

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

ISSIQLIK TEXNIKASI



311-
2-78

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'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan
Texnologik mashinalar va jihozlar bakalavriat ta'lim yo'nalishi
talabalari uchun darslik sifatida tavsiya etilgan*

h-77
kapmas

GDU QIROATXONASI

Guliston davlat universiteti
Axboret resurs markazi
№ 24264

O'ZBEKISTON FAYLASUFLARI MILLIY
JAMIYATI NASHRIYOTI
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 jismning holati, holat o'zgarish parametrlari, issiqlik sig'imi, termodinamik jarayonlar, issiqlik uzatish turlari, issiqlik almashuv apparatlari, issiqlik dvigatellari, gaz va bug' turbina qurilmalarining sikllari bayon etilgan. Yoqilg'i va uning turlari, ichki yonuv dvigatellarining sikllari, sovitish va moylash tizimlari ko'rib chiqilgan.

Taqrizchilar:

O'zFA Energetika va avtomatika institutining Sanoat energiyasi tejamkorligi laboratoriyasi mudiri, t.f.n. **A.I. Anarbayev**
ToshDTU IYE kafedrasi 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 unumli foydalanish muhim ahamiyatga ega. Issiqlik texnikasi fani yuqori malakali va raqobatbardosh kadrlar tarbiyalab tayyorlashda asosiy o'rin tutadi. Bu fan talabalarni ilmga qiziqitirish, qonunlar texnikada qo'llanilishi, termodinamik jarayonlarni hisoblash, issiqlik kuch qurilmalarining optimal holatlarini aniqlashga tayyorlashda yordam beradi.

Issiqlik texnikasi fani uch bo'limdan 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 mikrozarrahalarining harakatdaligini 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.), Δ .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'effitsientini oshirish 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-odobli 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 ro'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 asosiysi 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'lchanadi yoki o'lchangan kattaliklar bo'yicha hisoblanadi. Ular katta sondagi jismning mikroskopik bo'lakchalari ta'siri natijalarini xarakterlaydi. Ushbu

kattaliklar makroskopik, fenolinologik yoki termodinamik kattaliklar deb ataladi, ular mikroskopik kattaliklardan farqli o'laroq alohida molekularlar, 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

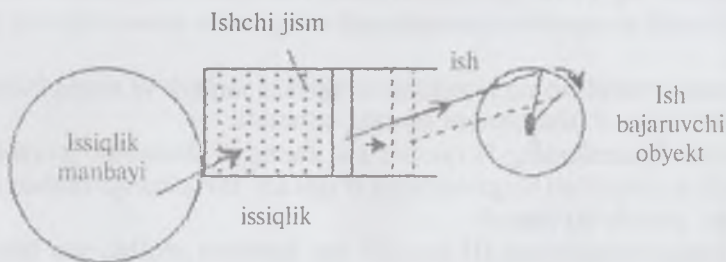
Issiqlik mashinalarida issiqlikni ishga aylantirish ishchi jism yordamida amalga oshiriladi. Ishchi jism gaz yoki bug' bo'lishi mumkin.

O'zaro va atrof muhit bilan issiqlik almashinadigan jismlar majmuasiga **termodinamik tizim** deyiladi. Energetikada elektr stansiyaning hamma mashinalari yoki issiqlik dvigatelinig 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'zgarganda 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.

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

1N/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_{bar} – 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 jismga ta'sir etayotgan to'liq bosimdir;

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

Agar biror idishdagi bosim atmosfera bosimidan yuqori bo'lsa, unda

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

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

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

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

1.1-jadval

Birliklar	Pa	bar	kg k/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 şuv 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'lchanadi. Amalda esa har bir asbob Selsiy gradusida o'lchab beradi. Shuning uchun ularning orasidagi bog'lanishni quyidagicha yozamiz:

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

Turli harorat shkalalari orasidagi nisbat

1.2-jadval

Shkalalar nomi	Selsiy shkalasi, $t, ^{\circ}C$	Renkin shkalasi T, Ra	Farangeyt shkalasi, $t, ^{\circ}F$	Reomyur shkalasi $t, ^{\circ}R$
Selsiy shkalasi, $^{\circ}C$	—	$5/9T^{\circ}Ra - 273,15$	$\frac{t, ^{\circ}F - 32}{1,8}$	$1,25t^{\circ}R$
Renkin shkalasi, $^{\circ}Ra$	$1,8(t^{\circ}C + 273,15)$	—	$t^{\circ}F + 459,7$	$1,8(1,25t^{\circ}R + 273,15)$
Farangiyevt shkalasi, $^{\circ}F$	$1,8t^{\circ}C + 32$	$t^{\circ}Ra - 459,67$	—	$9/4t^{\circ}R$
Reoner shkalasi, $^{\circ}R$	$0,8t^{\circ}C$	$0,8(5/9T^{\circ}Ra - 273,15)$	$4/9(t^{\circ}F - 32)$	—

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

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

zichlik ρ — solishtirma hajmga teskari bo'lgan kattalikdir.

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

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'lchamlari hisobga olmasa ham bo'ladigan darajada kichik;

3) gaz molekullarining o'zaro to'qnashuvlari xuddi elastik sharlarning to'qnashuvidek sodir bo'ladi.

Siyraklashtirilgan real gazlarning xossalari ideal gazga yaqin (masalan; N₂, geliy). Haqiqatda ideal gazning o'zi yo'q. Lekin ideal gaz qonunlarini o'rganish real gazning turli xil sharoitlarda qanday xususiyatda bo'lishini aniqlashga yordam beradi.

Ideal gazning holat tenglamasini keltirib chiqarish uchun ideal gazning asosiy qonunlarini esga olamiz.

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

$$P \nu = \text{sonst}$$

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

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

Ikkala qonunni birlashtirsak holat tenglamasi kelib chiqadi:

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

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

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

Shunday qilib, biz gaz parametrlari P, ν 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'zgarish sharoitida bajargan kengayish ishidir.

1 kg jism uchun ideal gazning holat tenglamasi:

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

m kg gaz uchun holat tenglamasi:

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

1 kmol gaz uchun holat tenglamasi:

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

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

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

Har qanday gazning gaz doimiysi quyidagicha aniqlanadi:

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

μ_i – i gazining 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-Vals 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:

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

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

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

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

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

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

Shularga asoslangan holda Van-Der-Vals tenglamasini 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.ust. ga teng. Kislorodning massasini toping.

Yechish:

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

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

6-§. Ideal gazlar aralashmasi

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

Kichik bosimli gaz aralashmasini ko'rib 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_4H_{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

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

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

m_1 – birinchi komponent massasi, m_2 – ikkinchi komponent massasi m_3 uchinchi 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 u g harfi bilan belgilanadi

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

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

Aralashmaning massaviy ulushi foizlarda beriladi, masalan, havo uchun

$$g_{N_2} = 0,77 \quad (77\%); \quad g_{O_2} = 0,23 \quad (23\%)$$

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:

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

V_1, V_2, V_3, V_n – komponentlarning keltirilgan hajmi;

V_{ar} – aralashmaning to'la hajmi.

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

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

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:

$$R_{ar} = \frac{8314}{\mu_{op}}; \left[\frac{kg}{kmol^0C} \right] \quad (17)$$

Parsial bosimlarni aniqlash:

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

Hajmiy ulush va massaviy ulush orasidagi bog'liqlik:

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

7-§. Ideal gazlarning issiqlik sig'imi

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

$$c_x = \frac{q}{t_2 - t_1}; \left[\frac{kJ}{kg^0C} \right] \quad (18)$$

q – solishtirma issiqlik miqdori, kj/kg;

*t*₁ – boshlang'ich harorat;

*t*₂ – jismning oxirgi harorati;

x – jarayon turi.

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

$$c_x = f(T)$$

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

1) o'rtacha issiqlik sig'imi – jismning boshlang'ich va oxirgi harorati oraliqidagi

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

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

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

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

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

2) hajmiy issiqlik sig'imi – c'_x

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

V_0 – normal sharoitga keltirilgan hajm.

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

Issiqlik sig'implari orasidagi bog'lanish:

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

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

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

$$c_p > c_v$$

Buni quyidagicha izohlash mumkin: $P = \text{const}$ 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 – adiabata 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.

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

haroratga bog'liq ravishda yozilishi.

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

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

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

$$q = c_m \int_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1) \quad (24)$$

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

$$c_{1,2} = \frac{c'_{10} t_2 - c'_{10} t_1}{t_2 - t_1} \quad (25)$$

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

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

Gaz aralashmalarida issiqlik sig'imi uchun quyidagi ifodalardan foydalaniladi:

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

Aralashmaning hajmiy issiqlik sig'imi:

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

Aralashmaning molyar issiqlik sig'imi:

$$\mu c_r = \sum_{i=1}^n r_i \mu c_{pi} \quad \text{va} \quad \mu c_v = \sum_{i=1}^n r_i \mu c_{vi}$$

Masalalar

1. Hajmi $0,9 \text{ m}^3$ bo'lgan idishning ichida $1,5 \text{ kg}$ CO gazi joylashgan. Shu gazning solishtirma hajmi va zichligini aniklang.

Berilgan:

$$V=0,9 \text{ m}^3,$$

$$M=1,5 \text{ kg}$$

$$v=?, \rho=?$$

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

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

2. Bug' qozonida bosim $P=0,04 \text{ MPa}$, 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 $^\circ \text{C}$ 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:

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

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

ρ -?

Yechish:

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

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

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

5. 1 kg azot 70°C harorat va 0,2 mPa bosimda qanday hajmni egallaydi?

Javob: $v=0,509 \text{ m}^3/\text{kg}$.

6. O₂ gazi berilgan bo'lib, uning bosimi 23 bar ga, harorati 280 °C ga teng. Kislorodning solishtirma hajmini hisoblang.

Javob: $v = 0,062 \text{ m}^3/\text{kg}$

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: $V=0,5 \text{ m}^3$

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

Javob: $C_v=0,722 \text{ kJ/kgK}$; $C_p=1,012 \text{ kJ/kgK}$;

$C'_v=0,935 \text{ kJ/kgK}$; $C'_p=1,308 \text{ kJ/kgK}$.

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

Yechish: Ikki atomlik gazlar uchun:

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

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

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

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

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

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

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

$$\mu C_{vm}^* \int_0^{1200} = \frac{\mu C_v \int_0^{1200}}{\mu_{CO}} = \frac{23,877}{28} = 0,8528 \text{ kJ/kg} \cdot \text{gr}$$

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

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.

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 jismning energiyasi ko'payadi, boshqasida kamayadi.

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

Birinchi usul: issiq jismdan unga nisbatan sovuq bo'lgan jismga energiya o'tadi. Bu usuldagi energiyaning miqdori **issiqlik miqdori** deyiladi va o'tish usuli — energiyaning issiqlik formasida uzatilishi deb ataladi. Issiqlik Q bilan belgilanadi, J da 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 jismning ishi — ζ bilan belgilanadi va solishtirma ish

deyiladi, $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$; issiqlik miqdori — q bilan belgilanadi va solishtirma

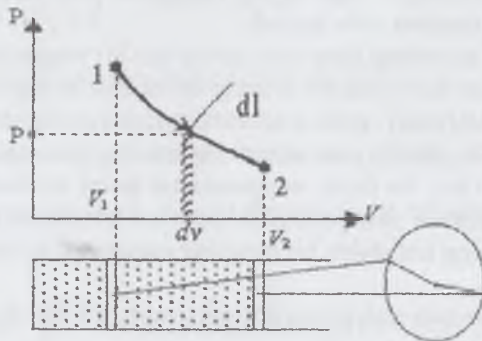
issiqlik miqdori deyiladi, $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$.

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 $dI = p dv$ ko'rinishda bo'ladi. (26)

Gazning v_1 dan v_2 gacha hajm o'zgarishida bajarilgan ish

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



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 bajargan ishi holat funksiyasi bo'la olmaydi. Gazning kengayishida $dv > 0$ bajarilgan ish $l > 0$ musbat, torayishida $dv < 0$ bajarilgan ish $l < 0$ manfiy, agar hajm o'zgarmasa $l = 0$ ga teng bo'ladi.

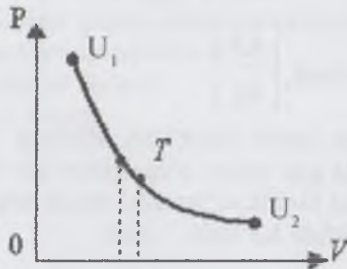
9-§. Ichki energiya va entalpiya

Jismning 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, $U=f(P, v, T)$

$$U = f(P)$$

$$U = f(v)$$

$$U = f(T)$$

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

Ichki energiya jismning 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 jismning 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.

$$H = U + pV \quad [J], [kJ] \quad (29)$$

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.

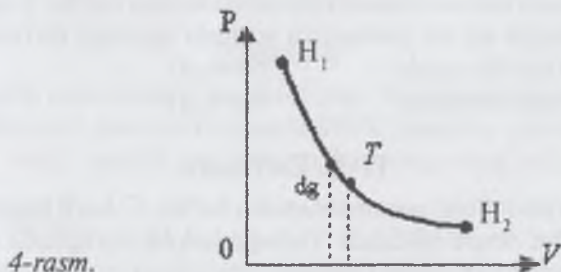
Entalpiya haroratga bog'liq bo'lgan kattalikdir.

$$h = f(T)$$

$$dh = c_p dT$$

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.



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

10-§. Termodinamikaning birinchi qonuni

Termodinamikaning birinchi qonuni energiya saqlanishi va aylanishi qonunining tatbiqidir.

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

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

1 kg jism 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

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

bu ifodadagi $u + pv = h$ 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.

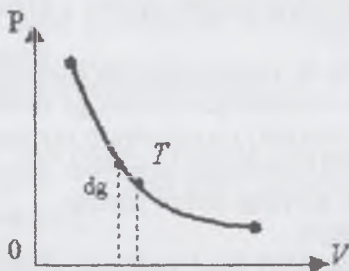
$$\frac{dq}{T} = ds \quad (39)$$

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

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

$$dq = T \cdot ds$$

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 (ikki atomli gaz)

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

$$C_v = \frac{\mu C'_v}{\mu_{O_2}} = \frac{20,93}{32} = 0,635 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

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

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

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.

$$\text{Javob: } \Delta t = 11,8^\circ\text{C}$$

3. Quvvati 100 ot kuchiga ega bo'lgan ichki yonuv dvigateli, sinov paytida suv bilan sovitiladigan 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, sovituvchi suvning sarfini toping.

$$\text{Javob: } 0,373 \text{ kg/s}$$

4. 'Quvvati 500 MVt bug' turbinali elektrostansiya 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.

$$\text{Javob: } 37\%$$

5. Elektrostansiyaning 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'rtacha quvvatini toping.

$$\text{Javob: } 162780 \text{ kVt/s; } N_{o'r} = 16278 \text{ kVt}$$

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.

$$\text{Javob: } t = 30 \text{ min}$$

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 beshta asosiy jarayonlar mavjud. Ular quyidagilardir.

1. $P=\text{const}$ – izobarik jarayon.
2. $V=\text{const}$ – izoxorik jarayon.
3. $T=\text{const}$ – izotermik jarayon.
4. $dq=0$, $S=\text{const}$, $p^*V^k=\text{const}$ – adiabatik jarayon.
5. $C_n=\text{const}$, $p^*V^n=\text{const}$, $n = \pm\infty$ – 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 bajargan ishi;
- 5) jarayonning issiqligi;
- 6) jarayon entropiyasining o'zgarishi.

12-§. Izobarik jarayon

Bosim o'zgarmaydigan 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.

$$P_1 v_1 = RT_1 \quad (41)$$

$$P_2 v_2 = RT_2 \quad \text{bunda,} \quad (42)$$

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

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad \frac{v_1}{v_1} = \frac{v_2}{T_2} \cdot \frac{v_1}{T_1} = \text{const} \quad (43)$$

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

Ichki energiyaning o'zgarishi:

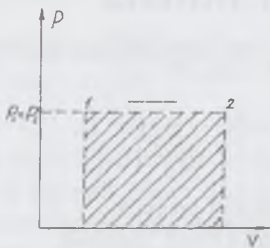
$$du=C_vdT; \Delta u=C_v(T_2-T_1)=C_v(t_2-t_1) \quad (44)$$

Jarayonning ishi:

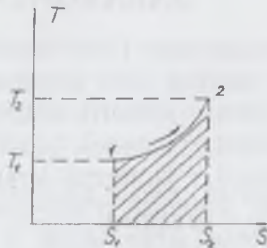
$$dI=pdv$$

Ishni integrallab izobarik jarayonning ishini aniqlaymiz:

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



a)



b)

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

Jarayonning issiqligi

$$dq = du + p dv \text{ yoki } q_p = c_p (T_2 - T_1) \quad (46)$$

Entropiyaning o'zgarishi:

$$\Delta s = C_p \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (47)$$

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:

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

$$P_2 v_2 = RT_2 \quad \text{bunda} \quad (49)$$

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

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad \frac{P}{T} = \text{const} \quad (50)$$

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

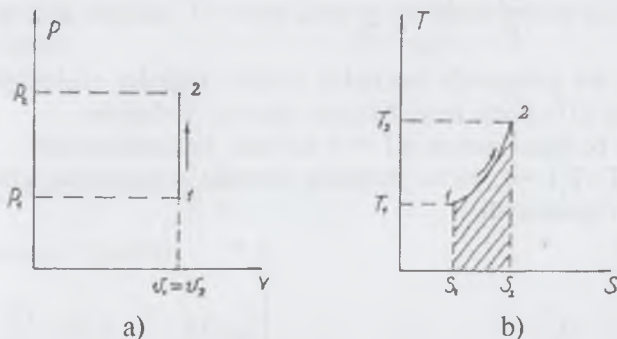
Ichki energiyaning o'zgarishi

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

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

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 $dq = du + d\ell$ lekin $V = \text{const}$ bo'lganida $l_v = 0$, ya'ni izoxor jarayonda gaz ish bajarilmaydi.

Jarayonning issiqligi

$$q = \Delta u + \ell \quad (53)$$

$l_v = 0$ bo'lgani uchun $q = \Delta u$ 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:

$$p_1 v_1 = RT_1 \quad (55)$$

$$p_2 v_2 = RT_2 \quad (56)$$

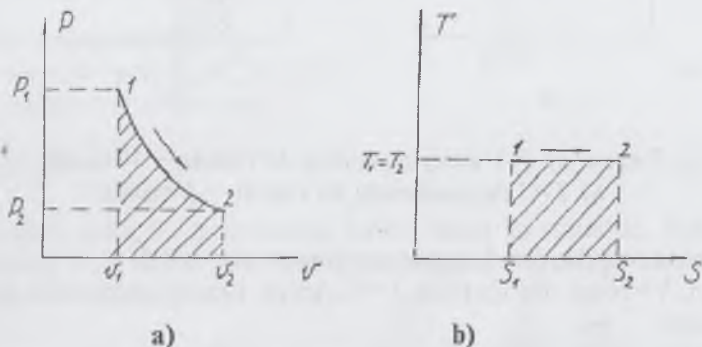
(55)ni (56)ga bo'lamiz

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{v_2}{v_1} \quad (57)$$

Demak, bu jarayonda bosimlar nisbati hajmlar nisbatiga teskari proporsional (57) ifoda Boyle-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.



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

Jarayonning ishi:

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

(58) ifodani integrallasak

$$L_p = \int_{v_1}^{v_2} p dv \quad (59)$$

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

P ning o'rniga qo'yamiz:

$$l_p = \int_{v_1}^{v_2} RT \frac{dv}{v} \quad (60)$$

$$l_p = RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (61)$$

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

$$dq = d\ell \quad (62)$$

yoki

$$q_T = l_T \text{ yoki } l_T = RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (63)$$

Entropiya o'zgarishi:

$$\Delta s_t = \frac{dq}{T} = R \ln \frac{v_2}{v_1}, \text{ kJ/kg.} \quad (64)$$

15-§. Adiyatik 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:

$$\frac{c_p dT}{c_v dT} = - \frac{v dp}{p dv} \text{ yoki } \Delta s = c_p \ln \frac{v_2}{v_1} + c_v \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (67)$$

(67) ifodani integrallaymiz:

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = k \ln \frac{v_2}{v_1}; \text{ yoki } \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^k \quad (68)$$

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

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

bundan:

$$P v^k = \text{const}$$

(69)

bu ifoda adiabatik jarayonning tenglamasi deyiladi.

Endi parametrlar orasidagi bog'lanishni topamiz:

Bosim va hajm orasidagi bog'lanish:

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

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:

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

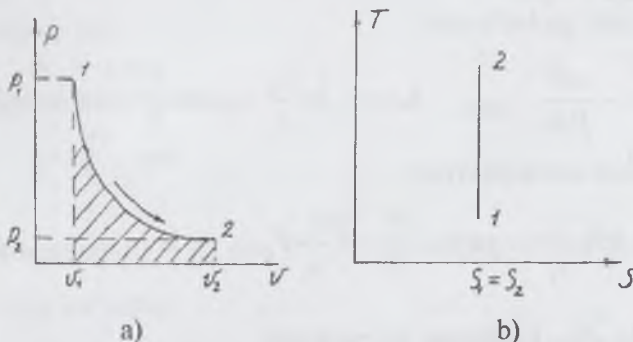
Ichki energiyaning o'zgarishi:

$$\Delta u + l = 0, \Delta u = c_v (T_2 - T_1) \quad (70)$$

Jarayonning ishi:

$$l = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) = \frac{1}{k-1} (P_1 v_1 - P_2 v_2) \quad (71)$$

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



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:

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

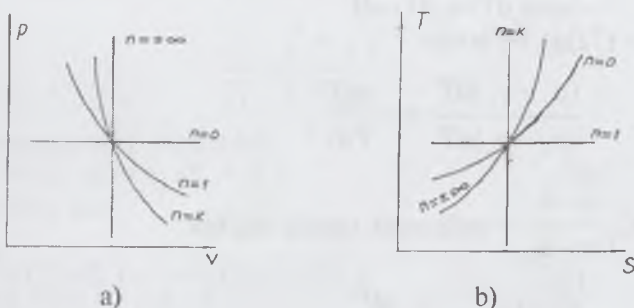
Harorat va hajm orasidagi bog'lanish:

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

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:

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

$$l_{\text{pol}} = \frac{1}{n-1} (P_1 v_1 - P_2 v_2) \quad (76)$$

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

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'rsatyapti. Gaz sovitilgandan keyin siyraklanish 150 mm sim.ust. ga teng bo'lib qoldi.

Gazning oxirgi haroratini toping.

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

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

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

3. Diametri $0,4\text{ m}$ silindrda, bosimi $0,29\text{ MPa}$ va harorati 15°C bo'lgan 80 l havo joylashgan.

Havoning issiqlik sig'imini doimiy deb hisoblagan holda, agar havoga $83,7\text{ kJ}$ 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:

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

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 $t_{x1}=15^\circ\text{C}$ 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_{im}) tegishli ravishda $1,0467$ va $1,0048\text{ kJ/kgK}$ larga teng deb qabul qiling.

Javob: $t_{x2} = 168,9^{\circ}\text{C}$.

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

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

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

6. Qozon qurilmasining havo qizitgichida havo 20°C dan to 250°C gacha, $0,1 \text{ MPa}$ 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 ishni 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 $\mu C_{pm} \Big|_{20}^{250}$ topamiz:

a) buning uchun jadvaldan

$$\mu C_p \Big|_0^{250} = 28,827 + 0,002708 \cdot 250 = 29,504 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$$

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

Keyin

$$\mu C_{rm} \Big|_{20}^{250} = \frac{29,504 \cdot 250 - 28,881 \cdot 20}{250 - 20} = \frac{7376 - 577,62}{230} = 29,5581 \text{ kJ/}$$

kmol K

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

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

$$\mu c_{pm} \Big|_{20}^{250} = \frac{\mu c_p \Big|_{20}^{250}}{\mu} = \frac{29,558}{28,95} = 1,021 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

v) Mayer qonuniga asosan

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

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

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

$P = \text{const}$ 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:

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

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

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

Gaz havoning xossalriga 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'layapti. 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: $\Delta t = 71,4 \text{ }^\circ\text{C}$; $Q = 71,8 \text{ kJ/kg}$.

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

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

10. Hajmi 40 l ballonda joylashgan va mutlaq bosimi 10 MPa harorati $t=15 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 m^3 kislorodning izotermik kengayishi natijasida bosim 0,3 MPa dan to 0,1 MPa gacha pasayadi. Agar $t=20^\circ\text{C}$ bo'lsa, oxirgi hajmni 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 $^\circ\text{C}$ va boshlang'ich bosimi 1 bar bilan adiabatik siqiladi. Ishni, oxirgi hajmni 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:

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

Oxirgi hajmni holat tenglamasidan topamiz:

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

13. Havо 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 havо 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.

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

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

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

$$149 = 200C_v$$

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

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

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

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. Bajarilgan 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 $1,1 \text{ m}^3$ gacha kamayyapti va bosim to $0,45 \text{ MPa}$ gacha oshyapti.

Siqilish ishini va havoning oxirgi haroratini toping.

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

18. Boshlang'ich parametrlari $P_1 = 0,9 \text{ MPa}$ va $t_1 = 20^\circ\text{C}$ dan to $P_2 = 1,0 \text{ MPa}$ gacha bo'lgan 1 kg havoning siqilish ishini va oxirgi haroratini izotermik, adiabatik va politrop siqilish jarayonlari uchun taqqoslang. ($n = 1,25$)

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

Nazorat savollari

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

V BOB. TERMODINAMIKANING IKKINCHI QONUNI

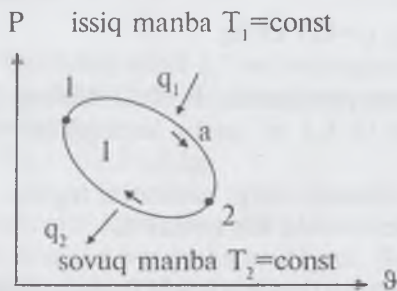
17-§. Aylanma jarayonlar

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 yuqori 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 sovitish mashinalari ishlaydi. (12-rasm)

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

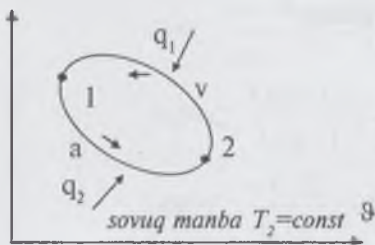


11-rasm. To'g'ri aylanma jarayonning P-V diagrammadagi ko'rinishi.

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 koeffitsienti bilan ifodalanadi. Siklning foydali ish koeffitsienti jismga berilgan issiqlikning qanchasi ishga aylanganligini bildiradi.

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

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

Teskari sikl sovitish koeffitsienti bilan ifodalanadi va u ϵ harfi bilan belgilanadi.

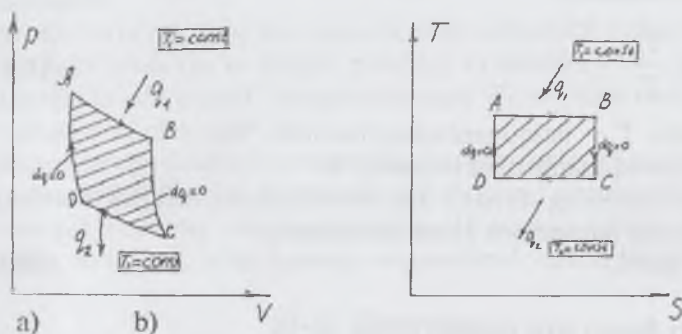
$$\epsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2} \quad (81)$$

$\epsilon > 1$. Sovitish 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 jismga issiqlik beriladi, shuning natijasida izotermik kengayish jarayoni sodir bo'ladi. Kengayish jarayoni bc jarayoni bo'ylab adiabatik ravishda davom etadi, bu esa tashqi muhit bilan issiqlik almashinmaganligi 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 jarayonidir. 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 koefitsienti quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi.

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

bu erda: η_i – foydali ish koefitsient %

q_1 – keltirilgan issiqlik miqdori J, kJ

$$q_1 = \Delta s T_1$$

q_2 – olib ketilgan issiqlik miqdori J, kJ

$$q_2 = \Delta s T_2$$

Φoydali ish koefitsientini Karno sikli uchun quyidagi ifoda yordamida yozishimiz mumkin:

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

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

T_2 – sovuq manbaning harorati, °K.

Karno siklining foydali ish koefitsienti issiqlik manbai va sovutgichning harorati bo'yicha aniqlanadi.

$$\eta_i^k < 1, (60\%) \quad (84)$$

Teskari Karno sikli uchun:

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

19-§. Termodinamikaning ikkinchi qonuni

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

Termodinamikaning I qonuni issiq jismdan sovuq jismga issiqlik o'tishi va aksincha bo'lishi to'g'risidagi savolga javob bera olmaydi. Issiqlik issiq jismdan sovuq jismga 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 manbayi va sovutkichlarda 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 asosiylari quyidagilardir:

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

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

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

20-§. Eksergiya

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 ($P_0 d\vartheta$) ni ayirmasiga teng bo'ladi.

Shunday qilib:

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

Integrallab solishtirma eksergiyani hosil qilamiz:

$$e = T_0 (s_0 - s) - (u_0 - u) - P_0 (\vartheta_0 - \vartheta) = (u - u_0) - T_0 (s - s_0) + P_0 (\vartheta - \vartheta_0) \text{ yoki}$$

$$e = (h - h_0) - T_0 (s - s_0)$$

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 Karnoning $T_1 - T_0$ oralig'ida amalga oshadigan qaytar sikli ishga teng bo'ladi:

$$l_{\max} = \eta_{t,k} \cdot q_1$$

Karno sikli uchun FIK.

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

ekanligidan issiqlik oqimi uchun eksergiya ifodasini olamiz.

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

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

$$\Delta e = [(e_1 + y_{e_{q_n}} - e_2)] - \zeta_r \quad (88)$$

bunda e_1 va e_{q_n} – jismning va issiqlik oqimining apparatga kirishdagi eksergiyasi, e_2 – apparatdan chiqishdagi eksergiya

ζ_r – ishchi jism bajargan foydali ish.

Eksergiya FIK

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

bunda Δe – kirishdagi va chiqishdagi eksergiyalar farqi
 e_1 – kirishdagi eksergiya.

Masalalar

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

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

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

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

$$S = C_p \ln \frac{T}{273} - R \ln \frac{P}{P_H} \text{ ifodadan entropiyani aniqlaymiz.}$$

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:

$$1\text{-nuqta: } P_1 = 60 \text{ bar; } T_1 = 900 \text{ K; } v_1 = ?$$

Holat tenglamasidan:

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

$$2\text{-nuqta: } T_1 = 900 \text{ K; } P_2 = ?$$

2-3 adiabatik jarayon uchun:

$$\frac{P_2}{P_3} = \left(\frac{T_2}{T_3}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 3^{0,4} = 46,8$$

$$P_2 = 1 \cdot 46,8 = 46,8 \text{ bar}$$

1-2 izotermik jarayon uchun

$$P_1 v_1 = R_2 v_2$$

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

3-nuqta:

$P_3 = 1 \text{ bar}$; $T_3 = 300 \text{ K}$; $v_3 = ?$

$$v_3 = \frac{RT_3}{P_3} = \frac{287 \cdot 300}{1 \cdot 10^5} = 0,861 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

4-nuqta: $T_4 = 300 \text{ K}$

4-1 adiabatik jarayon uchun:

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

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

3-4 izotermik jarayon uchun

$$P_3 v_3 = P_4 v_4$$

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

Siklning FIK:

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

Keltirilgan issiqlik miqdori:

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

Olib ketilgan issiqlik miqdori:

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

Siklning 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 $100\text{ }^\circ\text{C}$ va bug‘lanish issiqligi $r=2257\text{ kJ/kg}$ ga teng bo‘lganda 1 kg suvning bug‘lanishidagi entropiyasini aniqlang.

Javob: $IS = 6,05\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

Nazorat savollari

1. Aylanma 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. Eksergiya 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 molekullar yuzada qolgan molekullarning tortishish kuchini yengadi, ya‘ni ular shu kuchlarga qarshi ish bajaradi. Molekullar bu ishni o‘zining issiqlik harakati, kinetik energiyasi hisobiga bajaradi. Ma‘lumki, hamma molekullar 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 molekullar soni shu vaqt ichida suyuqlikka qaytayotgan molekullar 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 bo‘shliqni 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' pufakchalarining tez hosil bo'lishi va ko'payib borishi — **qaynash** deb ataladi.

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

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

To'yingan bug'ning bug' saqlami. Bug' hosil bo'lish jarayonida nam 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 haroratlar 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 indeks bilan (v_x , i_x , S_x);
- O'ta qizigan bug' parametrlarini indeksiz (v , h , S).

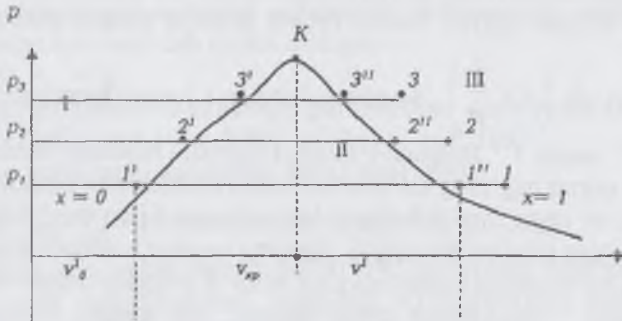
Silindrda porshen ostida 1 kg suv bor va uni bug'ga aylantirish kerak, deb faraz qilaylik. Silindrning porsheniga tashqi tomondan yuk — r kuch

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 silindrdagi bosim qo'yilgan. Shuni aytib o'tish kerakki, diagrammadagi egri chiziqlar, suv va bug' hajmlarining haqiqiy nisbatiga mos kelmaydi. Bunga sabab shuki, past bosimlarda suvning hajmi shu bosimda to'yingan bug'ning hajmiga nisbatan hisobga olmas darajada kichik bo'ladi. Shunday qilib, agar diagramma 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- ϑ 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_1 ; t_1) da silindrda v_1 hajmni 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 molekullar 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. Silindrda yana bir fazali muhit paydo bo'ladi — bu to'yinish harorati va bosimidan parametrlari v^{II} , p^{II} , t^{II} 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 ketilsa, u holda 1 kg to'yingan bug' asta-sekin $1^{II} - 1^I$ 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 $p_2 > p_1$ bosimda bug'ga aylanish jarayonini ko'rib chiqamiz. Ma'lumki, bosim ortishi bilan qaynash harorati ham ko'tariladi. Suv qaynash harorati $t_2 > t_1$ gacha isib, hajmi $v_2 > v_1$ gacha ko'payadi. Shuning uchun suvning qaynay boshlashini ko'rsatuvchi nuqta 2^I , 1^I nuqtadan o'ngga siljiydi. Bosim ortishi bilan to'yingan quruq bug'ning

zichligi ortadi $\left(v = \frac{1}{\rho} \right)$, demak solishtirma hajmi kamayadi. Shuning

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

Shunday qilib, kritik holatdagi modda bir fazali bo'lib, bir vaqtning o'zida ham gaz holatida, ham suyuq jismlarning xossalariga 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 $v_0 \gg 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$ 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, $p = 50 \text{ bar}$ bosimda $v' = 0,0012859 \text{ m}^3/\text{kg}$, $p = 220 \text{ bar}$ bo'lsa, $v' = 0,00269 \text{ m}^3/\text{kg}$ bo'ladi. Suvning haroratini 0°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:

$$P_{kr} = 221 \text{ bar}; v_{kr} = 0,00326 \text{ m}^3/\text{kg}; t_{kp} = 374^{\circ}\text{C}$$

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

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

Suvning uchlamchi 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 uchlamchi nuqtadagi ichki energiyasi:

$$U_0' = h_0' - p_0; V_0' = 0 - 0,00611 \cdot 10^5 \cdot 0,001 = -0,611 \text{ J/kg}. \quad (93)$$

Bu kattalik juda kichik miqdor bo'lib, 0°C da suvning ichki energiyasini taqriban $u_0' \gg 0$ 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 aylanmagunga qadar o'zgarmaydi. Bug'lanish jarayoni ham izotermik, ham izobarik jarayondir.

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

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

U_p — ichki, ψ — 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 parametr: bosim yoki harorat bilan aniqlanadi. h'' , h' , r , v'' , v' ning qiymatlari suv bug'ining jadvallaridan 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_T va quruqlik darajasi X bilan aniklanadi. 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:

$$q_n = \int_{t_m}^t c_p dt \quad (99)$$

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

O'ta qizigan bug'ning ichki energiyasi:

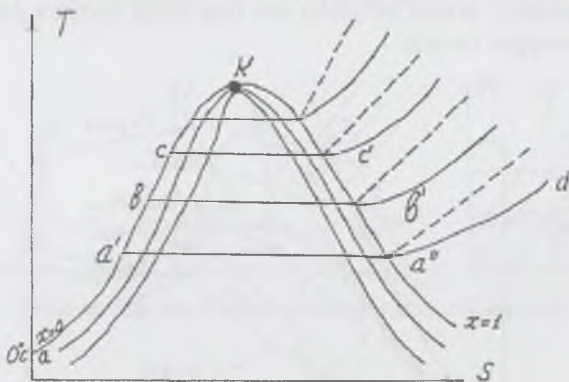
$$u = h - pv \quad (100)$$

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

Entalpiya, entropiya va solishtirma hajm qiymatlari suv bug'ining jadvallaridan 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 ishchi jismga berilayotgan va undan olib ketilayotgan issiqlikni ifodalaydi.



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

Diagrammadagi har bir nuqta jismning aniq holatini xarakterlaydi. Suyuqlikning 0°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'lishi jarayoni ($t_r = \text{const}$) gorizonta $a'a''$ 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 chiziqlarni 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,

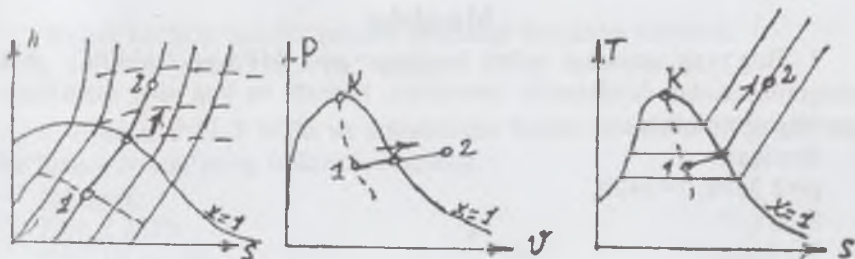
entropiyasi, quruqlik darajasi kabi parametrlar aniqlanadi. Suv bug'ı uchun $h-s$ diagrammani birinchi bo'lib 1904 yilda Mole taklif qilgan. Hozirgi vaqtda issiqlik-texnik hisoblarda M.P.Vukalovich tomonidan tuzilgan $h-s$ diagrammasidan foydalaniladi. $h-s$ diagrammasini qurishda ordinata o'qi bo'ylab entalpiya, absissa bo'ylab esa, entropiya qiymatlari joylashtirilgan. Koordinata boshi qilib suvning uchlamchi nuqtasi qabul qilingan. Issiqlik jarayonlarini hisoblashda suv bug'ining $T-s$ va $h-s$ diagrammalarini qo'llash issiqlik-texnik hisoblarni ancha soddalash-tiradi. Ko'p hollarda suv bug'ini topish uchun jadvallardan foydalaniladi. Bu jadvallar haroratni, bosim bo'yicha suv bug'ining hamma parametrlarini aniqlashga yordam beradi.



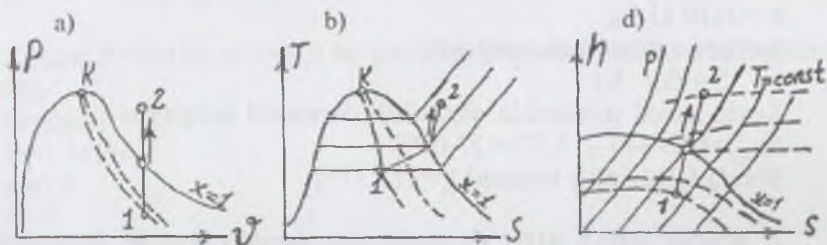
16-rasm. Suv bug'ining $h-s$ diagrammasi

27-§. Suv bug'ı holatining o'zgarish jarayonlari

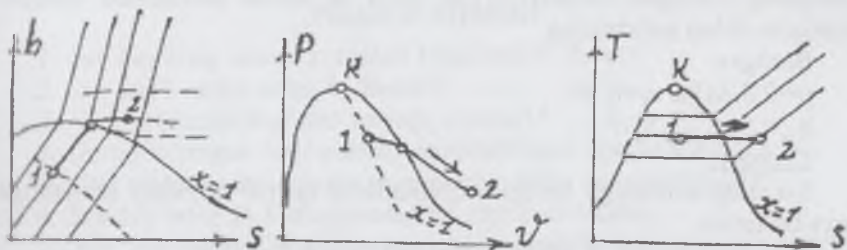
Suv bug'ining to'yingan va o'ta qizigan holatidagi masalalarni yechishda $h-S$ diagrammadan yoki jadvallardan foydalanish mumkin bo'ladi. Chunki ular eng qulay va aniq qiymat beruvchi uslub hisoblanadi. Suv bug'ining parametrlarini aniqlashda yanada qulay uslub — grafik usuli yordamida suv bug'ı parametrlarini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



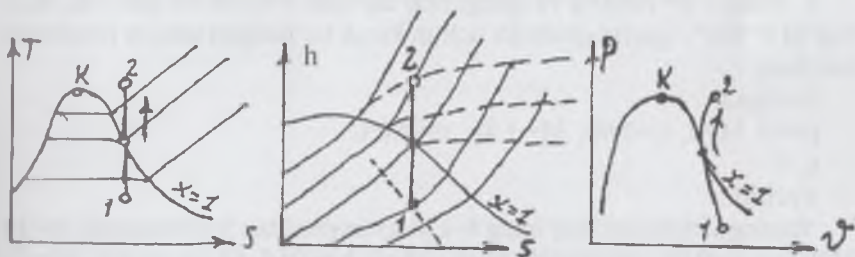
17-rasm. Suv bug'i bilan bo'ladigan izobarik jarayon



18-rasm. Suv bug'i bilan bo'ladigan izoxorik jarayon



19-rasm. Suv bug'i bilan bo'ladigan izotermik jarayon



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

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:

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

$$S-?, t_h-?$$

Yechish:

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

$$h = 3110 \text{ kJ/kg.}$$

So'ngra entropiyani aniqlaymiz.

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

Keyin jadval yordamida qizdirilish darajasini aniqlaymiz.

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

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_x , S_x va v_x parametrlarini h-s diagrammadan foydalanib aniqlang. Olingan natijalarni esa ifoda va jadval yordamida olingan natijalar bilan solishtiring.

Berilgan:

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

$$h_x - ?, S_x - ?, v_x - ?$$

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:

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

$$q_v - ?$$

Yechish:

Buning uchun suv bug'ining h-s diagrammasidan foydalanamiz. $p=10$ MPa va $x=0,98$ parametrlri 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.
 $q_v = h - h = 3430 - 2765 = 665 \text{ kJ/kg}$.

4. Bosimi $P=1,2 \text{ MPa}$ va solishtirma hajmi $v=0,18 \text{ m}^3/\text{kg}$ 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 $P=2 \text{ MPa}$ va $x=0,9$ bo'lsa, nam bug'ning solishtirma hajmini toping.

Berilgan:

$P=2 \text{ MPa}$

$x=0,9$

V_x -?

Javob: $V_x = 0,089622 \text{ m}^3/\text{kg}$.

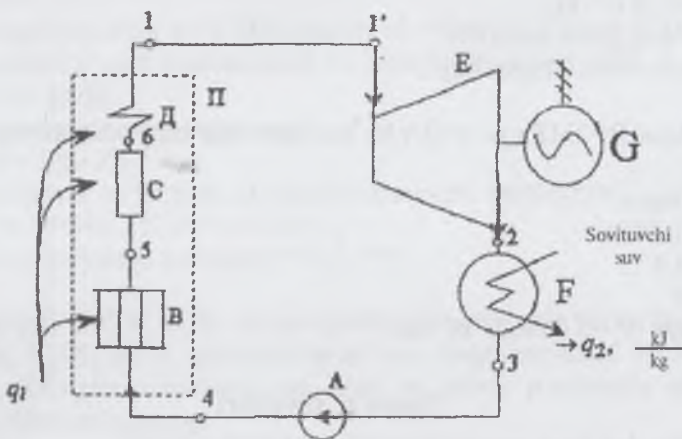
Nazorat savollari

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' turbinasi; F – kondensator; G – elektr generator; H – bug' qozoni

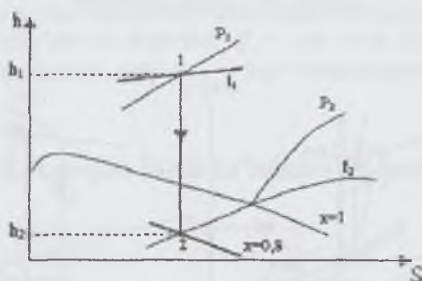
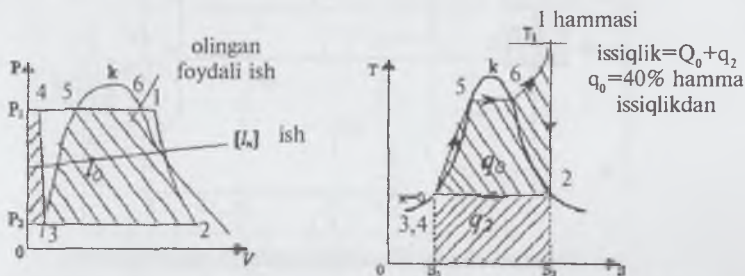
Kimyoviy tozalangan suv va yoqilg'i bug' qozoniga yuborilib u yerda yonish jarayoni amalga oshiriladi. Suv ekonomayzerida qaynash haroratigacha qizdiriladi, keyin bug'lantiruvchi qismda nam to'yingan bug' hosil qilinadi. Bug' bug'qizdirgichga yuboriladi. U yerda bug' yanada qizdirilib, o'ta qizigan bug'ga 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:

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

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

$h_2' = C p_k t_2; - P_k$ 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

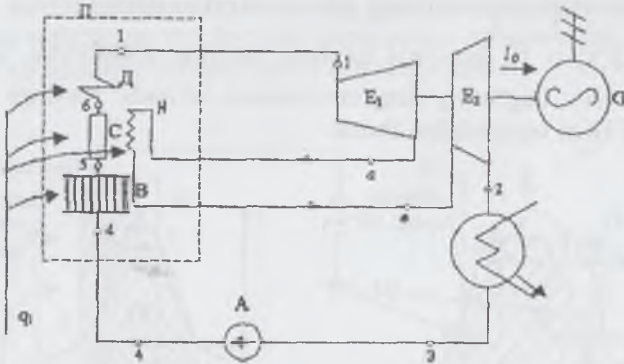
29-§. Oraliq qizdirishli bug‘ turbinasi qurilmalari sikli

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 qizdirgichda qizdirilib turbinaning past bosimli qismiga yuboriladi.

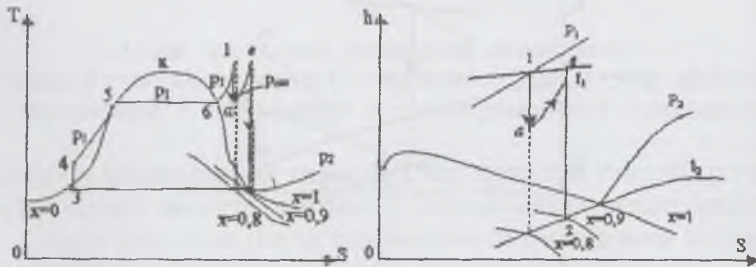
Buning natijasida bug' turbina qurilmasining FIK 3-5 % ortadi.

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



23-rasm. Bug'ni'ng oraliq qizdirishli chizma tasviri.

E_1 - bug' turbinasining yuqori bosimli qismi; E_2 - bug' turbinasining past bosimli qismi; H - oraliq qizdirgich



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

Oraliq qizdirishli sikl uchun FIK:

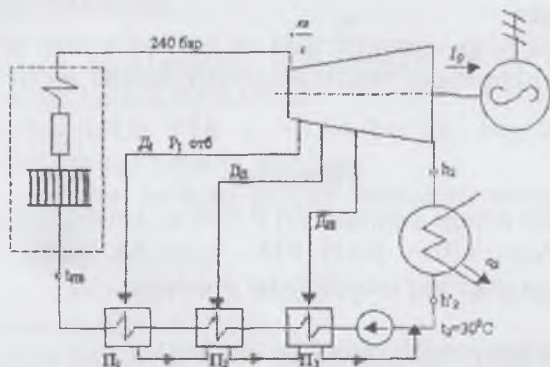
$$\eta_f = \frac{(h_1 - h_a) + (h_e - h_2)}{(h_1 - h_2) + (h_e - h_a)} \quad (102)$$

h_1, h_2, h_a, h_v lar suv bug'ining h-s diagrammasidan olinadi.

Renkin siklning FIKni yanada oshirish uchun regenerativ qizdirgichlar

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

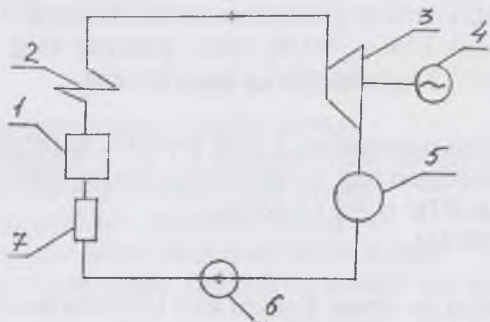
Regenerativ suv qizdirgichlarning qo'llanishi natijasida FIK 10-12% ga oshadi. Bundan tashqari, ularning qo'llanishi ishchi parraklarning balandligini kamaytirishga olib keladi.



25-rasm. Suv regenerativ isitilishining chizma tasviri

Π_1, Π_2, Π_3 – regenerativ suv qizdirgichlar; D_0 – bug' sarfi; D_1, D_2, D_{III} – I, II, III bug' olinishidagi sarfi; P_{01} – bug' olinishidagi bosim.

30-§. Issiqlik bilan ta'minlash asoslari



26-rasm. Issiqlik bilan ta'minlashning chizma tasviri

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

Issqlik 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 chizma 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 kengaytishdan keyingi bug'ning holatini aniqlang.

Yechish:

Mumkin bo'lgan issiqlik tushishini aniqlaymiz.

$$H_0=H_1-\eta_2=329,7 \text{ kkal/kg.}$$

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:

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

2. Regeneratsiyasiz ishlaydigan quvvati $N_0=250$ mVt, bosimi $P_1=235$ ata, $t=556^\circ\text{C}$, $P_2=0,35$ 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 $\eta_1=0,37$.

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: $\eta_0=0,344$.

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 $\eta_1=0,428$, $\eta_1/\eta_1=0,4$ %.

5. Boshlang'ich parametrlari $P_1=20$ bar, $t_1=400^\circ\text{C}$, kondensator-dagi 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, $t_1=500^\circ\text{C}$, kondensator-dagi 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:

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

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

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

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

Nazorat savollari

1. Bug' turbinasi 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'leri 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 yigindisi, 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:

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

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

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

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_s , p nam havoning mazkur haroratdagi to'yinish bosimidan yuqori bo'la olmaydi, ya'ni

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

bo'lsa, nam havo to'yinmagan, $P_b < p_s$ bo'lgan nam havo to'yingan nam havo deb ataladi.

Agar to'yinmagan havoni o'zgarmas bosimda sovutsak, shunday harorat hosil bo'ladiki, bunda bug' to'yina boshlaydi. Bu harorat — nam havoning shudring nuqtasi harorati deb ataladi (t_p). Agar havo shudring nuqtasidan past haroratgacha sovitilsa, 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 m^3 nam havodagi suv bug'ining massasiga teng kattaligidir (kg/m^3 yoki g/m^3).

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:

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

yoki

$$\varphi = \frac{p_{\delta}}{p_s} 100 \% \quad (107)$$

Nisbiy namlik (φ) foiz hisobida ifodalanadi. $0 \leq p_{\delta} < p_s$ 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

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

$$p_s v^{II} = R_b T \quad (109)$$

$$\frac{p_{\delta}}{p_s} = \frac{v^*}{v_{\delta}} \quad (110)$$

yoki

$$\frac{p_{\delta}}{p_s} = \frac{v^*}{v_{\delta}} = \frac{\rho_{\delta}}{\rho^n} = \frac{\rho_{\delta}}{\rho_s}, \quad (111)$$

demak,

$$\varphi = \frac{\rho_{\delta}}{\rho_s} = \frac{p_{\delta}}{p_s} \quad (112)$$

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

$$d = \frac{m_{\delta}}{m_x} = \frac{\rho_{\delta}}{\rho_x} \quad (113)$$

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

$$d = 0,622 \frac{p_{\sigma}}{p - p_{\sigma}} = \frac{0,622 p_{\sigma}}{p_{havo}} \quad (114)$$

Nam havo atmosfera bosimida bo'ladigan hol uchun, esa

$$d = 0,622 \frac{p_{\sigma}}{B - p_{\sigma}} \quad (115)$$

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

$$\rho = \rho_b + \rho_x \quad (116)$$

$$\rho = \frac{p}{RT}; \quad \rho = \rho_b \rho_b + \rho_x r_x \quad (117)$$

Nam havoning gaz doimiysi quyidagiga teng:

$$R = \frac{8314,2}{\mu_{ap}} \quad (118)$$

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

$$h = h_x + h_b \quad (119)$$

33-§. Nam havoning h-d diagrammasi

Nam havo parametrlarining grafik usulini 1918-yilda professor A.K.Ramzin taklif etgan h-d diagrammadan foydalanib aniqlash ancha qulaydir.

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

1) o'zgarmas entalpiya chizig'i (izoentalpiya) – (ordinata o'qiga 45° burchak ostida joylashgan to'g'ri chiziq) h = const.

2) namlik saqlami chizig'i – d=const – abtsissa o'qiga parallel.

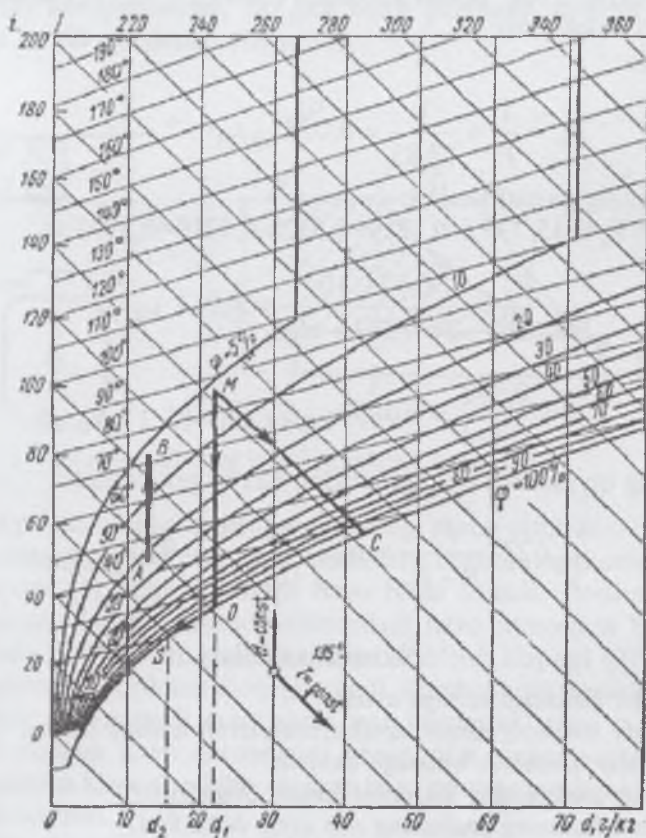
3) t = const – to'g'ri chizig'i.

4) φ = const.

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

Masala. 60. h - d diagrammadan foydalanib harorati 50°C va nisbiy namligi 70% bo'lgan nam havoning entalpiyasi, namlik saqlami, parsial bosimi va shudring nuqtasini toping.

Yechish: $t=50^{\circ}\text{C}$ va $\varphi=70\%$ orqali diagrammada 1 nuqtani belgilaymiz. 1 nuqta berilgan havoning holatini aniqlaydi. Bu nuqtadan $i = \text{const}$ chizig'iga parallel chiziq o'tkazib, entalpiyasi $h = 201 \text{ kJ/kg}$ havoga teng ekanligini aniqlaymiz. 1 nuqtadan $d = \text{const}$ ga vertikal tushirib, namlik saqlami $- d = 60 \text{ g/kg}$, parsial bosim chizig'i bilan kesishgan nuqtada $p_n=0,087 \text{ bar}$, $\varphi=100\%$ egri chizig'i bilan kesishgan nuqtadan shudring nuqtasini $t_p=42^{\circ}\text{C}$ ni topamiz (11.1 - rasm). Demak, javob: $h=201 \text{ kJ/kg}$; $d=60 \text{ g/kg}$; $r_p=0,087 \text{ bar}$; $t_p=42^{\circ}\text{C}$.



27-rasm. Nam havoning h - d diagrammasi

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

Nam saqlami quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$d = \frac{\rho_b}{\rho_K}$$

Nisbiy namlik esa $\varphi = \frac{\rho_b}{\rho_T}$ bundan $P_b = \varphi P_t$

$P_t = 0,2031 \text{ at.}$

$P_b = 0,6 \cdot 0,2031 = 0,0219 \text{ at.}$

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

Bunda:

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

Havoning parsial bosimi:

$P_h = P - P_b = 745/735,6 - 0,1219 = 1,0128 - 0,1219 = 0,8909 \text{ at.}$

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

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

d ning qiymatini boshqa ifodadan ham topsa bo'ladi:

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

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 aytsa bo'ladimi?
6. Nam havoning h - d diagrammasida qanday chiziqlar chizilgan?
7. h - d diagrammada qizitilish va sovitilish holatlarini chizib ko'rsating.

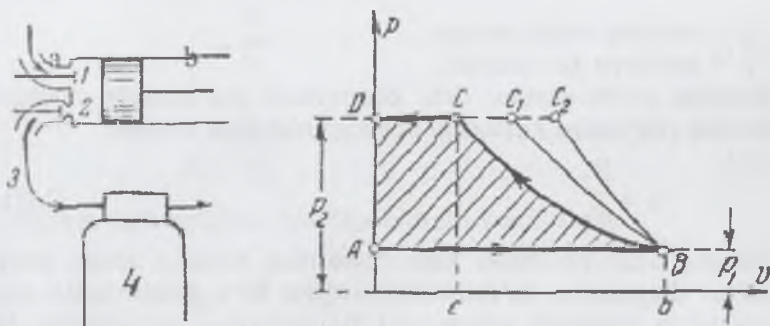
IX BOB. KOMPRESSOR

34-§. Kompessorlar va ularning turlari

Kompessorlar turli gazlarni siqish uchun xizmat qiladi. Kompessorlarda 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 quyimalarning sirtini qumli oqim bilan tozalashda va h.k.

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

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



28-rasm. Bir pog'onali porshenli kompessor

Porshen pastga harakatlanganda silindrdagi bosim atmosfera bosimiga nisbatan kamayib ketadi, natijada atmosfera bosimining kuchi tufayli ko'rish klapani (2) ochilib, silindr havo bilan to'ldi. Porshen qayta yuqoriga qarab harakatlanganda 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 silindrda 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 kompessorning P-V koordinatadagi grafigi (28,b-rasm)ni ko'rib chiqamiz.

AB – soʻrish jarayoni, BC – siqish jarayoni, CD – haydash jarayoni. Siqish chizigʻi havodan olib ketilayotgan issiqlik miqdoriga koʻra BC – izotermik, BC₂ – adiabatik va BC₁ – politropik boʻlishi mumkin. Siqish jarayonida havoni sovitish suv orqali amalga oshiriladi.

Soʻrish hajmi V_s ning silindrning ishchi hajmi V_n ga boʻlgan nisbati kompressor pogʻonasining hajmiy FIK deyiladi.

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

bunda $\sigma = \frac{V_o}{V_n}$ – siqilib ulgurmagan havoning nisbiy hajmi;

V_o va V_n – silindrning zararli va ishchi hajmlari;

λ – bosimni ortish darajasi;

μ – politropa koʻrsatkichi.

Bosimni ortish darajasi deb, kompressor pogʻonasida chiqishdagi bosimning pogʻonaga kirishoagi 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 (m³/sek) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

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

bunda: D – silindrning diametri, m;

S – porshenning yurishi, m;

n – valning aylanish tebranishi, ayl/sek.

Kompressorning uzatish koeffitsienti quyidagi ifodadan aniqlanishi mumkin:

$$\eta_v = \eta_{ayl} \cdot \eta_r \cdot \eta_t \cdot \eta_{oq}$$

bunda η_r – so‘rish tizimi qarshiligidagi so‘rish davomida bosim kamayishini hisobga olinadigan koeffitsient;

η_t – silindr devorlariga tekkanda gaz qizishida harorat ortishini hisobga oladigan koeffitsient;

η_{oq} – so‘ruvchi klapanlarning juda mahkam yopilmasligi natijasida gaz oqib ketishini hisobga oladigan koeffitsient.

Agar so‘rilayotgan gazning bosimi va harorati P_o , T_o va silindrdagi gaz siqilishidagi boshlang‘ich parametrlar P_1 , T_1 aniq bo‘lsa, u holda η_r va η_t quyidagi ifodadan aniqlanadi:

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

$$\eta_t = \frac{T_o}{T_1} \quad (125)$$

Gazning oqib ketishini hisobga oluvchi koeffitsient:

$$\eta_{oq} = 1 - \left(\frac{G_{oq}}{G_{so'r}} \right)$$

bunda: $G_{so'r}$ va G_{oq} – torayish va chiqarib yuborish jarayonidagi oqib ketishda so‘rilayotgan gazning sarfi, kg/sek.

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

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

bunda: P_1 – so‘rilish bosimi, Pa;

V – so‘rilish bosimida kompressorning haqiqiy hajmiy uzatishi, m^3/sek ;

R – gaz doimiysi, $J/(kg \cdot K)$;

T_1 – so‘rish mutlaq harorati, K.

Izotermik torayish davomida kompressorni ishga tushirishdagi nazariy quvvat (kVt)

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

Adiabatik torayishdagi nazariy quvvat (kVt)

$$N_{ad} = \frac{k}{k-1} \frac{P_1 V}{10^3} [(\lambda^{\frac{k-1}{k}} - 1)] \quad (128)$$

bunda: k – adiabat ko'rsatkichi.

Politropik torayishdagi nazariy quvvat (kVt)

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

bunda: k – politropa ko'rsatkichi.

Kompressor sovishi bilan ishlashidagi effektiv quvvati

$$N_c = \frac{N_{iz}}{\eta_{e,iz}} \quad (130)$$

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

Kompressorning sovimasdan avvalgi effektiv quvvati (kVt)

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

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

Kompressorning effektiv FIK

$$\eta_{e,iz} = \eta_{iz} \cdot \eta_m \quad \eta_{e,ad} = \eta_{ad} \cdot \eta_m \quad (132)$$

h_{iz}, h_{ad} – kompressorning izotermik va adiabatik indikator FIK
 h_m – kompressorning mexanik FIK

Porshenli kompressorning indikator yoki ichki quvvati (kVt)

$$N_i = \frac{P_i V_n n}{10^3} \quad (133)$$

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

V_n – silindrning ishchi hajmi, m^3 ;

n – valning aylanish chastotasi, ayl/sek.

Kompressorning effektiv quvvati (kVt)

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

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

$$\lambda = \psi \sqrt[2]{\frac{P_z}{P_1}}$$

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.

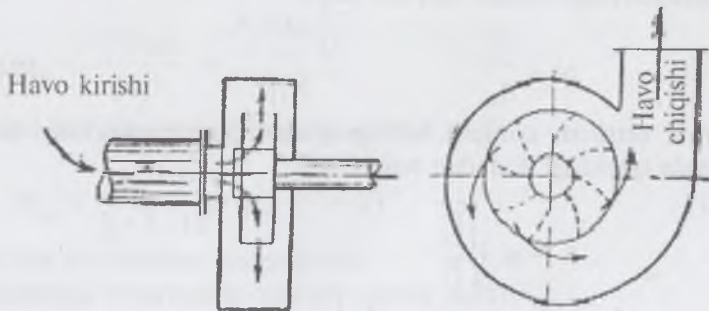
$$V = 2 \eta_v e \ell (\pi D - z \delta) n \quad (136)$$

bunda: η_v – kompressorning uzatish koeffitsienti.

Kompressorning ishga tushishdagi nazariy va effektiv quvvati sovitish bilan (128), (129) ifodadan, sovumasdan (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:

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

bunda: η_{pol} – kompressorning politropik FIK ($\eta_{pol} = 0,78...0,82$)

Kompressorning ishlashdagi effektiv quvvati (kVt)

$$N_c = \frac{M(h_2 - h_1)}{\eta_{ad} \cdot \eta_u} \quad (138)$$

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 $\sigma=0,04$; $\eta_1=0,975$; $\eta_2=0,96$; $\eta_{ad}=0,98$ 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'rilayotgan havoning sarfi $G_{\text{so'r}}=0,12$ kg/sek, oqib ketayotgan havoning sarfi $G_{\text{oq}}=0,0024$ kg/sek bo'lsa, hajmiy FIKni va kompressorning uzatish koeffitsientini aniqlang.

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

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 $h_r=0,92$ 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. *Kompressorda 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 kuchni yuzaga keltiruvchi mashinalar" degan asarida issiqlikning ishga aylanish shartlarini o'rganib, ichki yonuv dvigatellarini yaratish mumkinligini bashorat qiladi. Silindr ichidagi porshen ostida yoqilg'ining bevosita yonishi hisobiga issiqlik dvigatellarida ishlaydigan 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 qiyaliklari orasidagi ozgina farq keskin cho'zilgan diagramma siklini vujudga keltiradi.

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

Odatda, termodinamikada u yoki bu dvigatelning samaradorligi ko'rilayotganda, bu dvigatellarda sodir bo'layotgan jarayonlar qaytar jarayon deb, siklni 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'zgaras hajmda, qisman o'zgaras 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. Siklning xarakteristikalari:

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

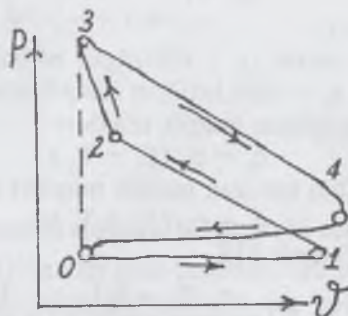
b) $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$ – issiqlik kiritilishda bosim oshish darajasi, ya'ni o'zgaras bosimda issiqlik keltirilishi jarayoni oxirida va boshidagi gaz bosimlar nisbati;

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'zgaras 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'zgaras hajmda yoqilg'ining tez yonib bo'luvchi sikli ko'rsatilgan.

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

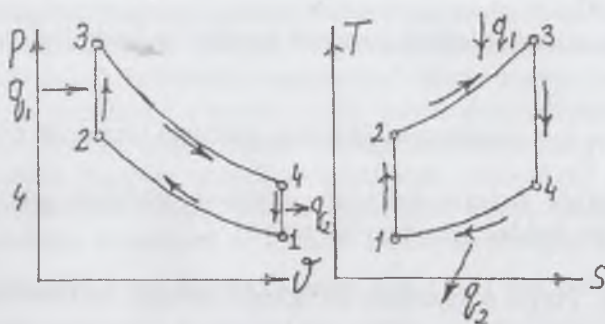


30-rasm. $V=const$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi IYOD (ichki yonuv dvigateli)ning indikator diagrammasi

Bu sikl ikkita izoxora va ikkita adiabatadan tashkil topgan bo'lib, ideal gaz boshlang'ich parametrlari P_1, V_1 va T_1 bilan 1-2 chiziq orqali adiabatik 2 nuqttagacha siqiladi. So'ngra 2-3 chiziq orqali ishchi jismga issiqlik q_1 keltiriladi. 3 nuqtadan boshlab 3-4 chizig'i bo'ylab ishchi jism kengayadi, so'ngra 4-1 izoxora orqali q_2 issiqlik olib ketiladi.

Bu siklning xarakteristikasi siqilish koeffitsienti $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$ 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 koeffitsientini aniqlaymiz.

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

bu yerda: q_1 – keltirilgan issiqlik miqdori;

q_2 – olib ketilgan issiqlik miqdori.

Keltirilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2) \quad (140)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori esa

$$q_2 = c_v (T_4 - T_1) \quad (141)$$

Termik FIK

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_v (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (142)$$

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

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

bundan:

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

2-3 izoxorik jarayon bo'lgani uchun:

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

bundan:

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

3-4 adiabatik jarayon bo'lgani uchun:

$$\frac{T_4}{T_1} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} = \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}, \quad (147)$$

bundan:

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

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

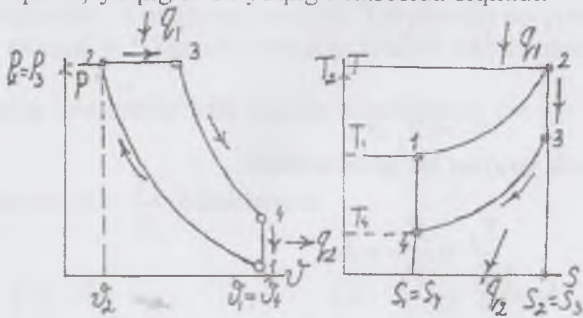
$$\eta_t = 1 - \frac{T_2 - T_3}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \cdot \lambda - T_1}{T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda - T_1 \varepsilon^{\kappa-1}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}, \quad (149)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \quad (150)$$

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 oʻz-oʻzidan yonish harorati bilan cheklanadi. Hozirgi koʻradigan siklimiz shu cheklanishni yoʻqotadi. Bu esa yoqilgʻi bilan havoning alohida siqilishi orqali amalga oshadi. Havo dvigatelning silindrida siqiladi, yoqilgʻi esa yoqilgʻi nasosida siqiladi.



33-rasm. $P=\text{const}$ boʻlganda issiqlik keltiruvchi siklning P - V diagrammasi

34-rasm. $P=\text{const}$ boʻlganda issiqlik keltiruvchi siklning T - S diagrammasi

Bunday siklni nemis muhandisi Dizel ixtiro qilgan. Bunday siklning P - V va T - S diagrammalari 33- va 34-rasmlarda koʻrsatilgan.

Bunday siklning FIK .

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

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 qoʻyish natijasida:

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

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

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

bundan:

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}. \quad (155)$$

2-3 izobara orqali:

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

bundan:

$$T_3 = T_2 \cdot \rho = T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \rho. \quad (156)$$

3-4 adiabata orqali:

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

bundan:

$$T_4 = T_3 \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} = T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \rho \cdot \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \cdot \rho^k \quad (157)$$

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

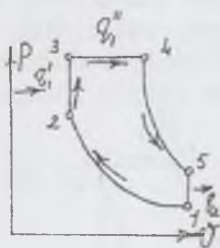
$$\eta_r = 1 - \frac{T_4 - T_1}{\kappa(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \rho^k - 1}{\kappa(T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \rho - T_1 \varepsilon^{k-1})} = 1 - \frac{\rho^k - 1}{\kappa \cdot \varepsilon^{k-1} (\rho - 1)} \quad (158)$$

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

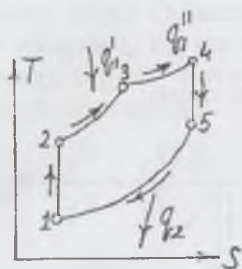
Bunday sikl bilan kompressorli dvigatellar ishlaydi va siqilgan havoning yuqori bosimi tufayli forsunka orqali yoqilg'ining purkalishi natijasida yoqilg'ining yonish jarayoni amalga oshiriladi.

39-§. Aralash holda issiqlik keltiruvchi sikl

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



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



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

Ishchi jism P_1 , V_1 , T_1 parametrlar bilan adiabatik 1-2 chiziq bilan siqiladi. Izoxora 2-3 orqali ishchi jismga q_1' , izobara 3-4 orqali q_1'' issiqlik keltiriladi. So'ngra ishchi jism 4-5 adiabat chizig'i orqali kengayadi va 5-1 chiziq orqali q_2 issiqlik olib ketiladi. Shu siklning foydali ish koeffitsientini aniqlaymiz.

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

Keltirilgan issiqlik miqdori

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

$$q_1'' = c_p (T_4 - T_3) \quad (161)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori esa

$$q_2 = C_v (T_5 - T_1) \quad (162)$$

Olingan qiymatlarni FIK ifodasiga qo'yish natijasida:

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1 + q_1''} = 1 - \frac{C_v (T_5 - T_1)}{C_v (T_3 - T_2) + C_p (T_4 - T_3)} \quad (163)$$

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

1-2 adiabat orqali:

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

bundan: $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$. (164)

2-3 izoxora orqali:

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

bundan: $T_3 = T_2 \cdot \lambda$ va $T_3 = T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda$. (165)

3-4 izobara orqali:

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

bundan:

$$T_4 = T_3 \cdot \rho \text{ va } T_4 = T_1 \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda \cdot \rho \quad (166)$$

4-5 adiabata orqali:

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

$$\rho: \varepsilon = \frac{V_4}{V_3} : \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_1} \quad (167)$$

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

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

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

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

$$\eta_f = 1 - \frac{\lambda \rho^{\kappa} - 1}{\varepsilon^{\kappa-1} [(\lambda - 1) + \kappa \lambda (\rho - 1)]}, \quad (169)$$

Oxirgi ifodadan ko'rinib turibdiki, siklning 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 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 hisoblansin.

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

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

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

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

3-nuqta:

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

Izoxorik jarayonda parametrlar orasidagi bog'lanishga asoslanib,

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

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

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

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

$$\eta_1 = (825 - 495) / 825 = 0,4 = 40\%$$

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

Sikl ishi:

$$l_0 = q_1 - q_2 = 330 \text{ kJ/kg}.$$

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

$$\text{Javob: } \eta_1 = 0,476.$$

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, $t_1=20^\circ\text{C}$, $\epsilon=12,7$, $k=1,4$ 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; $t_2=536^\circ\text{C}$;
 $T_3=1345$ 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 dvigatelining sikli berilgan. Havoning boshlang'ich holatidagi parametrlari $P_1=0,8$ at, $t_1=17^\circ\text{C}$. Siqilish darajasi $\epsilon=4,6$. 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 dvigatelining sikli berilgan. Ishchi jism – havo. Uning boshlang'ich parametrlari $P_1=0,1$ at, $t_1=30^\circ\text{C}$, $\epsilon=4,6$, $\lambda=2,0$, $r=1,2$.

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; $v_4=0,149$ m³/kg;
 $P_2=1,52$ MPa; $P_3=3,05$ MPa; $P_5=0,26$ 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, $\epsilon=14$, $\rho=1,5$, $k=1,4$. 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: $V_1=V_4=0,0341$ m³; $V_2=0,00244$ m³; $V_3=0,00366$ 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 dvigatellarining sikllari necha xil bo'ladi?
3. Ichki yonuv dvigatellari sikllarining asosiy xarakteristikalarini ayting.
4. Hajm o'zgarmaganda issiqlik keltiruvchi siklning FIKni ifodasini yozib hering.
5. Hajm o'zgarmaganda 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 dvigatellarining ishlash uslubini tushuntirib hering.

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'lmastir. 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'irligining 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 turbini (3)ning ishchi parraklariga kelib urilib, atmosferaga chiqarib ketadi. Shunday siklning P-V, T-S diagrammasi 38- va 39-rasmlarda 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.

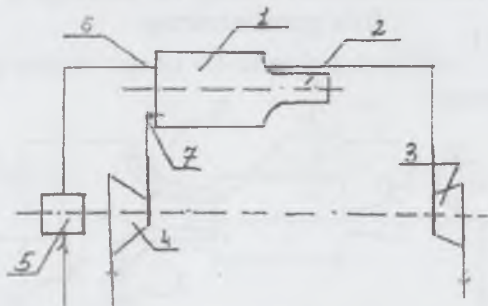
So'ngra ishchi jism turbinada adiabatik kengayadi (3-4 chizig'i), keyin ishchi jism avvalgi boshlang'ich holatiga qaytadi (4-1 chizig'i). Bu siklning

xarakteristikasi bo'lib, bosimni oshirish darajasi $\beta = \frac{P_2}{P_1}$ va izobarik

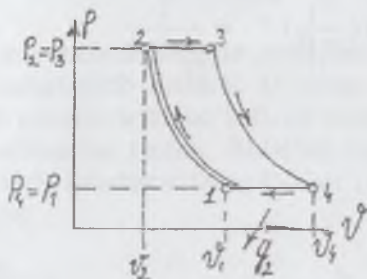
kengayish darajasi $\rho = \frac{V_3}{V_2}$ hisoblanadi.

Siklining FIKni hisoblaymiz:

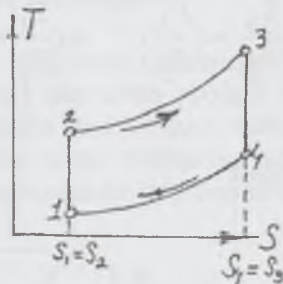
$$\eta_t^{GTQ} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (170)$$



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

$$q_1 = C_p (T_3 - T_2) \quad (171)$$

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:

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

bundan:

$$T_2 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (172)$$

2-3 izobara orqali:

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

bundan:

$$T_3 = T_2 \cdot \rho \text{ va } T_3 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \rho \quad (173)$$

3-4 adiabata orqali:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{P_1}{P_1\beta}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \frac{1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}$$

bundan:

$$T_4 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \rho \frac{1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = T_1 \cdot \rho \quad (174)$$

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

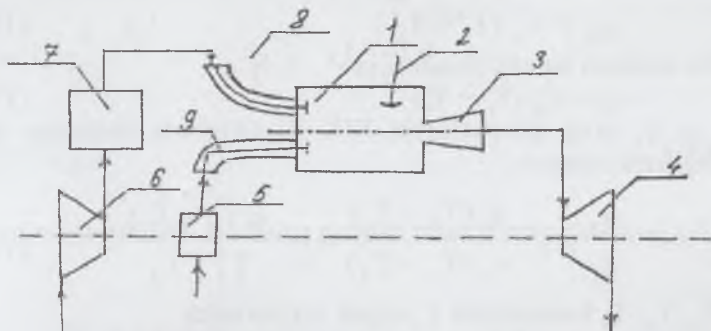
$$\eta_i = 1 - \frac{T_1 \rho - T_1}{T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \rho - T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = 1 - \frac{\rho - 1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} (\rho - 1)} \quad (175)$$

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, FIK bosimni oshirish darajasiga va adiabata ko'rsatkichiga bog'liq ekan.

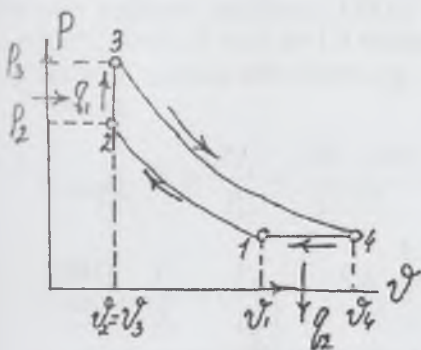
42-§. Hajm o'zgarmas bo'lganda issiqlik keltiruvchi gaz turbina qurilmasining sikli

Bu siklning chizma tasviri 40-rasmda keltirilgan.

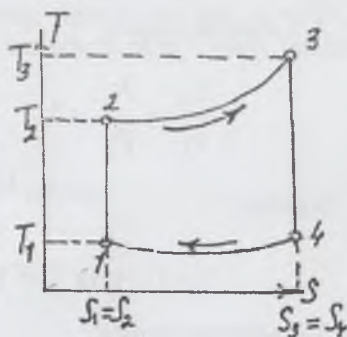


40-rasm. $V=const$ GTQning chizma tasviri

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 siklning P-V va T-s diagrammasini quyidagi chizmada ko'ramiz.



41-rasm. $V=const$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklning P-V diagrammasi



42-rasm. $V=const$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklning 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 siklning 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_2, T_3, T_4 haroratlarni T_1 orqali ifodalaymiz.

1-2 adiabata orqali:

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

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:

$$T_4 = T_3 \left(\frac{1}{\beta\lambda}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \lambda \left(\frac{1}{\beta\lambda}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \text{ va}$$

$$T_4 = T_1 \lambda^{\frac{1}{\kappa}} \quad (182)$$

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

$$\eta_t = 1 - \frac{\frac{1}{\kappa}(\lambda^{\frac{1}{\kappa}} - 1)}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}(\lambda - 1)}, \quad (183)$$

(183) ifodadan ko'rinib turibdiki, siklning FIK k , β , λ kattaliklar ortishi bilan ortadi.

Masalalar

1. Bosim o'zgarmas bo'lgandagi gaz turbina qurilmasi ($P=\text{const}$) siklinining har bir nuqtasidagi parametrlarini, foydali ishini, keltirilgan va olib ketilgan issiqlikni, FIKni aniqlang, agar $P_1=1$ bar, $t_1=27^\circ\text{C}$, $t_2=700^\circ\text{C}$, $\lambda=P_2/P_1=10$; $k=1,4$ berilgan bo'lsa. Ishchi jism – havo. Issiqlik sig'imini o'zgarmas deb hisoblang.

Yechish:

$$1\text{-nuqta: } V_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 300}{1 \cdot 10^6} = 0,861 \text{ m}^3/\text{kg};$$

$$2\text{-nuqta: } \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}; \quad T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = T_1 \lambda^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_2 = 300 \cdot 10^{0,4/1,4} = 300 \cdot 1,93 = 579 \text{ K}$$

$$t_2=306^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \rho \quad P_2 = P_1 \lambda = 1 \cdot 10 = 10 \text{ bar}$$

$$P_2 V_2 = RT_2 \quad V_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{287 \cdot 579}{10 \cdot 10^5} = 0,166 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$3\text{-nuqta: } T_3 = 700 + 273 = 973 \text{ K}$$

$$P_3 = P_2 = 10 \text{ bar}$$

$$V_3 = V_2 \frac{T_3}{T_2} = 0,166 \frac{973}{579} = 0,279 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{T_1}{T_4} \cdot \frac{973}{T_4} = \frac{579}{300}$$

$$4\text{-nuqta: } T_4 = \frac{973 \cdot 300}{579} = 504 \text{ K}$$

$$t_4 = 229^{\circ}\text{C} \quad P_4 = P_1 = 1 \text{ bar}$$

$$\frac{V_4}{V_1} = \frac{T_4}{T_1}; \quad V_4 = V_1 \frac{T_4}{T_1} = 0,861 \cdot \frac{504}{300} = 1,45 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Issiqlik miqdori:

$$q_1 = q_{2,3} = C_p (T_3 - T_2) = (29,31/28,96)(973 - 579) = 399 \text{ kJ/kg}$$

$$q_2 = q_{4,1} = C_p (T_4 - T_1) = (29,31/28,96)(500 - 300) = 202 \text{ kJ/kg}$$

Siklning ishi:

$$l_{\text{sh}} = q_1 - q_2 = 399 - 202 = 197 \text{ kJ/kg}$$

Siklning termik FIK:

$$\eta_i = 1 - q_2/q_1 = 1 - (202/399) = 0,494$$

2. Gaz turbinasi $P = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltirish bo'yicha ishlaydi. Bunda quyidagi parametrlar aniq: $P_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 40^{\circ}\text{C}$, $t_4 = 400^{\circ}\text{C}$, yana 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'zgarmas deb hisoblang.

$$V_2 = 0,204 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad t_2 = 297^{\circ}\text{C}$$

$$V_3 = 0,438 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad t_3 = 948^{\circ}\text{C};$$

$$V_4 = 1,93 \text{ m}^3/\text{kg}; q_1 = 659 \text{ kJ/kg}$$

$$q_2 = 364 \text{ kJ/kg}; l_0 = 296 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_1 = 0,45$$

$$\text{Javob: } V_1 = 0,9 \text{ m}^3/\text{kg}; P_2 = 8 \text{ bar}$$

3. Gaz turbina qurilmasi $R = \text{const}$ sikli bo'yicha ishlaydi. Quyidagi parametrlar berilgan: $t_1 = 30^\circ\text{C}$, $t_4 = 400^\circ\text{C}$, $\lambda = P_2/P_1 = 4$. Ishchi jism – havo. Shu siklning termik FIKni aniqlang.

$$\text{Javob: } \eta_1 = 0,585.$$

4. $P = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi GTQning FIKni aniqlang, bunda uning bosimini oshirish darajasi 1) $\beta_1 = 5$; 2) $\beta_2 = 10$; 3) $\beta_3 = 20$ ga teng. Ishchi jismni havoning xossalariga ega bo'lgan jism deb hisoblang. Adiabata ko'rsatkichi $k = 1,4$.

$$\text{Javob: } \eta_{11} = 0,369; \eta_{12} = 0,482; \eta_{13} = 0,575.$$

5. Gaz turbinasi $P = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl bilan ishlaydi, bosimni oshirish darajasi $\beta = 12$.

Ikkita holat uchun shu siklning FIKni aniqlang:

1) ishchi jism – havo; 2) ishchi jism – geliy.

$$\text{Javob: } \eta_1 = 0,508; \eta_2 = 0,630.$$

6. Gaz turbina qurilmasining bug' turbinasiga parametrlari $P_3 = 1,0$ MPa, $t_1 = 700^\circ\text{C}$ bo'lgan geliy kiradi. Turbinaning ichki nisbiy FIK 0,86, turbinadan keyingi bosim $P_4 = 0,1$ MPa ga teng. Agar turbinaning haqiqiy quvvati $N_1 = 40$ MVt bo'lsa, soatiga sarflangan issiqlik va geliyning turbinadan chiqishdagi haroratini aniqlang.

$$\text{Javob: } t = 196^\circ\text{C}; m_1 = 55,1 \cdot 10^3 \text{ kg/s}.$$

Nazorat savollari

1. Gaz turbina qurilmalarining asosiy qulayliklari nimadan iborat?

2. GTQni qayerlarda qurish mumkin?

3. $V = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklning chizma tasvirini chizib ko'rsating.

4. $V = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklning $R-V$ va $T-s$ diagrammasini chizib ko'rsating.

5. $R = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklning chizma tasvirini chizib ko'rsating.

6. $R = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklning $R-V$ va $T-s$ diagrammasini chizib ko'rsating.

7. Ikkala siklning FIK qanday kattaliklarga bog'liq.

II BO'LIM. ISSIQLIK ALMASHINUVI

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

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

Issiqlik o'tkazuvchanlik deb, jism mikrozarhalarning tebranma harakati orqali issiqlikning uzatilishiga aytiladi. Issiqlik o'tkazuvchanlik asosan qattiq jismlarda sodir bo'ladi. Issiqlik o'tkazuvchanlikda issiqlik gazlarda har xil energiyaga ega molekulalarning to'qnashuvida, suyuqliklarda molekulalarning tebranishida metallarda erkin elektr 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 almashuvi** 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. Jismning 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'zgarmaydi);
- 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. Jismning bir xil haroratlari nuqtalarini birlashtirsak, izotermik sirt hosil bo'ladi. 2 ta izotermik sirt: t haroratli va Δt ga ko'p bo'lgan haroratli sirtni ko'rib chiqamiz. Bu sirtlar bir biri bilan kesishmaydi. A nuqtadan izotermik sirtga har xil yo'nalishlar o'tkazsak,

harorat o'zgarishi har xil bo'ladi. Izotermik sirtga normal bo'yicha yo'nalish o'tkazsak haroratning o'zgarishi yuqori bo'ladi.

Harorat o'zgarishining (Δt) izotermalar orasida normal bo'yicha masofa Δn ga nisbati **harorat gradienti** deyiladi.

$$\text{grad } t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{\partial t}{\partial n} \quad (184)$$

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

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c \rho} \quad (185)$$

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_v – jismning ichki issiqlik manbayi.

Bir qiymatli shartlari. Differensial tenglamani konkret hodisaga tadbqiq etish uchun bir qiymatli shartlarni bilish kerak.

1. Geometrik shart (jismning o'lchamlari, tuzilishi);
2. Fizik shart (jismning 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}

$$\alpha(t_c - t_n) = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)$$

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:

$$dQ = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \cdot dF \cdot d\tau \quad (186)$$

bu yerda: λ – issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti (Vt/mK) jismning fizik kattaligi bo'lib, qiymati son jihatdan haroratlar farqi 1°C bo'lganda devorning birlik qatlamidan vaqt birligi ichida o'tadigan solishtirma issiqlik miqdoriga teng.

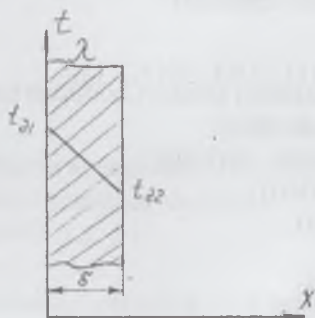
Izotermik sirtidan vaqt birligi ichida o'tadigan issiqlik miqdori **issiqlik oqimining zichligi** deyiladi.

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

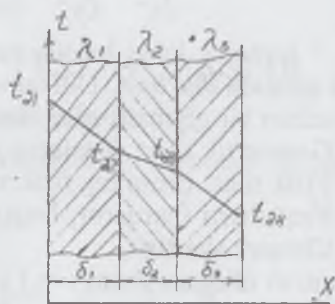
$$q = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right), \text{ Vt/m}^2 \quad (187)$$

44-§. Barqaror holatda yassi bir qatlamli devorning issiqlik o'tkazuvchanligi

Qalinligi δ (mm) va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti λ bo'lgan bir qatlamli yassi devor berilgan (43-rasm). Devorning tashqi yuza va ichki yuzasida haroratlar o'zgarmas, t_{d1} va t_{d2} 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 $c = t_{d1}$ ga, $x = \sigma$ bo'lganda $t = t_{d2}$ ga teng deb hisoblab, issiqlik oqimi zichligini hisoblash ifodasiga ega bo'lamiz:

$$q = (\lambda / \delta) (t_{d1} - t_{d2}) \quad \text{Vt/m}^2 \quad (191)$$

bu yerda: $t_{d1} - t_{d2} = \Delta t$ — haroratlar farqi;

λ / δ — devorning issiqlik o'tkazuvchanligi, $\text{Vt/m}^2\text{K}$,

δ/λ — devorning termik qarshiligi.

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

$$Q = q F \tau = (\lambda / \delta) (t_{d1} - t_{d2}) F \tau \quad (192)$$

Yassi ko'p qatlamli devor uchun (masalan, 3 qatlamli devor uchun) issiqlik oqimi zichligi quyidagi ifoda orqali topiladi (44-rasm).

$$q = \frac{t_{o1} - t_{on}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{t_{o1} - t_{on+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad \text{Vt/m}^2 \quad (193)$$

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:

$$t_{o2} = t_{o1} - q \frac{\delta_1}{\lambda_1}$$

$$t_{o3} = t_{o2} - q \frac{\delta_2}{\lambda_2}$$

$$t_{\alpha_1} = t_{\alpha_2} - q \frac{\delta_3}{\lambda_3} \quad (194)$$

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.

$$t = t_{\alpha_1} - (t_{\alpha_1} - t_{\alpha_2}) \frac{\ln \frac{d}{d_1}}{\ln \frac{d_2}{d_1}}; \quad ^\circ\text{C}, \quad (195)$$

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

$$Q = (2\pi\lambda\ell(t_{\alpha_1} - t_{\alpha_2})) / \ln \frac{d_2}{d_1}; \quad \text{Vt}, \quad (196)$$

Issiqlik oqimi zichligi silindrik devorning ichki yuza birligiga berilgan bo'lishi mumkin:

$$q_1 = \frac{Q}{\pi d_1 \lambda} = \frac{2\lambda(t_{\alpha_1} - t_{\alpha_2})}{d_1 \cdot \ln(d_2 / d_1)}; \quad \text{Vt/m}, \quad (197)$$

va tashqi yuza birligiga:

$$q_2 = \frac{Q}{\pi d_2 \lambda} = \frac{2\lambda(t_{\alpha_1} - t_{\alpha_2})}{d_2 \cdot \ln(d_2 / d_1)}; \quad \text{Vt/m}, \quad (198)$$

hamda quvur uzunligi bo'yicha: (issiqlik oqimining chizikli zichligi)

$$q_\lambda = \frac{Q}{\lambda} = \frac{\pi(t_{\alpha_1} - t_{\alpha_2})}{1/2\lambda \cdot \ln(d_2 / d_1)}; \quad \text{Vt/m}. \quad (199)$$

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

$$q_{\lambda} = \frac{\pi(t_{o_1} - t_{o_2})}{1/2\lambda_1 \cdot \ln(d_2/d_1) + 1/2\lambda_2 \cdot \ln(d_3/d_2)}; \text{ Vt/m}, \quad (200)$$

Qatlamlar orasidagi chegara haroratlari:

$$t_{o_2} = t_{o_1} - q_{\lambda} \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (201)$$

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:

$$\lambda = (q \delta) / (t_{d_1} - t_{d_2}) = 178 \cdot 0,39 / (300 - 60) = 0,29 \text{ Vt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2. Ichki diametri 140 mm bug' quvuri qalinligi $\delta_2 = 20 \text{ mm}$ va $\delta_3 = 40 \text{ mm}$ bo'lgan 2 ta qatlamlar bilan izolatsiyalangan. Quvur va izolatsiya qatlamlarining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientlari: $\lambda_1 = 55 \text{ Vt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\lambda_2 = 0,037 \text{ Vt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\lambda_3 = 0,14 \text{ Vt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Quvurning ichki sirtidagi harorat $t_1 = 300 \text{ } ^\circ\text{C}$ va tashqi sirtidagi harorat $t_4 = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$. Bug' quvurining qalinligi $\delta = 5 \text{ mm}$. 1 m bug' quvuri orqali o'tgan issiqlik oqimini toping.

Yechish:

$$\begin{aligned} q_{\lambda} &= \frac{2\pi(t_1 - t_4)}{1/\lambda_1 \cdot \ln(d_2/d_1) + 1/\lambda_2 \cdot \ln(d_3/d_2) + 1/\lambda_3 \cdot \ln(d_4/d_3)} = \\ &= \frac{2 \cdot 3,14(300 - 55)}{1/55 \ln(150/140) + 1/0,037 \ln(130/150) + 1/0,14 \ln(270/190)} = \\ &= 172,5 \text{ Bt/m} \end{aligned}$$

3. Uzunligi $\ell = 5 \text{ m}$, balandligi $h = 4 \text{ m}$ va qalinligi $\delta = 250 \text{ mm}$ bo'lgan qizil g'isht devordan o'tgan issiqlik oqimini toping. Devor sirtlaridagi haroratlar $t_1 = 110 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_2 = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ va qizil g'ishtning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda = 0,7 \text{ Vt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ga teng.

Javob: $Q = 3920 \text{ Vt}$.

4. Uzunligi 180 mm bo'lgan alyuminiy g'ola bir tarafdin $t_{s1} = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ isitgich va ikkinchi tarafdin $t_{s2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ sovutgich bilan siqilgan. Agar issiqlik oqimi $Q = 176,8\text{ Vt}$, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda = 204\text{ Vt/m}^{\circ}\text{C}$ va yon sirtlaridan issiqlik yo'qolishi bo'lmaganda g'olaning termik qarshiligi, harorat gradienti va ko'ndalang kesimi yuzasini toping.

Javob: $R = 0,88 \cdot 10^{-3}\text{ (m}^2 \cdot \text{K)/Vt}$;
 $\text{grad } t = 2166,7\text{ (K/m)}$; $F = 400\text{ mm}^2$.

5. Yassi sirtni shunday izolatsiya qilish kerakki, bunda vaqt birligi ichida birlik yuzadan o'tgan issiqlik 450 Vt/m^2 g'dan oshmasin. Izolatsiya sirtlaridagi haroratlar $t_1 = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ va $t_2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ga teng. Ikki xil holat uchun izolatsiya qalinligini aniqlang:

a) sovelitdan qilingan izolatsiya uchun issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti

$$\lambda = 0,09 + 0,0000874 t \quad \text{Vt/m } ^{\circ}\text{C}$$

b) asbotermitdan qilingan izolatsiya uchun issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti

$$\lambda = 0,109 + 0,000146 t \quad \text{Vt/m } ^{\circ}\text{C}$$

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 koeffitsientlari 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 $t_1 = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ va tashqi sirtidagi harorat $t_4 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ga teng. Yonish kamerasining devoridan o'tgan issiqlik oqimining zichligi va qatlamlar yopishgan sirtlaridagi haroratlarni aniqlang.

Javob: $q = 1274\text{ Vt / m}^2$, $t_2 = 995\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_3 = 505\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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:

$$t_2 = t_1 - q \frac{\delta_1}{\lambda_1} = 1200 - 1274 \frac{0,15}{0,93} = 995 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_3 = t_4 + q \frac{\delta_3}{\lambda_3} = 50 + 1274 \frac{0,25}{0,7} = 505 \text{ } ^\circ\text{C}$$

7. Uzunligi 3 m, ichki diametri 140 mm li bug' quvuri qalinligi $\delta_2 = 20$ mm va $\delta_3 = 40$ mm bo'lgan izolatsiya qatlamidan iborat. Quvurning va izolatsiya qatlamlarining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientlari mos ravishda $\lambda_1 = 55$; $\lambda_2 = 0,037$ va $\lambda_3 = 0,14$ Vt/m⁰C ga teng. Quvurning ichki sirtidagi harorat $t_1 = 300$ °C va izolatsiyaning tashqi sirtidagi harorat $t_4 = 55$ °C ga teng. Bug' quvurining qalinligi $\delta = 5$ mm . Bug' quvuridan o'tgan issiqlik oqimini aniqlang.

Javob: 517,5 Vt / m .

Yechish:

Bug' quvurining tashqi diametrini topamiz:

$$d_2 = d_1 + 2 \delta_1 = 140 + 2 \cdot 5 = 150 \text{ mm};$$

Izolatsiya 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 izolatsiya qatlamlarining o'rnini almashtirsak, izolatsiyalangan 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 $\lambda_{\text{iz}} = 0,062(1+0,00363 t)$ $\text{Vt/m}^0\text{C}$ bo'lgan izolatsiya qatlamidan iborat. Quvurning tashqi sirtidagi harorat $t_2 = 300^0\text{C}$, izolatsiyaning tashqi sirtidagi harorat 50^0C ga teng bo'lganda 1 m bug' quvurdan yo'qolgan issiqlikni va quvurning ichki sirtidagi haroratni aniqlang.

Javob: $q_1 = 205$ Vt/m , $t_1 = 300^0\text{C}$.

Nazorat savollari

1. Issiqlik uzatilishi hodisasi qanday hodisasi hisoblanadi?
2. Issiqlik o'tkazuvchanlik hodisasi sodir bo'lishining shart-sharoitlarini tushuntirib bering.
3. Bir qiymatli 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 tushuniladi.

Majburiy harakat yoki **majburiy konveksiya** tizim chegaralariga qo'yilgan tashqi yuza 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.

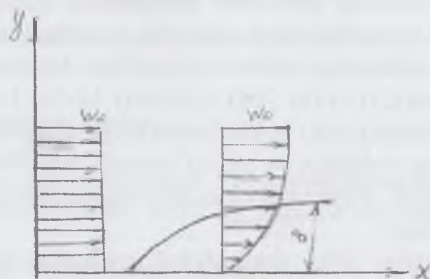
Suyuqlik zarrachalarining bir tekisda aralashmagan holda yuzaga kelishiga **laminar oqim** deyiladi. Bunda oqish yo'nalishida normal bo'yicha issiqlikning uzatilishi asosan issiqlik o'tkazuvchanlik bilan amalga oshadi. Suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanligi ancha kichik bo'lganligi sababli tezlik uncha 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'lcamsiz qiymat bilan aniqlanishini ko'rsatdi. Bu qiymat **Reynolds soni** deb ataladi. Laminar suyuqlik yoki gaz bir tekisda qatlam-qatlam bo'lib harakatlanadi ($Re < 2300$), turbulent oqimda qatlamlar bir-biri bilan aralashib harakatlanadi ($Re > 10\ 000$).

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 oqa boshlashi bilan devorlar yaqinidagi suyuqlik zarrachalari ishqalanish 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 qatlamning qalinligi ortadi. Tezlik ortishi bilan chegara qatlamning qalinligi kattalashadi. Suyuqlikning qovushqoqligi ortishi bilan qatlamning qalinligi ham ortadi. Bu o'z navbatida suyuqlikdan qattiq jism sirtiga issiqlik 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 qatlamning 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, Vt ;

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

t_m – atrof-muhit harorati, $^{\circ}\text{C}$,
 t_d – devor sirtining harorati, $^{\circ}\text{C}$;
 F – issiqlik almashuv yuzasi, m^2 .

Issiqlik berish koeffitsienti 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°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:

$$q = \alpha \Delta t \quad \text{Wt/m}^2 \text{ ga teng.} \quad (203)$$

47-§. O‘xshashlik nazariyasi asoslari

Konvektiv issiqlik almashuvi ko‘p o‘zgaruvchanli va bir ma’noli differensial tenglamalar bilan izohlanadi.

Issiqlik berish koeffitsientini analitik hisoblash, tenglamalarni yechish juda ko‘p qiyinchiliklarga olib keladi. Shuning uchun o‘xshashlik nazariyasiga asoslanib, issiqlik berish koeffitsientini 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, Grasgof, Prandtl va Nusselt mezonlaridir.

$$\text{Re} = \frac{wx}{\nu} \quad \text{– bu tenglik oqim inersiya kuchining qovushqoqlik kuchiga}$$

bo‘lgan nisbatini ifodalaydi.

$$\text{Gr} = \frac{g\beta \Delta t x^3}{\nu^2} \quad \text{– bu tenglik oqim ko‘tarilishi kuchining}$$

qovushqoqlik kuchiga bo‘lgan nisbatini ifodalaydi.

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

$\text{Nu} = \alpha / \lambda$ – konvektiv issiqlik almashuvini ifodalovchi kattalik.

bu yerda: w – issiqlik tashuvchining harakat tezligi, m/s ;

x – geometrik aniqlovchi kattalik, m ;

ν – kinematik qovushqoqlik koeffitsienti, m^2/s ;

$a = \lambda / c_p$ – harorat o‘tkazuvchanlik koeffitsienti, m^2/s ;

g - erkin tushish tezlanishi, m/s^2 ;

β - hajmiy kengayish harorat koeffitsienti, $\frac{1}{K}$;

$\Delta t = t_d - t_m$ - haroratlar farqi;

λ - issiqlik tashuvchining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, Vt/mK .

α - issiqlik berish koeffitsienti, Vt/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'xshashlilik 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:

$$Nu_{sd} = 0,15 Re_{sd}^{0,33} \cdot Pr_s^{0,33} (Gr_{sd} \cdot Pr_s)^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_s}{Pr_b}\right)^{0,25} \cdot \varepsilon_\varepsilon \quad (206)$$

bu yerda: ε_ε – quvur uzunligi ℓ 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 tegishlilikini ko'rsatadi. (d – devor; s – suyuqlik).

Suyuqlik turbulent ($Re \geq 10000$) harakatlenganda, $\ell/d > 50$ bo'lsa, issiqlik berish koeffitsientining o'rtacha qiymati α ni quyidagi formula orqali topish mumkin.

$$Nu_{sd} = 0,02 Re_{sd}^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_s}{Pr_b}\right)^{0,25} \quad (207)$$

Pr_d – 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.

$$Nu_{s(x/d)} = 0,022 Re_{s(x/d)}^{0,8} \cdot Pr_s^{0,43} \cdot \varepsilon_\lambda \quad (208)$$

Agar $(x/d \geq 15)$ bo'lsa, $\varepsilon_\lambda \approx 1$ va $(x/d) < 15$ bo'lsa, $\varepsilon_{\lambda d} = 1,38 (x/d)^{0,12}$ 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:

$$Nu_{sx} = 0,6 (Gr_{sx} Pr_s)^{0,25} \left(\frac{Pr_s}{Pr_b}\right)^{0,25} \quad (209)$$

Laminar oqimda $t_s = \text{const}$ bo'lganda vertikal devorning issiqlik berish koeffitsienti quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$\text{Nu}_{s,d} = 0,63(\text{Gr}_{s,d} \text{Pr}_s)^{0,25} \left(\frac{\text{Pr}_s}{\text{Pr}_0} \right)^{0,25} \quad (210)$$

Suyuqlik gorizontaal quvur atrofida erkin laminar harakatlenganda o'rtacha issiqlik berish koeffitsienti quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$\text{Nu}_{s,d} = 0,5(\text{Gr}_{s,d} \text{Pr}_s)^{0,25} \left(\frac{\text{Pr}_s}{\text{Pr}_0} \right)^{0,25} \quad (211)$$

Rivojlangan turbulent harakat ($\text{Gr}_{s,x} \text{Pr}$) bo'lganda vertikal devor bo'ylab erkin harakatlanishda issiqlik berish koeffitsienti quyidagi formula orqali topiladi:

$$\text{Nu}_{s,x} = 0,15(\text{Gr}_{s,x} \text{Pr}_s)^{0,53} \left(\frac{\text{Pr}_s}{\text{Pr}_0} \right)^{0,25} \quad (212)$$

(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:

$$q = (\lambda_{\text{ckv}} / \delta) (t_{\partial_1} - t_{\partial_2}), \text{ Vt/m}^2 \quad (213)$$

bu yerda: λ_{ckv} — chegaralangan hajmda issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya bilan issiqlik o'tishini hisobga oluvchi issiqlik o'tkazuvchanlikning ekvivalent koeffitsienti,

$$\lambda_{\text{ckv}} = e_k \lambda \quad (214)$$

bu yerda: λ — suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, Vt/mK ;

e_k — issiqlik o'tishida konveksiyaning ta'sirini ifodalovchi koeffitsient.

$(Gr - Pr)_d > 10^3$ bo'lgan aniqlikda $\varepsilon_k = 0,8 (Gr - Pr)^{0,25}$ deb qabul qilish mumkin.

Aniqlanuvchi harorat sifatida:

$$t_j = 0,5 (t_{o_1} - t_{o_2}), \text{ } ^\circ\text{C bo'ladi.} \quad (215)$$

Aniqlanuvchi kattalik qilib teshik qalinligi δ_m qabul qilingan. Gorizontaal teshik bo'lgan sharoitda yuqori yuzasining harorati pastki qismdagi haroratdan yuqori bo'ladi. Suyuqlik harakat qilmaydi va $\lambda_{ekv} = \lambda$, konvektiv issiqlik almashuvi qiymati nolga teng bo'ladi.

Masalalar

1. Gorizontaal issiqlik almashuv apparatining diametri $d = 400$ mm, sirtining harorati $t_{qc} = 200$ $^\circ\text{C}$ va xonadagi havoning harorati $t_h = 30$ $^\circ\text{C}$ ga teng bo'lganda vaqt birligi ichida 1 m^2 gorizontaal issiqlik almashuv apparati sirtidan o'tgan issiqlikni aniqlang.

Javob: $q = 1000$ Vt / m^2 .

Yechish:

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q = \alpha (t_{q_s} - t_s)$$

Erkin konveksiya uchun issiqlik berish koeffitsienti:

$$Nu = 0,5 (Gr_s Pr_s)^{0,25}$$

Havo haroratida $t_x = 30$ $^\circ\text{C}$ parametrlarni jadvaldan olamiz:

$$\gamma = 16,0 \cdot 10^{-6}, \text{ m}^2 / \text{s}; \lambda = 2,67 \cdot 10^{-2}, \text{ Vt} / \text{m} \text{ } ^\circ\text{S}$$

$$\beta = 1/T = 1 / 30 + 273 = 1 / 303 \text{ K}^{-1}; Rr = 0,701$$

$$(Gr_c Pr_c) = \frac{g\beta\Delta t d^3}{\gamma^2} Pr_s = \frac{9,81 \cdot (200 - 30)0,4^3}{303(16 \cdot 10^{-6})} 0,701 = 9,75 \cdot 10^8$$

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

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 m^2 issiqlik almashuv sirtidan o'tgan issiqlik

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

2. Agar plita sirtining harorati $t_{qs} = 100$ $^\circ\text{C}$ va atrof-muhitning harorati

$t_x = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ga teng bo'lsa, balandligi 2 m bo'lgan vertikal plitaning issiqlik berish koeffitsientini aniqlang.

Javob: $\alpha = 7,92 \text{ Vt} / \text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Moy bakidagi MC markali moy diametri 20 mmli gorizontal quvurlar yordamida bir xil haroratda saqlanadi. Moyning harorati $s=60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ va quvur sirtidagi harorat $t_{q,s}=90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bo'lganda quvur sirtidan moyga berilgan issiqlik berish koeffitsientini aniqlang.

Javob: $\alpha = 96,2 \text{ Vt} / \text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 $s=40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ va kanalning ichki sirtidagi harorat $t_{q,s}=90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bo'lganda kanal devoridan suvga issiqlik berish koeffitsienti va issiqlik oqimini aniqlang.

Javob: $\alpha = 20300 \text{ Vm/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $Q = 50994 \text{ Vt}$.

Yechish:

Kanalning ekvivalent diametrini 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 $t_s = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, haroratida fizik xususiyatlari:

$\nu_s = 0,659 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $\lambda_s = 0,634 \text{ Vt/m} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}$; $Pr_s = 4,3$

$t_{q,s} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ da $Pr_{q,s} = 1,95$

Reynolds soni

$$Re = \frac{wd_e}{\nu} = \frac{4 \cdot 0,01}{0,659 \cdot 10^{-6}} = 6,07 \cdot 10^4 > 10^4$$

Harakat holati – turbulent

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr_s}{Pr_{q,s}} \right)^{0,25} = 0,021 (6,07 \cdot 10^4)^{0,8} (4,3)^{0,43} \left(\frac{4,3}{1,95} \right)^{0,25} =$$

$= 320$

Issiqlik berish koeffitsienti

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d_1} = 320 \frac{0,634}{0,01} = 20300 \frac{\text{Vt}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}},$$

Issqlik oqimi:

$$Q = \alpha (t_{q,s} - t_s) \pi d l = 20300 (90 - 60) 3,14 \cdot 0,01 \cdot 1,6 = 50994 \text{ Vt.}$$

6. Uzunligi $l=2\text{m}$ va eni $a=1,5\text{m}$ gorizontal plastinadan havo oqimi o'tadi. Havo oqimining tezligi $w=3\text{m/s}$, harorati 20°C va plastina sirtidagi harorat 90°C ga teng. Plastinadan havoga issiqlik berish koeffitsientini va issiqlik miqdorini aniqlang.

$$\text{Javob: } \alpha = 4,87 \frac{\text{Vt}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}, \quad Q = 2050 \text{ Vt}$$

7. Ichki diametri $d=50 \text{ mm}$ bo'lgan quvurdan suv $w=0,8 \text{ m/s}$ tezlikda oqib o'tadi. Suvning harorati $s=50 \text{ }^\circ\text{C}$, quvur sirtidagi harorat $t_{q,s}=65^\circ\text{C}$ bo'lganda $l \text{ m}$ quvur sirtidan o'tgan issiqlikni aniqlang.

$$\text{Javob: } q_\lambda = 9,03 \text{ kVt/m.}$$

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 $t_{q,s}=80 \text{ }^\circ\text{C}$ ga teng. Issiqlik berish koeffitsienti va birlik uzunlikdagi issiqlik oqimini aniqlang.

$$\text{Javob: } \alpha = 36,3 \text{ Vt}/2\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}, \quad q_\lambda = 102 \text{ Vt/m.}$$

Nazorat savollari

1. Konvektiv issiqlik almashuvi haqida tushuncha bering.
2. O'xshashlik 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 mezoni nimani 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.

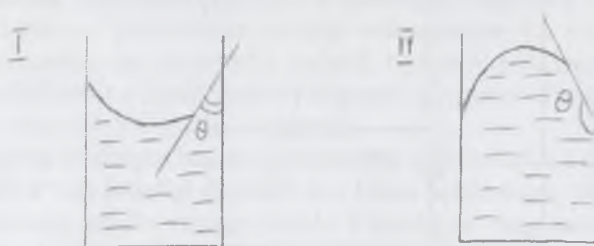
Xalq xo‘jaligining ko‘pgina sohalarida, xususan issiqlik energetikasida asosan bug‘ning sovuq yuza bilan to‘qnashishida hosil bo‘ladigan kondensatsiya, ya‘ni yuzadagi kondensatsiya jarayoni ishlatiladi. Bunday kondensatsiya yuzaning harorati berilgan bosimda to‘yinish haroratidan kichik bo‘lgandagina sodir bo‘ladi. Qattiq jism yuzasida goho kondensat plyonkasi, goho alohida tomchilar hosil bo‘ladi. Birinchi holatdagi kondensatsiya holati plyonkali, ikkinchi holatdagisi **tomchili kondensatsiya holati** deyiladi.

Kondensatsiya holati yuzaga kelishi, suyuqlik yuzani ho‘llashiga va ho‘llamasligiga bog‘liq bo‘ladi. Agar suyuqlik yuzani (sirtni) ho‘llasa, bunda plyonkali kondensatsiya hosil bo‘ladi. Agar suyuqlik sirtni 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 koefitsienti** deyiladi va σ bilan belgilanadi. Shularni e‘tiborga olganda, suyuqlik yuzasi sirt yuzasi bilan burchak hosil qiladi. Bu θ bilan belgilanadi.

Ana shu burchakli sirt bilan suyuqlik zarrasi orasida qanday holatda bo'lishini quyidagi chizmada ko'ramiz (46-rasm):



46-rasm

I holatda $\theta < 90^\circ$ holati yuzaga keladi, ya'ni suyuqlik yuzani ho'llaydi;
 II holatda $\theta > 90^\circ$ holati yuzaga keladi, ya'ni suyuqlik yuzani ho'llamaydi.

Sirt tortilish koeffitsienti ikkala holat uchun quyidagicha bo'ladi:

Bunda: $\sigma_{\text{sirt gaz}}$ — kuch — sirt — gaz;
 $\sigma_{\text{suyuq gaz}}$ — kuch — suyuqlik — gaz;
 $\sigma_{\text{sirt suyuq}}$ — kuch — sirt — suyuqlik.

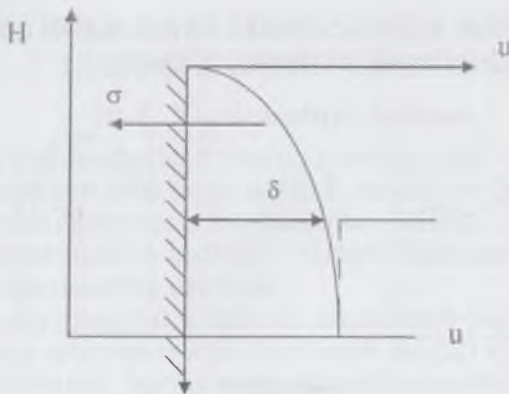
Tomchi uchun tenglik shartini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\sigma_{\text{sirt gaz}} = \sigma_{\text{sirt suyuq}} + \sigma_{\text{sirt gaz}} * \cos \theta$$

$$\text{bundan: } \cos \theta = \frac{\sigma_{\text{sirt gaz}} - \sigma_{\text{sirt suyuq}}}{\sigma_{\text{sirt gaz}}} \quad (215)$$

Tomchili kondensatsiyada issiqlik berish koeffitsienti 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.

$$R = \frac{1}{\alpha} = \frac{t_{\delta} - t_{cupm}}{q} = R_{\sigma} + R_{\phi} \quad (216)$$

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 qatlamda bug'ning harorati kondensatning haroratidan harorat o'zgarishi bilan ajralib turadi. Yuzadan qancha molekulalar qaytsa, 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 $R=0$ 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'rniga 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:

$$W = \frac{q}{r \rho_b}, \quad m/c \quad (217)$$

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_{in} haroratga ega bo'lgan quruq to'yingan bug' kondensatsiyalanyapti. Kondensat plyonkasi kolinar haroratga ega.

Shunday holatni ko'rib chiqish uchun quyidagilarga e'tibor beramiz:

1) kondensat plyonkasida hosil bo'ladigan inersiya 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_n} 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:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + W_x \frac{\partial t}{\partial x} + W_y \frac{\partial t}{\partial y} + W_z \frac{\partial t}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (218)$$

$$\text{barqaror holat bo‘lgani uchun } \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 \quad (219)$$

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:

$$\begin{aligned} y = 0 \quad t = t_{srr} \quad \frac{\partial W_x}{\partial x} &= 0 \\ y = \delta \quad t = t_n \quad \frac{\partial W_y}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \quad (221)$$

Energiya tenglamasini integrallaymiz:

$$\frac{\partial t}{\partial y} = c_1; \quad t = c_1 y + c_2$$

chegara shartlarini hisobga olganda:

$$y = 0 \quad c_2 = t_{sirt}$$

agar $y = \delta \quad t_n = c, \delta + t_{sirt} \rightarrow c_1 = \frac{t_T - t_{sirt}}{\delta},$ (222)

bundan: $\frac{\partial t}{\partial y} = \frac{t_T - t_{sirt}}{\delta}$

Issqlik berish koeffitsienti

$$\alpha = \frac{q}{t_n - t_{sirt}} = \frac{\lambda \frac{\partial t}{\partial y}}{t_n - t_{sirt}} = \frac{\lambda}{\delta} \frac{t_c - t_{sirt}}{t_n - t_{sirt}} = \frac{\lambda_c}{\delta} \quad (224)$$

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:

$$\delta = \sqrt{\frac{4\lambda\mu_c(t_T - t_{sirt})x}{r\rho_c^2 g}}, \quad (225)$$

Olingan tenglamani avvalgi tenglamaga qo'yish natijasida

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta} = \frac{\sqrt[4]{\lambda}}{\sqrt[4]{\frac{4\lambda\mu_c(t_T - t_{sirt})x}{r\rho_c^2 g}}} = \sqrt[4]{\frac{r\rho_c^2 g \lambda^3}{4\lambda\mu_c(t_T - t_{sirt})x}} \quad (226)$$

kelib chiqadi.

Ushbu ifodadan issiqlik berish koeffitsientining mahalliy lokal qiymatini X kesimida hisoblasa bo'ladi. (48-rasm).

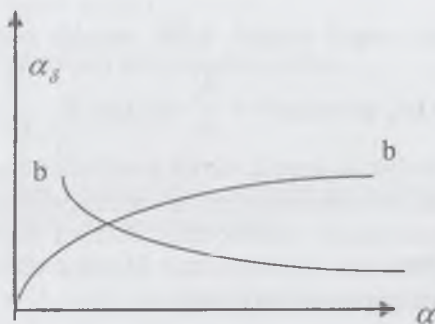
Balandlik bo'yicha o'rtacha issiqlik berish koeffitsientini aniqlash uchun quyidagi ifodadan foydalanamiz:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{h} \int_0^h \alpha dx \quad (227)$$

Bu ifodadan olingan α qiymatni qo'yib, tenglamani integrallab, vertikal yuzalar uchun o'rtacha issiqlik berish koeffitsientini aniqlash ifodasini yozamiz:

$$\bar{\alpha} = 0,943^4 \sqrt[4]{\frac{r^* \rho_c^2 \lambda_c^3 g}{\mu_c (t_\tau - t_{sint}) h}} \quad (228)$$

Bu ifoda Nusselt tomonidan 1916-yilda yozilgan bo'lib, u orqali vertikal joylashgan yuzalardagi issiqlik berish koeffitsientini aniqlaydi.



48-rasm

52-§. Gorizontallarda va quvurlar to'plamidagi kodensatsiya

Nusselt tomonidan topilgan ifoda gorizontallarda va quvurlar uchun quyidagicha yoziladi:

$$\bar{\alpha} = 0,788^4 \sqrt[4]{\frac{\rho^2 \lambda^3 g r}{\mu (t_\tau - t_{sint}) d}} \quad (229)$$

(229) ifodadagi $\bar{\alpha}$ qo'zg'almas bug' kodensatsiyasi uchun ishlatiladi. Lekin amalda qo'zg'aluvchan oqimlarda kodensatsiya doim amalga

oshadi. Bunda bug'ning tezligi qancha katta bo'lsa, haroratlar farqi va bosim katta bo'ladi. Shuning uchun issiqlik berish koeffitsienti katta bo'ladi.

Tajriba natijalarini hisoblash orqali harakatlanayotgan quruq to'yingan bug'ning gorizontaal quvurda kondensatsiyalashishida quyidagi ifoda ishlatiladi:

$$\bar{Nu} = 0.72 B Re_s^{0.16} Re_s^{-0.125} Ga^{0.045} \left(\frac{\mu_h}{\mu_c}\right)^{0.08} \quad (230)$$

$$Re_s = \frac{\lambda_s \Delta t}{r \rho_s v_s}; \quad Ga = \frac{gd^3}{v_s^2}$$

Ga — 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 quvurlarnikiga 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 almashinishining intensivligini baholashda alohida olingan quvurlar uchun tajriba yo'li bilan quyidagi ifoda belgilangan. Bu ifoda yuqoridagi quvurga tushadigan kondensatning miqdorini hisobga oladi.

$$\frac{\bar{\alpha}_n}{\alpha_1} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n G_i}{G_n}\right)^{-0.07} \quad (231)$$

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;

$\bar{\alpha}_n$ – n qatorga ega bo‘lgan quvurlarning issiqlik berish koeffitsienti;

α_1 – yuqoridan birinchi qatordagi quvurlarning issiqlik berish koeffitsienti.

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 koeffitsientini 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.

Tomchi 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:

$$R_k = \frac{2\tau T_\sigma}{r\rho_\tau(T_\sigma - T_{yuz})} \quad (232)$$

bu yerda: T_σ – berilgan bosimdagi bug‘ning harorati;

T_{yuz} – 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:

$$Re_v = 8 \cdot 10^{-4} \div 3.3 \cdot 10^{-3} \text{ bo'lganda,}$$

$$\overline{Nu} = 3,2 \cdot 10^{-4} \quad Re_c^{-0.84} \Pi_{\kappa}^{0.16} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Re_s = 3,3 \cdot 10^{-3} \div 1.8 \cdot 10^{-2} \text{ bo'lganda,}$$

$$\overline{Nu} = 5 \cdot 10^{-6} Re^{-1.57} \Pi^{1.16} P^{\frac{1}{3}}$$

ξ — harorat koefitsienti.

Mezonli tenglamalardagi mezonlarning ifodalarini qo'yish natijasida quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$\alpha = c_1 \Delta t^{0.16}, \quad q = c_2 \Delta t^{1.16}$$

$$\alpha = c_3 \Delta t^{-0.57}, \quad q = c_4 \Delta t^{0.43}$$

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 $t = 11^\circ\text{C}$, quvur yuzasida bosim $r=0,004$ MPa, harorati $t_1 = 29^\circ\text{C}$ ga ega bo'lgan quruq to'yingan bug' qaytadan suvga aylanadi.

Kondensatorning vertikal quvuriga bug'dan berilayotgan issiqlik berish koefitsientini aniqlang.

Yechish: issiqlik berish koefitsientini quyidagi ifoda orqali aniqlaymiz:

$$\alpha_{ver} = 1,14 \sqrt{\frac{g \rho_c r \lambda}{\nu_c H(t_1 - t_{kc})}} = 1,14 \sqrt{\frac{9,81 \cdot 998,2 \cdot 2432300 \cdot 0,515^3}{1,006 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 18}} =$$

$$= 3160 \text{ Wt/m}^2\text{K}$$

bu yerdagi koefitsientlarning qiymatini jadvallardan o'rtacha harorat orqali olamiz.

$$t_{or} = 0,5(t_1 + t_{kc}) = 0,5(11 + 29) = 20 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$t_{or} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ da $c = 998,2 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 0,515 \text{ Vt/m}^2$; $H = 1,006 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;
bug'lanish issiqligi $t = 29 \text{ } ^\circ\text{C}$ da $r = 2432,3 \text{ kJ/kg}$.

Issiqlik miqdori:

$$Q = 3160 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 = 16000 \text{ Vt} = 16 \text{ kVt}.$$

2. Diametri 25x7 mm va uzunligi 1,8 m bo'lgan vertikal quvurning tashqarisida bosimi 0,101 MPa ga ega bo'lgan quruq to'yingan bug' joylashgan. Quvurning ichidan suv oqib o'tadi. Suv bilan olib ketiladigan issiqlik oqimi 17500 Vt ga teng. Quvur devorining o'rtacha haroratini aniqlang.

$$\text{Javob: } \bar{t}_{ks} = 62 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3. Tashqi diametri 30 mm va uzunligi 2,12 bo'lgan quvur berilgan. Uning bosimi $r = 0,101 \text{ MPa}$, $t_{ks} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$. Gorizontaal va vertikal joylashgan quvurlarning issiqlik berish koeffitsientlari $\bar{\alpha}_1$ va $\bar{\alpha}_2$ ni aniqlang.

$$\text{Javob: } \bar{\alpha}_1 = 13,900 \text{ Vt/m}^2\text{K}$$

$$\bar{\alpha}_2 = 5734 \text{ Vt/m}^2\text{K}$$

Nazorat savollari

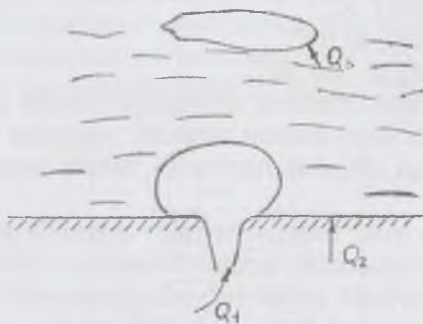
1. *Kondensatsiya hodisasi nima?*
2. *Kondensatsiyaning turlari qanday?*
3. *Tomchili kondensatsiya qanday hosil bo'ladi?*
4. *Plyonkali kondensatsiyaning hosil bo'lish shart-sharoitlari haqida tushuncha bering.*
5. *Gorizontaal va vertikal quvurlar uchun issiqlik berish koeffitsienti ifodasini yozib 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 qatlam 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-budirliigi, 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_1) va atrofdagi suyuqlik bosim kuchi (R) ta‘sir etadi. Bu kuchlarning tengligilik 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:

$$R_{kr} = \frac{2\sigma T_i}{r \rho_s (T_s - T_m)} \quad (234)$$

bunda T_i – to'yinish harorati, K;

T_s – suyuqlik harorati, K;

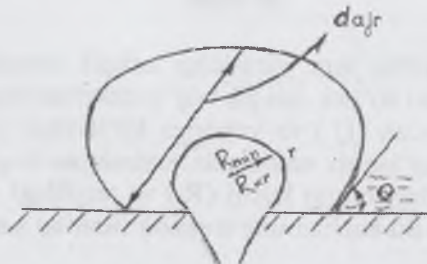
ρ_s – suyuqlik zichligi, kg/m³;

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 (50-rasm) yetganda (d_{aj}) sirtidan ajralib, suyuqlik yuzasi bo'ylab yuqoriga ko'tariladi.

Ajralish diametri quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi.



48-rasm

$$d_{ij} = 0,0208 \theta \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_c - \rho_o)}} \quad (235)$$

bunda θ – chekka burchak;

g – erkin tushish tezlanishi;

ρ_b – bug‘ning zichligi.

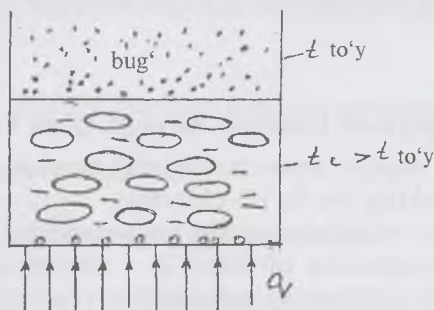
Chekka burchak θ ortishi bilan qaynayotgan suv yuzasi yomonlashadi,

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).

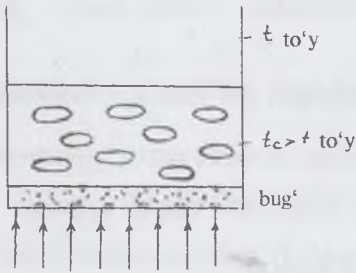
Pufakchali qaynashda (51-rasm) bug‘ pufakchalari yuzada paydo bo‘lib kattalashadi va sirt yuzasidan ajralib chegara qatlamni jadal aralastiradi. Bunda suyuqlik harorati to‘yinish haroratidan yuqori bo‘ladi. Pufakchalar butun suyuqlik hajmi bo‘ylab harakatlanadi. Pufakchalarning hosil bo‘lishi qattiq jism sirti haroratining katta bo‘lishiga bog‘liq.



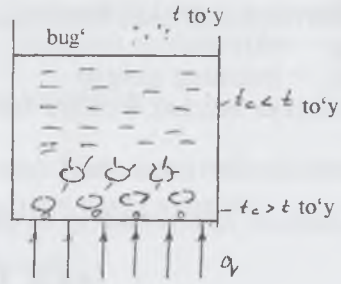
51-rasm

Plyonkali qaynashda (52-rasm) qattiq jism sirtida bug‘ pufakchalar shunchalik ko‘p bo‘ladiki, ular sirt yuzasida bug‘li plyonka qatlamini hosil qiladi, bug‘ plyonkasi qatlam bo‘lgani uchun suyuqlikni sirdan ajratib turadi. Bu issiqlik almashishni yomonlashtiruvchi termik qarshilik hosil qiladi:

$$R = \frac{\delta_{plyonka}}{\lambda_{bug'}}$$
(236)



52-rasm



53-rasm

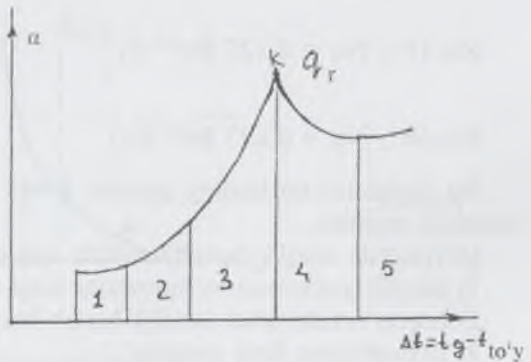
Termik qarshilik qancha yuqori bo'lsa, issiqlik berilishi shuncha kam bo'ladi. Qattiq jism yuzasida qaynashda (53-rasm) sirt yuzasidagi qatlamdagi suyuqlik qizigan hisoblanadi. Qattiq jism sirtida hosil bo'lgan pufakchalar yuzadan ajralib qaynash haroratigacha qizib ulgurmagan suyuqlikning yadrosiga 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'i)ni 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_{krl} 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 $q_{kr1} = 1 \cdot 10^6 \text{ Wt/m}^2$, $\Delta t_{kr} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Katta hajmdagi suyuqlik uchun erkin konveksiyada kritik issiqlik yuklamasi quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$q_{kri} = k \cdot r \sqrt{\rho''} \sqrt{g \sigma (\rho' - \rho'')} \quad (237)$$

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:

$$\alpha = Aq^{0.7} \cdot p^{0.15}$$

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:

$$\alpha = 3,14 q^{0.7} p^{0.15} \quad (238)$$

Mezonli tenglamaning (Labunsev ifodasi) ko'rinishi quyidagicha:

$$Nu = c \text{ Re}^n \text{ Pr}^{\frac{1}{3}} \quad (239)$$

bunda $Nu = \frac{\alpha \ell}{\lambda}$ aniqlovchi kattalik

$$\ell_s = \frac{c_p \cdot \rho' \sigma T_r}{(r \rho)}, \text{ (m)}$$

$$Re \geq 10^2, Nu = 0,125 Re^{0,65} Pr_c^{\frac{1}{3}}$$

$$Re \geq 10^2, Nu = 0,625 Re^{0,5} Pr_c^{\frac{1}{3}}$$

Bu ifodalarni bosimning qiymati $P=45 \cdot 10^2 \div 175 \cdot 10^5$ 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 koefitsientining ortishi;

3) suyuqlikning fizik xossalari:

a) issiqlik o'tkazuvchanlik koefitsienti ortishi bilan issiqlik berish koefitsienti ortishi;

b) kinematik qovushqoqlik koefitsienti (n) ortishi bilan issiqlik berish koefitsienti kamayishi;

d) s ortishi bilan issiqlik berish koefitsienti kamayishi;

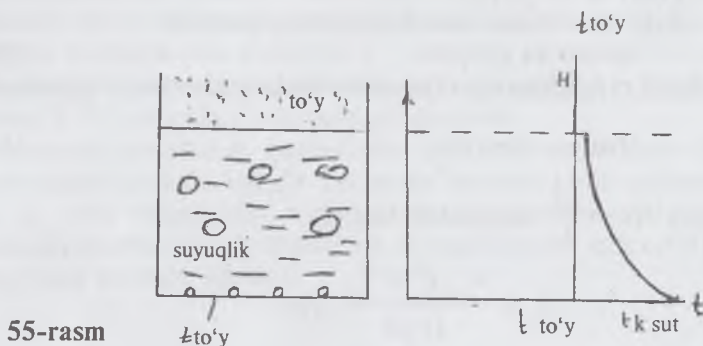
4) suyuqlikning tezligi issiqlik berish koefitsientiga $W^{0,8}$ tarzda ta'sir etishi;

5) Bug'lanish markazlarining soni ortishi bois sirtning g'adir-budirligi issiqlik berish koefitsientini ortishiga olib kelishi.

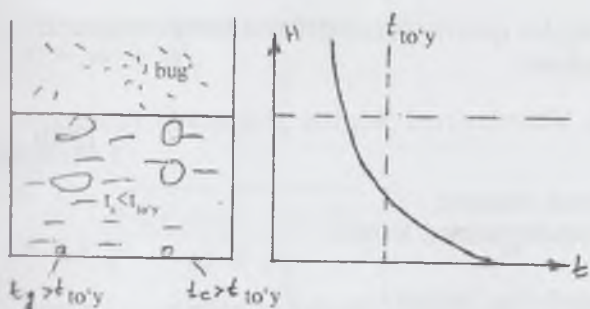
57-§. Katta hajmdagi va kanallardagi qaynash

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

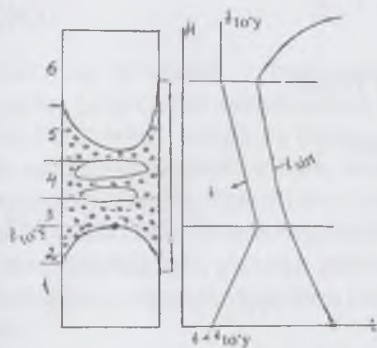


56-rasm

bug' holatida esa, to'yinish haroratiga teng.

Sirt bo'yicha qaynashda (56-rasm) suyuqlik yadrosidagi harorat to'yinish haroratiga qaraganda kichikroq 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 quriydi, faqat nam bug' oqadi. Bu konveksiya hisoblanadi. Issiqlik berish koeffitsienti 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

$$X = \frac{G_b}{G_{ar}} = \frac{G_b}{G_b + G_s}, \quad (241)$$

G_{ar} – bug'-suyuqlik aralashmasining sarfi, kg/sek.

3. Sirkulyatsiya tezligi

$$W_{ts} = \frac{G_{ar}}{\rho_{ar} f}, \quad (242)$$

f – kanalning ko'ndalang kesim yuzasi.

4. Hajmiy sarflanish bug' saqlami

$$b = \frac{V_b}{V_{ar}} = \frac{V_b}{V_b + V_s}, \quad (243)$$

$$v = \frac{G}{\rho}$$

5. Haqiqiy bug' saqlami

$$y = \frac{f_b}{f_b + f_s}, \quad (244)$$

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 sirgʻanish tezligi

$$U = W_b - W_s, \quad (246)$$

Plyonkali qaynashda issiqlik beruvchanlik quyidagi ifoda bilan hisoblanadi:

$$\alpha = s \sqrt{\frac{\lambda_b^3 r \rho_b (\rho_c - \rho_b) g}{\mu_b \Delta t \lambda_{c0}}}, \quad (247)$$

bunda l_0 – aniqlovchi kattalik sifatida gorizontaal quvurlarda diametr, vertikal quvurlarda balandlik olinadi.

Koʻpchilik mualliflarning ishlarida suyuq metallarning qaynashi tekshirilganda issiqlik beruvchanlik krizisining yangi turi kelib chiqqanligini koʻrish mumkin. Bunda bir fazali konveksiyadan tezda plyonkali qaynashga oʻtish sodir boʻladi. Bu “uchinchi qaynash krizisi” termini deb ataldi (q_{kr3}):

$$q_{kr2} < q_{kr1}$$

Oqimning aylanishi – bugʻ generatoridagi qaynash jarayonining jadalligidir. Lekin oqim aylanishining bogʻliqligi kelib chiqishi turlichadir. Bu bogʻliqlik tekis, ustiga va tagiga egilgan quvurlarda har xil boʻladi. Tagiga egilgan quvurlarda kichik boʻladi.

Qaynashda issiqlik almashishni jadallashtirish uchun gʻovakli yuzalar qoʻyish kerak boʻladi. Bunda bugʻlanish markazlari koʻproq yuzaga keladi. Shu narsa kuzatilganki, gʻovakli yuzalardagi qaynashdagi egri chiziq tekis yuzalarnikiga qaraganda yuqoriroq joylashadi va q_{kr1} uch marotaba yuqori boʻladi.

Qaynash jarayonining murakkabligi matematik modellarni yaratishni qiyinlashtiradi. Bir qancha katta ilmiy-tekshirish markazlarida qaynashda issiqlik berishning matematik modellarini tuzish borasida ish olib borilmoqda.

Masalalar

1. Bosim $P=5,5$ MPa, issiqlik yuklamasi $q=0,2$ MVt/m. Katta hajmda suvning pufakchali qaynash jarayonidagi issiqlik berish koeffitsientini va yuza haroratini aniqlang

Yechish: issiqlik berish koeffitsientini 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

$$t_d = t_s + \frac{q}{\alpha} = 270 + \frac{2 \cdot 10^5}{3,176 \cdot 10^4} = 276,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Javob: $\alpha = 31760$ Vt/m²K; $t_d = 276,3$ °C.

2. Bug' generatorining qizish yuzasi harorati $t_d = 268$ °C, bosimi $r=4,7$ MPa bo'lsa, bug'ning 1 m² qizish yuzasidagi sarfini aniqlang.

Yechish: $p=4,7$ MPa bo'lsa, $t_s=260$ °C bo'ladi.

$$\Delta t = t_d - t_s = 268 - 260 = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\alpha = \frac{q}{\Delta t} \text{ Labunsov ifodasi } \alpha = \frac{3,4 \cdot P^{0,18}}{1 - 0,0045P} q^{\frac{2}{3}} \text{ dan}$$

$$\frac{q}{\Delta t} = \frac{3,4 \cdot P^{0,18}}{1 - 0,0045P} q^{\frac{2}{3}} \text{ ni hosil qilamiz.}$$

$$\frac{q}{\Delta t} = \frac{3,4 \cdot 4,7^{0,18}}{1 - 0,0045 \cdot 4,7} q^{\frac{2}{3}} \text{ ifodadan } q = 2,54 \cdot 10^5 \text{ Vt/m}^2 \text{ kelib chiqadi.}$$

$P=4,7$ 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 gorizontaal 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 $t_{qs} = 115,7$ °C ($a = 9800$ Vt/m²K)

plyonkali qaynashda $t_{qs} = 900$ °C ($a = 192$ Vt/m²K).

4. Bir soat ichida umumiy yuzasi $F=5$ m² 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

hosini $P=0,45$ MPa, to'yinish harorati $t_1 = 148^{\circ}\text{C}$; bug'lanish issiqligi $r=2120,9$ kJ/kg; $l_t = t_{qs} - s = 8^{\circ}\text{C}$.

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'liq uzunligi λ (m) yoki tebranish chastotasi $\nu = s / \lambda$, s^{-1} bilan ifodalanadi, bu yerda $s = 2,9979 \cdot 10^8$ m/s – vakuumdagi elektromagnit to'liqlarning tarqalish tezligidir.

Qattiq va suyuq jismlarda nurlanish spektri uzluksiz, gazlarda selektivdir, ya'ni gazlar zarur to'liq uzunligidagi nurlar chiqaradi. Nurlanish oqimi deb vaqt birligidagi nurlanish energiyasiga aytiladi:

$$E = \frac{\delta Q}{d\tau} \quad (248)$$

E – nurlanish oqimi, [Wt];

δQ – nurlanish energiyasi, [J];

τ – vaqt, [s].

Nurlanish oqimining jism yuzasiga nisbati sirtiy nurlanish deyiladi:

$$M = \frac{\delta F}{dF}, \text{ Wt/m}^2. \quad (249)$$

To'liq 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; $\sigma_0 = 5,67 \text{ Vt/m}^2 \text{ K}^4$.

Amaliy hisoblashlarda bu qonun quyidagicha ifodalanadi:

$$Q = c (T/100)^4 F \quad (251)$$

bu yerda: c – kul rang jismning nurlanish koeffitsienti, $\text{Vt/m}^2 \text{ K}$.

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:

$$Q_{1-2} = Q_{\text{eff}_1} - Q_{\text{eff}_2} \quad (252)$$

$$Q_{1-2} = C_{\text{kel}} F [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \quad (253)$$

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

C_{kel} – keltirilgan nurlanish koeffitsienti, $\text{Vt/m}^2 \text{ K}$.

$$C_{\text{kel}} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_0}} \quad \text{Vt/m}^2 \text{ K} \quad (254)$$

bu yerda: T_1, T_2 – nurlanuvchi jism va atrof muhitning mutlaq harorati, $^{\circ}\text{C}$;

c_1, c_2 – kul rang jismlarning nurlanish koeffitsienti;

$c_0 = 5,67 \text{ Vt/m}^2 \text{ K}$ – absolyut qora jismning nurlanish koeffitsienti.

ϵ – qoralik koeffitsienti $C_{\text{kel}} = \epsilon \cdot c_0$ 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:

$$T \lambda_{\max} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$$

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 jismning xususiyati.

Bu qonun quyidagicha ta'riflanadi:

Jismlar nurlanish xususiyatining yutish xususiyatiga nisbati barcha jismlar uchun bir xil va shu haroratdagi mutlaq qora jismning 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 $A = \varepsilon$.

ε – kattalik o'zgarmas bo'lgani uchun kul rang jismning yutish xususiyati to'liq uzunligi va haroratga bog'liq emas.

Masalalar

1. Diametri 120 mm bo'lgan quvur $400 \times 400 \text{ mm}^2$ 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 olinsin.

Yechish:

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

1 m quvurdan nurlanish orqali yo'qolgan issiqlik:

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

$$= 342 \text{ Vt}$$

2. Kanal bo'ylab issiq gaz harakatlanadi. Gazning harorati termopara bilan o'lchanadi. Termoparaning ko'rsatishi $t_1 = 300^\circ\text{C}$ ga va devor harorati $t_2 = 200^\circ\text{C}$ ga teng. Kanal devori va termopara orasida nurlanish usulida issiqlik almashuvi natijasida gaz haroratini o'lchashdagi xatoni toping. Termoparaning qorayish darajasi $e_1 = 0,8$, gazdan termoparaga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha = 58 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ga teng.

Javob: xatolik $45,5 \text{ }^\circ\text{C}$,
gazning haqiqiy harorati $t_g = 345,5^\circ\text{C}$.

3. Tutun gazlar $15\% \text{ CO}_2$ va $7,5\% \text{ H}_2\text{O}$ tarkib bilan kesimi $600 \times 600 \text{ mm}$ to'g'ri burchakli gaz quvurdan o'tadi. Gazning harorati 800°C va gazquvur sirtidagi harorat 600°C , sirtning qorayish darajasi $Y_e = 0,9$. 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:

$$\lambda = 3,6 \frac{V}{F} = 3,6 \frac{0,36}{2,4} = 0,54$$

Parsial bosim:

$$P \lambda_{\text{CO}_2} = 0,15 \cdot 0,54 = 0,081 \text{ m} \cdot \text{bar}$$

$$P \lambda_{\text{H}_2\text{O}} = 0,075 \cdot 0,54 = 0,0405 \text{ m} \cdot \text{bar}$$

Nomogrammlar (rasm) orqali:

$$E_{\text{CO}_2} = 0,105$$

$$E_{\text{H}_2\text{O}} = 0,011$$

Tutun gazlarning qorayish darajasi:

$$E_g = E_{\text{CO}_2} + \beta_{\epsilon_{\text{H}_2\text{O}}} = 0,177$$

Sirtning qorayish darajasi:

$$E_{q_s} = 0,5(1 + E_{q_s}) = \frac{0,9 + 1}{2} = 0,95$$

Nurlanish orqali issiqlikning uzatilishi:

$$Q\lambda = E_{\alpha}^1 E_g C_0$$

$$\left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F = 0,95 \cdot 0,177 \cdot 5,67 \left[\left(\frac{1073}{100} \right)^4 - \left(\frac{873}{100} \right)^4 \right] 2,4 = 17140 \text{ Vt/m}$$

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 $98,1 \text{ kPa}$, 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 $0,4 \text{ kVt}$ 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: $q_{\lambda}^{nurl} = 1970 \text{ Vt/m}$; $q_{\lambda}^{konv} = 1970 \text{ Vt/m}$;

$$\frac{q_{\lambda}^{nurl}}{q_{\lambda}^{konv}} = 2,84$$

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. *Mutlaq qora, oq va shaffof jismlar nima?*
3. *Nurlanishning effektivligi nima?*
4. *Nurlanish qonunlarini izohlab bering.*
5. *Jism parallel joylashganda nurlanish energiyasi qanday aniqlanadi?*
6. *Ekranning vazifasini ayting?*

XVII BOB. MURAKKAB ISSIQLIK ALMASHUVI

Issiqlik tarqalishining umumiy jarayonida odatda uchala 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:

$$q = q_k + q_n; \quad q = (\alpha_k + \alpha_n)(t_s - t_d) \quad (255)$$

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:

$$\alpha = \varepsilon c_0 \left[\frac{(T_s / 100)^4 - (T_d / 100)^4}{T_s - T_d} \right] \quad (256)$$

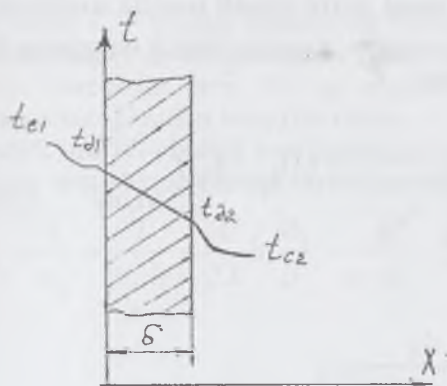
bu yerda: ε — tizimning keltirilgan qoralik darajasi.

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_{s1} va t_{s2} hamda ikkala tomonining α_1 va α_2 issiqlik berish koeffitsientlari berilgan (59-rasm). Issiq muhitdan devorga issiqlik konveksiya orqali o'tadi:

$$q = \alpha_1 (t_{s1} - t_{d1})$$



59-rasm.

devordan issiqlik o'tkazuvchanlik orqali o'tadi:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{d1} - t_{d2})$$

devordan muhitga konveksiya orqali o'tadi:

$$q = \alpha_2 (t_{d1} - t_{c2})$$

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

$$q = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \kappa (t_{c1} - t_{c2}) \text{ Vt/m}^2 \quad (257)$$

bu yerda κ — issiqlik uzatish koeffitsienti.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ Vt/m}^2\text{K} \quad (258)$$

Issiqlik uzatish koeffitsienti son jihatdan vaqt birligi ichida birlik yuzadagi haroratlar farqi 1°C ga teng bo'lganda o'tgan issiqlik miqdoriga teng. Issiqlik uzatish koeffitsientiga teskari bo'lgan kattalik issiqlik uzatilishining **to'liq termik qarshiligi** deyiladi.

$$R = \frac{1}{\kappa} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \text{ m}^2\text{K/Vt} \quad (259)$$

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:

$$\begin{aligned} t_{d_1} &= t_{c_1} - q \frac{1}{\alpha_1} \\ t_{d_2} &= t_{c_1} - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) \\ t_{d_{(i+1)}} &= t_{c_1} - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \end{aligned} \quad (262)$$

62-§. Bir qatlamli va ko'p qatlamli silindrik devor orqali issiqlik uzatilishi

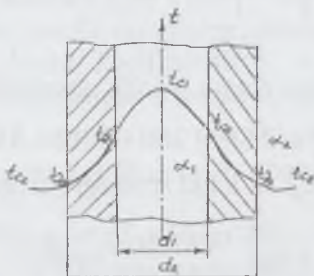
Issiqlik oqimining chiziqli zichligi:

$$q_{\lambda} = \frac{\pi(t_{s_1} - t_{s_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} = \kappa_{\lambda} \pi (t_{s_1} - t_{s_2}), \quad \text{Vt/m} \quad (263)$$

bu yerda: k_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 $R = 1/k$, issiqlik uzatishning **chiziqli termik qarshiligi** deyiladi.

$$R_e = \frac{1}{\kappa_\lambda} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}, \text{ m}^2\text{K/Vt.} \quad (264)$$



60-rasm

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

$$q_e = \frac{\pi(t_{s_1} - t_{s_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_3}} \quad (265)$$

Qatlamlar orasidagi harorat quyidagi formulalar orqali topiladi:

$$\begin{aligned} t_{d_1} &= t_{s_1} - q_e \frac{1}{\pi} \frac{1}{\alpha_1 d_1} \\ t_{d_2} &= t_{s_1} - \frac{q_e}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \right) \\ t_{d_3} &= t_{s_1} - \frac{q_e}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{j=1}^n \frac{1}{2\lambda_j} \ln \frac{d_j}{d_{j-1}} \right) \end{aligned} \quad (266)$$

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:

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

Qozon devoridan o'tgan issiqlik oqimining zichligi:

$$q = K(t_{s_1} - t_{s_2}) = 44,1 \cdot (1200 - 200) = 44100 \text{ Vt/m}^2$$

Devorning tashqi va ichki sirtidagi harorati:

$$t_{d_1} = t_{s_1} - \frac{q}{\alpha_1} = 1200 - \frac{44100}{45} = 220^{\circ}\text{C}$$

$$t_{d_2} = t_{s_2} + \frac{q}{\alpha_2} = 200 + \frac{44100}{6000} = 207,35^{\circ}\text{C}$$

2. Bug' qozonidagi tutun gazlarining harorati $t_{c_1} = 1000^{\circ}\text{C}$, suvning harorati $t_{c_2} = 200^{\circ}\text{C}$, 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^1 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: $q = 76560 \text{ Vt/m}^2$, $t_1 = 234^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 215^{\circ}\text{C}$.

Yechish:

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q = K(t_{c_1} - t_{c_2}), \text{ Vt/m}^2$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{0,012}{50} + \frac{1}{5000}} = 95,7 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$q = k (t_{s1} - t_{s2}) = 95,7 (1000 - 200) = 76560 \text{ Vt/m}^2$
 Devor sirtlaridagi haroratlar:

$$t_1 = t_{c1} - q \frac{1}{\alpha_1} = 1000 - 76560 \frac{1}{100} = 234 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_2 = t_{c2} + q \frac{1}{\alpha_2} = 200 + 76560 \frac{1}{5000} = 215 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3. Qozondagi gazning harorati $t_{s1} = 1100^\circ\text{C}$, suvning harorati $t_{c2} = 200^\circ\text{C}$, 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 $\lambda = 56 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$, qalinligi $\delta = 12 \text{ mm}$ bo'lsa, issiqlik uzatish koeffitsienti, gazlardan devorga issiqlik berish koeffitsienti va qozon devori sirtlaridagi haroratlarini 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 bardoshli 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 $t_{s1} = 1100^\circ\text{C}$ va havoning harorati $t_{c2} = 30^\circ\text{C}$ 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: $\lambda_1 = 1,65 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$, $\lambda_2 = 0,4 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$ va $\lambda_3 = 0,7 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$.

Javob: Issiqlikning yo'qolishi 50,5 %, tashqi qatlam harorati $110 \text{ } ^\circ\text{C}$ ga kamayadi.

5. Diametri 150 / 165 mm bo'lgan quvur ichida harorati $t_{c1} = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$ bo'lgan suv harakatlanadi. Quvurning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda = 50 \text{ Vt/m}^\circ\text{C}$, atrof-muhitning harorati $t_{c2} = -15 \text{ } ^\circ\text{C}$, 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 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 $t_{c1} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, atrof-muhitning harorati $t_{c2} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, moydan devorga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_1 = 100 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ va devordan havoga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_2 = 10 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ 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'lmashligi 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 $q_1 = 249 \text{ Vt/m}$; izolatsiyaning har qanday qalinligida quvur sirtidan o'tgan issiqlik izolatsiyalangan quvurdan o'tgan issiqlikdan katta bo'lmashligi uchun $\lambda_{iz} 1,026 \text{ Vt/m }^\circ\text{C}$ ga teng bo'lishi kerak.

7. Diametri 100/110 mm li po'lat 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 $\alpha_1 = 1800 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ va quvurdan havoga issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_2 = 9 \text{ Vt/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ 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: $d_{kr} = 0,126 \text{ m}$, $Q_1 = 710 \text{ Vt}$.

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 aralashtiruvchi apparatlarga bo'lish mumkin.

Aralashtiruvchi issiqlik almashuv apparatlarda issiqlik almashuvi issiq va sovuq issiqlik tashuvchilarning bir-biriga bevosita tegishi va aralashishi yo'li bilan amalga oshiriladi. Aralashtiruvchi issiqlik almashuv apparatlariga gradirnyalar, skrubberlar va boshqa qurilmalar misol bo'la oladi.

Regenerativ issiqlik almashuv apparatlarida isitish (yoki sovitish) 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, vagrankalar va boshqalar)dagi yonish mahsulotlari yuboriladi. Regenerativning 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.

$$Q = G_1 C_{p1} (t_1'' - t_1') = G_2 C_{p2} (t_2'' - t_2'), \quad [Vt] \quad (267)$$

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

G_2 – sovuq suyuqlik sarfi, kg/s;

C_{R1} – issiq suyuqlikning issiqlik sig'imi, kJ/kg °C;

C_{R2} – sovuq suyuqlikning issiqlik sig'imi, kJ/kg °C;

t_1' – issiq suyuqlikning apparatga kirishdagi harorati, °C;

t_1'' – issiq suyuqlikning apparatdan chiqishdagi harorati, °C;

t_2' – sovuq suyuqlikning apparatga kirishdagi harorati, °C;

t_2'' – sovuq suyuqlikning apparatdan chiqishdagi harorati, °C.

Issizlik almashuv yuzasi issizlik uzatish ifodasidan topiladi.

$$Q = K \Delta t_{\log} F [Vt] \quad (268)$$

K – issizlik uzatish koeffitsienti; Vt / m^2K

Δt_{\log} – o'rtacha logarifmik haroratlar farqi, °C.

F – sirt yuzasi, m^2 .

O'rtacha logarifmik haroratlar farqi haroratlar grafigi yordamida aniqlanadi.

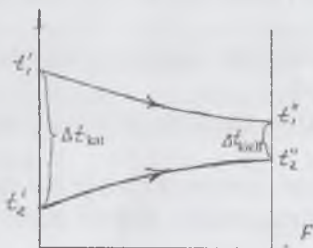
$$\Delta t_{\log} = \frac{\Delta t_{\text{kat}} - \Delta t_{\text{kich}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{kat}}}{\Delta t_{\text{kich}}}}$$

bu yerda:

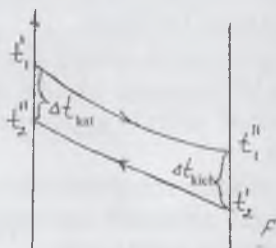
Δt_{kat} – katta haroratlar farqi;

Δt_{kich} – kichik haroratlar farqi.

Masalan, to'g'ri oqimli harorat uchun $\Delta t_{\text{kat}} = t_1' - t_2'$; $\Delta t_{\text{kich}} = t_1'' - t_2''$



61-rasm. To'g'ri oqimli



62-rasm. Teskari oqimli

Masalalar

1. Ichki yonuv dvigatelining teskari yo'nalishli suvli moy sovitgichiga moy 65 °C dan 55 °C gacha sovitilyapti. Sovutuvchi suvning kirishdagi

harorati 16°C va chiqishdagi harorati 25°C . Moyning sarfi $0,8 \text{ kg/sek}$. Issiqlik uzatish koeffitsienti $280 \text{ Vt/m}^2\text{C}$, moyning issiqlik sig'imi $2,45 \text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$. Issiqlik almashuv yuzasini va sovuq suvning sarfini toping.

Yechish:

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

$$\Delta t = \frac{\frac{\Delta t_{\text{kat}} - \Delta t_{\text{kich}}}{\Delta t_{\text{kich}}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{kat}}}{\Delta t_{\text{kich}}}} = \frac{(65 - 55) - (55 - 16)}{\ln \frac{65 - 55}{55 - 16}} = 39,5^{\circ}\text{C.}$$

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{19600}{280 \cdot 39,5} = 1,77 \text{ m}^2$$

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

2. MC markali moy sovitish apparatida moy 70°C dan 30°C gacha sovitiladi. Sovutuvchi suvning kirishdagi harorati 20°C ga teng. Moyning sarfi $G_1=10000 \text{ kg/soat}$ va suvning sarfi $G_2=20400 \text{ kg/soat}$. Moy sovitish apparatidan chiqqan suvning haroratini aniqlang.

Javob: $t_2'' = 30^{\circ}\text{C}$.

3. Suv ekonomayzerida gaz bilan suv qarama-qarshi yo'nalishlarda harakatlanib, bir-biri bilan issiqlik almashmoqda. Gazning sarfi $G_1=220 \text{ t/soat}$, gazning ekonomayzeri kirishdagi harorati $t_1^1 = 400^{\circ}\text{C}$, gazning massaviy issiqlik sig'imi $C_{p1} = 1,04 \text{ kJ/kgK}$. Suvning sarfi $G_2 = 120 \text{ t/soat}$, suvning ekonomayzerga kirishdagi harorati $t_2^1 = 105^{\circ}\text{C}$. Gazdan suyuqlikka uzatiladigan issiqlik oqimi $Q = 13,5 \text{ MVt}$, gazdan suvga issiqlik uzatish koeffitsienti $k = 79 \text{ Vt/m}^2 \text{ K}$. Suv ekonomayzeridagi issiqlik almashish yuzasi topilsin.

Javob: $F = 1100 \text{ m}^2$

4. "Quvur-quvurda" turidagi qarama-qarshi yo'nalishli issiqlik almashuv apparatida suv 15°C dan 45°C gacha isitiladi. Suvning sarfi $G_2= 3200 \text{ kg/soat}$. Tashqi quvurning ichki diametri $D=48 \text{ mm}$ va bitta seksiya quvurining uzunligi $l = 1,9 \text{ m}$. Issiq suv diametri $d_2/d_1=35/32 \text{ mm}$ bo'lgan po'lat quvurda harakatlanib kirishdagi harorati $t_1^1=95^{\circ}\text{C}$ ga

teng. Issiq suvning sarfi $G_1 = 2130$ kg/soat. “Quvur-quvurda” qarama-qarshi oqimli issiqlik almashuv apparatining isitish yuzasini va seksiyalar sonini aniqlang.

Javob: $F = 1100$ m², $n = 7$.

Yechish:

Suvning issiqlik sig‘imi $c_p = 4,19$ kJ/kg °C.

Issiqlik miqdori:

$$Q = G_2 c_{p2} (t''_{s2} - t'_{s2}) = \frac{3200}{3600} 4,19(45 - 15) = 111 \text{ kVT}$$

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:

$$t_{s1} = 0,5(t'_{s2} + t''_{s2}) = 0,5(95 + 50) = 72,5^\circ \text{C}$$

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

$$\lambda_{s1} = 0,670 \text{ Wt/(m} \cdot ^\circ \text{C)}; Pr_{s1} = 2,47$$

$$t_{s2} = 0,5(t'_{s2} + t''_{s2}) = 0,5(15 + 45) = 30^\circ \text{C}$$

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

$$\lambda_{s2} = 0,618 \text{ Wt/(m} \cdot ^\circ \text{C)}; Pr_{s2} = 5,42$$

Issiqlik tashuvchilarining tezligi

$$w_1 = \frac{4G_1}{\rho_{c1} \pi d_1^2 3600} = \frac{4 \cdot 2130}{976 \cdot 3,14 (3,2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 3600} = 0,755 \text{ m/s}$$

$$w_2 = \frac{4G_2}{\rho_{s2} \pi (D^2 - d_1^2) 3600} = \frac{4 \cdot 3200}{996 \cdot 3,14 (4,8^2 - 3,5^2) 10^{-4} \cdot 3600} = 1,06$$

m/s

Issiq suv oqimi uchun Reynolds soni

$$Re_{s1} = \frac{w_1 d_1}{\nu_{s1}} = \frac{0,755 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2}}{0,403 \cdot 10^{-6}} = 6 \cdot 10^4$$

Issiq suv oqimi uchun turbulent holatda Nusselt sonini aniqlaymiz:

$$Nu_{s1} = 0,021 Re_{s1}^{0,8} Pr_{s1}^{0,43} \left(\frac{Pr_{s1}}{Pr_{s1}} \right)^{0,25}$$

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

Issiq suvdan quvur devoriga issiqlik berish koeffitsienti:

$$\alpha_1 = Nu_{s1} \frac{\lambda_{s1}}{d_1} = 188 \frac{0,670}{3,2 \cdot 10^{-2}} = 3940 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Sovuq suv oqimi uchun Reynolds sonini aniqlaymiz:

$$Re_{s2} = \frac{\omega_2 d_e}{\nu_{s2}} = \frac{1,06 \cdot 1,3 \cdot 10^{-2}}{0,805 \cdot 10^{-6}} = 1,71 \cdot 10^4$$

Bu yerda kanal uchun ekvivalent diametr:

$$d_e = D - d_2 = 48 - 35 = 13 \text{ mm.}$$

Sovuq suv oqimi uchun turbulent holatda Nusselt sonini aniqlaymiz:

$$Nu_{s2} = 0,017 Re_{s2}^{0,8} Pr_{s2}^{0,4} \left(\frac{Pr_{s2}}{Pr_{s2}} \right)^{0,25} \frac{D}{d_2}^{0,18}$$

$$Nu_{s2} = 0,017 (1,71 \cdot 10^4)^{0,8} (5,42)^{0,4} \left(\frac{5,42}{3,5} \right)^{0,25} \left(\frac{48}{35} \right)^{0,18} = 95$$

Quvur devoridan sovuq suvga issiqlik berish koeffitsienti:

$$\alpha_2 = Nu_{s2} \frac{\lambda_{s2}}{d_e} = 958 \frac{0,618}{1,3 \cdot 10^{-2}} = 4500 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Issiqlik uzatish koeffitsienti:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_g}{\lambda_g} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3940} + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{45} + \frac{1}{4500}} = 1970 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{Bu holatda } \frac{t'_{s1} - t''_{s2}}{t''_{s1} - t'_{s2}} = \frac{50}{35} < 1,5 \text{ bo'lgani uchun o'rtacha arifmetik}$$

haroratlar farqi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta t_a = \frac{50 + 35}{2} = 42,5^\circ\text{C}$$

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q = K\Delta t_a = 1970 \cdot 42,5 = 8,37 \cdot 10^4 \text{ Vt/m}^2.$$

Isitish sirt yuzasi:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{111}{83,7} = 1,33 \text{ m}^2$$

Seksiyalar soni:

$$n = \frac{F}{\pi d_1 l} = \frac{1,33}{\pi \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,9} = 7$$

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 $t_1^I = 100^\circ\text{C}$ va chiqishdagi harorati $t_1^{II} = 60^\circ\text{C}$. Suvning tezligi 2,5 m/s va kirishdagi harorati $t_2^I = 20^\circ\text{C}$. Tashqi quvurning ichki diametri $d_2 = 22$ 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 $G_1 = 2$ kg/s. Sovuq suvning kirishdagi harorati 10°C va sarfi $G_2 = 0,75$ kg/s. Issiqlik berish koeffitsientlari $a_1 = 2000$ Vt/m²K, $a_2 = 4000$ Vt/m²K 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 balansi 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.

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 quyulishlarida 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 yengillashtirishga 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 sababali 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.

Qattiq va suyuq yoqilg'i yonuvchi (uglerod – C, vodorod – H, uchuvchan oltingugurt – $S_u = S_{or} + S_k$) va yonmaydigan (azot – N, kislorod – O) elementlardan va ballast (kul – A, namlik – W) dan tashkil topgan.

Gazsimon yoqilg'i yonuvchi ($CO, N_2, CH_4, C_m H_n$) va yonmaydigan (N_2, O_2, CO_2) gazlardan va ko'p miqdorda bo'lmagan suv bug'i (H_2O)dan tashkil topgan.

Qattiq va suyuq yoqilg'ining xususiyatlarini va tarkibini o'rganayotganda ishchi, yonuvchi va quruq massasi e'tiborga olinadi.

Yoqilg'i tarkibining ishchi, yonuvchi va quruq massasi mos ravishda "i", "yo" va "q" indeklari bilan belgilanadi va quyidagicha ifodalalanadi.

$$C^i + H^i + S^i + O^i + N^i + W^i + A^i = 100 \% \quad (269)$$

$$C^{yo} + H^{yo} + S^{yo} + O^{yo} + N^{yo} = 100 \% \quad (270)$$

$$C^q + H^q + S^q + O^q + N^q + A^q = 100 \% \quad (271)$$

Masalan: Neft tarkibi: C – 87 %; N – 12,5 %; O + N = 0,5 %

(269), (270) va (271) ifodalardagi elementlarning foizdagi tavsifi 1 kg yoqilg'i uchun berilgan. Yoqilg'i tarkibini bir massadan ikkinchi massaga o'tkazib hisoblash koeffitsientlari 1-jadvalda keltirilgan.

Yoqilg'ining berilgan massasi	Massaga o'tkazib hisoblash koeffitsientlari		
	ishchi	yonuvchi	quruq
Ishchi	1	$\frac{100}{100 - (A'' + W'')}$	$\frac{100}{100 - W''}$
Yonuvchi	$\frac{100 - (A'' + W'')}{100}$	1	$\frac{100 - A''}{100}$
Quruq	$\frac{100 - W''}{100}$	$\frac{100}{100 - A''}$	1

Slanets tarkibi ($C^i, N^i, S^i, O^i, N^i, W^i, A^i$)ni ishchi massadan yonuvchi massaga o'tkazib hisoblash quyidagi koeffitsient yordamida amalga oshiriladi.

$$K = \frac{100}{100 - (A_x^i - W^i - (CO_2)_k^i)} \quad (272)$$

bu yerda A_x^i – ishchi massaning haqiqiy kuli, %;

W^i – ishchi massaning namligi, %;

$(CO_2)_k^i$ – uglekislotadagi karbonatlar miqdori, %.

Ishchi massaning haqiqiy kuli quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$A_x^i = A^i - [2,5(S_1^k - S_s^k + 0,375 S_k^k) \left(\frac{100 - W''}{100} \right)] \quad (273)$$

bu yerda S_1^k – laboratoriya kulidagi oltingugurtning yoqilg'i massasiga nisbatan foizli miqdori;

S_s^k – yoqilg'idagi oltingugurt sulfati, %.

$[2,5(S_1^k - S_s^k + 0,375 S_k^k)$ kattaligi Leningrad va Estoniya slanetsi uchun 2 ga, kashpir slanetsi uchun 4,1 ga teng deb qabul qilinishi mumkin.

Namlik o'zgarganda yoqilg'i tarkibining massasi (foizi) quyidagi ifodalar orqali hisoblanadi:

$$\left. \begin{aligned} C_2^i &= S_1^i \frac{100 - W_2^i}{100 - W_1^i} \\ H_2^i &= N_1^i \frac{100 - W_2^i}{100 - W_1^i} \\ \dots & \dots \dots \dots \end{aligned} \right\}$$

bu yerda W_1^i – yoqilg'ining boshlang'ich namligi, %;

W_2^i – yoqilg'ining oxirgi namligi, %.

Ikkita qattiq yoki suyuq yoqilg'i aralashmasining – birinchi (S_1^i , %; N_1^i , %; ...) va ikkinchi (S_1^i , %; N_1^i , %; ...) o'rtacha tarkibi (%) berilgan massaviy ulushlarda – quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$C_{ar}^i = b_1 C_1^i + (1 - b_1) C_2^i$$

$$H_{ar}^i = b_1 H_1^i + (1 - b_1) H_2^i$$

bu yerda b_1 – aralashmadagi bir yoqilg'ining massaviy ulushi bo'lib, u

quyidagi ifodadan topiladi.

$$b_1 = \frac{B}{(B_1 + B_2)}$$

B_1 va B_2 – aralashmadagi 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_q (kJ/kg) bo'ladi.

Ozonlarning issiqlik hisobi yoqilg'i ishchi massasining quyi yonish issiqligidan foydalanib bajariladi: qattiq va suyuq yoqilg'i ishchi massasining quyi yonish issiqligi (kJ/kg)

$$Q_q^i = 338 C^i + 1025 H^i - 108,5 (O^i - \frac{1}{8} S) - 25 W^i \quad (274)$$

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)

$$Q_q^i = 108H_2 + 126CO + 234H_2S + 358CN_4 + 591C_2N_4 + 638C_2N_6 + 860C_3N_6 + 913C_3N_8 + 1135C_4N_8 + 1187C_4N_{10} + 1461C_5N_{12} + 1403C_6N_6$$

bu yerda H_2 , CO , H_2C , CH_4 , C_2H_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.

$$Q_q^i = Q_{yu}^i - 0,025(9 H^i + W^i)$$

0,025 – bug'lanish issiqligi MJ/kg

9 Hⁱ – suv miqdoriga mos keluvchi kattalik: $2H_2 + O_2 = 2H_2O$

Amaliy hisoblashda quyi yonish issiqligi ishlatiladi.

Gaz – $Q_q^i = 38$ MJ/m³

Ko'mir – $Q_q^i = 12$ MJ/kg

Neft – $Q_q^i = 46$ MJ/kg

Mazut – $Q_q^i = 39$ MJ/kg

Yoqilg'i to'liq yonmaganda SO gazi qoladi. Tarkibida oltingugurt bo'lgan yoqilg'ilarda 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

$$Q_{p'}^i = Q_{p'}^{yo} \frac{100 - A' + W'}{100} - 25 W^i \quad (275)$$

$$Q_{p'}^{yo} = \frac{Q_{p'}^i + 25W^i}{100 - (A' + W')} \cdot 100 \quad (276)$$

quruq massadan ishchiga va aksincha

$$Q_{p'}^i = Q_{p'}^k \frac{100 - W'}{100} - 25 W^i \quad (277)$$

$$Q_{p'}^{yo} = \frac{Q_{p'}^i + 25W^i}{100 - (A' + W')} \cdot 100 \quad (278)$$

yonuvchi slanetslar uchun – yonuvchi massadan ishchi massaga va aksincha

$$Q_{p'}^i = Q_{p'}^{yo} \frac{100 - A_k' + W' - (CO_2)_k'}{100} - 25 W^i - 40 (CO_2)_k' \quad (279)$$

$$Q_{p'}^{yo} = \frac{(Q_{p_1}^i + 25W_1^i) + (100 - W_2^i) - 25W_2^i}{100 - W_1^i} \quad (280)$$

namlik o'zgaranda

$$Q_{p_2}^i = \frac{Q_{p_1}^i + 25W^i}{100 - W^i} \cdot 100 \quad (281)$$

Ikkita qattiq, suyuq va gazsimon yoqilg'ini uchun quyi yonish issiqligi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$Q_{p_{or}}^i = v_1 Q_{p_1}^i + (1 - v_1) Q_{p_2}^i \quad (282)$$

bu yerda v_1 — aralashmadagi bir yoqilg'ining massaviy ulushi;

$Q_{k_1}^f$ — aralashmadagi birinchi yoqilg'ining yonish issiqligi, kJ/kg, kJ/nm³;

$Q_{k_2}^f$ — 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 sarfidan 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:

$$E = \frac{Q_k^f}{29300} \quad (283)$$

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:

$$A_{kel} = \frac{A'}{Q_k^f} \quad (284)$$

Yoqilg'ilarning keltirilgan namligi, kg.%/mJ:

$$W_{kel} = \frac{W'}{Q_k^f}$$

Yoqilg'ilarning keltirilgan oltingugurtliligi, kg.%/mJ:

$$S_{kel} = \frac{S'}{Q_k^f}$$

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 koeffitsienti $\alpha_n=1$ bo'lganda) hajmi (m^3/kg) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$V^0 = 0,089C^i + 0,226 P^i + 0,033 (S_{\text{u}}^i - O^i) \quad (285)$$

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

$$V^0 = 0,0478[0,5(CO+H_2)+1,5H_2S+2CH_4+\Sigma(m+\frac{n}{4})C_mH_n-O_2] \quad (286)$$

(273) ifodada yoqilg'i elementlarining miqdori 1 kg yoqilg'i massasida %da ifodalanadi, (284) ifodada esa yonuvchi gazlar CO , N_2 , H_2S , CH_4 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:

$$V_{\text{ap}}^0 = v_1 V_1^0 + (1-v_1)V_2^0 \quad (287)$$

bu yerda v_1 – aralashmadagi birorta yoqilg'ining massaviy ulushi.

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

$$V_h = \alpha_n V^0$$

bu yerda α_n – o'txonadagi havoning ortiqchalik koeffitsienti.

Kislorod havo ortiqcha berilgani uchun qoldi. Yoqilg'ining yonish mahsulotlarida N_2 , CO_2 , H_2O , O_2 gazlari qoladi. Yoqilg'ining to'liq yonishi uchun havoni keragidan ortiq berish kerak. Haqiqiy havo miqdorining nazariy havo miqdoriga nisbati havoning ortiqchalik koeffitsienti deyiladi:

$$\alpha = \frac{V_{\text{haq}}}{V_{\text{naz}}} > 1(1 \div 1,5)$$

Yoqilg'ining tarkibi va yonish mahsulotlarining hajmi. Yoqilg'ining to'liq yonishida yonish mahsulotlari CO_2 , SO_2 , N_2 , O_2 , suv bug'lari va boshqa gazlarni saqlaydi.

$$CO_2 + SO_2 + N_2 + O_2 + H_2O = 100 \%$$

Yonish mahsulotlarining to'liq hajmi V_y (m^3/kg) quruq gazlarning hajmi V_{qg} va suv bug'larining hajmi yig'indisidan tashkil topadi:

$$V_y = V_{qg} + V_{H_2O}$$

$$\text{bunda } V_{qg} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}$$

bu yerda $V_{RO_2} = V_{CO_2} + V_{SO_2}$ – uch atomli gazlarning hajmi, m^3/kg ;

V_{N_2}, V_{O_2} – ikki atomli gazlarning hajmi, m^3/kg .

Qattiq (slanetsdan tashqari) va suyuq yoqilg'ilar $a_n=1$ bo'lganda to'liq yonishida nazariy hajmlari (m^3/kg) quyidagi ifodadan aniqlanadi:
 ikki atomli gazlar hajmi

$$V_{N_2}^0 = 0,79 V^0 + 0,8 \frac{N'}{100}; \quad (288)$$

uch atomli gazlar hajmi

$$V_{RO_2} = 0,0187(S^i + 0,375 \frac{i}{u} S); \quad (289)$$

quruq gazlar hajmi

$$V_{k,g}^0 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 = 0,0187(S^i + 0,375 \frac{i}{u} S) + 0,79 V^0 + 0,8 \frac{N'}{100}; \quad (290)$$

suv bug'larining hajmi

$$V_{H_2O}^0 = 0,0124(9N^i + W^i) + 0,016 V^0;$$

yonish mahsulotlarining to'liq hajmi

$$V_{g_2}^0 = V_{k,g}^0 + V_{H_2O}^0 = 0,0187 (S^i + 0,375 \frac{i}{u} S) + 0,79 V^0 + 0,8 \frac{N'}{100} + 0,0124(9N^i + W^i) + 0,016 V^0. \quad (291)$$

Slanetslar uchun uch atomli gazlar hajmi ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$V_{RO_2k} = V_{RO_2} + [0,509 \frac{(CO_2)'_k}{100}] k = 0,0187(S^i + 0,375 \frac{i}{u} S) +$$

$$[0,509 \frac{(CO_2)'_k}{100}] k$$

bu yerda k – karbonatlarning parchalanish koeffitsienti, qatlamli yonishda $k=0,7$, kamerali $k=1,0$.

Gazsimon yoqilg'i uchun yonish mahsulotlarining nazariy hajmi (m^3/m^3) $a_n=1$ bo'lganda quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

ikki atomli gazlarning hajmi

$$V_{N_2}^0 = 0,79 V^0 + \frac{N_2}{100} \quad (292)$$

uch atomli gazlarning hajmi

$$V_{RO_2} = 0,01[SO_2 + CO, N_2C + C m C_m H_n] \quad (293)$$

quruq gazlar hajmi

$$V_{k.g}^0 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0$$

Masalalar

1. Chelyabinsk B3 markali ko'mirning yonuvchi massaviy tarkibi:

$C^{yo} = 71,1 \%$, $H^{yo} = 5,3 \%$, $S_I^{yo} = (S_{or}^{yo} + \frac{yo}{k} C) = 1,9 \%$, $N^{yo} = 1,7 \%$, $O^{yo} = 20,0 \%$, quruq massaning kulliligi $A^q = 36 \%$ va ishchi namligi $W^i = 18\%$ bo'lsa, ishchi massaviy tarkibi aniqlansin.

Yechish: O'tkazib hisoblash koeffitsientlari (1-jadval)dan foydalanib, yoqilg'i ishchi massasining kulliligini aniqlaymiz:

$$A^i = A^q \frac{100 - W^i}{100} = 36 \cdot \frac{100 - 18}{100} = 29,5 \%$$

va yoqilg'ining ishchi massasining tarkibini topamiz:

$$C^i = C^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 71,1 \cdot \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 37,3 \%$$

$$H^i = H^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 5,3 \cdot \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 2,8 \%$$

$$S^i = S_I^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 1,9 \cdot \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 1,0 \%$$

$$N^i = N^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 1,7 \cdot \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 0,9 \%$$

$$O^i = O^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 20,0 \cdot \frac{100 - (29,5 + 18,0)}{100} = 10,5 \%$$

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 Kiselov G markali ko'mirning ishchi massaviy tarkibi: $S^i = 48,5 \%$, $N^i = 3,6 \%$, $S^i_1 = 6,1 \%$, $N^i = 0,8 \%$, $O^i = 4,0 \%$; quruq massasining kulliligi $A^a = 33,0\%$ va ishchi namligi $W^i = 18\%$ bo'lsa, yonuvchi massaviy tarkibi aniqlansin.

$$\text{Javob: } S^{yo} = 77\%; N^{yo} = 5,7\%; S^{yo}_1 = 9,7\%; N^{yo} = 1,3\%; O^{yo} = 6,3\%.$$

3. Kuznetskiy D markali ko'mirning yonuvchi massaviy tarkibi $S^{yo} = 78,5 \%$, $N^{yo} = 5,6 \%$, $S^{yo}_1 = 0,4 \%$, $N^{yo} = 2,5 \%$, $O^{yo} = 13,0 \%$, quruq massaning kulliligi $A^a = 15 \%$ va ishchi namligi $W^i = 12,0\%$ bo'lsa, ishchi massaviy tarkibi aniqlansin.

$$\text{Javob: } S^i = 58,7 \%, N^i = 4,2 \%, S^i_1 = 0,3 \%, N^i = 1,9 \%, O^i = 9,7 \%; A^i = 13,2\%.$$

4. Qozon o'txonasida yondirilayotgan aralashma 800 kg $S^i_1 = 58,7 \%$; $N^i_1 = 4,2 \%$; $(\frac{1}{2}C)_1 = 0,3\%$; $N^i_1 = 1,9\%$; $O^i_1 = 9,7 \%$; $A^i_1 = 13,2\%$; $W^i_1 = 12,0 \%$ tarkibli "h" markali kuznets ko'miridan va 1200 kg $S^i_2 = 66,0 \%$; $N^i_2 = 4,7 \%$; $(\frac{1}{2}C)_2 = 0,5\%$; $N^i_2 = 1,8\%$; $O^i_2 = 7,5 \%$; $A^i_2 = 11,0\%$; $W^i_2 = 8,5 \%$ tarkibli "G" markali kuznets ko'miridan iborat. Aralashmaning ishchi tarkibi aniqlansin.

$$\text{Javob: } S^i_{ar} = 63,1 \%; N^i_{ar} = 4,5 \%; (\frac{1}{2}C)_2 = 0,4\%; N^i_{ar} = 1,8\%; O^i_{ar} = 8,4 \%; A^i_{ar} = 11,9\%; W^i_{ar} = 9,9 \%.$$

5. Chelyabinsk B3 markali ko‘mirning ishchi massaviy tarkibi $S^i = 37,3 \%$, $H^i = 2,8 \%$, $S_i^i = 1,0\%$, $N^i = 0,9 \%$, $O^i = 10,5 \%$; $A^i = 29,5\%$ va $W^i = 18,0 \%$ dan iborat. Uning yuqori darajadagi quyi yonish issiqligini aniqlang.

Javob: $Q_k^i = 13997 \text{ kJ/kg}$; $Q_{yu}^i = 15077 \text{ kJ/kg}$.

6. Yonuvchi massaviy tarkibdagi $S^{yo} = 78,5\%$; $N^{yo} = 5,6 \%$; $S_i^{yo} = 0,4 \%$; $N^{yo} = 2,5\%$; $O^{yo} = 13,0 \%$, quruq massaning kukuni $A^q = 15,0\%$ va ishchi namlik $W^i = 12,0 \%$. Kuznets D markali ko‘mirning ishchi massaviy quyi va yuqori yonish issiqligini aniqlang.

Yechish: Yoqilg‘ining ishchi massaviy kukunini o‘tkazib hisoblash koefitsientlari (1.1) jadvaldan foydalanib aniqlaymiz.

$$A^i = A^q \frac{100 - W^i}{100} = 15 \frac{100 - 12,0}{100} = 13,2 \%$$

va ishchi massaviy tarkibi:

$$C^i = C^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 78,5 \frac{100 - (13,2 + 12,0)}{100} = 58,7 \%$$

$$H^i = H^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 5,6 \frac{100 - (13,2 + 12,0)}{100} = 4,2 \%$$

$$S_i^i = S_i^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 0,4 \cdot \frac{100 - (13,2 + 12,0)}{100} = 0,3 \%$$

$$N^i = N^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 2,5 \cdot \frac{100 - (13,2 + 12,0)}{100} = 1,9 \%$$

$$O^i = O^{yo} \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} = 13,0 \cdot \frac{100 - (13,2 + 12,0)}{100} = 9,7 \%$$

Yoqilg‘ining ishchi massaviy quyi yonish issiqligi (269) ifodadan

$$Q_k^i = 338 S^i + 1025 N^i - 108,5 (O^i - S_i^i) - 25 W^i = 338 \cdot 58,7 + 1025 \cdot 4,2 - 108,5(9,7 - 0,3) - 25 \cdot 12 = 22825 \text{ kJ/kg olinadi.}$$

Yuqori yonish issiqligi (1.9) ifodadan

$$Q_{yu}^i = Q_k^i + 25 N^i + 25 W^i = 22825 + 225 \cdot 4,2 + 25 \cdot 12,0 = 24070 \text{ kJ/kg olinadi.}$$

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

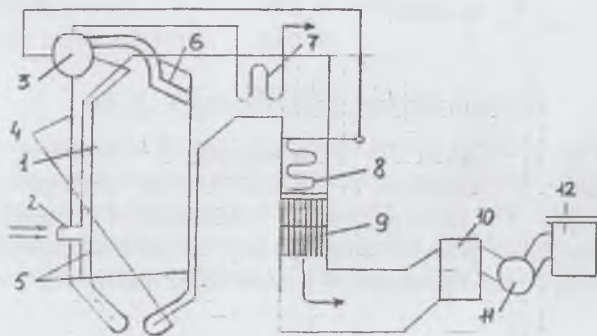
1. Yoqilg'i deb nimaga aytiladi?
2. Yoqilg'ining tarkibini ayting?
3. Yonish issiqligi deb nimaga aytiladi?
4. Shartli yoqilg'i nima uchun kiritiladi?
5. Havoning ortikchalik koeffitsienti nima?

XX BOB. BUG' 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.

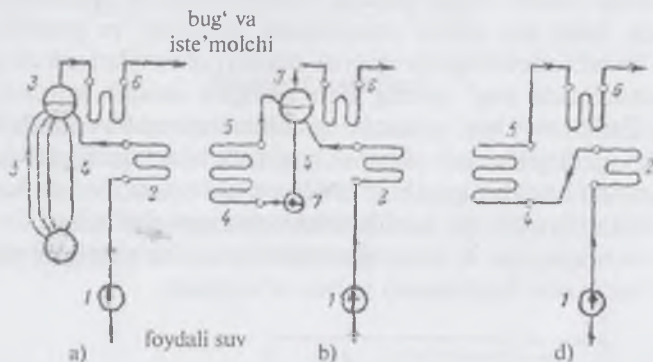


63-rasm.

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

Qozon agregati tarkibiga quyidagilar kiradi: o'txona qurilmasi (gorelka 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 qiluvchi quvurlarga uzatiladi. Bu sirtlar **ekran** deb ataladi. Yonib bo'lgan mahsulotlar bug' qizdirgich, havo qizdirgichdan o'tib tutun so'ruvchi yordamida atmosferaga chiqarib yuboriladi.



64-rasm

Rasmda a) 1 – nasos; 2 – ekonomayzer; 3 – baraban; 4 – suvni haydovchi quvur; 5 – kollektor; 6 – quvur; 7 – bug' qizdirgich

b) 1 – nasos; 2 – ekonomayzer; 3 – baraban; 4 – suvni haydovchi quvur; 5 – bug' hosil qiluvchi quvurlar (bug' va suv aralashmasi)

d) 1 – nasos; 2 – ekonomayzer; 4 – suvni haydovchi quvur; 5 – kollektor; 6 – quvur

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 qurilmasining 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 koeffitsienti.

Qozon qurilmalarini quyidagi belgilarga ko'ra tasniflash mumkin.

1. Bug' unumiga ko'ra:

- | | |
|--------------------|--------------------------------|
| a) past unumli | 15–20 t/soat |
| b) o'rtacha unumli | 25÷30 dan 160÷220 t/soat gacha |
| d) yuqori unumli | 220÷250 t/soat va yuqori |

2. Bug' bosimiga ko'ra:

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| a) past bosimli | 9 at gacha (1 MPa) |
| b) o'rta bosimli | 14–40 at (1,4÷4 MPa) |
| d) yuqori bosimli | 100 at ÷140 at |
| e) yuqori kritik bosimli | 255 at |

68-§. Qozonlarning issiqlik balansi

Qozon qurilmasida 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 qurilmasida o'rnatilgan issiqlik holatiga ko'ra tuziladi.

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

$$Q'_k = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (294)$$

yoki foizda ifodalanishi

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100 \% \quad (295)$$

bu yerda $q_1 = \left(\frac{Q_1}{Q'_k}\right) 100\%$, $q_2 = \left(\frac{Q_2}{Q'_k}\right) 100\%$ va h.k.

(294) va (295) tenglamalarida Q'_k mavjud issiqlik; Q_1 (q_1) – qozon qurilmasida 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:

$$Q'_m = Q'_k + Q_{yoq} + Q_H + Q_f + Q_k$$

$$Q'_m = Q'_k + Q_{yoq} + Q_H + Q_f \quad (296)$$

bu yerda

Q'_k va Q^k_k – ishchi massaviy qattiq va suyuq yoqilg'ining va quruq massaviy gazsimon yoqilg'ining quyi yonish issiqligi, kJ/kg, kJ/m³;

Q_{yoq} – yoqilg'ining fizik issiqligi; kJ/kg, kJ/m³;

Q_n – o'txonaga havo bilan kirgan issiqlik, kJ/kg, kJ/m³;

Q_f – 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

$$Q_{yoq} = C'_{yok} \cdot t_{yoq} \quad (297)$$

bu yerda s'_{yok} – ishchi massaviy yoqilg'ining issiqlik sig'imi, kJ/kg⁰C;

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

Ishchi massaviy yoqilg'ining issiqlik sig'imi

$$C'_{yoq} = C^k_{yoq} \frac{100 - W^4}{100} + c_{H_2O} \frac{W^4}{100} \quad (298)$$

bu yerda s^k_{yoq} va c_{H_2O} – mos ravishda quruq massaviy qattiq yoqilg'ining va suvning issiqlik sig'imi, kJ/kg · K.

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

Mazutning issiqlik sig'imi

$$s^i_{yoq} = 1,74 + 0,0025 t_{yoq} \quad (299)$$

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

$$Q_{H} = \alpha_o \cdot V^0 \cdot c_{p_x} \cdot \Delta t_h \quad (300)$$

bu yerda α_o – o'txonadagi havoning ortiqchalik koeffitsienti;

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

c_{p_x} – bosim doimiy bo'lganda havoning o'rtacha hajmiy issiqlik

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

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

O'txonaga bug'li purkanish bilan kiritilgan issiqlik

$$Q_f = B_f (h_f - 2510) \quad (301)$$

bu yerda B_f va h_f mos ravishda purkashga yoki yoqilg'ini changlantirishga berilgan sarfi va entalpiyasi, kg/kg , kJ/kg . Purkash uchun $B_f = 0,7 \dots 0,8 kg/kg$, bug'li forsunkalarda changlantirish uchun $B_f = 0,35 kg/kg$, bug'-mexanikli forsunkalar uchun $B_f = 0,03 \dots 0,035 kg/kg$.

Slanetslarni yondirishda karbonatlar joylashishiga sarflangan issiqlik

$$Q_k = 40,6 k(CO_2)_k'$$

bu yerda k – karbonatlar joylashishi koeffitsienti.

Qozon qurilmasida foydali ishlatilgan issiqlik (kJ/kg)

$$Q_1 = \frac{D_{OQB}}{B} [(h_{OQB} - h_{IC}) + \frac{P}{100} (h_{QC} - h_{TB})] + D_{TB} (h_{TB} - h_{IC}) \quad (302)$$

Bu yerda D_{OQB} , D_{TB} – mos ravishda 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_{QC} – mos ravishda o'ta qizigan, to'yingan, iste'mol suvining va qozon suvining entalpiyasi, kJ/kg ; P – to'xtovsiz purkash kattaligi, %

Suv isitish qozonlarida foydali ishlatilgan issiqlik

$$Q_1 = \frac{M_s}{B} [(h_2 - h_1)] \quad (303)$$

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

M_s – suvning sarfi, kg/s .

Qozon qurilmasida foydali ishlatilgan issiqlik (%)

$$q_1 = \left(\frac{Q_1}{Q_d} \right) 100\% \quad (304)$$

Chiqib ketayotgan tutun gazlari bilan issiqlikning yo'qolishi

$$Q_2 = (V_{\text{chiq}} c_{\text{rechiq}} t_{\text{chiq}} - \alpha_{\text{chiq}} V^0 c_{\text{px}} t_h) (100 - q_4) / 100 \text{ bundan}$$

$$Q_2 = (J_{\text{chiq}} - a_{\text{chiq}} J_{\text{cx}}^0) (100 - q_4) / 100 \quad (305)$$

bu yerda V_{chiq} – qozon qurilmasidagi oxirgi gaz yo'ldan chiqqan (tutun) gazlarining hajmi, m^3/kg ;

c_{rechiq} – bosim doimiy bo'lganda gazlarning o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/\text{m}^3 \text{ K}$;

t_{chiq} – oxirgi gaz yo'ldan chiqib ketayotgan gazning harorati, $^{\circ}\text{C}$;

α_{chiq} – qozon qurilmasidan tashqaridagi havoning ortiqchalik koeffitsienti;

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

t_h – qozonxonadagi xonaning harorati, $^{\circ}\text{C}$;

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

$H_{\text{chiq}}, H_{\text{cx}}^0$ – 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:

$$Q_3 = 237(C + 0,375 S) \text{CO} / (\text{RO}_2 + \text{CO}) \quad (306)$$

bu yerda C va S – yoqilg'idagi uglerod va oltingugurt 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 (%)

$$q_3 = \left(\frac{Q_3}{Q_d} \right) 100\% \quad (307)$$

Yoqilg'i mexanik to'liq yonmaganda issiqlikning yo'qolishi uch tashkil etuvchidan tuziladi: yoqilg'i shlaki Q_i^{shl} (kJ/kg) bilan issiqlikning yo'qolishi, o'txona panjarasidan yoqilg'i tushishida issiqlikning yo'qolishi

Q'_i (kJ/kg) va chiqib ketayotgan gazlarda yoqilg'ı zarrachalari bilan issiqlikning yo'qolishi $Q'_i{}^{ket}$ (kJ/kg), ya'ni

$$Q_i = Q_i^{shl} + Q'_i + Q_i{}^{ket}$$

Yoqilg'ı mexanik to'liq yonmaganda issiqlikning yo'qolishi (%),

$$q_4 = \left(\frac{Q_4}{Q'_i} \right) 100 = \frac{327 A^4}{Q'_i} \left(a_{shl} \frac{c_{shl+t}}{100 - c_{shl+t}} + a_{ket} \frac{c_{ket}}{100 - c_{ket}} \right)$$

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

a_{shl+t} , a_{ket} – o'txonada yoqilg'ı bilan berilgan umumiy kul ulushi, %;

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

Atrof muhitga issiqlikning yo'qolishi (kJ/kg) qozon qurilmasi sirt yuzasining o'lchovlariga, qoplama sifati va issiqlik izolatsiyasiga bog'liq..

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

$$Q_5 = Q'_q - (Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_6) \quad (308)$$

yoki

$$q = 100 - (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \quad (309)$$

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'ı kulining ulushi, kamerali o'txona uchun $a_1 = 1 - a_{un}$, qatlamli o'txona uchun a_1 ga proval a_{pr} dagi yoqilg'ı kulining ulushini qo'shish kerak.

c_1 – shlakning issiqlik sig'imi, kJ/kg K;

t_1 – shlakning harorati, °C;

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

Shlakning fizik issiqligi orqali (%) issiqlik yo'qolishi

$$q_6 = \left(\frac{Q_6}{Q'_i} \right) 100 = a_1 c_1 t_1 A^4 / Q'_i \quad (311)$$

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:

$$\eta_{qa}^{br} = \left(\frac{Q_1}{Q'} \right) 100 \quad (312)$$

yoki

$$\eta_{qa}^{br} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (313)$$

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

$$\eta_{kya}^{nt} = \eta_{qa}^{br} - \frac{Q_{OE}}{BQ'} 100 \quad (314)$$

bu yerda Q_{OE} – 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:

$$B = \frac{D_{UKB}(h_{UKB} - h_{us}) + (P/100)(h_{ks} - h_{us})D_{TB}(h_{TB} - h_{us})}{Q_r \eta_{ka}^{br}} 100 \quad (315)$$

bu yerda η_{ka}^{br} – 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

1. Unumdorligi $D=13,4$ kg/s bo'lgan qozon qurilmasining o'txonasida Podmoskove B2 markali ko'mir yondiriladi. Uning tarkibi $S^i = 28,4\%$, $N^i = 2,2\%$, $S_j^i = 2,7\%$, $N^i = 0,6\%$, $O^i = 8,6\%$; $A^i = 25,2\%$ 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 $P_{\text{qb}}=4$ MPa, O'QB harorati $t_{O'QB}=450$ °C, iste'mol suvining harorati $t_{\text{is}}=150$ °C. To'xtovsiz

purkash kattaligi $R=4\%$, 1 kg yoqilg'ini yoqish uchun kerakli havoning nazariy hajmi $V^0=2,94 \text{ m}^3/\text{kg}$, oxirgi gaz yo'lidan chiqib ketayotgan gazlarning hajmi $V_{\text{chiq}}^{\text{chiq}}=4,86 \text{ m}^3/\text{kg}$, oxirgi gaz yo'lidan chiqib ketayotgan gazlarning harorati $t_{\text{chiq}} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$, doimiy bosimda gazlarning o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imi $C_{p,\text{mex}}^i = 1,415 \text{ kJ/m}^3 \text{ }^\circ\text{S}$, havoning ortiqchalik koeffitsienti $a_{\text{chiq}} = 1,48$. qozonxonadagi havoning harorati $t_n = 30 \text{ }^\circ\text{S}$, doimiy bosimda havoning o'rtacha issiqlik sig'imi $C_{p_x}^i = 1,297 \text{ kJ/m}^3 \text{ }^\circ\text{S}$, chiqib ketayotgan gazlardagi uglerod oksidining miqdori $\text{CO}=0,2\%$ va uch atomli gazlarning miqdori $\text{RO}_2=16,6\%$ 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:

$$Q_k^i = 338 C^i + 1025H^i - 108,5 (O^i - \frac{1}{8}C) - 25 W^i = 338 \cdot 28,7 + 1025 \cdot 2,2 - 108,5(8,6-2,7) - 25 \cdot 32 = 10516 \text{ kJ/kg}$$

Ishchi massaviy yoqilg'ining issiqlik sig'imini (292) ifodadan aniqlaymiz:

$$c_{y'}^i = c_{y'}^i \frac{(100 - W^i)}{100} + s_{\text{H}_2\text{O}} \frac{W^i}{100} = 1,088 \frac{(100-32)}{100} + 4,19 \frac{32}{100} = 2,08 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Yoqilg'ining fizik issiqligini (291) ifodadan aniqlaymiz:

$$Q_{\text{yoq}}^r = c_{\text{yoq}}^r \cdot t = 2,08 \cdot 20 = 41,6 \text{ kJ/kg}$$

Mavjud issiqlikni (290) ifodadan aniqlaymiz:

$$Q_r^i = Q_k^i + Q_{\text{yoq}} = 10516 + 41,6 = 10557,6 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_1 = \frac{D_{O_{\text{QB}}}}{B} [(h_{O_{\text{QB}}} - h_{1\text{C}}) + \frac{P}{100} (h_{\text{QC}} - h_{1\text{C}})] = (\frac{13,4}{4}) (5330 - 632) + (\frac{4}{100})(1087,5 - 632) = 3099 \text{ kJ/kg}$$

$D_{O_{\text{QB}}} = D$, chunki to'yingan bug'ning olinishi yo'q. Bug'ning entalpiyasini h-s diagrammadan $h_{O_{\text{QB}}} = 3330 \text{ kJ/kg}$, iste'mol va qozon suvining entalpiyasini 2,3 jadvaldan (ilovaga qarang) $h_{1\text{C}} = h_{\text{F}} = 632 \text{ kJ/kg}$, $h_{\text{k}_s} = h_{\text{F}} = 1087,5 \text{ kJ/kg}$

Chiqib ketayotgan gazlar orqali issiqlikning yo'qolishi

$$Q_2 = (V_{\text{chiq}} s_{\text{rchiq}} q_{\text{chiq}} - a_{\text{chiq}} V^0 s_{\text{px}} t_h) (100 - q_4) / 100 = (4,86 \cdot 1,415 \cdot 160 - 1,48 \cdot 2,94 \cdot 1,297 \cdot 30)(100 - 4) / 100 = 891 \text{ kJ/kg}$$

Yoqilg'i to'liq yonmaganda issiqlikning yo'qolishi (300) ifodadan

$$Q_3 = 237(C^I + 0,375^I C)CO / (RO_2 + CO) = 237(28,7 + 0,375 \cdot 2,7) \cdot 0,2 / (16,6 + 0,2) = 83 \text{ kJ/kg}$$

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)

$$Q_5 = Q_r' - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) = 10557,6 - (9099 + 891 + 83 + 422,3) = 62,3 \text{ kJ/kg}$$

Issiqlik balansini tashkil etuvchilar

$$q_1 = \left(\frac{Q_1}{Q_r'} \right) 100 = \left(\frac{9099}{10557,6} \right) 100 = 86,2\%$$

$$q_2 = \left(\frac{Q_2}{Q_r'} \right) 100 = \left(\frac{891}{10557,6} \right) 100 = 8,4\%$$

$$q_3 = \left(\frac{Q_3}{Q_r'} \right) 100 = \left(\frac{83}{10557,6} \right) 100 = 0,8\%$$

$$q_5 = \left(\frac{Q_5}{Q_r'} \right) 100 = \left(\frac{63}{10557,6} \right) 100 = 0,6\%$$

Qozon agregatining issiqlik balansi

$$Q_r' = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 9099 + 891 + 83 + 422,3 + 62,3 = 10557,6 \text{ kJ/kg}$$

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 $V=0,64$ kg/s, o'ta qizigan bug'ning bosimi $R_{o'QB}=1,3$ MPa va harorati $t_{o'QB}=275$ °C, iste'mol suvining harorati $t_{is}=100$ °C va to'xtovsiz purkash kattaligi $R=3\%$ bo'lganda, foydali ishlatilgan issiqlikni aniqlang.

Javob: $Q_1=21996$ kJ/kg

3. Unumdorligi $D=5,6$ qozon qurilmasining o'txonasida aban B2 markali ko'mir yondiriladi. Uning tarkibi: $C^i = 41,5\%$, $N^i = 2,9 \%$, $S^i = 0,4\%$, $O^i = 0,6 \%$, $O^i = 13,1 \%$; $A^i = 8,0\%$ va $W^i = 33,5 \%$. Agar yoqilg'ining natural sarfi $B=1,12$ kg/s, o'ta qizigan bug'ning bosimi $P_{o'QB}=4$ MPa va harorati $t_{o'QB}=400$ °S, iste'mol suvining harorati $t_{is}=130$ °C va to'xtovsiz purkash kattaligi $P=3\%$ va yoqilg'ining o'txonaga kirishdagi harorati $t_{jo} = 20$ °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?

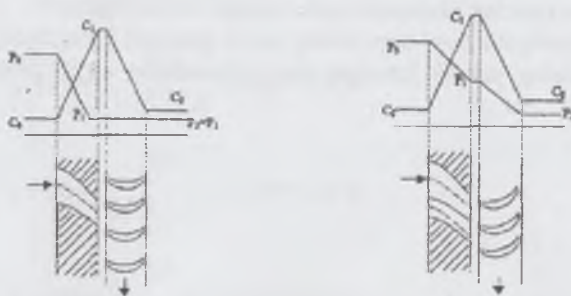
XXI BOB. BUG' TURBINALARI

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 soplo yo'naltiruvchi parraklar, taqsimlovchi drossel qurilma, tezliklar regulyatori, podshipniklar, reduktor, moy nasosi va boshqalar joylashgan. Rotor bu – qo'zg'aluvchan qism bo'lib, unda val disk bilan 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 turbinadagi jarayon; b) reaktiv turbinadagi jarayon

Aktiv turbinalarda hamma ishlatishi mumkin bo'lgan issiqlik soploda amalga oshadi, ya'ni soploda bosim oxirgi bosimgacha kamayadi, ishchi parraklarda esa o'zgar olmaydi. Tezlik soploda ortadi, so'ngra parraklarda sekin-asta 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)sga kelib tushadi. U yerdan bug' turbinaning asosiy elementi bo'lgan soploga 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 — P_0 soplodan chiqayotgan bug'ning bosimi — P_1 tezligi esa C_1 ga teng bo'ladi.

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

64-rasmda uchta tezlik pogonasiga ega bulgan aktiv turbinaning chizma tasviri keltirilgan. Bug' P_0 bosim bilan soploga yuboriladi. Bu yerda uning potensial energiyasi kinetik energiyaga aylantiriladi. C_1 tezlik bilan soplodan chiqib, bug' birinchi qator ishchi parraklarga kelib tushadi, bu yerda uning kinetik energiyasi ishga aylanadi. Shunda uning yo'nalishi o'zaradi. C_2 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 pogonasidan chiqqayotganda 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-rasmda ko'rsatilgan. Bug' soplodan ishchi parraklarning birinchi qatoriga C_2 mutlaq tezlik bilan α_1 burchak ostida kirib keladi, ishchi parrakning birinchi qatorga kirishdagi nisbiy tezligi $-C_2$ 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'qotilishi 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 parragidan 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 marta 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.

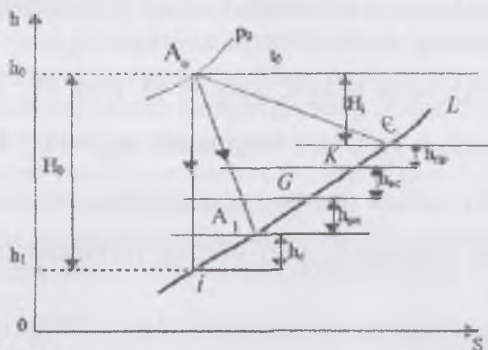
I. Soplodagi yo'qolish bug' zarrachalari ishqalanish tufayli soploning devorlariga urilishi natijasida yuzaga keladi. Undan tashqari bug'ning soplodan oqib chiqishi zarrachalarning tartibsiz harakati hisobiga bo'ladi. Buning natijasida soplodan oqib chiquvchi bug'ning absolyut tezligi

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 hisobiga u 2 — 4% ni tashkil etadi.

IV. Ventilyatsion yo'qolishlar va bug'ning diskka ishqalanishidagi yo'qolishlar



66-rasm. Aktiv pog'onadagi jarayonning h-s diagrammasi

Turbinaning birinchi pog'onasida bug'ning solishtirma hajmi hali katta bo'lmaganda ventilyatsion yo'qolishlar hosil bo'ladi. Bu bug'ning kirishi disk aylanasi bo'ylab emas, balki bir qismiga berish hisobiga bo'ladi.

Bug'ning diskka ishqalanishi 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 ko'effitsientida e'tiborga olinadi. Bu quyidagicha belgilanadi — η_{oe} .

Ishchi jarayon h-s diagrammada keltirilgan.

Bunda H_0 — turbina ishlashi 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 $A_0 L$ adiabata bilan chizilgan

Issiqlik yo'qolishlarining yig'indisi $A_1 + L$ chizig'i bilan ko'rsatilgan.

1) A_1, A_1 – soplodagi yo'qolishlar (h_c)

2) CE – I qator ishchi parraklardagi yo'qolishlar. (h_1).

3) GE, EG – I qator yo'naltiruvchi parraklardagi yo'qolishlar ($h_{yo'n}$)

4) GE – II qator ishchi parraklardagi yo'qolishlar. (h_u)

5) E, G – II qator yo'naltiruvchi parraklardagi yo'qolishlar ($h_{yo'n}$)

6) G_n, E_n – III qator ishchi parraklardagi yo'qolishlar (h_u)

7) EK – ventilyatsion va ishqalanishdagi yo'qolishlar ($h_{v\ ishq}$)

8) E – chiqishdagi tezlik bilan yo'qolishlar (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 soplosi 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'qolishlarini ko'rsating?

XXII BOB. ICHKI YONUV DVIGATELLARI NAZARIYASI

73-§. Ichki yonuv dvigatellari haqida tushuncha

Ichki yonuv dvigatellari avtomobillarda, samolyotlarda, tanklarda, traktorlarda, motorli qayiqar va boshqalarda o'rnatiladi.

To'rt taktli benzinda ishlaydigan dvigatelni ko'rib chiqamiz: ichki yonuv dvigatelining 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 hizmat qiladi. Shatun esa o'z navbatida porshen orqali tirsakli valga harakatni berishga hizmat qiladi. Silindrning yuqori qismida ikkita yopiq klapanlari bo'lib, biri yoqilg'ini purkashga hizmat qilsa, ikkinchisi ishlatib bo'lgan gazlarni chiqarib yuborishga hizmat qiladi. Klapanlar po'latli sterjenlar harakati tufayli ochiladi. Klapanlardan tashqari silindrning yuqori qismida svecha joylashgan. U aralashma elektr uchquni yordamida yonishiga hizmat qiladi.

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

I takt — so'rish. So'ruvchi klapan ochilib, porshen pastga qarab harakatlanishi davomida yonuvchi aralashma karbyuratordan silindrغا 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 muhitga glushitel orqali chiqarib yuboriladi. Yuqorida keltirilgan taktlardan uchinchisi ishchi takt hisoblanadi.

74-§. Dizel dvigatelining tuzilishi

Bizga ma'lumki, ichki yonuv dvigatellarining foydali ish koeffitsientini oshirish uchun siqilish darajasini oshirishimiz zarur bo'ladi. Siqilish yuqori bo'lganda yonuvchi aralashma kuchliroq isiydi va yoqilg'i yonishida

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'tariladi. 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 pastga 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 sistemasini 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 mexanizmida 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 silindrda asosan bitta kiritish va bitta chiqarish klapani bo'lib, taqsimlash valining mushtchalari 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 vali ikki marta aylanganda har bir klapan bir martadan ochilishi lozim. Demak,

tirsakli val ikki marta aylanganda dvigatelning taqsimlash vali bir marta aylanar ekan. 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 $800...850^{\circ}\text{C}$ gacha, dizellarda esa $500...600^{\circ}\text{C}$ gacha qiziydi. Bunday katta harorat chiqarish klapani kallagi ish faskasining kuyishiga, qiysayishiga 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 tayorlanib, 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 $1070... 1270\text{ K}$ ($800...1000^{\circ}\text{C}$). 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 bekoraga sarf bo'ladi. Moy quyushib, ishqalanishga sarflanadigan quvvat oshadi. Bundan tashqari, yonuvchi aralashma qisman tomchiga 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'ilofi, devorlarida tuz qatlami paydo bo'ladi. Natijada silindrlar blokining issiqlik o'tkazish qobiliyati sustlashadi, suv g'iloflarining devorlari zanglash natijasida yemiriladi. Suv qishda muzlab, dvigatelning devorlarini darz ketkazishi yoki yorib yuborishi mumkin. Shuning uchun sovituvchi suyuqlik sifatida yuqorida aytib o'tilgan kamchiliklardan holi bo'lgan antifriz keng qo'llanilmoqda. Antifrizning ikki xili ishlab chiqariladi, Antifriz M-40: 47 foiz suv, 53 foiz etilenglikol (muzlash harorati 233K) (-40°C); antifriz M-65: 34 foiz suv, 66 foiz etilenglikol (muzlash harorati 207K) (66°C). Antifriz kishi organizmi uchun zaharli. Uning issiqlik sig'imi suvnikiga nisbatan ancha kam. Shuning uchun sovituvchi suyuqlik sifatida antifriz qo'llanilganda tizimning issiqlik tarqatish qobiliyati suv bilan sovitilgandagiga nisbatan past. Natijada silindrlar devorining harorati 15 ... 20°C ga ortiqroq qiziydi. Shu sababli antifrizning issik kunda qo'llanilishi ba'zan dvigatelni haddan tashqari qizdirib yuboradi. Yuqorida aytilgan sabablarga ko'ra sovituvchi suyuqlik sifatida qish davrida antifriz 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 bakchanning 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 inisimon panjarali bo'lishi mumkin.

Termostat — sovuq dvigatelni qizdirishni tezlatib, sovitish g'ilofidan suyuqlikning maqbul haroratini o'z-o'zidan rostlab, uning belgilangan haroratini ta'minlab turish uchun xizmat qiladi. Qo'llaniladigan termostatlar ikki xil bo'ladi: suyuqlik (ZMZ) yoki qattiq (ZIL-130) to'ldirgichli termostatlar. Suyuqlik termostatlari balloni yupqa jezdan yo'l-yo'l qilib silindr shaklida yasalgan bo'lib, ballon ichiga tez bug'lanadigan suyuq efir yoki etil spirtning suvli eritmasi quyiladi. Ballon

termostatning korpusi uning yuqori qismiga klapan tirgagi ikki uchi bukik jez changak bilan birga kavsharlangan. Dvigatel yurgizilganda g'ilofdagi suyuqlikning harorati 343°K (70°C) dan past bo'lganligi sababli termostat klapani yopiq bo'lib, g'ilofdagi suyuqlik o'tkazuvchi 9 teshikcha orqali suv nasosiga qaytadi. Bunda suyuqlik kichik doira bo'yicha aylanishi sababli tez qiziydi. Natijada dvigatelning qizishi ancha tezlashadi. Sovituvchi g'ilofdagi suyuqlik harorati 343...348 K (70...75°C) gacha gacha ko'tarilib, termostat ballondagi aralashma bug'larini kengaytiradi. Natijada ballon uzayadi 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 sovitiladigan 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 sovitiluvchi avtomobil dvigatellarining yaxshi sovitilishi 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 karter tubiga tushadi va bu moy keyin kayta tozalanadi.

Moy quyish naychasi orqali moy karter tubiga tushadi. Kartar tubidagi moy sathi sath o'lchagich dastagi bilan o'lchanadi. Ishlatilgan moyni chiqarib tashlash uchun karter tubiga tiqin kirgizilgan. Odatda karter tubining eng pastki qismida moy nasosining moy qabul qilgichi joylashadi. Moy nasos yordamida dag'al filtrdan 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'liga o'tadi. Ba'zi hollarda mayin filtrga saqlagich klapani o'rnatilishi mumkin. Moy asosiy moy yo'li orqali blokda moy teshiklaridan chiqib, tirsakli valning uzak bo'yinlari va taqsimlash valining podshipniklariga o'tadi. Blokda tik joylashgan tuynuk yoki moy naychasi orqali moy koromislo o'qiga yuboriladi. Koromislodagi moy yo'li orqali moy klapan o'zagining tubi va shtangaga oqib tushadi. Shatun podshipnigiga moy o'zak bo'ynidan tutashtiruvchi 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'shilma qo'shiladi. 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 sifatlil 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 taktli 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 jisimga 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‘lchamsiz 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 soʻzlar

Parametr — kattalik;

Absolyut — mutlaq;

Ishchi jism — gaz yoki bugʻ;

Solishtirma — moddaning birligi;

Entalpiya — toʻliq energiya;

Entropiya — issiqlik aylanishi;

Eksergiya — maksimal ish;

Izobarik jarayon — bosimi oʻzgarmas jarayon;

Izoxorik jarayon — hajmi oʻzgarmas jarayon;

Izotermik jarayon — harorati oʻzgarmas jarayon;

Adiabatik jarayon — tashqi muhit bilan issiqlik almashmaydigan jarayon;

Politropik jarayon — jarayonlarning mujassamliligi;

Sikl — aylanma jarayon;

Fazaviy oʻtish — bir fazadan ikkinchi fazaga oʻtish holati;

Bugʻlanish — jism yuzasidan suyuqlikning bugʻ holatiga oʻtishi;

Sublimatsiya — qattiq holatdan bugʻ holatga oʻtish;

Desublimatsiya — gaz holatdan qattiq holatga oʻtish;

Erish — qattiq holatdan suyuq holatga oʻtish;

Konveksiya — jism zarrachalarining oʻrin almashishi;

Kriteriy — mezon;

1.t.n.e. — 1 tonna neft ekvivalenti (1 t.sh.yo. *1,5)

MUNDARIJA

Kirish.....	3
I BO'LIM. TEXNIKAVIY TERMODINAMIKA	
I 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 jarayonda ish va issiqlik miqdori	19
9-§. Ichki energiya va entalpiya	20
10-§. Termodinamikaning birinchi qonuni	21
11-§. Entropiya	22
IV bob. Asosiy termodinamik jarayonlarning tahlili	25
12-§. Izobarik jarayon	25
13-§. Izoxorik jarayon	26
14-§. Izotermik jarayon	27
15-§. Adiabatik 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-§. Suyuqlik va quruq bug'ning asosiy parametrlari. Bug' hosil bo'lish issiqligi	50
24-§. Nam to'yingan 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. Kompresorlar	68
34-§. Kompresorlar va va ularning turlari	68
35-§. Markazdan qochma kompresorlar	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 aylanishida issiqlik beruvchanlik	107
50-§. Kondensatsiya hodisasi	107

51-§. Vertikal yuza atrofida harakatlanmayotgan bug'ning plynkali kondensatsiyadagi issiqlik almashuvi	110
52-§. Gorizontaal 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 dvigatelining tuzilishi	166

75-§. Gaz taqsimlash mexanizmining tuzilishi, ishlashi, vazifasi va konstruktiv xususiyatlari	167
76-§. Sovitish tizimlarining vazifasi va ularning tasnifi	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

TARJIMONLAR

Ushbu kitobning muhbirlik qilganlariga
 va ularning yordamiga minnatdorchilik bildirishni
 muvaffaqiyat bilan yakunlaymiz.

Mualliflar
 va muhbirlik qilganlar
 tomonidan.

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

ISSIQLIK TEXNIKASI

O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti.
100029, Toshkent shahri, Matbuotchilar ko'chasi, 32-uy.
Tel: 236-55-79; faks: 239-88-61.

Muharrir *N. Imomov*
Musahhih *H. Zokirova*
Sahifalovchi *N. Mamanov*

Bosishga ruxsat etildi: 29. 08. 2010. «Tayms» garniturasida. Ofset usulida chop etildi.
Qog'oz bichimi 60x84 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.
Manzil: Toshkent shahri, 8-mart ko'chasi, 57-uy.



ISBN 978-9943-391-02-4



9 789943 391024