

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA‘LIM VAZIRLIGI
ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETI**

ENERGETIK QURILMALARNING TERMODINAMIK SIKLLARI

MA‘RUZALAR MATNI

Toshkent - 2014

YDK 621.1016

«Energetik qurilmalarning termodinamik sikllari» fani bo'yicha ma'ruzalar matni / M.M.Alimova, M.A.Koroli - Toshkent, ToshDTU, 2014. 58 b.

Qisqacha ma'ruzalar matni quyidagi bo'limlar bo'yicha nazariy tushunchalarni o'z ichiga oladi: «Sikllar», «Ichki o'nuv dvigatellari», «Bug' turbina qurilmalari», «Gaz turbina qurilmalari», «Kompessorlar», «Sovitish qurilmalari», «Issiqlik nasoslari». O'quv qo'llanma issiqlik energetika yo'nalishida ta'lim oluvchi talabalarga «Energetik qurilmalarning termodinamik sikllari» fanni o'qishda qo'llaniladi.

«Issiqlik energetikasi» kafedrası

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-uslubiy kengashi qaroriga binoan chop etildi.

Taqrizchilar:

S.K.Ismatxo'jayev

A.Badalov

O'zR FA Energetika va avtomatika ITI
laboratoriya mudiri, t.f.n.

ToshDTU EMKT kafedrası dotsenti, t.f.n.

1-mavzu

AYLANMA TERMODINAMIK JARAYONLARNING ASOSIY XOSSALARI (ISSIQLIK MASHINALARINING SIKLLARI)

Mavzu quyidagi ma'ruzalarni o'z ichiga oladi:

1. Termodinamik sikllarning umumiy tavsiflari va klassifikatsiyasi.
2. Oddiy termodinamik sikl (Karno sikli) va uning xossalari.
3. Aylanma jarayonlarning umumiy xossalari.

Kalit soʻzlar: *issiqlik dvigatillari, sovutgich qurilmalari, to'g'ri va teskari sikllar, foydali ish koeffitsienti, Karnol sikli, ish bajarish qobiliyati (ekssergiya).*

1.1. Termodinamik sikllarning umumiy tavsiflari va klassifikatsiyasi

Issiqlik mashinalari ishlashiga qarab issiqlik dvigatellari va sovitgich qurilmalariga bo'linadi. **Issiqlik dvigatellari** uzluksiz ishlaydigan qurilmalar bo'lib, ularda issiqlik ishga aylanadi. **Sovitgich mashinalari** uzluksiz ishlaydigan mashina bo'lib, u issiqligi kichik jismdan, issiqligi katta bo'lgan jismga issiqlikni o'tkazib berishga asoslangandir. Bunday mashinalarni uzluksizligini ishchi jism aylanma termodinamik jarayonni amalga oshirish bilan erishiladi.

Sikl ikki turga bo'linadi: to'g'ri va teskari.

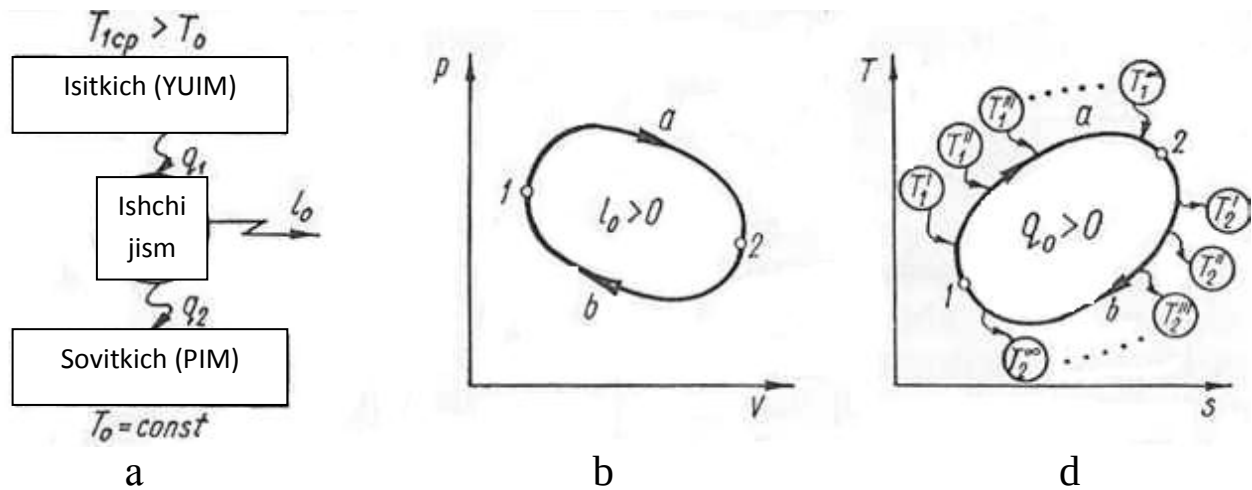
Issiqlik mashinalari ishlaydigan to'g'ri sikllarning foydali effekti bo'lib, issiqlikni ishga aylanish hisoblanadi. Ikkinchi qonunga asosan bunday holatlarda kompensatsion jarayon bo'lib, o'z-o'zidan issiqlikni yuqori manbadan pastki manbaga o'tishi, ya'ni bunday holatda yuqori manbadan tashqari (isitgichlar) yana pastki manbaga ega bo'lishi kerak bo'ladi.

1.1-rasmda issiqlik dvigatelini va yo'g'ri termodinamik siklini oddiy chizmasi keltirilgan.

Chizmalardan shu narsa ko'rinib turibdiki, kerakli musbat ishni olish uchun

1a2 jarayonidagi kengayish ishi, **2b1** jarayonidagi torayish shundan katta bo'lishi kerak, ya'ni ishchi jism soat strelkasi bo'ylab aylanma jarayonni amalga oshirishi shart. Bunda qisman sarflangan issiqlik ishga aylanadi.

Foydali effekti issiqlikni ishga aylantirishga sarflangan to'g'ri sikllarni *issiqlik mexanik sikllari* deyiladi. Ularning effektivligi foydali ishga aylanishida sarflangan issiqlikni, sarflangan issiqlikka bo'lgan nisbati bilan o'lchanadigan foydali ish koeffitsienti bilan baholanadi.

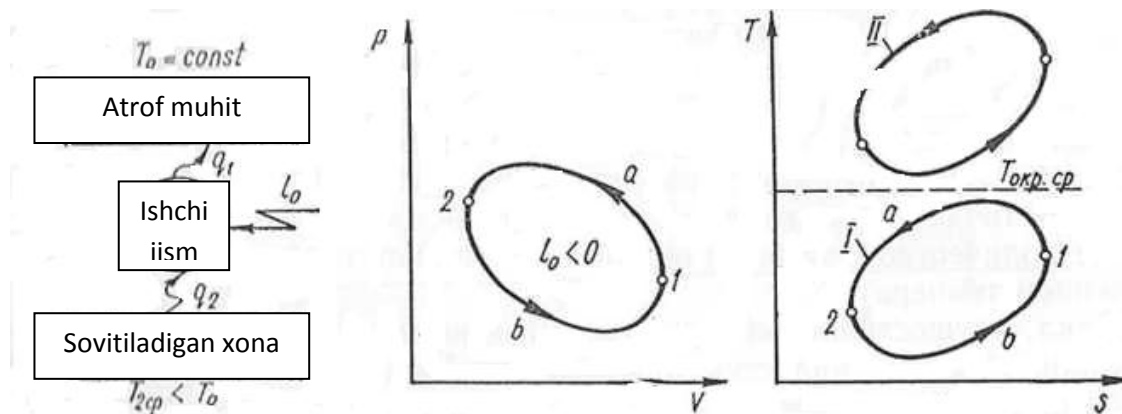


1.1– rasm. Issiqlik dvigateling chizmasi:
a – to‘g‘ri termodinamik sikl; b va d – P-V va T-S diagrammasi

$$\eta_t = \frac{q_0}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}; \quad (1)$$

Har doim $\eta_t < 1$ bo‘ladi, buning sababi hech qachon q_2 nolga teng bo‘lmaydi. Yana bir narsani ta’kidlab o‘tsa bo‘ladi.

Teplofikatsion sikllarda, ya’ni faqat ish oluvchi emas, balki issiqlik bilan ta’minlash sikllarida, pastki issiqlik manbai sifatida turbinada ishlatilib bo‘lingan ishchi jismni qabul qiluvchi (sovitgich) hisoblanadi.



1.2– rasm. Sovitgich qurilmasining chizmasi
a – teskari termodinamik sikl; b va d – p-V va T-s diagrammasi.

Teskari sikl bilan ishlaydigan sovitgich mashinalaridagi foydali effekt bo‘lib, harorati kichik jismdan harorati katta jismga issiqlik berilishidir. Bunda jism ichidan energiya sarflanadi.

Teskari termodinamik sikl va sovitgich qurilmasining sikli 1.2-rasmda ko'rsatilgan. **2b1** jarayonda ishchi jism sovitgichdan **2b1S₀S₁2** yuzaga teng bo'lgan q_2 issiqlikni oladi, ichdan **1a2b1** yuzaga teng bo'lgan l_0 ish sarflangani uchun, **1a2** jarayonda **1a2S₂S₁1** yuzaga teng bo'lgan q_1 issiqlik atrof muhitga beriladi, lekin

$$l_0 = q_1 - q_2 < 0 \quad (2)$$

Ushbu siklning effektivligi q_2 issiqlikni, sarflangan ishga bo'lgan nisbati bilan xarakterlanadi, buni *sovitgich koeffitsienti* deyiladi va ε bilan belgilanadi.

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l_0} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = \frac{1}{\frac{q_1}{q_2} - 1}; \quad (3)$$

Teskari sikl katta haroratlar oralig'ida sodir bo'lishi mumkin, chunki issiqlik atrof muhitdan iste'molchiga o'tishi (masalan, isitilish sistemalarida) atrof muhit haroratidan yuqori haroratida yuzaga keladi. Teskari sikl bo'yicha ishlaydigan sikllarni issiqlik nasoslari deyiladi. Teskari sikllar soat strelkasiga qarama-qarshi yo'nalishda ishlaydi.

η_t va ε koeffitsientlari termodinamik sikllarning effektivligini xarakterlaydi va u termodinamik jarayonlarni xarakteriga bog'liqdir. Ko'runib turibdiki, turli shartlarda effektivlik qaytar jarayonlardan tashkil topgan sikllarda ko'riladi. Bu degani ishchi jismga issiqlikni keltirilishi va olib ketilishi shunday haroratga ega bo'lishi kerakki, ishqalanishsiz betartib sodir bo'ladigan qaytmas jarayonlardan tashkil topgan issiqlik manbaini haroratiga mos keluvchi harorat bo'lishi shartdir.

Qaytar jarayonlardan tashkil topgan sikllarga *qaytar sikllar* deyiladi.

Oddiy sikl bu eng kam issiqlik manbai orqali yuzaga keladigan sikldir.

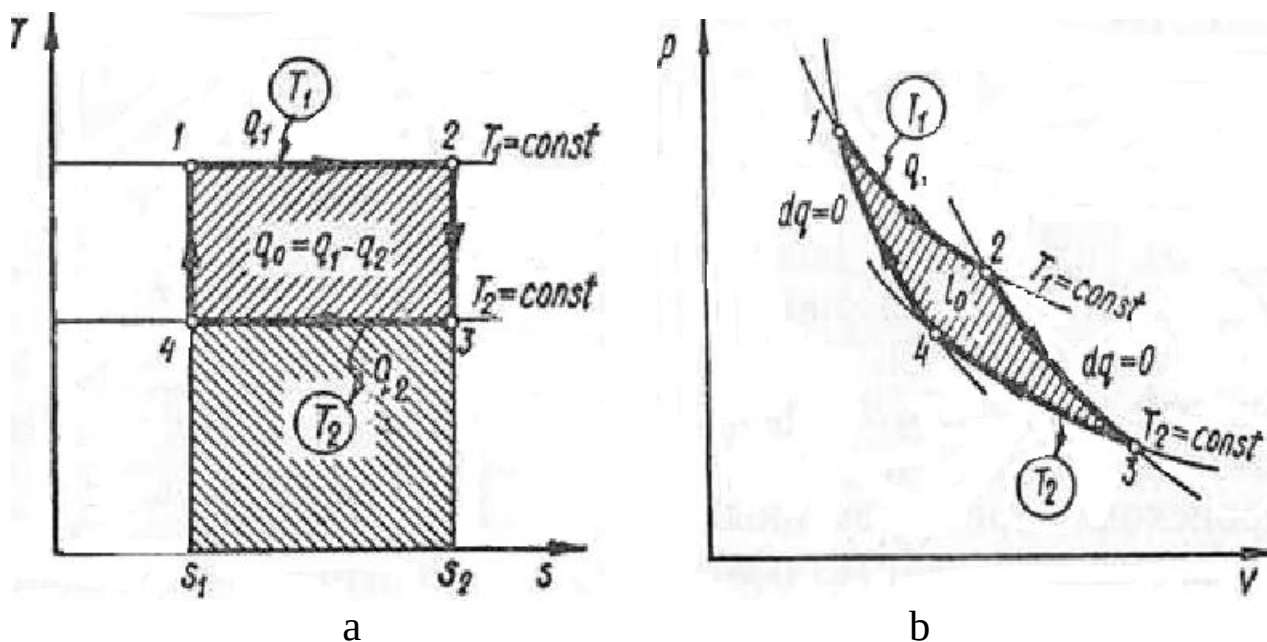
1.2. Oddiy termodinamik sikl (Karno sikli) va uning xossalari

1.2.1. To'g'ri Karno sikli

Termodinamikaning ikkinchi qonuniga binoan siklni bajarilishi uchun kamida ikkita manba kerak bo'ladi: yuqori T_1 harorati o'zgarmas, pastki T_2 harorati o'zgarmas bo'lgan manbalar ($T_2 < T_1$).

Bunda qaytar holatni saqlagan holda issiqlikni keltirish va olib ketish izotermalar T_1 va T_2 orqali sikl yuzaga keltiriladi. Lekin ikkita izoterma orqali siklni yuzaga kelishi mumkin emas. Boshqa manba bo'lmagani uchun T_1 dan T_2 gacha adiabatlar 2-3 va 4-1 orqali yuzaga kelishi mumkin (1.3-rasm). Demak,

oddiy qaytar sikl ikkita izoterma 1-2 va 3-4 dan va ikkita adiabatadan tashkil topadi. Bunday siklni (1832 yil) S.Karno yuzaga keltirdi, shuning uchun bu sikl *Karno sikli* deyiladi.



1.3– rasm. Karno sikli:
a – p-V diagrammasi; b – T-s diagrammasi

1.3-rasmdan ko‘rinib turibdiki, keltirilgan issiqlik – q_1

$$q_1 = 12S_1S_2\text{yuza} = T_1(S_2 - S_1); \quad (4)$$

olib ketilgani – q_2

$$q_2 = 34S_1S_2\text{yuza} = T_2(S_2 - S_1); \quad (5)$$

U holda, Karno siklining termik FIK quyidagiga teng:

$$\eta_t^{\text{karno}} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2(S_2 - S_1)}{T_1(S_2 - S_1)} = 1 - \frac{T_2}{T_1}; \quad (6)$$

Demak, Karno siklining FIKi issiq va sovuq manbalarning absolyut haroratlariga bog‘liq bo‘lib, ishchi jism qanday gazligiga bog‘liq emas. Bular isbotlangan bo‘lib, *Karno teoremasi* deb ataladi, ya’ni

$$\eta_t^{\text{Karno}} = f(T_1; T_2); \quad (7)$$

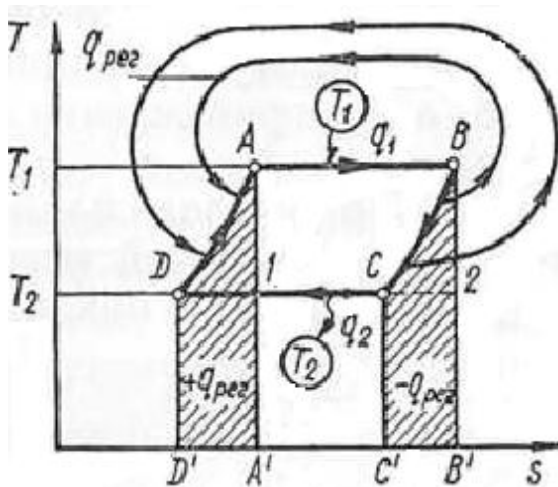
1.2.2. Umumlashgan (regenerativ) Karno sikli

Berilgan T_1 va T_2 haroratlar oralig'ida katta FIKga faqat Karno sikli emas, balki ikkita **AB** va **CD** izotermaga ega bo'lgan sikl ham ega bo'ladi. Buning uchun **BC** jarayonini vaqtida ishchi jismdan pastki manbaga issiqlik berilmaydi, balki qo'shimcha issiqlik almashinuvi apparati (regenerator) yordamida ishchi jismga uni qizitish (**DA**) beriladi.

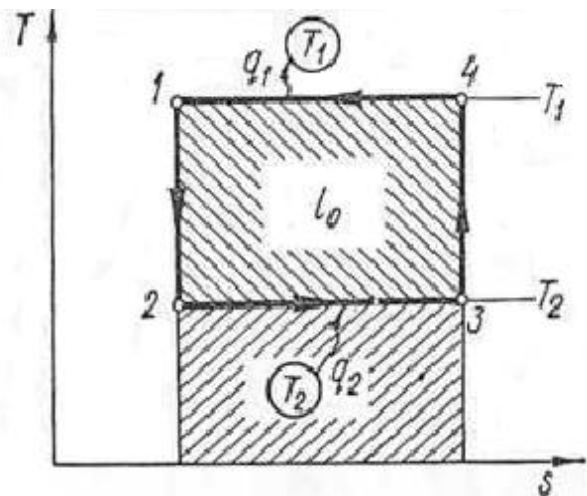
BC va **DA** egri chiziqlar ekvidistant chiziqlar bo'lgani uchun **CBB'C'**yuza=**DAA'D'**yuza bo'ladi, ya'ni bu jarayonlarda issiqlik miqdori bir xil, faqat ishorasi har xil bo'ladi. Demak, **ABCD** sikldagi **AB21A** Karno siklidagidek bo'ladi. Ikkala sikllarning issiqliklari q_1 va q_2 teng bo'lgani uchun, ularning FIKlari ham teng bo'ladi.

$$\eta_t^{umum} = \eta_t^{Karno} = 1 - \frac{T_2}{T_1}; \quad (8)$$

Regeneratsiya sikli sikllarning effektivligini oshirish uchun zamonaviy issiqlik kuch va sovitgich qurilmalarida qo'llaniladi.



1.4- rasm. Umumlashgan regenerativ Karno sikli



1.5- rasm. Teskari Karno sikli

1.2.3. Teskari Karno sikli

Soat strelkasiga qarama-qarshi sodir bo'ladigan ushbu siklda, ishchi jism avval adiabata 3-4 orqali siqiladi, so'ngra tashqi ish l_1 ni sarflanishi natijasida, izoterma 4-1 yordamida yuqori manbaga, ya'ni issiq manbaga q_1 issiqlikni berdi. So'ngra 1-2 adiabata yordamida ishchi jismni kengayishi l_2 ishni berilishi va haroratni T_1 dan T_2 gacha kamayishi natijasida davom etadi.

Soʻngra izoterma 2-3 boʻyicha kengayish sovuq manbadan issiqlik q_2 ni olishi bilan davom etadi.

Teskari siklni bajarilishi hisobiga issiqlik sovuq manbadan issiq manbaga beriladi, bunda qoʻshimcha ish – l_0 sarflanishi bilan yuzaga keladi, bu ish $l_0 = l_1 - l_2$ boʻladi.

Teskari Karno sikli sovitish koefitsenti quyidagicha yoziladi:

$$\varepsilon^{Karno} = \frac{1}{\frac{T_1}{T_2} - 1}; \quad (9)$$

Ushbu ifodadan koʻrinib turibdiki, sovitgich qurilmalarni effektivligini oshirish tashqi muhit harorati T_1 ni kamaytirish, T_2 haroratni oshirish, yaʼni $T_1 - T_2$ haroratlari farqini oshirish mumkin.

1.3. Aylanma jarayonlarni umumiy xossalari. Ishlash qobiliyati (eksbergiya)

Qaytmas jarayonlar sodir boʻlayotgan sistemalarda entropiyani ortishi sistemalarning ishlash qobiliyatini yoʻqotilishiga olib keladi.

Ishlash qobiliyati deb, shunday kattalikka aytiladiki, bu yuqori issiq manbadan q_1 issiqlikni olinishi hisobiga sovuq manba, kichik T_2 haroratga ega boʻlgan atrof muhit boʻlgani natijasida maksimal ish bajarilishiga aytiladi.

Maʼlumki, maksimal ish q_1 issiqlik hisobiga berilgan haroratlari oraligʻida teskari Karno sikli hisobiga olinishi mumkin.

$$\eta_t = \frac{l_0}{q_1} \quad \text{dan} \quad l_0 = q_1 \cdot \eta_t^{karno} = q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right); \quad (10)$$

Koʻrinib turibdiki, ishlash qobiliyati T_1 haroratni katta, T_2 haroratni kichik boʻlishi hisobiga katta boʻladi.

Agar ishchi jismga q_1 issiqlik haroratlari farqiga ega boʻlganda keltirilsa, yaʼni ishchi jismning harorati T_1' , yuqori issiq manba haroratidan kichik boʻlsa, u holda qaytmas Karno sikli uchun (l_0'), l_0 ishdan kichik boʻladi:

$$l_0' = q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1'} \right); \quad (11)$$

Demak, ishlash qobiliyati quyidagi kattalikka kichik boʻladi:

$$\Delta l = l_0 - l_0 = q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) - q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = T_2 q_1 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_1} \right); \quad (12)$$

Maksimal ish bajarish qobiliyatiga *ekssergiya* deyiladi va ε_0 deb belgilanadi.

$$\varepsilon_0 = q \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right); \quad (13)$$

Eksergiya tushunchasi istagan jarayonni, elementni yoki qurilmani termodinamik xossalarning darajasini tahlil qilishda keng qo'llaniladi.

Nazorat savollari

1. To'g'ri va teskari sikl deb nimaga aytiladi?
2. To'g'ri siklning termik FIKini ifodasini yozib bering.
3. Teskari siklning sovitish koeffitsientini ifodasini yozib bering.
4. Karno siklini P-V va T-S kordinatada chizib bering.
5. Karno siklining termik FIKini ifodasini yozib bering.
6. Karno siklining amaliy va ilmiy xususiyatini tushuntirib bering.

2- mavzu

ISSIQLIK-KUCH QURILMALARI SIKLLARINING TAHLILI

Mavzu quyidagi ma'ruzalarni o'z ichiga oladi:

1. Issiqlik-kuch qurilmalarining samaradorligini baholash haqida umumiy ma'lumotlar.
2. Ichki yonuv dvigatellari.

Kalit so'zlar: *ichki yonuv dvigatellari (IYD), gaz turbina qurilmalari (GTQ) reaktiv dvigatellar, bug'-kuch qurilmalari, sikllarning tahlili, issiqlik, ish, sikl, siklning samaradorligi, izoxor va izobar issiqlik keltirish.*

2.1. Issiqlik-kuch qurilmalarining samaradorligini baholash haqida umumiy ma'lumotlar

Issiqlik kuch qurilmalari 3 turga bo'linadi:

1. *Ichki yonuv dvigatellari*, ya'ni bu turdagi dvigatellarda issiqlikni keltirish va qurilmani ishga qo'shish jarayon (yonig'ini yoqish) dvigatel silindri ichida yuz beradi.

2. *Gaz turbinali qurilmalar va reaktiv dvigatellar*, bunday dvigatellarda yonilg'i yoqish jarayoni ishlash jarayoning ajralmas butun bir bo'lagi hisoblanadi.

3. *Bug'-kuch qurilmalari*, bunday qurilmalarda ishchi jismga issiqlik yetkazib berish alohida moslamada, ya'ni bug' o'chog'ida (bug' generatorida) yetkazib beriladi. Ish jarayoni bug' turbinasida issiqlik yordamida yuzaga keladi .

Birinchi va ikkinchi guruh dvigatellari uchun umumiy ishlash sikli – bu ishchi jism sifatida butun sikl, ya'ni ishlash jarayonida ishchi jism sifatida gazsimon mahsulotlarning bir moslamada (agregatda) joylashishida va tegishli bo'lgan yuqori haroratlardagina ularni ideal tarzda gaz hisoblanadi.

Uchinchi guruhga xos bo'lgan issiqlik-kuch qurilmalarining o'ziga xos xususiyati – bu ularning ishlash jarayonida moslamada (agregatda) o'zgarishlarning, ya'ni suyuqlik, to'yingan bug', qizdirilgan bug' holatiga keltirilib, real gaz qonunlariga bo'ysinadi.

Real issiqlik dvigatellarida issiqlikning ishga aylanishi qaytmas va juda murakkab jarayonlarning amalga oshishi bilan yuzaga keladi. Bunday jarayonlarni hisobga olish o'z navbatida ishlash jarayonlarini va sikllarini termodinamik tahlil qilish imkoniyatini yo'qqa chiqaradi. Shu vaziyatni hisobga olib qurilmalarning samaradorligini ta'minlovchi asosiy omillarni aniqlashda mavjud jarayonlar qaytar termodinamik jarayonlar bilan, ya'ni ularni tahlil qilishda mumkin bo'lgan termodinamik usullar bilan almashtiriladi.

Shuning uchun issiqlik-kuch dvigatellarining ishlash jarayonini tahlil qilish 2 bosqichda amalga oshiriladi: 1 – avval nazariy qaytar ish jarayoni sikli tahlil qilinadi; 2 – keyin asosiy muqarrarlik manbalarini hisobga olgan holda real qaytmas sikl tahlil qilinadi.

Nazariy sikllarning ishlash jarayonlarining mukammallashish darajasi termik FIK bilan xarakterlanadi.

$$\eta_t = \frac{l_0}{q_t} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1};$$

Real siklda ishlash jarayonini tashkil qiluvchi ko'plab jaryonlar qaytmas hisoblanadi. Masalan, dvigateldagi kengayish va torayish jarayonlari ishqalanish, puflanish va foydali ish jarayonining ma'lum darajada yo'qotilishi

(isrof) bo'lishi bilan birga kechadi. Qaytmas real siklning samaradorligi ichki FIK deb hisoblanuvchi jarayon bilan uzviy bog'liq.

$$\eta_t = \frac{l_0^H}{q_1}; \quad (2.1)$$

bunda, l_0^H - qaytmas siklda yuzaga kelgan haqiqiy ish yoki ichki ish.

Sikl va ishlash jarayonining qaytmaslik darajasini belgilash uchun ichki nisbiy FIK deb nomlanuvchi nazariy l_0 ga l_0^H aniq ish jarayonining bir-biriga nisbati bilan bog'liq tushunchadan keng foydalaniladi.

$$\eta_{0i} = \frac{l_0^H}{l_0}; \quad (2.2)$$

va nazariy sikl real siklga nisbatan qay darajada nomukammalligini ko'rsatadi.

$$\eta_i = \eta_t \eta_{0i}; \quad (2.3)$$

Ichki FIKda hisobga olingan muqarrar yo'qotishlardan boshqa issiqlik-kuch qurilmalarda qator yo'qotishlar ham (o't oldirirish kameralari, bug' yo'laklari, podshipniklar, gneratorlar va hokazolarda ishqalanish oqibatida yuzaga keladigan yo'qotishlar) mavjud. Shuning uchun tashqi iste'molchiga yetkazib berilgan ish l_0^H sikl jarayonida olingan ishdan ancha past natijaga ega. Iste'molchiga berilgan haqiqiy foydali ishni sarflangan issiqlikka nisbati *qurilmaning samarador FIK* deyiladi.

$$\eta_e = \frac{l_e}{q_1}; \quad (2.4)$$

Shunday qilib, samarador FIK barcha ishlatilgan issiqlikni hisobga olganda foydali issiqlik bo'lagini ifoda etib, shu tariqa butun qurilmaning samaradorligini ifoda etadi.

Bu yerda real qaytmas siklda issiqlik-kuch dvigatellarda dvigatellarning 2 ta turigagina xosligiga e'tibor qaratish lozim: ya'ni ishchi jism oqimida ishqalanish va puflanish jarayoni bilan yuzaga kelgan va yoki issiqlikni keltirish va olib ketish jarayonlarida oxirgi jarayonda harorat darajasining har xil bo'lishi bilan yuzaga keladi.

Issiqlik-kuch dvigatellarining samaradorligini FIK usulida baholash yuqorida aytib o'tganimizdek ishlash sikli va jarayonlarining ichki muqarrarligi

bilan va issiqlikni keltirish va olib ketish jarayonida haroratning har xil darajada bo'lishini (tashqi muqarrarlik) bilan belgilangan yo'qotishni (isrof) aniq hisobga olinmaydi.

Tashqi muqarrarlik issiqlikning ishlash jarayonining yo'qolishiga, ya'ni ishlash jarayonini ta'minlovchi termodinamik mukammal tashkil topgan harorat darajasining foydalanilmasligiga olib keladi.

Issiqlik-kuch qurilmalarda unchalik katta bo'lmagan tashqi muqarrarlik issiqlikning yuqori issiqlik manbaidan issiqlikni (yonilg'i mahsulotlarining) ishchi jismga (bug'ga) yetkazib berilishi (o'tkazilishi) jarayonida kuzatiladi. Ishchi jism harorati esa issiqlik manbai haroratidan ancha past.

Issiqlik-kuch qurilmalaridagi elementlarda muqarrarlik manbalarini aniqlash va ishlash natijasining qay darajada yuqoriligini aniqlashda issiqlik-kuch qurilmalarining samaradorligini tahlil qilishning eksergetik usulidan foydalanib aniqlanadi. Bu usul maxsus hisoblash tizimida keng qo'llaniladi.

Termodinamik nuqtai nazardan termik FIK ishlash siklini (shu asnoda qurilmaning samarador FIK) yuqorilatishga har tarflama yondashish kerak. Lekin qator vaziyatlarda bu jarayon belgilangan shartlarning murakkablashtirilishi, ushlab turilishi va vositalarning tejalishi bilan bevosita bilan bog'liq, ya'ni yuqori darajadagi FIKga ega qurilmaning maqsadga muvofiqligi, samaradorligi faqat texnik va iqtisodiy hisob-kitobgagina asoslanib qabul qilinadi.

2.2. Ichki yonuv dvigatellari

Ichki yonuv dvigatellari deb, porshenli dvigatellarga aytiladi va bunday dvigatellarda yonilg'ining yonishi (ya'ni issiqlikni keltirilishi) va yonilg'i mahsulotlarining ishga aylanishi silindrda amalga oshiriladi.

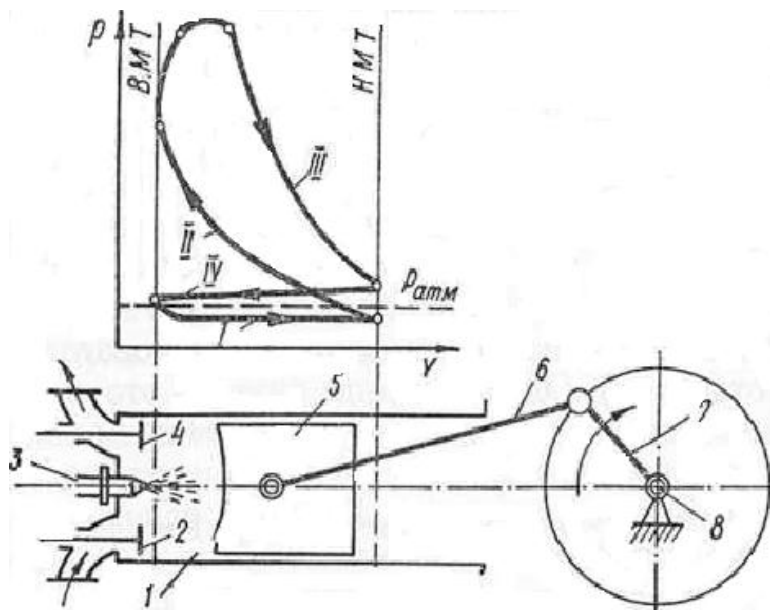
2.1-rasmda 4 bosqichli ichki yonuv dvigatelining tuzilishi chizmasi va unig p-V koordinatalarida ishlash jarayoni diagrammasi ko'rsatilgan. Dvigatel silindri 1, 2 ta klapan, ya'ni kirituvchi 2 va chiqaruvchi 4ga egadir, klapanlarning ochilishi va yopilishi maxsus gaz taqsimlovchi mexanizm (chizmada ko'rsatilmagan) yordamida amalga oshiriladi. Porshen 5 katta kirituvchi harakatni, ya'ni qiya qisqich-shatunli mexanizmini (shatun 6 va qiya qisqich 7) amalga oshirib, 8 valning aylana harakatini yuzaga keltiradi.

Porshenning chetki taraflarida porshenning harakatlanish yo'nalishi (*o'lik nuqtalar* deb ataladi) silindr qopqog'ida joylashgan bo'lib, yuqori o'lik nuqtadan qarama-qarshi tarafga pastki o'lik nuqtada joylashgan nuqtalarga o'zgaradi.

Porshen harakati bir o'lik nuqtadan ikkinchi bir o'lik nuqtaga teng taqsimlangan tezlikda harakatlanishi *taktlar* deb atalib, ular orasidagi yo'lak

porshen yo'li deb nomlanadi. Bir yurishda harakatlanadigan porshen harakati kengligi *silindrning ishchi kengligi* deb nomlanadi.

Ichki yonuv dvigatellarining ishlash jarayoni yuqori o'lik nuqtadan porshen-5 ning chiq chiqaruv klapani 2 da (1 so'rish taktida) pastga qarab harakatlanishidan boshlanadi. Natijada silindrga benzin yoki kerosinning maxsus karbyurator deb nomlanuvchi qurilmada (yoki gaz yonilg'isida aralashtiruvchi qurilma) hosil bo'lgan havo bilan aralashgan qorishmasi kelib tushadi. Og'ir yonilg'i mahsulotlaridan (neft, solyar yog'i) foydalanilganda so'rish taktiga toza havo kelib tushadi.



2.1-rasm. Ichki yonuv dvigatellarining ishlash jarayonining qurilmasi va diagrammalari chizmasi

Pastki kiritish klapani 2 yopiladi va porshen ortga harakatlanganda *II* siqish taktini amalga oshiradi. Karbyuratorli ichki yonuvchi dvigatellarda yuqori o'lik nuqtadan issiqlikning o't olishi elektr uchqunida (kuch bilan o't oldirish) amalga oshiriladi va yonilg'i porshenning yuqori o'lik nuqtasiga kelib tushishida yonadi. Shuning natijasida yonilg'i mahsulotlari to'xtovsiz amaliy almashuv jarayonida gaz yonishga tushish darajasi yuqori bo'ladi.

Yuqori darajadagi ichki yonuv dvigatellarida kuchli siqilgan va $500-600^{\circ}\text{C}$ haroratda qizdirilgan havo yonilg'iga aralashib suyuqlashib tez yonadi va o't oladi. Kompressorli dizel suyuq yonilg'ining forsunkada o't olishi maxsus kompressorda siqilgan havo yoki mexanik tarzda, ya'ni yonilg'i nasosi yordamida (kompressorsiz dizel) amalga oshiriladi. O't olish jarayoni amalga oshgandan keyin kengayish takti amalga oshiriladi (ya'ni ish takti *III*). Pastki o'lik nuqta yaqinidan chiqaruvchi klapan ochiladi, bosim pasayadi va porshen-

ning pastki o'lik nuqtadan yuqori o'lik nuqtaga bo'lgan harakatlanishida ishlab bo'lgan (yonib bo'lgan) gazlar silindr orqali (IV chiqarish takti) atmosfera bosimidan ancha yuqori bo'lgan bosimda tashqariga chiqarilib tashlanadi. Ish jarayonining bunday diagrammasi odatda maxsus moslama yordamida – indikatorda yozib boriladi va bu tarzda olingan diagramma *indikatorli diagramma* deb nomlanadi. Indikatorli diagrammada porshen yordamida shu paytning o'zida tasvirlangan silindr kengligi chiqarib tashlanadi.

Dvigatel silindrdagi yuqori harorat ($1600-2000^{\circ}\text{C}$) tufayli uzluksiz tarzda silindr sovutilib turadi. Ko'pincha suv yordamida sovutiladi, shuning uchun silindr va yonilg'i mahsulotlari orasida issiqlik almashuvi yuz beradi.

Ichki yonuv dvigatellarida aniq, yaqqol yuzaga keladigan jarayonlar qaytmas hisoblanadi (bu jarayon oxirgi tezliklar, ishqalanish va oxirgi har xil haroratda issiqlik almashuvi bilan yuzaga keladi). Shuning uchun indikatorli diagrammani termodinamik sikl jarayoni bilan birdek qabul qilish noto'g'ri. Shu sababli ichki yonuv dvigatellarini termodinamik tahlil qilishda quyidagilarni inobatga olish zarur:

a) yonilg'ining o't olish jarayoni Q_1 issiqlikni kiritish (tashqi manbadan) jarayoni bilan almashtiriladi ishlatilgan (yongan) gazlarni chiqarib tashlash jarayoni - Q_2 issiqlikni yig'uvchi qaytar jarayon bilan (izaxorli jarayon) almashtiriladi. Buning natijasida siklda doimiy ravishdagi sonda ishchi jismlar mavjud bo'ladi;

b) siqish va kengayish jarayonlari adiabatli qabul qilinadi;

c) ideal gaz to'xtovsiz issiqlik bilan ta'minlovchi ishchi jism hisoblanadi.

Shunday qilib, nazariy tahlil uchun ichki yonuv dvigatellarining aniq jarayonlari qaytar jarayonlardan iborat bo'lgan nazariy termodinamik sikllarga almashtiriladi.

Termodinamik nuqtai nazardan ichki yonuv dvigateli har qanday issiqlik dvigateli singari Karno sikli bo'yicha (eng yuqori termik FIKga ega $T_{\max} \div T_{\min}$ belgilangan haroratda) ishlashi joyiz. Lekin konstruktiv murakkabliklar natijasida, issiqlikning keltirilishi, olib ketilishi izotermalar bo'yicha bo'ladigan ichki yonuv dvigatelinini ishlab chiqish imkoni bo'lmagan.

Amaliy jihatdan issiqlikni izoxor bo'yicha yoki izobar, yoki bo'lmasa izoxor va izobar aralash usullari yordamida keltirish juda qulay. Shuning uchun ichki yonuv dvigatellari uchun amaliy ahamiyatga ega 3 nazariy usul ishlab chiqilgan:

1) $V=\text{const}$ da issiqlikni keltirish sikli;

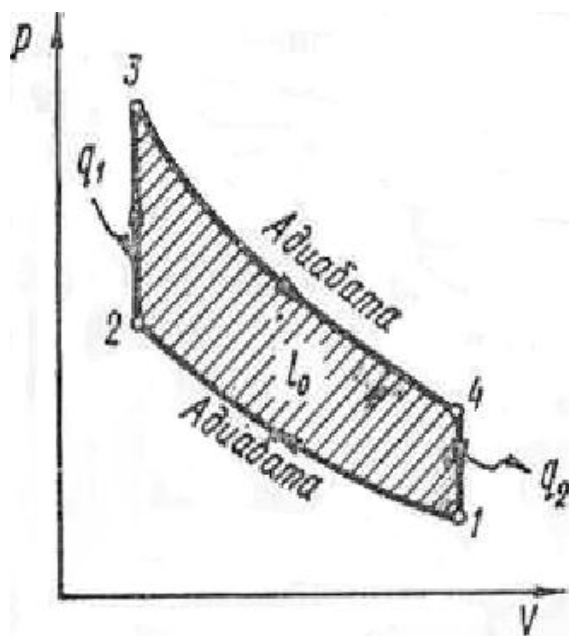
2) $P=\text{const}$ da issiqlikni keltirish sikli;

3) $V=\text{const}$ va $P=\text{const}$ da issiqlikni keltirish sikli.

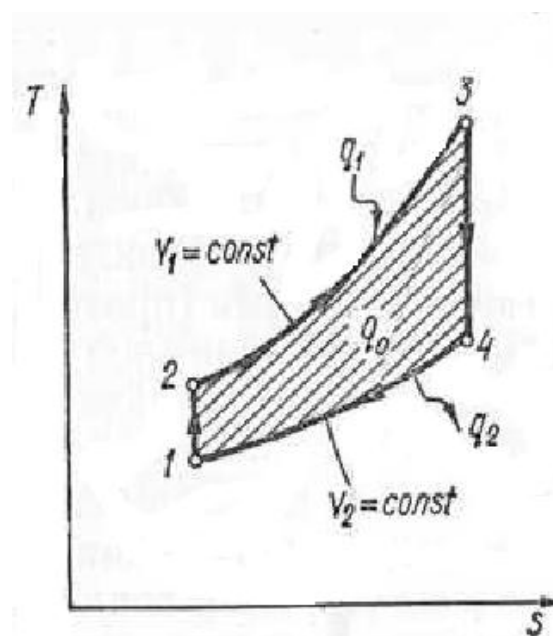
2.2.1. Hajm o'zgarmaganda ($V=\text{const}$) issiqlikni keltirish sikli

Hajm o'zgarmaganda issiqlik keltirish sikli (jarayoni) kuch bilan harakatlantiriluvchi (yoqiluvchi) dvigatellarning ishlash jarayoniga o'xshash (asoslangan) jarayon. Bunday dvigatellarning o'ziga xos xususiyati yonilg'i aralashmasini (benzin va havo bug'larining qorishmasi) torayishidan iborat.

Bu sikl ikkita adiabat va ikkita izoxor (2.2-rasm) jarayonlaridan tashkil topgan. 1-2 adiabatasi yonilg'i aralashmasini siqilishiga, 2-3 izoxora yonilg'ining yonishiga (ya'ni issiqlik q_1 ni keltirilishiga) javob beradi va natijada bosim P_3 gacha ko'tariladi. Bundan keyin yonuvchi mahsulotlar adiabatli tarzda kengayadi (3-4 jarayon). Izoxor jarayonda (4-1) gazdan q_2 issiqlik olib ketiladi.



a

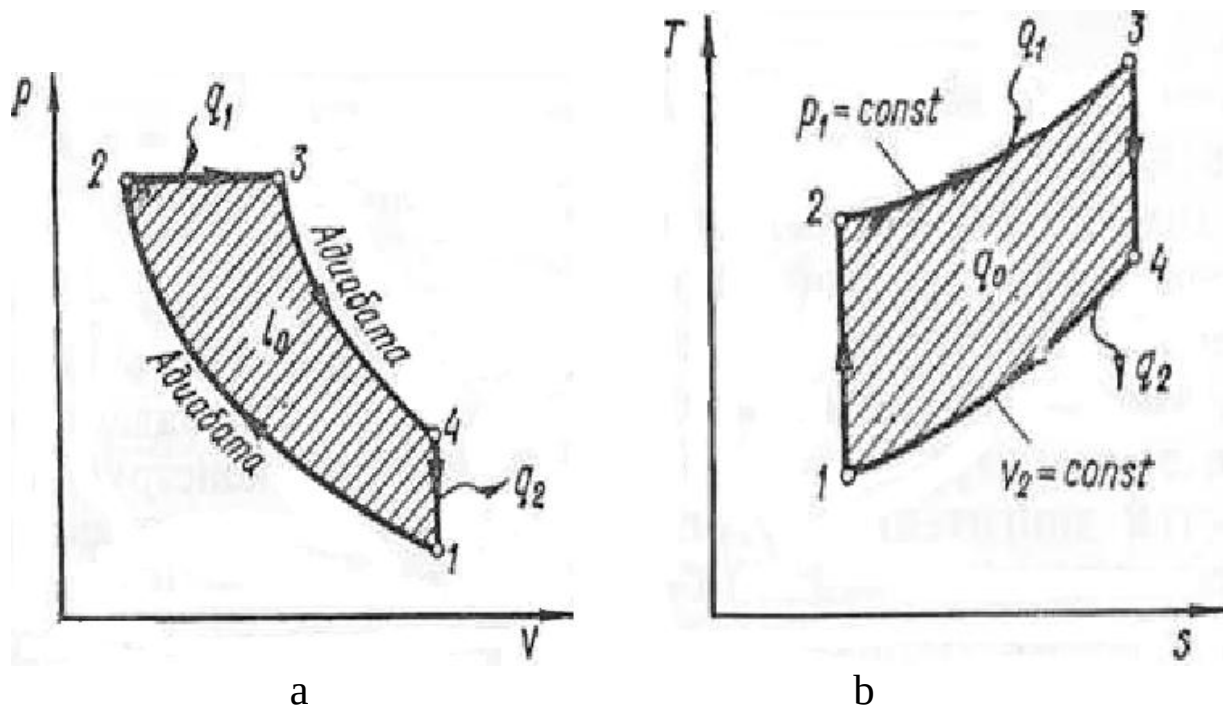


b

2.2-rasm. Ichki yonuv dvigatellarida izoxor tarzda issiqlikni keltirilish sikli: p-V koordinatalarda (a); T-s koordinatalarda (b)

2.2.2. Bosim o'zgarmaganda ($P=\text{const}$) issiqlikni keltirish sikli

Issiqlikning bosim o'zgarmaganda keltirilishi jarayoni ikkita adiabatlardan: izobara va izoxoradan iborat (2.3-rasm) bo'lib, kompressorli dizellar deb nomlanuvchi og'ir yonilg'i mahsulotlari uchun mo'ljallangan dvigatellar uchun na'muna hisoblanadi.



2.3-rasm. Bosim o'zgarmaganda ($P=\text{const}$) issiqlik keltiruvchi ichki yonuv dvigatellari: a) p - V koordinatalarda; b) T - s koordinatalarda

Bunday dvigatellarda oldin 1-2 adiabatada yordamida toza havo siqiladi, natijaada harorat yonilg'ining o'zi yonishi (o't olishi) uchun talab qilinadigan darajasiga yetadi. Keyin 2-3 izobarik jarayonda yonilg'ining sochilishi va yonishi ($Q_1 < Q_2$ issiqlikning keltirilishi) yuzaga keladi. Oxirida 3-4 adiabatik kengayish hosil bo'ladi va izoxorik chiqarish jarayoni amalga oshadi.

2.2.3. Aralashgan usulda issiqlikni keltirish sikli

Issiqlikni aralash usulda keltirish siklida kompressorli bo'lmagan yonilg'ini mexanik tarzda puflovchi og'ir yonilg'i dvigatellariga xos jarayon (2.4-rasm). Bunday dvigatellarda yonilg'ini yonishi avval $V=\text{const}$ chizig'ida (2-3 jarayon) bosimni oshirish, so'ngra doimiy bosimda (3-4 jarayon) orqali amalga oshiriladi.

Siklning asosiy sifati (xususiyati)ni belgilab beruvchi tushunchalarni kiritamiz:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{Q_1}{Q_2} && \text{- siqilish darajasi;} \\ \lambda &= \frac{P_1}{P_2} && \text{- bosimni ko'tarish darajasi;} \\ \rho &= \frac{Q_4}{Q_3} && \text{- oldindan kengayish darajasi.}\end{aligned}$$

Issiqlikni aralash usulda keltirish siklida bir-biriga bog‘liq nuqtalarda gaz haroratini boshlang‘ich harorat va ishchi jism ideal gaz deb faraz qilgan tarzda siklning ma‘lum xususiyatlaridan kelib chiqqan holda aniqlash mumkin.

a) 1-2 adiabatik siqilish jarayoni uchun:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{g_1}{g_2} \right)^{k-1}, \quad T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1};$$

b) 2-3 izoxorik jarayon uchun: $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}, \quad T_3 = \lambda T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda;$

c) 3-4 izobar jarayon uchun: $\frac{T_2}{T_1} = \frac{g_2}{g_1}, \quad T_4 = \rho T_3 = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda \rho;$

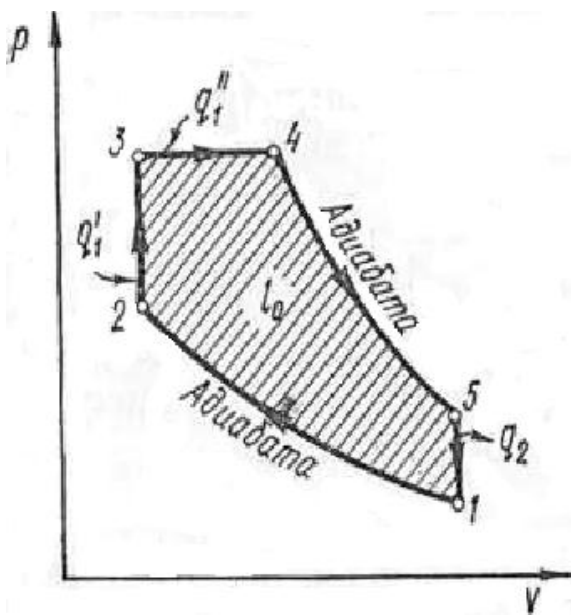
d) 4-5 adiabatik kengayish jarayoni uchun: $\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{g_4}{g_1} \right)^{k-1} = \left(\frac{g_4}{g_3} \frac{g_2}{g_1} \right)^{k-1} = \rho^{k-1} \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$
formulasidan foydalanish mumkin.

Bunda,
$$T_5 = T_4 \rho^{k-1} \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \lambda \rho^k$$

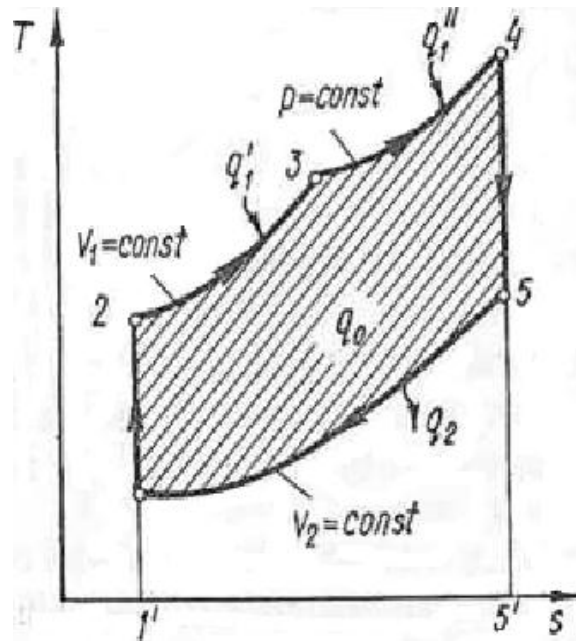
Aralashgan usulda keltiruvchi va olib ketuvchi issiqlikni quyidagicha yozamiz:

$$q_1 = q_1' + q_1'' = c_{mm}(T_3 - T_2) + c_{pm}(T_4 - T_3) = c_{vm} [T_1 \varepsilon^{k-1} (\lambda - 1) + k \lambda (\rho - 1)]$$

$$q_2 = c_{vm}(T_5 - T_1) = c_{vm} T_1 (\lambda \rho^k - 1)$$



a



b

2.4-rasm. Ichki yonuv dvigatellarida issiqlikning aralash usulda keltirilish sikli. a) P-V koordinatalarida; b) T-S koordinatalarida.

Bunda issiqlikning aralash usulda keltirilishi siklining termik FIK:

$$\eta_{t,v,p} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_{vm} T_1 (\lambda \rho^k - 1)}{c_{vm} T_1 \varepsilon^{k-1} [(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)]} = 1 - \frac{\lambda \rho^{k-1} - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

Ko‘rinib turganidek, termik FIK ε – siqilish darajasi ortishi bilan λ - bosimning ko‘tarish darajasi ρ – oldindan kengayish darajasining kamayishi bilan pasayib boradi.

Nazorat savollari

1. IYD larining guruhlarini tavsiflab bering.
2. IYD kamchiligi va yaxshi tomoni nimadan iborat.
3. Bosim o‘zgarmaganda issiqlik keltiruvchi dvigatelni tavsifi.
4. Hajm o‘zgarmaganda issiqlik keltiruvchi dvigatelni tavsifi.

3-mavzu

BUG‘-KUCH QURILMALARINING SIKLLARI

Mavzu quyidagi ma’ruzalarni o‘z ichiga oladi:

1. Bug‘-kuch qurilmalarining asosiy sikllari.

Kalit so‘zlar: *energiya, organik va yader yoqilg‘isi, suv, quruq to‘yingan bug‘, o‘ta qizigan bug‘, Renkin sikli, bug‘ qizdirgich, turbina, elektr generator, kondensator, entalpiya, harorat, bosim.*

3.1. Bug‘-kuch qurilmalarining asosiy sikllari (Renkin sikli)

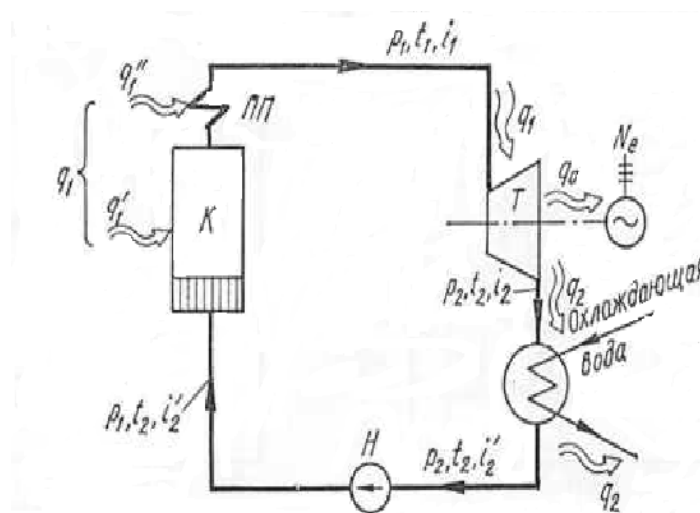
Bug‘-kuch qurilmalarida yaderli yonilg‘i energiyasi mexanik energiyaga aylantirilishi suv bug‘i orqali amalga oshiriladi. Bunday qurilmalar zamonaviy yirik energetika bazasi hisoblanadi. Oddiygina bug‘-kuch qurilmaning asosiy ishlash chizmasi 3.1-rasmda, nazariy sikli 3.2-rasmda ko‘rsatilgan.

Nasos yordamida (3-4 jarayon) siqilgan suv bug‘ qozonining o‘choq qismiga yuboriladi. Yonayotgan yoqilg‘idan ajralgan issiqlik hisobiga suv qaynaydi (4-5 jarayon), so‘ng bug‘lanish hosil bo‘ladi (5-6 jarayon). Natijada,

olingan quruq to'yingan bug' bug'ni qayta qizdiruvchi moslamada talab qilingan T_1 (6-7 jarayon) haroratgacha qizdiriladi.

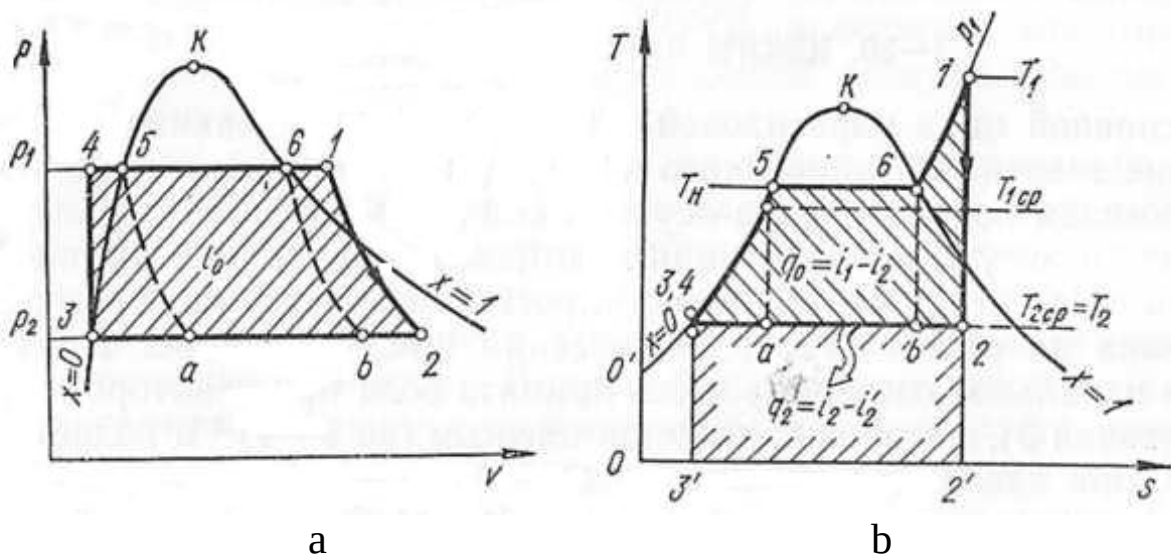
Qizdirilgan P_1 va T_1 parametrlariga ega bug', bug' turbinasiga kelib tushadi. U yerda bug' texnik jarayon (1-2 jarayon) natijasida P_2 bosimigacha adiabatik kengayishi yuzaga keladi. Turbinadan keyin bug' trubagacha o'xshash issiqlikni almashtiruvchi apparati bo'lgan kondensatorga kelib tushadi. Kondensator quvurchalarining yuqori tarafi sirkulyatsiyalovchi suv yordamida sovutiladi. Kondensatorida suv yordamida bug'dan bug'lanishdagi issiqlik ajratib olinadi va bug' o'zgarmas bosimda P_2, T_2 haroratida suyuqlikka aylanadi (2-3 kondensatsiyalash jarayoni). Keyinchalik sikl takrorlanadi. Bu sikl *Renkin sikli* deb ataladi.

Shunday qilib, ichki yonuv dvigatellariga nisbatan bug'-kuch qurilmalarida yonilg'ining yonuvchi mahsulotlari siklida bevosita ishtirok etmaydi, faqatgina issiqlik manbasi bo'lib xizmat qiladi. Ishchi jism sifatida har qanday suyuqlik (asosan suv) xizmat qiladi.



3.1-rasm. Bug'-kuch qurilmalarining asosiy issiqlik chizmasi

Belgilangan harorat o'lchamida bug'-kuch qurilmalarida termodinamik tarzda ancha natijali va foydali sikl sifatida Karno siklidan foydalansa ham bo'ladi. Ammo uni amalga oshirish katta qiyinchiliklar va murakkabliklar bilan bog'liq. Karno siklini nam bug' holatida (a56ba, 3.2-rasm) qo'llash samarali. Bu siklda bug' kondensatsiyasi izotermali jarayonda b-a to'liq hosil bo'la olmaydi, natijada keyingi adiabatik jarayonda a-5 Renkin siklidagidek suv siqilmaydi, uning o'rniga katta hajmga ega nam bug' samarali natija beradi.



3.2-rasm. Asosiy sikl (Renkin sikli)
p-V koordinatalarda (a); T-s koordinatalarda (b)

Bug'ning siqilishi maxsus kompressor va unga sarflanadigan katta ish ($a5 p_1 p_2 a$) ko'lamini bilan bog'liq bo'lgani sababli qurilmaning umumiy tejamliligini pasaytirib qo'yganligi uchun Karno siklining termodinamik jihatdan afzalligini amalda tasdiqlab ko'rsatadi. Shu sababli Karno sikli amaliyotda keng tadbiq etilmagan. Lekin nazariy jihatdan ushbu sikl yuqorida ta'riflangan o'lchamdagi haroratlarda eng maksimal darajadagi termik FIK sifatida tan olingan.

Yuqorida ko'rib chiqilgan Renkin siklida bug' to'liq kondensatsiyalanadi va undan keyin nasosda 3-4 adiabatik siqiladi. Renkin siklining FIKi umumiy hisobda quyidagicha hisoblanadi:

$$\eta_t = \frac{q_0}{q_t} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1};$$

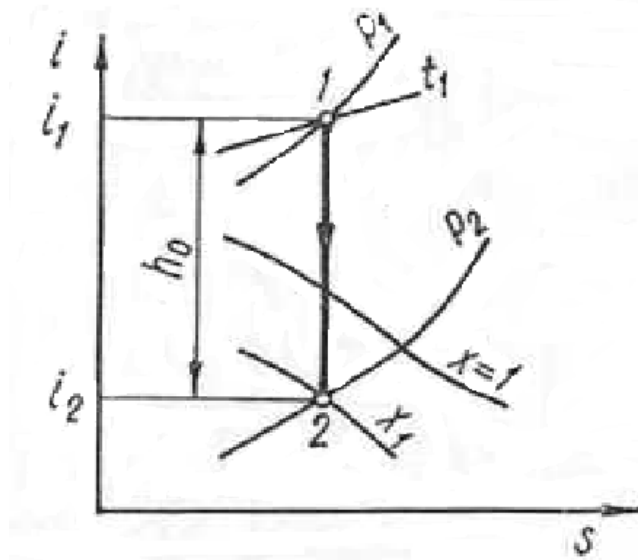
q_1 issiqligi adiabatik jarayonda (4-5) ta'sir etadi.

6-1 jarayonda (3.2-rasm) P_1 bosimida uni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$q_1 = i_1 - i_2';$$

2-3 jarayonida kondensatorda bug' orqali paydo bo'ladigan issiqlik bosimida quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$q_2 = i_2 - i_2';$$



3.3-rasm. i-s koordinatalarda turbinada bug'ning adiabatik kengayishi grafigi

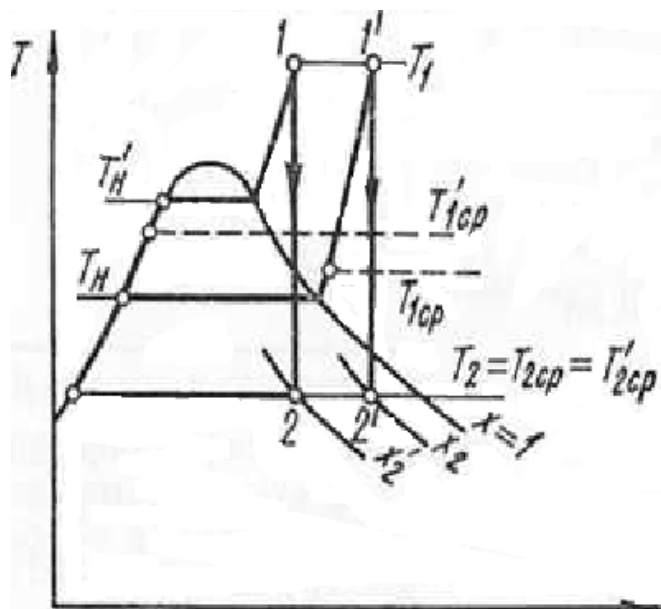
Bunda, i_2 - turbinadan chiqayotgan bug'ning entalpiyasi, 00'322'0 yuzada o'lchanadi. q_1 va q_2 larni o'rniga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\eta_{tRenk} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{i_1 - i_2' - (i_2 - i_2')}{i_1 - i_2'} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_2'}; \quad (3.1)$$

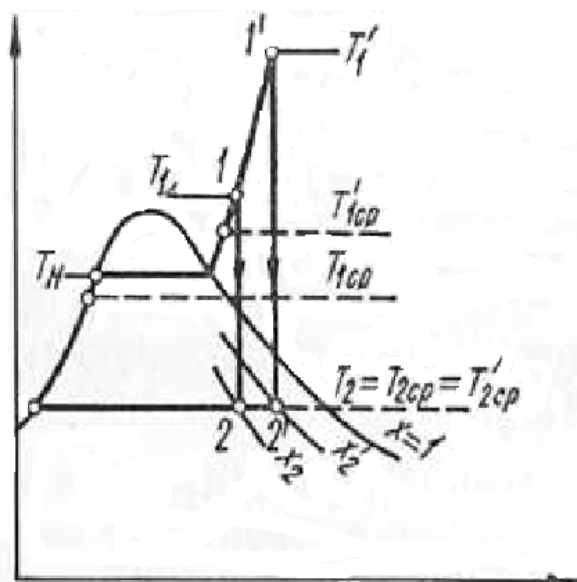
Bundan ko'rinib turibdiki, siklda issiqlik 45612'3'4yuza, ajralgan issiqlik- 22'3'32 yuza, foydalanilgan q_0 issiqlik $q_0 = (i_1 - i_2) - 456124$ yuza hisoblanadi.

Bug'-kuch qurilmasi siklining FIKni i-S diagramma yordamida aniqlash juda qulay. Bunda i_1 va i_2 lar 1-2- turbinada bug'ning adiabetic kengayishi jarayonini boshlang'ich va oxirgi parametrlari bo'yicha aniqlanadi (3.2-rasm). i_2' to'yingan bug' jadvali bo'yicha T_1 haroratida p_2 bosimga to'g'ri kelgan holda aniqlanadi. Asosiy xarakteristikalaridan biri bo'lgan bug'ning solishtirma sarfi - d_0 hisoblanadi. U ideal dvigateldagi bug'ning soatdagi sarfini - D_0 , elektr energiyani ishlab chiqarilishi - N ga bo'lgan nisbati bilan ifodalanadi. Chunki 1 kg bug' nazariy siklda $q_0 = (i_1 - i_2)$ kJ/kg foydali ish, 1 kW·soat - 3600 kJ bo'lsa, u holda ideal dvigatelning issiqlik balansidagi tenglamadan $D_0(i_1 - i_2) = 3600N$ bug'ning nazariy taqsimoti uchun natija kelib chiqadi (1kW·soat).

$$d_0 = \frac{D_0}{N} = \frac{3600}{i_1 - i_2}; \quad (3.2)$$



3.4-rasm. Bug'ning boshlang'ich bosimini Renkin siklining termik FIKiga ta'siri



3.5-rasm. O'ta qizdirilgan bug' haroratining bug'-kuch qurilmalarining termik FIKiga ta'siri

(3.1)dan ko'rinib turibdiki, $\eta_{t\text{Renk}}$ kattalikka bug'ning holat parametrlarini hisoblab chiqish mumkin emas. Buning uchun ekvivalent Karno siklidan foydalaniladi. $T_{1o'rt}$ va $T_{2o'rt}$ siklining o'rtacha harorati oralig'i ortib borishi bilan istalgan siklning FIKi ham ortib boradi.

Issiqlikni keltirilishida Renkin siklini $T_{1o'rt}$ haroratini ikki usul bilan amalga oshirish mumkin: bug'ning boshlang'ich P_1 bosimini oshirish va t_1 qizdirilgan haroratni oshirish usullaridir. Birinchi usulda (3.4-rasm) $T_{1o'rt}$ o'rtacha haroratni oshirilishi bug' hosil qilish haroratining ko'tarilishi T_H dan T'_H gacha amalga oshiriladi.

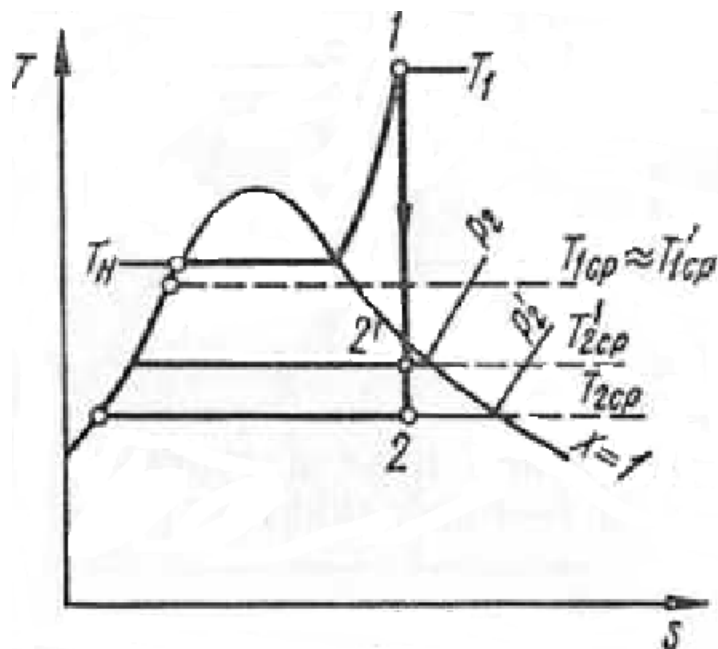
Masalan, boshlang'ich bosim 2,0 dan 10,0 MPa gacha ($t_H=212^\circ\text{C}$ va $t'_H=310^\circ\text{C}$ $t_H-500^\circ\text{C}$ o'ta qizdirilgan bug' harorati uchun ham bir xil bo'lgan va $p_2=0,004$ MPa kondensatiga ega) $\eta_{t\text{Renk}}$ ni 0,368 dan 0,426 gacha, ya'ni 16,2 % ga oshiradi.

Shuni ham aytib o'tish joizki, haroratni o'zini ko'tarish hech qanaqa samara bermaydi. Agar η boshqacha usullarda ko'tarish imkoni bo'lganida (masalan, suv bug'ini qaynash harorati yuqori bo'lgan boshqa suyuqlikka almashtirish imkoni bo'lsa) u holda bunday vaziyatda bug'ni boshlang'ich juda kichik bosimlaridan foydalanish afzaldir. Shuning bilan birga, boshlang'ich bosimni oshirishning salbiy oqibatlaridan biri – bu bug'ning namlik darajasini ortishiga yoki quruqlik darajasini kamayishiga olib keladi ($x'_2 < x_2$).

O'ta qizdirilgan bug' haroratining ($T_1' > T_1$) ortib borishida issiqlikni keltirilishida o'rtacha harorat ham ($T_{o'rt}' > T_{o'rt}$) oshib boradi (3.5-rasm). Ammo bug' haroratining ortib borilishi chegarasi metallning issiqlikka chidamliligi bilan cheklanadi. Bug'ni o'ta qizdirish harorat ($\alpha_2' > \alpha_2$) namligini sezilarli darajada pasayishiga olib keladi. Natijada bir paytda p_1 bosim va T_1 haroratning ko'tarilishidan, ya'ni bug'ning yuqori boshlang'ich o'lchamlaridan foydalanib, samarali natijaga erishsa bo'ladi. Zamonaviy bug'-kuch qurilmalarining elektr stansiyalarda takomillashib borishi, suv bug'ining boshlang'ich o'lchamlarini ortishi bilan erishilmoqda.

$T_{2o'rt}$ o'rtacha haroratini issiqlikning keltirilishi jarayonida pasayishi, atrof muhitning haroratiga bog'liq. Agar atrof muhitning harorati sharoitidan kelib chiqsak (havo, daryo, o'zan suvlari), u holda siklda past harorat 20-30°C ga teng bo'lishi mumkin. Bu suv bug'i uchun $p_2 = 0,0024-0,0043$ MPa bosimiga mos keladi.

Shuning uchun bug'-kuch qurilmalarining ishlash xususiyati bug' turbinasi kondensatoridagiga nisbatan tarang vakuum (97-95% atrofida) holatini ushlab turish bilan bog'liq. Vakuum haroratining pasayib borishi (p_2 ning oshishi) (3.6-rasmida ko'rsatilganidek) siklning termik FIKi ($T_{2o'rt}' \ll T_{2o'rt}$) ham kamaytiradi.



3.6-rasm. Bug' oxirgi bosimining bug'-kuch qurilmalari siklining termik FIK ga ta'siri

Renkin siklini FIKini oshirish uchun p_1 , t_1 boshlang'ich bug' o'lchamlarini oshirib borish lozim. Chunki η_t ni T_2 ni pasaytirish hisobidan oshirish imkoni

bo'lmagani uchun bu maqsadning amaliy yakuniga erishish uchun p_1 va t_1 ni oshirishdan boshqa yo'l yo'q. Siklning optimal o'lchamlari faqatgina iqtisodiy-texnik hisoblash asosida tanlanadi.

Bug'-kuch qurilmalarning qaytar jarayonlardan iborat nazariy sikliga nisbatan, real sikllar qaytmas jarayonda kechadi. Bug'ni turbinada kengayishi, asosan bug'ni turbina devoriga boshqa gidrodinamik holatlar bilan birga ishqalanishidan yuzaga keladigan yo'qotishlar hisobiga kengayadi. Bunda ishqalanish issiqlikka aylanib, t_2 dan $t_{2\partial}$ gacha yakuniy holatda bug'ning entalpiyasini oshiradi. Shuning uchun turbinadagi bug'ning adiabatli kengayishi entropiyaning ortishi bilan qaytar jarayoni to'g'ri 1-2 emas, 1-2 ∂ egri chizig'ida bo'ladi (3.7-rasm).

Real dvigatelda nisbatan ish (ya'ni ichki yoki indikatorli deb nomlanuvchi ish)

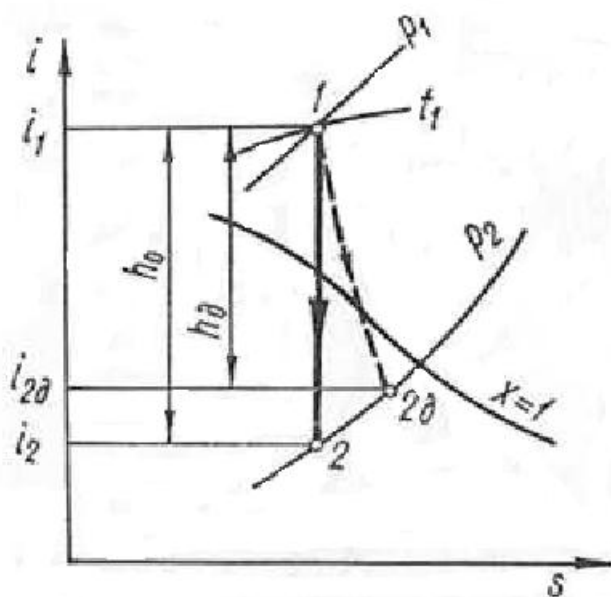
$$l_1 = i_1 - i_{2\partial};$$

Ideal dvigatelga qaraganda past darajada bo'ladi:

$$l_0 = i_1 - i_2.$$

Unda bug' turbinasining ichki FIK nisbatan quyidagicha:

$$\eta_{01} = \frac{l_1}{l_0} = \frac{i_1 - i_{2\partial}}{i_1 - i_2}. \quad (3.3)$$



3.7-rasm. i-s koordinatalarida turbinadagi bug'ning kengayishi jarayoni grafigi

Mutlaq ichki FIK – bu real dvigatelda samarali foydalanilgan issiqlikning siklda ishlatilgan issiqlikka nisbati hisoblanadi.

Renkin sikli uchun mutloq ichki FIK quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_{i\text{Renk}} = \frac{l_1}{q_1} = \frac{i_1 - i_{2\partial}}{i_1 - i'_2}; \quad (3.4)$$

Nazorat savollari

1. Bug` kuch qurilmalarini tavsiflab bering.
2. Renkin siklini chizma tasviri.
3. Renkin siklini p-V va T-s diagrammasi.
4. Renkin siklini h-s diagrammasi.

4-mavzu

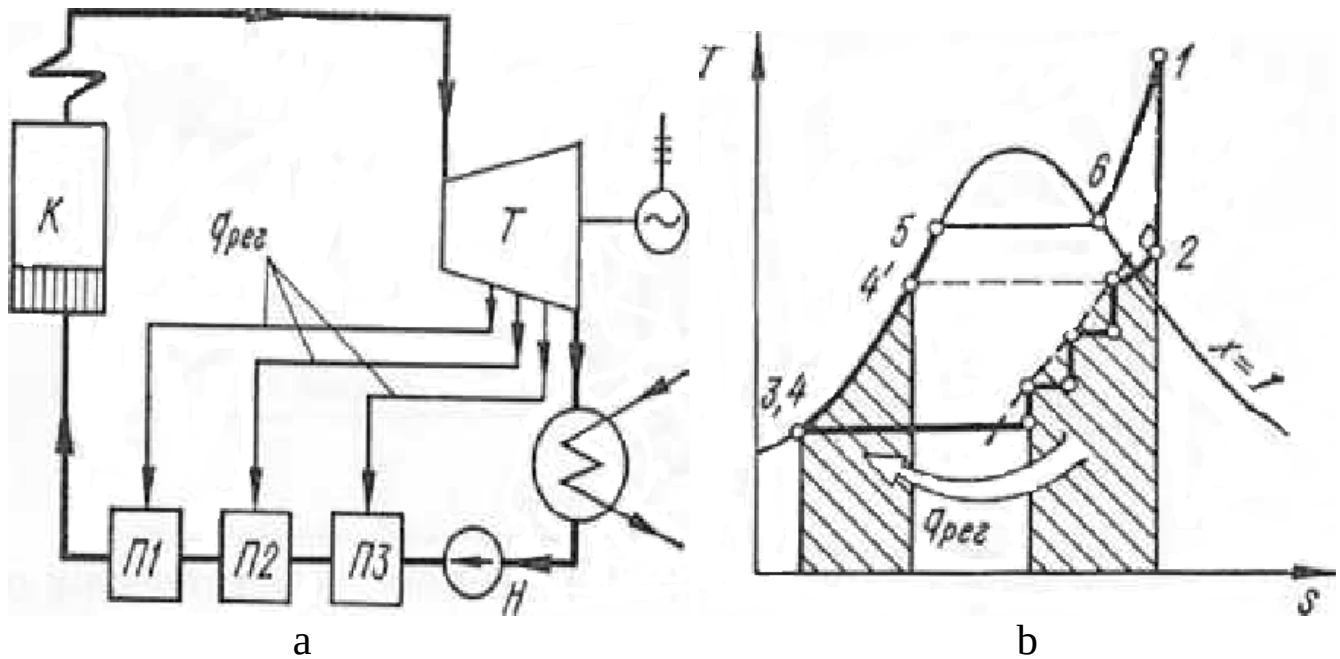
BUG`-KUCH QURILMALARIDA ISSIQLIK SAMARADORLIGINI OSHIRISH USULLARI

Mavzu quyidagi ma`ruzalarni o`z ichiga oladi:

1. Regenerativ sikl.
2. Bug`ni qayta ikkilamchi qizdirish sikli.
3. Issiqlik bilan ta`minlash sikli.
4. Bug`-gaz sikli.

Kalit so`zlar: *regeniratsiya, ikkilamchi qizdirish, issiqlik bilan ta`minlash, bug` gaz sikli, bosim, harorat, entalpiya, issiqlik almashinish apparati, bug` qizdirgich.*

Hozirgi kunda bug`ning yuqori va haddan tashqari yuqori o`lchamlari ($p_1=23,0-30,0\text{MPa}$; $t_1=570-600^\circ\text{C}$) va kondensatordagi vakkum (97% yoki $p_2=0,003\text{MPa}$) o`zlashtirilayotgan paytda, Renkin siklining termik FIKi 50%dan oshmaydi. Real qurilmalarda foydalanilgan samarali issiqlik taqsimoti jarayonlarini ichki qaytmas jarayonlardan tashkil topganligiga bog`liq yo`qotishlar sababli judayam past. Shu sababli bug`-kuch qurilmalari issiqlik samaradorligini oshirish uchun bir qancha boshqa usullar ham taklif etilgan.



4.1-rasm. Bug‘-kuch qurilmalari chizmasi (a) va regenerativ sikli (b).

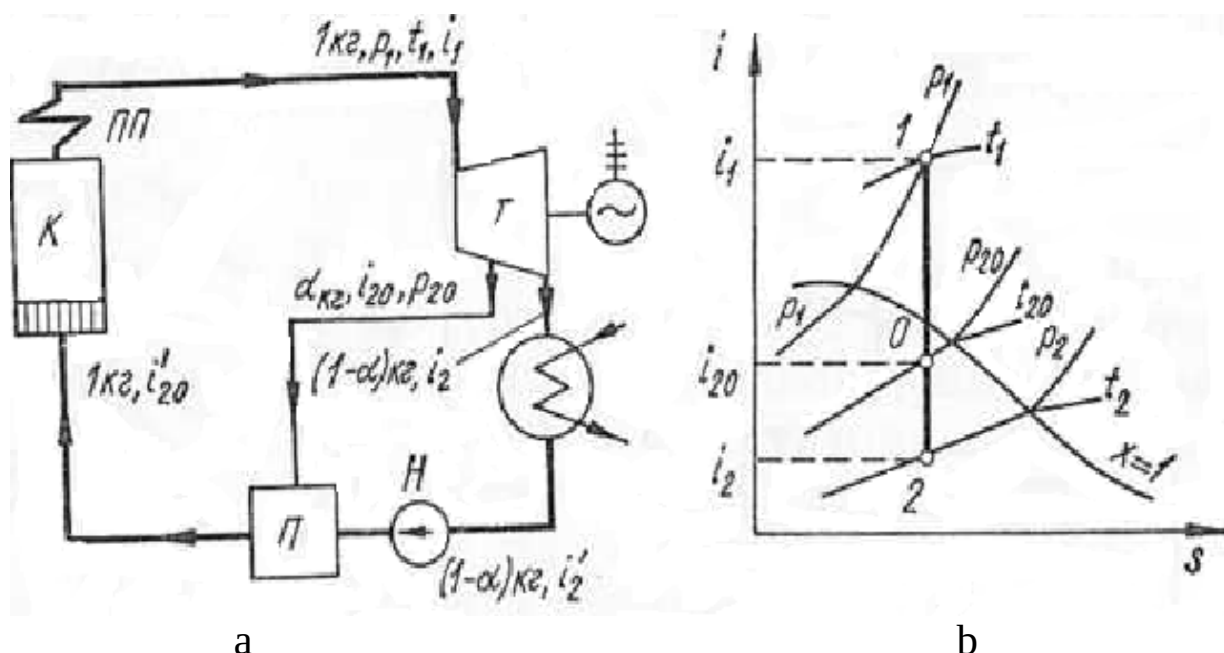
Asosan ishlatilayotgan bug‘ (regenerativ sikl) hisobidan ta‘minlovchi suvni qizdirish, bug‘ni ikkilamchi qayta qizdirish (ikkilamchi qayta qizdirish sikli), issiqlik bilan ta‘minlash (birgalikdagi sikl), va boshqalar keng qo‘llaniladi.

4.1. Regenerativ sikl

Bu siklninig boshqalaridan farqi shuki, kondensatordan keyin $28-30^{\circ}\text{C}$ ga ega kondensat qozonga kelib tushishdan oldin maxsus issiqlik almashinuv apparatlarida (4.1,a-rasm) turbinaning oraliq pog‘onalaridan olinadigan bug‘ hisobiga qizdiriladi. Suvni bosqichma-bosqich qizdirib (bug‘ni uning kengayishi jarayonida tanlanishi hisobidan) Karno regenerativ siklidan foydalansa bo‘ladi (4.1,b-rasmda ko‘rsatilgan). Tanlangan bug‘lar sonini cheksizlikka yetkazib (regenerativ siklning baland cho‘qqisi) kengayish jarayonini punktirli qiya darajasiga yetkazib, uning 4-4' qizdirish jarayonini ekvidistantli qiya darajasiga yetishini ta‘minlash mumkin. Ammo texnik jihatdan amalga oshirish mumkin emas. Faqatgina amaliy iqtisodiy tarafdin qizdirishning 5-8 bosqichini qo‘llanilishigina qo‘llab-quvvatlangan.

Kondensatni qizdirish uchun bug‘ni tanlashda bir tarafdin issiqligining sarflanishi pasayib borsa, ikkinchi tarafdin turbinada bug‘ olish jarayonida ishi ham pasaytiradi. Ushbu hodisalarning qarama-qarshi taraflariga qaraganda bug‘ni tanlab olish har doim η_t ko‘paytiradi. Bu ta‘minlovchi suvni qizdirishda olingan bug‘ kondensatsiyasining issiqligi tashqi manbadan issiqlikni keltirish 4-4' qismda to‘xtatiladi va shu asnoda regenerativ siklda issiqlikni tashqi

manbadan keltirishning o'rtacha harorati ortib boradi (q_1 tashqi issiqlikning keltirilishi 4'-5-6-1 qismdagina amalga oshirilishi mumkin).



4.2-rasm. Birlamchi bug' oluvchi bug'-kuch qurilmalarini regenerativ chizmasi (a) va i - s diagrammasi (b)

Regenerativ siklni amalga oshirish bilan bog'liq masalalarni amalga oshirishda i - s diagrammadan foydalangan avzal. Buning uchun regenerativ sikl chizmasi va birlamchi bug' oluvchi bug'-kuch qurilmalarini ko'rib chiqamiz (4.2-rasm). 1-2 adiabatlarining kengayishi p_{20} izobarasi bilan kesishuvi olingan bug'ning holatini ko'rsatuvchi 0 nuqtasini beradi.

4.2-rasmda ko'rinib turganidek, 1 kg bug'dan (turbinaga kelib tushgan) bug'ning a kg p_{20} olingan bosimigacha kengaytiriladi, bunda $l_1 = a(i_1 - i_{20})$, $a(1 - \alpha)$ kg samarali ish amalga oshirilib, turbinada p_2 oxirgi bosimigacha kengaytiriladi. Bu oqimning samarali ishi $l_2 = (1 - a)(i_1 - i_2)$ hisoblanadi. 1 kg bug'ning umumiy bajaradigan ishi regenerativ siklda quyidagicha:

$$l_0 = l_1 + l_2 = \alpha(i_1 - i_{20}) + (1 - \alpha)(i_1 - i_2)$$

yoki

$$l_0 = i_1 - i_2 - \alpha(i_{20} - i_2) \quad (4.1)$$

1 kg bug'ni olishda sarflanadigan issiqlik

$$q_1 = i_1 - i_{20}$$

Regenerativ siklning termik FIK

$$\eta_{ireg} = \frac{l_0}{q_1} = \frac{i_1 - i_2 - \alpha(i_{20} - i_2)}{i_1 - i'_{20}}. \quad (4.2)$$

Regenerativ qizdirgichlarda qizdirgichdan suv to'yilish holatida chiqadi. Olingan bug'ning miqdori aralashtiruvchi qizdirgich uchun issiqlikning balans tenglamasidan aniqlanadi:

$$(1 - \alpha)(i'_{20} - i'_2) = \alpha(i_{20} - i'_{20})$$

bunda,

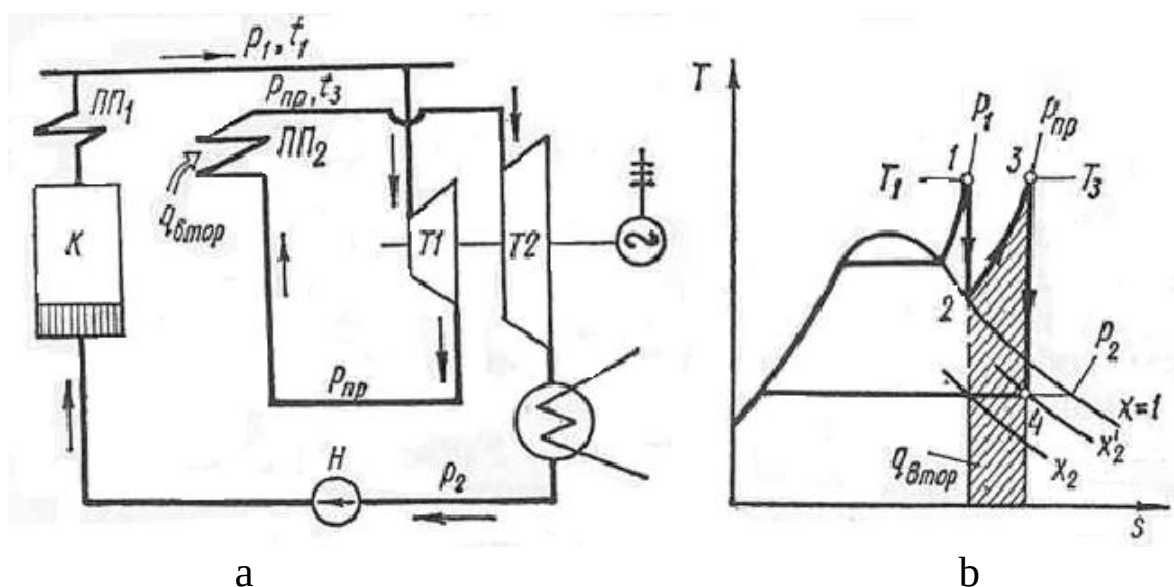
$$\alpha = \frac{i'_{20} - i'_2}{i_{20} - i'_{20}}. \quad (4.3)$$

Bunda, $i'_{20} - p_{20}$ bosimida olingan suyuqlikning entalpiyasi; i_{20} - turbinadan ajralib chiqqan bug' entalpiyasi; i'_2 - kondensatordan chiqqan kondensat entalpiyasi.

Ta'minlovchi suvni regenerativ qizdirish bug'-kuch qurilmalarining termik FIKni 8-12% ga oshiradi.

4.2. Bug'ni qayta ikkilamchi qizdirish sikli

Yuqorida aniqlanganidek, boshlang'ich bosim darajasining ortib borishining salbiy oqibati – bu adiabatli kengayish yakunida bug'ning namlanish darajasining oshib ketishidir.



4.3-rasm. Qurilma chizmasi (a) va bug'-kuch qurilmalarida bug'ni ikkilamchi qayta qizdirish sikli (b).

Namlik darajasining belgilangan miqdordan oshib ketmasligi uchun qizdirilgan bug'ning boshlang'ich harorati oshiriladi, hamda bosqichma-bosqich yoki ikkilamchi qizdirish usulidan foydalaniladi. Bosqichma-bosqich qizdirish usulining avzalligi, shundaki 1-2 (4.3-rasm) turbinasini dastlabki bosqichlarida bug'ni kengaytirgandan so'ng p_{np} to'xtovsiz bosimda ikkinchi ПП2 moslamasida qayta qizdirilishida T_3 haroratiga yetkaziladi. Keyin bug' T_2 turbinaning keyingi bosqichiga kelib tushib, kondensator 3-4 bosimiga kengaytiriladi. Natijada bug' quruqligi x_2 dan x'_2 ga yetkaziladi. Shu bilan birga bir vaqtning o'zida siklning termik FIK ortib ketadi (agar 2-30 o'ta qizdirilish jarayonida issiqlikni bir marta qizdirib kiritishda siklda harorat o'rtachadan yuqori bo'lsa).

4.3. Issiqlik bilan ta'minlash sikli

Termodinamikaning ikkinchi qonunga ko'ra, bug' qozonidagi bug'ga aylantirilayotgan issiqlik (50%) kondensatorida pastki manbaga yetkazib berilsa va sovitish suvida befoyda sovitiladi (15-30°C). Bunday past haroratga ega issiqlik (past potentsialli issiqlik) na bir isitish yoki texnik zaruriyatlar uchun yaroqsiz hisoblanadi.

Bunday issiqlikdan samarali foydalanish uchun q_2 ni hech bo'lmasa 80-100°C gacha qizdirish kerak. Buning uchun p_2 bug' bosimini (turbinadan chiqqan) 0,077-0,1 MPagacha yetkazish shart. Bunday qurilmalar (zararlangan vakuumli) bosimga qarshi (yaroqsiz) hisoblanadi. Elektr energiyasini yetkazib berish bilan birga ular tashqi issiqlik manbaiga issiqlikni bug' yoki issiq suv holatida yetkazib beradi va bu jarayon *issiqlik yetkazilishi* deb nomlanadi.

Bunday qurilmalarning sikli va chizmasi 4.4-rasmda ko'rsatilgan. Bu kabi qurilmalarda bug' turbinadan (kondensatorga ega bo'lmagan) keyin ТП (2' nuqtasi) va yuqori bosimda issiqlikka muhtoj manbaga jo'natiladi. Manbaga issiqlik q'_2 berilganidan so'ng bug' kondensatsiyalanadi (2-3 jarayon) va kondensat nasos yordamida qozonga qaytariladi.

Shuningdek 123451 kondensatsiya sikli o'rniga 12'3'451 issiqlik sikli qo'llaniladi. Bu siklda sovuq manbaga beriladigan issiqlik soni (пл. 2'3ab2') imoratlarni, har xil ishlab chiqaruvchi tashkilotlarning texnologik jarayonlarini, qizdirishda va ishlab chiqarishda keng foydalaniladi. Shu kabi aralash prinsipga asoslanib ish yurituvchi elektr stansiyalari **issiqlik elektr markazlari** deb nomlanadi.

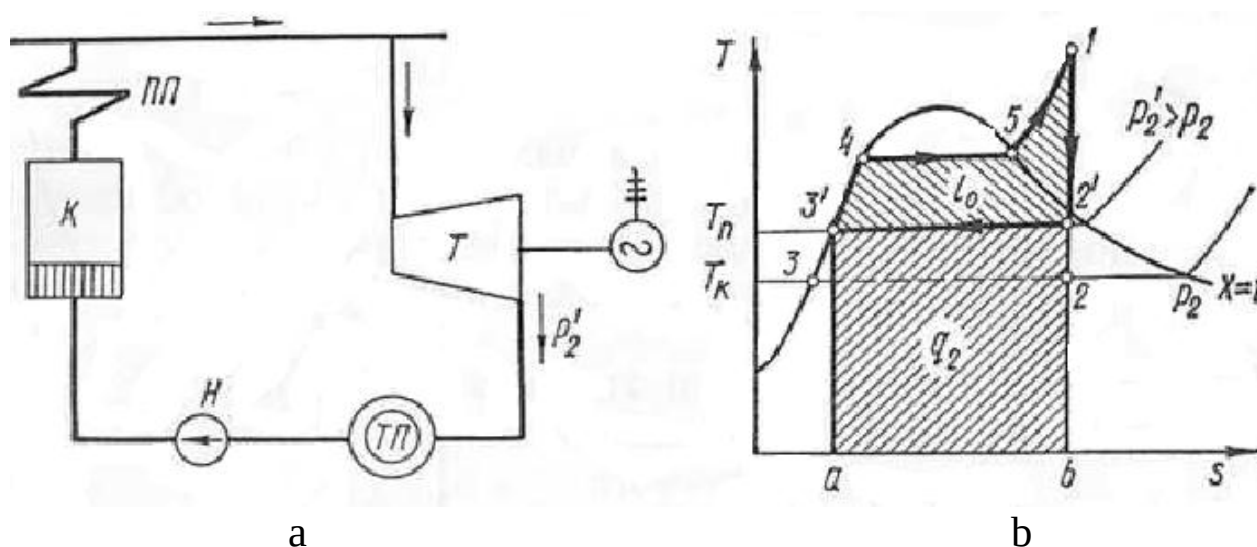
Bosimga qarshilik l_0 elektr energiyasining ajralishini kamayishiga va termik FIK ni (пл.12'3'451<<пл.12341) pasaytiradi, lekin issiqlikdan umumiy foydalanish sezilarli darajada oshib boradi.

$$q_{ishl} = l'_0 + q'_2$$

Aralash jarayonning farqli xususiyati q_{ishl} q_1 kiritilgan issiqlikka nisbatan issiqlikdan foydalanish koeffisientiga teng:

$$\eta_{i.t} = \frac{q_{ishl}}{q_1} = \frac{l'_0 + q'_2}{q}; \quad (4.3)$$

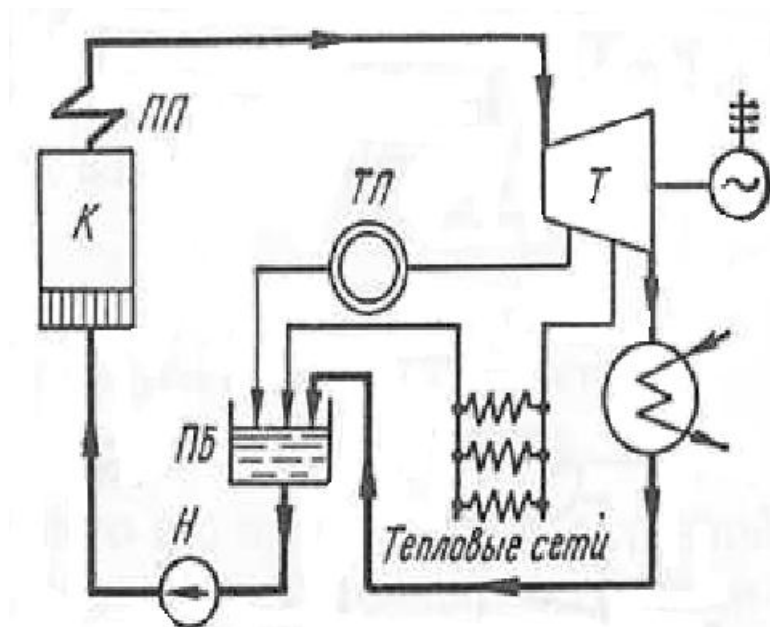
Real vaziyatda q_2 butun issiqligi $\eta_{i.t} = 1$ (yoki 100%) bo'lganidagina foydalaniladi. Real sharoitlarda issiqlikning ma'lum qismi 60-80% ga yetadi. Bu o'z navbatida oddiy kondensatsiyali qurilmalarning tejamkorligidan ancha yuqori.



4.4-rasm. Issiqlik ajratuvchi qurilmalar chizmasi (a) va sikli (b)

Katta ko'lamda issiqlik va elektr bosimini o'zgartirishda ko'pchilik issiqlik elektr stnsiyalarida oraliq tanlangan bosimdagi bug'li kondensatsiya turbinalaridan keng foydalaniladi. Shu kabi chizmalardan biri 4.5-rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda bug'ning ma'lum qismi turbinaning tanlangan bo'limlaridan olinib, (regeneratsiya jarayonidagidek) issiqlikka muhtoj manbalarga yetkazilib beriladi. Bu ikki bug' oqimlari oziqlantiruvchi bak orqali qaytib bug'-kuch qurilmasiga kelib tushadi.

Elektr energiyasi va issiqlikning aralash usulda olinishi elektr stnsiyalarida iqtisodiy tomondan eng samarali usullardan biri bo'lib - issiqlik ajratish texnologiyasining asosini tashkil etadi.



4.5-rasm. Prinsipial, ya'ni ishlash tartibi chizmasi

Shuni aytib o'tish kerakki, IEMidan issiqlikni texnologik va boshqa jarayonlar uchun olinishi, juda kichik bo'lgan qozonxonalarni qurishga imkoniyat qoldirmaydi. Undan tashqi yonilg'ini yoqishda yuqori haroratga ega bo'lgan issiqlikni, kichik haroratga ega bo'lgan jismga ishlatishni kamaytirishga olib keldi.

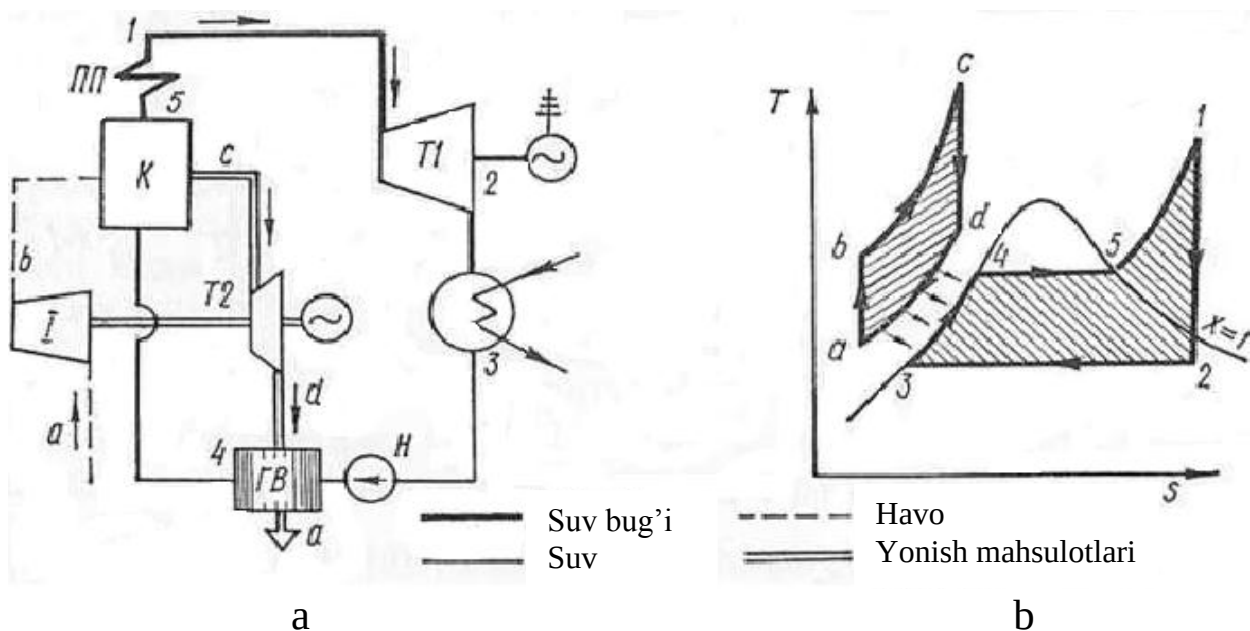
4.4. Bug'-gaz sikli

Issiqlikni ishlatish effektivligini oshirish gaz-turbina qurilmalari bilan bug' kuch qurilmalarini birgalikda ishlatish y'li bilan amalga oshirish mumkin. Bunday siklni chizmasi 4.6a - rasmda ko'rsatilgan. Havo kompressor 1 yordamida bug' qozoni Kga beriladi. Hosil bo'lgan yoqilg'I mahsulotlari $700 \div 750$ °C harorat bilan T_2 gaz turbinasiga kelib tushdi, shunday qilib bug' qozonining o'choq qismi gaz turbinasi uchun yonish kamerasi bo'lib hisoblanadi.

Bug' qozoniga kelayotgan kondensatga avval isitilishi gaz turbinasidan chiqib kelayotgan gazlar orqali gaz suv isitgichida amalga oshiriladi, bu jarayon **da** jarayoni bo'lib hisoblanadi. Shunday sharoitlarda gaz turbinasidan chiqib ketayotgan gazlarning issiqliqi effektiv ravishda ishlatiladi.

Demak, bug'-gaz sikllari bug' sikliga qaraganda avfzallikka ega bo'lib hisoblanadi, chunki turbina yuqori pog'onalarida yuqori haroratga ega bo'lgan ishchi jism ishlatiladi. Bug'-gaz siklining alohida sikllaridan avfzalligi shundaki, ya'ni bug'-gaz siklining pastki pog'onasi bo'lib hisoblangan bug' siklida sovutgichning past haroratlari ishlatilishi mumkin. Gaz-turbina

sikllarida chiqib ketayotgan gazlarning harorati 150°C , bugʻ-kuch qurilmalarida $25\div 30^{\circ}\text{C}$ tashkil etadi .



4.6-rasm. Qurilma chizmasi(a);
bugʻ-gaz siklining T -s diagrammasi (b)

Tajriba shuni koʻrsatadiki, birgalikda bugʻ-gaz qurilmalari yoqilgʻini 15% ga iqtisod qilishga olib keladi. T - S diagrammada 345123 - bugʻ-suv sikli, abcd-gaz turbina sikli hisoblanadi. Bugʻ-gaz sikllari zamonaviy energetikada koʻproq ishlatiladi. Hozirda bugʻ-gaz aralashmasi boʻyicha ishlaydigan qurilmalar ishlab chiqarilmoqda. Gaz turbina qurilmalarda kompressorni ishga tushirish uchun foydali ishdan maʼlum qismi sarflanadi. Bu esa ishchi jismni entalʼpiyasiga bogʻliq va entalʼpiya ortishi hisobiga kamayadi. Haroratni ortishi ishchi jismni ortishi hisobiga ishchi jismni entalʼpiyasi ortishi, metallni issiqlikka chidamliligi bilan ifodalanadi.

Nazorat savollari

1. Bugʻ turbina qurilmalarida ishni bajarilishi uslubi nimaga bogʻliq?
2. Bugʻ turbina qurilmalarida Karno siklini yuzaga keltirib boʻlmasligi sabablarini aytib bering.
3. Rentgen siklini tavsifini va uning asosiy xususiyatlarini tushuntirib bering.
4. Rentgen siklini FIKini oshirish yoʻllarini aytib bering.

GAZ TURBINA QURILMALARI

Mavzu quyidagi ma'ruzalarni o'z ichiga oladi:

1. Bosim o'zgarmaganda issiqlik keltiruvchi GTQ ining sikli.
2. Hajm o'zgarmaganda issiqlik keltiruvchi GTQ ining sikli.
3. Gaz turbina qurilmasining FIK ini oshirish usullari.

Kalit so'zlar: *gaz va suyuq yoqilg'ilarning yonish mahsulotlari, kompressor, yonish kamerasi, turbina, soplo, foydali ish koeffitsienti, hajm va bosim o'zgarishi, ish, issiqlik, regeneratsiya.*

5.1. Bosim o'zgarmaganda issiqlik keltiruvchi GTQ ining sikli

Bug'-turbina qurilmalarining gaz turbinalardan asosiy kamchiliklari: suv va bug' tayyorlash qurilmasi; yo'qligi; qurilmaning kichikligi; qurilmaning tez ishga tushishi; qurilma ishlatishga kam xarajat ketishi.

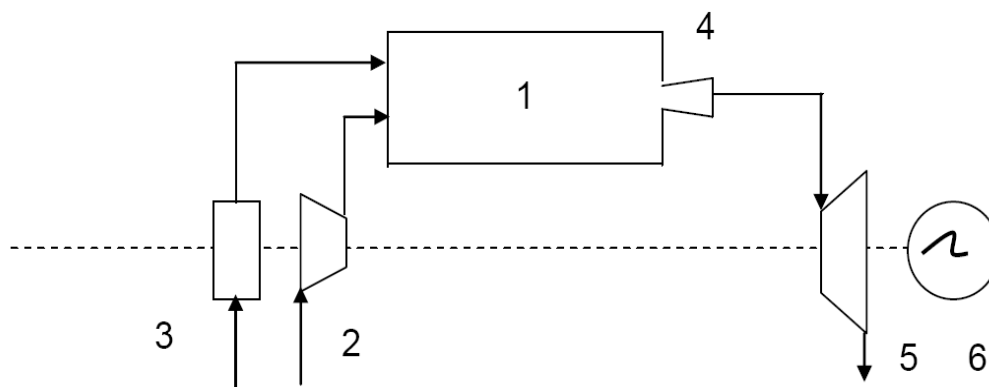
Gaz turbina qurilmalarining kamchiligi gaz turbinasining kam vaqtga chidamliligi (gazning harorati 1000°C va undan yuqori) va eng kichik quvvat (GTQ quvvatning maksimal qiymati 150 ming kWt, PTQ -1 mln. kWt). GTQ ning porshenli dvigateldan ustunligi shundaki, uning kam massaliligi va gabbaritning uncha katta emasligi; quvvatning juda kattaligi; qaytarilish harakatining detali yo'qligi.

Gaz tirbina qurilmada ishchi jism bo'lib suyuq yoki gazsimon yoqilg'i hisoblanadi. Ishchi jism,yuqori harorati va bosimga ega bo'lgan holda, yonish kam erasidan soploga boradi. So'ngra katta tezlik bilan gaz turbinasining parraklariga uriladi, undan kinetik energiya mexanik energiyaga aylanadi. Gaz turbina qurilmalarining 2 turi ishlatiladi: issiqlikning doimiy bosim ostidagi qurilmalar va issiqlik doimiy hajmdagi qurilmalari.

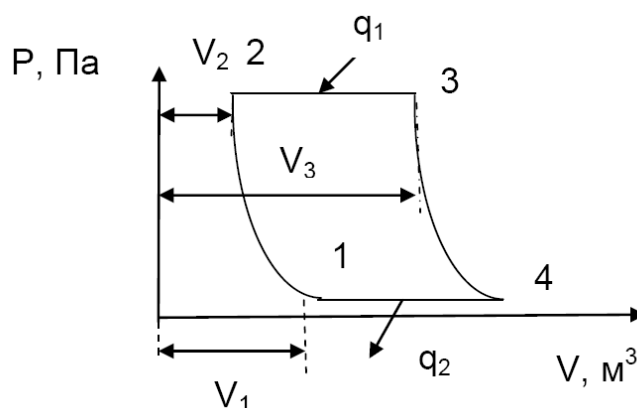
GTQ ni doimiy bosimdagi issiqlik keltiruvchi sikli.

Oddiy gaz turbina qurilmalarning $P=\text{const}$ (5.1-rasm)dagi issiqlik keltiruvchi siklini ishlashini ko'rib chiqamiz. Kompressor 2da havo siqiladi va yonish kamerasi – 1ga uzatiladi. Nasos 3 bilan yonish kamerasi 1ga suyuq yoqilg'i maxsus forsunkalar yordamida yuboriladi. Havo va yoqilg'ining aralashmasi elektr razryad bilan yoqiladi va yonadi. Yonish mahsulotlari $P=\text{const}$ holda reaktivli soplo 4ga boradi, u yerda kengayadi. Soplodan yonish mahsulotlari gaz-turbina 5ning parraklariga boradi va undan keyin atmosferaga chiqarib yuboriladi. Generator orqali elektroenergiya ishlab chiqariladi. P-V diagrammada (5.2-rasm) ushbu qurilmaning siklini ko'rib chiqamiz.

Diagrammada ko'rsatilganifek: 1-2 - kompressorda havoning adiabatik siqilishi; 2-3 - yoqilg'ining yonishi tufayli q_1 issiqlikni ishchi jismga izobarik keltirilishi ; 3-4 - turbina parraklarida yoqilg'i mahsulotning yonishi natijasida adiabatik kengayishi va foydali ishning bajarilishi; 4-1 - ishlatilgan gazning izobar ravishda atrofqa chiqarib yuborishi, bundan tashqari ishchi jismdan q_2 issiqlikning olib ketilishi.



5.1-rasm. Doimiy bosimda issiqlik keltiruvchi qurilmaning chizma tasviri



5.2-rasm. Doimiy bosimda issiqlik keltiruvchi GTQ ning PV-diagrammasi

Qurilmaning asosiy xarakteristikalar quyidagilardir:

Kompressorda bosimning oshirish darajasi $\beta = \frac{p_2}{p_1}$

Ishchi jismning isobar kengayish darajasi $\rho = \frac{v_3}{v_2}$

Foydali ish koeffitsienti $\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$

Ishchi jism orqali q_1 va q_2 parametrlarni aniqlash:

$$q_1 = C_p(T_3 - T_2);$$

$$q_2 = C_p(T_4 - T_1).$$

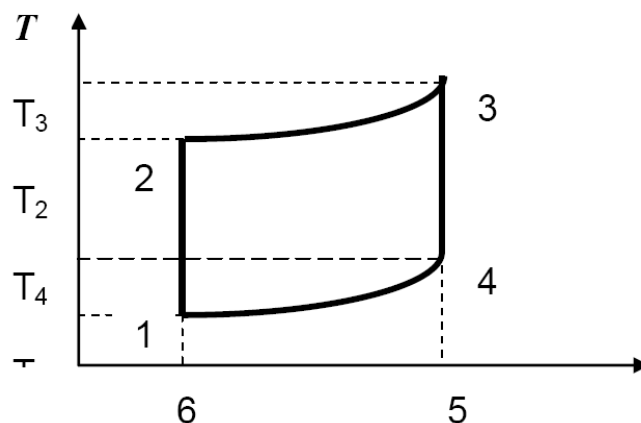
Olingan kattaliklarni termik F.I.K.ni aniqlaymiz:

$$\eta_t = 1 - \frac{C_p(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Bu tenglik FIK ifodasi bo`lib hisoblanadi. Yoqilg`ini yonish natijasida yuqori haroratga ega bo`lish yoqiishlatilgan gazni atmosferaga chiqishini kamaytirish. FIK kompressorda bosimning oshish darajasi va adiabetic ko`rsatgichiga bog`liqdir:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}$$

Qurilmaning T-S diagrammasi quyidagi ko`rinishga ega.



5.3-rasm. Doimiy bosimda issiqlik keltiruvchi GTQsi siklining T-S diagrammasi

Jarayonning nomlanishi:

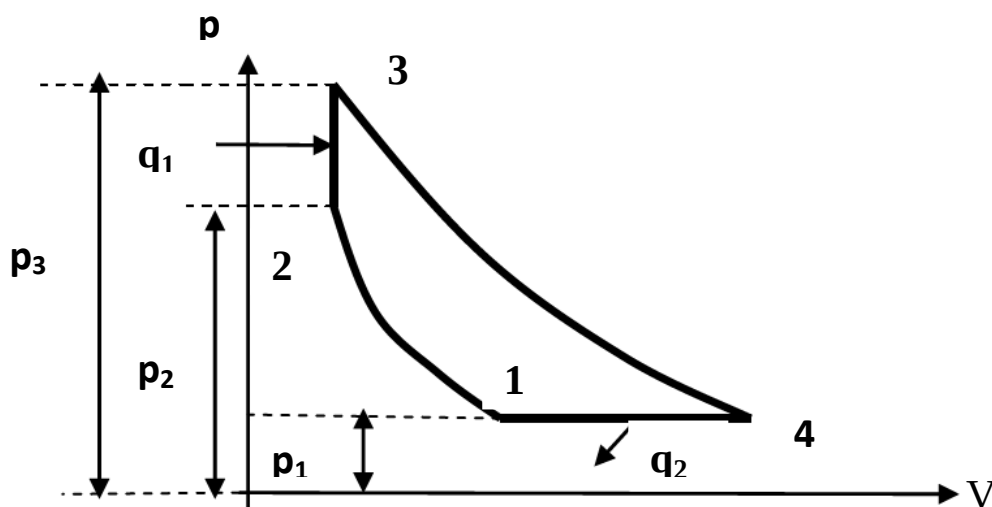
1-2 - adiabatik siqilishi; 2-3 - issiqlikning izobarik keltirilishi; 3-4 - adiabatik kengayishi; 4-1 - yoqilg`i mahsulotlarini izobarik ravishda atrofga chiqarib yuborish, T-S diagrammada 6-2-3-5-6 yuza issiqlikni to`g`ri keladi, olib chiqilgan joyga esa 6-1-4-5-6. Diagrammada oson ko`rsatish mumkin ya`ni bosimni oshishi bilan havoning harorati ortadi va shunda foydali issiqlikning miqdori ortadi.

5.2. Hajm o'zgarmaganda issiqlik keltiruvchi GTQning sikli

Bunday siklni amalga oshirish uchun oldingi qurilmaga resiverid ish qo'shish kerak (bosimni to'g'irlash uchun kattasi g'imli qurilma uni yordamida havoning doimiy bosimda turishini ta'minlaydi). Klapan o'rnatilgan joyga va yonish mahsulotini chiqaradigan joyda yonish kamerasining tuzilishi o'zgaradi.

Kompressorning ishlash usulini ko'rib chiqamiz. Kompressorda havo siqiladi va ressiverga boradi. Klapan yordamida siqilgan havo yonish kamerasiga yuboriladi. Nasos klapan orqali yoqilg'ini yonish kamerasiga yuboradi. Klapan yonish kamerasida havo va yoqilg'i uzatish paytida yopiq bo'ladi. Shuning uchun ham havo va yoqilg'i doimiy bosimda yonadi. Elektr chaqmoqdan yonish hosil bo'ladi. Yonishdan keyin aralashmaning harorati va mahsulotning yonish bosimi oshadi va klapan ochiladi. Keyin gaz turbinaga soplo orqali uzatiladi. So'ngra sikl qaytariladi.

p-V diagrammada doimiy hajmda issiqlik uzatilish siklini ko'rib chiqamiz (5.4-rasm). Diagrammada 1-2 - kompressorda adiabetic havoning siqilishi; 2-3- yonish kamerasiga issiqlikning izoxorik olib kelinishi; 3-4 – gaz turbinada yonish mahsulotlarining adiabetic kengayishi va foydali ishning bajarilishi; 4-1-ishlatilib bo'lgan gazlarni izobarik ravishda atrof-muhitga chiqarilib yuborilishi.



5.4-rasm. GTQ ning doimiy hajmdagi issiqlik keltiruvchi siklning P-V diagrammasi

Siklning xarakteristikalar:

1) Bosimning oshish darajasi

$$\beta = \frac{P_1}{P_2}$$

2) Bosimning qo`shimcha oshirish darajasi

$$\lambda = \frac{P_3}{P_2}$$

3) Termik foydaliish ko'effitsienti

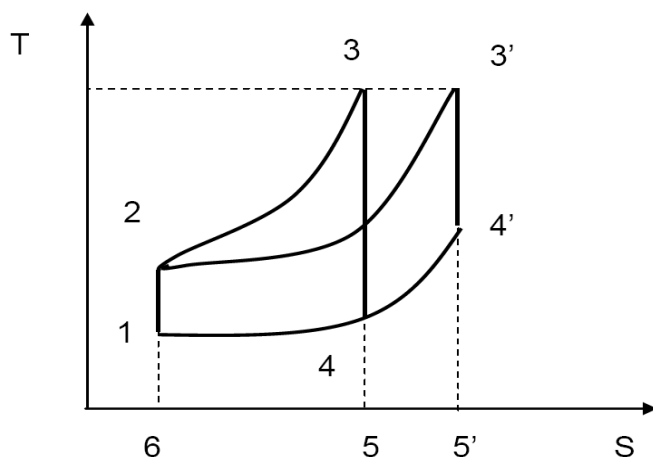
$$\eta_t = 1 - \frac{C_p(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - k \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

bu yerda: k - adiabata ko'rsatkichi.

Siklning termik FIK β bosimning oshish darajasiga bog'liq va qo`shimcha bosim ortishiga λ bog'liq: FIK bu kattaliklarni ortishi bilan ortadi .

T-S diagrammada (5.5-rasm) siklni ko'rib chiqamiz va $P=\text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl bilan taqqoslaymiz. Bu diagrammada 12341 yuza $V=\text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi sikl va $P=\text{const}$ bo'lgandagi issiqlik keltiruvchi sikl esa 123'4'1 yuza bilan tasvirlangan.

1-2 - kompressorda havoning adiabetic siqilishi; 2-3-issiqlikning izoxorik keltirilishi; 2-3'- issiqlikning isobar ravishda keltirilishi; 3-4 - $V=\text{const}$ da qurilmadagi foydali ishning amalga oshirilishi; 3'-4'- $P=\text{const}$ da qurilmadagi foydali ishning amalga oshirilishi; 4-1(4'-1) - ishlatilgan gazlarni izobarik ravishda atrofga chiqarib yuborishi.



5.5-rasm. Doimiy hajmda issiqlik keltirishda GTQ siklning T-s diagrammasi

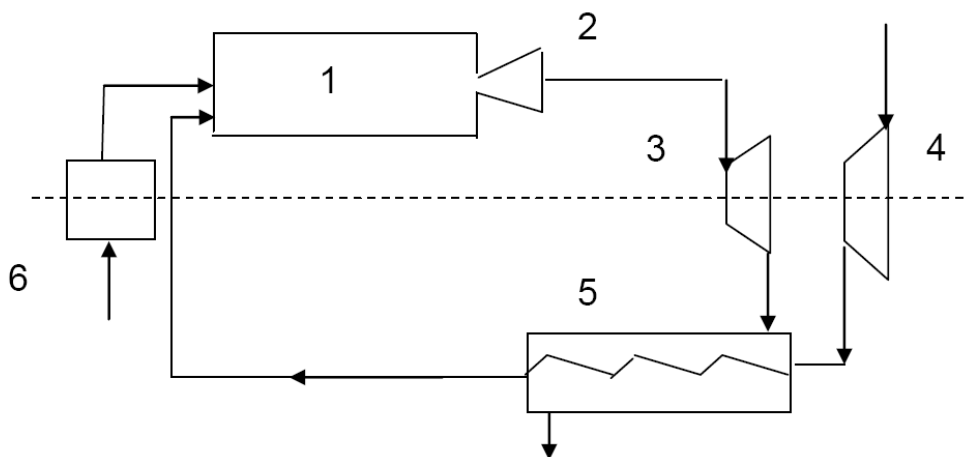
Diagrammadan ko`rinib turibdiki, GTQ sikldan $V=\text{const}$ da issiqlik keltirilishi siklni FIKi yuqori, $P=\text{const}$ da eng kam issiqlik keltirilishi (14561 va 14'5'61) va eng ko'p olib o'tilgan issiqliklari (23562 va 23'5'62). Haqiqiy

sharoitda $V=\text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklning konstruktivligi murakkabligini hisobga olish kerak bo'ladi. Undan tashqari turbinaning FIKi bosim o'zgarishi bilan ishlashini ham hisobga olish kerak. Shuning uchun ham amaliyotda gaz turbina qurilmalari dvigatelni $P=\text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi siklga qaraganda konstruksiyasi oddiyligini e'tiborga olish mumkin.

5.3. Gaz-turbina qurilmasining FIKni oshirish usullari

GTQning termik FIK bosimni oshirish darajasi (β). Yoqilg'ini yonishda gazning harorati ortadi, shuning uchun ham turbinaning parraklari ishdan chiqadi va soploli apparatlar sovishi qiyinlashadi.

GTQning FIKni oshirish uchun issiqlik regeneratsiyasi ishlatiladi, kompressorda havoning siqilishining ko'p bosqichli jarayoni ishlatiladi. Bu foydali natija beradi va issiqlikning ishga aylanishida qurilma haroratni yuzaga kelishiga olib keladi. Issiqlikni $P=\text{const}$ bo'lganda keltirish (5.6-rasm) da GTQ regenerativ siklini ko'rib chiqamiz. Kompressorda siqilgan havo regenerator 5ga yuboriladi, $P=\text{const}$ da gazga issiqlik berildi. Yonish kamerasi 1 dan chiqqandan keyin soplo 2 orqali turbina 3ga boradi siqilgan havo regenerator 5 dan, yoqilg'i esa yoqilg'i nasos 6da forsunka orqali yonish kamerasi 1ga beriladi.

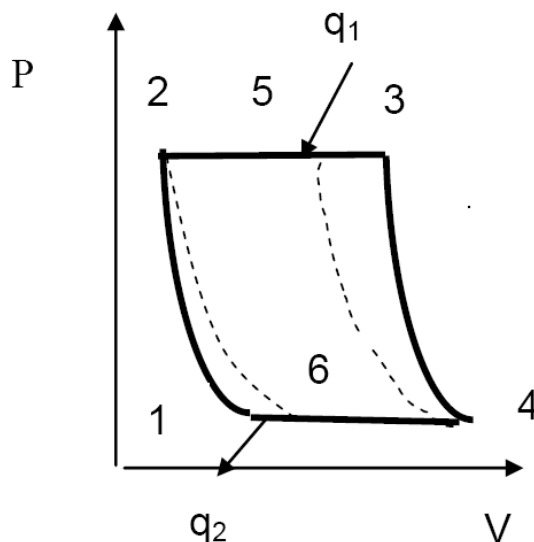


5.6-rasm. $P=\text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiruvchi GTQni sikli va regeneratsiyasi

5.7-rasmda GTQ ning $P-V$ diagrammasi tasvirlangan, 1-2 - kompressorda havoning adiabatik siqilishi; 2-3 - regeneratorda issiqlikning izobarik berilishi; 5-3 - yonish kamerasida $P=\text{const}$ da issiqlik borilishi; 3-4 - yoqilg'i mahsulotining adiabatik kengayishi; 4-6 - regeneratorda gazdan issiqlikni

izobarik berilishi; 6-1 regeneretordan chiqayotgan gazni izobarik issiqlik borishi (ishlatilgan gazni atrof-muhitga tarqalishi).

Ishlatilgan gazni issiqlik hisobiga foydali ish 25462 yuzada amalga oshadi.



5.7-rasm. p-V diagrammada GTQ ni $P=\text{const}$ da issiqligi va regeneratsiyasi

Ushbu qurilmalarning termik foydali ish koeffitsienti gazning boshlang'ich haroratiga bog'liqdir, gazning adiabatik kengayishi oxiridagi harorati va regeneratsiya darajasiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Regeneratsiya darajasi o'z navbatida issiqlik almashinish apparatining tuzilishiga bog'liq bo'ladi.

GTQning iqtisodiylikini izotermik issiqlik keltirish va olib ketish bilan oshirish mumkin. Amalda izotermik siqilish va issiqlikni keltirish qurilmaning tuzilishini qiyin ekanligiga bog'liq ravishda amalgam oshirib bo'lmaydi. Haqiqiy siqilish jarayonini izotermik jarayonga yaqinlashtirish uchun oraliq sovitishga ega bo'lgan ko'p pog'onali kompressorlar ishlatiladi. Haqiqiy issiqlik keltirishni jarayonini izotermik jarayonga keltirish uchun yoqilg'i mahsulotlarini kengayishi bilan bog'langan turbinani alohida pog'onalarida pog'onali yonishni qo'llaniladi. Kengayish va siqilish pog'onalari qancha ko'p bo'lsa termik FIK shuncha ko'p bo'ladi. Ko'p miqdorda yonish kameralari va sovitgichlarni bo'lishi maqsadga muvofiq emas, chunki ular GTQning tuzilishini murakkablashtiradi. Ko'pincha texnik-iqtisodiy qarashlarga qaraganda 2 pog'onali kengayish va 3 pog'onali siqilishdagi GTQ ishlatiladi. Bunday qurilmalarda havo kompressorning alohida pog'onalarida ketma-ket siqiladi. Yuqori bosimgacha siqilgan havo 1 yonish kamerasiga kelib tushadi, u yerda yuqori haroratgacha isiydi. So'ngra turbinada kengaygan gaz 2 yonish kamerasiga tushadi, bu yerda yoqilg'ini $P=\text{const}$ jarayonida yonishi hisobiga

kerakli haroratga chaqiziydi. So`ngra yoqilg`i mahsulotlari turbinaning ikkinchi pog`onasida kengayadi va atmosferaga chiqarib yuboriladi.

Nazorat savollari

1. Mexanik ishni asosiy manbalarini tavsifi.
2. Bosim o`zgarmaganda issiqlik keltiruvchi gaz turbina qurilmasining siklini tushunturib bering.
3. Hajm o`zgarmaganda issiqlik keltiruvchi siklning ishlash uslubini tushuntirib bering.
4. Bosim o`zgarmaganda issiqlik keltiruvchi gaz turbina qurilmasining FIK ini oshirish uslublarini aytib bering.

6-mavzu

KOMPRESSORLAR

Mavzu quyidagi ma`ruzalarni o`z ichiga oladi:

1. Kompreszorlarning ishlash uslubi va turlari.
2. Haydash jarayoni tahlili.
3. Porshenli kompressorning indikator diagrammasi.

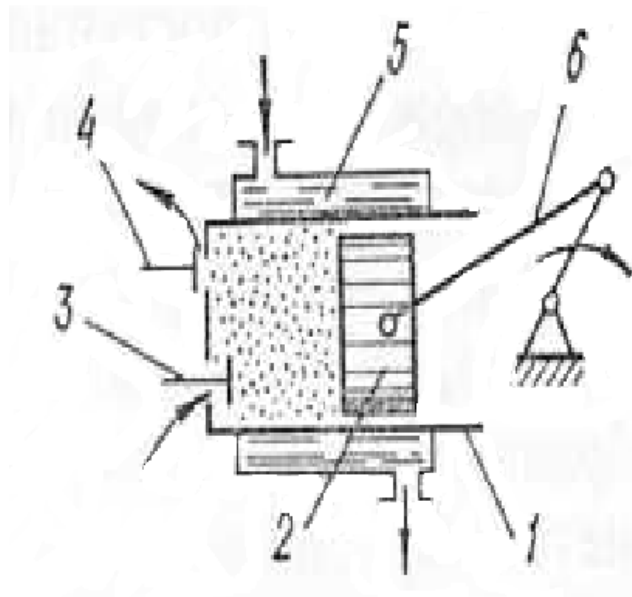
Kalit so`zlar: *hajmiy kompressor, parrakli kompressor, siqilgan gaz, kinetik energiya, haydash jarayoni, siqilish jarayoni, indikator diagramma.*

6.1. Kompreszorlarning ishlash uslubi va turlari

Kompreszorlar turli gazlarni yoqish uchun ishlatiladi. Kompresorda siqilgan havo, texnikaning turli sohalarida keng qo`llaniladi. Masalan, siqilgan havoda ishlovchi, metallurgiya sanoatida o`choqlarga havo purkashda, metallarni katta bosim ostida kesishda, qurilish ishlarini olib borishda va h.k.

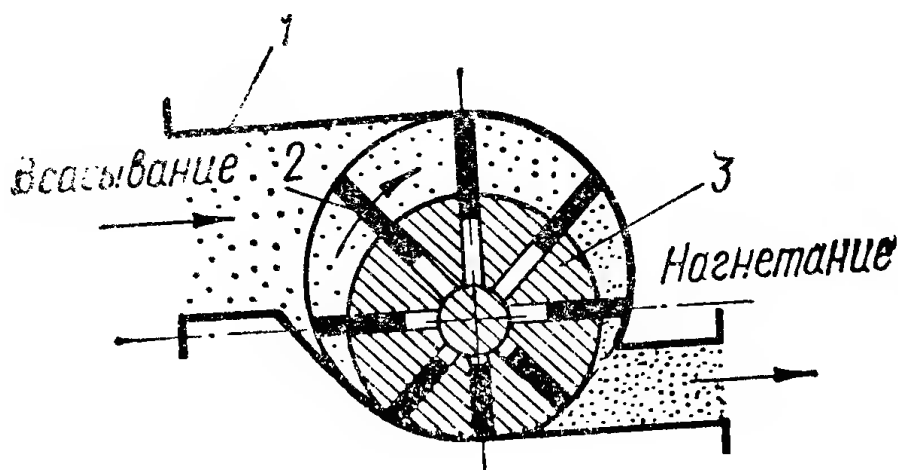
Ko`proq tarqalgani mexanik kompreszorlar hisoblanadi. Ishlash uslubiga qarab mexanik kompreszorlar hajmiy va parraklikka bo`linadi. Hajmiy kompreszorlarda bosim ortishi gazning hajmini chegaralangan devorlarni bir-biriga yaqinlashishi hisobiga bo`ladi. Ular porshenli, rotatsion turlarga bo`linadi. Parrakli kompreszorlarda siqilish ikki holatda yuzaga keladi: avval gazga tezlik rotorni aylanishi hisobiga beriladi, so`ngra harakatga kelmaydigan maxsus kanaldan (diffuzorda) oqimning kinetik energiyasi potensial

energiyaga aylanadi, ya'ni tezlik kamayib, bosim ortadi. Parrakli kompressorlar markazdan qochma va o'qliga bo'linadi.



6.1-rasm. Porshenli kompressorning chizma tasviri

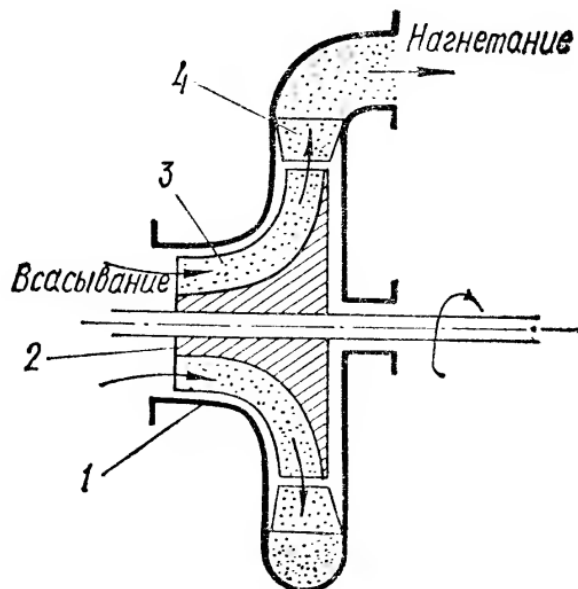
Porshenli kompressor (6.1-rasm). Krivoship-shotun mexanizmi 6 yordamida harakatga keladigan porshen 2 ega bo'lgan silindr 1dan tashkil topgan. Porshenli chapdan o'ngga harakatga kelishida klapan 3ni ochiq holatida gazni silindrga so'rilishi yuzaga keladi. Porshenni qayta harakatida, ya'ni o'ngdan chapga harakatlanishida havo siqiladi va L_1 klapani silindrdan itarib ochadi.



6.2-rasm. Rotatsion kompressorning chizmasi

Rotatsion kompressorlar (6.2-rasm) porshinni o'rnini sirg'anuvchi plastina 2 o'rnatilgan rotor bajaradi. Markazdan qochma kuch ta'sirida ushbu plastinalar qobiq 1ga yaqinlashtirilgan bo'ladi. Rotor korpusda ekstsentrik joylashgan bo'ladi, shuning uchun plastinalar orasiga tushgan gaz sikli rotor aylanishi hisobiga hajmda kamayib boradi, shuni hisobiga bosim ortadi. **Markazdan qochma kompressor** chizmasi 6.3-rasmda ko'rsatilgan. Kanal 3

ko`rinishida ishchi parraklardan tuzilgan disk 2, korpusda aylanadi. Parraklar oralig`idagi kanalga kirgan gaz markazdan qochma kuch ta`sirida har tarafga otilib, parraklari qobiqqa mahkamlangan diffuzor 4ga kelib tushadi. Diffuzorlarda gazning kinetik energiyasi potensial energiyaga aylanadi. Shunday yo`l bilan olingan siqilgan gaz kerak joydaishlatiladi.



6.3-rasm. Markazdan qochma kompressor chizmasi

6.2. Haydash jarayonini tahlili

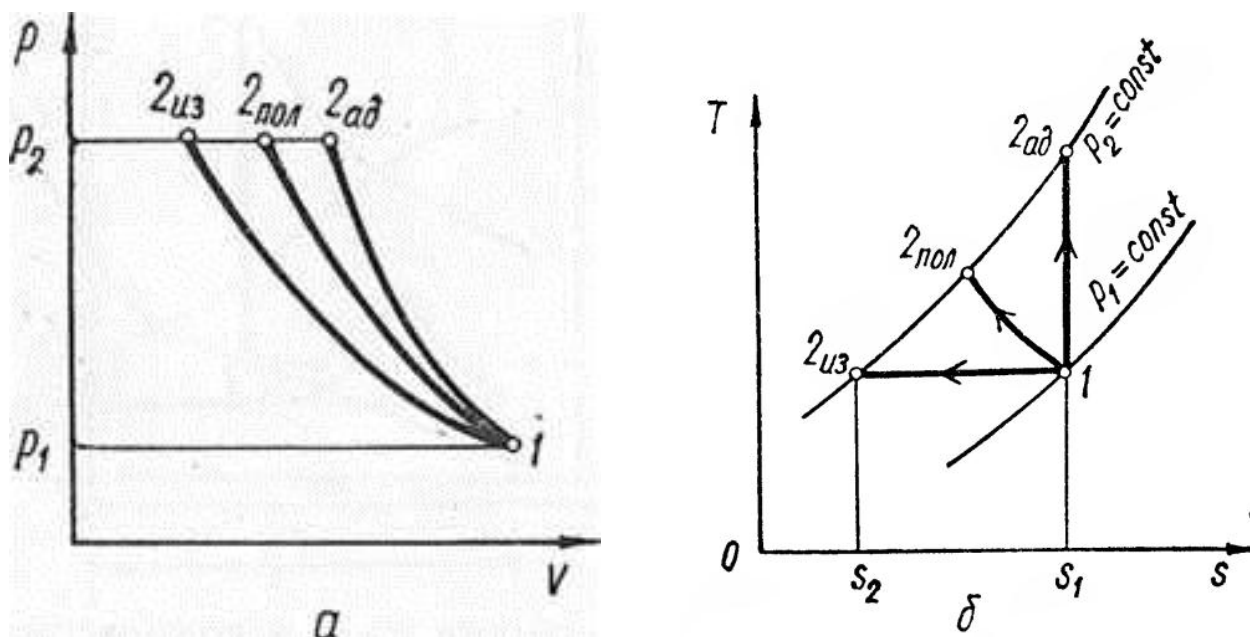
Kompressorlar turlicha bo`lishiga qaramay, ulardagi gazli siqilish jarayoni bir xil bo`ladi, ya`ni haydalish jarayonini termodinamik asosi bir xildir.

Haydalish jarayonini termodinamik tahlil qilish, kompressorning eng katta iqtisodiyiligini oshirishga mo`ljallangan shartlarni qo`yishdan iboratdir, ya`ni haydash jarayoniga juda kam ish sarflashdir. Haydash jarayonini amalga oshirish uchun sarflanganish l_h , termodinamikaning 1-qonunining analitik ifodasi asosida aniqlanadi ($l_{oq} = -l_h$) va issiqlik ($q = -q_{sov}$). Agar oqimning potensial energiyasini hisobga olmasak u quyidagicha yoziladi:

$$-q_{sov} = h_2 - h_1 + (\omega_2^2 - \omega_1^2)/2 - l_s$$

Bundan

$$L_h = i_2 - i_1 + \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2} + q_{sov} \quad (6.1)$$



6.4-rasm. Kompressorda siqilish jarayoni:
a - p-V diagrammada; b - T-s diagrammada

Qo'shni kompressorda oqimning kirishdagi va chiqishdagi tezligi nolga teng deb olindi, ya'ni $w_1=w_2$, unda

$$l_h = i_2 - i_1 + q_{sov} \quad (6.2)$$

(6.2) ifoda haydash jarayonini asosiy ifodasi hisoblanadi.

Tahlil qilishni davom ettirish uchun siqilish jarayonini p-V va T-s diagrammasini ko'rib chiqamiz (6.4-rasm). Issiqlikni olib ketilishiga asosan siqilish jarayoni 1-2_{iz} izotermik (kompresorni to'liq sovutilishi), 1-2_{ad} adiabatik (to'liq sovutilmaydigan) va 1-2_{pol} politropik (qisman sovutiladigan) bo'ladi.

Izotermik siqilishda haydash jarayoniishi (texnik ish) 1-2_{iz} P₂P₁ yuzi to'g'ri keladi va analitik 6.1 ifodadan aniqlanadi.

$$L_h^{iz} = i_2 - i_1 - q_{sov}$$

Ideal gaz uchun

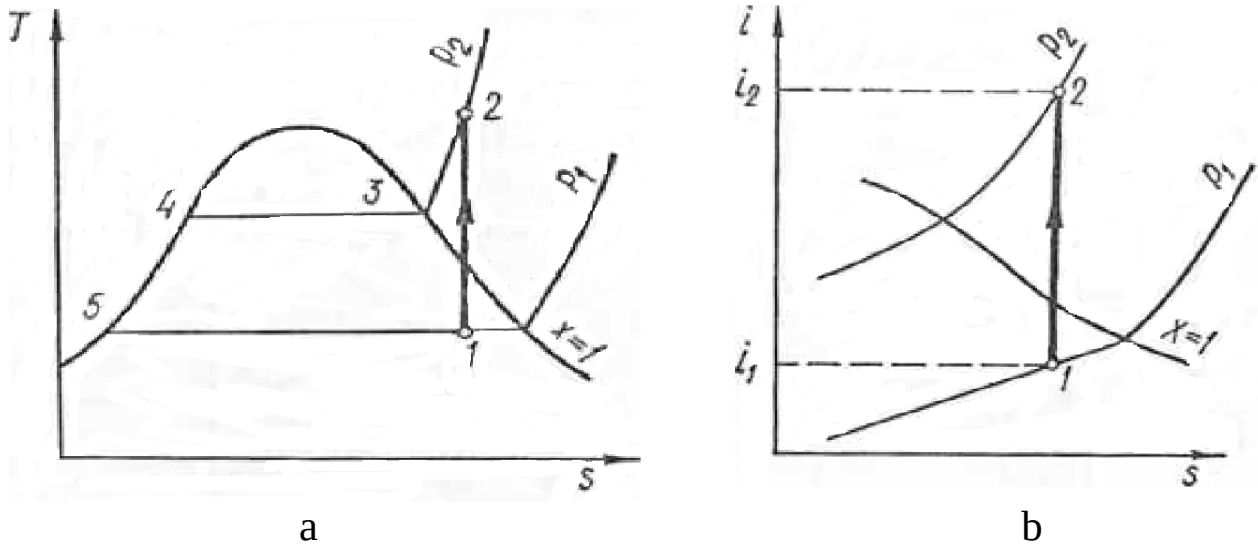
$$l_h^{iz} = q_{sov} = -q_t = RT \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (6.3)$$

$Q_m = T(S_2 - S_1)$ bo'lgani uchun

$$L_h^{iz} = -q_T = T(s_2 - s_1) \quad (6.4)$$

Adiabatik siqilishda $q_{sov} = 0$. Unda 6.2 dan quyidagiga ega bo'lamiz

$$L_x^{ad} = h_2 - h_1 \quad (6.5)$$



6.5-rasm. Kompressorda adiabetic siqilish jarayoni:
a - T-s diagrammada; b- i-s diagrammada

Adiabatik siqilish jarayoni T-S diagrammada 1-2 to'g'ri chiziq (6.5,a-rasm) bilan ifodalanadi. Unda kompressorni ishga tushirish uchun sarflangan ish 123451 yuza orqali ifodalanadi, bu esa entalpiyalar farqi $i_2 - i_1$ ga teng keladi.

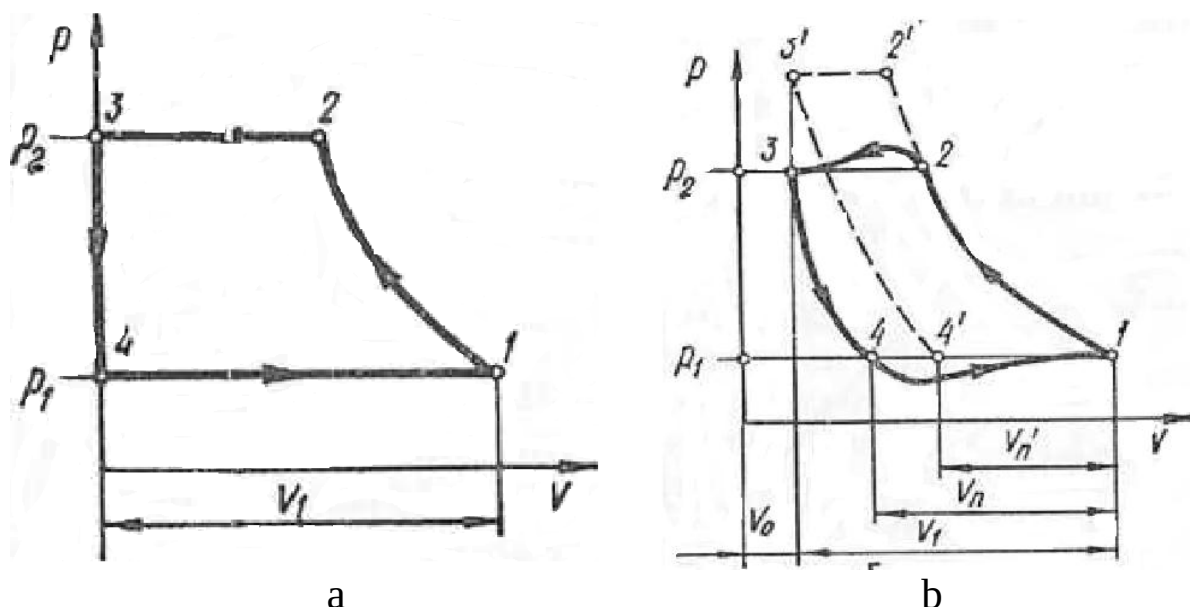
Bu entalpiyalar farqini i-S diagramma orqali aniqlash qulay hisoblanadi (6.5,b-rasm) ideal gazlar uchun adiabetic haydash jarayonini termik parametrlar orqali ifodalash mumkin, $n=k$ bo'lganda

$$l_k^{ad} = \int_{P_1}^{P_2} v dP = \frac{k}{k-1} P_1 v_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right], \quad (6.6)$$

Bunda $\frac{P_2}{P_1} = \beta$ - bosimni oshirish darajasi.

6.3. Porshenli kompressorning indikator diagrammasi

Kompressorning indikator diagrammasi deb, indikator deb ataluvchi qurilma orqali bosim va hajm orasidagi bog'lanishni tajriba orqali aniqlab beradigan diagrammaga aytiladi.



6.6-rasm. Porshenli kompressorning indicator diagrammasi:
a - ideal holat uchun; b - real holat uchun

Ushbu bogʻlanishni mexanik va gidravlik yoʻqolishlarga ega boʻlmagan va porshin silindrning geometrik hajmi hisoblanuvchi ideal kompressorlar uchun koʻrib chiqamiz. Bu yerda 4-1 chizigʻi (6.6,a-rasm) soʻrish jarayoni boʻlib, parlanish oʻngga siljishi tufayli yuzaga keladi, 2-3 gazni qandaydir idishga chiqib ketish jarayoni hisoblanadi. Porshenni boshdan boshlab harakatlanishida soʻruvchi klapan ochiladi va silindrdagi bosim juda tez 3-4 vertikal chiziq orqali pasayadi. Shuni nazarda tutish kerakki 4-1 va 2-3 jarayonlardagi gazning parametrlari yaʼni solishtirma hajm-v oʻzgarmaydi, balki gazning miqdori va uning toʻliq hajmi - V oʻzgaradi. Ular termodinamik jarayon boʻlib hisoblanmaydilar, shuning uchun ularni indicator diagrammadagidek chizib boʻlmaydi. Real kompressorlarda porshen va silindr qopqogʻi klapanlar orasida oraliq V_0 hajmga ega boʻlgan siqilib ulgurmagan havo miqdori hosil boʻladi, buni zararli boʻshliq deyiladi. Shuni hisobiga 2-3 jarayon (6.6,b-rasm) hamma gaz silindrdan chiqib ketmaydi, qolgani ushbu zararli boʻshliqda V_1 hajmda siqiladi va porshinni orqaga harakatlantirishida 3-4 chizigʻi orqali kengayadi. Soʻrish jarayonida ishchi hajmning bir qismi kengayotgan gaz bilan toʻladi. Silindrning kerakli ishchi hajmi V_1 soʻrishning haqiqiy hajmi boʻlgan - V_n gacha kamayadi.

Shuning uchun kompressorning hajmiy FIKdegan tushuncha kiritiladi. U zararli boʻshliqni kompressorning unumdorliligiga taʼsirini xarakterlaydi.

$$\eta_v = \frac{V_h}{V_1} \approx 0,75 \div 0,90$$

Nazorat savollari

1. Kompessorlar qayerda ishlatiladi?
2. Kompessor qaysi xususiyatiga qarab tavsiflanadi?
3. Bir pog`onali porshenli kompressorlarning ishlash uslubi nimaga bog`liq? Qaysi siqilish holati ko`proq iqtisodiy hisoblanadi?
4. Real va ideal P-V diagrammalarni farqi nimada?
5. Kompressorda siqilish jarayoni nima bilan chegaralanadi?

7-mavzu

SOVITGICH QURILMALAR VA ISSIQLIK NASOSLARINING SIKLLARINI TAHLILI

Mavzu quyidagi ma`ruzalarni o`z ichiga oladi:

1. Sovitgich mashinalarining umumiy xarakteristikasi.
2. Bug` kompression sovitgich mashinalarining sikllari.

Kalit so`zlar: *sovitgich mashinalari, issiqlik nasoslari, kompression, absorbsion, kompressor, siqilgan bug`, sovuq unumdorligi, sovituvchi modda, sovitish koeffitsienti, ishchi jism, yanada ko`proq sovitish.*

7.1. Sovitgich mashinalarining umumiy xarakteristikalari

Sun`iy ravishda sovuqlikni ishlab chiqarish va issiqlikni past haroratdan yuqori haroratga yuborilishi, ishlab chiqarishni turli sohalarida keng qo`llanilmoqda. Haroratni atrof muhit haroratidan ham kichik haroratgacha tushirish va shu holatda ushlab turuvchi issiqlik mashinalariga *sovitgich qurilmalari* deyiladi.

Issiqlik nasosi – bu issiqlikni kichik potensialga ega bo`lgan manbadan (kichik harorat) iste`molchiga (issiqlik tashuvchi) yuqori harorat bilan yetkazib beruvchi qurilmadir.

Sovitishga erishish haroratiga qarab, -70°C haroratga erishish holatini xarakterlovchi – *sekin sovituvchi qurilmalar*; qattiq sovituvchi holatini yuzaga keltiruvchi, ya`ni  $-900^{\circ}\text{C}$  gacha haroratni sovitib beruvchi *sovitgich qurilmalarga* bo`linadi.

Sovitgich qurilmasida ishlatiladigan ishchi jism (sovituvchi modda)ga qarab sovitgich qurilmalari quyidagilarga bo`linadi:

- 1) havoli;

2) bug'li.

Bug'li sovitgich mashinalarida ishchi jism sifatida kam qaynaydigan jismlar (masalan, ammiak, freon) bug'lari ishlatiladi.

Sovitgich mashinalari va issiqlik nasoslarida issiqlik sovuq jismdan issiq jismga beriladi, bu esa termodinamikaning II qonuniga asosan, o'z-o'zidan sodir bo'lmaydi, buning uchun uni kompensatsiya qiladigan qandaydir jarayon sodir bo'lishi shart. Buning uchun esa qo'shimcha ish sarf bo'lishi kerak bo'ladi.

Sovuqlikni olish uchun kompressorni ishga tushirish jarayonida sarflangan ishni sovuqlik olish uchun sarflangan energiya bo'yicha ishlaydigan qurilmalarni *kompression qurilmalar* deyiladi, termodinamik jarayonni bajarilishi uchun issiqlik tarkibida energiya sarflanadigan mashinalarga *absorbsion qurilmalar* deyiladi.

Sovitgich mashinalari va issiqlik nasoslari teskari (soat strellkasiga qarama-qarshi) aylanma jarayonlarda ishlaydi.

Berilgan haroratlar oralig'ida nazariy jihatdan sovitgich qurilmalarining qulay sikli bo'lib teskari Karno sikli hisoblanadi. Lekin konstruktiv jihatdan qiyinchiliklar yaratishi va ishqalanishdagi katta yo'qolishlari tufayli teskari Karno siklini yuzaga keltirish mumkin emas.

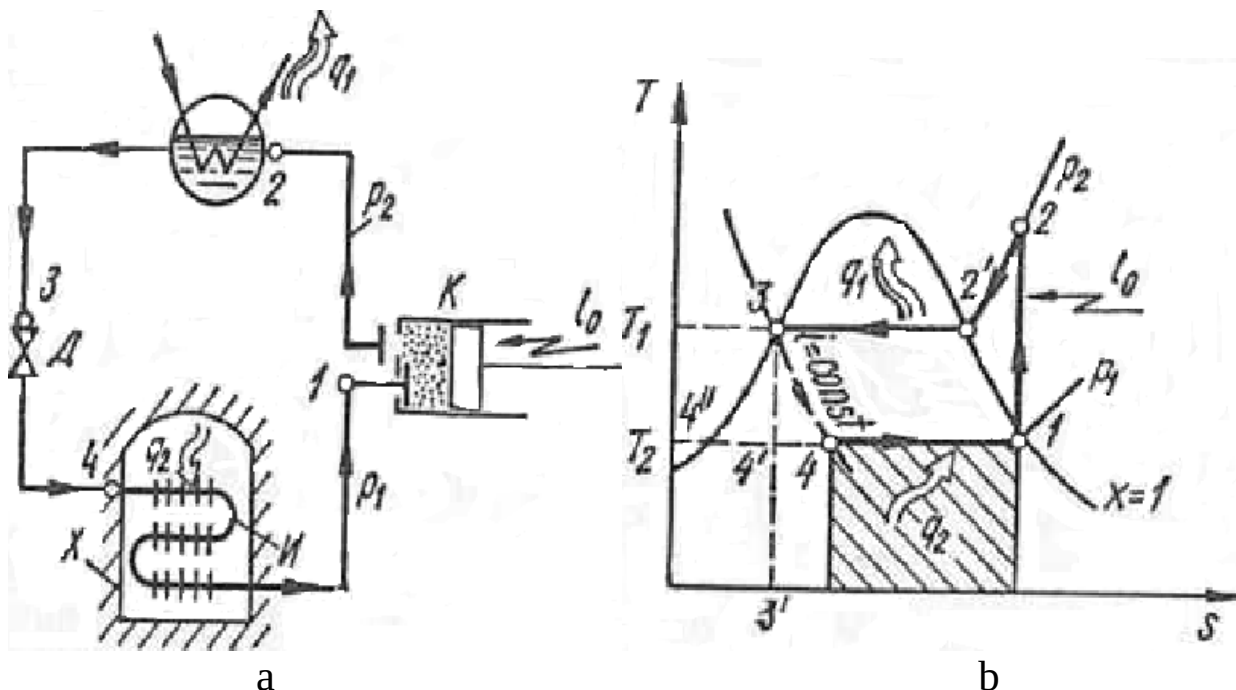
Ishlab chiqrishda birinchi bo'lib sovuqlikni hosil qilish, kompression havoli sovitgich qurilmalarida amalga oshirildi, lekin hozirgi vaqtda ularning kattaligi va effektivligi kamligi tufayli bunday qurilmalar ishlatilmayapti.

7.2. Bug' kompression sovitgich qurilmalarining sikllari

Havoli kompression qurilmalarga qaraganda yanada qulay va foydali bo'lib, to'yingan bug' holatida teskari Karno sikli bo'yicha ishlaydigan bug' compression mavjuddir. Kichik haroratlarda qaynaydigan modda (sovituvchi modda)ning to'yingan bug'i kompressor bilan so'rilib, P_2 bosim bilan ish sarflanishi hisobiga adiabetic siqiladi (1-2 jarayon).

Kompressordan siqilgan bug' kondensatorga kelib tushadi. U yerda o'zgarmas P_1 bosim bilan bug'dan q_1 issiqlikni sovuq suv orqali olib ketilishi hisobiga (2-2'-3 jarayon) o'ta qizigan bug'ning harorati kamayadi (2-2') va so'ngra to'yingan bug'ning o'zgarmas haroratida to'liq kondensatsiya (2'-3) amalga oshadi.

Sovituvchi moddani haroratini kamaytirib borish natijasida kengaytirish mashinasini qo'llash va unda 3-4' adiabetic kengayishni amalga oshirish mumkin edi. Bunday holatni amalga oshirishda qurilmani soddalashtirish uchun kengaytirunchi qurilmani o'rniga rostlovchi drossel ventil D ni o'rnatish mumkin. Buning natijasida sovituvchi modda 3-4 jarayonida kichik bosim va haroratda drossellanadi.



7.1-rasm. Bug‘ kompression sovitgich mashinasining chizma tasviri (a); T-s diagrammasi (b)

T-s difgrammada drossellanish jarayoni shartli ravishda $h=const$ punktir egri chizig‘i bilan ko‘rsatilgan. Drossel vintelidan keyin (**4 nuqta**) hosil bo‘lgan suyuqlik-bug‘ aralashmasi (nam bug‘) kichik harorat T_2 bilan quvurlar orqali sovitgich kamerasi **C** joylashgan bug‘latgich **B** ga kiradi. O‘zgarmas T_2 harorat va bosim P_2 bilan q_2 issiqlik sovitgichdan (sovuqlik ishlab chiqarish) olinadi va shuni hisobiga **4-P** jarayon yordamida sovituvchi moddaning bug‘lanishi (qaynashi) yuzaga keladi. Hosil bo‘lgan bug‘ (**1nuqta**) yana kompressor orqali so‘riladi va sikl yana qaytariladi.

Siklning effektivligi sovitgich koefitsenti – ε bilan xarakterlanadi.

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l_0} = \frac{q_2}{q_1 - q_2}; \quad (7.1.)$$

Sovitilayotgan muhitning 1 kg sovituvchi moddadan olingan q_2 issiqlik miqdori sovuqlik ishlab chiqarish deyiladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$q_2 = 41 \text{ va } 4 \text{ yuza} = i_1 - i_4 = i_1 - i_3 \quad (7.2)$$

Shuni aytish kerakki, kengayuvchi mashinani drossel ventil bilan almashtirish natijasida qurilmaning tuzilishini soddalashtiradi va uning narxini

pasaytiradi; drossellanish jarayoni qaytmas jarayon bo'lgani uchun u sovuqlik ishlab chiqarishni 44¹3¹ a 4 yuzaga va uni samaradorligini ham pasaytiradi.

Bosim o'zgarmaganda kondensatordagi sovituvchi muhitga berilgan issiqlik:

$$q_1 = 233^1 v_2 \quad \text{yuza} = i_2 - i_3 \quad (7.3)$$

unda

$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{i_1' - i_3'}{i_2'' - i_1''} \quad (7.4)$$

Ifodadagi entalpiyalarning qiymatini sovituvchi moddaga mos keluvchi diagrammalardan aniqlanadi. T-s diagrammani qo'llaganda issiqlik miqdorlariga mos keluvchi yuzalarni hisoblashga to'g'ri keladi. Sovitgich qurilmalarni siklini chizishda p-i diagramma qo'llansa birmuncha masala soddalashadi, chunki ishni issiqlik ifodasi adiabat bo'yicha va issiqlikni izobara bo'yicha to'g'ri chiziqli ko'rinishga ega bo'ladi. 7.2 – rasmda P-i diagramma keltirilgan. 7.2, v- rasmda, 7.1,b- rasmga to'liq mos keluvchi bug' kompression qurilmalarning sikli keltirilgan p-i diagrammadagi sovitish koeffitsienti

$$\varepsilon = \frac{i_1' - i_4'}{i_1'' - i_2''} = \frac{av}{vc}$$

Bundan shu narsa aniq bo'ldiki, ε bug'latgichdagi T_2 haroratni ortishi (4-1 chiziq yuqorida joylashgan, sovish ishlab chiqarish yuqori) bilan ortadi, kondensatordagi sovituvchi suvning harorat pasayishi T_1 kamayadi. (2₁-2 chiziq pastda joylashgan, kompressorga sarflangan ish kichik). Kompresordagi 1-2 adiabatik siqilishda sarflanadigan ish quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$L_0 = i_2 - i_1 \quad (7.5)$$

T-S diagrammada 1234¹ yuza mos keladi.

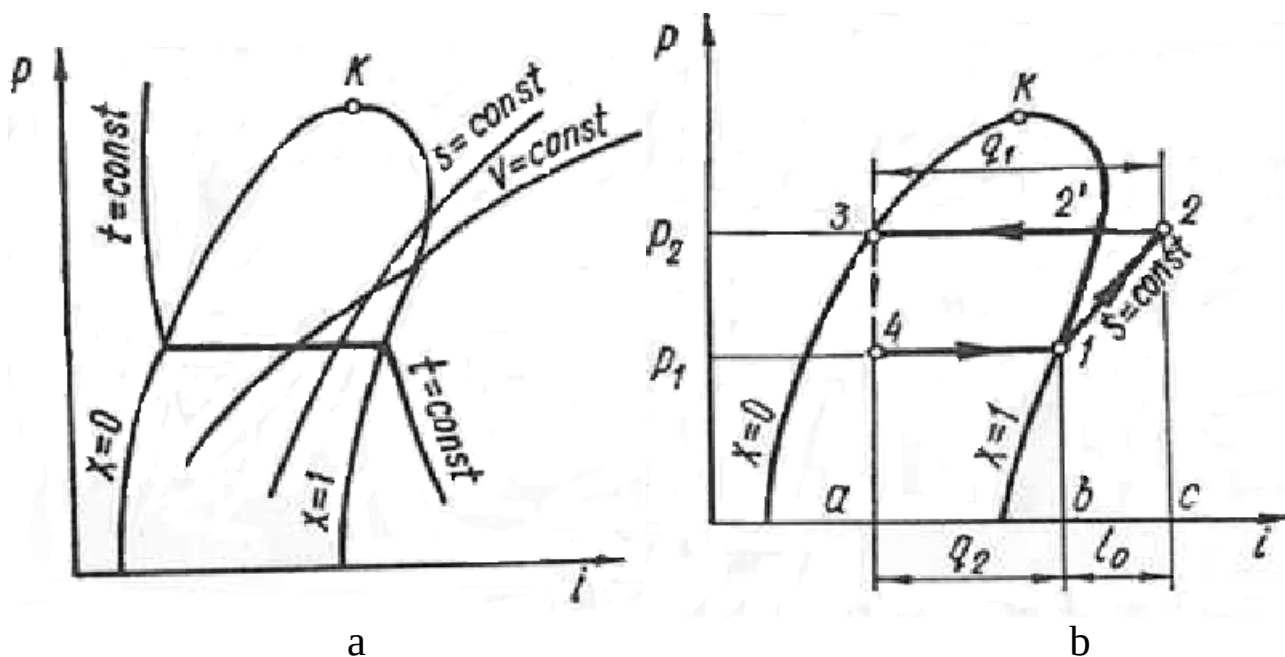
Sovitgich mashinalarining kompressorlarini ishga tushirish uchun zarur bo'ladigan quvvat quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$N = \ell_0 m = \frac{Q_2}{\varepsilon} \quad (7.6)$$

Bu yerda: m – sovitish moddasining sekundlik sarfi ;

$Q_2 = q_2 m$ – qurilmaning sovuqlik ishlab chiqarishi.

(7.6) ifodada $\varepsilon = \frac{q_2}{\ell_0} = \frac{Q_2}{m\ell_0}$ hisobga olingan.



7.2-rasm. p-i diagramma (a) va bug' kompression sovutgich qurilmasining sikli (b)

Bug' kompression qurilmalarining real sikllari nazariy siklidan shu bilan ajralib turadiki, kompressordagi siqilish jarayoni ishqalanishni ta'sirida adiabata bo'yicha emas, balki politropa bo'yicha bo'ladi. Shunga asosan kompressorni ishlashi uchun sarflar ko'paygani hisobiga, xaqiqiy sovitish koeffitsienti nazariyga qaraganda kichik bo'ladi.

Sovitgich mashinalarining effektivligi sovituvchi moddaning xossalari ham bog'liqdir. Ular quyidagilardir:

- kichik haroratdagi sovituvchi moddaning to'yingan bug'larining bosimi atmosfera bosimidan katta bo'lishi shart, chunki bunday holda vakuumga ega bo'lgan havoni so'rishdan ko'ra, sovituvchi moddani oqib ketishiga qarshi kurashiladi. Sovituvchi moddaga tushgan havo issiqlik uzatilishni juda yomonlashtiradi va namlikka ega bo'ladi. Bu namlik esa past haroratlarda muzlashga olib keladi;

- bug'lanish issiqligi iloji boricha yuqori bo'lishi shart, chunki u sovuqlik ishlab chiqarishni orttiradi;

- sovituvchi moddalar inson organizmiga zarar yetkazmasligi shart.

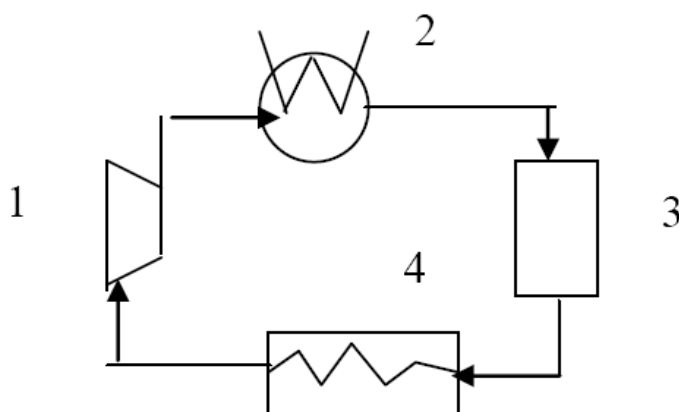
Eng ko'p tarqalgan sovituvchi moddalardan biri ammiak ($t_f = -33,5^\circ\text{C}$) hisoblanadi. Uning xususiyati shundaki, u yuqori sovutgich koeffitsientiga va siklda nisbatan yuqori bosimga ega emas. Termodinamik xossalari boyicha

freon-12 ammiakka yaqin bo'lgani uchun hozirda freon-12 ishlatilmoqda, ammo uning bug'lanish harorati kichikligi sababli sovituvchi moddaning sarfi ko'p bo'ladi.

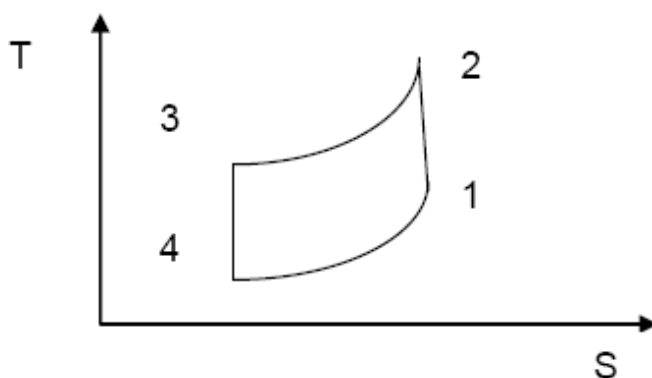
7.3. Havoli sovitish qurilmasining sikli

Bu qurilmalar ko'pchilik materiallarni, ishlab chiqarish mahsulotlarini va oziq-ovqat mahsulotlarini sovitishda qo'llaniladi. Ishchi jism sifatida eng qulay va zararli bo'lmagan havo ishlatiladi.

To'rtta blokdan tashkil qurilmaning ishlash uslubini ko'rib chiqamiz: 7.3 va 7.4-rasmlarda qurilmaning chizma tasviri va T-S diagrammasi ko'rsatilgan.



7.3-rasm. Havoli sovitish mashinasining chizma tasviri
1-kompressor; 2-issiqlik almashinuvi apparati; 3-kengaytiruvchi silindr yoki detandr; 4- sovitish kamerasi



7.4-rasm. Havoli sovitish mashinasining T-s diagrammasi

Kompressorda havo adiabatik siqiladi, ushbu jarayon 1-2 chizig'i bilan ifodalanadi. So'ngra siqilgan havo issiqlik almashinuvi apparatida izobarik ravishda sovutiladi, bu jarayon 2-3 chizig'i bilan ifodalanadi. Bunda havodan

q_1 issiqlik olib ketiladi. Detandrd siqilgan, sovutilgan havo boshlang'ich bosimgacha adiabatik kengayadi. Bunda havoning harorati $-60-700^0\text{ C}$ gacha pasayadi. Bu jarayon 3-4 chizig'i bilan ifodalanadi. So'ngra izobarik ravishda (4-1 chiziq) sovutilgan jismdan q_2 issiqlik olib ketiladi. Bunda havo isiydi. So'ngra sikl qaytariladi.

Berilgan qurilma uchun sovutish koeffisienti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{(T_1 - T_4)}{[(T_2 - T_3) - (T_1 - T_4)]}.$$

7.4. Eng past hapopatgacha sovitish

Siqilgan gazlarni ishlab chiqish uchun $-120^0\text{ C} \dots -1700^0\text{ C}$ va yndan past harorat kerak bo'ladi. Texnikada past hararatlarni olish uchun ikkita uslub qo'llaniladi:

- drossellanish jarayoniga asoslangan uslub (Djoul – Tomson effekti);
- tashqi ish berilishi bilan gazni kengayishi

Birinchi bo'lib eng past haroratgacha sovitish drossellanish yo'li bilan Lenzi olimi tomonidan kiritilgan. Linze qurilmalarida regenerativ uslub qo'llangan bo'lib, u drossellanish davomida haroratni uzluksiz kamayishi to siqilgan gazni hosil bo'lishigacha davom etadi.

Linze uslubi bilan bir marotaba drossellanishi natijasida siqilgan havoni hosil qiluvchi yuqori bosimli qurilmaning oddiy chizmasini ko'rib chiqamiz. Sovutilgan siqilgan havo drossel ventilida drossellanadi, buning natijasida harorat pasayadi va havoning bir qismi suyuqlikka aylanadi, u esa idishda to'planadi. Suyuqlikka aylanmagan havo issiqlik almashinish apparatiga kiradi, u yerda siqilgan havoni sovitish davomida isiydi. So'ngra sikl ko'tariladi.

Ikkinchi uslub akademik P.Kapitsa orqali kiritilgan bo'lib, u kichik bosimda turbodetonderni ishlatilishi orqali yuzaga keladi.

Nazorat savollari

1. Sovutish qurilmalari va ularning asosiy xususiyatlarini tavsiflab bering.
2. Sovutish koeffitsienti nimani tavsiflaydi?
3. Havoli va bug` kompression sovutish qurilmalarini ishlash uslubi haqida gapirib bering.
4. Yana ham kichik haroratgacha sovitish qanday amalgam oshiriladi?

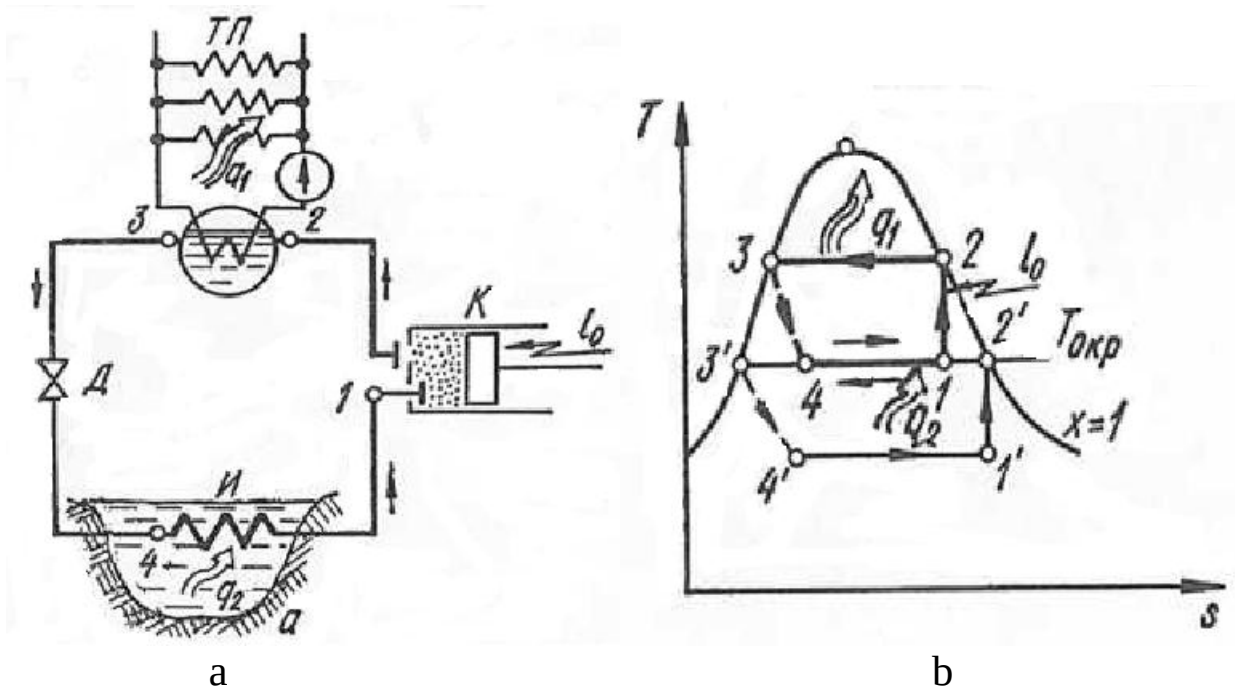
ISSIQLIK NASOSINING SIKLI

Kalit soʻzlar: bugʻlatgich, sovituvchi modda, issiqlik qabul qiluvchi, isitish, atrof muhit, issiqlik, issiqlikni bugʻ hosil qilish koeffitsienti.

Issiqlik nasoslari qandaydir obyektни isitish, masalan, xonalarni isitish uchun qoʻllaniladi. Sovitgich mashinasiga oʻxshab issiqlik nasosi ham teskari Karno sikli boʻyicha ishlaydi. Lekin sovitgich mashinasining asosiy maqsadi qandaydir hajmdan bugʻlatgich orqali issiqlikni oshishi hisobiga boʻlsa, kondensator esa issiqlikni tashqi muhitga tashlaydi, issiqlik nasoslarida esa aksincha teskarisi boʻladi. Kondensator isteʼmolchiga issiqlikni ajratuvchi issiqlik almashinuvi apparati hisoblanadi, bugʻlatgich esa kichik potensialga ega boʻlgan issiqlikni utilizatsiya qiluvchi issiqlik almashinuvi apparati boʻlib hisoblanadi.

Teskari Karno sikli boʻyicha ishlagani uchun kompressorga ishni sarflinishi hisobiga q_2 issiqlikni bugʻlatgich b dan olib, q_1 issiqlikni harorati yuqori boʻlgan issiqlik qabul qiluvchi – TP ga beradi, bunda $q_1 = q_2 + l$ boʻladi.

Past haroratli issiqlik manbai boʻlib, issiqlik nasoslarida tashqi muhit hisoblanadi. Masalan, suv havzalaridagi suv bugʻlatgichni yuvib turadi, bunda sovituvchi moddani bugʻlatadi.



8.1.-rasm. Issiqlik nasosining chizma tasviri (a) va T - s diagrammasi (b)

Elektr energiyani olinishi uchun sarflangan ishni l_0 deb hisoblanadi. Shunday qilib, issiqlik nasoslarini sikllari bo'lib sovitgich mashinalarining sikllari xizmat qiladi. Sovitgich mashinalari uchun tashqi muhit issiqlik qabul qiluvchi hisoblansa, issiqlik nasosida esa, tashqi muhit yuqori harorarga ega bo'lgan issiqlik manbai hisoblanadi. Ushbu farq T - S diagramma (8.1.-rasm)da ko'rsatilgan, bunda $1'2'3'4'1'$ - sovitgich qurilmasini sikli; 12341 – issiqlik nasosi sikli. Bunda sovitgich qurilmalarining sikllari atrof muhit harorati ($T_{atr.muh.}$)dan pastda joylashadi.

Issiqlik nasoslarining issiqlikni ishga aylanishida sarflanadigan iqtisodliligi transformatsiya koeffitsenti bilan xarakterlanadi, Ψ deb belgilanadi. Bu koeffitsent yuqori haroratli manbaga keltirilgan issiqlikni, sarflangan ishga bo'lgan nisbati bilan aniqlanadi.

$$\psi = \frac{q_1}{l_0} = \frac{q_2 - l_0}{l_0} = \varepsilon + 1; \quad (8.1)$$

bunda: q_1 – yuqori haroratli manbaga keltirilgan issiqlik;
 l_0 – sarflangan ish.

(8.1) ifodadan sovitgich koeffitsenti $\varepsilon=3\div 4$ bo'lsa, oddiy elektr orqali isitilishiga qaraganda uch, to,rt marotaba ko'p issiqlik olar ekan.

Issiqlik nasoslari hali ishlab chiqarishda juda ko'p tarqalmagan, buning asosiy sababi uning qimmat turishi, elektr energiyani nisbatan qimmatligidir.

Nazorat savollari

1. Issqlik nasoslari qayerda ishlatiladi?
2. Issiqlik nasoslarining ishlash uslubi nimaga asoslanadi?
3. Issiqlik bug` hosil bo`lish koeffitsienti nimani tavsiflaydi?
4. Sovutish mashinalari va issiqlik nasoslari asosiy farqlari nimada?
5. Siklning iqtisodiyligini nima aniqlaydi?

UMUMIY SAVOL VA TOPSHIRIQLAR

1. Issiqlik mashinalarining qurilmalari necha turga bo'linadi?
2. To'g'ri va teskari sikllari deb nimaga aytiladi?
3. To'g'ri siklning termik FIK ifodasini yozib bering.
4. Sovitish koeffitsienti ifodasini yozib bering.
5. Karno siklining p-V va T-s diagrammasini chizib bering.
6. Karno siklini FIK ifodasini yozing.
7. Karno siklining ilmiy va amaliy xususiyati nimada?
8. IYDlari qanday termodinamik sikllari bo'yicha ishlaydi?
9. Nima uchun IYDlarining termik FIK ishchi jismning siqilish darajasiga bog'liq?
10. Qaysi IYD qulayroq?
11. To'yingan bug' qanday bug' hisoblanadi?
12. Suv bug'ining quriganlik darajasi nimani tavsiflaydi?
13. Suv bug'ini hisoblash uslublarini aytib bering.
14. p-V va T-s diagrammadagi asosiy chiziqlarni tavsiflab bering.
15. h-s diagrammani qulayligi nimada?
16. Bug' turbinada ishni bajarilishi nimaga asoslangan?
17. Qaysi jarayonlar ichki qaytar va tashqi qaytar jarayonlar deyiladi?
18. Eksergiya deb nimaga aytiladi?
19. Eksergiyani ifodasini yozib bering.
20. Eksergetik FIK bilan qanday yo'qolishlar hisobga olinadi?
21. Issiqlik mashinalarining boshqa mashinalar bilan farqida eksergetik uslubni qulayligi nimada?
22. Renkin siklining FIKiga boshlang'ich va oxirgi parametrlarni ta'siri qanday?
23. Renkin siklini FIKi ifodasini aniqlashda h-S diagrammadan olingan qiymatlar qanday ta'sir etadi?
24. Bug'-kuch qurilmasining regenerativ siklining ahamiyati nimada?
25. Ikkilamchi qizdirish nimaga ishlatiladi?
26. Bug'-gaz sikli qanday avzallikka ega?
27. Sovitgich mashinalari necha turga bo'linadi?
28. Bug' sovitgich qurilmasini sikli va chizmasini chizib bering.
29. T-S diagrammada qaysi yuza sovuqlik unumdorligini ifodalaydi?
30. Sovituvchi moddaga qanday talab qo'yiladi?
31. Sovituvchi modda deb nimaga aytiladi?
32. Issiqlik nasoslari deb nimaga aytiladi? Uning samaradorligi nimada?
33. Issiqlik nasosining avzalligi nimada?

GLOSARIY

Absolyut harorat -	oʻrtacha kinetik energiyani darajasi.
Adiabatik jarayon -	issiqlik almashinishga ega boʻlmagan termodinamik jarayon.
Ichki yonuv dvigateli (IYD) -	silindrda yonilgʻini yonishidagi issiqlikni ishga almashinishi yuzaga kelishi hisobiga ishlaydigan mashinalar.
Izobar jarayon -	bosim oʻzgarmagandagi ($P=\text{const}$) termodinamik jarayon.
Korbyurator -	tashqi aralashmani hasil qiladigan IYD qurilmasi.
Issiqlik -	mikrofizik yoʻl bilan beriladigan energiya miqdori darajasi.
Termik FIK -	siklning bajargan ishini keltirilgan issiqlikka nisbati.
Issiqlik bilan taʼminlash -	birgalikda elektr va issiqlik ishlab chiqarish.
Turbina -	bugʻning issiqlik energiyasini kinetik, soʻngra mexanik energiyaga aylantiruvchi qurilma.
Karno sikli -	ikkita izoterma va ikkita adiabatadan tashkil topgan sikl.
Eksergiya -	ish bajarish qobiliyati.
Eksergetik FIK -	haqiqiy texnik ishni maksimal texnik ishga nisbati.
Entalpiya -	sistema bosimini uning hajmiga koʻpaytmasi.
Entropiya -	baʼzi bir holat parametrlarini toʻliq differensialli.

MUNDARIJA

1-mavzu	Aylanma termodinamik jarayonlarning asosiy xossalari (issiqlik mashinalarining sikllari)	3
1.1	Termodinamik sikllarning umumiy tavsiflari va klassifikatsiyasi	3
1.2.	Oddiy termodinamik sikl (Karno sikli) va uning xossalari	5
1.2.1.	To'g'ri Karno sikli	5
1.2.2.	Umumlashgan (regenerativ) Karno sikli	7
1.2.3.	Teskari Karno sikli	7
1.3.	Aylanma jarayonlarni umumiy xossalari. Ishlash qobiliyati (eksergiya)	8
	Nazorat savollari	9
2-mavzu	Issiqlik-kuch qurilmalari sikllarining tahlili	9
2.1.	Issiqlik-kuch qurilmalarining samaradorligini baholash haqida umumiy ma'lumotlar	9
2.2.	Ichki yonuv dvigatellari	12
2.2.1.	Hajm o'zgarmaganda ($V=\text{const}$) issiqlikni keltirish sikli	15
2.2.2.	Bosim o'zgarmaganda ($P=\text{const}$) issiqlikni keltirish sikli	15
2.2.3.	Aralashgan usulda issiqlikni keltirish sikli	16
	Nazorat savollari	18
3-mavzu	Bug'-kuch qurilmalarining sikllari	18
3.1.	Bug'-kuch qurilmalarining asosiy sikllari (Renkin sikli)	18
	Nazorat savollari	25
4-mavzu	Bug'-kuch qurilmalarida issiqlik samaradorligini oshirish usullari	25
4.1.	Regenerativ sikl ..	26
4.2.	Bug'ni qayta ikkilamchi qizdirish sikli	28
4.3.	Issiqlik bilan ta'minlash sikli	29
4.4.	Bug'-gaz sikli	31
	Nazorat savollari	32
5-mavzu	Gaz-turbina qurilmalari	33
5.1.	Bosim o'zgarmaganda issiqlik keltiruvchi GTQning sikli	33
5.2.	Hajm o'zgarmaganda issiqlik keltiruvchi GTQning sikli	36
5.3.	Gaz turbina qurilmasining FIKni oshirish usullari	38
	Nazorat savollari	40
6-mavzu	Kompressorlar	40
6.1	Kompressorlarning ishlash uslubi va turlari	40
6.2	Haydash jarayoni tahlili	42
6.3	Porshenli kompressorning indikator diagrammasi	44

	Nazorat savollari.....	46
7-mavzu	Sovitgich qurilmalar va issiqlik nasoslarining sikllarini tahlili	46
7.1	Sovitgich mashinalarining umumiy xarakteristikasi.....	46
7.2.	Bug‘ kompression sovitgich mashinalarining sikllari.....	47
7.3.	Havoli sovitish qurilmasining sikli	51
7.4.	Eng past hapopatgacha sovitish	52
	Nazorat savollari.....	52
8-mavzu	Issiqlik nasosining sikli	53
	Nazorat savollari.....	54
	Umumiy savol va topshiriqlar	55
	Glosariy	56
	Adabiyotlar	57

Muharrir Sidikova K.A.