli kanalning eni $a = 10 \text{ mm}$ va uzunligi $l = 1600 \text{ mm}$ ga teng. Kanaldan suv $w = 4 \text{ m/c}$ tezlikda oqib o'tadi. Suvning harorati $s = 40^\circ\text{C}$ va kanalning ichki sirtidagi harorat $t_{qs} = 90^\circ\text{C}$ bo'lganda kanal devoridan suvga issiqlik berish koeffitsienti va issiqlik oqimini aniqlang.

Javob: $\alpha = 20300 \text{ Vm/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, $Q = 50994 \text{ Vt}$.

Yechish:

Kanalning ekvivalent diametrimni aniqlaymiz:

$$d_e = \frac{4f}{p} = \frac{4a^2}{4a} = a = 0,01 \text{ m}$$

bu yerda f – kanalning yuzasi, m^2 .

p – kanalning perimetri, m .

Suvning $t_s = 40^\circ\text{C}$, haroratida fizik xususiyatlari:

$\nu_s = 0,659 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $\lambda_s = 0,634 \text{ Vt/m} \cdot ^\circ\text{C}$; $\text{Pr}_s = 4,3$

$t_{qs} = 90^\circ\text{C}$ da $\text{Pr}_{qs} = 1,95$

Reynolds soni

$$\text{Re} = \frac{wd}{\nu} = \frac{4 \cdot 0,01}{0,659 \cdot 10^{-6}} = 6,07 \cdot 10^4 > 10^4$$

Harakat holati – turbulent

$$\text{Nu} = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}_s}{\text{Pr}_{qs}} \right)^{0,25} = 0,021 (6,07 \cdot 10^4)^{0,8} (4,3)^{0,43} \left(\frac{4,3}{1,95} \right)^{0,25} =$$

$= 320$

Issiqlik berish koeffitsienti

$$\alpha = \text{Nu} \frac{\lambda}{d_i} = 320 \frac{0,634}{0,01} = 20300 \frac{\text{Vt}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Issiqlik oqimi:

$$Q = \alpha (t_{qs} - t_s) \pi d l = 20300 (90 - 60) \cdot 3,14 \cdot 0,01 \cdot 1,6 = 50994 \text{ Vt}$$

6. Uzunligi $l = 2 \text{ m}$ va eni $a = 1,5 \text{ m}$ gorizontal platinadan havo oqimi o'tadi. Havo oqimining tezligi $w = 3 \text{ m/s}$, harorati 20°C va plastina sirtidagi harorat 90°C ga teng. Platinadan havoga issiqlik berish koeffitsientini va issiqlik miqdorini aniqlang.

Javob: $\alpha = 4,87 \frac{\text{Vt}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$, $Q = 2050 \text{ Vt}$

7. Ichki diametri $d = 50 \text{ mm}$ bo'lgan quvurdan suv $w = 0,8 \text{ m/s}$ tezlikda oqib o'tadi. Suvning harorati $s = 50^\circ\text{C}$, quvur sirtidagi harorat $t_{qs} = 65^\circ\text{C}$ bo'lganda 1 m quvur sirtidan o'tgan issiqlikni aniqlang.

Javob: $q_\lambda = 9,03 \text{ kVt/m}$.

8. Tashqi diametri $d = 15 \text{ mm}$ bo'lgan suv kalorimetridan havo oqimi ko'ndalangiga oqib o'tadi. Havo kalorimetr o'qiga 90° burchak ostida 2 m/s tezlik bilan harakatlanadi. Havoning harorati 20°C va kalorimetr tashqi sirtining harorati $t_{qs} = 80^\circ\text{C}$ ga teng. Issiqlik berish koeffitsienti va birlik uzunlikdagi issiqlik oqimini aniqlang.

Javob: $\alpha = 36,3 \text{ Vt/2m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, $q_\lambda = 102 \text{ Vt/m}$.

Nazorat savollari

1. Konvektiv issiqlik almashuvi haqida tushuncha bering.
2. O'shashlik nazariyasi nima uchun kiritilgan?
3. Issiqlik berish koeffitsienti 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 mezonini nima ifodalaydi?
8. Laminar va turbulent oqim nima?

XIV BOB. BUG' QAYTADAN SUVGA AYLANISHIDA ISSIQLIK BERUVCHANLIK

50-§. Kondensatsiya hodisasi

Bug' to'yinish haroratidan pastroq haroratga ega bo'lgan yuza bilan tutashsa, u yana qaytadan suvga aylanadi, ana shu hodisa **kondensatsiya** hodisasi, hosil bo'lgan massa esa **kondensat** deyiladi.

Amalda kondensatsiya hodisasi — turbina kondensatorlarida, issiqlik almashinish apparatlarida uchraydi.

Kondensatsiya jarayoni issiqlik almashuvi bilan bog'liq, chunki bug' qaytadan suvga aylanishida ichki bug'lanish issiqligi ajraladi.

Kondensatsiya bug' hajmida ham, yuzada ham sodir bo'lishi mumkin. Bug' hajmida bo'ladigan kondensatsiya berilgan bosimda bug'ning to'yinish haroratiga nisbatan sovigan holatda uchraydi.

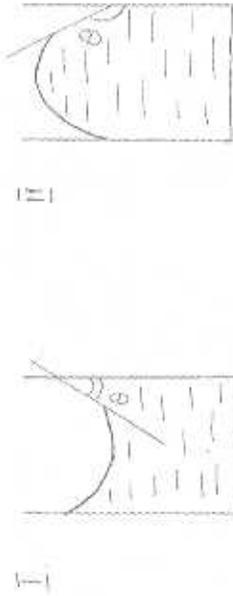
Xalq xo'jaligining ko'pgina sohalarida, xususan issiqlik energetikasida asosan bug'ning sovuq yuza bilan to'qnashishida hosil bo'ladigan kondensatsiya, ya'ni yuzadagi kondensatsiya jarayoni ishlatiladi. Bunday kondensatsiya yuzaning harorati berilgan bosimda to'yinish haroratidan kichik bo'lgandagina sodir bo'ladi. Qattiq jism yuzasida goho kondensat plyonkasi, goho alohida tomchilar hosil bo'ladi. Birinchi holatdagi kondensatsiya holati plyonkali, ikkinchi holatdagi **tomchili kondensatsiya** holati deyiladi.

Kondensatsiya holati yuzaga kelishi, suyuqlik yuzani ho'llashiga va ho'llamasligiga bog'liq bo'ladi. Agar suyuqlik yuzani (sirtini) ho'llasa, bunda plyonkali kondensatsiya hosil bo'ladi. Agar suyuqlik sirtini ho'llamasa, u holda tomchili kondensatsiya hosil bo'ladi.

Yuzaning suyuqlik bilan ho'llanishi va ho'llanmasligi sirt tortilish kuchining ta'siri hisobiga bo'ladi. Nima ta'sirida sirt tortilish kuchi paydo bo'lishini ko'rib chiqamiz.

Suyuqlik hajmida joylashgan zarrachaga o'zaro tortilish kuchlari ta'sir etadi. Bu kuchlarning yig'indisi nolga teng. Sirtida joylashgan zarrachaga shu kuch ta'sir etadi, lekin bu bir tomondan ta'sir etish bo'ladi. Shuning uchun qandaydir kuchlarning yig'indisi sirt tortilish kuchi deyiladi va bu kuch suyuqlik ichiga yo'naladi. Shu kuchlar ta'sirida suyuqlik o'zining sirtini kamaytirishga intiladi. Sirt tortilish kuchining fazalar ajralish chegarasidagi uzunligiga bo'lgan nisbati **sirt tortilish kuchi ko'effitsienti** deyiladi va σ bilan belgilanadi. Shularni e'tiborga olganda, suyuqlik yuzasi sirt yuzasi bilan burchak hosil qiladi. Bu o' bilan belgilanadi.

Ana shu burchakli sirt bilan suyuqlik zarrasi orasida qanday holatda bo'lishini quyidagi chizmada ko'ramiz (46-rasm):



46-rasm

I holatda $0 < 90^\circ\text{C}$ holati yuzaga keladi, ya'ni suyuqlik yuzani ho'llaydi;
II holatda $\theta > 90^\circ\text{C}$ holati yuzaga keladi, ya'ni suyuqlik yuzani ho'llamaydi.

Sirt tortilish ko'effitsienti ikkala holat uchun quyidagicha bo'ladi:

Bunda: $\sigma_{\text{sirt gaz}}$ — kuch — sirt — gaz;
 $\sigma_{\text{suyva gaz}}$ — kuch — suyuqlik — gaz;
 $\sigma_{\text{in suyuq}}$ — kuch — sirt — suyuqlik.

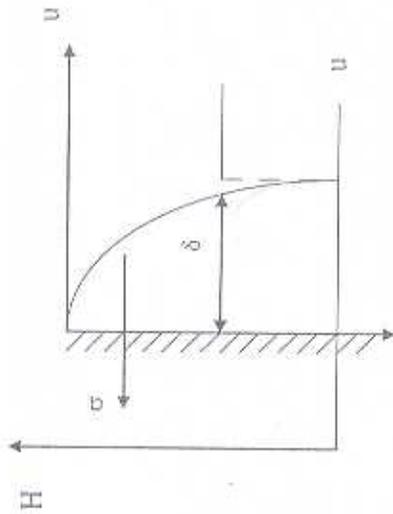
Tomchi uchun tenglik shartini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\sigma_{\text{sirt gaz}} = \sigma_{\text{sirt suyuq}} + \sigma_{\text{sirt gaz}} * \cos \theta$$

$$\text{bundan: } \cos \theta = \frac{\sigma_{\text{sirt gaz}} - \sigma_{\text{sirt suyuq}}}{\sigma_{\text{sirt gaz}}} \quad (215)$$

Tomchili kondensatsiyada issiqlik berish ko'effitsienti plyonkali kondensatsiyaga qaraganda har doim yuqori bo'ladi. Buning sababi kondensatorning plyonkasi termik qarshilikka ega bo'lib, bu issiqlik berilishini susaytiradi. Bunday qarshilikni kamaytirish yoki boshqacha qilib aytganda kondensatning plyonkasini ajratib yuborish kerak bo'ladi. Shunda qarshilik kamayib, issiqlik berilishi ortadi. Tomchili kondensatsiyani sun'iy ravishda yuzaga keltirish maxsus moddalar gidrofobizatorlar yordamida amalga oshiriladi. Bu moddalar yo bug'ga qo'shiladi, yo kondensator quvurlariga quyiladi.

Vertikal yuzadagi kondensatsiya holatini ko'rib chiqamiz. (47-rasm).



47-rasm

Umuman olganda, kondensatsiya jarayonidagi termik qarshilik kondensat plyonkasining termik qarshiligi bilan fazoviy o'tish termik qarshiligini yig'indisidan tashkil topadi.

$$R = \frac{1}{\alpha} = \frac{t_{\delta} - t_{\text{sat}}}{q} = R_{\sigma} + R_{\delta} \quad (216)$$

47-rasmdagi haroratlar o'zgarishi chizmasidan ko'rinib turibdiki, kondensat bilan bug'ning ajralish chegarasida haroratning ko'tarilishi yuzaga keladi. Ushbu harorat ko'tarilishi - ingichka yuza katlamida qarshi molekulalar oqimi yuzaga kelishining natijasidir. Molekulalarning bir qismi esa yuzadan qaytib, yana bug'ga kelib qo'shiladi. Buning natijasida ingichka yuza qatlamida turli energiya (harorat)ga ega bo'lgan yoki teng bo'lmagan molekula oqimi harakatlanadi. Demak, ushbu qatlmda bug'ning harorati kondensatning haroratidan harorat o'zgarishi bilan ajralib turadi. Yuzadan qancha molekulalar qaytisa, harorat ortishi shuncha yuqori bo'ladi.

Kondensatsiya koeffitsienti - K haroratlar ortishi xarakteristikasi hisoblanadi. U suyuqlik bilan olib ketiladigan molekulalar sonining devorga urilayotgan molekulalar soniga nisbati bilan aniqlanadi.

Fazoviy o'tishga termik qarshilik bilan kondensatsiya koeffitsientini bog'laydigan nazariy ifodalar mavjud bo'lib, ular bug'ning harorati va bosimiga bog'liq bo'ladi. Kondensatsiya koeffitsienti kichik bo'lganda haroratlar ortishining qiymati kattaroq bo'ladi va fazoviy o'tishning termik qarshiligi ham katta qiymatga ega bo'ladi. Suv bug'i kichik bosimga ega

bo'lganda kondensatsiya koeffitsienti $k=1$ bo'ladi, demak harorat ortishi yo'q deb olinadi. Shunda fazoviy o'tishning termik qarshiligi $R_{\sigma}=0$ bo'ladi.

Kondensat plyonkasining termik qarshiligi oqimning oqish rejimiga bog'liq. Laminar plyonkadan issiqlik o'tkazuvchanlik hisobiga, turbulent plyonkadan esa konvektiv issiqlik beruvchanlik hisobiga olinadi. Turli mualliflarning tajribalaridan olingan qiymatlar shuni ko'rsatadiki, kritik Re soni 60-500 gacha o'zgaradi.

1 kg quruq to'yingan bug'ni kondensatga aylantirishda r issiqlik ajraladi. Bu fazoviy o'tish issiqligi deyiladi va r bilan belgilanadi. Undan tashqari kondensatning sovishi yuzaga keladi. Chunki sirtning harorati to'yinish haroratidan kichik bo'ladi. Agar kondensatning sovishi ajralgan issiqlikdan kichik bo'lsa, u holda issiqlik miqdorini quyidagi ifodadan aniqlaymiz:

$$Q = G \cdot r$$

bunda G - hosil bo'lgan kondensatning miqdori.

Aniq masalalarda issiqlik almashinishini ko'rishda harakatlanayotgan va qo'zg'almas bug'larning kondensatsiyasini ajratish zarur bo'ladi. Bug'ning harakati kondensat plyonkasining qarshiligiga, demakki, issiqlik almashuvining intensivligiga ta'sir qiladi. Haqiqatan ham biz harakatlanuvchi bug'ning kondensatsiyasiga egamiz, chunki kondensatsiyalangan bug'ning hajmi o'rmiga yuzada yana yangi bug' hajmi paydo bo'ladi. Shuning uchun bug' doimo harakatda bo'ladi. Vertikal yuza uchun bug'ning tezligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$W = \frac{q}{r \rho_b} \cdot m/c \quad (217)$$

To'yingan suv bug'i uchun $w=0,23$ m/sek. Bunday tezlik bilan bug' kondensat plyonkasiga ta'sir eta olmaydi. Shuning uchun harakatlanmaydi deb hisoblanadi.

51-§. Vertikal yuza atrofida harakatlanmayotgan plyonkali kondensatsiyadagi issiqlik almashuvi

Vertikal yuzada s_{tr} haroratga ega bo'lgan quruq to'yingan bug' kondensatsiyalanyapti. Kondensat plyonkasi koliniar haroratga ega.

Shunday holatni ko'rib chiqish uchun quyidagilarga e'tibor beramiz:
1) kondensat plyonkasida hosil bo'ladigan inerziya kuchlari qovushqoqlik va og'irlik kuchlariga qaraganda kichik;

- 2) plyonkadan konvektiv issiqlik berilishi yo'q, plyonka bo'ylab issiqlik o'tkazuvchanlik hisobga olinmaydi — issiqlik faqat plyonkadan beriladi;
- 3) bug' — suyuqlik ajratish fazasi chegarasida ishqalanish yo'q deb hisoblanadi;
- 4) kondensat plyonkasining tashqi yuzasidagi harorat o'zgarmaydi va u t_1 ga teng;
- 5) fizik parametrlar haroratga bog'liq emas;
- 6) bug'ning zichligi suvning zichligiga qaraganda kichik.

Plyonkaning laminar oqimi holatidagi o'zgarishlarni ko'rib chiqamiz. Energiya tenglamasini yozamiz:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + W_x \frac{\partial t}{\partial x} + W_y \frac{\partial t}{\partial y} + W_z \frac{\partial t}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (218)$$

barqaror holat bo'lgani uchun $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$ (219)

konvektiv issiqlik uzatilishi bo'lmagani uchun

$$W_x \frac{\partial t}{\partial x} + W_y \frac{\partial t}{\partial y} + W_z \frac{\partial t}{\partial z} = 0 \quad (220)$$

Paragraf boshlanishida yozilganidek, plyonka bo'ylab issiqlik uzatilishi bo'lmagani uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \text{ va } \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0, \text{ unda energiya tenglamasi quyidagicha yoziladi:}$$

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0$$

Chegara shartlari:

$$y = 0 \quad t = t_{\text{sur}} \quad \frac{\partial W_x}{\partial y} = 0$$

$$y = \delta \quad t = t_n \quad \frac{\partial W_y}{\partial y} = 0 \quad (221)$$

Energiya tenglamasini integrallaymiz:

$$\frac{\partial t}{\partial y} = c_1; \quad t = c_1 y + c_2$$

chegara shartlarini hisobga olganda:

$$y = 0 \quad c_2 = t_{\text{sur}}$$

$$y = \delta \quad t_n = c_1 \delta + t_{\text{sur}} \rightarrow c_1 = \frac{t_n - t_{\text{sur}}}{\delta}, \quad (222)$$

bundant:
$$\frac{\partial t}{\partial y} = \frac{t_n - t_{\text{sur}}}{\delta}$$

Issiqlik berish koeffitsienti

$$\alpha = \frac{q}{t_n - t_{\text{sur}}} = \frac{\lambda \frac{\partial t}{\partial y}}{t_n - t_{\text{sur}}} = \frac{\lambda}{\delta} \frac{t_n - t_{\text{sur}}}{t_n - t_{\text{sur}}} = \frac{\lambda}{\delta} \quad (224)$$

Agar plyonka orqali issiqlik faqat issiqlik o'tkazuvchanlik orqali berilayotgan bo'lsa, u holda $\alpha = \frac{\lambda_n}{\delta}$ bo'ladi.

Oxirgi ifoda bo'yicha issiqlik berish koeffitsienti α ni hisoblash uchun sirtning balandligi bo'ylab plyonkaning qalinligini bilishimiz zarur bo'ladi. Plyonkaning qalinligini ifodalovchi ifodani topish uchun harakat differensial tenglamadan foydalanamiz. Harakat differensial tenglamasini integrallab, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\delta = \sqrt{\frac{4\lambda\mu_c(t_n - t_{\text{sur}})x}{r\rho_c^2 g}}, \quad (225)$$

Olingan tenglamani avvalgi tenglamaga qo'yish natijasida

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta} = \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{\frac{4\lambda\mu_c(t_n - t_{\text{sur}})x}{r\rho_c^2 g}}} = \sqrt{\frac{r\rho_c^2 g\lambda}{4\lambda\mu_c(t_n - t_{\text{sur}})x}} \quad (226)$$

kelib chiqadi.

Ushbu ifodadan issiqlik berish koeffitsientining mahalliy lokal qiymatini X kesimida hisoblash bo'ladi. (48-rasm).

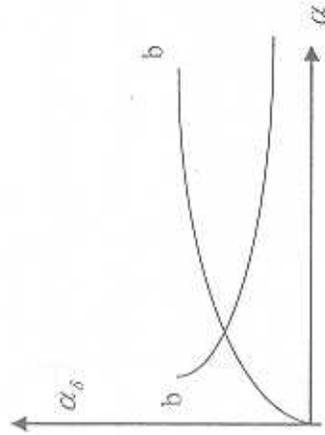
Balandlik bo'yicha o'rtacha issiqlik berish koefitsientini aniqlash uchun quyidagi ifodadan foydalanamiz:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{h} \int_0^h \alpha dx \quad (227)$$

Bu ifodadan olingan α qiymatni qo'yib, tenglamani integrallab, vertikal yuzalar uchun o'rtacha issiqlik berish koefitsientini aniqlash ifodasini yozamiz:

$$\bar{\alpha} = 0,943 + \sqrt{\frac{r^* \rho_c^2 \lambda_c^3 g}{\mu_c (t_r - t_{sat})} h} \quad (228)$$

Bu ifoda Nusselt tomonidan 1916-yilda yozilgan bo'lib, u orqali vertikal joylashgan yuzalardagi issiqlik berish koefitsientini aniqlaydi.



48-rasm

52-§. Gorizontal quvurlarda va quvurlar to'plamidagi kondensatsiya

Nusselt tomonidan topilgan ifoda gorizontal quvurlar uchun quyidagicha yoziladi:

$$\bar{\alpha} = 0,788 + \sqrt{\frac{\rho^2 \lambda^3 g r}{\mu (t_r - t_{sat})} d} \quad (229)$$

(229) ifodadagi $\bar{\alpha}$ qo'zg'almas bug' kondensatsiyasi uchun ishlatiladi. Lekin amalda qo'zg'aluvchan oqimlarda kondensatsiya doim amalga

oshadi. Bunda bug'ning tezligi qancha katta bo'lsa, haroratlar farqi va bosim katta bo'ladi. Shuning uchun issiqlik berish koefitsienti katta bo'ladi.

Tajriba natijalarini hisoblash orqali harakatlanayotgan quruq to'yingan bug'ning gorizontal quvurda kondensatsiyalashishida quyidagi ifoda ishlatiladi:

$$\bar{Nu} = 0,72 B Re_A^{0,16} Re_x^{-0,125} Gr^{0,045} \left(\frac{\mu_b}{\mu_c}\right)^{0,08} \quad (230)$$

$$Re_A = \frac{\lambda_b \Delta T}{r \rho_b v_s}; \quad Gr = \frac{g d^3}{\nu^2}$$

Gr — Galiley mezoni;

Re — Reynolds mezoni.

Kondensatsion apparatlar bitta quvurdan emas, balki quvurlar to'plamidan tashkil topgan bo'ladi. Quvurlar to'plamidagi kondensatsiyada issiqlik beruvchanlikning jadalligi yakka quvurlarmikiga qaraganda boshqacharoq bo'ladi. Buni quyidagi ikkita omil bilan tushuntirsa bo'ladi:

1) quvurlar to'plamidan bug'ning harakatlanishi davomida uning tezligi kamayadi.

2) kondensat plyonkasining qalinligi quvurdan-quvurga harakatlanish tufayli ko'payadi.

Kondensat plyonkasining kattalashishi issiqlik beruvchanlikni kamaytiradi. Kondensat quvurga alohida tomchilar yoki jildiragan oqim oqib tushadi. Bu bir tomondan kondensatning plyonkasini oshiradi, ikkinchi tomondan esa oqimning harakatini o'zgartiradi. Ushbu holat plyonkani turbulent oqim holatiga olib keladi. Shuning natijasida harakat quvur bo'ylab boradi.

Issiqlik almashinishing intensivligini baholashda alohida olingan quvurlar uchun tajriba yo'li bilan quyidagi ifoda belgilangan. Bu ifoda yuqoridagi quvurga tushadigan kondensatning miqdorini hisobga oladi.

$$\frac{\bar{\alpha}_n}{\alpha_i} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n G_i}{G_n}\right)^{-0,07} \quad (231)$$

bu yerda: $\sum_{i=1}^n G_i$ — n qator quvurlarga kelib tushadigan umumiy kondensatning miqdori;

G_n — ko'rilayotgan quvurlarda hosil bo'lgan kondensat miqdori;
 n — koridor yoki shaxmat shaklida joylashgan quvurlar to'plamidagi qatorlar soni;

α_n — n qatorga ega bo'lgan quvurlarning issiqlik berish ko'effitsienti;
 α_1 — yuqoridan birinchi qatoridagi quvurlarning issiqlik berish ko'effitsienti.

Ushbu olingan ifoda orqali hisoblashlar murakkab, chunki hisoblashni birinchi qatordan boshlab ketma-ket davom ettirish zarur bo'ladi. Agar ba'zi bir qisqartirishlar kiritib, ya'ni bug'ning bosimi va haroratlari farqi quvur balandligida deb qabul qilinsa, u holda issiqlik berish ko'effitsientini hisoblash osonlashadi.

53-§. Bug'ning tomchili kondensatsiyasida issiqlik beruvchanlik

Oldingi paragraflardan ma'lum bo'ldiki, tomchili kondensatsiya kondensat yuzani ho'llamasligi hisobiga vujudga kelar ekan. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, tomchi hosil bo'lish jarayoni juda tez bo'lib, keyinchalik bu tezlik keskin kamayadi. Tomchilar bir-biri bilan qo'shilib, tezda yuzadan tushib ketadi.

Tomchili hosil bo'lishi uchun esa bug' sovishi kerak, ya'ni uning harorati to'yinish haroratidan kichik bo'lishi zarur. Bunday holat tomchining tekis yuzasi bosimining yuqoridagi bosimdan kichikligi hisobiga paydo bo'ladi. Bug'ning tomchiga aylanishida uning radiusi kritik radiusdan birmuncha kattaroq bo'lishi evaziga hosil bo'ladi.

Kritik radius Tomson tenglamasi orqali aniqlanadi:

$$R_k = \frac{2\tau T_\sigma}{r\rho_s(T_\sigma - T_{p20})} \quad (2.32)$$

bu yerda: T_σ — berilgan bosimdagi bug'ning harorati;

T_{p20} — tomchi yuzasining harorati.

Tomchili kondensatsiya davomida kondensat plyonkasi paydo bo'lib qolish holatlari bo'ladi. Lekin bu plyonkaning qalinligi juda kichik bo'lganligi sababli, u juda tez bo'linib tomchi hosil qiladi. Bo'shagan joyda yana ancha plyonka hosil bo'lib, u yana tez bo'linadi. Kondensatning tomchi shaklida yuzaga kelishi kondensatsiya jarayonini tezlashtiradi va termik qarshilik kichik bo'ladi.

Tomchili kondensatsiya jarayonida yuzaning harorati vaqt bo'yicha o'zgaradi. Haroratning o'zgarishi kondensatsiyalanayotgan bug' termik qarshiligining o'zgaruvchanligiga bog'liq bo'ladi. Ana shunday kattaliklarni hisobga olgan holda, tomchili kondensatsiya jarayonini hisoblash uchun quyidagi ifodalar qabul qilingan:

$$Re_s = 8 \cdot 10^{-4} + 3.3 \cdot 10^{-3} \text{ bo'lganda,}$$

$$\bar{Nu} = 3.2 \cdot 10^{-4} Re_c^{-0.84} \Pi^{0.16} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Re_s = 3.3 \cdot 10^{-3} + 1.8 \cdot 10^{-2} \text{ bo'lganda,}$$

$$\bar{Nu} = 5 \cdot 10^{-6} Re^{1.57} \Pi^{1.16} Pr^{\frac{1}{3}}$$

ξ — harorat ko'effitsienti.

Mezonli tenglamalardagi mezonlarning ifodalarni qo'yish natijasida quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$\alpha = c_1 \Delta t^{0.16}, q = c_2 \Delta t^{1.16}$$

$$\alpha = c_3 \Delta t^{-0.57}, q = c_4 \Delta t^{0.43}$$

Bunda:

s_1, s_2, s_3, s_4 — issiqlik fizik kattaliklardan tashkil qilingan o'zgarmas kattalikdir.

Masalalar

1. Quvurning tashqi diametri 30 mm, balandligi 3 sm va yuzasining harorati $t_{cs} = 11^\circ\text{C}$, quvur yuzasida bosim $r = 0.004 \text{ MPa}$, harorati $t_s = 29^\circ\text{C}$ ga ega bo'lgan quruq to'yingan bug' qaytadan suvga aylanadi.

Kondensatorning vertikal quvuriga bug'dan berilayotgan issiqlik berish ko'effitsientini aniqlang.

Yechish: issiqlik berish ko'effitsientini quyidagi ifoda orqali aniqlaymiz:

$$\alpha_{\text{vor}} = 1.14 \sqrt{\frac{g\rho_s r \lambda}{\nu_s H(t_s - t_{cs})}} = 1.14 \sqrt{\frac{9.81 \cdot 998.2 \cdot 2432300 \cdot 0.515^3}{1.006 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 18}} = 3160 \text{ W/m}^2\text{K}$$

bu yerda ko'effitsientlarning qiymatini jadvallardan o'rtacha harorat orqali olamiz.

$t_{\text{ot}} = 0,5(t_{\text{v}} + t_{\text{c}}) = 0,5(11 + 29) = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 $t_{\text{ot}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ da $c = 998,2 \text{ kg/m}^3$, $\lambda = 0,515 \text{ W/m}^2$; $H = 1,006 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;
 bug'lanish issiqligi $t = 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$ da $r = 2432,3 \text{ kJ/kg}$.
 Issiqlik miqdori:

$$Q = 3160 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 = 16000 \text{ Wt} = 16 \text{ kW}$$

2. Diametri $25 \times 7 \text{ mm}$ va uzunligi $1,8 \text{ m}$ bo'lgan vertikal quvurning tashqarisida bosimi $0,101 \text{ MPa}$ ga ega bo'lgan quruq to'yingan bug' joylashgan. Quvurning ichidan suv oqib o'tadi. Suv bilan olib ketiladigan issiqlik oqimi 17500 Wt ga teng. Quvur devorining o'rtacha haroratini aniqlang.

Javob: $\bar{t}_{\text{kr}} = 62 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Tashqi diametri 30 mm va uzunligi $2,12 \text{ m}$ bo'lgan quvur berilgan. Uning bosimi $r = 0,101 \text{ MPa}$, $t_{\text{v}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Gorizontal va vertikal joylashgan quvurlarning issiqlik berish koeffitsientlari $\bar{\alpha}_1$ va $\bar{\alpha}_2$ ni aniqlang.

Javob: $\bar{\alpha}_1 = 13,900 \text{ Wt/m}^2\text{K}$

$\bar{\alpha}_2 = 5734 \text{ Wt/m}^2\text{K}$

Nazorat savollari

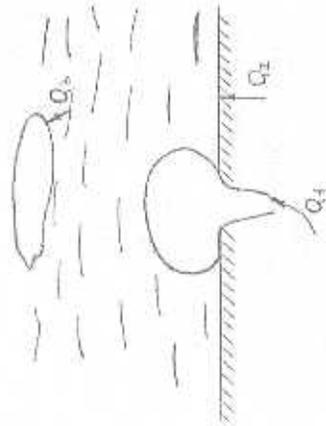
1. Kondensatsiya hodisasi nima?
2. Kondensatsiyaning turlari qanday?
3. To'ng'it kondensatsiya qanday hosil bo'ladi?
4. Pionkali kondensatsiyaning hosil bo'lish shart-sharoitlari haqida tushuncha bering.
5. Gorizontal va vertikal quvurlar uchun issiqlik berish koeffitsienti ifodasini yozib bering.

XV BOB. QAYNASH

54-§. Qaynash jarayoni

Qaynash jarayoni texnikada keng tarqalgan. Bug' qozonlarida, bug'lantiruvchi apparatlarda, sovutgich qurilmalarda qaynash jarayoni doimiy ravishda ro'y beradi.

Qaynash jarayonini qattiq jism sirtida va suyuqlik hajmida kuzatishimiz mumkin. Ko'proq qattiq jism sirtidagi qaynash keng tarqalgan. Qaynash jarayoni issiqlik berish bilan bog'langan. Shuning uchun qaynashda issiqlik beruvchanlik ko'proq qiziqish uyg'otadi. Qaynash jarayonining mexanizmi konvektiv issiqlik almashinish mexanizmidan chegara qatlami jarayonlari bilan ajralib turadi. Bug' pufakchalari chegara qatlamni turbulizatsiya holatiga keltiradi. Qaynash jarayoni hosil bo'lish shartlari quyidagicha: suyuqlik to'yinish haroratidan yuqori haroratgacha qizigan bo'lishi va issiqlik almashinish yuzasida bug'lanish markazlari (BM) bo'lishi kerak. BM ga yuza g'adir-budirligi, havo pufakchalari, chang zarrachalari misol bo'la oladi.



49-rasm

Agar (49-rasm) qattiq jism yuzasidagi issiqlik almashinishida bug' pufakchasini ko'radigan bo'lsak, issiqlik bug' pufakchasining oyoqchasidan (Q_1), chegara qatlamdan (Q_2) va yuqoriga ko'tarilish yadrosidan (Q_3) olinishi mumkin. Bug'lanish markazida joylashgan bug' pufakchasiga bug' pufakchasi ichidagi bosim kuchi (R) va atrofdagi suyuqlik bosim kuchi (R) ta'sir etadi. Bu kuchlarning tengligi shartlari Laplas tenglamasi bilan yoziladi:

$$\Delta P = P_1 - P = \frac{2\sigma}{R_{kr}} \quad (233)$$

bunda σ — sirt taranglik kuchi;

R_{kr} — kritik radius — pufakchani yuzaga kelishidagi minimal radius.

Agar $\Delta P > \frac{2\sigma}{R_{kr}}$ bo'lsa, bug' pufakchasi kattalashadi.

$\Delta P < \frac{2\sigma}{R_{kr}}$ bo'lsa, bug' pufakchasi qaytadan suvga aylanadi.

Kritik radius quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$R_{kr} = \frac{2\sigma T_1}{r \rho_s (T_s - T_1)} \quad (234)$$

bunda T_1 — to'yinish harorati, K;

T_s — suyuqlik harorati, K;

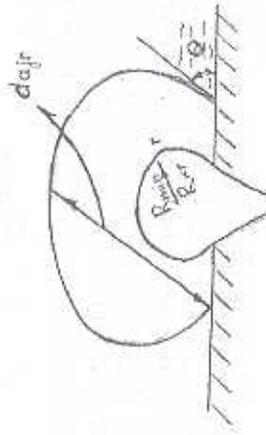
ρ_s — suyuqlik zichligi, kg/m³;

r — bug'lanish issiqligi, [kJ/kg].

Bizga ma'lumki, pufakchalarni qattiq jism sirtida paydo bo'lishi, ularning kattalashishi, jism sirtidan ajralishi, yuqoriga harakat qilishi suyuqlik va qattiq jism sirtining haroratiga hamda ajralish diametriga (d_{aj}) bog'liq.

Katta bo'layotgan yoki boshqacha qilib aytganda o'sayotgan bug' pufakchasi diametr bo'ylab o'sib ajralish diametriga (d_{aj}) yetganda (d_{aj}) sirtidan ajralib, suyuqlik yuzasi bo'ylab yuqoriga ko'tariladi.

Ajralish diametri quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi.



48-rasm

$$d_{aj} = 0,0208 \theta \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_c - \rho_0)}} \quad (235)$$

bunda θ — chekka burchak;

g — erkin tushish tezlanishi;

ρ_0 — bug'ning zichligi.

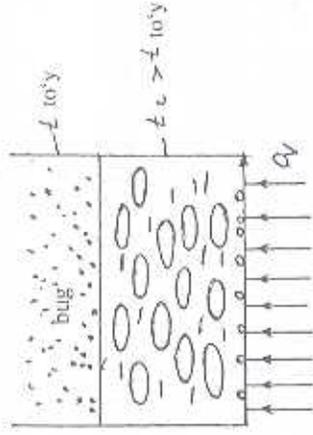
Chekka burchak θ ortishi bilan qaynayotgan suv yuzasi yomonlashadi,

ajralish diametri kattalashadi. Agar $\theta > \frac{\pi}{2}$ bo'lsa, suyuqlik yuzasi ho'llanmaydi, pufakchalar kattalashadi va issiqlik suvga emas, balki bug'ga beriladi.

55-§. Qaynash turlari

Qaynash quyidagi turlarga bo'linadi: pufakchali, plyonkali va sirt yuzasida (yoki isimagan suyuqlik qaynashi).

Pufakchali qaynashda (51-rasm) bug' pufakchalari yuzada paydo bo'lib kattalashadi va sirt yuzasidan ajralib chegara qatlamini jadal aralashtiradi. Bunda suyuqlik harorati to'yinish haroratidan yuqori bo'ladi. Pufakchalar butun suyuqlik hajmi bo'ylab harakatlanadi. Pufakchalarning hosil bo'lishi qattiq jism sirti haroratining katta bo'lishiga bog'liq.

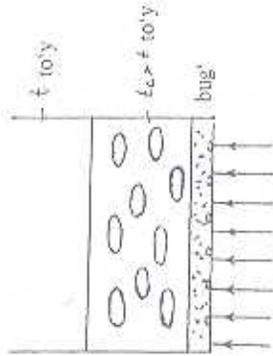


51-rasm

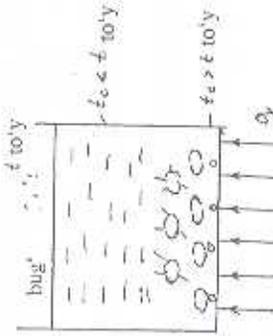
Plyonkali qaynashda (52-rasm) qattiq jism sirtida bug' pufakchalar shunchalik ko'p bo'ladi, ular sirt yuzasida bug'li plyonka qatlamini hosil qiladi, bug' plyonkasi qatlam bo'lgani uchun suyuqlikni sirtidan ajratib turadi. Bu issiqlik almashishni yomonlashtiruvchi termik qarshilik hosil qiladi.

$$R = \frac{\delta_{plyonkali}}{\lambda_{bug'}}$$

(2.36)



52-rasm



53-rasm

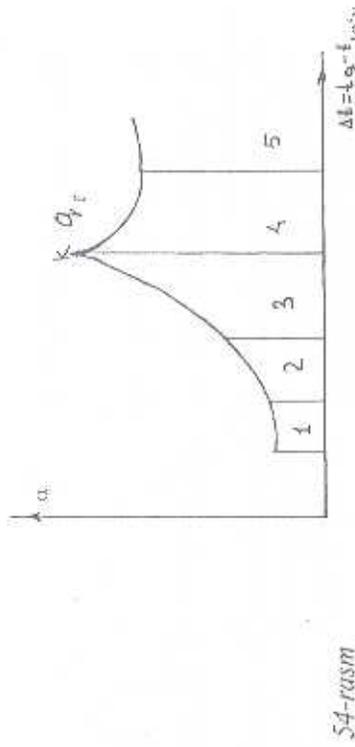
Termik qarshilik qancha yuqori bo'lsa, issiqlik berilishi shuncha kam bo'ladi. Qattiq jism yuzasida qaynashda (53-rasm) sirt yuzasidagi qatlamdagi suyuqlik qizigan hisoblanadi. Qattiq jism sirtida hosil bo'lgan pufakchalar yuzadan ajralib qaynash haroratigacha qizib ulgurmagani suyuqlikning yadrosiga kelib tushadi va bug' qaytadan suvga aylanadi. Chegara qatlam jadal aralashadi va issiqlik beruvchanlik yuqori holatda qoladi.

56-§. Qaynash krizislari va unga ta'sir etuvchi omillar

Qaynashda issiqlik beruvchanlikning haroratlar farqiga bog'liqligi (qaynash egri chizig'ini ko'rib chiqamiz).

Qaynash egri chizig'ida quyidagi qismlar mavjud (54-rasm): 1 — tabiiy konveksiya (suyuqlikning isitilishi); 2 — qaynash jarayonini sekin hosil bo'lish qismi; 3 — tezlashgan pufakchali qaynash qismi; 4 — o'tish qismi (me'yorsiz); 5 — plyonkali (me'yordagi) qaynash.

K nuqtasida pufakchali qaynashdan plyonkali qaynashga o'tish I qaynash krizisi deyiladi. Issiqlik yuklamasi birinchi kritik yuklama deb atalib, q_{kr1} deb belgilanadi. Qaynash krizisi boshlanganda issiqlik beruvchanlik koeffitsienti yomonlashadi va yuza harorati juda ortib ketishi hisobiga yuza buzilishi mumkin.



54-rasm

Issiqlik yuklamasining kamayishi hisobiga plyonkali qaynash pufakchali qaynashga almashadi. Plyonkali qaynashga o'tish nuqtasi II qaynash krizisi deyiladi va q_{kr2} deb belgilanadi, $q_{kr2} \ll q_{kr1}$.

Suv uchun $q_{kr1} = 1 \cdot 10^6 \text{ Wt/m}^2$, $\Delta t_{kr} = 25^\circ \text{C}$.

Katta hajmdagi suyuqlik uchun erkin konveksiya kiritik issiqlik yuklamasi quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$q_{kr1} = k \cdot r \sqrt{\rho} \sqrt{g \sigma (\rho - \rho')} \quad (2.37)$$

bunda k — ikki fazali chegara qatlamning o'zgarmas kattaligi, $k=0,13$. Qaynashda issiqlik berish hodisasini ham empirik, ham mezonli tenglamalar yordamida hisoblash mumkin. Empirik ifodalarning ko'rinishi quyidagicha:

$$\alpha = Aq^{0,7} \cdot \rho^{0,15}$$

Erkin konveksiya qismida quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\alpha = f(\Delta t).$$

Tezlashgan qaynash qismida:

$$\alpha = f(\Delta t) \text{ va } \alpha = f(q).$$

Masalan, suv uchun ifoda quyidagicha yoziladi:

$$\alpha = 3,14 q^{0,7} \rho^{0,15} \quad (2.38)$$

Mezonli tenglamaning (Labunsev ifodasi) ko'rinishi quyidagicha:

$$Nu = c Re^n Pr^{\frac{1}{3}} \quad (2.39)$$

bunda $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$ aniqlovchi kattalik

$$\xi_s = \frac{c_p \cdot \rho^1 \sigma T_x}{(r \rho)}, \quad (m)$$

$$Re \geq 10^{-2}, Nu = 0,125 Re^{0,65} Pr^{1/3}$$

$$Re \geq 10^{-2}, Nu = 0,625 Re^{0,5} Pr^{1/3}$$

Bu ifodalarni bosimning qiymati $P=45 \cdot 10^3 \div 175 \cdot 10^3$ Pa bo'lganda ishlatish mumkin.

Qaynashda issiqlik beruvchanlikka quyidagi omillar ta'sir etadi:

- 1) issiqlik yuklamasi va haroratlar farqi (qaynash egri chizig'i);
- 2) bosim ortishi bilan issiqlik berish ko'effitsientining ortishi;
- 3) suyuqlikning fizik xossalari:

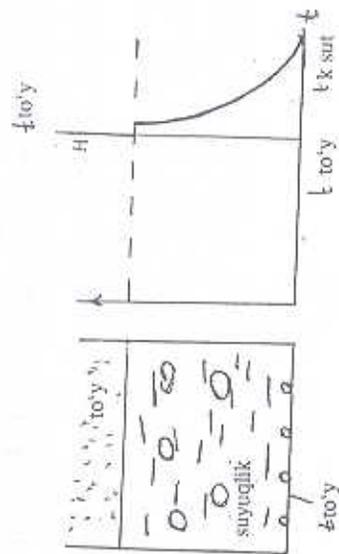
- a) issiqlik o'tkazuhanlik ko'effitsienti ortishi bilan issiqlik berish ko'effitsienti ortishi;
- b) kinematik qovushqoqlik ko'effitsienti (n) ortishi bilan issiqlik berish ko'effitsienti kamayishi;
- d) s ortishi bilan issiqlik berish ko'effitsienti kamayishi;
- 4) suyuqlikning tezligi issiqlik berish ko'effitsientiga $W^{0,8}$ tarzda ta'sir etishi;

5) Bug'lanish markazlarining soni ortishi bois sirtning g'adir-budirligi issiqlik berish ko'effitsientini ortishiga olib kelishi.

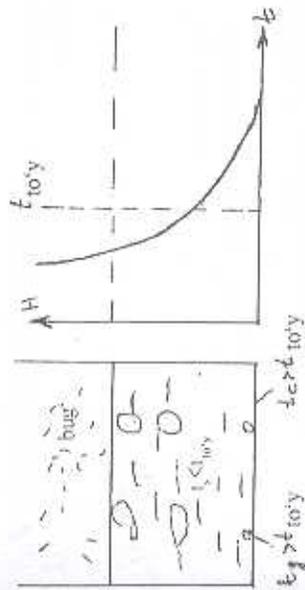
57-§. Katta hajmdagi va kanallardagi qaynash

Katta hajmda va kanallarda ham qaynash mavjud bo'lib, bular bir-biridan farqlanadi. Katta hajmdagi pufakchali qaynashda haroratlar maydonini ko'rib chiqamiz (55-rasm).

Sirtning harorati qaynash haroratidan ancha yuqoriroq. Suyuqlikning harorati butun hajm bo'ylab to'yinish haroratidan $0,2^\circ\text{C}$ ga ko'proq.



55-rasm

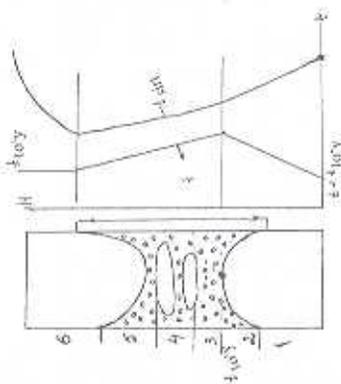


56-rasm

bug' holatida esa, to'yinish haroratiga teng.

Sirt bo'yicha qaynashda (56-rasm) suyuqlik yadrosidagi harorat to'yinish haroratiga qaraganda kichik. faqat chegara qatlamida suyuqlik to'yinish haroratiga nisbatan isigan.

Kanallardagi 2 fazali oqim tuzilish balandligi bo'ylab o'zgaradi. Kanallardagi qaynashda sodir bo'ladigan qismlarni ko'rib chiqamiz (57-rasm).



57-rasm

Rasmda 1 — ekonomayzer konveksiya qismi bo'lib, suyuqlik qaynash haroratigacha qiziydi; 2 — konveksiya qismi, ya'ni qattiq jism sirtida qaynash qismi, bunda suyuqlik faqat qaynaydi, oqim yadrosida esa hali qaynamagan hisoblanadi; 3 — tezlashgan pufakchali qaynash qismi, bu emulsion holat qismi deb ham ataladi; 4 — probkali holat qismi, bunda bug' katta probka holatida bo'lib, markazda harakatlanadi, suyuqlik esa sirt yuzasida qaynaydi; 5 — halqasimon holat qismi; 6 — qurish qismi, suyuqlik plyonka sirtida quraydi, faqat nam bug' oqadi. Bu konveksiya hisoblanadi. Issiqlik berish ko'effitsienti kamayadi, sirtning harorati ortadi. Bu ikkinchi tartibli qaynash krizisi deyiladi.

Ikki fazali oqimning bir qancha parametrlarini ko'rib chiqamiz:
1. Hajmiy bug' saqlami

$$\varphi = \frac{M_b / \rho_b}{V_{ar}}, \quad (240)$$

bunda M_b — bug'ning massasi;
 V_{ar} — bug'-suv aralashmasining hajmi.

2. Massaviy sarflanish bug' saqlami

$$X = \frac{G_b}{G_{ar}} = \frac{G_b}{G_h + G_s}, \quad (241)$$

G_{ar} — bug'-suyuqlik aralashmasining sarfi, kg/sek.

3. Sirkulyatsiya tezligi

$$W_{is} = \frac{G_{ar}}{\rho_{ar} f}, \quad (242)$$

f — kanalning ko'ndalang kesim yuzasi.

4. Hajmiy sarflanish bug' saqlami

$$b = \frac{V_b}{V_{ar}} = \frac{V_b}{V_h + V_s}, \quad (243)$$

$$v = \frac{G}{\rho}$$

5. Haqiqiy bug' saqlami

$$y = \frac{f_h}{f_b + f_s}, \quad (244)$$

f_b — bug' bilan qoplangan kanal ko'ndalang kesimining yuza qismi;
 f_s — suyuqlik bilan qoplangan kanal ko'ndalang kesimining yuza qismi.
6. Bug'ning haqiqiy tezligi

$$W_b = \frac{V_b}{f_b} \quad (245)$$

7. Fazalar sirg'lanish tezligi
 $U = W_b - W_s$ (246)

Plyonkali qaynashda issiqlik beruvchanlik quyidagi ifoda bilan hisoblanadi:

$$\alpha = s \sqrt{\frac{\lambda_h^3 r \rho_h (\rho_c - \rho_b) g}{\mu_b \Delta \lambda_h}}, \quad (247)$$

bunda l_0 — aniqlovchi kattalik sifatida gorizontaal quvurlarda diametr, vertikal quvurlarda balandlik olinadi.

Ko'pchilik mualliflarning ishlariida suyuq metallarning qaynashi tekshirilganda issiqlik beruvchanlik krizisining yangi turi kelib chiqqanligini ko'rish mumkin. Bunda bir fazali konveksiyadan tezda plyonkali qaynashga o'tish sodir bo'ladi. Bu "uchinchi qaynash krizisi" termini deb ataldi (q_{kr3}):

$$q_{kr2} < q_{kr1}$$

Oqimning aylanishi — bug' generatoridagi qaynash jarayonining jadalligidir. Lekin oqim aylanishining bog'liqligi kelib chiqishi turlichadir. Bu bog'liqlik tekis, ustiga va tagiga egilgan quvurlarda har xil bo'ladi. Tagiga egilgan quvurlarda kichik bo'ladi.

Qaynashda issiqlik almashishni jadallashirish uchun g'ovakli yuzalar qo'yish kerak bo'ladi. Bunda bug'lanish markazlari ko'proq yuzaga keladi. Shu narsa kuzatilganki, g'ovakli yuzalardagi qaynashdagi egri chiziq tekis yuzalarnikiga qaraganda yuqoriroq joylashadi va q_{kr1} uch marotaba yuqori bo'ladi.

Qaynash jarayonining murakkabligi matematik modellarni yaratishni qiyinlashtiradi. Bir qancha katta ilmiy-tekshirish markazlarida qaynashda issiqlik berishning matematik modellari tuzish borasida ish olib borilmoqda.

Masalalar

1. Bosim $P=5,5$ MPa, issiqlik yuklamasi $q=0,2$ MWt/m. Katia hajmda suvning pufakchali qaynash jarayonidagi issiqlik berish koefitsientini va yuza haroratini aniqlang

Yechish: issiqlik berish koefitsientini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\alpha = \frac{3,4 \cdot p^{0,18}}{1 - 0,0045P} q^{\frac{2}{3}} = \frac{3,4 \cdot 5,5^{0,18}}{1 - 0,0045 \cdot 5,5} (2 \cdot 10^5)^{\frac{2}{3}} = 31760 \text{ Vt/m}^2 \text{K}$$

bosim $P=5,5$ MPa da qaynash harorati $t_s=270$ °C

$$t_d = t_s + \frac{q}{\alpha} = 270 + \frac{2 \cdot 10^5}{3,176 \cdot 10^4} = 276,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Javob: } \alpha = 31760 \text{ Vt/m}^2 \text{K}; t_d = 276,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2. Bug' generatorining qizish yuzasi harorati $t_d = 268$ °C, bosimi $r=4,7$ MPa bo'lsa, bug'ning 1 m^2 qizish yuzasidagi sarfini aniqlang.

Yechish: $p=4,7$ MPa bo'lsa, $t_s=260$ °C bo'ladi.

$$\Delta t = t_d - t_s = 268 - 260 = 8^\circ\text{C}$$

$$\alpha = \frac{q}{\Delta t} \text{ Labunsov ifodasi } \alpha = \frac{3,4 \cdot p^{0,18}}{1 - 0,0045P} q^{\frac{2}{3}} \text{ dan}$$

$$\frac{q}{\Delta t} = \frac{3,4 \cdot p^{0,18}}{1 - 0,0045P} q^{\frac{2}{3}} \text{ ni hosil qilamiz.}$$

$$\frac{q}{\Delta t} = \frac{3,4 \cdot 4,7^{0,18}}{1 - 0,0045 \cdot 4,7} q^{\frac{2}{3}} \text{ ifodadan } q = 2,54 \cdot 10^5 \text{ Vt/m}^2 \text{ kelib chiqadi.}$$

$P=4,7$ MPa bo'lganda $r=1661$ kJ/kg ni jadvaldan olamiz.

$$\text{Shunga asosan } G = \frac{q}{r} = \frac{2,54 \cdot 10^5}{1,661 \cdot 10^4} = 0,15 \text{ kg/m}^2 \text{s.}$$

Javob: $G = 0,15$ kg/m²s.

3. Diametri 12 mm bo'lgan gorizontal quvurning qizish yuzasi haroratini ikki holat uchun aniqlang: a) pufakchali qaynash; b) plyonkali qaynash. Ikkala holat uchun ham $q=1,54 \cdot 10^5$ Vt/m²; $R=0,101$ MPa.

Javob: pufakchali qaynashda $t_s = 115,7$ °C ($a = 9800$ Vt/m²K) plyonkali qaynashda $t_s = 900$ °C ($a = 192$ Vt/m²K).

4. Bir soat ichida umumiy yuzasi $F=5 \text{ m}^2$ bo'lgan bug'latgichda olinadigan suvning qaynashdagi issiqlik berish koeffitsientini va bug'ning miqdorini aniqlang. Bug'latgich devorining harorati $t_{qs} = 156$ °C, bug'ning

bosimi $P=0,45$ MPa, to'yinish harorati $t_i = 148$ °C; bug'lanish issiqligi $r=2120,9$ kJ/kg; $t = t_{qs} - s = 8$ °C.

Yechish: Issiqlik berish koeffitsientini quyidagi ifodadan aniqlaymiz:

$$\alpha = 4,45 \cdot p^{0,15} \cdot q^{0,7}$$

$$\alpha = 146,1 \cdot \Delta t^{2,33} \cdot p^{0,5} = 146,1 \cdot 8^{2,33} \cdot 0,45^{0,5} = 12456 \text{ Vt/m}^2 \text{K.}$$

berilayotgan issiqlik miqdori:

$$Q = \alpha (t_{qs} - t_s) F = 12456 \cdot 8 \cdot 5 = 498240 \text{ Vt} = 498,2 \text{ kVt.}$$

Bug'latgichda bir soatda hosil bo'lgan suvning massasini aniqlaymiz:

$$m = \frac{q}{r} = \frac{498240 \cdot 3600}{2120900} = 845 \text{ kg/soat.}$$

Nazorat savollari

1. Qaynash deb nimaga aytiladi?
2. Qaynash jarayoni necha turga bo'linadi?
3. Qaynash sodir bo'lishidagi shart-sharoitlarni aytib bering.
4. Bug'lanish markazlarining hosil bo'lishi nimalarga bog'liq?
5. Bug'lanish nima?
6. Qaynash krizislari to'g'risida gapirib bering.

XVI BOB. ISSIQLIKNING NURLANISH ORQALI UZATILISHI

58-§. Asosiy tushunchalar

Issiqlikning nurlanish orqali uzatilishi deb, jism ichki energiyasining elektromagnit to'liqlar orqali uzatilishiga aytiladi.

Nurlanish to'liqin uzunligi λ (m) yoki tebranish chastotasi $\nu = c / \lambda$, s^{-1} bilan ifodalanadi, bu yerda $c = 2,9979 \cdot 10^8$ m/s — vakuumdagi elektromagnit to'liqlarning tarqalish tezligidir.

Qattiq va suyuq jismlarda nurlanish spektri uzluksiz, gazlarda selektivdir, ya'ni gazlar zarur to'liqin uzunligidagi nurlar chiqaradi. Nurlanish oqimi deb vaqt birligidagi nurlanish energiyasiga aytiladi:

$$E = \frac{\delta Q}{dt} \quad (248)$$

E — nurlanish oqimi, [Wt];

δQ — nurlanish energiyasi, [J];

t — vaqt, [s].

Nurlanish oqimining jism yuzasiga nisbati sirtiy nurlanish deyiladi:

$$M = \frac{\delta F}{dF}, \text{ Wt/m}^2. \quad (249)$$

To'liqin uzunligi $\lambda = 0,4 \cdot 10^{-3} \div 0,8$ mm ga teng bo'lgan to'liqlar issiqlik nurlariga kiradi. Jismlar tizimi nurlanganda boshqa jismlarga har birining o'zlaridan qaytgan nurlari tushadi.

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

$$Q = Q_A + Q_R + Q_D$$

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

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

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

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

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-Boltsman qonuniga ko'ra nurlanish energiyasi mutlaq qora jism mutlaq haroratining to'rtinchi darajasiga to'g'ri proporsional:

$$E = \sigma_0 T^4 \quad (250)$$

σ_0 — Boltsman doimiysi; $\sigma_0 = 5,67 \text{ Wt/m}^2 \text{ K}^4$.

Amaliy hisoblashlarda bu qonun quyidagicha ifodalanadi:

$$Q = c (T/100)^4 F \quad (251)$$

bu yerda: c — kul rang jismning nurlanish koeffitsienti, $\text{Wt/m}^2 \text{ K}$.

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

$$Q_{1-2} = Q_{\text{eff}_1} - Q_{\text{eff}_2} \quad (252)$$

$$Q_{1,2} = C_{\text{ket}} F [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \quad (253)$$

bu yerda: F — issiqlik almashish yuzasi, m^2 ;

C_{ket} — keltirilgan nurlanish koeffitsienti, $\text{Wt/m}^2 \text{ K}$.

$$C_{\text{ket}} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_0}} \text{ Wt/m}^2 \text{ K} \quad (254)$$

bu yerda: T_1, T_2 — nurlanuvchi jism va atrof muhitning mutlaq harorati, °C;

c_1, c_2 — kul rang jismlarning nurlanish koeffitsienti;

$c_0 = 5,67 \text{ Wt/m}^2 \text{ K}$ — absolyut qora jismlarning nurlanish koeffitsienti.

ϵ — qoralik koeffitsienti $C_{\text{ket}} = \epsilon \cdot c_0$ ifodasidan aniqlanadi.

Har xil nurlanuvchi tizimlarda nurlanish yo'li bilan issiqlik almashishni kamaytirish uchun ekranlardan foydalaniladi (58-rasm).

_____ 1 58-rasm.

_____ 3

_____ 2 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 $n+1$ marta kamayadi.

2. **Vin qonuni** nurlanish intensivligi bilan to'liq uzunligi orasidagi bog'lanishni ifodalaydi:

$$T \lambda_{\text{max}} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$$

ya'ni maksimal to'liq uzunligi jismlarning mutlaq haroratiga bog'liq bo'lib, u haroratning pasayishi tomonga yo'naladi.

3. **Kirxgof qonuni** mutloq qora va kul rang jismlarning issiqlik nurlarini yutishi va bu jismlar xossalari orasidagi bog'lanishni ifodalaydi. U quyidagi ifoda orqali yoziladi:

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

bu yerda $E_0(T)$ - mutlaq qora jismlarning xususiyati.

Bu qonun quyidagicha ta'riflanadi:

Jismlar nurlanish xususiyatining yutish xususiyatiga nisbati barcha jismlar uchun bir xil va shu haroratdagi mutlaq qora jismlarning nurlanish xususiyatiga teng bo'ladi.

Bu qonunning tenglamasidan ko'rinib turibdiki, kul rang jismlarning qoralik darajasi son jihatidan ularning nur yutish xususiyatiga teng, ya'ni $A = \epsilon$.

ϵ - kattalik o'zgarmas bo'lgani uchun kul rang jismlarning yutish xususiyati to'liq uzunligi va haroratga bog'liq emas.

Masalalar

1. Diametri 120 mm bo'lgan quvur 400x400 mm² kesimli kanalga o'rnatilgan. Quvur izolatsiyasining sirtidagi harorat 127°C. G'isht kanalda 1 m quvurdan nurlanish orqali yo'qolgan issiqlikni aniqlang. Sirtlardagi qorayish darajasi 0,93 ga teng deb olinсин.

Yechish:

$$\epsilon_{\text{kel}} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{F}{F_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} = \frac{1}{\frac{1}{0,93} + 0,238 \left(\frac{1}{0,93} - 1 \right)} = 0,915$$

1 m quvurdan nurlanish orqali yo'qolgan issiqlik:

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

2. Kanal bo'ylab issiq gaz harakatlanadi. Gazning harorati termpara bilan o'lchanadi. Termparaning ko'rsatishi $t_1 = 300^\circ\text{C}$ ga va devor harorati $t_2 = 200^\circ\text{C}$ ga teng. Kanal devori va termpara orasida nurlanish usulida issiqlik almashuvi natijasida gaz haroratini o'lchashdagi xatoni toping. Termparaning qorayish darajasi $\epsilon_1 = 0,8$, gazdan termparaga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha = 58 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ga teng.

Javob: xatolik 45,5 °C, gazning haqiqiy harorati $t_g = 345,5^\circ\text{C}$.

3. Tutun gazlar 15% CO₂ va 7,5% H₂O tarkib bilan kesimi 600x600 mm to'g'ri burchakli gaz quvurdan o'tadi. Gazning harorati 800°C va gazquvur sirtidagi harorat 600°C, sirtning qorayish darajasi $\epsilon_e = 0,9$. Gazquvurning har metr uzunligida gazdan gazquvur devoriga nurlanish orqali uzatilgan issiqlikni aniqlang. Gazquvurdagi bosim atmosfera bosimiga teng.

Yechish:

Gazning 1 m uzunligida nurning o'rtacha uzunligi:

$$\lambda = 3,6 \frac{V}{F} = 3,6 \frac{0,36}{2,4} = 0,54$$

Parzial bosim:

$$P \lambda, \text{CO}_2 = 0,15 \cdot 0,54 = 0,081 \text{ m} \cdot \text{bar}$$

$$P \lambda, \text{H}_2\text{O} = 0,075 \cdot 0,54 = 0,0405 \text{ m} \cdot \text{bar}$$

Nomogrammalar (rasm) orqali:

$$\epsilon_{\text{CO}_2} = 0,105$$

$$\epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0,011$$

Tutun gazlarning qorayish darajasi:

$$\epsilon_g = \epsilon_{\text{CO}_2} + \beta \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0,177$$

Sirtning qorayish darajasi:

$$E_q = 0,5(1 + E_{q_0}) = \frac{0,9 + 1}{2} = 0,95$$

Nurlanish orqali issiqlikning uzatilishi:

$$Q \lambda = E_{\lambda}^{\text{mur}} E_p C_0$$

$$\left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F = 0,95 \cdot 0,177 \cdot 5,67 \left[\left(\frac{1073}{100} \right)^4 - \left(\frac{873}{100} \right)^4 \right] 2,4 = 17140 \text{ Vt/m}$$

4. Isitish pechidagi harorat 1200°C. Pechning hajmi $V=12\text{m}^3$ va to'la yuzasi $F=28\text{m}^2$ ga teng.

Isitish pechidagi bosim 98,1 kPa, suv bug'larining parsial bosimi $P_{H_2O}=12\text{kPa}$ ga teng bo'lganda gazning qorayish darajasini va nurlanishni aniqlang.

Javob: $E_g=0,215$; $E_g=57400\text{ Vt/m}^2$.

5. Diametri $d=0,5\text{ mm}$ va uzunligi $\lambda=2,5\text{m}$ bo'lgan elektr isitgich simning haroratini aniqlang. Simning qorayish darajasi $E=0,9$; atrofidagi armaturaning harorati 15°C, isitgichning quvvati 0,4 kVt ga teng. Konveksiya hisobga olinmasin.

Javob: $t_1=910^\circ\text{C}$.

6. Tashqi diametri 200mm bo'lgan bug' quvuri harorati 30°C li xonaga o'rnatilgan. Bug' quvuri sirtidagi harorat 400°C. Bug' quvurning birlik uzunlikda nurlanish va konveksiya orqali uzatgan issiqligini aniqlang. Quvurning qorayishi darajasi $Ye=0,8$ ga teng.

Javob: $q_{\lambda}^{\text{mur}}=1970\text{Vt/m}$; $q_{\lambda}^{\text{konv}}=1970\text{Vt/m}$;

$$\frac{q_{\lambda}^{\text{mur}}}{q_{\lambda}^{\text{konv}}} = 2,84$$

7. Agar sirtidagi harorat 100 °C ga va atrofidagi muhitning harorati 10 °C teng bo'lsa, diametri 25 mm bo'lgan izolatsiyalanmagan 1 m quvurning nurlanish orqali uzatilgan issiqlikni toping. Yechish:

$$Q = \varepsilon C_0 [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] F = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 3,15 \cdot 0,025 [(373/100)^4 - (283/100)^4] = 43,7 \text{ Vt/m}$$

Nazorat savollari

1. Nurlanish orqali issiqlik almashishning sodir bo'lish shart-sharoitlarini aytib bering.
2. Mullaq 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?

XVII BOB. MURAKKAB ISSIQLIK ALMASHUVI

Issiqlik tarqalishining umumiy jarayonida odatda uchaia usul — issiqlik o'tkazuvchanlik, konveksiya va nurlanish yo'li bilan issiqlik almashishi bir vaqtda sodir bo'ladi. Uchala usulning amalga oshishi turlicha bo'lishi mumkin. Bunda issiqlik almashish sharoitiga qarab bir usul boshqa usulga nisbatan ustunlik qilishi mumkin.

Konveksiya va nurlanish usulida issiqlik almashishining birgalikdagi harakati natijasida devor va gaz oqimining nurlanishi bilan issiqlik tarqalish jarayoni sodir bo'ladi.

Issiqlik nurlanuvchi gaz oqimi va devor orasida tarqalish jarayoni konveksiya va nurlanish orqali issiqlik almashining birgalikda ta'siri natijasida solishtirma issiqlik oqimi sodir bo'ladi — bu **qo'sh issiqlik almashuvi** deyiladi:

$$q = q_k + q_n; \quad q = (\alpha_k + \alpha_n)(t_s - t_a) \quad (255)$$

bu yerda: q_k — konveksiya orqali berilgan issiqlik miqdori, Vt/m^2 ;

q_n — nurlanish orqali berilgan issiqlik miqdori, Vt/m^2 ;

α_k — konveksiya yo'li bilan berilgan issiqlik miqdorini hisobga oluvchi issiqlik berish koeffitsienti, $Vt/m^2 K$;

α_n — nurlanish orqali berilgan issiqlik miqdorini hisobga oluvchi issiqlik berish koeffitsienti, $Vt/m^2 K$.

Nurlanish orqali issiqlik almashishda issiqlik berish koeffitsienti quyidagi formula orqali hisoblab topiladi:

$$\alpha = \varepsilon \varepsilon_0 \left[\frac{(T_s/100)^4 - (T_a/100)^4}{T_s - T_a} \right] \quad (256)$$

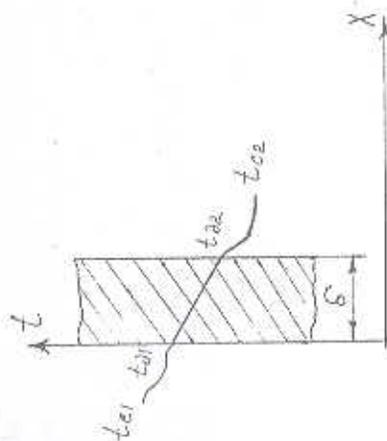
bu yerda: ε — tizimning keltirilgan qoralik darajasi.

60-§. Bir qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishi

Bir muhitdan (suyuqlik yoki gaz) ikkinchi muhitga issiqlikning bir qatlamli yoki ko'p qatlamli qattiq devor orqali o'tishi **issiqlik uzatilishi** deyiladi.

Qalinligi δ va sirt yuzasi $1 m^2$ bo'lgan bir qatlamli devorning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti λ (Vt/mK), muhit haroratlari t_{c1} va t_{c2} hamda ikkala tomonning α_1 va α_2 issiqlik berish koeffitsientlari berilgan (59-rasm). Issiqlik muhitdan devorga issiqlik konveksiya orqali o'tadi:

$$q = \alpha_1 (t_{c1} - t_a)$$



devordan issiqlik o'tkazuvchanlik orqali o'tadi:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{c1} - t_{c2})$$

devordan muhitga konveksiya orqali o'tadi:

$$q = \alpha_1 (t_{c1} - t_a)$$

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

$$q = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \kappa (t_{c1} - t_{c2}) \quad Vt/m^2 \quad (257)$$

bu yerda κ — issiqlik uzatish koeffitsienti.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad Vt/m^2 K \quad (258)$$

Issiqlik uzatish koeffitsienti son jihatdan vaqt birligi ichida birlik yuzadagi haroratlar farqi $1^\circ C$ ga teng bo'lganda o'tgan issiqlik miqdoriga teng. Issiqlik uzatish koeffitsientiga teskari bo'lgan kattalik issiqlik uzatilishining to'liq termik qarshiligi deyiladi.

$$R = \frac{1}{\kappa} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad m^2 K/Vt \quad (259)$$

61-§. Ko'p qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishi

Ko'p qatlamli yassi devor orqali o'tayotgan issiqlik oqimining zichligi (masalan, uch qatlamli devor):

$$q = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} = \kappa(t_{c_1} - t_{c_2}) \quad \text{Vt/m}^2 \quad (260)$$

bu yerda:

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

F (m²) sirtga ega bo'lgan yassi devor orqali o'tgan issiqlik oqimi Q ga teng

$$Q = q \cdot F = \kappa \cdot \Delta t \cdot F \quad \text{Vt} \quad (261)$$

Devor qatlamlari orasidagi haroratlar quyidagicha topiladi:

$$\begin{aligned} t_{\delta_1} &= t_{c_1} - q \frac{1}{\alpha_1} \\ t_{\delta_2} &= t_{c_1} - q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_1} \right) \\ t_{\delta_{1+2}} &= t_{c_1} - q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \end{aligned} \quad (262)$$

62-§. Bir qatlamli va ko'p qatlamli silindrik devor orqali issiqlik uzatilishi

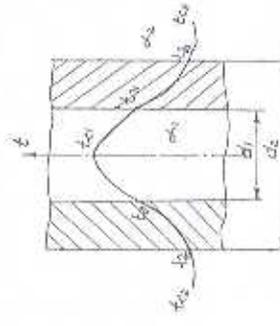
Issiqlik oqimining chiziqli zichligi:

$$q_{\lambda} = \frac{\pi(t_{c_1} - t_{c_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} = \kappa_{\lambda} \pi (t_{c_1} - t_{c_2}), \quad \text{Vt/m} \quad (263)$$

bu yerda: κ_1 — issiqlik uzatishning chiziqli koeffitsienti — vaqt birligi ichida uzunligi 1 m bo'lgan quvur devori orqali bir muhitdan ikkinchi muhitga haroratlar farqi 1°C ga teng bo'lganda o'tayotgan issiqlik miqdoriga son jihatdan teng (60-rasm).

Issiqlik uzatish chiziqli koeffitsientiga teskari bo'lgan kattalik $R = 1/\kappa$, issiqlik uzatishning **chiziqli termik qarshiligi** deyiladi.

$$R_{\kappa} = \frac{1}{\kappa_{\lambda}} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}, \quad \text{m}^2\text{K/Vt}. \quad (264)$$



60-rasm

Ko'p qatlamli silindrik devor orqali (masalan, ikki qatlamli silindrik devor orqali) o'tayotgan issiqlik oqimining zichligi

$$q_{\lambda} = \frac{\pi(t_{c_1} - t_{c_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_3}} \quad (265)$$

Qatlamlar orasidagi harorat quyidagi formulalar orqali topiladi:

$$\begin{aligned} t_{\delta_1} &= t_{c_1} - q_{\lambda} \frac{1}{\pi \alpha_1 d_1} \\ t_{\delta_2} &= t_{c_1} - \frac{q_{\lambda}}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \right) \\ t_{\delta_3} &= t_{c_1} - \frac{q_{\lambda}}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right) \end{aligned} \quad (266)$$

Masalalar

1. Bug' o'txonasidagi gazning harorati 1200°C , qozondagi suvning harorati 200°C , issiqlik berish koeffitsientlari $45 \text{ Vt/m}^2 \text{ K}$ va $6000 \text{ Vt/m}^2 \text{ K}$, devor qalinligi 14 mm va devorning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $58 \text{ Vt/m}^2 \text{ K}$ bo'lganda o'txona yassi devoridan o'tgan issiqlik oqimining zichligini va devor sirtidagi haroratni toping.

Yechish:

Issiqlik uzatish koeffitsienti:

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

Qozon devoridan o'tgan issiqlik oqimining zichligi:

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

Devorning tashqi va ichki sirtidagi harorati:

$$t_{\text{a}_1} = t_{\text{s}} - \frac{q}{\alpha_1} = 1200 - \frac{44100}{45} = 220^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{a}_2} = t_{\text{g}} - \frac{q}{\alpha_2} = 200 + \frac{44100}{6000} = 207,35^{\circ}\text{C}$$

2. Bug' qozonidagi tutun gazlarining harorati $t_{\text{g}} = 1000^{\circ}\text{C}$, suvning harorati $t_{\text{s}} = 200^{\circ}\text{C}$, gazlardan devorga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_1 = 100 \text{ Vt/m}^2 \text{ K}$ va devordan suvga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_2 = 5000 \text{ Vt/m}^2 \text{ K}$ bo'lganda 1 m^2 isitish sirtidan o'tgan issiqlikni va devor sirtlaridagi haroratlarni toping. Devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda = 50 \text{ Vt/m K}$ va qalinligi $\delta = 12 \text{ mm}$ ga teng.

Javob: $q = 76560 \text{ Vt/m}^2$, $t_1 = 234^{\circ}\text{S}$, $t_2 = 215^{\circ}\text{C}$.

Yechish:

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q = K(t_{\text{g}} - t_{\text{s}}) = \text{Vt/m}^2$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{0,012}{50} + \frac{1}{5000}} = 95,7 \text{ Vt/m}^2 \text{ C}$$

$$q = k(t_{\text{a}_1} - t_{\text{a}_2}) = 95,7(1000 - 200) = 76560 \text{ Vt/m}^2$$

Devor sirtlaridagi haroratlari:

$$t_1 = t_{\text{a}_1} - \frac{q}{\alpha_1} = 1000 - \frac{76560}{100} = 234^{\circ}\text{C};$$

$$t_2 = t_{\text{a}_2} + \frac{q}{\alpha_2} = 200 + \frac{76560}{5000} = 215^{\circ}\text{C}.$$

3. Qozondagi gazning harorati $t_{\text{g}} = 1100^{\circ}\text{C}$, suvning harorati $t_{\text{s}} = 200^{\circ}\text{S}$, yassi devordan o'tgan issiqlik oqimining zichligi $q = 50000 \text{ Vt/m}^2$ va devordan suvga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_2 = 5700 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ga teng. Agar devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda = 56 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, qalinligi $\delta = 12 \text{ mm}$ bo'lsa, issiqlik uzatish koeffitsienti, gazlardan devorga issiqlik berish koeffitsienti va qozon devori sirtlaridagi haroratlarni aniqlang.

Javob: $k = 55,6 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\alpha_1 = 55,5 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,

$t_1 = 200^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 188^{\circ}\text{C}$.

4. Bug' qozonining devori qalinligi $\delta_1 = 230 \text{ mm}$ bo'lgan o'tga bardoshi g'ishtdan, qalinligi $\delta_2 = 40 \text{ mm}$ havodan va qalinligi $\delta_3 = 380 \text{ mm}$ bo'lgan qizil g'ishtdan iborat. Bug' qozonidagi gazlarning harorati $t_{\text{g}} = 1100^{\circ}\text{C}$ va havoning harorati $t_{\text{h}} = 30^{\circ}\text{C}$ bo'lganda, qozon devori qatlamlari orasidagi havoning atrof-muhitga yo'qalayotgan issiqlikka va tashqi sirt haroratiga ta'sirini aniqlang. Gazlardan devorga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_1 = 10 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ va devordan havoga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_2 = 5 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ teng. Devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti mos ravishda: $\lambda_1 = 1,65 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\lambda_2 = 0,4 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ va $\lambda_3 = 0,7 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Javob: Issiqlikning yo'qolishi $50,5 \%$, tashqi qatlam harorati 110°C ga kamayadi.

5. Diametri $150 / 165 \text{ mm}$ bo'lgan quvur ichida harorati $t_{\text{a}_1} = 90^{\circ}\text{C}$ bo'lgan suv harakatlanadi. Quvurning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda = 50 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, atrof-muhitning harorati $t_{\text{a}_2} = -15^{\circ}\text{C}$, suvdan quvur devoriga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_1 = 1000 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ va quvurdan havoga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_2 = 12 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bo'lganda, 1 m

quvur sirtidan o'tgan issiqlik va quvurning ichki, tashqi sirtlaridagi haroratlarni aniqlang.

Javob: $q_1 = 652 \text{ Vt/m}$, $t_1 = 89,8 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = 89,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

6. Diametri $44 / 51 \text{ mm}$ li quvur qalinligi 80 mm bo'lgan beton qatlami bilan izolatsiyalangan. Quvurning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda_1 = 50 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ va izolatsiyaning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda_2 = 1,28 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ ga teng. Quvurda moy harakatlanadi. Moyning harorati $t_{\text{oi}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, atrof-muhitning harorati $t_{\text{ov}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, moydan devorga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_1 = 100 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ va devordan havoga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_2 = 10 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ bo'lganda 1 m quvur sirtidan o'tgan issiqlik, betonlangan quvurdan o'tgan issiqlikni aniqlang. Har qanday qalinlikdagi 1 m izolatsiyalangan quvurdan o'tgan issiqlik quvur sirtidan o'tgan issiqlikdan katta bo'lmisligi uchun issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti qanday bo'lishi kerak?

Javob: quvur sirtidan o'tgan issiqlik $q_1 = 142,5 \text{ Vt/m}$, beton bilan qoplangan quvurdan o'tgan issiqlik $q_2 = 249 \text{ Vt/m}$; izolatsiyaning har qanday qalinligida quvur sirtidan o'tgan issiqlik izolatsiyalangan quvurdan o'tgan issiqlikdan katta bo'lmisligi uchun $\lambda_2 \leq 1,026 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ ga teng bo'lishi kerak.

7. Diametri $100/110 \text{ mm}$ li po'lar quvur asfalt qatlami bilan izolatsiya qilingan. Quvur ichida harorati $110 \text{ }^\circ\text{C}$ bo'lgan suv harakatlanadi. Atrof-muhitning harorati $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ga teng. Suvdan quvur devoriga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_1 = 1800 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ va quvurdan havoga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_2 = 9 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ bo'lganda asfalt qatlamining kritik diametri va 3 m quvur sirtidan o'tgan issiqlikni aniqlang. Po'latning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda = 40 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ va asfaltning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda = 0,57 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ ga teng.

Javob: $d_{\text{kr}} = 0,126 \text{ m}$, $Q_1 = 710 \text{ Vt}$.

Nazorat savollari

1. Murakkab issiqlik almashuvi qanday sodir bo'ladi?
2. Bir qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishini tushuntirib bering.
3. Ko'p qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishini tushuntirib bering.
4. Bir va ko'p qatlamli silindr devor orqali issiqlik uzatilishini tushuntirib bering.
5. Issiqlik uzatish koeffitsienti nimani bildiradi?
6. Chiziqli termik qarshilik nima?

XVIII BOB. ISSIQLIK ALMASHUV APPARATLARI

63-§. Issiqlik almashuv apparatlari

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

Issiqlik almashuv apparatlarini ishlash usuliga ko'ra rekuperativ, regenerativ va aralashiruvchi apparatlarga bo'lish mumkin.

Aralashiruvchi issiqlik almashuv apparatlarida issiqlik almashuvi issiq va sovuq issiqlik tashuvchilarning bir-biriga bevosita tegishi va aralashishi yo'li bilan amalga oshiriladi. Aralashiruvchi issiqlik almashuv apparatlariga gradirnyalar, skrubberlar va boshqa qurilmalar misol bo'la oladi.

Regenerativ issiqlik almashuv apparatlarida isitish (yoki sovutish) sirtining o'zi vaqti-vaqti bilan goh qaynoq, goh sovuq issiqlik tashuvchi bilan yuvib turilishi bilan issiqlik almashuvi amalga oshiriladi. Dastlab regenerativ kanallaridan qizigan issiqlik tashuvchi (domna va marten pechlari, vagnakalar va boshqalar)dagi yonish mahsulotlari yuboriladi. Regenerativ isitish sirti qizigan gazlardan issiqlik olib isiydi, so'ngra bu issiqlikni sovuq issiqlik tashuvchiga beradi.

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

Rekuperativ issiqlik almashuv apparatlarida issiqlik issiq suyuqlikdan sovuq suyuqlikka qattiq sirt orqali uzatiladi. Masalan, bug' generatorlari, bug' qizdirgichlar, suv isitgichlar va boshqalar. Rekuperativ issiqlik almashuv apparati to'g'ri oqimli, teskari oqimli va ko'ndalang oqimli apparatlarga bo'linadi.

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

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

Texnikada rekuperativ issiqlik almashuv apparatlari keng ishlatiladi. Issiqlik almashuv apparatlari hisoblashda issiqlik balansi tuziladi va uning yuzasi aniqlanadi.

$$Q = G_1 C_{p1} (t_1 - t_1') = G_2 C_{p2} (t_2' - t_2), \quad | \text{ Vt} | \quad (267)$$

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 $^\circ\text{C}$;

C_{p2} — sovuq suyuqlikning issiqlik sig'imi, kJ/kg $^\circ\text{C}$;

- 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 almashuv yuzasi issiqlik uzatish ifodasidan topiladi.
 $Q = K \Delta t_{\log} F(Vt)$ (268)
 K — issiqlik uzatish koeffitsienti; Vt / m²K
 Δt_{\log} — o'rtacha logarifmik haroratlar farqi, °C.
 F — sirt yuzasi, m².
 O'rtacha logarifmik haroratlar farqi haroratlar grafigi yordamida aniqlanadi.

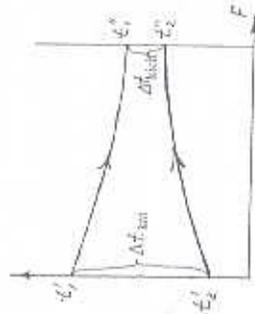
$$\Delta t_{\log} = \ln \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kech}}$$

bu yerda:

Δt_{kat} — katta haroratlar farqi;

Δt_{kech} — kichik haroratlar farqi.

Masalan, to'g'ri oqimli harorat uchun $\Delta t_{kat} = t_1' - t_2'$; $\Delta t_{kech} = t_1'' - t_2''$



61-rasm. To'g'ri oqimli

62-rasm. Teskari oqimli

Masalalar

1. Ichki yonuv dvigatelining teskari yo'nalishli suvli moy sovutgichiga moy 65 °C dan 55 °C gacha sovitilyapti. Sovutuvchi suvning kirishdagi

harorati 16 °C va chiqishdagi harorati 25 °C. Moyning sarfi 0,8 kg/sek. Issiqlik uzatish koeffitsienti 280 Vt/m²C, moyning issiqlik sig'imi 2,45 kJ/kg °C. Issiqlik almashuv yuzasini va sovuq suvning sarfini toping.

Yechish:

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

$$\Delta t_{\log} = \ln \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kech}} = \ln \frac{65-55}{55-16} = 39,5 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{\log}} = \frac{19600}{280 \cdot 39,5} = 1,77 \text{ m}^2$$

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

2. MC markali moy sovutish apparatida moy 70°C dan 30°C gacha sovutiladi. Sovutuvchi suvning kirishdagi harorati 20°C ga teng. Moyning sarfi $G_1 = 10000$ kg/soat va suvning sarfi $G_2 = 20400$ kg/soat. Moy sovutish apparatidan chiqqan suvning haroratini aniqlang.

Javob: $t_2'' = 30^\circ\text{C}$.

3. Suv ekonomayzerida gaz bilan suv qarama-qarshi yo'nalishlarda harakatlanib, bir-biri bilan issiqlik almashmoqda. Gazning sarfi $G_1 = 220$ t/soat, gazning ekonomayzeri kirishdagi harorati $t_1' = 400$ °C, gazning massaviy issiqlik sig'imi $C_{p1} = 1,04$ kJ/kgK. Suvning sarfi $G_2 = 120$ t/soat, suvning ekonomayzerga kirishdagi harorati $t_2' = 105$ °C. Gazdan suyuqlikka uzatiladigan issiqlik oqimi $Q = 13,5$ MVt, gazdan suvga issiqlik uzatish koeffitsienti $k = 79$ Vt/m² K. Suv ekonomayzeridagi issiqlik almashish yuzasi topilsin.

Javob: $F = 1100$ m²

4. "Quvur-quvurda" turidagi qarama-qarshi yo'nalishli issiqlik almashuv apparatida suv 15°C dan 45°C gacha isitiladi. Suvning sarfi $G_1 = 3200$ kg/soat. Tashqi quvurning ichki diametri $D = 48$ mm va bitta sektsiya quvurining uzunligi $l = 1,9$ m. Issiq suv diametri $d_1/d_2 = 35/32$ mm bo'lgan po'lat quvurda harakatlanib kirishdagi harorati $t_1'' = 95^\circ\text{C}$ ga

teng. Issiq suvning sarfi $G_1 = 2130$ kg/soat. "Quvur-quivurda" qarama-qarshi oqimli issiqlik almashuv apparatining isitish yuzasini va seksiyalar sonini aniqlang.

Javob: $F = 1100$ m², $n = 7$.

Yechish:

Suvning issiqlik sig'imi $c_p = 4,19$ kJ/kg °C.

Issiqlik miqdori:

$$Q = G_2 c_{p2} (t''_{s2} - t'_{s2}) = \frac{3200}{3600} \cdot 4,19 (45 - 15) = 111 \text{ kVt}$$

Issiq suvning chiqishdagi harorati:

$$t''_1 = t'_1 - \frac{Q}{G_1 c_{p1}} = 95 - \frac{111 \cdot 3600}{2130 \cdot 4,19} = 50^\circ \text{C}$$

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

$$t_{s1} = 0,5(t'_{s2} + t''_{s2}) = 0,5(95 + 50) = 72,5^\circ \text{C}$$

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

$$\lambda_{s1} = 0,670 \text{ Wt/(m} \cdot \text{°C)}; Pr_{s1} = 2,47$$

$$t_{s2} = 0,5(t'_{s1} + t''_{s1}) = 0,5(15 + 45) = 30^\circ \text{C}$$

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

$$\lambda_{s2} = 0,618 \text{ Wt/(m} \cdot \text{°C)}; Pr_{s2} = 5,42$$

Issiqlik tashuvchilarning tezligi

$$w_1 = \frac{4G_1}{\rho_{s1} \pi d_1^2 \cdot 3600} = \frac{4 \cdot 2130}{976 \cdot 3,14 (3,2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 3600} = 0,755 \text{ m/s}$$

$$w_2 = \frac{4G_2}{\rho_{s2} \pi (D^2 - d_1^2) \cdot 3600} = \frac{4 \cdot 3200}{996 \cdot 3,14 (4,8^2 - 3,5^2) \cdot 10^{-4} \cdot 3600} = 1,06 \text{ m/s}$$

Issiq suv oqimi uchun Reynolds soni

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

Issiq suv oqimi uchun turbulent holatda Nusselt sonini aniqlaymiz:

$$Nu_{s1} = 0,021 Re_{s1}^{0,8} Pr_{s1}^{0,45} \left(\frac{Pr_{s1}}{Pr_{s2}} \right)^{0,25}$$

$$Nu_{s1} = 0,021 (6 \cdot 10^4)^{0,8} (2,47)^{0,45} \left(\frac{2,47}{3,5} \right)^{0,25} = 188$$

Issiq suvdan quvur devoriga issiqlik berish koeffitsienti:

$$\alpha_1 = Nu_{s1} \frac{\lambda_{s1}}{d_1} = 188 \frac{0,670}{3,2 \cdot 10^{-2}} = 3940 \text{ Wt/(m}^2 \cdot \text{°C)}$$

Sovuq suv oqimi uchun Reynolds sonini aniqlaymiz:

$$Re_{s2} = \frac{\omega_2 d_2}{\nu_{s2}} = \frac{1,06 \cdot 1,3 \cdot 10^{-2}}{0,805 \cdot 10^{-6}} = 1,71 \cdot 10^4$$

Bu yerda kanal uchun ekvivalent diametr:

$$d_c = D - d_2 = 48 - 35 = 13 \text{ mm}$$

Sovuq suv oqimi uchun turbulent holatda Nusselt sonini aniqlaymiz:

$$Nu_{s2} = 0,017 Re_{s2}^{0,8} Pr_{s2}^{0,4} \left(\frac{Pr_{s2}}{Pr_{s1}} \right)^{0,25} \frac{D}{d_2}^{0,18}$$

$$Nu_{s2} = 0,017 (1,71 \cdot 10^4)^{0,8} (5,42)^{0,4} \left(\frac{5,42}{3,5} \right)^{0,25} \left(\frac{48}{35} \right)^{0,18} = 95$$

Quvur devoridan sovuq suvga issiqlik berish koeffitsienti:

$$\alpha_2 = Nu_{s2} \frac{\lambda_{s2}}{d_2} = 958 \frac{0,618}{1,3 \cdot 10^{-2}} = 4500 \text{ Wt/(m}^2 \cdot \text{°C)}$$

Issiqlik uzatish koeffitsienti:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_s}{\lambda_g} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3940} + \frac{1}{45} + \frac{1}{4500}} = 1970 \text{ Wt/(m}^2 \cdot \text{°C)}$$

Bu holatda $\frac{t'_{s1} - t''_{s2}}{t'_{s1} - t'_{s2}} = \frac{50}{35} < 1,5$ bo'lgani uchun o'rtacha arifmetik haroratlar farqi quyidagicha bo'ladi:

III BO'LIM

ISSIQLIK ENERGETIK QURILMALARI

XIX BOB. YOQILG'I

64-§. Yoqilg'ining tarkibi

Inson faoliyatini ta'minlash uchun energiya kerak. Bu energiya yoqilg'i yoqilishi natijasida, shuningdek, shamol, suv, quyosh energiyasi va atomdan olinadi. Quyosh energiyasi, suv va shamol noan'anaviy energiya manbalariga kiradi. Quyosh energiyasi issiqlik energiyasiga, shamol energiyasi shamol qurilmalarida mexanik energiyaga, keyin elektr energiyaga, daryo va dengiz quyilishlarida esa energiya avval IESda mexanik energiyaga, so'ngra elektr energiyaga aylanadi. Bu noan'anaviy energiya manbalarini qo'llash aholi uchun sarflanadigan yoqilg'i resurslarini 50% gacha kamaytirish imkoniyatlarini beradi va shu asosda atrof-muhit musaffoligini saqlash muammolarini yengillashirishga yordam beradi.

Organik yoqilg'ilarning energiyasi IES (issiqlik elektr stansiyalari)da avval issiqlik energiyasiga, so'ngra mexanik energiyaga va elektr energiyaga aylanadi.

Hozirgi vaqtda dunyo bo'yicha tabiiy gaz zahirasi 175 mlr.t.sh.yo., (shartli yoqilg'i) neft zahirasi 90 mlr.t.sh.yo. va ko'mir zahirasi 10000 mlr.t.sh.yo. ni tashkil etadi.

O'zbekistonda umumiy organik yoqilg'i zahiralari 2,2-5,1 mlr.t.n.e., jumladan neft 82-245 mln.t.n.e., tabiiy gaz 1476-1979 mln.t.n.e. va ko'mir 639-2851 mln.t.n.e. ga teng deb baholanadi.

O'zbekiston Respublikasida asosiy birlamchi energiya tabiiy gaz hisoblanadi va u energiya ishlab chiqarish umumiy hajmining 85% ni tashkil etadi. Neft va gazli kondensatning ulushi 13% ga va boshqa qismi IES va ko'mirda olinadigan elektr energiyaga to'g'ri keladi.

Asosiy tarkibiy qismi uglerodli birikmalardan iborat bo'lgan yonuvchi moddalarga yoqilg'i deyiladi. Uning yonishi natijasida ko'p miqdorda issiqlik ajralib chiqqanligi sababli sanoatda xom ashyo sifatida ishlatiladi.

Yoqilg'ilar agregat holatiga ko'ra 3 xil bo'ladi:

1) qattiq yoqilg'i (ko'mir, torf, o'tin, antratsit, yonuvchi slanetslar va boshqalar);

2) suyuq yoqilg'i (neft va uning mahsulotlari);

3) gazsimon yoqilg'i (tabiiy gaz va sun'iy gaz).

Yoqilg'ining asosiy ifodalovchilariga yonish issiqligi, uchuvchi moddalarning ajralishi va koks xususiyatlari kiradi.

$$\Delta t_1 = \frac{50 + 35}{2} = 42,5^\circ\text{C}$$

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q = K\Delta t_1 = 1970 \cdot 42,5 = 8,37 \cdot 10^4 \text{ Wt/m}^2$$

Istish sirt yuzasi:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{111}{83,7} = 1,33 \text{ m}^2$$

Seksiyalar soni:

$$n = \frac{F}{\pi d_1 l} = \frac{1,33}{\pi \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,9} = 7$$

5. "Quvur-quvurda" issiqlik almashuv apparatida transformator moyi suv bilan sovutiladi. Diametri $d_2/d_1 = 14/12$ mm bo'lgan latun quvurida transformator moyi 4 m/s tezlik bilan harakatlanadi. Moyning kirishdagi harorati $t_1 = 100^\circ\text{C}$ va chiqishdagi harorati $t_2 = 60^\circ\text{C}$. Suvning tezligi 2,5 m/s va kirishdagi harorati $t_3 = 20^\circ\text{C}$. Tashqi quvurning ichki diametri $d_3 = 22$ mm. Issiqlik almashuv sirtining uzunligini toping.
Javob: $l = 11,6$ m.

6. Qarama-qarshi yo'nalishli issiqlik almashuv apparatidagi issiq suvning kirishdagi harorati 80°C , chiqishdagi harorati 60°C va sarfi $G = 2$ kg/s. Sovuq suvning kirishdagi harorati 10°C va sarfi $G_2 = 0,75$ kg/s. Issiqlik berish koeffitsientlari $a_1 = 2000$ $\text{Wt/m}^2\text{K}$, $a_2 = 4000$ $\text{Wt/m}^2\text{K}$ va

devorning termik qarshiligi $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{100}$ ma'lum bo'lsa, issiqlik almashuv apparatining sirt yuzasini aniqlang.
Javob: $F = 4,24$ m².

Nazorat savollari

1. Issiqlik almashuv apparatlari deb qanday apparatlarga aytiladi?
2. Issiqlik almashuv apparatlari necha turga bo'linadi?
3. Nima uchun issiqlik balans tuziladi?
4. Issiq tashuvchilarning yo'nalishi bo'yicha issiqlik almashuv apparatlari necha turga bo'linadi?
5. Issiqlik almashuv apparatlarining issiqlik hisobi qaysi ifoda orqali olib boriladi.

quyidagi ifodadan topiladi.

$$b_i = \frac{B}{(B_1 + B_2)}$$

B_1 va B_2 — atalashmadagi yoqilg'ilarning massasi, kg.

65-§. Yoqilg'ilarning xususiyatlari

Yoqilg'ining yonish issiqligi. 1 kg qattiq (suyuq) yoki 1 m³ gazsimon yoqilg'ining to'liq yonishida ajralib chiqqan issiqlik miqdoriga yoqilg'ining yonish issiqligi deb aytiladi. Yoqilg'ining yonish issiqligi yuqori Q_{yu} (kJ/kg) va quyi Q_u (kJ/kg) bo'ladi.

Qozonlarning issiqlik hisobi yoqilg'i ishchi massasining quyi yonish issiqligidan foydalanib bajariladi: qattiq va suyuq yoqilg'i ishchi massasining quyi yonish issiqligi (kJ/kg)

$$Q_u^i = 338 C_i + 1025 H_i - 108,5 (O_i - S_i) - 25 W_i \quad (274)$$

bu yerda C_i , H_i , O_i , S_i , W_i — yoqilg'i ishchi massasidagi elementlar miqdori, %.

Gazsimon yoqilg'ining quyi yonish issiqligi (kJ/nm³)

$$Q_u^i = 108 H_i + 126 CO + 234 H_2 S + 358 CN_{10} + 591 C_2 N_4 + 638 C_3 N_6 + 860 C_4 N_8 + 913 C_5 N_8 + 1135 C_6 N_8 + 1187 C_7 N_{10} + 1461 C_8 N_{12} + 1403 C_6 N_6$$

bu yerda H_i , CO , $H_2 C$, CH_4 , $C_2 H_4$ va boshqalar — gazsimon yoqilg'i tarkibiga kiruvchi gazlarning hajmiy miqdori, %.

Quyi yonish issiqligida suv bug'larining kondensatsiyasida ajralgan issiqlik hisobga olinmaydi. Yuqori yonish issiqligida bu issiqlik hisobga olinadi.

$$Q_u^i = Q_u^{yu} - 0,025(9 H_i + W_i)$$

0,025 — bug'lanish issiqligi MJ/kg

9 H_i — suv miqdoriga mos keluvchi kattalik: $2H_2 + O_2 = 2H_2O$

Amaliy hisoblashda quyi yonish issiqligi ishlatiladi.

$$\text{Gaz} - Q_u^i = 38 \text{ MJ/m}^3$$

$$\text{Ko'mir} - Q_u^i = 12 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{Neft} - Q_u^i = 46 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{Mazut} - Q_u^i = 39 \text{ MJ/kg}$$

Yoqilg'i to'liq yonmaganda SO gazi qoladi. Tarkibida olingugurt bo'lgan yoqilg'ilar yonish mahsulotlarida kam miqdorda SO₂ gazi

bo'ladi. Hamma yoqilg'ilarning yonishida NO hosil bo'ladi. SO₂ va NO — atrof-muhitni zararlaysdi.

Quyi yonish issiqligini qayta hisoblashda quyidagi ifodalardan foydalaniladi:

yonuvchi massadan ishchiga va aksincha

$$Q_p^{yu} = Q_p^{yu} \frac{100 - A' + W'}{100} - 25 W' \quad (275)$$

$$Q_p^{yu} = \frac{Q_p' + 25W'}{100 - (A' + W')} \cdot 100 \quad (276)$$

quruq massadan ishchiga va aksincha

$$Q_p^i = Q_p^i \frac{100 - W'}{100} - 25 W' \quad (277)$$

$$Q_p^{yu} = \frac{Q_p' + 25W'}{100 - (A' + W')} \cdot 100 \quad (278)$$

yonuvchi slanetslar uchun — yonuvchi massadan ishchi massaga va aksincha

$$Q_p^i = Q_p^{yu} \frac{100 - A_k' + W' - (CO_2)_k}{100} - 25 W' - 40 (CO_2)_k \quad (279)$$

$$Q_p^{yu} = \frac{(Q_p^i + 25W') + (100 - W_2 - 25W_2')}{100 - W_1'} \quad (280)$$

namlik o'zgaranda

$$Q_{p_2}^i = \frac{Q_p^i + 25W'}{100 - W'} \cdot 100 \quad (281)$$

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

$$Q_{p_{su}}^i = v_1 Q_{p_1}^i + (1 - v_1) Q_{p_2}^i \quad (282)$$

bu yerda v_1 — aralashmadagi bir yoqilg'ining massaviy ulushi;

Q_k^1 — aralashmadagi birtinchi yoqilg'ining yonish issiqligi, kJ/kg, kJ/nm³;

Q_k^2 — ikkinchi yoqilg'ining yonish issiqligi, kJ/kg, kJ/nm³.

Har xil yoqilg'ilarning issiqlik bahosini solishtirish uchun "shartli" yoqilg'i tushunchasidan foydalaniladi. Yonish issiqligi 29300 kJ/kg ga teng bo'lgan yoqilg'i shartli yoqilg'i deyiladi.

Natural yoqilg'i sarffidan shartliga quyidagi ifodadan o'tkaziladi:

$$V_{sh} = VE$$

bu yerda V_{sh} va V mos ravishda shartli va natural yoqilg'i sarfi, kg/s;

E — yoqilg'ining issiqlik ekvivalenti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$E = \frac{Q_k^1}{29300} \quad (283)$$

Yoqilg'ilarning kulliligi, namligi va oltingugurtliligi

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

Yoqilg'ilarning keltirilgan kulliligi, kg.%/mJ:

$$A_{kel} = \frac{A}{Q_k^1} \quad (284)$$

Yoqilg'ilarning keltirilgan namligi, kg.%/mJ:

$$W_{kel} = \frac{W}{Q_k^1}$$

Yoqilg'ilarning keltirilgan oltingugurtliligi, kg.%/mJ:

$$S_{kel} = \frac{S}{Q_k^1}$$

66 -§. Havoning hajmi. Yonish mahsulotlarining hajmi va massasi

Havoning hajmi, yonish mahsulotlarining hajmi va massasi normal sharoitda 1 kg qattiq, suyuq yoki 1 m³ gazsimon yoqilg'i uchun aniqlanadi. Yoqilg'ini yondirish uchun kerakli havoning hajmi. 1 kg qattiq, suyuq

yoqilg'ini to'liq yondirish uchun kerakli quruq havoning nazariy (o'txonadagi havoning ortiqchalik koefitsienti $\alpha_n = 1$ bo'lganda) hajmi (m³/kg) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$V^0 = 0,089C^1 + 0,226 P^1 + 0,033 (S^1 - O^1) \quad (285)$$

1 m³ quruq gazsimon yoqilg'ini to'liq yondirish uchun kerakli nazariy havoning hajmi (m³/m³) quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$V^0 = 0,0478[0,5(CO+H_2)+1,5H_2S+2CH_4+\Sigma(m+\frac{n}{4})C_mH_nO_3] \quad (286)$$

(273) ifodada yoqilg'i elementlarining miqdori 1 kg yoqilg'i massasida %da ifodalanadi, (284) ifodada esa yonuvchi gazlar CO, N₂, H₂S, CH₄ va boshqalar miqdori hajm bo'yicha foizda ifodalanadi.

Ikki qattiq, suyuq yoki gazsimon yoqilg'i aralashmasi yonishi uchun quruq havoning nazariy hajmi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$V_{sp}^0 = v_1 V_1^0 + (1-v_1) V_2^0 \quad (287)$$

bu yerda v_1 — aralashmadagi birorta yoqilg'ining massaviy ulushi.

O'txonaga kelgan havoning haqiqiy hajmi (m³/kg; m³/m³) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$V_h = \alpha_n V^0$$

bu yerda α_n — o'txonadagi havoning ortiqchalik koefitsienti.

Kislorod havo ortiqcha berilgani uchun qoldi. Yoqilg'ining yonish mahsulotlarida N₂, CO₂, H₂O, O₂ gazlari qoladi. Yoqilg'ining to'liq yonishi uchun havoni keragidan ortiq berish kerak. Haqiqiy havo miqdorining nazariy havo miqdoriga nisbati havoning ortiqchalik koefitsienti deyiladi:

$$\alpha = \frac{V_{hav}}{V_{naz}} > 1(1 \div 1,5)$$

Yoqilg'ining tarkibi va yonish mahsulotlarining hajmi. Yoqilg'ining to'liq yonishida yonish mahsulotlari CO₂, SO₂, N₂, O₂, suv bug'lari va boshqa gazlarni saqlaydi.

$$CO_2 + SO_2 + N_2 + O_2 + H_2O = 100 \%$$

Yonish mahsulotlarining to'liq hajmi V_p (m³/kg) quruq gazlarning hajmi V_{qB} va suv bug'larining hajmi v_{yg} indisidan tashkil topadi:

$$V_p = V_{qB} + V_{H_2O}$$

bunda $V_{\text{ox}} = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}$,

bu yerda $V_{\text{RO}_2} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2}$ — uch atomli gazlarning hajmi, m³/kg;

$V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}$ — ikki atomli gazlarning hajmi, m³/kg.

Qattiq (slanetsdan tashqari) va suyuq yoqilg'ilar $a_{\text{sl}} = 1$ bo'lganda to'liq yonishda nazariy hajmlari (m³/kg) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

ikki atomli gazlar hajmi

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 V^0 + 0,8 \frac{N^1}{100}; \quad (288)$$

uch atomli gazlar hajmi

$$V_{\text{RO}_2} = 0,0187(S^1 + 0,375 \frac{S}{S}) ; \quad (289)$$

quruq gazlar hajmi

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 = 0,0187(S^1 + 0,375 \frac{S}{S}) + 0,79V^0 + 0,8 \frac{N^1}{100}; \quad (290)$$

suv bug'larining hajmi

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^1 = 0,0124(9N^1 + W^1) + 0,016 V^0;$$

yonish mahsulotlarining to'liq hajmi

$$V_{\text{z}}^0 = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + V_{\text{H}_2\text{O}}^1 = 0,0187(S^1 + 0,375 \frac{S}{S}) + 0,79V^0 + 0,8 \frac{N^1}{100} + 0,0124(9N^1 + W^1) + 0,016 V^0. \quad (291)$$

Slanetslar uchun uch atomli gazlar hajmi ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$V_{\text{RO}_2} = V_{\text{SO}_2} + [0,509 \frac{(CO_2)_k}{100} | k = 0,0187(S^1 + 0,375 \frac{S}{S}) + [0,509 \frac{(CO_2)_k}{100} | k$$

bu yerda k — karbonatlarning parchalanish koeffitsienti, qatlamlari yonishda $k=0,7$, kamerali $k=1,0$.

Gazsimon yoqilg'i uchun yonish mahsulotlarining nazariy hajmi (m³/m³) $a_{\text{sl}} = 1$ bo'lganda quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

ikki atomli gazlarning hajmi

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 V^0 + \frac{N_2}{100} \quad (292)$$

uch atomli gazlarning hajmi

$$V_{\text{RO}_2} = 0,0187(SO_2 + CO_2 + N_2C + C m C_m H_n) \quad (293)$$

quruq gazlar hajmi

$$V_{\text{k.g}}^0 = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}$$

Masalalar

1. Chelyabinsk B3 markali ko'mirning yonuvchi massaviy tarkibi: $C^{\text{yo}} = 71,1\%$, $H^{\text{yo}} = 5,3\%$, $S^{\text{yo}} = (S_{\text{or}}^{\text{yo}} + \frac{y^{\text{yo}}}{k} C) = 1,9\%$, $N^{\text{yo}} = 1,7\%$, $O^{\text{yo}} = 20,0\%$, quruq massaning kulliligi $A^{\text{yo}} = 36\%$ va ishchi namligi $W^1 = 18\%$ bo'lsa, ishchi massaviy tarkibi aniqlansin.

Yechish: O'tkazib hisoblash koeffitsientlari (1-jadval)dan foydalanib, yoqilg'i ishchi massasining kulliligini aniqlaymiz:

$$A^1 = A^{\text{yo}} \frac{100 - W^1}{100} = 36 \cdot \frac{100 - 18}{100} = 29,5\%$$

va yoqilg'ining ishchi massasining tarkibini topamiz:

$$C^1 = C^{\text{yo}} \frac{100 - (A^1 + W^1)}{100} = 71,1 \cdot \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 37,3\%$$

$$H^1 = H^{\text{yo}} \frac{100 - (A^1 + W^1)}{100} = 5,3 \cdot \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 2,8\%$$

$$S^1 = S^{\text{yo}} \frac{100 - (A^1 + W^1)}{100} = 1,9 \cdot \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 1,0\%$$

$$N^1 = N^{\text{yo}} \frac{100 - (A^1 + W^1)}{100} = 1,7 \cdot \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 0,9\%$$

$$O^i = O^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 20,0 \cdot \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 10,5 \%$$

Hisoblashlarning aniqligini tekshirish uchun yoqilg'i ishchi massasi tarkibidagi elementlarni qo'shib chiqamiz:

$$C^i + H^i + \frac{1}{2}C + H^i + O^i + A^i + W^i = 37,3 + 2,8 + 1,0 + 0,9 + 10,5 + 29,5 + 18 = 100 \%$$

2. Agar Kisefov G markali ko'mirning ishchi massaviy tarkibi: Sⁱ = 48,5 %, Nⁱ = 3,6 %, S₁ⁱ = 6,1 %, Nⁱ = 0,8 %, Oⁱ = 4,0 %; quruq massaning kulliligi A^q = 33,0% va ishchi namligi Wⁱ = 18% bo'lsa, yonuvchi massaviy tarkibi aniqlansin.

$$\text{Javob: } S^{yo} = 77\%; N^{yo} = 5,7\%; S_1^{yo} = 9,7\%; N_1^{yo} = 1,3\%; O^{yo} = 6,3\%.$$

3. Kuznetskiy D markali ko'mirning yonuvchi massaviy tarkibi S^{yo} = 78,5 %, N^{yo} = 5,6 %, S₁^{yo} = 0,4 %, N^{yo} = 2,5 %, O^{yo} = 13,0 %, quruq massaning kulliligi A^q = 15 % va ishchi namligi Wⁱ = 12,0% bo'lsa, ishchi massaviy tarkibi aniqlansin.

$$\text{Javob: } S^i = 58,7\%; N^i = 4,2\%; S_1^i = 0,3\%; N_1^i = 1,9\%; O^i = 9,7\%; A^i = 13,2\%.$$

4. Qozon o'txonasida yondirilayotgan aralashma 800 kg S₁ⁱ = 58,7 %; N₁ⁱ = 4,2 %; (C₁)₁ = 0,3%; N₁ⁱ = 1,9%; O₁ⁱ = 9,7 %; A₁ⁱ = 13,2%; W₁ⁱ = 12,0 % tarkibli "h" markali kuznets ko'miridan va 1200 kg S₂ⁱ = 66,0 %; N₂ⁱ = 4,7 %; (C₂)₂ = 0,5%; N₂ⁱ = 1,8%; O₂ⁱ = 7,5 %; A₂ⁱ = 11,0%; W₂ⁱ = 8,5 % tarkibli "G" markali kuznets ko'miridan iborat. Aralashmaning ishchi tarkibi aniqlansin.

$$\text{Javob: } S_{ar}^i = 63,1\%; N_{ar}^i = 4,5\%; (C)_{ar} = 0,4\%; N_{ar}^i = 1,8\%; O_{ar}^i = 8,4\%; A_{ar}^i = 11,9\%; W_{ar}^i = 9,9\%.$$

5. Chelyabinsk B3 markali ko'mirning ishchi massaviy tarkibi Sⁱ = 37,3 %, Hⁱ = 2,8 %, S₁ⁱ = 1,0%, Nⁱ = 0,9 %, Oⁱ = 10,5 %; Aⁱ = 29,5% va Wⁱ = 18,0 % dan iborat. Uning yuqori darajadagi quyi yonish issiqligini aniqlang.

$$\text{Javob: } Q_k^i = 13997 \text{ kJ/kg; } Q_{yu}^i = 15077 \text{ kJ/kg.}$$

6. Yonuvchi massaviy tarkibidagi S^{yo} = 78,5%; N^{yo} = 5,6 %; S₁^{yo} = 0,4 %; N^{yo} = 2,5%; O^{yo} = 13,0 %, quruq massaning kukuni A^q = 15,0% va ishchi namlik Wⁱ = 12,0 %. Kuznets D markali ko'mirning ishchi massaviy quyi va yuqori yonish issiqligini aniqlang.

Yechish: Yoqilg'ining ishchi massaviy kukunini o'tkazib hisoblash koeffitsientlari (1.1) jadvaldan foydalanib aniqlaymiz.

$$A^i = A^q \frac{100 - W^i}{100} = 15 \cdot \frac{100 - 12,0}{100} = 13,2 \%$$

va ishchi massaviy tarkibi:

$$C^i = C^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 78,5 \cdot \frac{100 - (13,2 + 12,0)}{100} = 58,7 \%$$

$$H^i = H^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 5,6 \cdot \frac{100 - (13,2 + 12,0)}{100} = 4,2 \%$$

$$\frac{1}{2}C = \frac{yo}{i} C \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 0,4 \cdot \frac{100 - (13,2 + 12,0)}{100} = 0,3 \%$$

$$N^i = N^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 2,5 \cdot \frac{100 - (13,2 + 12,0)}{100} = 1,9 \%$$

$$O^i = O^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 13,0 \cdot \frac{100 - (13,2 + 12,0)}{100} = 9,7 \%$$

Yoqilg'ining ishchi massaviy quyi yonish issiqligi (269) ifodadan

$$Q_k^i = 338 S^i + 1025 N^i - 108,5 (O^i - \frac{1}{2}C) - 25 W^i = 338 \cdot 58,7 + 1025 \cdot 4,2 - 108,5(9,7 - 0,3) - 25 \cdot 12 = 22825 \text{ kJ/kg olinadi.}$$

Yuqori yonish issiqligi (1.9) ifodadan

$$Q_{yu}^i = Q_k^i + 225 N^i + 25 W^i = 22825 + 225 \cdot 4,2 + 25 \cdot 12,0 = 24070 \text{ kJ/kg olinadi.}$$

7. Agar Donetsk G markali ko'mirning yonuvchi massaviy yonish issiqligi $Q_k^{yo} = 33170$ kJ/kg, quruq massaviy kukuni $A^q = 25,0\%$ va ishchi namligi $W^i = 8,0\%$ ma'lum bo'lsa, uning ishchi va quruq massaviy quyi yonish issiqligi aniqlansin.

Javob: $Q_k^i = 22024$ kJ/kg; $Q_k^k = 24157$ kJ/kg.

Nazorat savollari

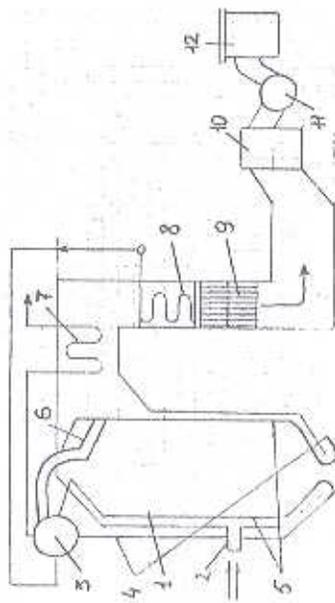
1. Yoqilg'i deb nimaga aytiladi?
2. Yoqilg'ining tarkibini ayting?
3. Yonish issiqligi deb nimaga aytiladi?
4. Shartli yoqilg'i nima uchun kiritiladi?
5. Havoning ortikchalik koeffitsienti nima?

XX BOB. BUG' BUG' QOZONLARI

67 § Asosiy tushunchalar

Suv bug'ini hosil qiladigan qurilma **bug' qozoni** deb ataladi. Suv bug'i bug' dvigatellarini harakatga keltiradi. Suv bug'i 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 issiqlik yordamida hosil qilinadi. Zamonaviy bug' qozonining chizma tasviri 63-rasmda keltirilgan va u bug' qizdirgich, suv ekonomayzeri va havo qizdirgichdan iborat. Bug' qozonda hosil bo'lgan bug'ning harorati ortadi, bu esa bug' turbina qurilmasining foydali ish koeffitsienti oshishiga olib keladi.

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

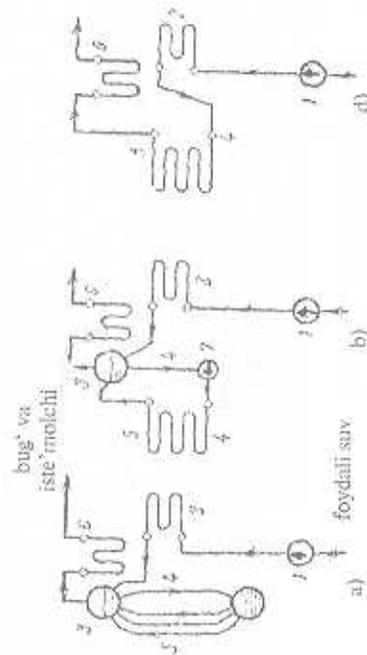


63-rasm.

Rasmda 1 – o'choq kamerasi; 2 – goretka; 3 – barabani; 4 – suvni olib tashuvchi quvurlar; 5 – bug' hosil qiluvchi quvurlar; 6 – orqa ekraning davomi (fiston); 7 – bug' qizdirgichi; 8 – ekonomayzer; 9 – havo qizdirgich; 10 – kukun ushlovchi; 11 – tutun so'ruvchi; 12 – tutun so'ruvchi quvur.

Qozon agregati tarkibiga quyidagilar kiradi: o'txon qurilmasi (goretka bilan kamera); qozon agregatining asosiy elementlaridan biri bo'lgan bug' quvurlar (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.

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



64-rasm

Rasmda a) 1 - nasos; 2 - ekran; 3 - baraban; 4 - nasos; 5 - haydovchi quvur; 6 - kollektor; 7 - quvur; 8 - bug' qizdirgich
 b) 1 - nasos; 2 - ekran; 3 - baraban; 4 - nasos; 5 - haydovchi quvur; 6 - bug' qizdirgich; 7 - quvur; 8 - bug' qizdirgich
 c) 1 - nasos; 2 - ekran; 3 - baraban; 4 - nasos; 5 - haydovchi quvur; 6 - bug' qizdirgich; 7 - quvur; 8 - bug' qizdirgich
 d) 1 - nasos; 2 - ekran; 3 - baraban; 4 - nasos; 5 - haydovchi quvur; 6 - kollektor; 7 - quvur; 8 - bug' qizdirgich

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

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

- 1) tabiiy ravishda bug' va suv aralashmasi harakatlanadigan bug' qozonlari (64 a-rasm);
- 2) sun'iy ravishda sirkulyatsiya bo'ladigan (nasos yordamida) bug' qozonlari (64 b-rasm);
- 3) barabanga ega bo'lmagan bug' qozonlari (64v-rasm)

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

Qozon qurilmalarning asosiy ish xarakteristikalariga quyidagilar kiradi.
 1. Bug' unumdorligi (qozonning quvvati), bu vaqt birligida hosil bo'lgan bug' miqdori bilan aniqlanadi.

2. Bug'ning parametrlari (bosimi va o'ta qizish harorati).

3. Qozon agregatining foydali ish ko'effitsienti.

Qozon qurilmalarini quyidagi belgilarga ko'ra tasniflash mumkin.

1. Bug' unumiga ko'ra:
 - a) past unumli 15-20 t/soat
 - b) o'rtachaunumli 25-30 dan 160-220 t/soat gacha
 - d) yuqoriunumli 220-250 t/soat va yuqori
2. Bug' bosimiga ko'ra:
 - a) past bosimli 9 at gacha (1 MPa)
 - b) o'rtta bosimli 14-40 at (1,4-4 MPa)
 - d) yuqori bosimli 100 at +140 at
 - e) yuqori kritik bosimli 255 at

68-§. Qozonlarning issiqlik balansi

Qozon qurilmada yoqilg'i yonishida ajralib chiqqan issiqlikni foydali ishlatilgan issiqlikka va issiqlik yo'qolishiga taqsimlanishi issiqlik balansi deyiladi. Issiqlik balansi 1 kg qattiq (suyuq) yoki 1 m³ gazsimon yoqilg'i uchun qozon qurilmada o'rnatilgan issiqlik holatiga ko'ra tuziladi.

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

$$Q'_1 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (294)$$

yoki foizda ifodalaniishi

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100 \% \quad (295)$$

bu yerda $q_1 = (\frac{Q_1}{Q'_1}) 100\%$, $q_2 = (\frac{Q_2}{Q'_1}) 100\%$ va h.k.

(294) va (295) tenglamalarida Q'_1 mavjud issiqlik; $Q_1 (q_1)$ - qozon qurilmada bug' olish uchun foydali ishlatilgan issiqlik; $Q_2 (q_2)$ - chiqib ketayotgan tutun gazlari bilan yo'qolgan issiqlik; $Q_3 (q_3)$ - ximik yoqilg'i to'liq yonmaganda yo'qolgan issiqlik; $Q_4 (q_4)$ - yoqilg'i mexanik to'liq yonmaganda yo'qolgan issiqlik; $Q_5 (q_5)$ - atrof muhitga yo'qolgan issiqlik; $Q_6 (q_6)$ - shlakning fizik issiqligi bilan yo'qolgan issiqlik.

Mavjud issiqlik (kJ/kg, kJ/m³) 1 kg qattiq (suyuq) yoki 1 m³ gazsimon yoqilg'i uchun quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$Q'_{\text{m}} = Q'_x + Q'_{\text{yoy}} + Q'_H + Q'_r + Q'_k \quad (296)$$

$$Q'_{\text{m}} = Q'_x + Q'_{\text{yoy}} + Q'_H + Q'_r$$

bu yerda

Q'_x va Q'_k — ishchi massaviy qattiq va suyuq yoqilg'ining va quruq massaviy gazsimon yoqilg'ining quyi yonish issiqligi, kJ/kg, kJ/m³;
 Q'_{yoy} — yoqilg'ining fizik issiqligi; kJ/kg, kJ/m³;
 Q'_a — o'txonaga havo bilan kirgan issiqlik, kJ/kg, kJ/m³;
 Q'_r — o'txonaga bug'li purkanish bilan kirgan issiqlik, kJ/kg, kJ/m³;
 Q'_k — slanetslar yonishida karbonatlarning joylashishiga sarflangan issiqlik, kJ/kg.

Yoqilg'ining fizik issiqligi

$$Q'_{\text{yoy}} = C'_{\text{yoy}} \cdot t'_{\text{yoy}} \quad (297)$$

bu yerda s'_{yoy} — ishchi massaviy yoqilg'ining issiqlik sig'imi, kJ/kg⁰C;

t'_{yoy} — o'txonaga kirayotgan harorati, °C.

Ishchi massaviy yoqilg'ining issiqlik sig'imi

$$C'_{\text{yoy}} = C^k_{\text{yoy}} \frac{100 - W^4}{100} + c_{\text{H}_2\text{O}} \frac{W^4}{100} \quad (298)$$

bu yerda s^k_{yoy} va $c_{\text{H}_2\text{O}}$ — mos ravivda quruq massaviy qattiq yoqilg'ining va suvning issiqlik sig'imi, kJ/kg · K.

C^k_{yoy} — anratsit 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

$$s'_{\text{yoy}} = 1,74 + 0,0025 t'_{\text{yoy}} \quad (299)$$

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

$$Q_H = a_{\text{v}} \cdot V^0 \cdot c_{\text{pv}} \cdot \Delta t_{\text{v}} \quad (300)$$

bu yerda c_{pv} — o'txonadagi havoning ortiqchalik ko'effitsienti;

V^0 — 1 kg yoqilg'ini yoqish uchun kerakli havoning nazariy hajmi, m³/kg;

c_{pv} — bosim doimiy bo'lganda havoning o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imi; kJ/m³·K; havoning harorati 300 gacha bo'lganda $s'_{\text{pv}} = 1,33$ kJ/m³·K;

Δt_{v} — qizdirilgan va sovuq havoning haroratlari farqi, °C.

O'txonaga bug'li purkanish bilan kiritilgan issiqlik

$$Q_r = B_r (h_r - 2510) \quad (301)$$

bu yerda B_r va h_r mos ravivda purkashga yoki yoqilg'ini changlantirishga berilgan sarfi va entalpiyasi, kg/kg, kJ/kg. Purkash uchun $B_r = 0,7...0,8$ kg/kg, bug'li forsunkalarda changlantirish uchun $B_r = 0,35$ kg/kg, bug'-mexanikli forsunkalar uchun $B_r = 0,03...0,035$ kg/kg.

Slanetslarni yondirishda karbonatlar joylashishiga sarflangan issiqlik

$$Q_k = 40,6 k(\text{CO}_2)^k$$

bu yerda k — karbonatlar joylashishi ko'effitsienti.

Qozon qurilmasida foydali ishlatilgan issiqlik (kJ/kg)

$$Q_i = \frac{D_{\text{DUGB}}}{B} [(h_{\text{OQB}} - h_{\text{IC}}) + \frac{P}{100} (h_{\text{OC}} - h_{\text{m}})] + D_{\text{TB}} (h_{\text{TB}} - h_{\text{IC}}) \quad (302)$$

Bu yerda D_{OQB} , D_{TB} — mos ravivda o'ta qizigan va to'yingan bug'ning sarfi, kg/s; B — natural yoqilg'i sarfi, kg/s; h_{OQB} , h_{TB} , h_{IS} , h_{OC} — mos ravivda 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

$$Q_i = \frac{M_c}{B} (h_2 - h_1) \quad (303)$$

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

M_c — suvning sarfi, kg/s.

Qozon qurilmasida foydali ishlatilgan issiqlik (%)

$$q_1 = \left(\frac{Q_1}{Q_1^0} \right) 100\% \quad (304)$$

Chiqib ketayotgan tutun gazlari bilan issiqlikning yo'qolishi

$$Q_2 = (V_{\text{chiq}}^c \cdot c_{\text{chiq}}^{\text{elbiq}} \cdot t_{\text{elbiq}} - \alpha_{\text{chiq}} \cdot V^0 \cdot c_{\text{rx}}^c \cdot t_0) (100 - q_1) / 100 \text{ bundan} \quad (305)$$

$$Q_3 = (J_{\text{chiq}} - a_{\text{chiq}} \cdot J_{\text{cx}}^0) (100 - q_2) / 100$$

bu yerda V_{chiq}^c — qozon qurilmasidagi oxirgi gaz yo'lidan chiqqan (tutun) gazlarining hajmi, m^3/kg ;

$c_{\text{chiq}}^{\text{elbiq}}$ — bosim doimiy bo'lganda gazlarning o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/\text{m}^3 \text{K}$;

t_{elbiq} — oxirgi gaz yo'lidan chiqib ketayotgan gazning harorati, $^{\circ}\text{C}$;

α_{chiq} — qozon qurilmasidan tashqaridagi havoning ortiqchalik koeffitsienti;

$V^0 = 1 \text{ kg}$ yoqilg'ini yondirish uchun kerakli havoning nazariy hajmi, m^3/kg ;

t_0 — qozonxonadagi xonaning harorati, $^{\circ}\text{C}$;

q_1 — mexanik noto'liq yonishda yo'qolgan issiqlik, %;

$H_{\text{chiq}}^0, H_{\text{cx}}^0$ — mos ravishda yonish mahsulotlarining va sovuq havoning entalpiyasi, kJ/kg .

Yoqilg'i ximik to'liq yonmaganda issiqlikning yo'qolishi yonish mahsulotlarida CO miqdori bilan aniqlanadi:

$$Q_3 = 237(C^0 + 0,375 S) \text{CO} / (\text{RO}_2 + \text{CO}) \quad (306)$$

bu yerda C^0 va S^0 — yoqilg'idagi uglerod va olingugurt miqdori, %;

CO — chiqib ketayotgan gazlardagi uglerod oksidining miqdori, %;

$\text{RO}_2 = \text{CO}_2 + \text{SO}_2$ — chiqib ketayotgan gazlardagi CO_2 va SO_2 miqdori, %.

Yoqilg'i ximik to'liq yonmaganda issiqlikning yo'qolishi (%)

$$q_3 = \left(\frac{Q_3}{Q_1^0} \right) 100\% \quad (307)$$

Yoqilg'i mexanik to'liq yonmaganda issiqlikning yo'qolishi uch tashkil etuvchidan tuziladi: yoqilg'i shlaki Q_1^{shl} (kJ/kg) bilan issiqlikning yo'qolishi, o'txona panjarasidan yoqilg'i tushishida issiqlikning yo'qolishi

Q_1^0 (kJ/kg) va chiqib ketayotgan gazlarda yoqilg'i zarrachalari bilan issiqlikning yo'qolishi Q_1^{shl} (kJ/kg), ya'ni

$$Q_1 = Q_1^{\text{shl}} + Q_1^0 + Q_1^{\text{ox}}$$

Yoqilg'i mexanik to'liq yonmaganda issiqlikning yo'qolishi (%),

$$q_4 = \left(\frac{Q_1}{Q_1^0} \right) 100 = \frac{327A^4}{Q_1^0} \left(a_{\text{shl}} \frac{c_{\text{shl}+t}}{100 - c_{\text{shl}+t}} + a_{\text{ox}} \frac{c_{\text{ox}}}{100 - c_{\text{ox}}} \right)$$

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

$a_{\text{shl}+t}$, a_{ox} — o'txonada yoqilg'i bilan berilgan umumiy kul ulushi, %;

$c_{\text{shl}+t}$, c_{ox} — shlakda, proval va olib ketishda yonuvchining miqdori, %.

Atrof muhitga issiqlikning yo'qolishi (kJ/kg) qozon qurilmasi sirt yuzasining o'leholvariga, qoplama sifati va issiqlik izolyatsiyasiga bog'liq. Hisoblashlarda atrof muhitga issiqlikning yo'qolishi normativ bo'yicha olinadi, qozon qurilmasini tekshirishda esa issiqlik balansi tenglamasida aniqlanadi:

$$Q_3 = Q_1^0 - (Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_6) \quad (308)$$

yoki

$$q = 100 - (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (309)$$

Shlakning fizik issiqligi orqali issiqlik yo'qolishi

$$Q_6 = a_1 c_1 t_1 A^4 / 100 \quad (310)$$

bu yerda a_1 — shlakdagi yoqilg'i kulining ulushi, kamerali o'txona kulining ulushini qo'shish kerak.

c_1 — shlakning issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/\text{kg K}$;

t_1 — shlakning harorati, $^{\circ}\text{C}$;

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

Shlakning fizik issiqligi orqali (%) issiqlik yo'qolishi

$$q_6 = \left(\frac{Q_6}{Q_1^0} \right) 100 = a_1 c_1 t_1 A^4 / Q_1^0 \quad (311)$$

Agregatning (brutto) va qurilmaning (netto) foydali ish koeffitsientlari
Qozon agregatining (brutto) foydali ish koeffitsientlari uning ish

samaradorlik darajasini ifodalaydi va u qozon agregatida ishlatilgan issiqlik miqdorining yoqilg'i umumiy issiqligiga nisbatiga teng, ya'ni:

$$\eta_{qoz}^{br} = \left(\frac{Q_1}{Q_f} \right) 100 \quad (312)$$

yoki

$$\eta_{qoz}^{br} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (313)$$

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

$$\eta_{qoz}^{nr} = h_{qoz}^{br} - \frac{Q_{tik}}{BQ_f} 100 \quad (314)$$

bu yerda Q_{QE} — o'z ehtiyojlariga sarflangan issiqlik, kJ/kg

Yoqilg'i sarfi. Qozon qurilmasining issiqlik hisoblashlarida yoqilg'ining natural va hisobiy sarfi farqlanadi.

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

$$B = \frac{D_{isov}(h_{isov} - h_{is}) + (P/100)(h_{kv} - h_{is})D_{tm}(h_{TB} - h_{is})}{Q_f \eta_{fu}} 100 \quad (315)$$

bu yerda h_{kv} — qozon qurilmasining (brutto) FIK, %.

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

$$B_x = B \left(1 - \frac{q_1}{100} \right) \quad (316)$$

bu yerda q_1 — mexanik noto'liq yonishda issiqlikning yo'qolishi.

Masalalar

- Unumdorligi $D=13,4$ kg/s bo'lgan qozon qurilmasining o'txonasida Podmoskove B2 markali ko'mir yondiriladi. Uning tarkibi $S_i = 28,4\%$, $N_i = 2,2\%$, $S_i = 2,7\%$, $N_i = 0,6\%$, $O_i = 8,6\%$, $A_i = 25,2\%$ va $W_i = 32,0\%$. Agar yoqilg'ining o'txonaga kirishidagi harorati $t = 20$ °C, yoqilg'ining natural sarfi $V = 4$ kg/s, o'ta qizigan bug'ning bosimi $P = 4$ MPa, O'QB harorati $t_{o,OB} = 450$ °C, iste'mol suvining harorati $t_s = 150$ °C. To'xtovsiz

purkash kattaligi $R=4\%$, 1 kg yoqilg'ini yoqish uchun kerakli havoning nazariy hajmi $V^m=2,94$ m³/kg, oxirgi gaz yo'lidan chiqib ketayotgan gazlarning hajmi $V_{chiq} = 4,86$ m³/kg, oxirgi gaz yo'lidan chiqib ketayotgan gazlarning harorati $t_{q,chiq} = 160$ °C, doimiy bosimda gazlarning o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imi $C_{p,av}^1 = 1,415$ kJ/m³ °S, havoning ortiqchalik koefitsienti $\alpha_{chiq} = 1,48$, qozonxonadagi havoning harorati $t_h = 30$ °S, doimiy bosimda havoning o'rtacha issiqlik sig'imi $C_{p_h}^1 = 1,297$ kJ/m³ °S, chiqib ketayotgan gazlardagi uglerod oksidining miqdori $CO=0,2\%$ va uch atomli gazlarning miqdori $RO_2=16,6\%$ yoqilg'ining mexanik noto'liq yonishida issiqlikning yo'qolishi $q_1 = 4\%$ bo'lsa, shlakning fizik issiqligi orqali issiqlik yo'qolishini hisobga olmagan holda qozon qurilmasining issiqlik balansini tuzing.

Yechish: Ishchi massaviy yoqilg'ining quyi yonish issiqligini (299) ifodadan aniqlaymiz:

$$Q_k^1 = 338 C^1 + 1025 H^1 - 108,5 (O^1 - C^1) - 25 W^1 = 338 \cdot 28,7 + 1025 \cdot 2,2 - 108,5(8,6 - 2,7) - 25 \cdot 32 = 10516 \text{ kJ/kg}$$

Ishchi massaviy yoqilg'ining issiqlik sig'imini (292) ifodadan aniqlaymiz:

$$c^1 = c^1_{H_2O} \frac{(100 - W^1)}{100} + s_{H_2O} \frac{W^1}{100} = 1,088 \frac{(100 - 32)}{100} + 4,19 \frac{32}{100} = 2,08 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ C$$

Yoqilg'ining fizik issiqligini (291) ifodadan aniqlaymiz:

$$Q_{yiq} = c^1_{yiq} \cdot t = 2,08 \cdot 20 = 41,6 \text{ kJ/kg}$$

Mavjud issiqlikni (290) ifodadan aniqlaymiz:

$$Q_f^1 = Q_k^1 + Q_{yiq} = 10516 + 41,6 = 10557,6 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_1 = \frac{D_{o,OB}}{B} [(h_{o,OB} - h_{ic}) + \frac{P}{100} (h_{oc} - h_{ic})] = \left(\frac{13,4}{4} \right) (5330 - 632) + \left(\frac{4}{100} \right) (1087,5 - 632) = 3099 \text{ kJ/kg}$$

$D_{o,OB} = D$, chunki to'yingan bug'ning olinishi yo'q. Bug'ning entalpiyasini h-s diagrammadan $h_{o,OB} = 3330$ kJ/kg, iste'mol va qozon suvining entalpiyasini 2,3 jadvaldan (ilovaga qarang) $h_{ic} = hF = 632$ kJ/kg, $h_{ic} = hF = 1087,5$ kJ/kg

Chiqib ketayotgan gazlar orqali issiqlikning yo'qolishi

$$Q_2 = (V_{\text{chiq}} S_{\text{reliq}} q_{\text{chiq}} - a_{\text{chiq}} V^0 S_{\text{px}} i_{\text{u}}) (100 - q_4) / 100 = (4,86 \cdot 1,415 \cdot 160 - 1,48 \cdot 2,94 \cdot 1,297 \cdot 30) (100 - 4) / 100 = 891 \text{ kJ/kg}$$

Yoqilg'i to'liq yonmaganda issiqlikning yo'qolishi (300) ifodadan

$$Q_3 = 237(C^i + 0,375 H^i C) CO / (RO_2 + CO) = 237(28,7 + 0,375 \cdot 2,7) \cdot 0,2 / (16,6 + 0,2) = 83 \text{ kJ/kg}$$

Yoqilg'i mexanik to'liq yonmaganda issiqlikning yo'qolishi:

$$q_4 = \left(\frac{Q_4}{Q_r} \right) 100 = 4 \cdot 10557 / 100 = 422,3 \text{ kJ/kg}$$

Atrof-muhitga issiqlikning yo'qolishi (302)

$$Q_5 = Q_1 - (Q_2 + Q_3 + Q_4) = 10557,6 - (9099 + 891 + 83 + 422,3) = 62,3 \text{ kJ/kg}$$

Issiqlik balansini tashkil etuvchilar

$$q_1 = \left(\frac{Q_1}{Q_r} \right) 100 = \left(\frac{9099}{10557,6} \right) 100 = 86,2\%$$

$$q_2 = \left(\frac{Q_2}{Q_r} \right) 100 = \left(\frac{891}{10557,6} \right) 100 = 8,4\%$$

$$q_3 = \left(\frac{Q_3}{Q_r} \right) 100 = \left(\frac{83}{10557,6} \right) 100 = 0,8\%$$

$$q_4 = \left(\frac{Q_4}{Q_r} \right) 100 = \left(\frac{63}{10557,6} \right) 100 = 0,6\%$$

Qozon agregatining issiqlik balansini

$$Q_1^j = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 9099 + 891 + 83 + 422,3 + 62,3 = 10557,6 \text{ kJ/kg}$$

yoki

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 86,2 + 8,4 + 0,8 + 4 + 0,6 = 100\%$$

2. Qozon agregatining unumdorligi $D = 5,45 \text{ kg/s}$, yoqilg'ining natu-

ral sarfi $V = 0,64 \text{ kg/s}$, o'ta qizigan bug'ning bosimi $R_{\text{qozon}} = 1,3 \text{ MPa}$ va harorati $t_{\text{qozon}} = 275 \text{ }^\circ\text{C}$, iste'mol suvining harorati $t_{\text{su}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ va to'xtovsiz purkash kattaligi $R = 3\%$ bo'lganda, foydali ishlatilgan issiqlikni aniqlang.
Javob: $Q_1 = 21996 \text{ kJ/kg}$

3. Unumdorligi $D = 5,6$ qozon qurilmasining o'txonasida aban B2 markali ko'mir yondiriladi. Uning tarkibi: $C^i = 41,5\%$, $N^i = 2,9\%$, $S^i = 0,4\%$, $H^i = 0,6\%$, $O^i = 13,1\%$; $A^i = 8,0\%$ va $W^i = 33,5\%$. Agar yoqilg'ining natural sarfi $B = 1,12 \text{ kg/s}$, o'ta qizigan bug'ning bosimi $P_{\text{qozon}} = 4 \text{ MPa}$ va harorati $t_{\text{qozon}} = 400 \text{ }^\circ\text{C}$, iste'mol suvining harorati $t_{\text{su}} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$ va to'xtovsiz purkash kattaligi $P = 3\%$ va yoqilg'ining o'txonaga kirishdagi harorati $t_{\text{su}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ bo'lsa, qozon qurilmasida foydali ishlatilgan issiqlikning foizli qiymatini aniqlang.
Javob: $q_1 = 91\%$.

Nazorat savollari

1. Bug' qozonining asosiy vazifasi nimadan iborat?
2. Issiqlik elektr stansiyalarida ishlatiladigan bug' qozonlarining turlarini aytib bering.
3. Bug' qozonining ekonomayzeri nimaga xizmat qiladi?
4. Bug' qizdirgich bug' qozonining qaysi qismida joylashgan?
5. Yoqilg'ining yonish jarayoni bug' qozonining qaysi qismida amalga oshiriladi?

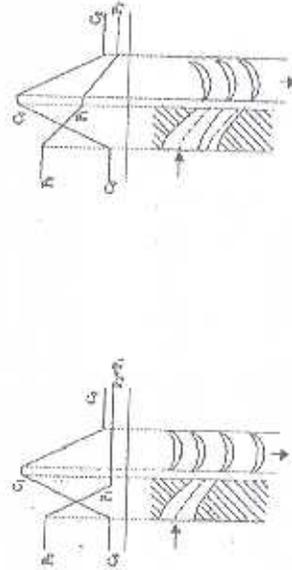
XXI BOB. BUG' TURBINALARI

69-§. Bug' turbinalari va ularning ishlash prinsiplari

Bizga ma'lumki, elektr energiya 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 energiyasi 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 energiyaga, ikkinchisi — kinetik energiyani mexanik energiyaga aylantirib beradi. Turbina stator va rotor qismlariga bo'linadi. Stator bu — qo'zg'almas qism bo'lib, unda soploda yo'naltiruvchi parraklar, taqsimlovchi drossel qurilma, tezliklar regulyatori, podshipniklar, reduktor, moy nasosi va boshqalar joylashgan. Rotor bu — qo'zg'aluvchan qism bo'lib, unda val disk bilan birga qo'yilgan bo'lib ishchi parraklar esa unga o'rnatilgan.

Turbina ikki turga bo'linadi:

- 1) aktiv turbina;
- 2) reaktiv turbina.



65-rasm. a) aktiv turbina; b) reaktiv turbina

Aktiv turbinalarda hamma ishlatishi mumkin bo'lgan issiqlik soploda amalga oshadi, ya'ni soploda bosim oxirgi bosimgacha kamayadi, ishchi parraklarda esa o'zgartirilmaydi. Tezlik soploda ortadi, so'ngra parraklarda sokin-asa kamayadi (65,a-rasm).

Reaktiv turbinalarda esa ishlatish mumkin bo'lgan issiqlikning bir qismi soploda, qolgan qismi esa ishchi parraklarda amalga oshiriladi (65,b-rasm).

Aktiv turbinaning ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz. Bug' qozonida suvning qaynashi natijasida hosil bo'lgan o'ta qizigan bug' bug' xarakatlanuvchi quvurlar yordamida bug'ni taqsimlovchi drossel qurilma (drossel klapani)ga kelib tushadi. U yerdan bug' turbinaning asosiy elementi bo'lgan soploda kelib tushib, bu 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 — Po soplodan chiqayotgan bug'ning bosimi — P₁ tezligi esa C₁ 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.

64-rasmda uchta tezlik pog'onasiga ega bulgan aktiv turbinaning chizma tasviri keltirilgan. Bug' P₁ bosim bilan soploda yuboriladi. Bu yerda uning potensial energiyasi kinetik energiyaga aylantiriladi. C₁ tezlik bilan soplodan chiqib, bug' birinchi qator ishchi parraklarga kelib tushadi, bu yerda uning kinetik energiyasi ishga aylanadi. Shunda uning yo'nalishi o'zgaradi. C₂ tezlik bilan birinchi pog'ona ishchi parraklaridan chiqib, bug' birinchi qator yo'naltiruvchi parraklarga kelib tushib, o'z 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.

70-§. Parraklardagi ishchi jarayon

Soplodan oqib chiqayotgan bug' oqimi ishchi parraklar aylanayotgan disk yuzasiga qandaydir burchak ostida yo'naladi. Bunda ishchi parraklarga bug' oqimining qattiq urilmasdan kirib kelishi, ishchi parrakka kirib kelishdagi nisbiy tezlik parrakning kirishi yuzasiga urinma bo'lib yo'naladi. Ko'rib chiqilayotgan turbinaning parraklaridagi ishchi jarayon yoki kirish va chiqish tezliklar uchburchaklari 64-rasmida ko'rsatilgan.

Bug' soplodan ishchi parraklarning birinchi qatoriga C₂ mutlaq tezlik bilan α₂ burchak ostida kirib keladi, ishchi parrakning birinchi qatoriga kirishdagi nisbiy tezligi — C₂ tezlik bilan chiqib bug' yo'naltiruvchi parraklarning birinchi qatoriga tushadi. Yo'naltiruvchi parraklar qo'zg'almas bo'lgani uchun bug' u yerda ish bajarmaydi, faqat yo'nalishini

o'zgartiradi. Bug'ning yo'qolishi hosil bo'lgani uchun uning tezligi birmuncha kamayadi. Ikkinchi va uchinchi qator ishchi parraklarning tezliklar uchburchagini qurish xuddi shu tarzda olib boriladi. Diskda uchta pog'ona qo'llanishi bug' chiqish tezligining yo'qolishini pasaytiradi va valning aylanishlar sonini kamaytiradi.

71-§. Turbina diskining aylanishi tezligi

Bug'ning kinetik energiyasini to'liq ishlatish uchun aktiv turbina parrigidan harakat tezligi bug' oqimining tezligidan ikki marotaba kichik bo'lishi kerak, ya'ni

$$C_1 = 2 U \text{ yoki } U/C_1 = 1/2 = 0,5 U$$

bu yerda C_1 — bug'ning tezligi;

U — aylana bo'yicha parrakning tezligi;

d_{or} — parrakning o'rtasidagi aylana diametri;

n — valning aylanishlar soni;

Shunday qilib, aylanma tezlik nazariy jihatdan bug' oqimi absolyut tezligining yarmiga teng bo'lishi kerak. Ikki pog'onalikda ikki marra kichik, uch pog'onalikda esa uch marotaba kichik bo'ladi. Bunday holatning matematik yechimi topib beriladi. U/C_1 nisbatni qo'llamaslik FIKni pasaytiradi. Umumiy holatda $U/C_1 = 1/2Z$ ifodasi qo'llaniladi. Bu ifodada: Z — ko'rib chiqilayotgan turbinaning pog'onalar soni.

Ko'rib chiqilayotgan turbina uchun $U/C_1 = 1/2Z$; $U/C_1 = 1/U = 0,166$ bo'ladi. Yo'qolishlarni hisobga olgan holda $U/C_1 = 0,15$ bo'ladi.

Demak, ko'rib chiqilayotgan tezligi uch pog'onada o'zgaruvchi aktiv bug' turbinaning kinetik energiyasini aniqlashda aylanma tezlik oqim tezligidan olti marotaba kichik bo'lishi kerak. Bunda valning aylanishlar soni 8250 ayl/min dan oshib ketadi. Zamonaviy generator, nasoslar 3000 ayl/min ni qabul qila oladi. Shu bois valning aylanishlar sonini kamaytirish uchun reduktor o'rnatiladi.

72-§. h-s diagrammada aktiv bug' turbinasining ishchi jarayoni

Turbinadagi ishchi jarayon bir qancha yo'qolishlar bilan ro'y beradi. Buning asosiy sababi mexanik ish hosil qilishda issiqlik energiyasi ko'proq ishlatiladi. Yo'qolishlar quyidagi turlarga bo'linadi.

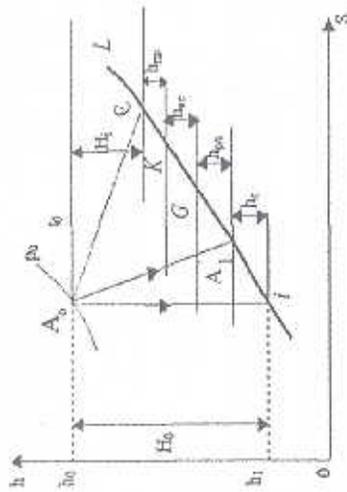
I. Soplodagi yo'qolish bug' zarrachalari ishqlanish tufayli soploning devorlariga urilishi natijasida yuzaga keladi. Undan tashqari bug'ning soplodan oqib chiqishi zarrachalarning tartibsiz harakati hisobiga bo'ladi. Buning natijasida soplodan oqib chiquvchi bug'ning absolyut tezligi

nazariyasidan kichik bo'ladi. Soplodagi yo'qolish kerak bo'ladigan issiqlik tushishining 10% ni tashkil etadi.

II. Ishchi parraklardagi yo'qolishlar — bug' zarrachalari parraklarning oldingi qismiga urilishi natijasida yuzaga keladi. Bu 15-20% ni tashkil etadi.

III. Bug' chiqishidagi yo'qolishlar — yo'qolishlar bug' turbinadan chiqishda ham oz miqdorda bo'lsa ham absolyut tezlikka ega bo'ladi. Bu kinetik energiyadir. Bu energiya hech qayerda ishlatilmaydi, shuni hisobga u 2 — 4% ni tashkil etadi.

IV. Ventilatsion yo'qolishlar va bug'ning diskka ishqlanishidagi yo'qolishlar



66-rasm. Aktiv pog'onadagi jarayonning h-s diagrammasi

Turbinaning birinchi pog'onasida bug'ning solishtirma hajmi hali katta bo'lmaganda ventilatsion yo'qolishlar hosil bo'ladi. Bu bug'ning kirishi disk aylanasiga bo'ylab emas, balki bir qismiga berish hisobiga bo'ladi.

Bug'ning diskka ishqlanishi hisobiga bo'ladigan yo'qolishlar. Disk aylanishi natijasida uning yuzasiga yopishgan bug' zarrachalarini o'zi bilan olib ketadi, bunga esa energiya sarflanadi.

Bug'ning turbinaga kirishi va chiqishida atrof-muhitga yo'qolishlar mavjud. Sanab o'tilgan yo'qolishlar turbinaning nisbiy foydali ish koeffitsientida e'tiborga olinadi. Bu quyidagicha belgilanadi — η_{oe} .

Ishchi jarayon h-s diagrammada keltirilgan.

Bunda H_0 — turbina ishlatishi uchun kerak bo'lgan issiqlik tushishi.

H_0 — soplodan oldingi issiqlik tushishi.

Kengayish jarayoni A_0, A_0' egri chizig'i bilan ko'rsatilgan turbinada ishlatilgan issiqlik tushishi A_0, L adiabat bilan chizilgan

XXII BOB. ICHKI YONUV DVGATELLARI NAZARIYASI

73-§. Ichki yonuv dvigatellari haqida tushuncha

Ichki yonuv dvigatellari avtomobillarda, samolyotlarda, tanklarda, traktorlarda, motorli qayiqlar va boshqalarda o'rnatiladi.

To'rt taktli benzinda ishlaydigan dvigatelni ko'rib chiqamiz: ichki yonuv dvigateling asosiy qismi — 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 ishlatib bo'lgan gazlarni chiqarib yuborishga xizmat qiladi. Klapanlar po'latli sterjenlar harakati tufayli ochiladi. Klapanlardan tashqari silindrning yuqori qismida svecha joylashgan. U aralashma elektr uchquni yordamida yonishga xizmat qiladi.

Benzinli ichki yonuv dvigatellarida yonuvchi aralashma hosil qiluvchi asosiy qismi karburator hisoblanadi. Dvigateling ish bajarishi 4 ta taktidan iboratdir.

I takt — so'rish. So'ruvchi klapan ochilib, porshen pastga qarab harakatlanishi davomida yonuvchi aralashma karburatoridan silindrga o'tadi.

II takt — siqilish. So'ruvchi klapan yopilishi bilan porshenning yuqoriga xarakatlanishi tufayli aralashma siqiladi.

III takt — yonish. Porshen eng yuqori holatga o'tganda aralashma svecha orqali beriladigan elektr uchquni yordamida yoqiladi. Shuning hisobiga bosim ko'tarilganligi tufayli kuch porshenni yana pastga itaradi. Bu harakat tirsakli valga beriladi, shuning natijasida ish bajariladi. Ish bajarilishi hisobiga yoqilg'i mahsulotlari soviydi va pasayib bosim atmosfera bosimigacha yetib keladi.

IV takt — chiqarib yuborish. Chiqarib yuboruvchi klapan ochilib ishlatib bo'lingan gazlar tashqi muhliga glushitel orqali chiqarib yuboriladi. Yuqorida keltirilgan taktlardan uchinchisi ishchi takt hisoblanadi.

74-§. Dizel dvigateling tuzilishi

Bizga ma'lumki, ichki yonuv dvigatellarining foydali ish ko'effitsientini oshirish uchun siqilish darajasini oshirishimiz zarur bo'ladi. Siqilish yuqori bo'lganda yonuvchi aralashma kuchliroq isiydi va yoqilg'i yonishida

Issiqlik yo'qotishlarining yig'indisi $A_1 + L$ chizig'i bilan ko'rsatilgan.

- 1) A_1, A_2 — soplodagi yo'qotishlar (h_1)
- 2) CE — I qator ishchi parraklardagi yo'qotishlar. (h_1)
- 3) GE, EG — I qator yo'naltiruvchi parraklardagi yo'qotishlar (h_{yot})
- 4) GE — II qator ishchi parraklardagi yo'qotishlar. (h_u)
- 5) E, G_1 — II qator yo'naltiruvchi parraklardagi yo'qotishlar (h_{yot})
- 6) G_2, E_2 — III qator ishchi parraklardagi yo'qotishlar (h_u)
- 7) EK — ventilyatsion va ishqalanishdagi yo'qotishlar ($h_{v, shq}$)
- 8) E — chiqishdagi tezlik bilan yo'qotishlar (h_{ch})

Turbinada ishlatilgan issiqlik tushishi H_1 ning H_0 ga nisbati ichki nisbiy FIK, deyiladi va η_{oi} deb belgilanadi. $\eta_{oi} = H_1 / H_0$

η_{oi} — har bir turbina ishlashida issiqlikning qancha qismi mexanik ishga aylanishini ifodalaydi. Past bosimli turbinalarda $\eta_{oi} = 0,6-0,93$ atrofida bo'ladi.

Turbinaning validagi quvvat turbina ichidagi quvvatga qaraganda kichik bo'ladi. Bu podshipniklar ishqalanishi nasoslar ishlashi tufayli yuzaga keladi. Bu esa mexanik FIK bilan tavsiflanadi va η_{m} deb belgilanadi.

$\eta_{m} = 0,92-0,93$.

Turbinaning nisbiy effektiv FIK:

$$\eta_{oe} = \eta_{oi} * \eta_m$$

quvvati kichik bo'lgan turbinalarda $\eta_{oe} = 0,55-0,65$ bo'ladi.

Nazorat savollari

1. Turbinaning vazifasi nimadan iborat?
2. Turbinaning qo'zg'almas qismida qanday elementlar joylashgan?
3. Turbinaning soplasi qanday vazifani o'taydi?
4. Nima uchun turbina rotoridagi parraklarning diametri ketma-ket ortib boradi?
5. Aktiv va reaktiv turbinalarda jarayonlarni so'zlab bering.
6. H-s diagrammasida issiqlik yo'qotishlarini ko'rsating?

harorat yuqori bo'ladi. Siqilish darajasini oshirish esa dvigatel detallari detonatsiyasi (darz ketishi)ga olib keladi. Ana shunday kamchilik XIX asr oxirida R. Dizel tomonidan tuzilgan dvigatelda bartaraf qilingan. Dizel dvigatelida yonuvchi aralashma emas, balki toza havo siqiladi. Siqilish 11-12 marotaba olib boriladi, bunda havoning harorati 500-600°C gacha ko'rariladi. Siqilish jarayoni tugashi bilan silindrga forsunka orqali suyuq yoqilg'i purkaladi. Silindrdagi siqilgan havoning yuqori harorati tufayli yonish jarayoni hosil bo'ladi. Yoqilg'ining yonishi jarayoni avtomobil dvigatellariga qaraganda uzoqroq davom etadi. Porshen pastiga qarab harakatlanadi va ish bajaradi. So'ngra ishlatib bo'lingan gazlar atrof-muhitga chiqarib yuboriladi.

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

75-§. Gaz taqsimlash mexanizmining tuzilishi, ishlashi, vazifasi va konstruktiv xususiyatlari

Gaz taqsimlash mexanizmi silindrga so'rish taktida yonuvchi aralashma (karbyuratorli va gazli dvigatellarda) yoki havo (dizellarda) kiritish, siqish va ish taktlarida esa silindrni tashqi muhitdan cheklab qo'yish hamda chiqarish taktida ishlatilgan gazlarni tashqi muhitga chiqarib yuborish uchun xizmat qiladi. Avtomobil dvigatellariga asosan klapanli gaz taqsimlash mexanizmi o'rnatiladi.

To'rt taktli avtomobil dvigatellarida klapanlari pastda (silindr blokining yon tomonida) yoki yuqorida (tsilindr kallagida) joylashgan gaz taqsimlash mexanizm turlari ishlatiladi. Klapanlari pastda joylashgan gaz taqsimlash mexanizmining asosiy konstruktiv xususiyati silindrlar blokida joylashganligidadir. Klapanlari yuqoriga joylashgan gaz taqsimlash mexanizmidagi esa klapanlar silindrlar kallagida bo'ladi.

Yonuvchi aralashma yoki havoni silindrga uzatib boruvchi klapanlar kirituvchi, ishlatilgan gazlarni silindrdan tashqariga chiqaruvchilari esa chiqaruvchi klapanlar deyiladi. Har bir silindrdagi asosan bitta kiritish va bitta chiqarish klapani bo'lib, taqsimlash valining mushkchalari soni shu klapanlar soniga teng bo'ladi. Masalan, to'rt silindrli dvigatelda 8 ta, olti silindrli dvigatelda esa 12 ta klapan bor.

To'rt taktli dvigatelning ish sikli davomida uning tirsakli valini ikki marta aylanganda har bir klapan bir martadan ochilishi lozim. Demak,

tirsakli val ikki marta aylanganda dvigatelning taqsimlash valini bir marta aylantiradi. Shuning uchun ular orasidagi uzatmalar soni 1/2 ga teng.

Klapanlar og'ir ish sharoitlarida ishlaydi (ishlatilgan gazlarni silindrdan tashqariga chiqarish shunday sharoitdir). Bu paytda chiqarish klapanlarining kallagi karbyuratorli dvigatellarda 800...850°C gacha, dizellarda esa 500...600°C gacha qiziydi. Bunday katta harorat chiqarish klapani kallagi ish faskasining kuyishiga, qiyshayishiga va qurum hosil bo'lishiga olib keladi. Kiritish klapanlari esa chiqarish klapanlariga nisbatan ancha yengil sharoitda ishlaydi. Shuning uchun kiritish klapanlarining kallagi chiqarish klapanlarining kallagiga nisbatan ikki marta kam qiziydi. Kiritish klapani xromli po'latdan, chiqarish klapanlari esa issiqbardosh po'lat sinxromdan tayyorlanadi. Ba'zan issiqbardosh po'lat sinxrom faqat chiqarish klapanlari kallagini tayyorlash uchun ishlatiladi, o'zaklari esa xromli po'latdan tayyorlanib, so'ngra bu qismlar payvandlanadi.

76-§. Sovitish tizimlarining vazifasi va ularning tasnifi

Sovitish tizimi dvigatelning qizigan detallaridan issiqlikni majburan tashqi muhitga tarqatib, uning kerakli issiqlik maromida ishlashini ta'minlaydi. Dvigatelda ish siklining o'rtacha harorati 1070... 1270 K (800...1000°C). Bunday haroratda krivoship-shatunli va gaz taqsimlash mexanizmining detallari qizib ketadi, ishqalanuvchi yuzalar orasida moy quyib ishqalanish haddan tashqari oshib ketadi. Natijada porshen haddan tashqari kengayib, silindr ichida tiqilib qoladi, podshipniklar esa erib ketishi mumkin. Shu sababli dvigatelning qizigan detallaridan issiqlikni uzluksiz ravishda tashqi muhitga tarqatib turish lozim. Lekin dvigatel haddan tashqari sovutib yuborilsa ham issiqlik energiyasi bekorga sarf bo'ladi. Moy quyulashib, ishqalanishga sarflanadigan quvvat oshadi. Bundan tashqari, yonuvchi aralashma qisman tomehiga aylanib, silindrlar devoridagi moyni yuvib tushiradi. Natijada silindr-porshen guruhiga kiruvchi detallarning yeyilishi ortadi.

Demak, dvigatelning juda qizib ketishi yoki haddan tashqari sovib qolishi uning foydali quvvatini kamaytirib, tejamkorligini yomonlashtiradi. Sovitish tizimi esa dvigatelning ishlashi uchun qulay bo'lgan issiqlik maromini belgilangan holda saqlab turadi.

77-§. Sovitish suyuqliklari

Sovitish suyuqligi sifatida asosan suv ishlatiladi. Chunki u issiqlikni o'ziga tez qabul qiladi va tarqatadi, arzon va yetarli miqdorda bo'ladi.

Lekin sovitish tarmog'ida qaynagan suvning quyqasi cho'kib, suv g'iloifi devorlarida tuz qatlami paydo bo'ladi. Natijada silindrlar blokining issiqlik o'tkazish qobiliyati sustlashadi, suv g'illoflarining devorlari zanglash natijasida yemiriladi. Suv qishda muzlab, dvigatelning devorlarini darz ketkazishi yoki yorib yuborishi mumkin. Shuning uchun sovituvechi suyuqlik sifatida yuqorida ayrib o'tilgan kamchiliklardan holi bo'lgan antifrız keng qo'llanilmoqda. Antifrızning ikki xili ishlab chiqariladi. Antifrız M-40: 47 foiz suv, 53 foiz etilenglikol (muzlash harorati 233K) (-40°C); antifrız M-65: 34 foiz suv, 66 foiz etilenglikol (muzlash harorati 207K) (66°C). Antifrız kishi organizmi uchun zaharli. Uning issiqlik sig'imi suvnikiga nisbatan ancha kam. Shuning uchun sovituvechi suyuqlik sifatida antifrız qo'llanilganda tizimning issiqlik tarqatish qobiliyati suv bilan sovitilgandagiga nisbatan past. Natijada silindrlar devorining harorati 15 ... 20°C ga ortiqroq qiziydi. Shu sababli antifrızning issik kunda qo'llanilishi ba'zan dvigatelni haddan tashqari qizdirib yuboradi. Yuqorida aytilgan sabablarga ko'ra sovituvechi suyuqlik sifatida qish davrida antifrız va yoz kunlarida toza yumshoq suv ishlatish maqsadga muvofiq. Tizimda ishlatish uchun yomg'ir yoki qor suvi tavsiya qilinadi. Chunki bu suv yumshoqlik xususiyatiga ega. Bu maqsadda quduq, bulok yoki dengiz suvini ishlatish yaramaydi. Daryo va ko'l suvlarini yumshatish uchun bu suvlar 30...40 minut qaynatiladi va sovitish tarmog'iga quyishdan avval besh-olti qavat dokadan o'tkazib tozalanadi.

78-§. Suyuqlik bilan sovitish tarmog'ining tuzilishi

Radiator dvigatel blokida qizigan sovitish suyuqligining issiqligini havo oqimi ta'sirida tashqi muhitga tarqatib, haroratini pasaytirish uchun xizmat qiladi. U yuqori va pastki bakchalar, o'zak panjaralar va mahkamlovchi detallardan iborat. Suyuqlik yuqori bakchening bo'g'zidan quyiladi. Bo'g'iz qopqoq bilan jips berkitiladi. Qopqoqqa bug' o'tkazish naychasi, bug' havo klapanlari o'rnatilgan bo'lib, radiatorning ichki hajmi tashqi muhit bilan shu klapanlar orqali tutashadi. Radiator o'zaklarining turlari naychali, plastinkali yoki asalari imisimon panjarali bo'lishi mumkin.

Termostat — sovuq dvigatelni qizdirishni tezlatib, sovitish g'illofidan suyuqlikning maqbul haroratini o'z-o'zidan roslab, uning belgilangan haroratini ta'minlab turish uchun xizmat qiladi. Qo'llaniladigan termostatlar ikki xil bo'ladi: suyuqlik (ZMZ) yoki qartiq (ZIL-130) to'ldirgichli termostatlar. Suyuqlik termostatlari balloni yuqqa jezdan yo'l-yo'l qilib silindr shaklida yasalgan bo'lib, ballon ichiga tez bug'lanadigan suyuq efir yoki etil spiritning suvli eritmasi quyiladi. Ballon

termostatning korpusi uning yuqori qismiga klapan turgani ikki uchi bukik jez changak bilan birga kavsharlangan. Dvigatel yurgizilganda g'illofdagi suyuqlikning harorati 343°K (70°C) dan past bo'lganligi sababli termostat klapani yopiq bo'lib, g'illofdagi suyuqlik o'tkazuvchi 9 teshikcha orqali suv nasosiga qaytadi. Bunda suyuqlik kichik doira bo'yicha aylanishi sababli tez qiziydi. Natijada dvigatelning qizishi ancha tezlashadi. Sovituvechi g'illofdagi suyuqlik harorati 343...348 K (70...75°C) gacha gacha ko'tarilib, termostat ballondagi aralashma bug'larini kengaytiradi. Natijada ballon uzavadi va uning klapani qisman ko'tarilib, suyuqlikning ma'lum miqdori radiatorga, ma'lum miqdori esa suv nasosiga o'ta boshlaydi. Keyinchalik suyuqlikning harorati 365 K (90°C) ga yetishi bilan klapan to'liq ochiladi, suyuqlik asosan radiatorga yuboriladi.

79-§. Havo bilan sovitish tarmog'i

Havo bilan sovutiladigan avtomobil dvigatellarida asosan havo oqimini majburiy yo'naltirish usuli qo'llaniladi. Dvigatelning silindr va kallaklaridan issiqlik tarqatishni tezlatish maqsadida ularning tashqi devorlariga qovurg'alar yasalgan. Bu hol dvigatelning umumiy joylanishiga va uning ba'zi qismlarining konstruksiyasiga ta'sir etadi.

Havo bilan sovutiluvchi avtomobil dvigatellarining yaxshi sovutilishi havo oqimining tezligiga, bu oqimning silindr va kallak atrofidan aylanib o'tishiga bog'liq.

80-§. Moylash tarmog'i va uning vazifalari

Dvigatel detallarining katta yuklanishlarda ishqalanib ishlashi ularning yeyilishiga va qizishiga olib keladi. Shuning uchun dvigatelning ishqalanuvchi detal yuzalariga uzluksiz ravishda moy yuborib turish zarur. Bu vazifani dvigatellarda moylash tarmog'i bajaradi.

Moylash tarmog'i dvigatel ishlayotganda uning ishqalanuvchi yuzalariga kerakli miqdorda moy yetkazib beradi. Natijada ishqalanuvchi sirtlar qisman soviydi, ishqalanishi va yeyilishi kamayadi hamda detallarning yeyilishiga sababchi moyga yopishgan yeyilgan zarrachalar moy bilan birga klapan tubiga tushadi va bu moy keyin kayta tozalanadi.

Moy quyish naychasi orqali moy klapan tubiga tushadi. Klapan tubidagi moy sathi sath o'lchagich dastagi bilan o'lchanadi. Ishlatilgan moyni chiqarib tashlash uchun klapan tubiga tiqin kirgizilgan. Odatda klapan tubining eng pastki qismida moy nasosining moy qabul qilgichi joylashadi. Moy nasos yordamida dag'al filtdan o'tib, asosiy moy kanaliga boradi.

Dvigatel sovuqligida yoki uning tirsakli vali juda katta aylanishlarda ishlaganda tarmoqdagi moy bosimi juda ko'tarilib, moylash tarmog'i naychalarini yorib yuborishi mumkin. Buning oldini olish va tarmoqqa moy belgilangan bosim ostida borib turishi uchun nasosning pastki qismiga qaytarish (reduksion) klapan o'rnatilgan, u tarmoqqa oshiqcha o'tayotgan moyning bir qismini karter tubiga qaytarib, moy bosimini bir me'yorda ushlab turadi. Dag'al filtrning ifloslanishi natijasida uning moy o'tishiga bo'lgan qarshiligi oshib ketadi yoki moyni asosiy moy kanallariga butunlay o'tkazmay qo'yadi. Bu paytda moy o'tkazish klapani orqali asosiy moy yo'lga o'tadi. Ba'zi hollarda mayin filtrga saqlagich klapani o'rnatilishi mumkin. Moy asosiy moy yo'li orqali bloktdagi moy teshiklaridan chiqib, tirsakli valning uzak bo'yinlari va taqsimlash valining podshipniklariga o'tadi. Bloktdagi tik joylashgan tuynuq yoki moy naychasi orqali moy koromiso o'qiga yuboriladi. Koromisdagi moy yo'li orqali moy klapan o'zagining tubi va shtangaga oqib tushadi. Shatun podshipnigiga moy o'zak bo'ynidan tutashiruvchi moy yo'li orqali bosim ostida o'tadi. Ba'zi dvigatellarda porshen barmog'iga moy shatun o'zagidagi moy yo'li orqali bosim ostida yuboriladi.

81-§. Ishlatiladigan moylar

Dvigatel detallarini moylash uchun ishlatiladigan moylar mazutni qayta haydash yo'li bilan olinadi va ular erigan aralashmalardan tozalangan moylar deb ataladi.

Ishlatiladigan moyning moylash xususiyati ishqalanuvchi detallarning yuzalarida yupqa moy pardasi yoki ishqalanish paytida bo'rtib chiqmaydigan oksidlar pardasining hosil bo'lishidan iborat. Bu moy pardasi ishqalanuvchi detallarning bir-biriga bevosita tegib turishiga, yeyilish zarrachalarining ishqalanuvchi yuzalarga payvandlanib qolishiga va detallarning tez yeyilishiga yo'l qo'ymaydi. Bu pardalar 100°C gacha issiqlikda ham qovushoqligini va moylash xususiyatini saqlab qolishi lozim. Bundan tashqari, moy ishqalanuvchi detallar qizigan yuzalarining issiqligini o'ziga olib, ularni sovitish xususiyatiga ham ega bo'lishi kerak. Moyning qovushoqligi, oksidlanishga chidamliligini oshirish, zanglamaslik va yuvib ketish hodisalarini yaxshilash, shuningdek, yuqori haroratda suyulmaydigan bo'lishi uchun unga 3...14 foiz har xil tarkibli murakkab qo'shimma qo'shildi. Odatda quyidagi ko'p tarkibli (AZNI-1, PSS-200 A, VNIINM-360 va boshqalar) moylar ishlatiladi. Karbyuratorli dvigatellar uchun ishlatiladigan moyning belgisi AS-8 yoki AS-10 (GOST-10514-61). Belgidagi A harfi moyning avtomobil moyi ekanligini, C

harfi selektiv usulda tozalanganligini, 8 raqami esa moyning 373 K (100°C) dagi qovushoqligini bildiradi. Raqam qancha katta bulsa, moyning qovushoqligi shuncha yuqori bo'ladi. Sovuq iqlimda ishlaydigan dvigatellarda qovushoqligi 8 va undan past, issiq iqlimda ishlaydigan dvigatellarda esa qovushoqligi 10 va undan yuqori belgili moylar ishlatiladi.

Yengil avtomobil dvigatellari uchun sifati yuqori moylar ishlatiladi: MIG №8, M8G №9 va M10G №10 (TU-38-1-63). Bulardan M10G №10 barcha iqlim sharoitlariga, M12G №8 issiq sharoitga va M8G №9 sovuq sharoitga mo'ljallangan.

Dizel dvigatellari uchun maxsus yuqori sifatti moylar ishlatiladi. Masalan, YaMZ-236 va YaMZ-238 dizellari uchun qishda DS-8, yozda esa DS-11 (GOST-8581-61) moylari ishlatiladi. Avtomobilning boshqa mexanizm va ishqalanuvchi detallari uchun boshqa turli moylar ishlatiladi.

Nazorat savollari

1. Ichki yonuv dvigatellardagi sovitish usulini tushuntirib bering.
2. Dizel dvigatellari bilan yengil avtomobil dvigatellarida bir xil jarayon sodir bo'ladimi?
3. Ichki dvigatellarni moylash usulini so'zlab bering.
4. To'rt takli dvigatellarning ishlash uslubini aytib bering.
5. Dvigatelni sovitish nima?
6. Dvigatelda gazning taqsimlanishi qanday?

Tayanch iboralar

- Holat parametrlari — ishchi jism holatining o'zgarishi;
Holat tenglamasi — termik parametrlarning bog'lanish ifodasi;
Termodinamik sistema — o'zaro va atrof-muhit bilan issiqlik almashinadigan jismlar majmuasi;
Issiqlik sig'imi — jismga qancha miqdorda issiqlik berilishi;
Issiqlik miqdori — energiyaning issiqlik usulida uzatilishi;
Ish — energiyaning ish usulida uzatilishi;
Termodinamikaning I-qonuni — issiqlikning bajarilgan ishga aylanishi;
Termodinamik jarayonlar — ishchi jismning holatini izohlash;
Termodinamikaning II-qonuni — issiqlik bir qismining ishga aylanishi va qolgan qismining sovutgichga berilishi;
Issiqlik manbayi — issiqlikning ishchi jismga berilishi;
Sovutgich — ishchi jismdan issiqlikni qabul qilish;
Foydali ish koeffitsienti (FIK) — issiqlikning qanchasi ishga aylanishi;
Suv bug'i — termodinamik jarayonlarda ishtirok etuvchi ishchi jism;
Issiqlik o'tkazuvchanlik — haroratlar farqi tufayli issiqlikning bir jismdan ikkinchi jismga o'tishi;
Konvektiv issiqlik almashuvi — muhit zarrachalari siljishi tufayli qattiq jismdan muhitga issiqlik berilishi;
Nurlanish — tabiatdagi jismlarning nur yoki issiqlikni qabul qilishi tufayli issiqlik tarqalishi;
Qaynash — jism agregat holatining o'zgarishi;
Kondensatsiya — qaynayotgan jismdan issiqlik olib ketilishi tufayli kondensat hosil bo'lishi;
Mezon — issiqlik uzatilishidagi kattaliklarning fizik ma'nosini ifodalaydigan o'lcamsiz kattalik;
Issiqlik balansi — berilgan va sarflangan issiqlikning muvozanati;
Bug' turbina qurilmalari (BTQ) — ishchi jism issiqligi bajarilgan ishga aylanishida ishtirok etuvchi qurilma;
Gaz turbina qurilmalari (GTQ) — yoqilg'i yonishidan hosil bo'lgan gazlarni ishlatuvchi qurilma;
Ichki yonuv dvigatellari (IYoD) — yoqilg'i 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 so'zlar

- Parametr — kattalik;
Absolyut — mutlaq;
Ishchi jism — gaz yoki bug';
Solishtirma — moddaning birligi;
Entalpiya — to'liq energiya;
Entropiya — issiqlik aylanishi;
Eksergiya — maksimal ish;
Izobarik jarayon — bosimi o'zgarmas jarayon;
Izoxorik jarayon — hajmi o'zgarmas jarayon;
Izotermik jarayon — harorati o'zgarmas jarayon;
Adiabatik jarayon — tashqi muhit bilan issiqlik almashmaydigan jarayon;
Politropik jarayon — jarayonlarning mujassamliligi;
Sikl — aylanma jarayon;
Fazaviy o'tish — bir fazadan ikkinchi fazaga o'tish holati;
Bug'lanish — jism yuzasidan suyuqlikning bug' holatiga o'tishi;
Sublimatsiya — qattiq holatdan bug' holatga o'tish;
Desublimatsiya — gaz holatdan qattiq holatga o'tish;
Eriş — qattiq holatdan suyuq holatga o'tish;
Konveksiya — jism zarrachalarining o'rin almashishi;
Kriteriy — mezon;
I.t.n.é. — 1 tonna neft ekvivalenti (1 t.sh.yo. *1,5)

MUNDARIJA

| | |
|---|----|
| Kirish..... | 3 |
| I BO'LIM. TEXNIKAVIY TERMODINAMIKA | |
| 1-bob. Umumiy ma'lumotlar | 4 |
| 1-§. Termodinamik uslubning asosiy xossalari | 4 |
| 2-§. Ishchi jism va termodinamik tizim | 5 |
| 3-§. Asosiy termodinamik holat parametrlari | 6 |
| II bob. Ideal gazlarning xususiyatlari | 9 |
| 4-§. Ideal gazning holat tenglamasi | 9 |
| 5-§. Real gazning holat tenglamasi | 10 |
| 6-§. Ideal gaz aralashmalari | 11 |
| 7-§. Ideal gazlarning issiqlik sig'imi | 13 |
| III bob. Termodinamikaning birinchi qonuni | 19 |
| 8-§. Termodinamik jaryonda ish va issiqlik miqdori | 19 |
| 9-§. Ichki energiya va entalpiya | 20 |
| 10-§. Termodinamikaning birinchi qonuni | 21 |
| 11-§. Entropiya | 22 |
| IV bob. Asosiy termodinamik jarayonlarning tabiili | 25 |
| 12-§. Izobarik jarayon | 25 |
| 13-§. Izoxorik jarayon | 26 |
| 14-§. Izotermik jarayon | 27 |
| 15-§. Adiabarik jarayon | 28 |
| 16-§. Politropik jarayon | 30 |
| V bob. Termodinamikaning ikkinchi qonuni | 39 |
| 17-§. Aylanma jarayonlar | 39 |
| 18-§. Karno sikli | 40 |
| 19-§. Termodinamikaning ikkinchi qonuni | 41 |
| 20-§. Eksergiya | 42 |
| VI bob. Suv bug'i | 47 |
| 21-§. Bug'lanish va bug'ning termodinamik parametrlari | 47 |
| 22-§. Suv bug'ining P-V diagrammasi | 48 |
| 23-§. Suv bug'ining quruq bug'ning asosiy parametrlari. Bug' hosil bo'lish issiqligi | 50 |
| 24-§. Nam to'yigan va o'ta qizigan suv bug'ining asosiy parametrlari | 51 |
| 25-§. Suv bug'ining T-s diagrammasi | 52 |
| 26-§. Suv bug'ining h-s diagrammasi | 53 |
| 27-§. Suv bug'i holatining o'zgarish jarayonlari | 53 |

| | |
|---|-----|
| VII bob. Bug' turbina qurilmalari | 57 |
| 28-§. Renkin sikli | 57 |
| 29-§. Oraliq qizdirishli bug' trubina qurilmalari sikli | 58 |
| 30-§. Issiqlik bilan ta'minlash asoslari | 60 |
| VIII bob. Nam havo | 63 |
| 31-§. Asosiy tushunchalar | 63 |
| 32-§. Nam havoning termodinamik parametrlari | 64 |
| 33-§. Nam havoning h-d diagrammasi | 65 |
| IX bob. Kompressorlar | 68 |
| 34-§. Kompressorlar va va ularning turlari | 68 |
| 35-§. Markazdan qochma kompressorlar | 71 |
| X bob. Ichki yonuv dvigatellarining sikllari | 75 |
| 36-§. Ichki yonuv dvigatellari sikllarining termodinamik tahlili | 75 |
| 37-§. Hajm o'zgarmas bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl | 76 |
| 38-§. Bosim o'zgarmas bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl | 78 |
| 39-§. Aralash holda issiqlik keltiruvchi sikl | 80 |
| XI bob. Gaz turbina qurilmalarining sikllari | 85 |
| 40-§. Gaz turbina qurilmalari | 85 |
| 41-§. Bosim o'zgarmas bo'lgandagi issiqlik keltiruvchi gaz turbina qurilmasining sikli | 85 |
| 42-§. Hajm o'zgarmas bo'lgandagi issiqlik keltiruvchi gaz turbina qurilmasining sikli | 87 |
| II BO'LIM. ISSIQLIK ALMASHINUVI | |
| XII bob. Issiqlik o'tkazuvchanlik | 92 |
| 43-§. Asosiy tushunchalar | 92 |
| 44-§. Barqaror holatda yassi bir qatlamli devorning issiqlik o'tkazuvchanligi | 94 |
| 45-§. Barqaror holatda bir qatlamli silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligi | 95 |
| XIII bob. Konvektiv issiqlik almashuvi (Issiqlik berish) | 100 |
| 46-§. Umumiy tushunchalar | 100 |
| 47-§. O'xshashlik nazariyasi asoslari | 100 |
| 48-§. Quvurlarda majburiy oqimda issiqlik berish | 102 |
| 49-§. Erkin harakatlanishda issiqlik berish | 103 |
| XIV bob. Bug' qaytadan suvga aylanishda issiqlik berruvcchanlik | 107 |
| 50-§. Kondensatsiya hodisasi | 107 |

| | |
|--|------------|
| 51-§. Vertikal yuza atrofidagi harakatlanmayotgan bug'ning pilyonkali kondensatsiyadagi issiqlik almashuvi | 110 |
| 52-§. Gorizontal quvurlarda va quvurlar to'plamidagi kondensatsiya | 112 |
| 53-§. Bug'ning tomchilab kondensatsiyasida issiqlik beruvchanlik | 113 |
| XV bob. Qaynashda issiqlik beruvchanlik | 117 |
| 54-§. Qaynash jarayoni va uni sodir bo'lishi | 117 |
| 55-§. Qaynashning turlari | 118 |
| 56-§. Qaynash krizislari va unga ta'sir etuvchi omillar | 120 |
| 57-§. Katta hajmdagi va kanallardagi qaynash | 121 |
| XVI bob. Nurlanish usulida issiqlik uzatilishi | 126 |
| 58-§. Asosiy tushunchalar | 126 |
| 59-§. Nurlanishning asosiy qonunlari | 126 |
| XVII bob. Murakkab issiqlik almashuvi | 131 |
| 60-§. Ko'p qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishi | 131 |
| 61-§. Ko'p qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatish | 133 |
| 62-§. Bir qatlamli va ko'p qatlamli silindrik devor orqali issiqlik uzatish | 133 |
| XVIII bob. Issiqlik almashuv apparatlari | 138 |
| 63-§. Issiqlik almashuv apparatlari | 138 |
| III BO'LIM. ISSIQLIK ENERGETIK QURILMALARI | |
| XIX bob. Yoqilg'i | 143 |
| 64-§. Yoqilg'ining tarkibi | 143 |
| 65-§. Yoqilg'ining xususiyatlari | 145 |
| 66-§. Havoning hajmi. Yonish mahsulotlarining hajmi va massasi | 146 |
| XX bob. Bug' qozonlari | 152 |
| 67-§. Asosiy tushunchalar | 152 |
| 68-§. Qozonlarning issiqlik balansi | 154 |
| XXI bob. Bug' turbinalari | 161 |
| 69-§. Bug' turbinalari va ularning ishlash prinsiplari | 161 |
| 70-§. Parraklardagi ishchi jarayon | 162 |
| 71-§. Turbina diski aylanishi tezligi | 163 |
| 72-§. h-s diagrammada aktiv bug turbinasi ishchi jarayonining ko'rinishi | 163 |
| XXII bob. Ichki yonuv dvigatellari nazariyasi | 166 |
| 73-§. Ichki yonuv dvigatellari haqida tushuncha | 166 |
| 74-§. Dizel dvigatelinin tuzilishi | 166 |

| | |
|---|-----|
| 75-§. Gaz taqsimlash mexanizmining tuzilishi, ishlashi, vazifasi va konstruktiv xususiyatlari | 167 |
| 76-§. Sovitish tizimlarining vazifasi va ularning tasmi | 168 |
| 77-§. Sovitish suyuqliklari | 168 |
| 78-§. Suyuqlik bilan sovitish tarmog'ining tuzilishi | 169 |
| 79-§. Havo bilan sovitish tarmog'i | 170 |
| 80-§. Moylash tarmog'i va uning vazifalari | 170 |
| 81-§. Ishlatiladigan moylar | 171 |
| Tayanch iboralar | 180 |
| Izohli so'zlar | 180 |

R.A. ZOHIDOV
M.M. ALIMOVA
SH.S. MAVJUDOVA

ISSIQLIK TEXNIKASI

O'zbekiston faylasufi milliy jamiyati nashriyoti.
100029, Toshkent shahri, Matbuotchilar ko'chasi, 32-uy.
Tel: 236-55-79; faks: 239-88-61.

Muharrir *N. Imomov*
Musahih *H. Zokirova*
Sahifalovchi *N. Mamantov*

Bosishga ruxsat etildi: 29.08.2010. «Tayms» garniturasida. Ofset usulida chop etildi.
Qog'oz bichimi 60x84 $\frac{1}{16}$. Shartli bosma tabog'i 12.5.
Nashr bosma tabog'i 12,125. Adadi 500 nusxa. Buyurtma № 13.

«START-TRACK PRINT» MCHJ bosmaxonasida chop etildi.
Manzili: Toshkent shahri, 8-mart ko'chasi, 57-uy.