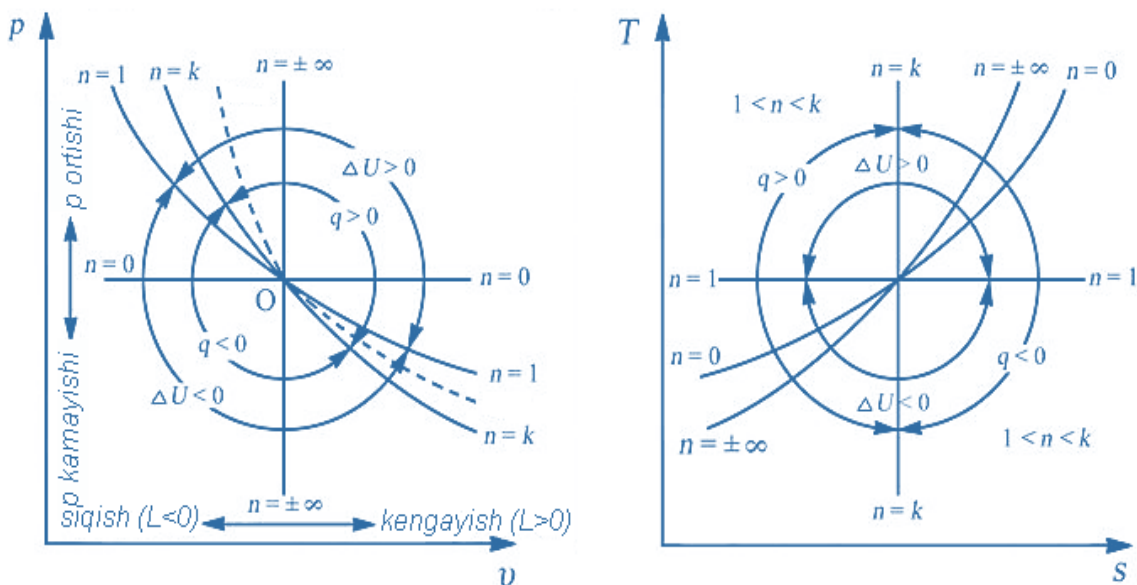


**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**U.X. IBRAGIMOV, B.N.SATTOROV, S.I.XAMRAYEV,
SH.H.ERGASHEV**

**ENERGETIK QURILMALARINING TERMODINAMIK
SIKLLARI
fanidan**

D A R S L I K



Toshkent-2022

**U.X. IBRAGIMOV,
B.N.SATTOROV,
S.I.XAMRAYEV
SH.H.ERGASHEV**

ENERGETIK QURILMALARINING TERMODINAMIK SIKLLARI

**OLIY TA'LIM MUASSASALARI TALABALARI
UCHUN DARSLIK**

O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan oliy ta'lim muassasalarining "Issiqlik energetikasi" yo'nalishi bo'yicha ta'lim oluvchi talabalari uchun darslik sifatida tavsiya etilgan

Toshkent 2022

UDK 621.1

U.X. IBRAGIMOV, B.N.SATTOROV, S.I.XAMRAYEV, SH.H.ERGASHEV. Energetik qurilmalarining termodinamik sikllari: oliy ta'lim muassasalari talabalari uchun darslik / U.X. Ibragimov, B.N.Sattorov, S.I.Xamrayev, Sh.H.Ergashev. 2022. 300 bet.

Kitobda energetika, kimyo, neftni qayta ishlash, oziq-ovqat sanoatida va sovitish texnikasida keng qo'llaniladigan issiqlik texnikasi va energetik qurilmalar, kompressorlar, bug' va gaz turbina qurilmalari, ichki yonuv dvigatellari, sovitish qurilmalari, bug'-gaz qurilmalari, atom elektr stansiyalari, qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosidagi issiqlik energetik qurilmalar, energiya bevosita o'zgartiriladigan energetik qurilmalarining tuzilishi, konstruksiyalari, ishlash prinsiplari, ularda amalga oshadigan termodinamik jarayonlar to'g'risida umumiy nazariy ma'lumotlar keltirilgan.

Kitob "Issiqlik energetikasi" yo'nalishi bo'yicha bakalavrlarni tayyorlash uchun "Energetik qurilmalarining termodinamik sikllari" kursi bo'yicha darslik hisoblanadi.

Taqrizchilar: t.f.n., dotsent **T.A. Fayziyev** (Qarshi muhandislik iqtisodiyot instituti, "Issiqlik energetikasi" kafedrası).

t.f.n., dotsent **A.A. Teymurxanov** (Qarshi davlat universiteti, «Muqobil va qayta tiklanuvchi energiya manbalari» kafedrası).

ANNOTASIYA

Ushbu ma'ruzalar matnida energetika, kimyo, neftni qayta ishlash, oziq-ovqat sanoatida va sovitish texnikasida keng qo'llaniladigan energetik qurilmalar, kompressorlar, bug' turbina qurilmalari, gaz turbina qurilmalari, ichki yonuv dvigatellari, sovitish qurilmalari, bug'-gaz qurilmalari, atom elektr stansiyalarining tuzilishi, konstruksiyalari, ishlash prinsiplari, ularda amalga oshadigan termodinamik jarayonlar, jarayonlarni P-V va T-S diagrammalardagi tasvirlari keltirilgan.

АННОТАЦИЯ

В данном конспект лекции представлены конструкции, принцип работы, термодинамические процессы, P-V и T-S диаграммы процессов происходящих в энергетических установках, компрессорах, паротурбинных установках, газотурбинных установках, двигателях внутреннего сгорания, холодильных установках, парогазовых установках, атомных электрических станциях которые широко применяемые в энергетике, химии, нефтеперерабатывающие и пищевые промышленности и холодильной технике.

THE SUMMARY

In data the lecture abstract designs, a work principle, thermodynamic processes, P-V and T-S diagrammes of processes occurring in power installations, compressors, steam turbine installations, gaz turbine installations, internal combustion engines, a refrigerating machinery, steam-gaz installations, nuclear power plants which widely applied in power are presented, to chemistry, oil processing and the food-processing industries and the refrigerating technics.

KIRISH

Issiqlik energetikasi respublikamiz xalq xo'jaligining va sanoat korxonalarining rivojlanishida yetakchi o'rinlardan birini egallaydi.

So'nggi yillarda xalq xo'jaligi va sanoatning jadal sur'atlar bilan rivojlanishi energetik qurilmalarga bo'lgan talabni yanada oshirdi. Ushbu sohalarda qo'llaniladigan issiqlik texnikasi va energetik qurilmalarining qo'llanilish sohasi, konstruksion tuzilishi va ishlash prinsipi, ularda amalga oshadigan termodinamik jarayonlar ham turlicha bo'lganligi sababli, ularni hisoblash va loyihalash o'ziga xos murakkabliklarga ega.

Darslikda ana shularni hisobga olgan holda energetika, kimyo, neftni qayta ishlash, oziq-ovqat sanoatida va sovitish texnikasida keng qo'llaniladigan issiqlik texnikasi va energetik qurilmalar, kompressorlar, bug' va gaz turbina qurilmalari, ichki yonuv dvigatellari, sovitish qurilmalari, bug'-gaz qurilmalari, atom elektr stansiyalari, qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosidagi issiqlik energetik qurilmalar, energiya bevosita o'zgartiriladigan energetik qurilmalarining tuzilishi, konstruksiyalari, ishlash prinsiplari, ularda amalga oshadigan termodinamik jarayonlar to'g'risida umumiy nazariy ma'lumotlar keltirilgan.

Darslik talabalarni asosiy mutaxassislik fanlaridan o'zlashtirgan bilim va ko'nikmalarini mujassamlashga va o'stirishga xizmat qiladi, hamda mamlakatimiz xalq xo'jaligini rivojlantirishda ijodkorona faoliyat ko'rsatuvchi yetuk mutaxassis tayyorlashda muhim o'ringa ega, hamda talabalar issiqlik texnikasi qurilmalarida amalga oshadigan termodinamik jarayonlar, ularni ideal sikli va real sikllari, ushbu sikllarni P-V va T-S diagrammalarda tasvirlanishi, har bir issiqlik texnikasi qurilmalariga uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori, qurilmaning bajargan ishi va foydali ish koeffitsiyenti, qurilmalarning foydali ish koeffitsiyentlarini oshirish yo'llari to'g'risida malakaga va ko'nikmaga ega bo'ladilar.

I BOB. TERMODINAMIKANING TARIXI, RIVOJLANISH TENDENSIYALARI VA ZAMONAVIY HOLATI.

1.1. Termodinamikaning tarixi va rivojlanish tendensiyalari.

XVII asrda sanoatning rivojlanishi texnika oldiga mashina dvigatellarini yaratish vazifasini qo'ydi. O'sha vaqtlarda ishlatib kelingan suv va shamol parraklarini shaharlardagi sanoat korxonalarida qo'llash noqulay va ushbu parraklarning quvvati ham kichik edi. Shuning uchun ham insonlar yetarli darajadagi quvvatga ega, ishlatish uchun qulay va tejamkor dvigatellarni yaratish ustida ish olib bordilar. Ko'p ixtirochilarni doimiy va hech narsa iste'mol qilmasdan ishlaydigan dvigatel – “perpetium mobili” ni yaratish va qurish orzusi o'ziga jalb qila boshladi. Ana shunday ixtirochilar juda ko'p fantastik loyihalarni yaratishdi. Ular richaglar, blokklar, yuklar, g'ildiraklar va shunga o'xshash asboblarning juda ko'p kombinatsiyalarini ishlab chiqdilar. Lekin bu turdagi qurilmalar doim ixtirochilarning hafsalasini pir qilar va harakatlantiruvchi kuch o'rniga o'zlari harakatlanishi uchun tashqi kuch ta'siriga muhtoj edilar. Ko'p sonli ana shunday urinishlar muvaffaqiyatsiz chiqqandan so'ng ular dvigatelni yaratish uchun mexanik harakatlar doirasidan chetga chiqdilar va mexanik bo'lmagan hodisalarga – issiqlik hodisalariga “olovning harakatlantiruvchi kuchi” ga murojaat qila boshladilar.

Yoqilg'ining yonishi hisobiga ish olish mumkinligi qadim zamonlardan ma'lum edi. Ma'lumki, bundan 2000 yil ilgari Aleksandrskiy kichik bir qozonda qaynayotgan suvning bug'i naychasimon ustunlar orqali ularga o'rnatilgan bo'sh sharga kirib, undan tashqariga oqib chiqqanda yuzaga kelgan reaksiya kuchi sharni tez aylantirishini kuzatishga imkon beradigan asbobni ta'riflab o'tgan edi.

Gyugensning shogirdi Papin porshening bug' ta'sirida ish bajarishini birinchi bo'lib (1690 yilda) amalga oshirishga muvaffaq bo'ldi.

1711 yilda, ingliz ixtirochisi Nyukomen Papin mashinasini amalda ishlatishga muvaffaq bo'ldi. Buning uchun porshen tagiga suv qo'yish o'rniga (Papin shunday qilgan edi) davriy ravishda suv purkab turadigan moslama kiritdi. Lekin Papin va

Nyukomenning mashinasi unumsiz va kamquvvat bo'lganligi sababli, sanoat korxonalarida keng qo'llanilmadi.

Navbati bilan uzluksiz ishlaydigan ikki silindrli va bug'i avtomatik ravishda taqsimlanib turadigan birinchi universal bug' mashinasi, Urallik mexanik Ivan Ivanovich Polzunov tomonidan 1763 yilda qurildi. Biroq, beparvo amaldorlarning e'tiborsizligi tufayli bu ixtiro rivojlanmadi.

1769-1784 yillarda ingliz muhandisi Uatt o'zi yasagan bug' mashinalariga, porshening ma'lum bir holatida bug'ning yo'lini to'sib qo'yadigan qurilma (bu qurilmada porshen faqat silindrning bug' bilan to'lishi hisobigagina emas, balki bug'ning kengayishi hisobiga ham ish bajarishni ta'minlar edi) ishlab chiqildi, ushbu qurilmada bug'ning kondensasiyalanishi uchun sovitgich, silindrni issiq saqlash uchun isitgich va aylanishlar sonini avtomatik idora qiladigan rostlagich mavjud edi.

Uatt o'zi ixtiro qilgan asbob (indikator) yordamida ishlab turgan mashina silindridagi bosimni, porshening turli holatlarda turgan vaqtda o'lchash imkoniyatiga ega bo'ldi. Uatt bug' mashinasi ishini o'rganish yo'li bilan uni takomillashtirib bordi. Kimyoda tarozi yoki astronomiyada teleskop qanday rol o'ynagan bo'lsa, issiqlik texnikasining rivojlanishida indikator ana shunday katta ahamiyatga egadir.

XIX asrning birinchi o'n yillarida Uatt dvigatellari faqat sanoat korxonalarida emas, balki transportda ham asosiy o'rinni egallay boshladi.

1775 yilda ingliz olimi Fich birinchi bug' kemasini yaratdi. 1807 yilda Fulton kurakchali parrak yordamida suzadigan kema, Vessel (1829) esa, vint yordamida suzadigan kema yasadi. Kemalarga o'rnatilgan bug' mashinalarining soni va quvvati yildan-yilga nihoyatda tez o'sdi. 1804 yilda Trevetik tomonidan qurilgan lokomotivni tubdan takomillashtirish asosida, bug' mashinalari temir yo'l transportida ham, suv transportidagi kabi juda tez tarqala boshladi. Xuddi o'sha vaqtlarda bug' yuritgichi yaratilishi munosabati bilan materiallarga ishlov beradigan har xil mashina va dastgohlar ko'payib ketdi. Ana shu yangiliklar, temir yo'l, daryo va dengiz transportlarini jadal rivojlanishi sanoatning tubdan o'zgarishiga olib keldi. Bularning hammasi ilmiy tekshirish ishlarining yo'nalishiga ham ta'sirini ko'rsatdi,

natijada tabiiy ravishda issiqlik hodisalarini o'rganish fanda asosiy o'rinni egallay boshladi.

Issiqlik-harakatning bir turidir degan fikrni ancha avval XVIII asrning boshida faylasuf Bakon, shu asrning oxirida Gyugens va Nyuton, XVIII asrning birinchi yarimlarida Volter, Daniel Bernulli, hamda Lomonosov kabi yirik olimlar tomonidan o'rtaga tashlangan edi. Biroq rus olimi Mixail Lomonosovdan avval o'tgan olimlarning hech biri issiqlik haqidagi to'g'ri tushunchani Lomonosov kabi jasorat va izchillik bilan himoya qilmagan edi. Lomonosov o'zining “Issiqlik va sovuqlikning sabablari” nomli dissertasiyasida (1774 yil) o'sha vaqtlarda hukmron bo'lgan teplotrod nazariyasini rad etdi va “Jismlarning issiqligi ularning ichki sabablari” deb ta'kidladi. U qator misollarda jismlarning ko'zga ko'rinadigan harakati, ularning zarrachalarini ko'zga ko'rinmas harakatiga aylanishini ishonarli qilib isbotladi. Masalan, ishqalanish haqida Lomonosov shunday degan edi: “Sovuq temirni bolg'a bilan urganda, temir massasining qo'zg'alayotgan zarrachalari orasidagi ishqalanishi ortadi, zarrachalarning aylanma harakati kuchayadi va buning natijasida, ayrim hollarda temir qizib cho'g'lanadi”. Lomonosov asarlaridagi kimyoviy elementlar, molekula va atomlar haqidagi tushunchalar XIX asrda paydo bo'lgan tushunchalardan farq qilmaydi.

Lomonosov zamondoshlari Daniel Bernulli va faylasuf Volter – gazlar elastikligining molekulyar-kinetik nazariyasini yaratdilar. Lomonosov bu qarashlarni rivojlantirdi va Bernulli tomonidan tajribada kuzatilgan hodisani, ya'ni siqilgan gazlarning Boyle qonunidan chetlanishlarini to'g'ri tushuntirib berdi.

Lomonosov asarlariga asoslangan molekulyar-issiqlik harakat tushunchasi XVIII asrning ikkinchi yarmida fizik-issiqlik haqidagi ta'limotning rivojlanishida katta yutuqlarga erishishi kerak edi. Biroq bunday bo'lmadi, teplotrod nazariyasi yana bir asr davomida hukmronlik qildi.

Termodinamikaning asoschisi Sadi Karno teplotrod nazariyasini ma'qullar edi. U faqat umrining so'nggi yillaridagina (1832 yilda vafot etgan) bu nazariyaning xato ekanligini tushundi va ish bilan issiqlikning ekvivalentligi uslublarini aniq ta'riflab berdi. Biroq, Karnoning bu ishlari, uning vafotidan keyin bir necha o'n yillar o'tgach,

matbuotda e'lon qilindi. Termodinamikada grafik usulini birinchi bo'lib qo'llagan Klapeyron, hali ham (1834 yil) teplot nazariyasini ma'qullar edi. Faqat 1850-60 yillarga kelib (Robert Mayer issiqlikning ekvivalentligini asoslagadan so'ng) molekulyar-kinetik nazariya Joule va Krenik tomonidan qayta tiklandi. Klazius bilan Maksvell esa bu nazariyani rivojlantirdi.

Termodinamika fanining yaratilishi, issiqlik yuritgichlarini takomillashtirish va birinchi navbatda bug' mashinalarining foydali ish koeffisientini oshirish masalasi bilan uzviy bog'liqdir. Issiqlik yuritgichlarining foydali ish koeffisientini qanday omillarga bog'liqligini bilish lozim edi. Shu masalarni hal qilish jarayonida termodinamika fani vujudga keldi.

XIX asrning 50-yillariga qadar bug' mashinalarining nazariyasi yarim empirik xarakterga ega bo'lib, bu nazariya bug' va gazlarning tajribalar orqali aniqlangan issiqlik xususiyatlariga asoslangan edi. 1824 yilda fransuz muhandis-fizigi Sadi Karno (1792-1832) termodinamikaga bag'ishlangan birinchi ilmiy ishida bug' mashinalarining nazariyasini yaratishga yangicha yo'l tutdi (termodinamikaga sikllar usulini kiritdi). Karno birinchi bo'lib issiqlik miqdorini ishga aylanish jarayonini tekshirish natijasida issiqlik mashinalari foydali ish koeffisientining katta qiymatini aniqlaydigan teoremlarni yaratdi. Bu teoremlar keyinchalik termodinamikaning ikkinchi qonuni ta'rifini berishga zamin bo'lib xizmat qildi.

1834 yilda Klapeyron (1799-1864) Karno ishlarini qayta ko'rib chiqib, ikkita izoterma va ikkita adiabatadan tashkil topgan sikl asosida issiqlik mashinalarining nazariyasini takomillashtirdi. Barcha darsliklarda bu sikl Karno sikli deb yuritiladi. Klapeyron o'z nazariyasini yaratish jarayonida Boyle va Gey-Lyussak qonunlarini birlashtiruvchi va berilgan massadagi gazning bosimi, harorati va hajmi orasidagi munosabatni bog'lovchi, holat tenglamasini 1834 yilda yaratdi.

Vilyam Tomson (1824-1907) va Rudolf Klazius (1822-1888) ishlarida termodinamikaning ikkinchi qonuni aniq ta'riflab berilgan va ular tomonidan mutloq harorat, hamda entropiya kabi eng muhim tushunchalar qabul qilingan. Entropiya tushunchasini kiritilishi termodinamika taraqqiyotida juda katta rol o'ynaydi. XIX asrda termodinamikaning asosiy uslubi – sikllar uslubi edi.

N.N. Shiller (1848-1910) va T.A. Afanaseva birinchi bo'lib sikllar uslubidan foydalanilmagan holda termodinamikaning ikkinchi qonuni ta'rifini berdilar va entropiyaning mavjudligini isbotladilar.

Gibbsning (1839-1903) XIX asr oxirida yozgan ilmiy ishlari termodinamika fani taraqqiyoti uchun juda katta ahamiyatga ega bo'ldi. Gibbs fizik jarayonlarni termodinamik nuqtai nazaridan tekshirish uchun yangi usul, termodinamik funksiyalar usulini kiritdi. Termodinamik funksiyalar usuli asosida termodinamika muvozanatining umumiy sharoitlari keltirib chiqariladi va fazalar qoidasini beradi.

Valtr Nernst (1864-1941) juda past haroratlarda tizimlarning xususiyatlarini tahlil qilib muhim xulosaga keldi. Uning tajribalari asosida hosil qilgan natijasiga Nernst teoremasi deyiladi. Nernst teoremasi termodinamikaning birinchi va ikkinchi qonunlariga bog'liq bo'lmaganligi tufayli u ko'pchilik hollarda termodinamikaning uchinchi qonuni deb ataladi.

1.2. Energetikaning rivojlanishi va zamonaviy holati.

Energetikani rivojlanish tarixi uchun to'rtta asosiy davr muhim o'rin tutadi. Ulardan biri 1920 yildan boshlanadi, bunda VIII butunrossiya s'ezdida Rossiyani elektrlashtirish rejasi (GOELRO) qabul qilindi. Bu reja bilan energetika o'ta rivojlandi, bu davrda mahalliy yoqilg'ida ishlovchi 30 ga yaqin yirik tuman elektr stansiyalari qurildi va markazlashgan energiya ta'minoti rivojlandi. GOELRO rejasi 1931 yilgacha bajarib bo'lindi.

Buyuk Jahon urushi yillarida elektr energiyasini ishlab chiqarish deyarli ikki marta kamaydi, taxminan 60 ta yirik elektr stansiya buzildi. Shuning uchun energetikani rivojlanishining ikkinchi davrini (1940 – 1950 yillar) asosiy masalasi buzilgan energetika xo'jaligini tiklashga qaratildi.

Energetikani rivojlanishining uchinchi davri uchun (1951 – 1965 yillar) birlashgan energiya tizimini yaratish hisobiga energiya ta'minotini konsentrasiyalash, quvvatli issiqlik elektr stansiyalarni va birinchi atom elektr stansiyasini qurilishi xarakterlidir.

Energetikani rivojlanishining to'rtinchi davri (1951 – 1965 yillar) yoqilg'i-energetika majmuasini rivojlanishini sifatli va yangi darajaga o'tishi bilan xarakterlidir. Elektr stansiyalarni joylashishining blokli sxemasi joriy qilindi, bunda bloklarning quvvati uzluksiz ravishda ortdi. Hozirgi vaqtda o'ta yuqori parametrlig' bug' nafaqat kondensatsion elektr stansiyalarda (KES), balki issiqlik elektr markazlarida (IEM) foydalanilmoqda. Mamlakatning yaxlit energiya tizimi joriy qilindi.

1975 yilga qadar dunyoda energetika ehtiyojlari uchun gaz va mazut sarfini ortishi kuzatildi. Bu qisqa muddat ichida va kichik kapital harajatlar evaziga xalq xo'jaligining energetika bazasi mustahkamlandi. Energetik potentsiallarni keyinchalik ortib borishi Yevropa mamlakatlarida gidro va atom elektr stansiyalarini qurilishi, qolgan mamlakatlarda arzon ko'mirda ishlovchi issiqlik elektr stansiyalari hisobiga amalga oshdi.

Organik yoqilg'ilarning (ko'mir, neft, gaz) asosiy zahirasi mamlakatimizning sharqiy va janubiy tumanlarida joylashgan. Shuning uchun hozirgi kunda yoqilg'i-energetika manbalaridan oqilona foydalanish muammosi muhim ahamiyatga ega.

Issiqlik ta'minotini quvvatli IES va qozonxonalar hisobiga markazlashtirilishi yoqilg'i tejamkorligini ancha oshirdi. Ammo IEM faqatgina yirik markazlashgan issiqlik iste'molchilari mavjud bo'lgandagina iqtisodiy tomonlama maqbul bo'ladi. Yoqilg'i sarfini kamaytirishning keyingi yo'li – issiqlik nasosli qurilmalarni qo'llash bo'lib, ularda ham tabiiy issiqlik manbalari, ham ikkilamchi energiya manbalaridan foydalanish mumkin.

1.3. Texnikaviy termodinamika issiqlik energetikasining nazariy asosi.

Klassik termodinamikada turli shakldagi energiyalarni o'zaro o'zgarish qonunlari o'rganiladi. Texnikaviy termodinamikada issiqlik va ishni o'zaro o'zgarish qonuniyatlari ko'rib chiqiladi. Bunda issiqlik yuritgichlarining nazariyasi va ularni takomillashtirish yo'llari ishlab chiqiladi.

Sanoatning ko'pgina sohalarida yoqilg'idan foydalanish koeffitsienti odatda 30...35% dan oshmaydi. Shular bilan bog'liq holda hozirgi vaqtda bir-birini

to'ldiruvchi energotexnologik qurilmalarni yaratish kabi muammolar hal etilmoqda.

Energotexnologiyani ishlab chiqish, no'an'anaviy energotexnologiyalarni yaratish va energiya tejashning amaldagi tizimlarini takomillashtirish, ularning samaradorligini baholashni faqatgina termodinamik tahlil yordamida amalga oshirish mumkin. Shuning uchun muhandis-energetik uchun termodinamika uning amaliy faoliyatida nazariy asoslar hisoblanadi.

Termodinamikani o'rganishda asosiy e'tibor quyidagi bosqichlarga qaratiladi.

Birinchi, termodinamika deduktiv tamoyillar asosida yaratiladi, ya'ni umumiydan alohidalikka o'tiladi. Uning asosiy mazmuni tajriba yo'li bilan aniqlangan ikkita qonun hisoblanadi. Ulardan biri energiyani saqlanish va aylanish qonunining maxsus formasini ifodalaydi, ikkinchisi esa – fizik tizimlarda amalga oshiriladigan jarayonlarni sifatli yo'naltirilishini ta'minlaydi. Termodinamikada matematik qurilma yordamida aniq masalalarni yechishni ta'minlovchi munosabatlarni olish mumkin.

Ikkinchi termodinamika faqatgina makroskopik kattaliklar bilan ishlaydi. Bunda mikroskopik moddalar ko'rib chiqilmaydi. Demak termodinamikada jarayonlarning ta'rifi makroskopik muvozanat to'g'risidagi tushunchaga asoslanadi. Bunda jarayonlar muvozanat holatining uzluksiz ketma-ketlik sifatida qaraladi.

1.4. Termodinamikaning predmeti va uslubi.

Termodinamika – energiyaning aylanish (o'zgarish) qonuniyatlari haqidagi fandır. Termodinamikaga XIX asrda asos solingan edi. Bu davrda issiqlik yuritgichlarining taraqqiyoti tufayli issiqlikning ishga aylanish qonuniyatlarini o'rganish zarurati tug'ildi. Lekin shundan keyin termodinamika uslubi issiqlik texnikasi chegarasidan o'tib, kimyo va boshqa fanlarning ko'pchilik sohalarida keng ko'lamda qo'llanila boshlandi.

Termodinamika turli fizikaviy va kimyoviy jarayonlarning u yoki bu tizimlarda qaysi yo'nalishda sodir bo'lishini aniqlashga imkon beradi. Termodinamika moddaning turli xossalari orasidagi chuqur bog'lanishlarni ochib beradiki, biz buni keyinchalik ko'rib chiqamiz. Aslini olganda bu narsa moddaning

birorta xossasi, masalan, issiqlik sig'imi haqidagi ma'lumotlarga ega bo'lingan holda termodinamikaviy uslublar yordamida bu moddaning zichligini va aksincha, zichligi haqidagi ma'lumotlarga ega bo'lingan holda uning issiqlik sig'imini hisoblab topishga imkon beradi.

Termodinamika fizika va kimyoning ko'pchilik sohalaridan farqli o'laroq, moddalar tuzilishining biror modellari bilan ish ko'rmaydi va umuman olganda moddaning mikrostrukturasi to'g'risidagi tasavvur bilan bevosita bog'lanmagan. Termodinamikaning kuchi ham, zaifligi ham ana shundadir. Termodinamika o'zi modda xossalari haqida birorta ma'lumot bera olmaydi. Lekin moddalar yoki tizimlar xossalari haqidagi ba'zi bir ma'lumotlar ma'lum bo'lsa, u holda termodinamikaviy uslublar va juda muhim xulosalar chiqarishga imkon beradi.

1.5. Termodinamikaviy jarayon to'g'risida ma'lumot.

Ham o'zaro, ham atrofdagi muhit bilan ta'sirlashib turuvchi material va jismlar to'plamini *termodinamikaviy tizim* deb ataymiz, ko'rib chiqilayotgan tizim chegarasidan tashqarida bo'lgan boshqa barcha material va jismlarni tashqi muhit deb atash qabul qilingan.

Agar holat parametrlaridan loaqal bittasi o'zgarsa, u holda tizimning holati o'zgaradi, ya'ni tizimda *termodinamikaviy jarayon* sodir bo'ladi.

Termodinamikaviy tizimda sodir bo'ladigan barcha jarayonlarni muvozanatdagi va muvozanatdagimas, qaytar va qaytmas jarayonlarga bo'lish mumkin. Muvozanatdagi jarayon tizimning barcha qismlari bir xil haroratga va bir xil bosimga ega ekanligi bilan tavsiflanadi.

Jarayonning o'tish jarayonida tizimning turli qismlari har xil haroratga, bosim, zichlik va hokazolarga ega bo'lsa, bunday jarayon muvozanatdagimas jarayon deb aytiladi.

Har qanday real jarayon ma'lum darajada muvozanatdagimas holatda bo'ladi. Bundan keyin «jarayon» deganda biz muvozanatdagi jarayonni tushunamiz.

Termodinamikaning eng muhim tushunchalaridan biri qaytar va qaytmas jarayonlar haqidagi tushunchadir. Termodinamikaviy jarayon termodinamikaviy tizimning uzluksiz o'zgarib turadigan holatlari to'plamidan iboratdir.

Tizimning har qanday ikkita holati, 1 va 2 oraliq'ida bitta yo'lning o'zidan o'tadigan ikkita jarayonni tasavvur etish mumkin, holat 1 dan holat 2 ga va aksincha holat 2 dan holat 1 ga, bunday jarayonlar to'g'ri va teskari yo'nalishdagi jarayonlar deb aytiladi.

To'g'ri va teskari yo'nalishdagi jarayon natijasida termodinamikaviy tizim dastlabki holatiga qaytadigan jarayonlar *qaytar jarayonlar* deb aytiladi. To'g'ri va teskari yo'nalishlarda o'tkazilganda tizim dastlabki holatiga qaytmaydigan jarayonlar *qaytmas jarayonlar* deb aytiladi.

Tajribadan ma'lumki, o'z-o'zidan sodir bo'ladigan barcha tabiiy jarayonlar qaytmas bo'ladi; tabiatda qaytar jarayonlar bo'lmaydi.

Tizimda o'z-o'zidan sodir bo'ladigan har qanday jarayon va binobarin, qaytmas jarayon tizimda muvozanat qaror topmaguncha davom etadi.

Tajriba shuni ko'rsatadiki, muvozanatga erishgan tizim keyinchalik shunday holatda qolaveradi, ya'ni holatini o'zicha o'zgartira olmaydi. Yuqorida aytib o'tilganlar asosida quyidagi natijaga kelish qiyin emas: tizim faqat muvozanat holatiga qaytmaguncha ish bajara oladi.

Mavzuni mustahkamlash uchun test savollari.

1. Yoqilg'ini yonishi hisobiga ish olish mumkinligi qachondan ma'lum bo'lgan?
a) 2000 yil oldin; b) 1500 yil oldin; v) 1200 yil oldin; g) 1000 yil oldin
2. Porshenni bug' ta'sirida ish bajarishini birinchi bo'lib kim ixtiro qilgan?
a) Papen; b) Polzunov; v) Gyugens; g) Nyukomen
3. Papen porshenni ish bajarishini nechanchi yilda aniqladi?
a) 1690 yil; b) 1710 yil; v) 1763 yil; g) 1670 yil
4. Ixtirochilarni dastlab qanday turdagi dvigatellarni yaratish qiziqtirar edi?
a) perpitium mobile; b) bug'li dvigatel; v) olovli dvigatel; g) porshenli dvigatel
5. Papenni mashinasini amalda ishlatishga muvaffaq bo'lgan olimni ko'rsating?

- a) Nyukomen; b) Uatt; v) Gyugens; g) Karno
6. Birinchi universal bug‘ mashinasi kim tomonidan yaratilgan?
a) Polzunov; b) Uatt; v) Gyugens; g) Karno
7. Birinchi universal bug‘ mashinasi nechanchi yilda yaratilgan?
a) 1763 yil; b) 1690 yil; v) 1710 yil; g) 1790 yil
8. Indikator asbobi kim tomonidan ixtiro qilingan?
a) Uatt; b) Papen; v) Polzunov; g) Gyugens
9. Birinchi bug‘ kemasi kim tomonidan yaratilgan?
a) Fich; b) Papen; v) Polzunov; g) Gyugens
10. Birinchi bug‘ kemasi nechanchi yilda yaratilgan?
a) 1775 yil; b) 1690 yil; v) 1710 yil; g) 1790 yil
11. Bug‘ mashinalari nechanchi yildan temir yo‘l va daryo transportida qo‘llanila boshlandi?
a) 1804 yil; b) 1690 yil; v) 1710 yil; g) 1790 yil
12. Sikllar usuli fanga kim tomonidan kiritilgan?
a) Karno; b) Papen; v) Polzunov; g) Gyugens
13. Karno sikliga nechanchi yilda kim tomonidan asos solindi?
a) 1834 yilda Klapeyron; b) 1824 yilda Karno; v) 1840 yilda Gyugens; g) 1800 yilda Boyl va Gey-Lyussak
14. Entropiya tushunchasi fanga kim tomonidan kiritilgan?
a) Tomson, Klazius; b) Karno, Papen; v) Klapeyron, Klazius; g) Tomson, Karno
15. XIX asrda termodinamikaning asosiy uslubi qanday uslub edi?
a) sikllar uslubi; b) funksiyalar uslubi; v) entalpiya usuli; g) entropiya uslubi
16. Termodinamik funksiyalar usuli fanga kim tomonidan kiritilgan?
a) Gibbs; b) Papen; v) Polzunov; g) Karno
17. Termodinamikaning uchinchi qonuni kimning nomi bilan bog‘liq?
a) Nernst; b) Karno; v) Papen; g) Polzunov
18. Hozirgi kunda sanoatda yoqilg‘idan foydalanish koeffitsiyenti qancha?
a) 30-35%; b) 35-40%; v) 40-50%; g) 20-30%
19. Energetikani rivojlanishida asosan nechta davr xarakterli?

a) 4; b) 3; v) 5; g) 2

20. Rossiyanı elektrlashtirish rejasi nechanchi yilda qabul qilingan?

a) 1920 yil; b) 1921 yil; v) 1924 yil; g) 1930 yil

21. Energetikani rivojlanishining birinchi davri nechanchi yillarni o'z ichiga oladi?

a) 1920-1931 yillar; b) 1940-1950 yillar; v) 1950-1960 yillar; g) 1960-1975 yillar

22. Energetikani rivojlanishining ikkinchi davri nechanchi yillarni o'z ichiga oladi?

a) 1940-1950 yillar; b) 1930-1940 yillar; v) 1950-1960 yillar; g) 1960-1975 yillar

23. Energetikani rivojlanishining uchinchi davri nechanchi yillarni o'z ichiga oladi?

a) 1951-1965 yillar; b) 1930-1940 yillar; v) 1940-1950 yillar; g) 1965-1975 yillar

24. Energetikani rivojlanishining to'rtinchi davri nechanchi yillarni o'z ichiga oladi?

a) 1966 yildan hozirgacha; b) 1930-1940 yillar; v) 1940-1950 yillar; g) 1965-1975 yillar

Nazorat savollari.

1. Termodinamikaning rivojlanish tarixi to'g'risida ma'lumot bering?

2. Termodinamika rivojiga ulkan hissa qo'shgan olimlarni aytib bering?

3. Termodinamika tarixida olimlar tomonidan ixtiro qilingan qurilmalar to'g'risida ma'lumot bering?

4. Termodinamikaning asosiy qonunlarini aytib bering?

5. Molekulyar-kinetik nazariyaning asoschilari kimlar?

6. Termodinamikani o'rganishda asosiy e'tibor nimalarga qaratiladi?

7. Termodinamikaning predmeti va uslubini tushuntiring?

8. Termodinamika qanday fan?

9. Termodinamik jarayon deganda nimani tushunasiz?

II BOB. ASOSIY TERMODINAMIK JARAYONLAR TAHLILI.
AYLANMA JARAYONLAR VA KARNO SIKLI.

2.1. Termodinamik jarayonlarni o'rganish usullari.

Nazariy tadqiqotlar va amaliy ishlar uchun quyidagi jarayonlar muhim ahamiyatga egadir: izoxorik – o'zgarmas hajmda kechadigan jarayon, izobarik – o'zgarmas bosimda kechadigan jarayon, *izotermik* – o'zgarmas haroratda kechadigan jarayon, adiabatik (izoentropik) – atrof-muhit bilan issiqlik almashinuvisiz kechadigan jarayon, bu jarayonda entropiya o'zgarmas bo'ladi va yuqoridagi jarayonlarni umumlashtiruvchi politrop jarayon, bu jarayonda tizimning issiqlik sig'imi o'zgarmas bo'ladi.

Barcha jarayonlar uchun quyidagi o'rganish uslubi qo'llaniladi:

1. Jarayonni sodir bo'lish sharoitidan kelib chiqib va ideal gazning holat tenglamasidan foydalanib jarayon tenglamalari keltirib chiqariladi.

2. Jarayonning boshida va oxirida ishchi jism holatining asosiy parametrlari orasidagi bog'lanish aniqlanadi.

3. Jarayon uchun P-V va T-S diagrammalar quriladi.

4. Ichki energiyaning o'zgarishi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_{t_1}^{t_2} c_v dt \quad (2.1)$$

yoki issiqlik sig'imi o'zgarmas bo'lganda:

$$u_2 - u_1 = c_v(t_2 - t_1) \quad (2.2)$$

5. Gaz hajmini o'zgarish ishi (tizimning kengayish ishi) aniqlanadi:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv \quad (2.3)$$

6. Jarayonda ishtirok etayotgan issiqlikning solishtirma miqdori aniqlanadi:

$$q_{1-2} = \int_{t_1}^{t_2} c_x dt \quad (2.4)$$

7. Solishtirma entropiyaning o'zgarishi quyidagi formuladan aniqlanadi:

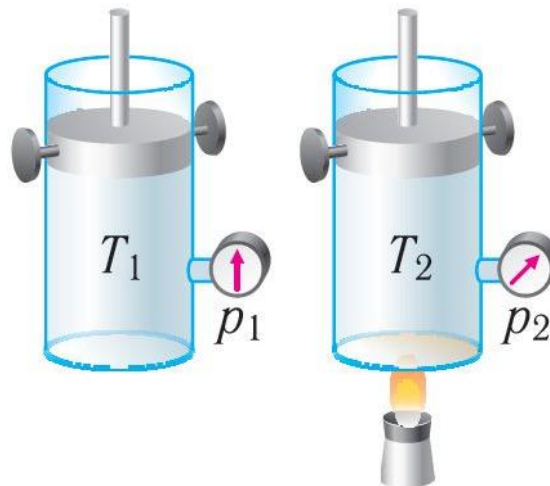
$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.5)$$

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (2.6)$$

2.2. Izoxorik jarayon.

O'zgarmas hajmda amalga oshadigan jarayon *izoxorik jarayon* deb ataladi. Jarayonning egri chizig'i *izoxora* deb nomlanadi. Qo'zg'almas porshen bilan yopilgan silindrsimon idishda ($V = const$) ideal bir atomli gaz joylashgan deb qabul qilamiz. Silindrni gaz bilan qizdiramiz. Gazning hajmi amalda o'zgarishsiz qoladi (idishning hajmiy kengayishini inobatga olmaymiz) (2.1-rasm), demak, gaz bosimining ishi $l = 0$. U holda termodinamikaning birinchi qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Q = \Delta U \quad (2.7)$$



2.1-rasm. Izoxorik jarayonni tahlil qilishga oid.

1. Jarayon tenglamasi $v = const$ yoki $dv = 0$.
2. 1-2 jarayon uchun 1 va 2 nuqtalarda gazning holat tenglamasini yozamiz:

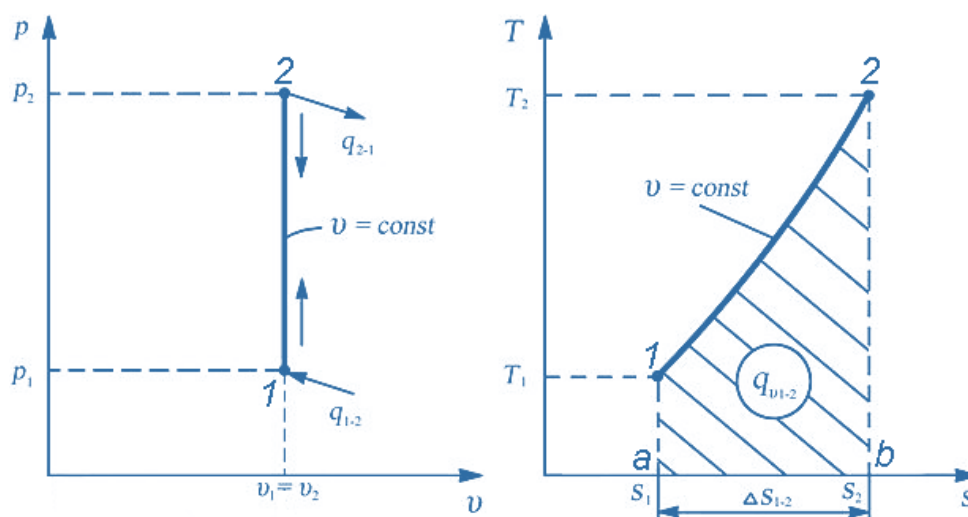
$$p_1 v_1 = RT_1, \quad p_2 v_1 = RT_2$$

Birinchi tenglamani ikkinchisiga bo'lib *Sharl qonuniga* ega bo'lamiz:

$$\boxed{\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}} \quad (2.8)$$

Izoxorik jarayonda absolyut bosimning o'zgarishi absolyut haroratni o'zgarishiga to'g'ri proporsional.

3. Izoxorik jarayonning $p - v$ va $T - s$ diagrammalari quriladi (2.2-rasm).



2.2-rasm. Gaz holatini izoxorik jarayonda o'zgarishining $p - v$ va $T - s$ diagrammalari.

4. Ichki energiyaning o'zgarishi. 1-2 jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni tenglamasini yozamiz:

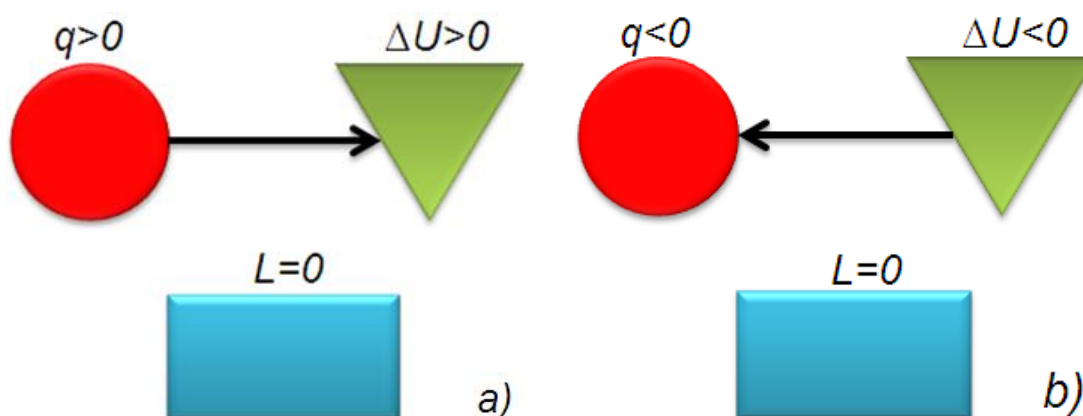
$$dq_v = du_v + pdv \quad (2.9)$$

Ma'lumki $dv = 0$, u holda $du_v = dq_v = c_v dT$.

Oxirgi tenglamani integrallab quyidagiga ega bo'lamiz:

$$q_v = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT = c_v(T_2 - T_1) = u_2 - u_1 \quad (2.10)$$

Izohorik jarayonda energiyaning taqsimlanishini sxema shaklida tasvirlaymiz (2.3-rasm).



2.3-rasm. Izohorik jarayonda energiyaning taqsimlanishi:

a-ishchi jisimga issiqlik uzatilganda (1-2 jarayon); b-ishchi jismdan issiqlik olib ketilganda (2-1 jarayon).

5. Gazning hajmi o'zgargandagi ishi. Izoxorik jarayonda $dv = 0$, ish $dl = pdv = 0$. Izoxorik jarayonda bajarilgan ish nolga teng va ishchi jismga uzatilgan barcha issiqlik ichki energiyaning o'zgarishiga sarflanadi. Solishtirma foydali ish l_0 quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$l_0 = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = -v(p_2 - p_1) \quad (2.11)$$

6. Solishtirma issiqlik miqdori quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$q_v = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT = c_v(T_2 - T_1) = u_2 - u_1 \quad (2.12)$$

7. Solishtirma entropiya o'zgarishini termodinamikaning birinchi va ikkinchi qonunlaridan aniqlaymiz. Termodinamikaning birinchi qonunini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$dq = c_v dT + pdv \quad (2.13)$$

Ushbu tenglamaning ikkala qismini ham T ga bo'lamiz, u holda:

$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + \frac{p}{T} dv \quad (2.14)$$

Ideal gaz holat tenglamasidan $PV = RT$, demak:

$$\frac{p}{T} = \frac{R}{v} \quad (2.15)$$

$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + \frac{R}{v} dv$ ekanligini aniqlaymiz.

Ma'lumki, $ds = \frac{dq}{T}$, u holda $ds = c_v \frac{dT}{T} + \frac{R}{v} dv$.

Oxirgi nisbatni integrallab quyidagiga ega bo'lamiz:

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.16)$$

Ma'lumki, izoxorik jarayonda $v_1 = v_2$, u holda $\ln \frac{v_2}{v_1} = 0$. Demak:

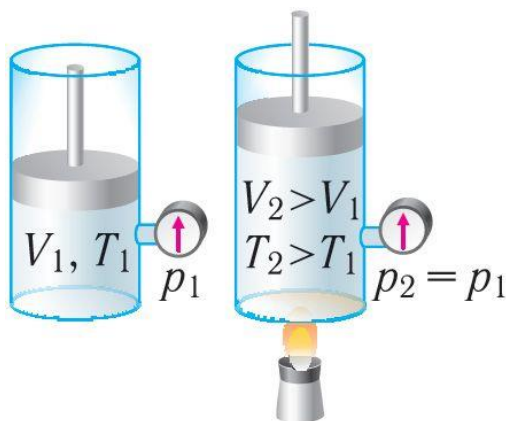
$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (2.17)$$

2.3. Izobarik jarayon.

O'zgarmas bosimda amalga oshadigan jarayon *izobarik jarayon* deb ataladi. Jarayon egri chizig'i *izobara* deb nomlanadi. Gaz porshen bilan yopilgan silindrda joylashgan bo'lsin. Porshen erkin holatda yoki doimiy yuklama ostida harakatlansin (2.4-rasm). Gazni qizdiramiz, ya'ni gazga bir qancha issiqlik miqdori uzatamiz ($Q >$

0). Termodinamikaning birinchi qonuniga muvofiq gazga uzatilgan issiqlik miqdorining bir qismi tizim ichki energiyaning ortishiga ($\Delta U > 0$) va qolgan qismi gazning kengayishida bajargan ishiga ($L > 0$) sarflanadi. U holda termodinamikaning birinchi qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Q = \Delta U + L \quad (2.18)$$



2.4-rasm. Izobarik jarayonni tahlil qilishga oid.

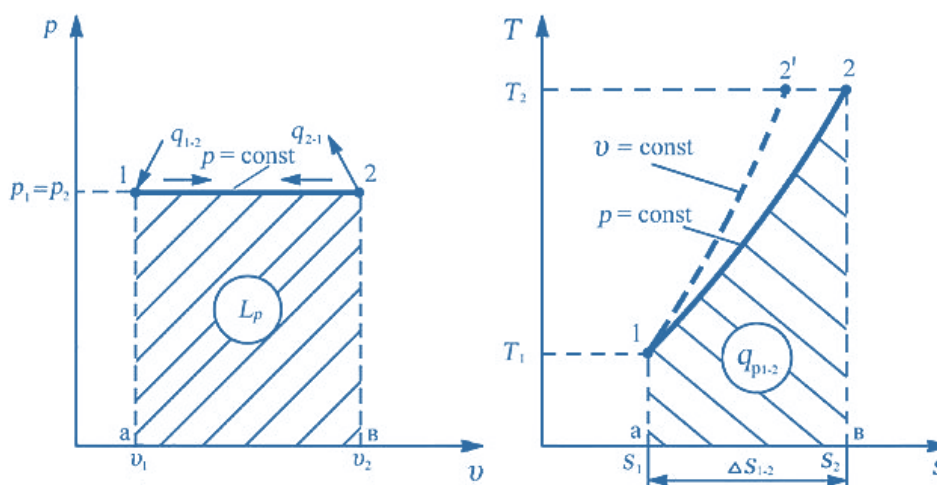
1. Jarayon tenglamasi $p = const$ yoki $dp = 0$.
2. 1-2 jarayon uchun 1 va 2 nuqtalarda gazning holat tenglamasini yozamiz:

$$p_1 v_1 = RT_1, \quad p_1 v_2 = RT_2$$

Birinchi tenglamani ikkinchisiga bo'lib *Gey-Lyussak qonuniga* ega bo'lamiz:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2.19)$$

3. Izobarik jarayonning $p - v$ va $T - s$ diagrammalari quriladi (2.5-rasm).

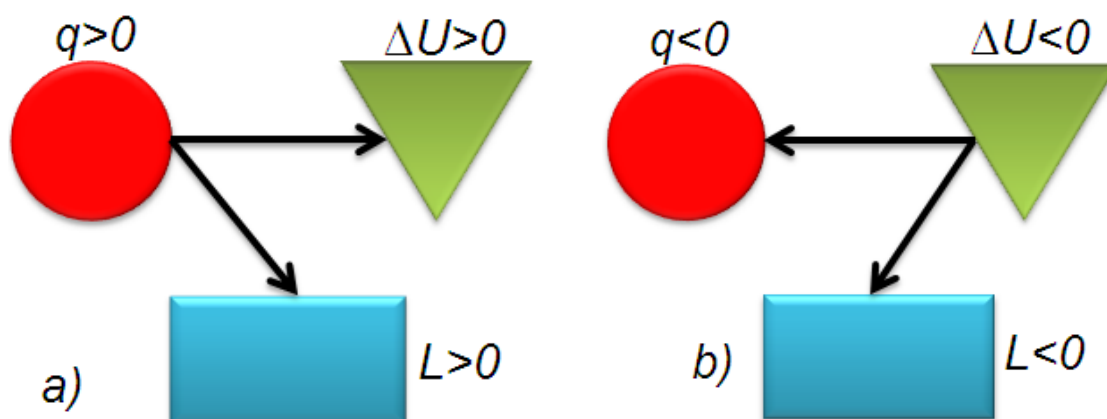


2.5-rasm. Gaz holatini izobarik jarayonda o'zgarishining $p - v$ va $T - s$ diagrammalari.

4. Ichki energiyaning o'zgarishi. Izobarik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$dq_p = du + pdv \quad (2.20)$$

Demak, izobarik jarayonda ishchi jismga uzatilgan issiqlikning bir qismi ichki energiyaning o'zgarishiga, qolgan qismi esa tashqi ish bajarishga sarflanar ekan (2.6-rasm).



2.6-rasm. Izobarik jarayonda energiyaning taqsimlanishi:

a-ishchi jismga issiqlik uzatilganda (1-2 jarayon); b-ishchi jismdan issiqlik olib ketilganda (2-1 jarayon).

5. Izobarik jarayonda bajarilgan ish $dl = pdv$, yoki:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} pdv = p(v_2 - v_1) \quad (2.21)$$

6. Solishtirma issiqlik miqdori quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$dq_p = du + pdv \quad (2.22)$$

7. Izobarik jarayonda solishtirma entropiyaning o'zgarishi:

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (2.23)$$

Ma'lumki, izobarik jarayonda $p_1 = p_2$, u holda $\ln \frac{p_2}{p_1} = 0$. Demak:

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (2.24)$$

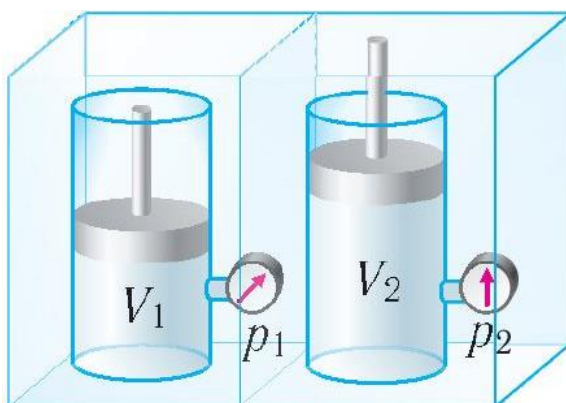
2.4. Izotermik jarayon.

O'zgarmas haroratda amalga oshadigan jarayon *izotermik jarayon* deb ataladi. Jarayon egri chizig'i *izoterma* deb nomlanadi. Ichida gaz joylashgan porshenli silindr

o'zgaras harorat ta'minlanadigan termostatni ichida joylashgan bo'lsin. Ushbu holda silindr ichidagi ideal bir atomli gazning ichki energiyasi o'zgarasdan qoladi va porshenni sekin harakatlanishida $\Delta U = 0$. U holda termodinamikaning birinchi qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Q = L \quad (2.25)$$

Agar tashqi moslama yordamida porshen sekin harakatga keltirilsa va gazning hajmi oshsa ($\Delta V > 0$) (2.7-rasm), u holda kengayayotgan gazning bosim kuchining ishi $L > 0$. Termostat va gazning dastlabki haroratlari bir xil bo'lganda issiqlik uzatish sodir bo'lmaydi. Kengayayotgan gazning bosim kuchining foydali ishi ichki energiyani va haroratni o'zgarishi hisobiga bajariladi. Bunda termostatdan gazga issiqlik uzatish sodir bo'ladi. Silindrda porshen sekin harakatlanganda gazning harorati tenglashishga ulguradi va haqiqiy sodir bo'layotgan jarayon izotermikka yaqinlashadi, bunda kengayayotga gaz termostatdan bir qancha issiqlikni oladi ($Q > 0$).



2.7-rasm. Izotermik jarayonni tahlil qilishga oid.

Agar tashqi moslama idishda gaz hajmining sekin kamayishini ($\Delta V < 0$) ta'minlasa, u holda gazni siqishda bosim kuchining ishi $L < 0$ ichki energiyani va haroratni oshishiga olib keladi. Natijada gazdan termostatga issiqlik uzatish sodir bo'ladi. Gazni izotermik siqish tashqi kuch ta'sirida sodir bo'ladi: $A' > 0$.

1. Jarayon tenglamasi $T = const$ yoki $dT = 0$.
2. 1-2 jarayon uchun 1 va 2 nuqtada gazning holat tenglamasi:

$$p_1 v_1 = RT_1, \quad p_2 v_2 = RT_1$$

Birinchi tenglamani ikkinchisiga bo'lib *Boyl-Mariott qonuniga* ega bo'lamiz:

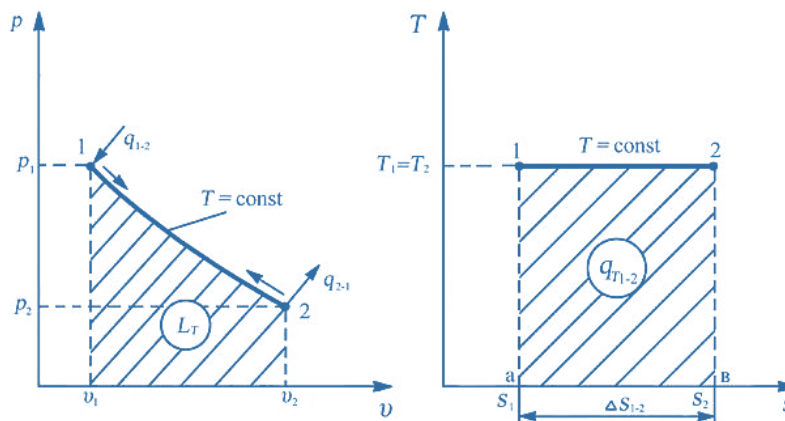
$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (2.26)$$

Bundan yana bitta tenglama olish mumkin, ya'ni:

$$pv = \text{const}$$

Ushbu munosabatdan shunday xulosa qilish mumkinki, ya'ni gaz hajmining o'zgarishi uning bosimiga teskari proporsional.

3. Izotermik jarayonning $p - v$ va $T - s$ diagrammalari quriladi (2.8-rasm).



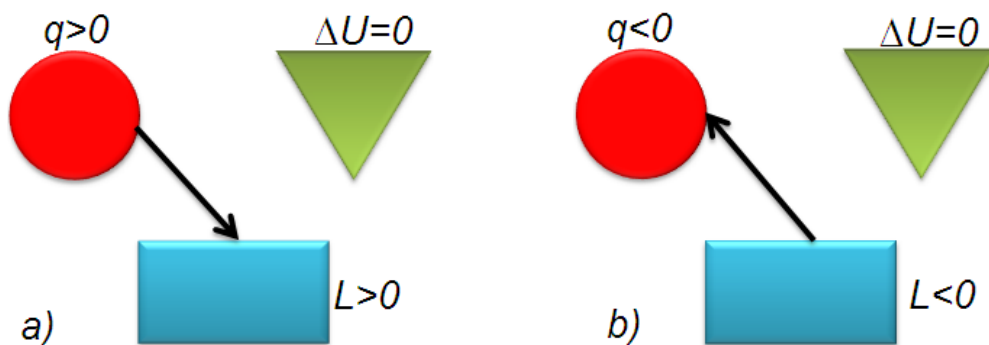
2.8-rasm. Gaz holatini izotermik jarayonda o'zgarishining $p - v$ va $T - s$ diagrammalari.

4. Ichki energiyaning o'zgarishi. Izotermik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$dq = pdv = dl \quad (2.27)$$

Shunday qilib, izotermik jarayonda ishchi jismga keltirilgan barcha issiqlik ish bajarishga sarflanar ekan:

$$du = c_v dT = 0 \quad (2.28)$$



2.9-rasm. Izotermik jarayonda energiyaning taqsimlanishi:

a-ishchi jismga issiqlik uzatilganda (1-2 jarayon); b-ishchi jismdan issiqlik olib ketilganda (2-1 jarayon).

5. Izotermik jarayonda bajarilgan ish:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv = p(v_2 - v_1) \quad (2.29)$$

Ideal gaz holat tenglamasidan $p = RT/v$, u holda:

$$l = RT \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = RT(\ln v_2 - \ln v_1) = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (2.30)$$

yoki

$$l = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = p_2 v_2 \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.31)$$

6. Izotermik jarayonda ishtirok etayotgan solishtirma issiqlik miqdori $dq = Tds$. Bu tenglamani integrallaymiz va $q = T(s_2 - s_1)$.

7. Izotermik jarayonda solishtirma entropiyaning o'zgarishi $s = \frac{dq}{T}$. Bunda $dq = Tds = pdv$, $ds = \frac{1}{T} pdv$. Tenglamalarni integrallashtirishdan so'ng:

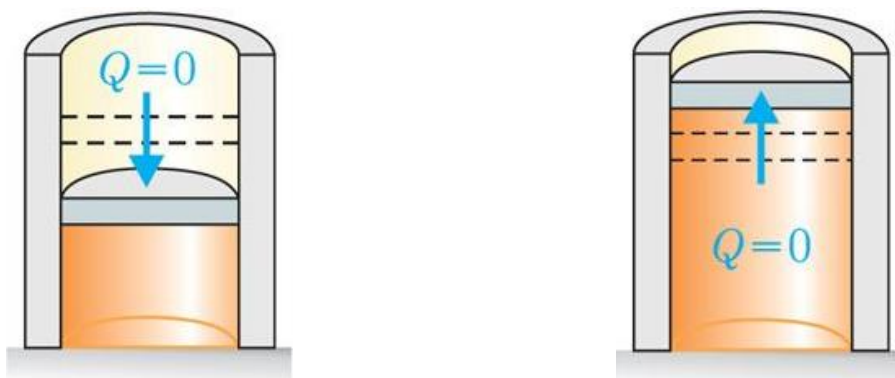
$$s_2 - s_1 = \frac{1}{T} \int_{v_1}^{v_2} pdv = \int_{v_1}^{v_2} \frac{R}{v} dv = R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.32)$$

2.5. Adibatik jarayon.

Atrof-muhit bilan issiqlik almashinmasdan amalga oshadigan jarayon *adiabatik jarayon* deb ataladi. Jarayon egri chizig'i *adiabata* deb nomlanadi. Demak adiabatic jarayonda $Q = 0$. U holda adibatik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\Delta U = -L \text{ yoki } L = -\Delta U \quad (2.33)$$

Adibatik jarayonda tizim ichki energiyasining o'zgarishi faqatgina ish bajarish hisobiga sodir bo'ladi. Agar tashqi kuchlar gazni siqish orqali ish bajarsa, u holda gazning ichki energiyasi ortadi ($\Delta U > 0$) va gaz qiziydi (2.10-rasm, a).



2.10-rasm. Adibatik jarayonni tahlil qilishga oid.

Agar gazning bosim kuchi kengayish orqali ish bajarsa, u holda gazning ichki energiyasi kamayadi ($\Delta U < 0$) va gaz soviydi (2.10-rasm, b).

1. Adiabatik jarayonning tenglamasi $dq=0$, demak:

$$ds = \frac{dq}{T} = 0 \quad (2.34)$$

2. Termodinamikaning birinchi qonunidan ma'lumki $dq=0$ bo'lganda $c_p dT - v dp = 0$ va $c_v dT + p dv = 0$.

Birinchi tenglamani ikkinchisiga bo'lamiz, u holda:

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

yoki

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

Oxirgi tenglamani $k=const$, $c_p=const$ va $c_v=const$ bo'lganda integrallaymiz, natijada:

$$k \ln v + \ln p = const$$

Bunda

$$\boxed{pv^k = const} \quad (2.35)$$

Oxirgi tenglama adiabatik jarayonning yana bir tenglamasi hisoblanadi.

Adiabata tenglamasidan gaz holatining parametrlari orasidagi bog'lanishni ifodalovchi adiabatik jarayon tenglamalarini keltirib chiqarish mumkin:

P va V o'rtasida:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k \quad (2.36)$$

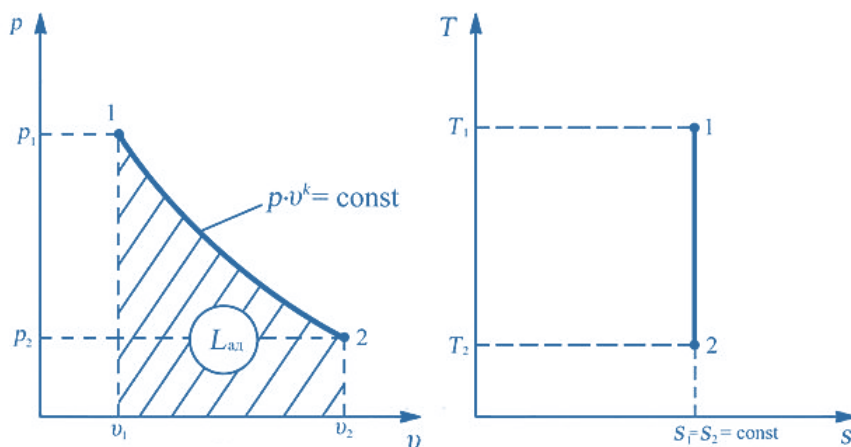
T va V o'rtasida:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \quad (2.37)$$

P va T o'rtasida:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (2.38)$$

3. Adiabatik jarayonning $p - v$ va $T - s$ diagrammalari quriladi (2.11-rasm).



2.11-rasm. Gaz holatini adiabatik jarayonda o'zgarishining $p - v$ va $T - s$ diagrammalari.

4. Adiabatik jarayonda ichki energiyaning o'zgarishi va bajarilgan ish $dq=0$ bo'lganda termodinamika birinchi qonunidan aniqlanadi:

$$du = -dl = c_v dT \quad (2.39)$$

Tenglamani integrallaymiz:

$$u_1 - u_2 = l = c_v(T_1 - T_2) \quad (2.40)$$

Shunday qilib adiabatik jarayonda ichki energiya hisobiga ish bajariladi.

Adibatik jarayonda bajarilgan ish quyidagi formula bo'yicha ham aniqlanishi mumkin:

$$l = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) \quad (2.41)$$

bu yerda

$$\frac{R}{k-1} = c_v \quad (2.42)$$

Holat tenglamasidan $T_1 = \frac{p_1 v_1}{R}$, $T_2 = \frac{p_2 v_2}{R}$, u holda ishni aniqlash formulasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$l = \frac{1}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) \quad (2.43)$$

$p_1 v_1$ ni qavsdan tashqariga chiqaramiz, natijada:

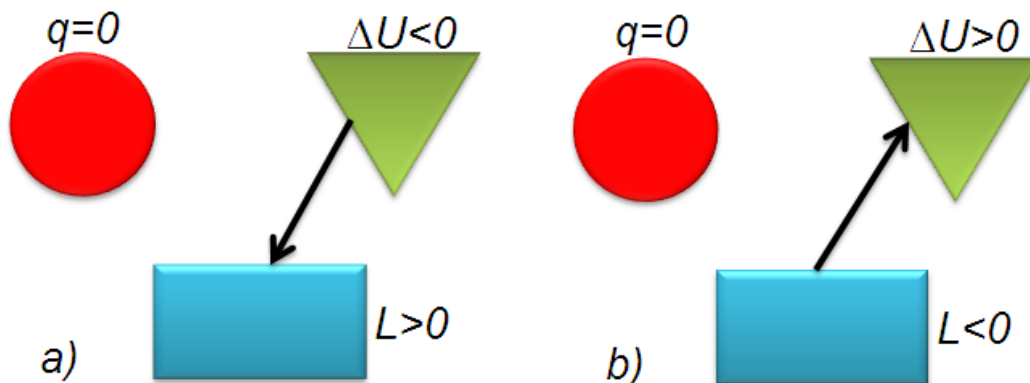
$$l = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \quad (2.44)$$

$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$ va $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$ ekanligini hisobga olganda:

$$l = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left(1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \right); \quad l = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \quad (2.45)$$

Bajarilgan to'liq ish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$l_0 = - \int_{p_1}^{p_2} v dp \quad (2.46)$$

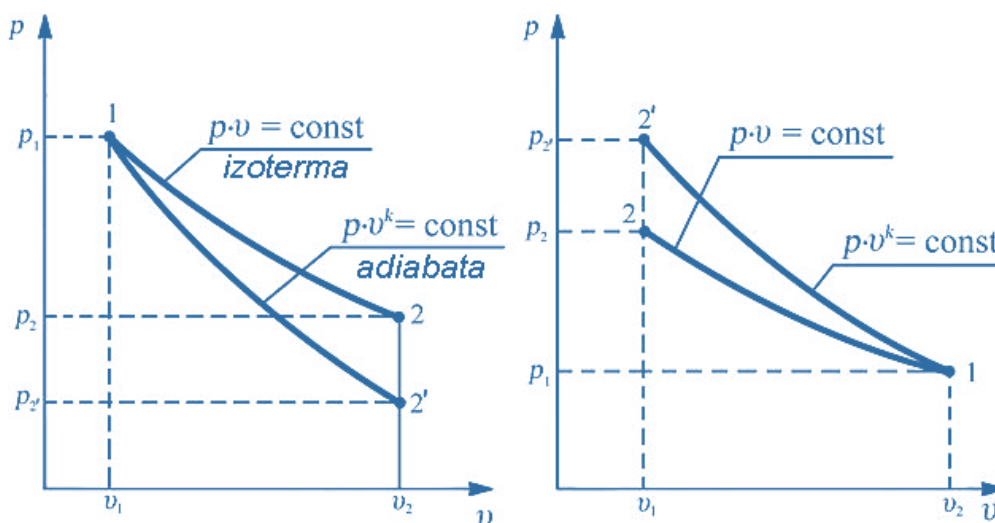


2.12-rasm. Adiabatik jarayonda energiyaning taqsimlanishi:

a-ishchi jismga issiqlik uzatilganda (1-2 jarayon); b-ishchi jismdan issiqlik olib ketilganda (2-1 jarayon).

5. Adiabatik jarayonda entropiyaning o'zgarishi $ds=0$. Bunda $s_1=s_2=const$. Demak adiabatik jarayon bir vaqtning o'zida izoentrop (entropiya o'zgarmas bo'lganda) jarayon deb ataladi.

Endi P-V va T-S diagrammalarda izoterma va adiabataning joylashuviga e'tibor beraylik (2.13-rasm).



2.13-rasm. Adiabata va izotermalarni taqqoslash:

a-gazni kengayish jarayoni; b-gazni siqish jarayoni.

Izotermik jarayon bo'yicha gaz kengaysa, uning bosimi adiabataga nisbatan sekinroq, gaz siqilganda esa, adiabatik jarayondagiga nisbatan yana ham sekinroq o'zgaradi. Adiabatik jarayon grafigining tikligiga asosiy sabab, o'rganilayotgan gaz kengayganda uning ichki energiyasi va harorati kamayadi, agar gaz siqilsa, uning hajmini kamayishi natijasida ichki energiyasi va harorati ortadi.

2.6. Politrop jarayon.

Solishtirma issiqlik sig'imi o'zgarmasdan qoladigan jarayon *politrop jarayon* deb nomlanadi, jarayon chizig'i esa *politropa* deb ataladi. Politropalar – gaz jarayonlarini ifodalovchi egri chiziqlar, ularda barcha termodinamik jarayonlarning o'zgarishi sodir bo'ladi.

1. Politropik jarayon tenglamasi. Politrop jarayonda ishtirok etuvchi solishtirma issiqlik miqdori quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$q = c(T_2 - T_1) \text{ va } dq = cdT \quad (2.47)$$

bu yerda c – politrop jarayonning issiqlik sig'imi.

Tenglamaga termodinamikaning birinchi qonunini qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$dq = cdT = c_v dT + pdv \quad (2.48)$$

$$dq = cdT = c_p dT - vdp \quad (2.49)$$

Ikkinchi tenglamani birinчисiga bo'lamiz:

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

$\frac{c - c_p}{c - c_v} = n$ deb belgilaymiz va $\frac{ndv}{v} = - \frac{dp}{p}$ aniqlaymiz.

Integrallashdan so'ng $n \ln v + \ln p = \text{const}$ ni topamiz, yoki:

$$\boxed{pv^n = \text{const}} \quad (2.50)$$

Olingan tenglama politrop jarayonning tenglamasi hisoblanadi, bu yerda n politropa ko'rsatkichidir.

Politropa ko'rsatkichi n $-\infty$ dan $+\infty$ gacha oraliqlarda o'zgaradi. Xususiy hollarda, ya'ni n aniq qiymat qabul qilsa, u holda politrop jarayon yuqorida keltirilgan jarayonlardan biriga o'tadi. Masalan:

$n=\pm\infty$ bo'lganda $p^{1/n} = const$, demak, $v=const$ izoxorik jarayon.

$n=0$ bo'lganda $pv^0 = const$, demak, $p=const$ izobarik jarayon.

$n=1$ bo'lganda $pv = const$, demak, $t=const$ izotermik jarayon.

$n=k$ bo'lganda $pv^k = const$, demak adiabatik jarayon.

Shunday qilib, politrop jarayon barcha jarayonlarni umulashtiruvchi jarayon hisoblanadi.

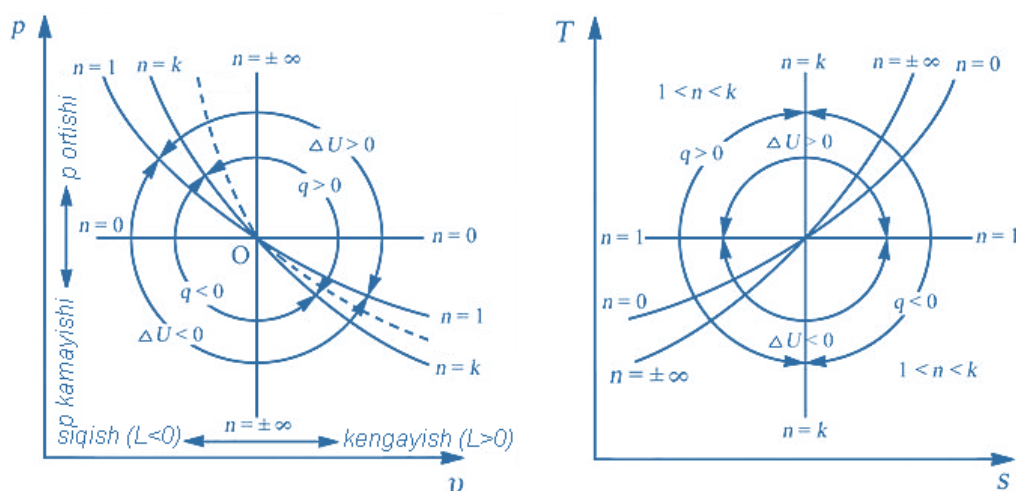
2. Politropa tenglamalari adiabat tenglamalariga o'xshashdir, shuning uchun adiabat ko'rsatkichini politropa ko'rsatkichi bilan almashtirib quyidagi tenglamalarni yozish mumkin:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n \quad (2.51)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1} \quad (2.52)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (2.53)$$

3. Politrop jarayonning $p - v$ va $T - s$ diagrammalari quriladi (2.14-rasm).



2.14-rasm. Gaz holatini politrop jarayonda o'zgarishining $p - v$ va $T - s$ diagrammalari.

4. Politrop jarayonda bajarilgan ish. Adiabatik jarayonda bajarilgan ish uchun tenglamalarga o'xshash holda k ni n ga almashtiramiz va politrop jarayonda bajarilgan ishni aniqlash uchun quyidagi tenglamalarga ega bo'lamiz:

$$l = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2); \quad l = \frac{1}{n-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

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

Politrop jarayonda issiqlik sig'imi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$c = c_v \frac{n-k}{n-1} \quad (2.54)$$

5. Politrop jarayonda entropiyaning o'zgarishi quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.55)$$

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (2.56)$$

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.57)$$

Issiqlik sig'imi qiymatini nisbatga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$ds = \frac{dq}{T} = c \frac{dT}{T}$$

bundan

$$ds = c_v \frac{n-k}{n-1} \frac{dT}{T} \quad (2.58)$$

Integrallashdan so'ng:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = c_v \frac{n-k}{n-1} \ln \frac{T_2}{T_1} = c_v (n-k) \ln \frac{v_2}{v_1} = c_p \frac{n-k}{n} \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (2.59)$$

T-S diagrammada (2.14-rasm) politrop jarayon n ning qiymatiga bog'liq ravishda turli xil egri chiziqlar bilan tasvirlanadi.

Politrop jarayonda ichki energiya qanday o'zgarishini ko'rib chiqaylik.

Izotermik jarayonda ($n = 1$) ichki energiya o'zgarmaydi, ya'ni $u_2 = u_1$. Izobarik kengayishda ($n = 0$) ichki energiya ortadi. Izoxorik jarayonda ($n = -\infty$) issiqlik keltirilganda ichki energiya ortadi. Demak, izotermadan yuqorida joylashgan barcha kengayish jarayonlari, $n < 1$ va $n > 1$ bo'lgan siqish jarayonlari ichki energiyaning ortishi bilan kechadi. Izotermadan pastda joylashgan politrop jarayonlar, $n > 1$ da va $n < 1$ bo'lgan siqish jarayonlari ichki energiyaning kamayishi bilan kechadi.

Adiabatik jarayonda issiqlik keltirilmaydi va olib ketilmaydi. Izotermik ($n = 1$), izobarik ($n = 0$) kengayish jarayonlarida va izoxorik jarayonda ($n = -\infty$)

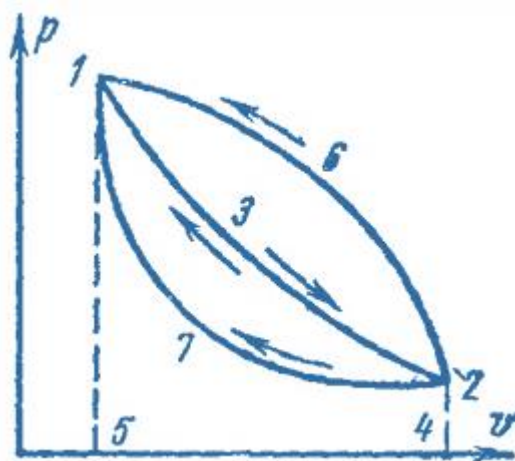
issiqlik keltiriladi. Demak, adiabatadan yuqorida joylashgan kengayish jarayonlarida ($k > n > -\infty$) va $\infty > n > k$ bo'lgan siqish jarayonlarida ishchi jismga issiqlik keltiriladi.

$\infty > n > k$ bo'lgan kengayish jarayonlarida va $-\infty < n < k$ bo'lgan siqish jarayonlarida ishchi jismdan issiqlik olib ketiladi.

Adiabata va izoterma orasida joylashgan jarayonlarda issiqlik sig'imi manfiy bo'ladi, chunki shu jarayonlarda dq va du lar ishorasi har xil. Chunki $du = c_v dT$ dan, du ning ishorasi dT ga bog'liq ($du > 0; dT > 0$ va $du < 0, dT < 0$). U holda issiqlik sig'imi ifodasidan ($s = dq/T$) ko'rinib turibdiki, haqiqatdan ham uning ishorasi manfiy. Buning mohiyati shundan iboratki, bunday jarayonlarda ishchi jismga issiqlik keltirilganda uning harorati pasayadi va issiqlik olib ketilganda esa harorati ortadi.

2.7. Aylanma jarayon.

Termodinamik jarayondagi tizim ish bajarishi uchun unga davriy ravishda ma'lum miqdordagi issiqlik energiyasi yoki ish jismi uzatib turilishi va ishga to'la aylanmasdan qolgan issiqlik miqdorini tizimdan tashqariga (sovitgichga) uzatish kerak. Shunda sikl davriy ravishda takrorlanadi. Ishchi jism sifatida faqat bitta modda qo'llanilsa, u holda modda avval kengayadi va ma'lum miqdordagi ishni bajaradi, so'ngra yana siqiladi, keyin boshlang'ich muvozanat holatiga qaytadi. Sikl qaytadan takrorlanadi (2.15-rasm).



2.15-rasm. Aylanma jarayonning P-V diagrammadagi tasviri.

2.15-rasmdan ko‘rinib turibdiki, agar ishchi jism 1-3-2 egri chiziq bo‘ylab kengaysa, u 132451 nuqtalar bilan chegaralangan yuzaga son qiymati jihatidan teng ish bajaradi.

Ishchi jism 2 nuqtaga yetgandan so‘ng, yana ish bajarishi uchun avvalgi holatiga qaytishi lozim. Ishchi jismni boshlang‘ich holatiga qaytishi uch xil bo‘lishi mumkin.

1. Siqish chizig‘i 2-3-1 kengayish chizig‘i 1-3-2 bilan ustma-ust tushadi. Bunday jarayonda kengayishda bajarilgan ish (132451 yuza) siqish ishiga (231542 yuza) teng bo‘ladi va foydali ish nolga teng.

2. Siqish chizig‘i 2-6-1 kengayish chizig‘i 1-3-2 dan yuqorida joylashgan. Bunday jarayonda siqishga (261542 yuza) kengayishda olingan ishga (132451 yuza) qaraganda ko‘proq ish sarflanadi.

3. Siqish chizig‘i 2-7-1 kengayish chizig‘i 1-3-2 dan pastda joylashgan. Bunday aylanma jarayonda kengayish ishi (132451 yuza) siqish ishidan (271542 yuza) katta bo‘ladi. Demak, foydali ishning qiymati 13271 nuqtalar hosil qilgan maydon yuzasiga son qiymati jihatidan teng bo‘ladi. Foydali ish olinadigan siklni to‘g‘ri sikl deyiladi, bu holda kengayish ishi siqish ishidan katta bo‘ladi. Siqish ishi kengayish ishidan katta, ya‘ni, ish sarflanadigan siklga teskari sikl deyiladi. Bunday sikl bilan sovitish mashinalari ishlaydi. Sikllar qaytar va qaytmas bo‘lishi mumkin. Muvozanatli jarayonlardan tashkil topgan siklga qaytar sikl deyiladi. Sikl tarkibidagi hech bo‘lmaganda bitta jarayon qaytmas bo‘lsa, u holda butun sikl ham qaytmas bo‘ladi. 2.15-rasmda tasvirlangan siklni qaytar sikl deb hisoblab uni tahlil etaylik.

Ishchi jism isitgichdan olingan q_1 issiqlik hisobiga 1-3-2 yo‘l bo‘yicha kengayib, l_1 kengayish ishini bajaradi. 2-7-1 yo‘lda siqish uchun l_2 ish sarflanib, sovitgichga q_2 issiqlik beriladi va ma‘lum bir qism ish ichki energiyani boshlang‘ich holatigacha ortishiga sarflanadi.

To‘g‘ri sikl natijasida $l = l_1 - l_2$ foydali ish bajariladi. Issiqlik miqdorlari q_1 va q_2 hamda foydali ish orasidagi nisbat termodinamikaning birinchi qonuni orqali aniqlanadi:

$$q = q_1 - q_2 = u_2 - u_1 + l \quad (2.60)$$

Siklda tizimning boshlang'ich va oxirgi holatlari bir xil bo'lgani uchun $u_1 = u_2$, shuning uchun

$$q_1 - q_2 = l \quad (2.61)$$

Bir sikl davomida foydali ishga aylangan issiqlik miqdorini jismga keltirilgan umumiy issiqlik miqdoriga nisbati to'g'ri siklning *termik foydali ish koeffitsienti* deb aytiladi:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{l}{q_1} \quad (2.62)$$

2.8. Karno sikli.

Termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq termodinamik siklni amalga oshirish uchun kamida ikkita issiqlik manbasi kerak bo'ladi: issiq (issiqlik uzatuvchi) o'zgarmas T_1 haroratli va sovuq (issiqlik qabul qilgich) o'zgarmas T_2 haroratli, ya'ni $T_2 < T_1$. Siklda issiqlikni uzatish va olib ketishning qaytar sharti kuzatilishi faqatgina izotermalar T_1 va T_2 bo'yicha amalga oshirilishi mumkin. Ammo ikkita izoterma yordamida aylanma jarayonni hosil qilish mumkin emas. Modomiki, boshqa tashqi issiqlik manbalari yo'q ekan T_1 va T_2 orasida dastlabki holatga qaytish faqatgina 2-3 va 4-1 adiabatga bo'yicha amalga oshadi.

Ma'lumki, eng oddiy qaytar sikl ikkita izoterma (1-2, 3-4) va ikkita adiabatga (2-3, 4-1) dan iborat bo'lishi kerak (2.16 va 2.17-rasm). Ikkita issiqlik iste'molchisi mavjud bo'lgan bunday sikl birinchi marta fransuz muhandisi S. Karno (1824 yil) tomonidan taklif qilingan va uning sharafiga *Karno sikli* deb nomlanadi.

2.16-rasmdan ko'rish mumkinki, siklga uzatilgan solishtirma issiqlik miqdori quyidagicha:

$$q_1 = 12s_2s_11 = T_1(s_2 - s_1) \quad (2.63)$$

Olib ketilgan issiqlikning solishtirma miqdori esa:

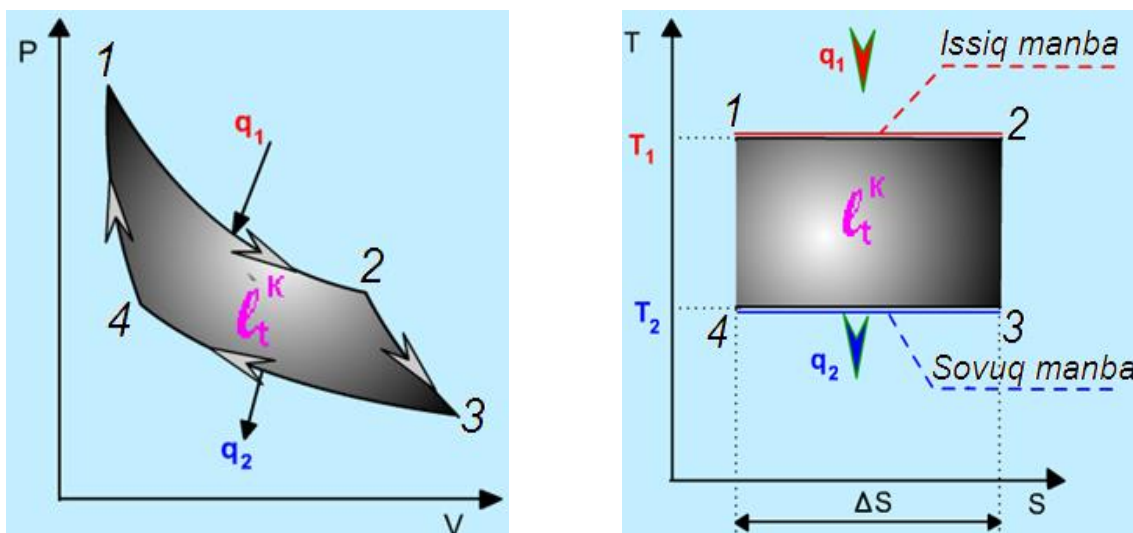
$$q_2 = 34s_1s_23 = T_2(s_2 - s_1) \quad (2.64)$$

U holda Karno siklining termik FIK:

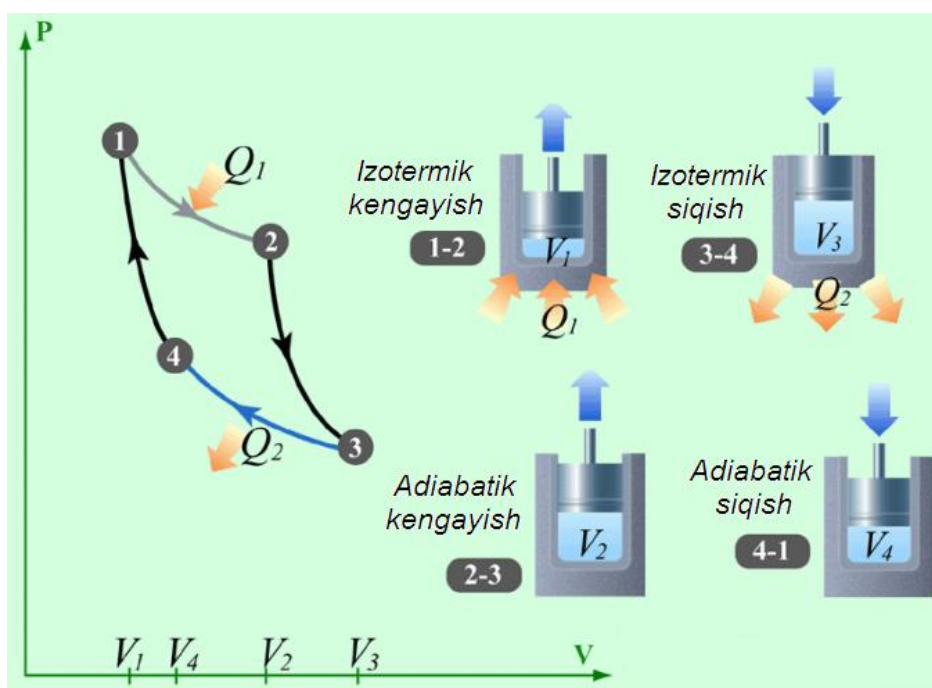
$$\eta = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (2.65)$$

Shunday qilib, Karno siklining termik FIK faqatgina issiq va sovuq issiqlik manbalarining absolyut haroratiga bog'liq va ishchi jismning xususiyatlariga bog'liq emas, ya'ni ishchi jism sifatida ideal gaz emas har qanday boshqa gazdan foydalanish mumkin. Bu ifoda *Karnoning birinchi teoremasi* deb nomlanadi. Demak

$$\eta_{\text{Karno}} = f(T_1, T_2)$$



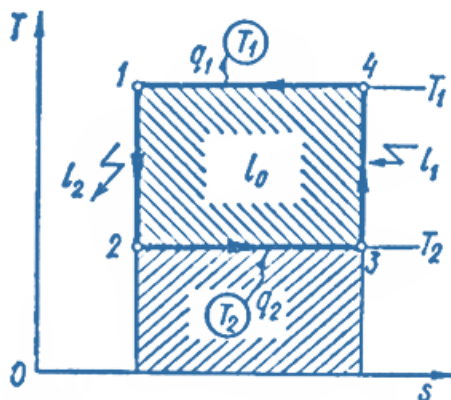
2.16-rasm. Karno siklining P-V (a) va T-S diagrammalari (b).



2.17-rasm. Karno siklida amalga oshiriladigan jarayonlar.

Karnoning teskari sikli. Ushbu sikl soat ko'rsatkichiga teskari ravishda amalga oshiriladi, ishchi jism avval solishtirma tashqi ish l_1 hisobiga adiabat 3-4

bo'yicha siqiladi (2.18-rasm), keyin izoterma 4-1 bo'yicha solishtirma issiqlik q_1 yuqori manbaga beriladi. Keyin ishchi jismning 1-2 adibata bo'yicha kengayishi sodir bo'lib solishtirma tashqi ish l_2 olinadi va ishchi jismning harorati T_1 dan T_2 gacha kamayadi, keyin 2-3 izoterma bo'yicha quyi manba (sovitgich) tomonidan solishtirma issiqlik q_2 tortib olinadi.



2.18-rasm. Karnoning teskari siklini T-S diagrammasi.

Teskari siklni (sovitish siklini) amalga oshishi natijasida issiqlik sovuq jismdan ancha issiq jisimga tashqi solishtirma ish l_0 hisobiga uzatiladi, bu jarayon ekvivalent maydon to'g'ri to'rtburchak 34123 ni ifodalaydi va $l_0 = l_1 - l_2$ ni tashkil qiladi.

Shunday qilib, ko'rib o'tilgan, ya'ni quyi manbadan yuqori manbaga issiqlikni uzatish jarayoni termodinamikaning ikkinchi qonuniga zid emas, shuningdek u o'z-o'zidan sodir bo'lmaydi, balki qo'shimcha jarayon hisobiga ish issiqlikka aylanadi.

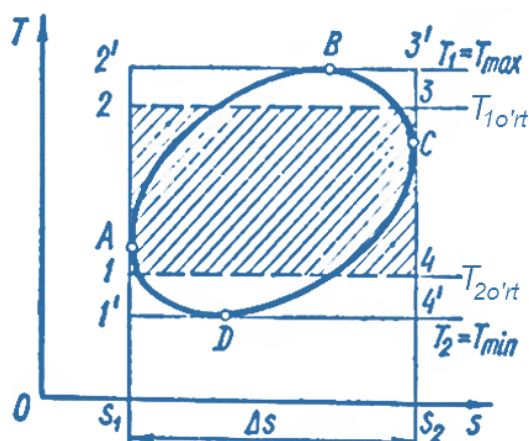
Karnoning teskari sikli uchun sovitish koeffisientini harorat orqali ifodalash oson. Karnoning teskari siklini *sovitish koeffisienti* quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{q_1}{q_2} - 1} = \frac{1}{\frac{T_1(s_3 - s_2)}{T_2(s_3 - s_2)} - 1} = \frac{1}{\frac{T_1}{T_2} - 1} \quad (2.66)$$

Oxirgi ifodadan shuni xulosa qilish mumkinki, sovitish qurilmalarining samaradorligini ortishi tashqi muhit harorati T_1 ni pasayishi va sovitilayotgan xonaning harorati T_2 ni ortishi bilan bog'liq, ya'ni haroratlar farqi $T_1 - T_2$ ni ortishi bilan qurilmalarining samaradorligi ortadi.

Karnoning ekvivalent sikli. Karno sikli issiqlik mashinalarining nazariyasi uchun katta ahamiyatga bo'lgan qator muhim xususiyatlarni xarakterlaydi.

Sovitish ko'ffisientining tengligidan ko'rish mumkinki, Karno sikli katta bo'lishi uchun issiqlik uzatgichning harorati shuncha yuqori va issiqlik qabul qilgichning harorati shuncha past bo'lishi kerak. Har qanday ixtiyoriy sikl ABCD (2.19-rasm) da issiqlikni uzatish va olib ketish o'zgaruvchan haroratlarda sodir bo'ladi, bu siklni Karnoning ekvivalent sikli 1234 bilan almashtirish mumkin, bunda q_1 , q_2 va solishtirma entropiyani o'zgarishi s_2-s_1 ABCD sikldagi bilan mos keladi.



2.19-rasm. Karnoning ekvivalent siklini T-S diagrammasi.

Shuni e'tiborga olganda:

$$q_1 = T_{1o'rt}(s_2 - s_1); \quad q_2 = T_{2o'rt}(s_2 - s_1)$$

Har qanday ixtiyoriy siklning termik FIK quyidagicha:

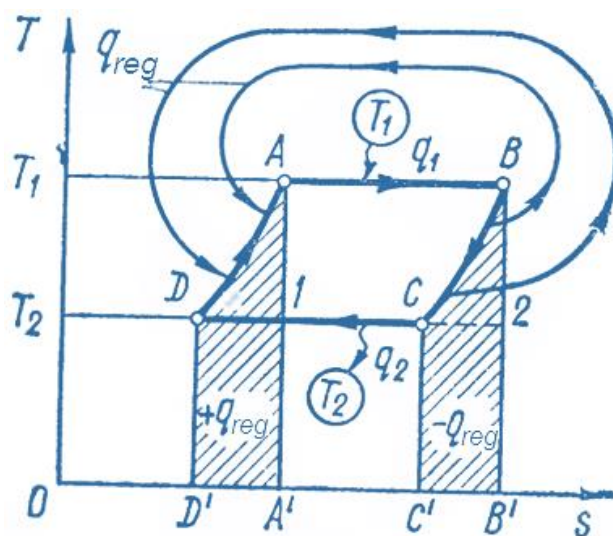
$$\eta = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_{2o'rt}}{T_{1o'rt}} \quad (2.67)$$

Ma'lumki, issiqlik yuritgichining har qanday siklini termik FIK ni oshirish uchun issiqlikni uzatish jarayonida o'rtacha haroratni ($T_{1o'rt}$) oshirish va issiqlik olib ketish jarayonida o'rtacha haroratni ($T_{2o'rt}$) kamaytirish kerak. Bu Karno siklining muhim amaliy ahamiyatini belgilaydi.

$T_{1o'rt}=T_{max}$ va $T_{2o'rt}=T_{min}$ bo'lganda chetki haroratlar T_{max} va T_{min} orasida amalga oshirilayotgan har qanday siklning termik FIK ning chegarasi Karno siklining termik FIK deb ataladi. Demak, haroratning ushbu oralig'ida Karno sikli eng katta samaradorlikka ega bo'ladi (Karnoning ikkinchi teoremasi).

Bundan shuni xulosa qilish mumkinki, har qanday termodinamik siklni takomillashtirish darajasi, ixtiyoriy siklning chetki haroratlari orasida amalga oshiriladigan Karno siklining termik FIK ni $1'2'3'4'$ taqqoslash bilan aniqlash mumkin. Bunda Karno sikli katta ilmiy ahamiyatga ega ekanligini ko'rish mumkin.

Karnoning umumlashgan (regenerativ) sikli. Haroratning belgilangan oralig'ida T_1 dan T_2 gacha eng yuqori FIK nafaqat Karno siklida, balki ikkita izoterma AB va CD dan tashkil topgan har qanday siklda FIK yuqori bo'ladi (2.20-rasm). Buning uchun BC jarayon amalga oshayotgan vaqtda issiqlik ishchi jismdan tashqi issiqlik qabul qilgichga berilmaydi va yordamchi issiqlik almashinuvi qurilmasi (regenerator) yordamida ishchi jismni qizdirish DA jarayoniga qaytariladi. Shuni ta'kidlash joizki, ishchi jismning tashqi issiqlik manbai faqat siklning AB va CD qismlari bilan bog'liq.



2.20-rasm. Karnoning umumlashgan (regenerativ) siklini T-S diagrammasi.

Ma'lumki, $CBB'C'$ maydon = $DAA'D$ maydon, ya'ni ushbu jarayonlarda solishtirma issiqlik miqdori bir xil, ammo ishorasi bo'yicha qarama-qarshi. Demak, ABCD siklda tashqi issiqlikning solishtirma issiqligi q_1 va q_2 , AB21A Karno siklini kabi bo'ladi. q_1 va q_2 lar teng bo'lganda sikllarning termik FIK lari ham teng bo'ladi:

$$\eta_{umu} = \eta_{Karno} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (2.68)$$

Mavzuni mustahkamlash uchun test savollari.

1. Asosiy termodinamik jarayonlar nechta?
a) 5; b) 4; v) 3; g) 2
2. O'zgarish hajmda kechadigan jarayon qanday nomlanadi?
a) izoxorik; b) izobarik; v) izotermik; g) adiabatik
3. O'zgarish bosimda kechadigan jarayon qanday nomlanadi?
a) izobarik; b) izoxorik; v) izotermik; g) adiabatik
4. O'zgarish haroratda kechadigan jarayon qanday nomlanadi?
a) izotermik; b) izoxorik; v) izobarik; g) adiabatik
5. Atrof-muhit bilan issiqlik almashinmasdan kechadigan jarayon qanday nomlanadi?
a) adiabatik; b) izoxorik; v) izobarik; g) izotermik
6. Tizimning issiqlik sig'imi o'zgarish bo'lgan jarayon qanday nomlanadi?
a) politropik; b) izoxorik; v) izobarik; g) izotermik
7. Izoxorik jarayon tenglamasini ko'rsating?
a) $v = const$; b) $p = const$; v) $T = const$; g) $s = const$
8. Izobarik jarayon tenglamasini ko'rsating?
a) $p = const$; b) $v = const$; v) $T = const$; g) $s = const$
9. Izotermik jarayon tenglamasini ko'rsating?
a) $T = const$; b) $v = const$; v) $p = const$; g) $s = const$
10. Adiabatik jarayon tenglamasini ko'rsating?
a) $pv^k = const$; b) $v = const$; v) $p = const$; g) $T = const$
11. Politropik jarayon tenglamasini ko'rsating?
a) $pv^n = const$; b) $v = const$; v) $p = const$; g) $s = const$
12. Izoxorik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonunini ko'rinishi qanday?
a) $dq = du$; b) $dq = 0$; v) $dq = du + dl$; g) $dq = dl$
13. Izobarik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonunini ko'rinishi qanday?
a) $dq = du + dl$; b) $dq = 0$; v) $dq = du$; g) $dq = dl$
14. Izotermik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonunini ko'rinishi qanday?

a) $dq = dl$; b) $dq = 0$; v) $dq = du + dl$; g) $dq = du$

15. Adiabatik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonunini ko'rishni qanday?

a) $dq = 0$; b) $dq = du$; v) $dq = du + dl$; g) $dq = dl$

16. Izoxorik jarayonda bajarilgan ishni ko'rsating?

a) $dl = 0$; b) $dl = dq$; v) $dl = dq - du$; g) $dl = -du$

17. Izobarik jarayonda bajarilgan ishni ko'rsating?

a) $dl = dq - du$; b) $dl = 0$; v) $dl = dq$; g) $dl = -du$

18. Izotermik jarayonda bajarilgan ishni ko'rsating?

a) $dl = dq$; b) $dl = 0$; v) $dl = dq - du$; g) $dl = -du$

19. Adiabatik jarayonda bajarilgan ishni ko'rsating?

a) $dl = -du$; b) $dl = dq$; v) $dl = dq - du$; g) $dl = 0$

20. Karno sikli qanday jarayonlardan tashkil topgan?

a) 2 ta izoterma va 2 ta adiabat; b) 2 ta izoterma va 2 ta izoxora;
v) 2 ta izoxora va 2 ta izobara; g) 2 ta politropa va 2 ta adiabat

21. Karno siklining termik FIK ni aniqlash formulasi qanday?

a) $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$; b) $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$; v) $\eta = \frac{T_2}{T_1} - 1$; g) $\eta = \frac{T_1}{T_2} - 1$;

22. Izoxorik jarayonning chizig'i qanday nomlanadi?

a) izoxora; b) izobara; v) izoterma; g) adiabat

23. Izobarik jarayonning chizig'i qanday nomlanadi?

a) izobara; b) izoxora; v) izoterma; g) adiabat

24. Izotermik jarayonning chizig'i qanday nomlanadi?

a) izoterma; b) izoxora; v) izobara; g) adiabat

25. Adiabatik jarayonning chizig'i qanday nomlanadi?

a) adiabat; b) izoxora; v) izoterma; g) izobara

26. Politropik jarayonning chizig'i qanday nomlanadi?

a) politropa; b) izoxora; v) izoterma; g) izobara

Nazorat savollari.

1. Termodinamik jarayonlarni o'rganish yo'lini ketma-ketligini ayting?
2. Izoxorik jarayonni tahlil qiling va jarayonga misollar keltiring?
3. Izobarik jarayonni tahlil qiling va jarayonga misollar keltiring?
4. Izotermik jarayonni tahlil qiling va jarayonga misollar keltiring?
5. Adiyabatik jarayonni tahlil qiling va jarayonga misollar keltiring?
6. Politropik jarayonni tahlil qiling va jarayonga misollar keltiring?
7. Karno siklini tushuntiring va uning kamchiliklarini ayting?
8. Karnoning teskari siklini tushuntiring va unga misollar keltiring?
9. Karnoning ekvivalent siklini tushuntiring?
10. Karnoning umumlashgan (regenerativ) siklini qo'llashning ahamiyati nimada?

III-BOB. ISSIQLIK ENERGETIK QURILMALARINING SIKLLARINI TERMODINAMIK TAHLIL QILISHNING UMUMIY METODIKASI.

3.1. To'g'ri sikllarning termodinamik samaradorlik ko'rsatkichi.

Bir maqsadli sikllar. Mexanik (elektr) energiyani ishlab chiqarish uchun mo'ljallangan to'g'ri termodinamik sikllarning samaradorlik ko'rsatkichi sifatida shunday koeffitsient tanlanadiki, bu koeffitsient sarflangan issiqlik birligiga nisbatan sikl eng katta foydali ishga erishishini maksimal ta'minlashi kerak.

To'liq qaytar va ichki qaytar (ideal) sikllar uchun bunday ko'rsatkich termik FIK hisoblanadi:

$$\eta_t = \frac{l_{st}}{q_{1t}} = 1 - \frac{T_{2o'rt}}{T_{1o'rt}} \quad (3.1)$$

bu yerda l_{st} -qaytar siklning foydali ishi, ya'ni 1 kg ishchi jismga mos keluvchi siklning foydali ishi, kJ/kg; q_{1t} -sikldagi barcha jarayonlarni to'liq qaytarligiga mos keluvchi nazariy uzatilgan issiqlik, kJ/kg; $T_{1o'rt}$ va $T_{2o'rt}$ -issiqlikni uzatish va olib ketish jarayonlarida ishchi jismning haroratini o'rtacha qiymati, K.

Ammo qator holatlarda, ya'ni q_{1t} kattaligi siklning tanlangan parametrlariga yoki konfiguratsiyasiga bog'liq bo'lsa, termik FIK termodinamik siklning samaradorligini asosiy ko'rsatkichlari talabiga mos kelmaydi. Haqiqatdan, masalan, agar haroratlar farqi ΔT_1 ortsa, q_1 ortadi, u holda η_t ham ortadi. Bunday hollarda siklni qurishning optimal sharoitini topish uchun ushbu maqsadlarda juda qulay bo'lgan yangi ko'rsatkichni aniqlash kerak. Bunga misol qilib, utilizatsion qurilmalarning sikllarini keltirish mumkin, ularda qandaydir texnikaviy moslamadan tashlab yuborilayotgan issiqlikdan siklda foydalanilganlik miqdori siklning belgilangan parametrlariga va konfiguratsiyasiga to'g'ri bog'liqdir.

Termik FIK shuningdek, siqish va kengayish jarayonlaridagi mexanik yo'qotilishlarni, issiqlik amashinuvi qurilmalaridagi gidravlik yo'qotilishlarni va ichki issiqlik almashinuvini qaytmasligidan yo'qotilishlarni inobatga olmaydi. Bir maqsadga mo'ljallangan real issiqlik dvigatellarni uchun barcha yo'qotilishlarni

hisobga oluvchi eng to‘liq ko‘rsatkich bu samarali FIK, u olingan foydali ishni l_f , sarflangan issiqlikka Q nisbatiga teng:

$$\eta_s = \frac{l_f}{Q} \quad (3.2)$$

Faqatgina elektr energiyani ishlab chiqarish uchun mo‘ljallangan elektr stansiyalarda bunday ko‘rsatkich elektrik FIK hisoblanadi, u tarmoqqa uzatilgan energiyani E_{uza} , sarflangan foydali issiqlikka Q_f nisbatidan aniqlanadi:

$$\eta_e = \frac{E_{uza}}{Q_f} \quad (3.3)$$

bu yerda $E_{uza} = E_{i.ch} - \Delta E_{o'.eh}$ -qurilmada ishlab chiqarilgan va uning o‘z ehtiyojlariga sarflangan elektr energiyasi orasidagi farq; B-yoqilg‘ining haqiqiy sarfi.

Ma’lumki, amaliy nuqtai nazardan issiqlik energetik qurilmasining tanlangan termodinamik sikli eng yaxshi bo‘lishi uchun real sharoitlarda amalga oshirilayotgan sikl η_e ni maksimumiga erishini ta’minlashi kerak.

Ba’zi hollarda, ya’ni solishtirma sarflar va energiya yo‘qotilishlari (3.3) tenglamadagi kasrning suratiga va maxrajiga proporsional bo‘lsa, ular η_e maksimum holatiga ta’sir etmaydi, faqatgina uning absolyut qiymati o‘zgaradi, u holda belgilangan sharoitga ega termodinamik siklni amalga oshirish uchun ichki FIK η_1 (siklning foydali ishini, siklga uzatilgan haqiqiy issiqlikka nisbatiga teng) qurilmaning eng katta elektrik FIK η_e ni ifodalaydi. Ushbu sharoitlarda real ichki qaytmas sikllarning termodinamik samaradorligini asosiy ko‘rsatkichi sifatida quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadigan kattalik η_i qabul qilinadi:

$$\eta_i = \frac{l_i}{q_1} \quad (3.4)$$

bu yerda l_i -siklning “ichki ishi” va q_1 -siklda haqiqiy uzatilgan issiqlik.

Organik yoqilg‘ida ishlovchi bir maqsadli issiqlik energetik qurilmalari sikllarining samaradorligini asosiy ko‘rsatkichi sifatida η_i ni qo‘llash quyidagicha izohlanadi, ya’ni ko‘pgina hollarda 1 kg yoqilg‘ini yoqishdan hosil qilingan issiqlik tanlangan siklga bog‘liq emas. Bunda $\eta_i = \frac{l_i}{q_1}$ qiymatning maksimumi 1 kg yoqilg‘iga nisbatan eng katta foydali ishga teng bo‘ladi. Ammo ideal siklni amalga

o'shishda termik FIK kattaligini baholash umumiy qabul qilingan. Shuning uchun ichki FIK η_i va termik η_t orasida aniq bog'liqlikni o'rnatish va uni maksimumga yetkazish yo'llarini aniqlovchi omillarni topish zarur.

(3.4) dagi l_i qiymatni kengayish l_{ken} va siqish l_{siq} ning haqiqiy ishlarining farqi orqali o'zgartiramiz va quyidagiga ega bo'lamiz, ya'ni:

$$\eta_i = \frac{l_{ken} - l_{siq}}{q_1}$$

Endi har bir ishni ideal sikldagi qiymatini $l_{ken.t}$ va $l_{siq.t}$ orqali va jarayonning nisbiy ichki FIK orqali ifodalaymiz. U holda

$$\eta_i = \frac{\left[l_{ken.t} \eta_{oiken} - l_{siq} \left(\frac{1}{\eta_{oisiq}} \right) \right]}{q_1} \quad (3.5)$$

Agar q_1 ning haqiqiy qiymati uning ideal sikldagi qiymati orqali ifodalansa, u holda oson o'zgartirishlardan so'ng quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\eta_i = \frac{\eta_{oiken}}{\psi} \left[\frac{l_{ken.t} - l_{siq.t}}{q_{1t}} - \frac{l_{siq.t}}{q_{1t}} \left(\frac{1}{\eta_{oiken} \eta_{oisiq}} - 1 \right) \right] \quad (3.6)$$

bu yerda ψ -sikldagi jarayonlarning qaytmasligi hisobiga q_1 ni q_{1t} ga nisbatan kamayishini hisobga oluvchi koeffitsiyent.

(3.6) va (3.1) ni taqqoslaymiz va quyidagicha belgilaymiz:

$$\frac{l_{siq.t}}{q_{1t}} = \varphi_{siq} \quad (3.7)$$

natijada

$$\eta_i = \left(\frac{\eta_{oiken}}{\psi} \right) \left\{ (\eta_t - \varphi_{siq}) \left[\frac{1}{\eta_{oiken} \eta_{oisiq}} - 1 \right] \right\} \quad (3.8)$$

φ_{siq} kattalik nazariy (ideal) siklda siqishning solishtirma ishi. U termik FIK bilan mos keladi va siklning real samaradorligini xarakterlaydi. (3.8) dan shunday xulosa qilish mumkinki, berilgan η_{ken} va η_{siq} qiymatlarda η_i ning eng katta qiymatiga faqatgina quyidagi holda erishish mumkin, bunda bir vaqtning o'zida maksimum η_t va minimum φ_{siq} ga erishish kerak. Ko'pgina hollarda η_t ni ortishi bilan φ_{siq} ham ortadi, eng yaxshisi (real sharoitlarda) termik FIK katta bo'lgan sikl emas, balki φ_{siq} ning eng kichik qiymatiga yoki η_t va φ_{siq} orasida optimal munosabat bo'lgan sikldir.

Ushbu qonuniyatni to'g'riligini isbotlash uchun namuna sifatida quyidagi dalilni keltirish mumkin, siklning termik FIK juda yuqori bo'lgan zamonaviy gaz turbina qurilmasi, bug' turbina qurilmalariga qaraganda kichik samarali FIK ga ega. Buning sababi gaz turbina qurilmalarining sikllarida siqish ishining kattaligidir.

Issiqlik energetik qurilmalarining qator hisoblarida siklning absolyut ichki FIK ni, termik FIK η_t ni siklning ichki nisbiy FIK η_{ois} ga ko'paytmasi orqali ifodalash qulay, ya'ni:

$$\eta_i = \eta_t \eta_{ois} \quad (3.9)$$

(3.7) bog'liqlikdan foydalanamiz va $\frac{\varphi_{siq}}{\eta_t}$ nisbatni, siklda siqishning nazariy ishi $l_{siq.t}$ ni siklning nazariy ishi $l_{s.t}$ ga nisbatiga teng deb hisoblaymiz va quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\eta_{ois} = \left(\frac{\eta_{oiken}}{\varphi} \right) \left\{ \left(1 - \frac{l_{siq.t}}{l_{s.t}} \right) \left[\frac{1}{\eta_{oiken} \eta_{oisiq}} - 1 \right] \right\} \quad (3.10)$$

Ma'lumki, $l_{s.t} = l_{ken} - l_{siq}$, u holda (3.10) dan shunday xulosa qilish mumkin, ya'ni η_{ois} ko'pgina ideal sikllarda juda yuqori, chunki ularda siqish ishini kengayish ishiga nisbati $\frac{l_{siq.i}}{l_{ken.i}}$ kichik.

Bug' turbina qurilmalarida suvni siqish ishi juda kichik va $\psi \approx 1$, demak $\eta_{ois} \approx \eta_{oiken}$. Gaz turbinali qurilmalarda η_{ois} , η_{oiken} dan anchagina kichik va ularni (3.10) orqali aniqlash kerak.

Organik yoqilg'ida ishlovchi bug' turbinali qurilmalarning sikllari ko'rilayotganda, ishchi jismga yonish mahsulotlaridan berilgan issiqlik miqdori siklning qabul qilingan konfiguratsiyasiga va uning termik FIK ga qisman bog'liq. Ma'lumki qozon qurilmasiga uzatilayotgan suvning haroratini ortishi bilan uzatilgan issiqlikning o'rtacha harorati $T_{1o'rt}$ va siklning termik FIK ortadi, bir vaqtning o'zida chiqib ketayotgan gazlar bilan yo'qotilgan issiqlik ortadi va qozon qurilmasining FIK kamayadi. Xuddi shunga o'xshash holatni texnologik moslamalar yoki pechlardan chiqib ketayotgan issiqlikdan foydalanuvchi utilizatsion qurilmalarda kuzatish mumkin. Bunda siklga uzatilgan issiqlikni ortishi

qozon-utilizatoridan chiqib ketayotgan gazlarning haroratini ortishiga olib keladi va utilizatsiyalanayotgan gazlarning foydali issiqligini ishlatilgan qismi kamayadi.

Ishchi jismga uzatilgan issiqlik Q_1 ni foydalanilgan issiqlik Q_f ga nisbati foydali issiqlikni ishlatilish koeffitsiyenti deb ataladi:

$$\eta_q = \frac{Q_1}{Q_f} \quad (3.11)$$

Bunda samarali FIK formulasi (3.2) har qanday bir maqsadli qurilma uchun quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\eta_s = \frac{L_f \eta_q}{Q_1} \quad (3.12)$$

Organik yoqilg‘ida ishlovchi elektr stansiyalar uchun, ya‘ni $Q_f = BQ_i^q = \frac{Q_1}{\eta_q}$ bo‘lganda (3.3) va (3.11) larni birgalikda yechib quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\eta_e = E_{uza} \frac{\eta_q}{Q_1} = (E_{i.ch} - \Delta E_{o'.eh}) \frac{\eta_q}{Q_1} \quad (3.13)$$

Ko‘rinib turibdiki, real siklning maksimum ichki FIK ga $\eta_i = (l_{ken} - l_{siq})q_1, \frac{E_{uza}}{Q_1}$ nisbat maksimum bo‘lgandagina erishiladi. Demak, elektrik FIK η_e (shuningdek, har qanday issiqlik energetik qurilmasining samarali FIK) maksimumga erishishi uchun real siklning samarali FIK deb nomlanadigan $\eta_q \eta_i$ ko‘paytmaning maksimumini ta‘minlash zarur:

$$\eta_n^s = \eta_q \eta_i \quad (3.14)$$

Bu yerga (3.8) formuladagi η_i qiymatni quyib quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\eta_e^s = \frac{\eta_q \eta_{oiken}}{\psi \left\{ \eta_t - \varphi_{siq} \left[\frac{1}{\eta_{oiken} \eta_{oisiq}} - 1 \right] \right\}} \quad (3.15)$$

Organik yoqilg‘ida ishlovchi bug‘ turbina qurilmalarida φ_{siq} yuzdan bir ulushlarda o‘zgaradi va $\psi \approx 1$, (3.15) dan foydalanib, real siklning samarali FIK ni hisoblash imonini beradigan taxminiy formulaga ega bo‘lamiz:

$$\eta_e^s \approx \eta_t \eta_q \eta_{oiken} \quad (3.16)$$

Ushbu (3.16) formuladan $\varphi_{siq} \gg 0$ bo‘lgan gaz turbinali yoki bug‘-gaz sikllarning takomillashganligini baholash uchun foydalanish mumkin emas. Ular uchun η_e^s ni hisoblash (3.15) formula bo‘yicha amalga oshiriladi. Yonish kamerasiga

uzatiladigan havo regenerativ qizdiriladigan gaz turbinali qurilmalar uchun $\psi = 1$ qabul qilish mumkin. U holda (3.10) formulani inobatga olib (3.15) formulani quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$\eta_e^s = \eta_t \eta_q \eta_{oiken} (1 - \gamma_{siq}) \quad (3.17)$$

bu yerda

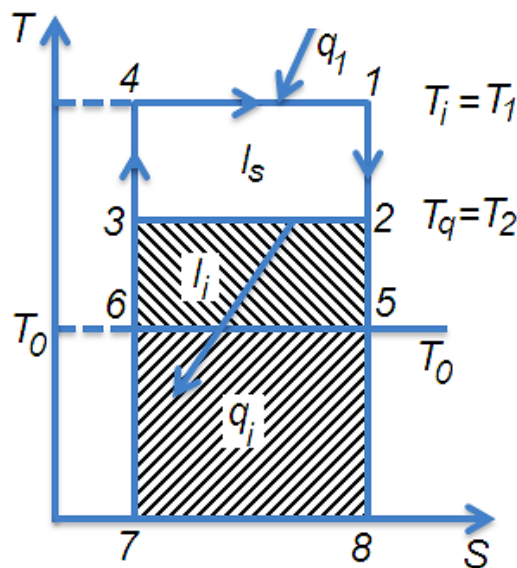
$$\gamma_{siq} = \left(\frac{l_{siq,t}}{l_{s,t}} \right) \left[\frac{1}{\eta_{oiken} \eta_{oisiq}} - 1 \right] \quad (3.18)$$

(3.18) ko‘rinib turibdiki, $l_{siq} \approx 0$ bo‘lgan bug‘li sikllar uchun $\gamma_{siq} \approx 0$, $\frac{l_{siq}}{l_s} \gg 0$ bo‘lgan gazli sikllar uchun $\gamma_{siq} = 0$, demak η_e^s anchagina kamayadi. Bundan shunday muhim xulosa qilish mumkin: siqishning nazariy ishini ideal siklning nazariy ishiga nisbati qancha kichik bo‘lsa, undan real qurilmalarda foydalanish uchun ushbu sikl shuncha takomillashishi kerak.

Ushbu sababga ko‘ra gazli sikllarning samarali FIK bug‘li sikllarning samarali FIK ga qaraganda ancha kichik bo‘ladi. Ammo bu barcha gazli sikllarda η_e^s qiymatni bug‘li sikllarnikiga qaraganda kichik bo‘lishini isbotlamaydi. Gazli sikllarda ishchi jismning haroratini bug‘li sikllarda erishib bo‘lmaydigan qiymatga oshirish yo‘li bilan termik FIK ni oshirish imkoniyati yuqori. Buni quyidagicha izohlash mumkin, ya’ni bug‘ qozonlarida ishlab chiqarilayotgan bug‘ yoqilg‘ining yonish mahsulotlaridan metall devor orqali ajratilgan, shuning uchun bug‘ning harorati metallning ruxsat etilgan qiymatidan yuqori bo‘la olmaydi, ya’ni doimo $T_1 < T_m$. Gaz turbina qurilmalarida ishchi jism yoqilg‘ining yonish mahsulotlari hisoblanadi, natijada turbina kurakchalarining metali T_m ga qaraganda juda yuqori haroratga ega bo‘ladi va $T_1 \gg T_m$ ga osongina erishiladi. Buning natijasida doimo $\eta_{t.gaz} > \eta_{t.bug}$. Bu shuni bildiradiki, umumiy holda issiqlik energetik qurilmalarining ideal sikllarini termodinamik takomillashuvini termik FIK bilan baxolash mumkin emas. Buning uchun siklni real sharoitda amalga oshishini va energetik qurilmaning xususiyatini inobatga oluvchi siklning samarali FIK qiymatini hisoblash zarur.

Teplofikatsion sikllar. Bizning mamlakatimizning xalq xo‘jaligida teplofikatsion issiqlik energetik qurilmalari (IEM) keng tarqalgan, ularda nafaqat

elektr energiyasi, balki iste'molchiga issiqlik Q_i ham uzatiladi. Bunday qurilma uchun Karnoning ideal sikli 3.1-rasmda ko'rsatilgan.



3.1-rasm. Issiqlik energetik qurilmalari uchun Karnoning ideal sikli.

Bunda qaytadigan issiqlikni uzatilishi issiq manba haroratiga T_q mos keluvchi T_1 izoterma bo'yicha amalga oshiriladi, sikldan issiqlik T_2 izoterma bo'yicha olib ketiladi, u issiqlik iste'molchisining T_i haroratiga mos keladi, ushbu harorat issiqlik iste'molchisining texnologik shartidan belgilanadi va siklga bog'liq bo'lmaydi. T_i harorat doimo atrof-muhit harorati T_0 dan yuqori bo'ladi. Bu yerda barcha olib ketilgan issiqlik $q_2 = q_i$ yo'qotilish hisoblanmaydi, balki foydali ishlatilgan kattalikni ifodalaydi. Agar ko'rilayotgan sikl issiqlik berilmaydigan Karnoning qaytar sikli 1-5-6-4 bilan o'zaro taqqoslansa, u holda teplofikatsion siklning termik FIK ancha kichik bo'ladi. Ammo teplofikatsion siklda hech qanday yo'qotilishga ruxsat etilmaydi. Bundan shunday xulosa qilish mumkin, ya'ni qaytar teplofikatsion siklning termik FIK quyidagicha:

$$\eta_{tt} = 1 - \frac{T_i}{T_q} \quad (3.19)$$

Bunda issiqlik ta'minotiga uzatilgan issiqlikdan foydalanish, shu siklni boshqasi bilan samaradorligini taqqoslash uchun ko'rsatich bo'lib xizmat qilmaydi.

Real teplofikatsion sikllarning samaradorligini baholash uchun yoqilg'ining issiqlikidan foydalanish koeffitsiyenti η_{yo} qo'llaniladi, bu koeffitsiyent siklning

ishi l_s bilan foydali ishlatilgan issiqlikni q_{y0} tengligini inobatga oladi, ya'ni $\eta_{y0} = \frac{l_s + q_{y0}}{q_1}$.

3.1-rasmdan ko'rinib turibdiki, qaytar teplofikatsion sikllar uchun $\eta_{y0} = 1$, u holda $l_s + q_{y0} = q_1$. Demak, bunday birga teng bo'lgan koeffitsiyent uzatilayotgan va olib ketilayotgan issiqlikning haroratiga bog'liq emas, shuning uchun bu koeffitsiyentni turli ideal sikllarni taqqoslash uchun qo'llash mumkin emas.

Qator hollarda teplofikatsion sikllarning samaradorligini baholash uchun amaliyotda qulay bo'lgan issiqlik iste'moliga energiyani solishtirma ishlab chiqarish Y qo'llaniladi, ushbu qiymat siklning foydali ishini issiqlik iste'molchisiga berilgan issiqlikning nisbatiga teng:

$$Y = \frac{l_s}{q_i} \quad (3.20)$$

Shunday qilib, iste'molchida foydalanilgan umumiy issiqlik miqdori, iste'molchining texnologik ehtiyojlaridan aniqlanadi va siklning xarakteriga bog'liq emas, u holda maksimum Y ga erishish teplofikatsion sikl bo'yicha maksimum ishlab chiqarilgan elektr energiyasiga mos keladi. Bunday ishlab chiqarish anchagina iqtisodiy hisoblanadi (atrof-muhitga issiqlik yo'qotilmaydi), u holda Y qiymatni ortishi doimo maqbuldir. Ushbu ko'rsatkichning kamchiligi quyidagi holat bilan bog'liq, ya'ni ushbu ko'rsatkich to'liq qaytar yoki qaytmas sikllar uchun birdan katta va kichik bo'lishi mumkin.

Barcha issiqlik, issiqlik iste'molchilariga uzatiladigan teplofikatsion sikl uchun ($q_2 = q_i$), Y kattalik va ichki FIK o'rtasida belgilangan bog'liqlik mavjud.

(3.20) formulada l_s o'rniga unga teng bo'lgan $q_1 \eta_i$ ko'paytmani qo'yamiz va ushbu holda $q_i = q_1 - l_s$ holatni inobatga olib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$Y = \frac{\eta_i q_1}{q_1 - l_s} = \frac{\eta_i}{1 - \eta_i} \quad (3.21)$$

(3.21) dan ko'rinib turibdiki, teplofikatsion siklning η_i koeffitsienti qancha yuqori bo'lsa, Y ham shuncha yuqori bo'ladi va sistemada yoqilg'i ko'proq tejaladi. Shunday qilib, q_i kattalik berilganda teplofikatsion siklning samaradorligini η_i qiymat bo'yicha baholash mumkin. Ba'zi hollarda, ya'ni ikkita siklda q_i qiymat

turlicha yoki issiqlik iste'moli parametrlari turlicha bo'lsa, bunday sikllarning samaradorligini o'zaro taqqoslash uchun η_i qiymatdan foydalanishga ruxsat etilmaydi. Teplofikatsion siklning umumiy samaradorligini baholashda tarmoqqa uzatilayotgan issiqlikning turli sifatlarini inobatga olish zarur, ya'ni yangi ko'rsatkichni ishlab chiqish talab etiladi.

Ko'p maqsadli qurilmalar sikllarining ko'rsatkichlari. Ko'rilayotgan teplofikatsion qurilmalar bir maqsadli elektr stansiyadan farqli ravishda ikki maqsadli hisoblanadi, ma'lumki ular iste'molchiga ikki turdagi energiyani uzatadi: elektr energiyasi va issiqlik. Shuningdek ko'p maqsadli issiqlik energetik qurilmalar ham mavjud bo'lib, ular bir vaqtning o'zida bir nechta turdagi energiyani (elektr energiyasi, issiq suv, texnologik bug', ikkilamchi yoqilg'i va hokazo) ishlab chiqaradi va iste'molchiga uzatadi. Bunday ko'p maqsadli qurilmalarda bir vaqtning o'zida bir nechta sikl va qo'shimcha jarayonlar amalga oshiriladi. Ularni baholash uchun termik va ichki FIK ni qo'llash yetarli bo'lmaydi, bunga sabab energiya iste'molchisiga ish shaklida uzatilmaydi.

Bunday qiyin sikllarning samaradorligini yagona ko'rsatkichini hosil qilish faqatgina shartli bo'lishi mumkin, buning uchun qurilmadan uzatilgan energiyaning barcha turlarini ekvivalent ish orqali ifodalash mumkin. Uzatilgan issiqlikning ekvivalent ishi quyidagi prinsip bo'yicha aniqlanishi mumkin. Masalan, iste'molchining maishiy ehtiyojlari uchun IEM dan olinayotgan issiq suv o'rniga, issiq suvni xuddi shu stansiyada olingan elektr energiyasi yordamida ham olish mumkin, ushbu holda qizdirishning eng takomillashgan usuli "issiqlik nasosi"ni qo'llash mumkin, uning yordamida sarflanayotgan elektr energiyasiga qaraganda 3-4 marta ko'p issiqlik berishni ta'minlaydi.

Tarmoqqa uzatilgan issiq suv issiqligiga $Q_{q.s}$ mos keladigan ekvivalent ishni ushbu shartli issiqlik nasosining issiqlikni transformatsiyalash koeffitsiyenti k_t yordamida aniqlaymiz:

$$L_{ekv} = Q_{q.s} l_q = \frac{Q_{q.s}}{k_t} \quad (3.22)$$

bu yerda $l_q = \frac{1}{k_t}$ - ideal issiqlik nasosida issiqlik birligini ishlab chiqarishga sarflangan solishtirma ish.

Ma'lumki,

$$l_q = \frac{T_t - T_0}{T_t} \quad (3.23)$$

Bu yerda T_t -issiqlik tashuvchiga (ushbu holda qizdirilgan suvga) uzatilgan issiqlikning o'rtacha termodinamik harorati, K.

Tarmoqqa turli haroratli bir nechta issiqlik tashuvchilarni uzatishda elektrostansiyadan uzatilgan issiqlikning yig'indi ekvivalent ishi:

$$L_{ekv} = \sum_{i=1}^n Q_i l_{qi} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{k_{ti}} \quad (3.24)$$

Bunga mos ravishda 1 kg ishchi jismga nisbatan siklda uzatilgan barcha issiqlikning ekvivalent ishi quyidagicha:

$$l_{ekv} = \sum_{i=1}^n q_{yoi} l_{qi} = \sum_{i=1}^n \frac{q_{yoi}}{k_{ti}} \quad (3.25)$$

Endi siklning ishini issiqlikning ekvivalent ishi bilan qo'shamiz va uni yoqilg'ining sarflangan issiqligiga nisbatan olamiz, natijada IEM real siklining keltirilgan samarali FIK ga ega bo'lamiz, ushbu holda formula quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\eta_{e.ie} = \frac{\eta_q (l_s + \sum_{i=1}^n q_{ii} l_{qi})}{q_1} = \eta_q \left(l_s + \sum \frac{q_i}{k_t} \right) \quad (3.26)$$

bu yerda q_1 -siklda yoqilg'idan uzatilgan issiqlik.

Ko'rinib turibdiki, (3.26) formula qurilmada ishlab chiqarilayotgan energiya turiga va iste'molchiga uzatilayotgan energiya turiga bog'liq holda o'zgaradi. Bu o'zgarishni energotexnologik IEM misolida ko'rib chiqamiz, ushbu IEM iste'molchiga elektr energiyasi va issiqlikdan tashqari yoqilg'ini termik qayta ishlangan mahsulotlari uzatiladi. Bunday qayta ishlashni amalga oshirish uchun otbor bug'i va yonish mahsulotlarining belgilangan miqdordagi issiqlik sarflanadi, bu issiqlik (3.26) formuladagi keltirilgan FIK da inobatga olinishi kerak.

Siklda kimyoviy qayta ishlashda uzatilgan har bir otbor issiqligini va uning solishtirma ishini aniqlab yoqilg'ini kimyoviy qayta ishlashga berilgan energiyasining umumiy ekvivalent ishini topamiz:

$$l_{ekv.k} = \sum_{i=1}^z q_{k.q.i} l_{k.j} \quad (3.27)$$

Kimyoviy mahsulotlarni ishlab chiqarishda foydalanilgan issiqlikning solishtirma ishi qiymatini (3.23) formulaga o'xshash formula bo'yicha hisoblash mumkin:

$$l_k = \frac{T_r - T_0}{T_r} \quad (3.28)$$

bu yerda T_r -siklda o'tbor bug'i yoki gaz tomonidan uzatilgan issiqlik yordamida amalga oshirilgan kimyoviy reaksiyaning absolyut harorati, K.

Bunday uch maqsadli qurilma, ya'ni elektr energiyasi, turli potentsiilli issiqlik va kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqaruvchi va tarmoqqa uzatuvchi siklning keltirilgan samarali FIK quyidagicha:

$$\eta_{es} = \eta_q (l_s + \sum_{i=1}^n q_{ii} l_{qi} + \sum q_{k.q.i.i} l_{ki}) \quad (3.29)$$

Keltirilgan prinsiplar asosida har qanday ko'p maqsadli qurilmaning keltirilgan samarali FIK ni aniqlash uchun hisobiy formulalarni hosil qilish mumkin. Bunda faqatgina uzatilgan energiyaning barcha turi siklning ekvivalent ishiga o'zgartirilishi kerak. Bunday o'zgartirishlarsiz uzatilgan energiyaning barcha turlarini qo'shib yuborish xato natijalarga olib kelishi mumkin.

3.2. Sikllarning eksergetik FIK.

Eksergiya yoki texnik ish qobiliyati – sovuq issiqlik manba sifatida T_0 haroratli atrof-muhit qabul qilinganda ishchi jismni maksimal bajargan ishi.

Ko'p maqsadli qurilmalarning qiyin sikllarini samaradorligini baholash uchun nisbiy ko'rsatkichlar ham qo'llaniladi, bu ko'rsatkichlar barcha turdagi ishlab chiqarilgan va sarflangan energiyaning bitta sifatga-eksergiyaga keltirishga asoslangan, ya'ni ularning maksimal texnik ish bajara olishidir. Bunda quyidagicha qabul qilinadi, ya'ni ishlab chiqarilgan mexanik va elektr energiyasining eksergiyasi son jihatdan shu energiyaga (sikl ishi) tengdir.

Issiq manbadan sarflangan issiqlikning eksergiyasi:

$$E_Q = Q_q - T_0 \Delta S_q \quad (3.30)$$

bu yerda T_0 -atrof-muhitning yoki cheksiz sig‘imli sovuq manbaning absolyut harorati, K ; ΔS_q -issiqlik uzatilganda issiq manba entropiyasini kamayishi.

ΔS_q qiymatni, Q_q qiymatni issiq manbaning o‘rtacha termodinamik haroratiga nisbati orqali ifodalasak, (3.30) formula quyidagi shaklga o‘zgaradi:

$$E_Q = Q_q \left(1 - \frac{T_0}{T_{q,ort}} \right) \quad (3.31)$$

Qandaydir bir issiqlik tashuvchiga uzatilgan issiqlik ekssergiyasi uning entalpiyasi i va entropiyasi S orqali aniqlanadi:

$$\Delta E_{i,t} = G[i_1 - i_2 - T_0(S_1 - S_2)] \quad (3.32)$$

bu yerda indeks 1 issiqlik tashuvchini boshlang‘ich va indeks 2 oxirgi holatini belgilaydi; G -issiqlik tashuvchining massasi.

Siklda turli potentsialli issiqlik uzatilgan hollarda, ya’ni uyg‘unlashgan energetik qurilmalar mavjud bo‘lganda sarflangan ekssergiya, qurilmadagi ekssergiyaning yig‘indisi sifatida aniqlanadi:

$$\Delta E_s = E_{Q1} + \sum \Delta E_{uza} \quad (3.33)$$

bu yerda E_{Q1} -issiqlik manbadan uzatilgan ekssergiya; $\sum \Delta E_{uza}$ -siklga boshqa manbalardan uzatilgan ekssergiya.

Demak, issiqlik energetik qurilmalarning real siklini ekssergiya balansi quyidagicha:

$$\Delta E_s = L_s + \sum \Delta E_i + \sum \Delta E_{yoriq} \quad (3.34)$$

bu yerda $\sum \Delta E_{yoriq}$ -barcha jarayonlarni qaytmasligi natijasida ekssergiyaning umumiy yo‘qotilishi; $\sum \Delta E_i$ -iste’molchilarga uzatilgan turli shakldagi energiyaning (sikl ishidan tashqari) umumiy ekssergiyasi; L_s -siklning foydali ishi.

To‘liq qaytar sikllar uchun $\sum \Delta E_{yoriq} = 0$ va $\Delta E_s = L_s + \sum \Delta E_i$. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, to‘liq qaytar sikllar uchun ishlab chiqarilgan ekssergiyani ($L_s + \sum \Delta E_i$) sarflangan ΔE_s ekssergiyaga nisbati doimo birga teng bo‘ladi. Real sikllar uchun ushbu kattaliklarning nisbati doimo birdan kichik bo‘ladi va ularni takomillashganlik ko‘rsatkichi bo‘lib xizmat qiladi. Bu nisbat siklning ekssergetik FIK deb ataladi:

$$\eta_{ex} = \frac{L_s + \sum \Delta E_i}{\Delta E_s} \quad (3.35)$$

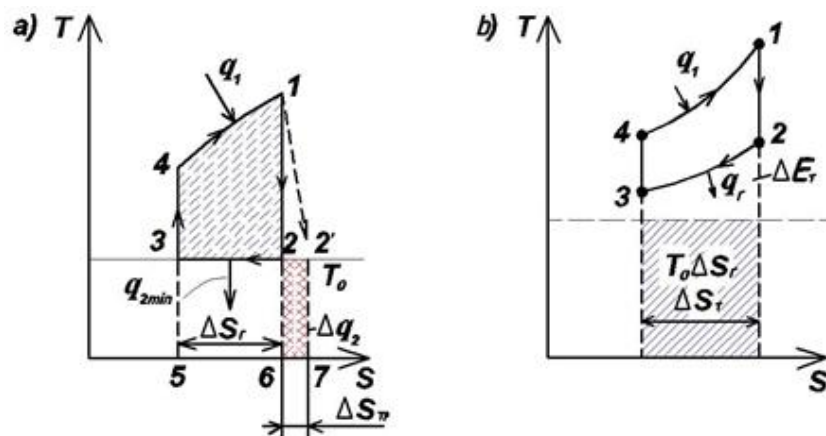
Faqatgina elektr (mexanik) energiyasi ishlab chiqarish uchun mo'ljallangan energetik qurilmalarning sikllari uchun sarflangan eksbergiya bu – *uzatilgan issiqlikning eksbergiyasidir*, ya'ni:

$$E_s = Q_1 - T_0 \Delta S_q \quad (3.36)$$

Demak, bir maqsadli issiqlik energetik qurilmasi siklining eksergetik FIK quyidagicha:

$$\eta_{ex} = \frac{L_s}{Q_1 - T_0 \Delta S_q} = \frac{l_s}{q_1 - T_0 \Delta S_q} \quad (3.37)$$

Namuna sifatida 1 kg ishchi jism uchun 3.2, a-rasmda tasvirlangan to'liq qaytar bir maqsadli 1-2-3-4 siklni ko'rib chiqamiz. Bunda 4-1 jarayonda uzatilgan q_1 issiqlik ishchi jism va issiq manba orasida oxirgi haroratlar farqi bo'lmaganda, ya'ni $T_1 = T_q = var$ bo'lganda qaytar bo'lib o'tadi. Issiqlikni olib ketish qaytar holatda T_0 izoterma bo'yicha amalga oshiriladi. T_0 izoterma cheksiz sig'imli sovuq manba sifatidagi atrof-muhit holatini xarakterlaydi. 3-4 siqish va 1-2 kengayish jarayonlari-qaytar adiabatlar. Rasmdan ko'rinib turibdiki, ushbu holda $T_0 \Delta S_q$ ko'paytma olib ketilgan issiqlik q_{2min} ga teng; q_1 va q_{2min} orasidagi farq siklining maksimal ishiga teng va $\eta_{ex} = l_{st} / \Delta E_s = 1$.



3.2-rasm.

Endi η_{ex} ga siklining alohida qaytmas jarayonlar ta'sirini ko'rib chiqamiz.

Masalan, ishqalanish natijasida kengayishning qaytmas adiabatik jarayoni sodir bo'ldi. Entropiyani (ΔS_{ishq}) ortishi natijasida kengayishning oxirgi nuqtasi

o'ngga ko'chadi va natijada atrof-muhitga qo'shimcha issiqlik miqdori Δq_2 uzatiladi, bu 2-2'-7-6 maydon bilan tasvirlangan (3.2, a-rasm):

$$\Delta q_2 = T_0 \Delta S_{ishq} \quad (3.38)$$

bu yerda ΔS_{ishq} -adiabatik kengayish jarayonida ishqalanish hisobiga ishchi jism entropiyasini o'zgarishi.

Demak, uzatilgan q_1 issiqlik o'zgarimasdan qoladi, u holda siklning haqiqiy foydali ishi xuddi shu qiymatga kamayadi. Bunda:

$$l_s = l_{st} - \Delta q_2 \quad (3.39)$$

Bunday qaytmas siklning eksergetik FIK:

$$\eta_{ex} = \frac{l_s}{\Delta E_s} = \frac{l_{st} - \Delta q_2}{q_1 - T_0 \Delta S_q} < 1 \quad (3.40)$$

Shunga o'xshash eksergetik FIK ni kamayishi har qanday qaytmas jarayon hosil bo'lganda sodir bo'ladi, jumladan siqish jarayonida ishqalanishda, issiqlikni uzatish ($T_q - T_1 = \Delta T_1 > 0$) yoki olib ketish ($T_2 - T_0 = \Delta T_2 > 0$) jarayonida haroratlar farqi va hokazo. Demak, eksergetik FIK – real sikl to'liq qaytar sikl bilan solishtirilganda uning qanchalik darajada takomillashganini aniqlovchi nisbiy ko'rsatkich hisoblanadi.

Eksergetik FIK teplofikatsion sikllarning takomillashganini baholash uchun ham yaroqlidir. Teplofikatsion gaz turbinali qurilmaning oddiy ideal sikli 3.2, b-rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda $q_2 = q_i$ va $q_i + l_s = q_1$.

Bunday siklning eksergetik FIK boshqa teplofikatsion siklniki kabidir, ya'ni (3.35) ga muvofiq:

$$\eta_{ex}^{ts} = \frac{l_s + \Delta E_i}{\Delta E_s} \quad (3.41)$$

yoki

$$\eta_{ex} = \frac{l_s + q_i - T_0 \Delta S_i}{q_1 - T_0 \Delta S_q} \quad (3.42)$$

bu yerda l_s -real siklning haqiqiy foydali ishi; $\Delta E_s = q_1 - T_0 \Delta S_q$ -siklda issiq issiqlik manbadan uzatilgan q_1 issiqlikning eksergiyasi; $\Delta E_i = q_i - T_0 \Delta S_i$ -issiqlik iste'molchisiga uzatilgan issiqlikning eksergiyasi.

To'liq qaytar sikl uchun, bunda $\Delta S_q = \Delta S_i$ va $q_i + l_s = q_1$ bo'lganda $\eta_{ex} = 1$. Qaytmaslik sodir bo'lganda $\Delta S_q > \Delta S_i$ va $\eta_{ex} < 1$.

Utilizatsion sikllar uchun eksergetik FIK siklning haqiqiy ishini utilizatsiyalangan gazlar eksergiyasiga nisbatidan aniqlanadi:

$$E_{gaz} = (J_{gaz} - T_0 S_{gaz}) - (J_0 - T_0 S_0) \quad (3.43)$$

bu yerda J_0, S_0 -atrof-muhit bilan muvozanat holatida bo'lgan utilizatsiyalanayotgan gazlarning parametrlari.

Demak, siklning eksergetik FIK:

$$\eta_{ex} = \frac{l_s}{g(i_{gaz} - T_0 S_{gaz})} \quad (3.44)$$

bu yerda i_{gaz}, S_{gaz} - 1 kg utilizatsiyalangan gazning entalpiyasi va entropiyasi; g -1 kg ishchi jism tarkibidagi gazlarning nisbiy massasi.

Har qanday siklning eksergetik FIK ni jarayonning alohida elementlaridagi eksergetik yo'qotilishlar orqali ifodalash mumkin. Masalan, bir maqsadli sikl uchun siklning bajargan ishi $(\Delta E_s - \Delta E_{yo'q})$ farqqa teng, demak (3.35) formuladan quyidagini hosil qilamiz:

$$\eta_{ex} = \frac{\Delta E_s - \Delta E_{yo'q}}{\Delta E_s} = 1 - \frac{\Delta E_{yo'q}}{\Delta E_s} \quad (3.45)$$

yoki $\Delta E_{yo'q} = T_0 S_u$ tenglikni hisobga olsak:

$$\eta_{ex} = 1 - T_0 \left(\frac{\Delta S_u}{\Delta E_s} \right) \quad (3.46)$$

bu yerda ΔS_u - sikldagi jarayonlarni qaytmasligi natijasida tizimda (issiq manba + atrof-muhit) entropiyani umumiy ortishi.

Entropiyani additivligini hisobga olsak, ΔS_u kattalikni entropiyalarni ortishi ΔS_i summasi sifatida qarash mumkin, ya'ni $\Delta S_u = \Delta S_i$.

$T_0 \Delta S_i$ ko'paytmani ΔE_s ga nisbati, i -chi jarayonning qaytmasligi natijasida eksergiyani nisbiy yo'qotilishlarni ifodalaydi, ya'ni

$$\xi_i = T_0 \left(\frac{\Delta S_i}{\Delta E_s} \right) \quad (3.47)$$

Ushbu formulaga muvofiq (3.46) formula quyidagi ko'rinishga o'tadi:

$$\eta_{ex} = 1 - \sum \xi_i \quad (3.48)$$

Ma'lumki, har bir qaytar jarayon uchun $\xi = 0$.

Organik yoqilg'ida ishlovchi va bir nechta shakldagi energiyani ishlab chiqaruvchi va tarmoqqa uzatuvchi ko'p maqsadli issiqlik energetik qurilmalarining umumiy takomillashganini baholash uchun ham energetik FIK dan foydalaniladi. Buning uchun barcha turdagi uzatilgan va sarflangan energiyani mos ravishdagi ekssergiya orqali ifodalash kerak. Mexanik energiya L , ishlab chiqaruvchi qurilmalarda turli potentsialli issiqlik va turli kimyoviy mahsulotlar beriladi, u holda foydalanilgan ekssergiya:

$$E_f = L + \sum \Delta E_Q + \sum \Delta E_k \quad (3.49)$$

bu yerda ΔE_Q -berilgan issiqlikning ekssergiyasi; ΔE_k -kimyoviy mahsulot ishlab chiqarishga sarflangan ekssergiya.

Qurilmada sarflangan ekssergiya sarflangan yoqilg'ining ekssergiyasi orqali aniqlanadi:

$$E_{y_0} = (Q_r - T_0 \Delta S_{k.r}) B \quad (3.50)$$

bu yerda Q_r -1 kg yoqilg'i havoli muhitda yonganda kimyoviy reaksiyaning maksimal issiqligi; $\Delta S_{k.r}$ -reaksiyada ishtirok etayotgan jismlarning absolyut entropiyasini ortishi; T_0 -sovuq manbaning absolyut harorati; B -yoqilg'ining sarfi, kg.

3.50 da keltirilganiga muvofiq E_{y_0} son jihatidan reaksiya issiqligidan Q_r kichik yoki katta bo'lishi mumkin. Qattiq yoqilg'ilar uchun $E_{y_0} = 0,98Q_r$.

E_f ni sarflangan yoqilg'ining ekssergiyasiga E_{y_0} nisbati qurilmaning ekssergetik FIK deb ataladi:

$$\eta_{ex.qur} = \frac{E_f}{E_{y_0}} \quad (3.51)$$

(3.49) va (3.50) larni inobatga olsak:

$$\eta_{ex.qur} = \frac{L + \sum \Delta E_Q + \sum \Delta E_k}{E_{y_0}} \quad (3.52)$$

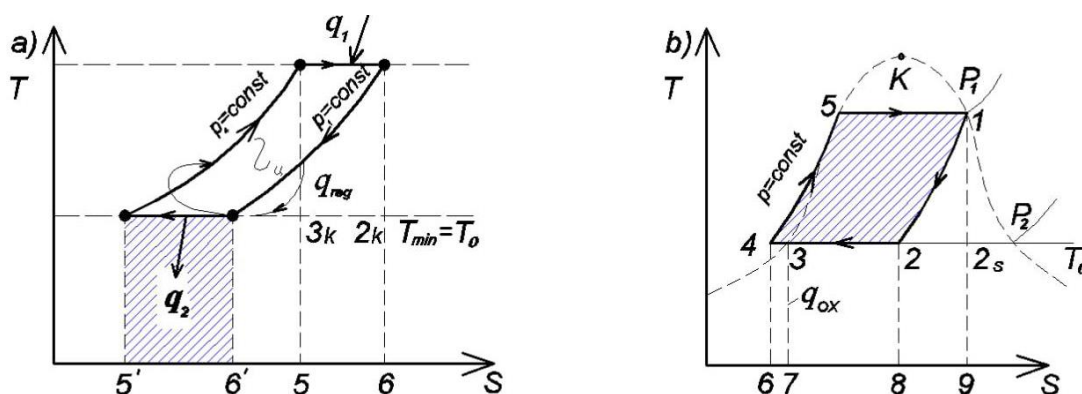
Qurilmaning ekssergetik FIK har qanday qiyinlikdagi issiqlik energetik qurilmalarining termodinamik takomillashganini absolyut ko'rsatkichi hisoblanadi,

shuningdek bu ko'rsatkich barcha jarayonlardagi eksergetik yo'qotilishlarni inobatga oladi.

3.3. Issiqlik energetik qurilmalarining namunaviy sikllari.

Namunaviy sikl deb shunday ideal, ichki qaytmas siklga aytiladiki, bunda berilgan aniq sharoitda loyihalananayotgan issiqlik energetik qurilmasi samarali FIK bo'yicha maksimumga erishishi kerak. Organik yoqilg'ida ishlovchi issiqlik energetik qurilma uchun namunaviy sikl quyidagi ichki (ideal) sikl hisoblanadi, bunda real sharoitlarda sikl amalga oshirilganda siklning samarali FIK $\eta_{e.s}$ maksimumga erishishi ta'minlanishi kerak. O'z navbatida $\eta_{e.s}$ maksimumga bir vaqtning o'zida termik FIK η_t maksimumga erishganda va siklda siqishning solishtirma ishi φ_{siq} minimumga teng bo'lganda yoki ular orasidagi nisbat optimal bo'lganda erishish mumkin. $\eta_t = 1 - \frac{T_{2o'rt}}{T_{1o'rt}}$ formuladan ma'lumki, termik FIK ni maksimum erishishi $T_{1o'rt} \rightarrow T_{max}$ va $T_{2o'rt} \rightarrow T_{min}$ bo'lganda ta'minlanadi, bu yerda T_{max} -issiqlik manbadan ishchi jismga uzatilgan issiqlikning eng yuqori harorati, K; T_{min} -siklda olib ketilgan issiqlikning eng kichik harorati, odatda bu harorat atrof-muhit haroratiga teng bo'ladi, K.

Termodinamikaning umumiy kursidan ma'lumki, eng katta siqish ishi izotermik siqishda erishiladi. Bundan shunday xulosa qilish mumkin, ya'ni namunaviy sikl quyidagicha bo'lishi kerak: issiqlikni izotermik uzatish $T_{max} = const$; issiqlikni izotermik olib ketish $T_{min} = T_0$; izotermik siqish faqatgina $T_{min} = T_0$.



3.3-rasm.

Ko‘rinib turibdiki, ushbu sikl Karnoning ideal gazli siklidan farq qiladi, bunda gazni adiabatik siqish qabul qilinadi, bu $\varphi_{siq.min}$ ga erishishni ta‘minlamaydi. Ko‘rsatilgan talab 3.3, a-rasmdagi T-S diagrammada tasvirlangan namunaviy gazli siklga mos keladi, ushbu sikl ikkita T_{max} va T_{min} izotermalar va ikkita P_4 va P_1 izobaralardan tashkil topgan. Bu siklda siqish ishi minimal, η_t esa maksimal.

$\eta_{t.max}$ ga erishish shartidan ma‘lumki, issiqlik manbasi bilan issiqlik almashinuvi faqatgina izotermalar bo‘yicha ruxsat etiladi (4-1 va 2-3 jarayonlar), u holda 1-2 va 3-4 jarayonlarda regeneratsiya deb ataluvchi faqatgina ichki issiqlik almashinuvi sodir bo‘ladi. Ushbu holda regeneratsiya 3-4 jarayonda qizdirilgan ishchi jism yordamida 1-2 kengayish jarayonidagi ishchi jismni qayta sovitish yo‘li bilan amalga oshiriladi. Bunda q_{reg} -regeneratsiya jarayonida uzatilgan issiqlik miqdori. Ko‘rilayotgan siklda issiq manbadan uzatilgan q_1 issiqlik Karno sikliniki kabi bir xil (1-6-5-4), siklning maydoni va uning ishi l_s Karno siklining ishiga teng, ya‘ni 1-2-3-4 m.=1-2k-3k-4 m. Demak, ushbu namunaviy siklning termik FIK Karno siklining η_t qiymatiga teng, siqish ishi esa ancha kichik. Demak, keltirilgan namunaviy sikl real sharoitda amalga oshirilganda siklning ichki FIK η_i va samarali FIK $\eta_{e.s}$ Karno siklinikiga qaraganda ancha yuqori bo‘ladi.

Biroq, ushbu namunaviy ideal gazli siklda Karnoning asosiy g‘oyasi saqlanadi, ya‘ni issiqlik eng yuqori haroratda uzatiladi va eng past haroratda olib ketiladi. 3.3, a-rasmda keltirilgan sikl *Karnoning regenerativ sikli* deb ataladi.

Endi quyidagicha savol tug‘iladi, real sharoitda barcha Q_1 issiqlikni ishchi jismga (siklga) maksimal haroratda uzatish mumkinmi? Real sharoitlarda siklga uzatilgan issiqlik haroratini maksimal qiymati yoqilg‘ining yonish haroratidan aniqlanadi. Shu bilan birga, chiqib ketuvchi gazlar bilan havo va yonish kamerasiga kiritilayotgan yoqilg‘ini qizdirish, ya‘ni gazli regeneratsiyani amalga oshirish yonish haroratini oshiradi va ishchi jismga issiqlikni $T_{gaz} \geq T_{max}$ bo‘lganda uzatishni ta‘minlaydi. Biroq gazli sikllarni real sharoitda amalga oshirishda issiqlikni izotermik uzatish va olib ketishni amalda qo‘llash imkoni yo‘q, T_{max} harorat esa metall sifati va qurilma konstruksiyasi tomonidan chegaralanadi. Bu 3.3, a-rasmda keltirilgan namunaviy siklni to‘liq amalga oshirilishini ta‘minlamaydi.

Xuddi shunday siklni bug‘li qurilmalarda amalga oshirishda issiqlikni izotermik olib ketish, ya’ni ishlatib bo‘lingan bug‘ni minimal bosimda kondensatsiyalash yo‘li bilan ta’minlanishi mumkin. Bu yerda issiqlikni izotermik uzatish maksimal bosimda qaynash jarayonida amalga oshiriladi.

3.3, b-rasmda xuddi shunday to‘yingan bug‘ sikli tasvirlangan. Bunda ishchi jism shunday tanlanadiki, uning kritik harorati T_{max} dan yuqori bo‘ladi. Issiq manbadan issiqlikni uzatish 5-1 jarayonda sodir bo‘ladi, ya’ni issiqlik ishchi jism qaynagandan boshlab uni quruq to‘yingan bug‘ga (1 nuqta) aylanish vaqtigacha uzatiladi. Ushbu jarayonda bug‘ning bosimi va harorati o‘zgarmas bo‘ladi va P_{max} , T_{max} ga teng bo‘ladi.

1-2 kengayish jarayonida ta’minot suvi bilan qaytar issiqlik almashinuvi sodir bo‘ladi, buning natijasida issiq manbaning issiqligidan sarf qilmasdan 4-5 jarayonda suvni regenerativ qizdirish amalga oshiriladi. Siklda issiqlik bug‘ning minimal haroratida, ya’ni atrof-muhit haroratiga teng haroratda $T_{min} \rightarrow T_0$ olib ketiladi. Bunda 2-3 qismda nasos ishisiz $P_2 = const$ o‘zgarmas bosimda to‘yingan bug‘ni kondensatsiyalanishi sodir bo‘ladi. Keyin 3-4 jarayonda kondensat (suyuqlik) nasos yordamida izotermik holatda $P_4 = P_1$ bosimgacha siqiladi, bunga l_n ish sarflanadi. Bu yerda olib ketilgan issiqlik $q_{o.x} = 3 - 4 - 6 - 7 m$, kondensatorda esa $q_k = 2 - 3 - 7 - 8 m$. Sikldan olib ketilgan barcha issiqlik $q_2 = q_k + q_{o.x} = i - i_3 + q_{o.x}$.

Uzatilgan issiqlik $q_1 = i_1 - i_5$. Bunda ushbu siklning termik FIK Karno siklining FIK kabi aniqlanadi:

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2 - l_n}{i_1 - i_3} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (3.53)$$

Agar bug‘li siklda T_2 va T_1 haroratlar gazli sikldagi qiymatlar kabi bo‘lsa, u holda ikkita sikllarning termik FIK bir xil va maksimal bo‘ladi. Bug‘li siklning φ_{siq} qiymati gazli siklnikiga nisbatan kichik bo‘ladi, shuningdek issiqlikni izotermik olib ketish jarayonining katta qismiga nasosning ishi sarflanmaydi, suyuqlikni siqish ishi gazni siqish ishidan bir necha marta kichik. Ushbu sababga ko‘ra bug‘li siklning

φ_{siq} qiymati gazli siklning φ_{siq} qiymatidan o‘n marta kichik. Shunga muvofiq gazli sikl bilan taqqoslanganda bug‘li siklning η_t qiymati ortadi.

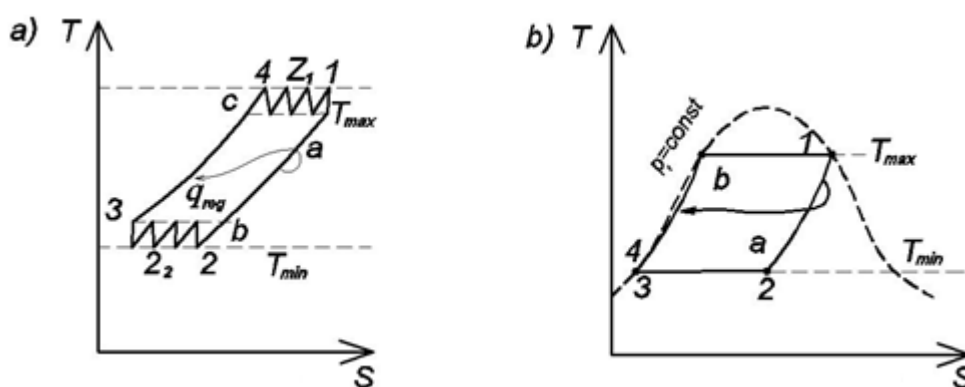
Biroq qozon qurilmasida ishchi bug‘ni qizdiruvchi yonish mahsulotlaridan shartli ravishda ajratilishi bug‘ning haroratini 600-700°C dan ortib ketishiga to‘sqinlik qiladi, haqiqiy sharoitlarda gazli sikllarda T_{max} bug‘li siklnikiga qaraganda doimo yuqori bo‘ladi. Faqatgina bug‘li sikllarda $T_{2o'rt}$ gazli siklnikiga qaraganda kichik bo‘ladi, shuningdek namunaviy bug‘li siklning termik FIK gazli siklnikiga qaraganda kichik bo‘ladi.

3.3, b-rasmda tasvirlangan ideal bug‘li sikl bir vaqtning o‘zida $\eta_{t,max}$ va φ_{min} ga erishishni ta’minlaydi va namunaviy hisoblanadi. Xuddi suvni izotermik siqishni amalga oshirishni imkoni bo‘lmagandek, ushbu siklni amalda amalga oshirishning imkoni yo‘q. Real sharoitlarda issiqlik energetik qurilmalarida amalda faqatgina ikkita jarayonni, izobar va adiabatikni, shuningdek ayrim hollarda izoxorik jarayonni faqatgina bug‘ning to‘yingan holatida amalga oshirish mumkin, bunda izotermik jarayon izobarik jarayon bilan mos keladi, ya’ni to‘yingan bug‘ uchun $P = const$ va $T = const$. Shuningdek, izotermik jarayonda o‘ta qizigan bug‘ olishni hali imkoni yo‘q.

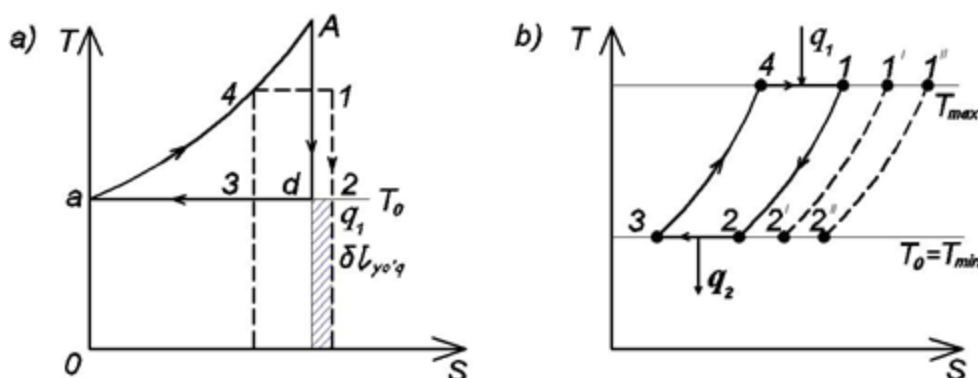
Shular bilan bog‘liq holda gazlar va o‘ta qizigan bug‘larning izotermik jarayonlarida ishlovchi issiqlik energetik qurilmalarini yaratishda ushbu jarayonlar izobarik va adiabatik jarayonlar bilan almashtiriladi. Bunda gazli sikl (3.3, a-rasm) issiqlik ko‘p karrali uzatiladigan va olib ketiladigan sikl bilan almashtiriladi (3.4, a-rasm), bu yerda siqish pog‘onalarining soni Z_2 va kengayish pog‘onasining soni Z_1 , ular iqtisodiy tomonlama eng maqbul qilib tanlanadi. Bunda regenerativ issiqlik almashinuvi $a-b$ va $3-c$ izobaralar orasida amalga oshiriladi. Ushbu sikl belgilangan iqtisodiy sharoitlar uchun amalda namunali hisoblanadi. Xuddi shunday o‘zgartirishlarni 3.3, b-rasmda tasvirlangan bug‘li sikl uchun ham amalga oshirish mumkin. Bunda suvni izotermik siqish adiabatik siqish bilan almashtiriladi (3.4, b-rasmdagi 3-4 jarayonga qarang). Bunda regenerativ issiqlik almashinuvi faqatgina $1-a$ va $4-b$ jarayonlarda amalga oshiriladi.

3.4, b-rasmda tasvirlangan bug‘li sikl ham amalda namunaviy hisoblanadi, uni bug‘ turbinali qurilmada real sharoitda amalga oshirish mumkin. U to‘yingan bug‘ uchun Renkinning regenerativ sikli nomi bilan ma’lum.

Endi quyidagi hollar uchun namunaviy sikllarni ko‘rib chiqamiz, bunda issiq manbadan olib ketilgan issiqlik miqdori tanlangan siklga bog‘liq bo‘ladi. Namuna sifatida utilizatsion issiqlik energetik qurilmasini olish mumkin, bunda issiqlik manbasi sifatida qandaydir texnologik moslamadan (pechdan) chiqib ketayotgan gazlardan foydalaniladi. Ushbu gazlarning holati T-S diagrammada (3.5, a-rasm) A nuqta bilan xarakterlanadi va tanlangan siklga bog‘liq emas. Gazlarni T_A haroratdan T_0 gacha sovitish vaqtida gazlardan olib ketilishi mumkin bo‘lgan issiqlikni maksimal miqdori $0-a-A-c$ may. $=q_{max}$ ga teng, uning maksimal ishi $l_{max} = q_{max} - T_0\Delta S_g$, aAd uchburchak maydoni bilan o‘lchanadi.



3.4-rasm.



3.5-rasm.

Olingan maksimal ishni Karno sikli yoki Renkin sikli yordamida olish mumkin emas. Agar Karnoning ideal siklini qabul qilsak (3.5, a-rasmda 1-2-3-4 nuqtalar bilan belgilangan), ushbu holda gazlarning foydalanilgan issiqligi

$q_1=1-6-5-4$ may. $=A-4-5-c$ may. $< q_{max}$. $0-a-4-5$ may. ga teng bo'lgan issiqlikning ko'pgina qismi chiqib ketuvchi gazlar bilan yo'qotiladi, siklning erishgan ishi esa $l_s < l_{max}$.

4-1 jarayonda ishchi jism va issiqlik manbasi o'rtasida haroratlar farqi bo'lganda issiqlikni uzatilishida $d-2-6-c$ may. bilan ifodalangan ishni qo'shimcha yo'qotilishi yuzaga keladi. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, ushbu holda Karno sikli to'liq yaroqsizdir. 3.5, a-rasmdan ko'rinib turibdiki, utilizatsiyalanayotgan gazlarning issiqligidan maksimal foydalanish imkoniyatiga faqatgina quyidagi holda erishiladi, buning uchun gazlardan issiqlikni olib ketish barcha A-a chiziq bo'yicha amalga oshirilishi kerak, maksimal ish esa faqatgina a-A-d uchburchak sikl amalga oshirilgandagina olinadi. Bundan tashqari, eng kichik solishtirma siqish ishini olish uchun issiqlikni olib ketish jarayoni T_0 izoterma bo'yicha amalga oshirilishi kerak, bunga to'yingan bug'ni kondensatsiyalanishida erishish mumkin. Demak, ushbu holda namunaviy sikl η_i ning eng katta qiymatini ta'minlaydi, buning uchun $a-A-d$ uchburchakli bug'li sikl xizmat qiladi.

3.4.Sikllarning tashqi o'lcham (gabarit) xarakteristikasi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan issiqlik energetik qurilmalarining namunaviy sikllari, ya'ni bir vaqtning o'zida termik FIK maksimum qiymatiga va eng katta absolyut ichki FIK ga erishadigan sikllar real sharoitlarda siklning qabul qilingan kengligiga bog'liq holda turli qiymatlardagi ishni berishi mumkin.

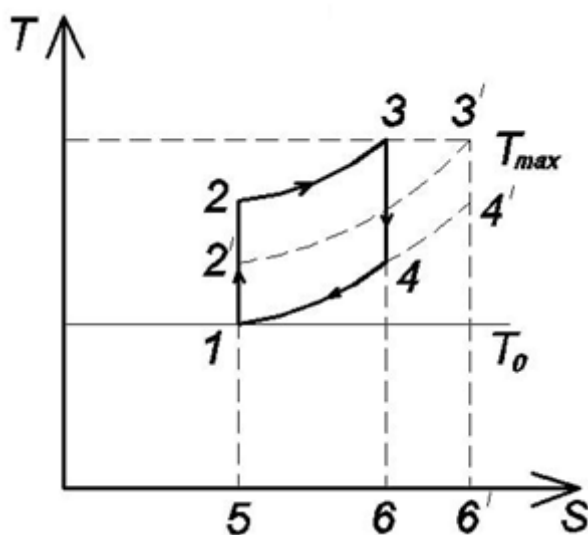
3.5, b-rasmdan ko'rinib turibdiki, T_1 va T_2 ning absolyut bir xil qiymatlarida 1 kg gazning ishi va siklga uzatilgan issiqlikning miqdori siklning kengligiga bog'liq, ya'ni siklning kengligi siqish oxiridagi bosimni ortish darajasining umumiy qiymati $\sigma = \frac{P_{siq}}{P_2}$. Bunda sikl maydoni quyidagicha o'zgaradi (1-2-3-4 maydon va 1"-2"-3-4).

Zamonaviy gaz va bug' turbinali elektrostansiyalarni umumiy iqtisodiylik sharti bo'yicha mumkin bo'lgan maksimal quvvatga yetkazish uchun 1 kg ishchi jismning solishtirma ishi juda muhim ahamiyatga ega. Turbinaning oxirgi

pogʻonasidan chiqayotgan ishchi jism birligiga nisbatan siklning solishtirma ishi muhim ahamiyatga ega.

Maʼlumki, chiqib ketuvchi gazlarning solishtirma hajmining qiymati, ushbu gazning tabiatiga, haroratiga va qabul qilingan P_2 bosimga bogʻliq. Oʻz navbatida sikl ishining qiymati ham ishchi jismning tabiatiga, siklning konfiguratsiyasiga va belgilangan $\sigma = \frac{P_{siq}}{P_2}$ nisbatga bogʻliq. P_2 oʻzgarganda bir vaqtning oʻzida l_s va v_{chiq} ham oʻzgaradi, shunday qilib, l_v qiymat maksimum orqali oʻtadi. Har bir ishchi jism va har bir sharoit uchun σ ning mos keluvchi optimal qiymatlari mavjud, ular yordamida maksimal solishtirma hajmiy ish taʼminlanadi. Bu qiymat l_{vmax} kabi belgilanadi va siklning gabarit xarakteristikasi boʻlib xizmat qiladi, yaʼni l_{vmax} qancha katta boʻlsa, loyihalananayotgan qurilmaning gabariti shuncha kichik boʻladi. Gabarit xarakteristika tushunchasi 1939 yilda V.S. Martinovsk tomonidan kiritilgan.

l_{vmax} ga erishish shartini aniqlash uchun, ushbu qiymatni x parametr orqali ifodalash zarur, shuningdek ushbu funktsiyani ekstremal qiymatini aniqlash uchun $\frac{dl_v}{dx}$ koʻpaytmani olamiz. Ushbu masalani yechimini ikkita izoxora va ikkita adiabadan (1-2 siqish va 3-4 kengayish) tashkil topgan porshenli ichki yonuv dvigatelining oddiy sikli namunasida koʻrib chiqamiz (3.6-rasm).



3.6-rasm.

Rasmdan koʻrinib turibdiki, 1-2 jarayonda siqish darajasini oʻzgartirish orqali siqish oxiridagi T_2 haroratni va 3 va 4 nuqtalarning holatini oʻzgartirish mumkin.

Shuningdek 2 nuqtadan 2' nuqtaga o'zgarganda 3 va 4 nuqtalar mos ravishda 3' va 4' nuqtalarga o'zgaradi. Bunda siklda uzatilgan issiqlik miqdori q_1 (5-2-3-6 maydonga teng) 5-2'-3'-6' maydongacha ortadi, siklning ishi esa 1-2-3-4 maydondan 1-2'-3'-4' maydongacha kengayadi. Hech bo'lmaganda yuqori T_{max} va quyi T_a haroratlar o'zgarishidan qolganda ham siklning termik FIK bir qancha pasayadi. Chiqish nuqtasida gazning hajmi 4' nuqta hajmigacha ortadi. Demak, siqish harorati T_2 dan T_2' gacha o'zgarganda sikl ishi va gazning hajmi orasidagi nisbat o'zgaradi.

Dvigatelning belgilangan quvvati N va uning silindrini ishchi hajmi V_i bo'lganda siqish harorati bilan quyidagicha bog'lanadi:

$$V_i = \frac{N v_4}{n c_v (T_{max} - T_2) \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right)} \quad (3.54)$$

bu yerda v_4 -kengayish oxiridagi nuqtada gazning solishtirma hajmi; n -ikki taktli dvigatelning aylanishlar soni; c -ishchi gazning issiqlik sig'imi.

Bundan T_2 ning qiymati qiymatini topish mumkin, bunda silindrning hajmi eng kichik, silindr hajm birligiga mos keluvchi siklning ishi esa eng katta. (3.54) tenglama bo'yicha $dV_i = dT_2$ ko'paytmani olamiz va uni nolga tenglaymiz, V_i minimumni ta'minlovchi T_2 ning optimal qiymatini topamiz. V_i kattalik o'zgarishini inobatga olmaymiz va sodda o'zgartirishlarni amalga oshiramiz [2]:

$$T_{2opt} = \sqrt{T_{max} \cdot T_0} \quad (3.55)$$

T_{2opt} siqish haroratini ta'minlovchi siqish darajasida amalga oshirilgan ushbu sikl *gabarit sikl* deb nomlanadi.

Xuddi shu kabi boshqa sikllar uchun ham l_{vmax} ga erishish shartini topamiz. Masalan, ikkita izobara va ikkita adiabatadan (Brayton sikli) tashkil topgan gaz turbinali sikl uchun siklning maksimal solishtirma ishi, ya'ni qurilmaning minimal gabaritiga siqish oxiridagi harorat quyidagicha bo'lganda erishiladi:

$$T_{2opt} = \frac{T_{max} + T_0}{2} \quad (3.56)$$

Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, adiabatik siqish oxiridagi harorat, T_{max} va T_0 larning o'rtacha arifmetik haroratiga teng bo'lishi kerak. Bundan turbina past bosimli qismini belgilangan gabarit chegaralari uchun siklning optimal

kengligini aniqlash mumkin. Demak, namunaviy siklni tanlashda ushbu chegaralovchi shartni ham inobatga olish kerak.

3.5. Sikllarning termodinamik samaradorligini oshirishning umumiy usullari. Sikllarni Karnotizatsiyalash.

Yuqorida keltirilganlardan ko‘rinib turibdiki, real siklning yuqori termodinamik samaradorligi asosan ichki FIK η_i ni oshirish yo‘li bilan ta‘minlanadi, ichki FIK ni aniqlovchi omillari termik FIK va siqishning solishtirma nazariy ishi hisoblanadi. Endi η_t ni oshirish va φ_{siq} ni kamaytirishning eng ko‘p tarqalgan yo‘llarini ko‘rib chiqamiz.

Ideal sikl uchun uzatilgan issiqlikni q_{1t} o‘rtacha termodinamik harorat $T_{1o'rt}$, olib ketilgan issiqlikni q_{2t} esa $T_{2o'rt}$ orqali ifodalaymiz, u holda

$$\eta_t = 1 - \frac{q_{2t}}{q_{1t}} = 1 - \frac{T_{2o'rt}}{T_{1o'rt}} \quad (3.57)$$

$T_{2o'rt} = T_{min} \rightarrow T_0$ va $T_{1o'rt} = T_1 \rightarrow T_{max}$ bo‘lganda termik FIK ning eng yuqori qiymati $\eta_{tmax} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = \eta_{tk}$ ni tashkil etadi.

Shu asosga ko‘ra siklning termik FIK ni oshirishning barcha yo‘llari $T_{1o'rt}$ ni T_{max} ga va $T_{2o'rt}$ ni T_{min} ga yaqinlashishi bilan bog‘liq va bu sikllarni karnotizatsiyalash deb nomlanadi. Ammo buni Karnoning ideal siklini ifodalovchi to‘g‘ri to‘rtburchak shakliga doimo yaqinlashtirish kerak deb tushunmaslik kerak. Ko‘rsatib o‘tilganidek, adiabatik siqish ishi qiymatining juda kattaligi hisobiga ichki FIK juda kichik. Shuning uchun sikllarni karnotizatsiyalashda φ_{siq} ning minimum qiymatiga erishishga harakat qilinadi. Real sharoitlarda ideal siklni amalga oshirish uchun $T_{1o'rt}$, $T_{2o'rt}$, q_{1t} va l_{siq} orasida optimal bog‘liqlik aniqlanadi.

Sikllarni karnotizatsiyalashning eng ko‘p qo‘llaniladigan usullari regeneratsiya, issiqlikni pog‘onali uzatish, issiqlikni pog‘onali olib ketish, sikllarni qo‘shish. Ushbu usullarning har birini qisqa ko‘rib chiqamiz.

Regeneratsiya. Uzatishning o‘rtacha haroratini oshirish va olib ketishning o‘rtacha haroratini pasaytirish uchun mo‘ljallangan siklning ikkita turli qismlari orasida ichki issiqlik almashinuviga issiqlikni *regeneratsiyalash* deb ataladi.

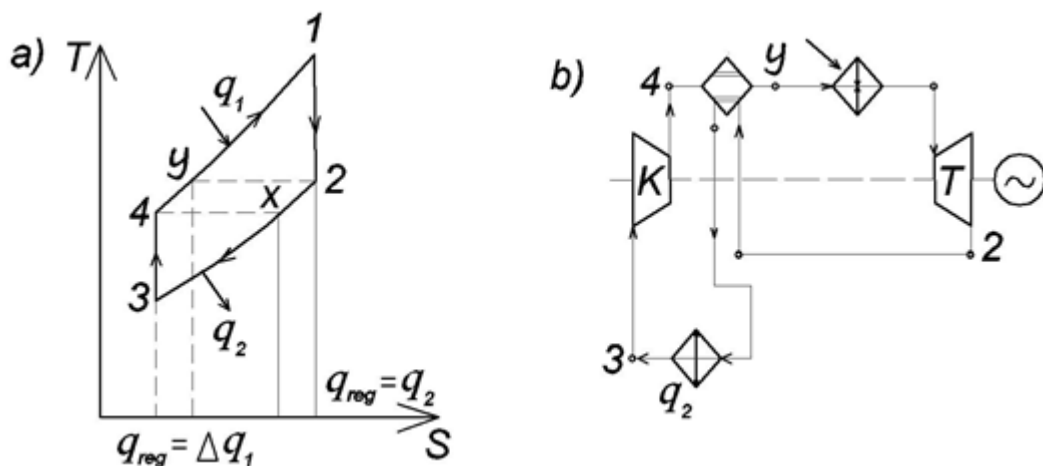
Regeneratsiya ikkita usulda amalga oshirilishi mumkin: siqilgan ishchi jismni ishlatib bo‘lingan chiqib ketuvchi gazlar bilan dastlabki qizdirish yoki xuddi shu ishchi jismni kengayish jarayonida qisman sovitish hisobiga qizdirish.

Regeneratsiyalashning birinchi usuli 1-2-3-4 oddiy gazli sikl namunasida ko‘rsatilgan (3.7, a-rasm). Shuningdek qurilmaning prinsipial sxemasi ham ko‘rsatilgan (3.7, b-rasm). Regenerativ gazli qizdirgichda (R regeneratorda) teskari oqim amalga oshiriladi, siqilgan gaz K kompressordan keyin 4 nuqta holatidan y nuqta holatigacha qizdiriladi, chiqib ketuvchi gazlar esa turbinadan keyin 2 nuqta holatidan x nuqta holatigacha soviydi. 2- x egri chiziq ostidagi shtrixlangan maydon q_{reg} foydalanilgan issiqlikka mos keladi. Bunda sovuq manbaga berilgan issiqlik q_2 va issiq manbadan uzatilgan issiqlik q_1 , q_{reg} qiymatiga kamayadi. Siklning ishi va uning umumiy konfiguratsiyasi o‘zgarmasdan qoladi.

U holda regenerativ siklning termik FIK:

$$\eta_{treg} = 1 - \frac{q_{2t} - q_{reg}}{q_{1t} - q_{reg}} \quad (3.58)$$

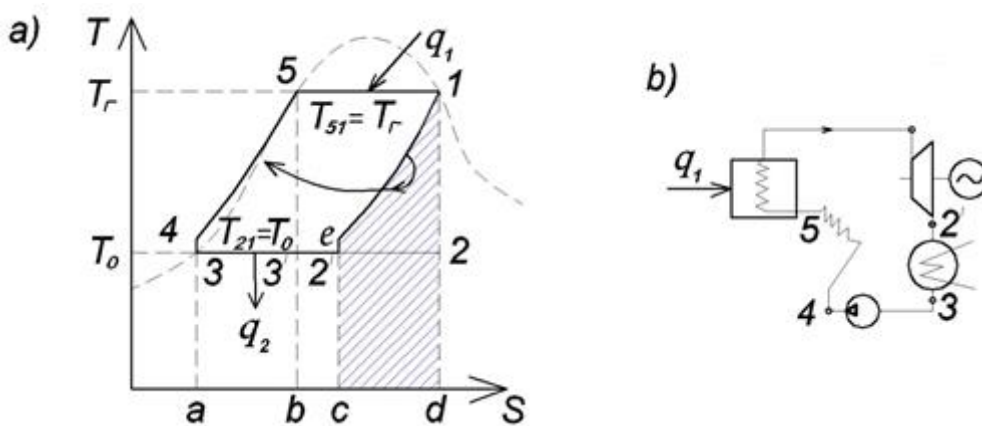
Agar $q_{2t} < q_{1t}$ bo‘lsa, u holda regenerativ sikl FIK ning qiymati regeneratsiyasiz siklning FIK dan katta bo‘ladi. Bunga muvofiq o‘rtacha termodinamik haroratlar $T_{10'rt}$ va $T_{20'rt}$ ham o‘zgaradi. 4 nuqta holati bilan solishtirilganda y nuqta holatining ancha yuqoriligi natijasida $T_{10'rt}$ qiymat ortadi, 2 nuqta holatiga qaraganda x nuqta holatini ancha past bo‘lganligi natijasida $T_{20'rt}$ kamayadi. Shunday qilib, $\eta_{treg} > \eta_t$.



3.7-rasm.

Ta'kidlash kerakki, regeneratsiyalashning bunday usuli faqatgina $T_2 > T_4$ notenglik bo'lgandagina qo'llaniladi. Ular orasidagi farq qancha katta bo'lsa, q_{reg} va samaradorlik shuncha yuqori bo'ladi. Quyidagiga diqqatni qaratamiz, ya'ni regeneratsiyani amalga oshirish siqish ishini kamaytirmaydi (3-4 jarayon), u o'zgarmasdan qoladi, q_1 esa kamayadi. Natijada $\varphi_{siq} = \frac{l_{siq}}{q_t}$ ortadi. Buni hisobiga regeneratsiya natijasida η_i ni ortishi η_t ortishidan doimo kichik bo'ladi.

Regeneratsiyalashning ikkinchi usuli quyidagicha, ya'ni ish bajarish jarayonida ishchi jismni sovutilishi hisobiga siqilgan ishchi jismni qizdirishga asoslangan. Bunda kengayish oxirida jismning harorati ishchi jismni regenerativ qizdirishni boshidagi haroratidan ancha kichik bo'lishi mumkin.



3.8-rasm.

Regeneratsiyalashning ushbu siklini nam bug'li namunaviy sikl misolida ko'rib chiqamiz (3.8, a-rasm). Unga mos issiqlik sxema 3.8, b-rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda issiqlikni sovuq manbaga uzatish jarayonida ishchi jismning harorati T_0 ga teng, issiqlik uzatiladigan 5-1 uchastkadagi jismning harorati $T_{1o'rt}$, issiq manbaning harorati T_q ga teng. Siklning 3-4 jarayonida nasos N yordamida ishlatib bo'lingan bug'ning kondensati bo'lgan suyuqlik siqiladi. Siklning 4-5 jarayonida suyuqlik ishchi bug'ni kengayish vaqtida sovishi hisobiga qiziydi. Agar ko'rsatilgan issiqlik almashinuvi qaytar holda amalga oshsa, u holda kengayish jarayoni 1-e-2' egri chizig'i bo'yicha amalga oshadi. Olib ketilgan q_{reg} issiqlikka mos keladigan 1-d-c-e maydon, suvni 4 nuqta holatidan 5 nuqta holatgacha qizdirishga sarflangan issiqlikka mos keladigan 5-b-a-4 maydonga teng bo'ladi.

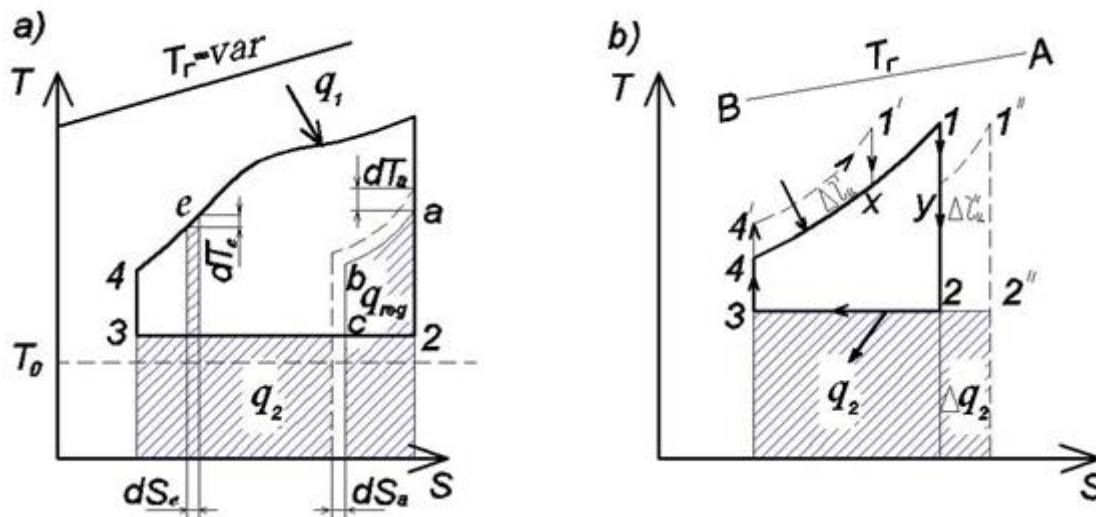
5-1 jarayonda issiq manbadan ishchi jismga issiqlikni uzatilishi faqatgina $T_{10rrt} = T_{51} = T_q$ tenglik bo'lganda sodir bo'ladi. Agar regeneratsiya amalga oshirilmasa, u holda kengayish jarayoni 1-2 adiabatga bo'yicha amalga oshadi, issiq manbadan issiqlik 5-1 jarayonda emas, balki 4-5 jarayonda uzatiladi. Bunda issiqlik uzatishning o'rtacha termodinamik harorati pasayadi va siklning termik FIK kamayadi, issiqlik olib ketishning harorati T_2 o'zgarmaydi. Bundan ko'rinib turibdiki, ushbu regeneratsiya qo'llanilganda siklning termik FIK ortadi va 1 kg ishchi jismning foydali ishi kamayadi. Ushbu holda regenerativ siklning termik FIK, Karnoning ideal siklining termik FIK bilan mos keladi. Shuning bilan birga hosil qilingan regenerativ sikl Karno sikliga qaraganda anchagina samarador, shuningdek η_t ning xuddi shu qiymatida siqishning solishtirma ishi o'n marta kichik (bunda bug' emas suv siqiladi).

Yuqorida keltirilganlar asosida juda muhim xulosaga ega bo'lish mumkin: issiqlik energetik qurilmalarining real sikllarida regeneratsiya yordamida T_{10rrt} ni yetarlicha ortishiga va siqishga kichik solishtirma ish sarflab ularning termik FIK ni Karno siklining FIK ga yaqinlashtirish mumkin.

Regeneratsiyaning optimal va chegaraviy haroratlari. Regeneratsiyaning maxsus tadqiqotlari shuni ko'rsatadiki, real sikllarda ishchi jismni regenerativ qizdirishning T_{cheg} harorat qiymati mavjud bo'ladi, buning natijasida qurilmada yoqilg'ini eng ko'p tejalishiga erishiladi. Boshqa iqtisodiy omillarni, masalan kapital quyilmalar hisobga olinganda, barcha harajatlarning minimumi uning qiymati T'_q dan bir qancha kam bo'ladi va u optimal deb nomlanadi. Kapital quyilmalarning qiymati qancha kichik bo'lsa, T'_q qiymat T_{kel} ga shuncha yaqin bo'ladi. Shuning uchun T_{cheg} ishchi jismni regenerativ qizdirishning *chegaraviy harorati* deb nomlanadi.

Ko'rinib turibdiki, 3.7-rasmda tasvirlangan sikl uchun T_{cheg} harorat T_2 haroratga teng. Xuddi shunday bug'li sikllarda (3.8-rasm) regeneratsiyaning chegaraviy harorati $T_5 = T_1$. Biroq real qaytmas sikllarda T_{cheg} qiymat doimo kichik bo'ladi. Ushbu maqsad uchun ixtiyoriy tashqi qaytmas 1-2-3-4 siklni (3.9, a-rasm)

ko'rib chiqamiz. Regeneratsiya mavjud bo'lganda kengayish jarayoni 1-a-b-c egri chiziq bo'yicha boradi. Issiqlikni regeneratsiyaga olib ketish a-b uchastkada amalga oshiriladi. Ushbu issiqlik 4-e uchastkaga uzatiladi. Qaytmas issiqlik almashinuvi natijasida $T_e = T_a - \Delta T$, bu yerda $\Delta T > 0$.



3.9-rasm.

Regenerativ siklning termik FIK $\eta_t = 1 - \frac{T_{c3}}{T_{e1}}$, bu yerda T_{c3} -s-3 uchastkadan olib ketilayotgan issiqlik q_2 ning o'rtacha harorati; T_{e1} -issiqlik manbadan e-1 uchastkaga uzatilgan issiqlikning o'rtacha harorati.

e nuqtadagi haroratni dT_e qiymatga oshirish uchun qo'shimcha regeneratsiyalash issiqligi $dq_e = dq_{reg}$ uzatish talab etiladi (e nuqtada shtrixlangan vertikal maydonga qarang), ya'ni buni issiqlikni olib ketishning boshida haroratni dT_a qiymatga oshirish yo'li bilan amalga oshirish mumkin. U holda e nuqta chap tomonga $dS_e = \frac{dq_{reg}}{T_a}$ qiymatga siljiydi.

Kengayish jarayonida dq_{reg} issiqlikni qo'shimcha olib ketilishi natijasida siklning nazariy ishi quyidagicha kamayadi:

$$dl'_s = \left(1 - \frac{T_e}{T_a}\right) dq_{reg} \quad (3.59)$$

e nuqtada haroratni ortishi bilan bog'liq holda bir vaqtning o'zida issiqlik manbadan q_1 issiqlikni olib ketish $dq_1 = dq_{reg}$ ga kamayadi. Issiqlik manbadan xuddi shu q_1 issiqlikni olib ketish uchun ishchi jimning D_1 sarfini qD_1 ga oshirish kerak.

1 nuqta parametrlarga ega bo'lgan ishchi jismning olingan qo'shimcha miqdori siklni to'liq bajaradi va siklning qo'shimcha nazariy ishini ishlab chiqaradi:

$$dl'_s = \left(1 - \frac{T_{c3}}{T_{c2}}\right) dq_{reg} \quad (3.60)$$

e nuqtadagi haroratni ortishi bilan $dl''_s > dl'_s$ yetgunga qadar siklning termik FIK ortadi. e va a nuqtalardagi haroratlarning chegaraviy qiymati $dl''_s = dl'_s$ shartidan aniqlanadi. (3.59) va (3.60) qiymatlardan foydalansak

$$T_{acheq} = T_{e1} \left(\frac{T_c}{T_{c3}}\right) \quad (3.61)$$

Ma'lumki, barcha regenerativ sikllar uchun $T_c = T_{2ort} = T_{c3}$ va $T_{e1} = T_{1ort}$, u holda

$$T_{acheq} = T_{1ort} \quad (3.62)$$

Regeneratsiyalash tizimida qaytmas issiqlik almashinuvi hisobiga ishchi jismni regenerativ qizdirish haroratining chegaraviy qiymati quyidagicha:

$$T_{echeq} = T_{1ort} - \Delta T_{qiz} \quad (3.63)$$

bu yerda ΔT_{qiz} -yuqori regenerativ qizdirgichda haroratlar farqi.

Siklda boshqa qaytmasliklarning mavjud bo'lishi T_{echeq} ni kamayishiga olib keladi, bu umumiy holda quyidagicha aniqlanadi:

$$T_{echeq} = T_{1ort} - \sum \Delta T_{qay} \quad (3.64)$$

bu yerda $\sum \Delta T_{qay}$ -siklning η_i qiymatini maksimumga erishishini ta'minlovchi jarayonlarni qaytmasligiga tuzatmalarning yig'indisi.

Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, regenerativ siklda issiqlik uzatishning o'rtacha termodinamik harorati T_{1ort} , ishchi jismni regenerativ qizdirishning chegaraviy harorati qiymatini aniqlaydi. Ishchi jismni T_{1ort} ga qaraganda yuqori haroratgacha regenerativ qizdirish siklning termik FIK va siklning samarador FIK ni pasayishiga olib keladi.

Siklda issiqlikni pog'onali uzatish. Belgilangan sharoitda siklning termik va absolyut FIK ni oshirishga issiq manba yordamida kengayish va qizdirish jarayonlarini almashtirish yo'li bilan issiqlikni ko'p pog'onali uzatishni qo'llash

orqali erishish mumkin. Bunda issiqlikni olib ketishning barcha jarayonlarida issiq manbaning harorati o'zgarmas bo'lishi kerak.

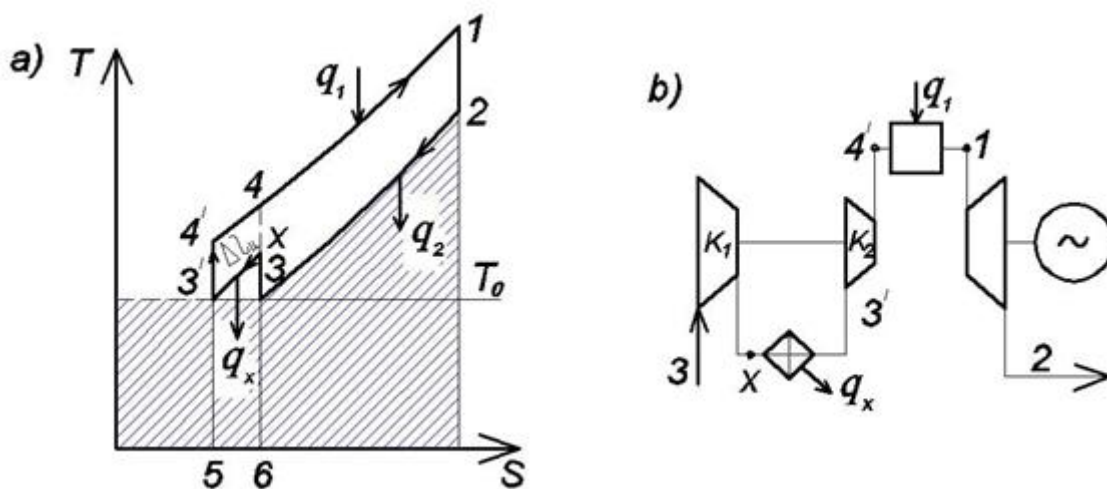
3.9, b-rasmda issiqlik izobarik uzatiladigan va izotermik olib ketiladigan ixtiyoriy 1-2-3-4 sikl keltirilgan. AB chiziqlar bilan issiq manbaning T_q haroratini o'zgarishi ko'rsatilgan. Shuningdek u yerda shtrixlangan chiziq bilan issiqlikni ikkita usul yordamida qo'shimcha kiritish ko'rsatilgan. Issiqlikni qo'shimcha kiritish ikkita usulda, ya'ni siqishning umumiy pog'onasini oshirish ($4'-1'$ jarayon) va $y-1''-2''-2$ siklga ustqurma usuli bilan amalga oshiriladi.

Birinchi usulda issiq manbaning issiqligi dastlab $4'-1'$ egri chiziq bo'yicha uzatiladi, keyin gazni x nuqttagacha kengayishining ishchi jarayoni sodir bo'ladi, keyin issiqlik qaytadan $x-1$ uchastkaga uzatiladi va 1-2 ish bajariladi. Ko'rinib turibdiki, bunda 2-3 jarayonda olib ketilgan issiqlik dastlabki 1-2-3-4 siklniki kabi qoladi. Biroq sikl ishi l_s va uzatilgan issiqlik $4-4'-1'-x$ maydonga ortadi va $\Delta l'_s$ ga teng bo'ladi. Bunda siklning T_{1oirt} harorati ortadi, T_{2oirt} harorat esa o'zgarmasdan qoladi. Bunga muvofiq siklning termik FIK η_t ortadi. Biroq bunda siqish ishi ortadi, natijada ichki FIK η_i ni ortishi kamayadi.

Issiqlikni pog'onali uzatishni kiritishning ikkinchi usuli quyidagicha, ya'ni asosiy siklda siqish darajasini o'zgartirmasdan $y-1''$ uchastkaga issiqlik qo'shimcha uzatiladi. Ushbu holda siklning ishi $y-1''-2''-2$ maydonga ortadi, olib ketilgan issiqlik esa $\Delta q''_2$ maydonga ortadi. Qo'shimcha siklda ($y-1''$ uchastkada) issiqlik uzatishning o'rtacha harorati asosiy sikldagiga ($4-1$ uchastka) nisbatan yuqori bo'lsagina siklning termik FIK ortadi. Biroq bu yerda φ_{siq} kamayadi, l_{siqt} o'zgarmaydi, q_1 esa ortadi. Shu bilan bog'liq holda η_t oshmasa ham ichki FIK η_i ortadi.

Issiqlikni pog'onali olib ketish. Gazli sikllarda issiqlikni olib ketishning o'rtacha haroratini T_{2oirt} pasaytirish va ularda φ_{siq} ni kamaytirishning muhim usullaridan biri ishchi jism oraliq sovitiluvchi ko'p pog'onali siqishni qo'llashdir. 3.10, a, b-rasmlarda gaz turbinali qurilmaning sikli va sxemasi keltirilgan. Siklning nuqtalari sxemadagi o'xshash nuqtalarga mos keladi. Bu yerda 3 holatidagi havo dastlab oraliq p_x bosimgacha x nuqta holatigacha K_1 kompressorda siqiladi, keyin

$x-3'$ izobara (bu yerda q_2 olib ketiladi) bo'yicha sovitiladi va undan keyin siklning boshlang'ich $p_1 = p_4$ bosimigacha K_2 kompressorda siqiladi.



3.10-rasm.

Ko'rinib turibdiki, K_1 va K_2 kompressorlar ishlarining yig'indisi 3-4 jarayonda bir pog'onali siqish ishidan Δl_s ga kichik va siklning qo'shimcha ishini ifodalovchi $3'-4'-4-x$ maydonga teng bo'ladi. 1-2 jarayonda kengayish ishi o'zgarmaydi. Uzatilgan issiqlik miqdori bir pog'onali siqishnikiga qaraganda $q_x + \Delta l_s$ qiymatga katta va u 5-4'-4-6 maydonga teng. Siklda olib ketilgan issiqlik $x-3'-5-6$ maydonga qo'shimcha siklda ($4'-4$ jarayon) issiqlik uzatishning o'rtacha harorati asosiy siklnikiga qaraganda pastdir. Biroq φ_{siq} ni kamayishi hisobiga ichki (absolyut) FIK η_i ortadi. Yuqorida ko'rsatilgandek, regeneratsiya va ko'p pog'onali siqishni bir vaqtda qo'llash η_t va η_i ni oshiradi.

Eng yaxshi samaraga regeneratsiya, issiqlikni ko'p pog'onali uzatish va oraliq sovitilishli ko'p pog'onali siqishni bir vaqtda qo'llash orqali erishish mumkin.

IV-BOB. BUG' TURBINA QURILMALARINING SIKLLARI.

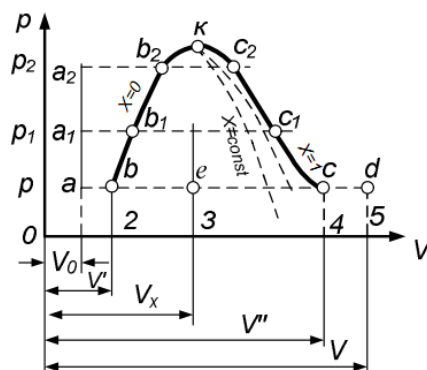
4.1. Suv bug'ining P-V, T-S, h-S diagrammalari.

O'zgarmas bosimda o'ta qizigan bug' olish jarayonini P-V diagrammada ko'rib chiqamiz (4.1-rasm). Quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

V_0, V_0, V' – suvning 0°C va qaynash haroratidagi solishtirma hajmi;

V_x, V'', V – nam, quruq to'yingan va o'ta qizigan bug'ning solishtirma hajmi.

P-V diagrammada izobarani (o'zgarmas bosim chizig'i) $p=\text{const}$ quramiz, bunda a nuqta suvning 0°C haroratdagi holatini xarakterlaydi. Suvga issiqlik uzatilganda uning harorati ortadi va bosimga bog'liq holda to'liq qiymatga erishib qaynadi.



4.1-rasm. Suv bug'ining P-V diagrammasi.

Qaynayotgan suvning holati b nuqta va solishtirma hajmi V' bilan xarakterlanadi. Qaynayotgan suvga yana issiqlik uzatilganda bug' hosil bo'lish jarayoni sodir bo'ladi. c nuqtada qaynayotgan suv to'liq bug'lanadi va solishtirma hajmi V'' bo'lgan quruq to'yingan bug'ga aylanadi. Bug'ga yana issiqlik uzatilsa, u o'ta qiziydi. Uning holati d nuqta va solishtirma hajmi V bilan xarakterlanadi.

Shunday qilib, o'ta qizigan bug' olish jarayoni $a-d$ uchta ketma-ket jarayonlardan iborat:

- izobarik jarayonda suvni qizdirilishi $a-b$;
- izobar-izotermik jarayoda bug' hosil bo'lishi $b-c$;
- izobarik jarayonda bug'ni o'ta qizishi $c-d$.

Suyuqlikni bug'ga aylanishi (bir fazadan boshqa fazaga o'tish) mexanik va termik tenglik bo'lganda sodir bo'ladi, ya'ni $p=const$ va $T=const$. Demak, $b-c$ izobarik qism bir vaqtning o'zida izotermik qism deb ataladi.

Agar bug' hosil bo'lishi juda katta bosimda $p_1 > p$ sodir bo'lsa, u holda hajm V_0 o'zgarmaydi, ya'ni suv amalda siqilmaydigan muhitdir. Qaynayotgan suvning hajmi V' ortadi, shuningdek bosimni ortishi bilan qaynash harorati ham ortadi, quruq to'yingan bug'ning hajmi esa kamayadi, demak bosimning ortishi haroratga qaraganda hajmga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Shunday qilib, bosimni ortishi bilan $a-b$ qirqim ($V'-V_0$) ortadi, $b-c$ qirqim ($V''-V'$) esa kamayadi.

Bir nomlanishli nuqtalarni turli bosimli izobarada birlashtiramiz va muhitning solishtirma hajmini bosimga bog'liqligiga ega bo'lamiz. $a-a_1-a_2$ chizig'i 0°C haroratda suvning solishtirma hajmini bosimga bog'liqligini $V_0=f(p)$ ifodalaydi. Ma'lumki suv amalda siqilmaydi, shuning uchun bu chiziq deyarli ordinata o'qiga parallel bo'ladi. U sovuq suv chizig'i deb nomlanadi. $b-b_1-b_2-k$ egri chizig'i qaynayotgan suv hajmini bosimga bog'liqligini $V=f_1(p)$ ifodalaydi. Bu chiziq quyi chegaraviy egri chiziq deb ataladi. Ushbu egri chiziqdagi muhit quruqlik darajasi $x=0$ bo'lgan qaynayotgan suyuqlik holatida bo'ladi. $c-c_1-c_2-k$ chiziq $V''=f_2(p)$ funksiyadir. Bu chiziq yuqori chegaraviy egri chiziq deb ataladi. Ushbu egri chiziqning har bir nuqtasidagi muhit quruqlik darajasi $x=1$ bo'lgan quruq to'yingan bug' holatida bo'ladi. K nuqtada quyi va yuqori chegaraviy egri chiziqlar kesishadi. Bunda qaynayotgan suyuqlik va quruq to'yingan bug' bir xil holatda bo'ladi. Ushbu nuqtadagi moddaning holat parametrlari kritik deb nomlanadi va "k" (ayrim adabiyotlarda ushbu nuqta "t" - to'yinish harfi bilan belgilanadi) indeksi bilan belgilanadi. Ushbu qiymatlar suv uchun quyidagicha: $p_k=221,29 \cdot 10^5$ Pa (225,65 kg/sm²); $t_k=374,15^\circ\text{C}$; $V_k=0,00326$ m³/kg.

$t > t_k$ haroratda muhit faqatgina o'ta qizigan bug' holatida bo'ladi. Shunday qilib, P-V diagrammada $a-a_1-a_2$ sovuq suv chizig'i, quyi chegaraviy egri chiziq $b-b_1-b_2-k$ va izoterma t_k chiziqlari orasidagi suv suyuq qaynamagan holatda bo'ladi.

Yuqori va quyi chegaraviy egri chiziqlar orasidagi sohada nam to'yingan bug' mavjud bo'ladi. Yuqori chegaraviy egri chiziqning o'ng va chap tomonlarida o'ta

qizigan bug' mavjud. V o'qdagi $a-b$ jarayon chizig'i ostidagi $a-b-2-1$ maydon qizdirish jarayonida suyuqlikni kengaytandagi ishini ifodalaydi, ya'ni $l=p(V_b-V_a)$. $b-c$ chizig'i ostidagi $b-c-4-2$ maydon qaynayotgan suvda bug' molekularini hosil bo'lishiga sarflangan ishini ifodalaydi, $c-d-5-4$ maydoni esa bug'ni o'ta qizdirishda kengayish ishini ifodalaydi.

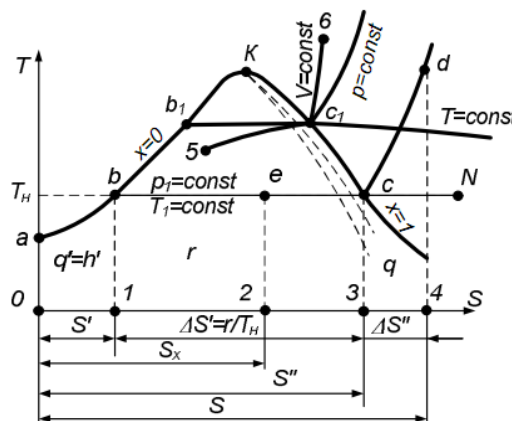
Agar har qanday izobaraning e nuqtasida bug'ning quruqlik darajasini aniqlash kerak bo'lsa, u be qirgimni bc qirgimga nisbatidan aniqlanadi, ya'ni $x = \frac{be}{bc}$. Nam bug'ning solishtirma hajmi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$V_x = xV'' + (1-x)V' = V' + x(V'' - V') \quad (4.1)$$

0°C haroratda va turli bosimlarda suvning solishtirma hajmi $V_0=0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$ ga teng bo'ladi.

Termodinamikada P-V diagrammadan tashqari suv va suv bug'ining T-S issiqlik diagrammasi keng qo'llaniladi.

Ma'lumki, muhitning har bir holati P-V diagrammada nuqta shaklida tasvirlangan bo'lsa, T-S diagrammada ham har bir holat nuqta shaklida tasvirlanadi. T-S diagramma suv va suv bug'ining issiqlik fizik xususiyatlari jadvalining ma'lumotlari bo'yicha quriladi. T-S diagrammada entropiyani hisoblashni boshlashda $S_0=0$ va $T_0=273,15 \text{ K}$ koordinatali nuqta qabul qilinadi. Ushbu shartlarda sovuq suv chizig'i T-S diagrammada a nuqta, quyi chegaraviy egri chizig'i $a-b-b_1-k$, yuqori chegaraviy egri chizig'i $k-c_1-c$ bilan tasvirlanadi. Kritik nuqta k yuqori va quyi chegaraviy egri chiziqlarning kesishmasida joylashadi. Unda $x=\text{const}$ o'zgarmas quruqlik chizig'i joylashadi.



4.2-rasm. Suv bug'ining T-S diagrammasi.

Quyi chegaraviy egri chiziqdagi ab qirqim izobarik jarayonda suyuqlikni qizdirishni ifodalaydi. ab jarayon chizig'i ostidagi $a-b-1-0$ maydon suvni 0°C dan qaynash harorati (to'yinish T_t) b nuqttagacha qizdirishga sarflangan issiqlik $q'=h'$ ni ifodalaydi.

T-S diagrammada bug' hosil bo'lishining izobar-izotermik jarayoni bc to'g'ri chizig'i bilan tasvirlanadi. Ushbu qismda izobara $p=\text{const}$ izoterma $t=\text{const}$ bilan qo'shiladi. Suvni bug'ga fazaviy o'tishi doimo mexanik va termik tenglikda amalga oshadi. $b-c-3-1$ maydon 1 kg qaynagan suvni quruq to'yingan bug'ga aylantirishga ketgan issiqlik bo'lib bug' hosil bo'lish issiqligi r ni ifodalaydi.

cd chizig'i izobarik jarayonda bug'ni o'ta qizdirishni ifodalaydi. $c-d-4-3$ maydon 1 kg quruq to'yingan bug'ni d nuqta holatigacha o'ta qizdirishga sarflangan issiqlikni ifodalaydi. Demak, d nuqta holatidagi 1 kg o'ta qizigan bug'ni olish uchun sarflangan issiqlik miqdori quyidagiga teng bo'ladi:

$$q' = r + q = \lambda \quad (4.2)$$

Bu umumiy issiqlik miqdori d nuqtadagi 1 kg o'ta qizigan bug'ning entalpiyasiga tengdir. Shuningdek, $a-b-c-d-4-0$ maydon – d nuqtadagi bug' entalpiyasi, $a-b-c-3-0$ maydon – c nuqtadagi quruq to'yingan bug' entalpiyasi, $a-b-e-2-0$ va $a-b-1-0$ maydon e va b nuqtalardagi maydon entalpiyasidir. T-S diagrammada izobara $p=\text{const}$ egri chiziq shaklida tasvirlangan. Diagrammaning barcha qismlarida izoxora izobaraga nisbatan tik bo'ladi. Nam bug'ning entropiyasi S_x va entalpiyasi h_x quyidagi formulalardan aniqlanadi:

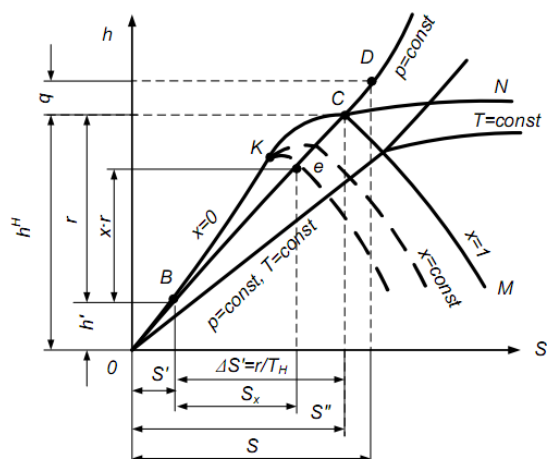
$$S_x = S' + x(S'' - S') = S' + x \frac{r}{T_1} \quad (4.3)$$

$$h_x = h' + x(h'' - h') = h' + xr \quad (4.4)$$

Suv bug'ining jarayonlarini va siklini tadqiqot qilishda h-S diagramma keng qo'llaniladi (4.3-rasm).

Bu diagramma ham suv bug'i jadvalining ma'lumotlari bo'yicha quriladi. Bu diagrammaning afzalligi shundaki, bunda suyuqlik issiqligi h' , bug' hosil bo'lish issiqligi r va o'ta qizdirish issiqligi q maydon bilan emas, balki qirqimlar bilan ifodalanadi. Hisoblashni boshlashda 0°C da $h=0$ va $S=0$ nuqtalar qabul qilinadi. $x=0$ quyi chegaraviy egri chizig'i OBK egri chizig'i bilan tasvirlanadi, $x=1$ yuqori

chegaraviy egri chizig'i esa *KCM* egri chizig'i bilan tasvirlanadi. Kritik nuqta *k*, P-V va T-S diagrammalardagi kabi egri chiziqning cho'qqisidan emas, balki chap tomondagi qiyalikdan joylashadi.



4.3-rasm. Suv bug'ining h-S diagrammasi.

Suv sohasida barcha izobaralar amalda quyi chegaraviy egri chiziq bilan qo'shiladi, nam bug' sohasida izobaralar va ularga mos keluvchi izotermalar qo'shiladi va *BC* to'g'ri chiziq shaklida tasvirlanadi.

Izobaraning qiyalik burchagining tangensi $p = \text{const} \left(\frac{\partial h}{\partial s} \right) = T$, demak bosimni ortishi bilan harorat ortadi, shuningdek izobara qiyalik burchagi ham ortadi. Yuqori bosimli izobara ko'rilayotgani bilan solishtirilganda yuqoriga ketadi. O'ta qizigan bug' sohasida *CD* izobara logarifmik egri chiziqqa yaqin bo'ladi, *CN* izoterma esa yuqori va o'ngga sekin ko'tariluvchi, asimptotik egri chiziqni ifodalaydi va $h = \text{const}$ chizig'iga yaqinlashadi. Buni quyidagicha izohlash mumkin, ya'ni qizdirishning yuqori darajasida va past bosimlarda bug' o'zining xususiyatlari bo'yicha ideal gazga yaqinlashadi.

Shunday qilib, h-S diagrammada izobara *OBCD*, izoterma esa *OCN* egri chiziqni ifodalaydi.

Qaynayotgan suvning *B* nuqtadagi entalpiyasi $h_B = h'$, yashirin bug' hosil bo'lish issiqligi $h_C - h_B = r$, quruq to'yingan bug'ning entalpiyasi $h'' = h_C - q = h' + r$, nam bug'ning *e* nuqtadagi entalpiyasi $h_{xe} = h_e = h' + xr$, o'ta qizigan bug'ning entalpiyasi $h = h_D = h'' + q = h' + r + q$ qirqimlardan aniqlanadi. 1 kg quruq to'yingan bug' olish

uchun zarur issiqlik miqdori bosimga bog'liq va $p=3...3,3$ MPa da eng yuqori qiymatga yetadi:

$$p=0,01 \text{ MPa bo'lganda } h=2588 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \left(617,7 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}};\right);$$

$$p=0,1 \text{ MPa bo'lganda } h=2676,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \left(638,8 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}};\right);$$

$$p=3...3,3 \text{ MPa bo'lganda } h=2805,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \left(669,6 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}};\right);$$

$$p=22 \text{ MPa bo'lganda } h=2181,67 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \left(520,7 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}};\right).$$

4.2. Bug' turbina qurilmalarining tuzilishi va ishlash prinsipi.

Texnikaning va energetik qurilmalarning rivojlanishi tabiiy energetik manbalardan foydalanib mexanik ish va elektr energiyasini ishlab chiqarilishi bilan bog'liq. Zamonaviy sanoat ishlab chiqarishlari, qishloq xo'jalik va transport ishlab chiqarishlari yetarli darajada elektr energiyasiga asoslanadi. Xalq xo'jaligida iste'mol qilinayotgan elektr energiyasining 80% dan ortig'i bug' turbinali elektr stansiyalarda ishlab chiqariladi. Bug' turbinali qurilmalarda suv ishchi jism bo'lib hisoblanadi, bunda yopiq jarayonda holatni o'zgarishi ikkita fazaviy o'zgarish orqali amalga oshadi, ya'ni tomchili suyuqlik holati va bug' holati.

Suv ishchi jism sifatida o'zining issiqlik fizik xususiyatlari bo'yicha ko'pgina afzalliklarga ega. Bundan tashqari o'rtacha haroratlarda u suyuq va gazsimon fazalarda bo'ladi. Suv suyuq fazada bug' fazasiga nisbatan kichik solishtirma hajmga ega bo'ladi. Birinchi issiqlik energetik qurilmasi inson qo'li bilan yaratilgan bo'lib, ular olov bilan harakatlanuvchi – bug' atmosferali va bug' mashinali qurilmalar hisoblanadi. Birinchi bug' atmosferali mashinalar (Papin mashinasi, Sever nasosi, Nyukomen mashinasi) ko'mir kukunlaridan suvni so'rib olish uchun mo'ljallangan, bu mashina XVII asrning oxiri va XVIII asrning boshlarida qurildi.

Bug' atmosferali mashina shaklidagi birinchi universal issiqlik yuritgichining juda original konstruksiyasi XVIII asrning 60-yillarida talantli rus ixtirochisi I.I.Polzunov tomonidan Altay zavodida yaratildi. Taxminan 20 yildan keyin ingliz mexaniki D. Uatt tomonidan bug' mashinasi yaratildi, ushbu mashina ancha

takomillashgan bo'lib, sanoatning barcha sohalarida, temir yo'l va suv transporti sohalarida keng qo'llanila boshlandi.

Sanoatning rivojlanishiga kirib kelayotgan bug' mashinasi o'zining konstruktiv xususiyatlari bo'yicha tez harakatlanuvchi emas edi, bu esa uning kichik quvvatli ekanligini bildirar edi. Elektr mashinalari va elektr uzatgichlarning ixtirolari ishchi mashinalardan issiqlik yuritgichlarini chiqib ketishiga sabab bo'ldi va barcha elektr energiyasi yirik elektr stansiyalarda ishlab chiqarila boshlandi. Issiqlik elektr stansiyalari yangi turdagi quvvatli issiqlik yuritgichlarini talab qildi va bunday yuritgichlar bug' turbinalari shaklida XIX va XX asrlarda paydo bo'ldi.

Bug' turbinasini yaratishda turli mamlakatlarning mutaxassislari mehnat qilishdi va u buyuk xalqaro ixtiro hisoblandi.

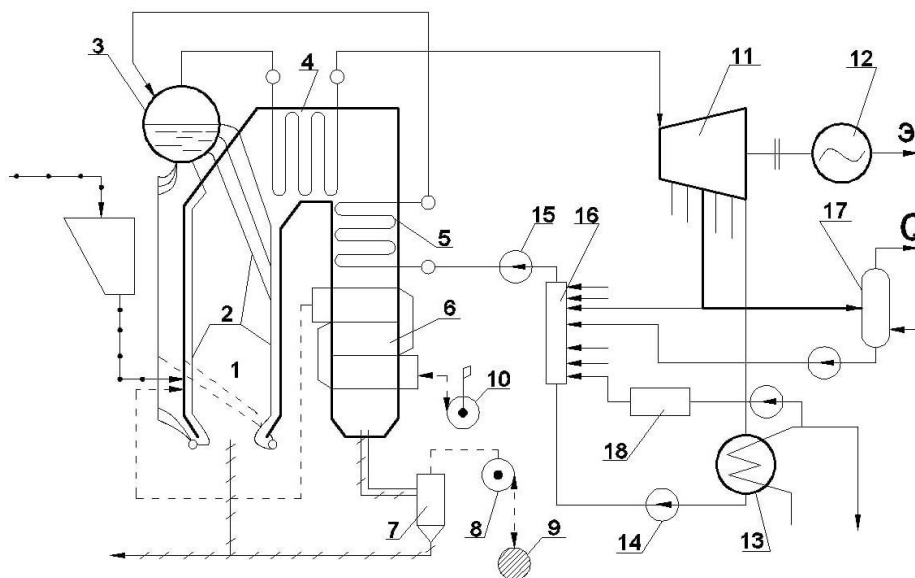
Birinchi bug' turbinasi ingliz olimi Person tomonidan 1885 yilda qurildi va u 6 ot kuchi quvvatiga ega edi, 1913 yilda quvvati 34000 ot kuchiga ega bo'lgan bug' turbinasi qurildi. Keyinchalik bug' turbinasi takomillashtirildi, uning iqtisodiyligi ortdi va uning quvvati tez oshdi. Tez harakatlanuvchi quvvatli bug' turbinasi o'rnini porshenli bug' mashinasi egalladi va u issiqlik elektr stansiyalarining yirik yuritgichlari bo'lib hisoblandi. Hozirgi vaqtda issiqlik elektr stansiyalarida yagona quvvatli bug' turbina qurilmalari ishlaydi, ularning quvvati bir necha yuz ming kilovatt, alohida qurilmalarning quvvati esa million kilovattidan oshadi.

Bug' turbinali elektr stansiya bilan umumiy tanishish uchun uning prinsipial texnologik sxemasini ko'rib chiqamiz (4.4-rasm).

Issiqlik elektr stansiyasi (IES) sanoat korxonasi hisoblanib, ularning xom-ashyosi yoqilg'i, ishlab chiqaradigan mahsuloti esa – elektr energiyasi va issiqlikdir. Yuqori bosimli va yuqori haroratli ishchi jism bug' generatorida (bug' qozonida) hosil qilinib, bug' qozoni qiyin issiqlik almashinuvi qurilmasi hisoblanadi. Zamonaviy bug' generatorining o'txona 1 sida yoqilg'i (gazsimon, suyuq, qattiq) yoqiladi. Hosil bo'lgan yonish mahsulotlari quvurchali qizdirish yuzasi 2 orqali issiqligini suvga uzatadi, suvning bir qismi bug'ga aylanadi va bug'-suvli aralashma baraban-separator 3 ga tushadi. Bug' generatorining barabanida bug' suyuqlikdan ajratiladi va bug' o'ta qizdirgich 4 ga yuboriladi, u yerda bug'

yoqilg'ining yonish mahsulotlari bilan o'ta qizdiriladi. Bug' o'ta qizdirgichdan o'tgan gazlar yuqori haroratga ega bo'ladi, ularni sovitishda issiqligidan suvli ekonomayzer 5 da ta'minot suvini qizdirish va havo qizdirgich 6 da havoni qizdirish uchun foydalaniladi. Sovitilgan tutun gazlari kul tutgich 7 da uchuvchan kuldan tozalanadi va tutun so'rgich 8 yordamida tutun quvuri 9 orqali atmosferaga chiqarib yuboriladi. Yoqilg'ini yonishi uchun zarur bo'lgan havo so'ruvchi ventilyator 10 orqali atmosferadan so'rib olinadi va havo qizdirgich orqali o'txonaga uzatiladi. Havoni havo qizdirgichda qizdirish past potentsialli chiqib ketuvchi gazlarning issiqligini utilizatsiyalashni va yonish reaksiyasini aktiv amalga oshirishini ta'minlaydi.

O'ta qizigan bug', bug' o'ta qizdirgichdan keyin bug' turbina 11 sig'a yuboriladi, u yerda adiabatik kengayib elektr generator 12 ga uzatiladigan texnik ish bajaradi. Barcha turbinadan o'tgan bug' kondensator 13 ga tushadi va u yerda kondensasiyalanadi, o'zining issiqligini sirkulyatsion suvga beradi. Hosil bo'lgan kondensat kondensat nasos 14 va ta'minot nasosi 15 yordamida bug' generatorining barabaniga uzatiladi va barabanga borish yo'lida regenerativ qizdirish 16 tizimi va ekonomayzer 5 da qizdiriladi. Ta'minot suvini regenerativ qizdirish turbinaning oraliq pog'onalaridan olingan bug' hisobiga amalga oshiriladi.



4.4-rasm. IES ning prinsipial texnologik sxemasi.

1-o'txona; 2-qaynatuvchi quvurlar; 3-baraban-separator; 4-bug' o'ta qizdirgich; 5-suvli ekonomayzer; 6-havo qizdirgich; 7-kul tutgich; 8-tutun so'rgich; 9-tutun quvuri; 10-tutun so'ruvchi ventilyator; 11-bug' turbinesi; 12-elektrik generator;

13-kondensator; 14-kondensat nasos; 15-ta'minot nasosi; 16-regenerativ qizdirgich; 17-teploffikasion qurilma; 18-suv tayyorlash qurilmasi.

Bug' turbinasining aylanishi natijasida elektr generatorida mexanik ish elektr energiyasiga aylantiriladi va iste'molchiga uzatiladi. Elektrostansiya nafaqat elektr iste'molchilarni qanoatlantiradi, balki issiqlik bilan ta'minlashi mumkin, u holda teploffikasion 17 qurilma qo'shiladi, ularda turbinaning oraliq pog'onalaridan olinayotgan bug'ni kondensasiyalanishi hisobiga suv qizdiriladi yoki ikkilamchi bug' olinadi va iste'molchiga uzatiladi. Ba'zida texnologik issiqlik iste'molchilariga bug' bevosita turbina otborlaridan uzatiladi.

Issiqlik elektr stansiyalarida doimo ishchi moddaning yo'qotilishi mavjud, ayniqsa issiqlik iste'molchilariga bug' bevosita turbina otboridan uzatilganda bilinadi. Bu yo'qotilishlar tashqi suv ta'minoti manбайдan to'ldiriladi. Bunda suv mexanik va erigan aralashmalardan tozalanadi, buning uchun stansiyada maxsus suv tayyorlash qurilma 18 si mavjud.

4.3. Karnoning nam bug' sikli va uning kamchiliklari.

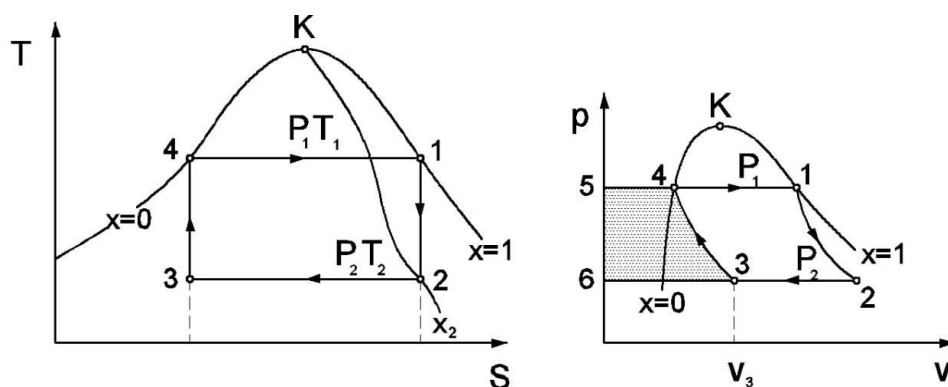
Bug' turbina qurilmasi gaz turbina dvigatellaridan va ichki yonuv dvigatellaridan farq qilib, ularda ishchi jism sifatida qandaydir suyuqlikning bug'lari xizmat qiladi, yoqilg'ining yonish mahsulotlari esa oraliq issiqlik tashuvchi hisoblanadi.

Eng takomillashgan ideal sikl bu Karno siklidir. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan bug' turbina qurilmasi bug' qozoni, bug' turbinasi, kondensator va kompressordan iborat bo'lishi kerak. Karno siklida ishchi jism sifatida nam to'yingan bug' xizmat qiladi, uning T-S va P-V diagrammalardagi ko'rinishi 4.5-rasmda ko'rsatilgan. Siklning jarayonlarini ko'rib chiqamiz: 1-2 turbina silindrida bug'ni adiabatik kengayishi; 2-3 kondensatorida bug'ni kondensasiyalanishi; 3-4 kompressorda bug'ni siqilishi; 4-1 qozonda bug' hosil bo'lishi (qaynash).

Ishchi jismi to'yingan bug' bo'lgan Karno siklining termik foydali ish koeffitsienti quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{(i_1 - i_4) - (i_2 - i_3)}{(i_1 - i_4)} \quad (4.5)$$

Karno sikli bo'yicha ishlaydigan bug' turbinasi qurilmalari qator kamchiliklarga ega, ya'ni ularni qo'llash maqsadga muvofiq emas. Ushbu kamchiliklardan eng asosiylari quyidagilar: 2-3 bug'ni kondensasiyalanish jarayoni to'liq amalga oshmaydi. Bu bilan bog'liq holda kompressorda katta hajmga ega nam bug' mavjud bo'ladi. Bu kompressorda katta o'lchamli silindrdan foydalanishni talab etadi. Shuningdek silindrning o'lchamlari qozondagi bug' bosimi ortishi va kondensatorda bosim kamayishi bilan ortadi, bu haroratlar farqi katta bo'lgan rejimga o'tishda sodir bo'ladi. Bundan tashqari, 1-2 adiabatik kengayish jarayonining oxirida bug'ning namligi yetarlicha yuqori bo'ladi, bu esa turbinasi kurakchalarini eroziyalanishiga olib keladi.



4.5-rasm. Karnoning nam bug' siklini T-S va P-V diagrammalari.

Shunday qilib, Karnoning nam bug' siklini asosiy kamchiligi yirik kompressorni qo'llash zarurligi va 3-4 jarayonda bug'ni siqishga katta ish sarflanishidir, bu ish 54365 maydon bilan chegaralangan.

4.4. Bug' turbinasi qurilmasining ideal va haqiqiy sikli.

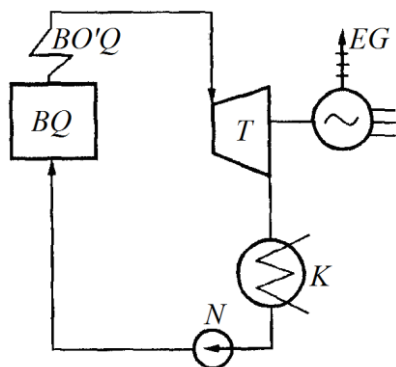
Bug'li issiqlik energetik qurilmalarida ishchi jism uzluksiz oqimda yopiq jarayonda holatini o'zgartiradi. Kengayish (bug' mashinasi yoki turbinada) va bosimni ortish (nasosda) jarayonlari juda tez sodir bo'ladi, shuning uchun bu jarayonlar faqatgina adibatik bo'lishi mumkin. Yuqori haroratli manbadan issiqlikni olish va issiqlikni sovitgichga berish jarayonlari qizdirish yuzasi orqali issiqlik

uzatilishida sodir bo'ladi va anchagina vaqtni talab qiladi. Uzluksiz oqim sharoitida ushbu jarayonlar izobarik bo'lishi mumkin.

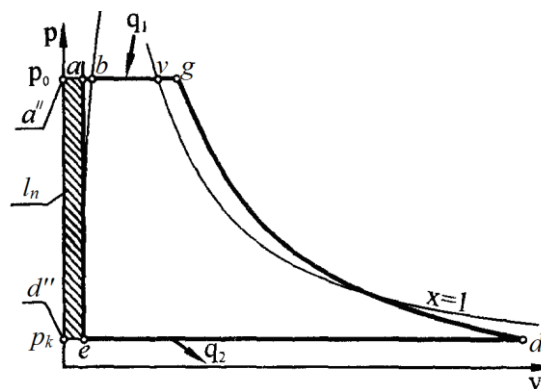
Ishlash koeffisientini oshirish maqsadida ishchi jismni past bosimli sohadan yuqori bosimli sohaga uzatishni minimal solishtirma hajmda, ya'ni tomchili suyuqlik holatida uzatish maqsadga muvofiqdir.

Har qanday siklning FIK issiqlik uzatilishining o'rtacha termodinamik haroratini ortishi bilan ortadi. Bug'li siklda FIKni oshirish bug'ning boshlang'ich bosimini va boshlang'ich haroratini oshirish bilan erishiladi. Amalda sikldagi maksimal harorat konstrukcion materiallarning issiqlik bardoshligi bilan chegaralanadi. Ushbu harorat suvning kritik haroratidan yuqori bo'ladi.

Issiqlik energetik qurilmalarida sovitgich vazifasini doimo tashqi muhit bajaradi, shuning uchun u turbinada ishlatib bo'lingan bug'ning kondensatsiyalanish haroratini aniqlaydi. Yuqorida aytib o'tilgan fikrdan kelib chiqib bug' turbina qurilmasining asosiy ideal sikli ikkita adiabata va ikkita izobara jarayonlarining yig'indisidan iboratdir. Oddiy holda uni amalga oshirish uchun bug' turbinali qurilma zarur bo'ladi (4.6-rasm). Bug' turbinali qurilma bug' generatori, bug' o'ta qizdirgich, bug' turbinali, kondensator va nasosdan iborat bo'ladi.



4.6-rasm. Bug' turbina qurilmasining prinsipial sxemasi. BQ-bug' qozoni; BO'Q-bug' o'ta qizdirgich; T-turbina; EG-elektrogenerator; K-kondensator; N-nasos.



4.7-rasm. Bug' turbina qurilmasining ideal siklini P-V diagrammada tasvirlanishi.

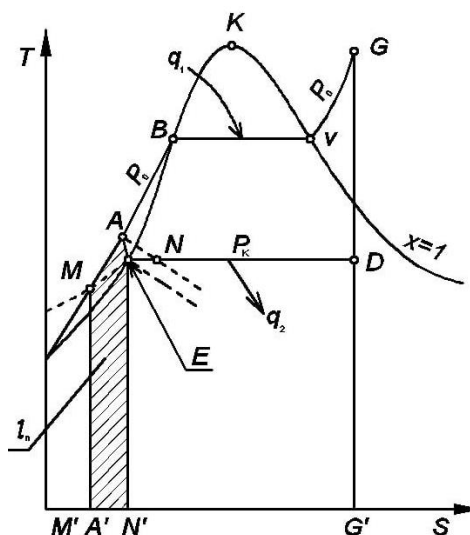
Bug'ning boshlang'ich bosimi o'ta yuqori bo'lgan ideal bug' turbinali qurilmaning P-V diagrammasi 4.7-rasmda ko'rsatilgan. Ta'minot suvi *a* nuqtadagi

holatida, p_0 bosimda va $ct_{t,s}$ entalpiyada bug' qozoniga kiritiladi, u yerda o'zgarmas bosimda qaynash haroratigacha qizdiriladi (b nuqta), keyin quruq to'yingan bug'ga aylanadi (v nuqta) va so'ngra bug' o'ta qizdirgichda o'ta qizdiriladi (g nuqta). Bug' qozonida hosil bo'lgan bug' o'tkir yoki toza bug' hisoblanadi. Uning parametrlari "0" indeks bilan belgilanadi.

O'tkir bug' turbinaga kiritiladi, u yerda kondensatoridagi bosimgacha adiabatik kengayadi (d nuqta) va $a''gdd''a''$ yuzaga mos keluvchi texnik ish bajaradi. Kondensatoridagi bosimga mos keluvchi bug' va suvning parametrlari "k" indeksi bilan belgilanadi. Bug'ning texnik ishi turbina valiga uzatiladi va elektrogenerator yordamida elektr energiyasiga aylantiriladi.

Turbinadan chiqqan bug' kondensatorga tushadi, u yerda o'zgarmas bosimda kondensatsiyalanadi, bunda bug'ni sovitish sovituvchi sirkulyasion suv yordamida amalga oshiriladi. Hosil bo'lgan kondensat (e nuqta) nasos yordamida bug' qozoniga yuboriladi. Nasosda bosim ortishi adiabatik jarayon ea bo'lib, amalda izoxorik hisoblanadi, buning sababi tomchili suyuqliklarni siqilmasligi va haroratni juda kam miqdorda ortishi hisoblanadi. Nasosni yuritishga sarflangan texnik ish $a''aed''a''$ yuza bilan chegaralangan, bunda suvning entalpiyasi ct_k dan $ct_{t,s}$ gacha ortadi.

Turbina va nasos texnik ishlarining farqi $abvgdea$ yuzaga teng bo'lib, bu yuza bug' turbina qurilmasining ideal siklini foydali ishi hisoblanadi. 4.8-rasmda sikl T-S diagrammada tasvirlangan. Izobara AG ($ABVGG'A'A$ yuza) ostidagi maydon uzatilgan issiqlik miqdoriga mos keladi, DE izobara ($EDG'A'E$) ostidagi yuza siklning tashlab yuborgan issiqligi hisoblanadi. $ABVGDEA$ siklning maydoni uning foydali ishini ifodalaydi. MA izobara ($MAA'M'M$) ostidagi yuza E va A nuqtalaraga mos keladi, bu ct_k va $ct_{t,s}$ orasidagi farq bo'lib, nasosning ishi hisoblanadi. $M'MBVGDEA'M'$ yoki $A'ABVGDNN'A'$ turbina ishiga mos keladi, u nasos va sikl ishining yig'indisiga teng.



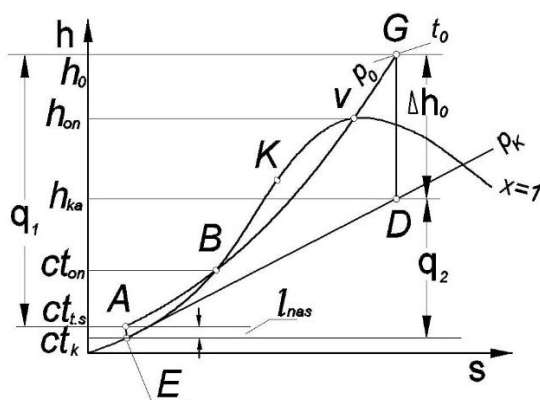
4.8-rasm. Bug' turbina qurilmasining ideal siklini T-S diagrammada tasvirlanishi.

Siklning h-S diagrammasi 4.9-rasmda tasvirlangan. Ushbu diagrammaning muhim afzalligi shundaki, turbina va nasosning issiqligi va texnik ishi har bir jarayonning boshi va oxiridagi ordinata nuqtalar farqini ifodalaydi. Bug'ning adiabatik jarayonda kengayishida bug' turbinasida bug'ning bajargan texnik ishi issiqlik tushishi deb nomlanuvchi entalpiyani kamayishi bilan aniqlanadi:

$$l_t = h_0 - h_{ka} = \Delta h_0 \quad (4.6)$$

bu yerda "a" indeks bug'ni ideal adiabatik kengayish jarayonini ko'rsatadi. (3.2) tenglikning o'ng tomoniga ct_k ni qo'shsak tenglik buzilmaydi va u quyidagicha ifodalanadi:

$$l_t = (h_0 - ct_k) - (h_{ka} - ct_k) \quad (4.7)$$

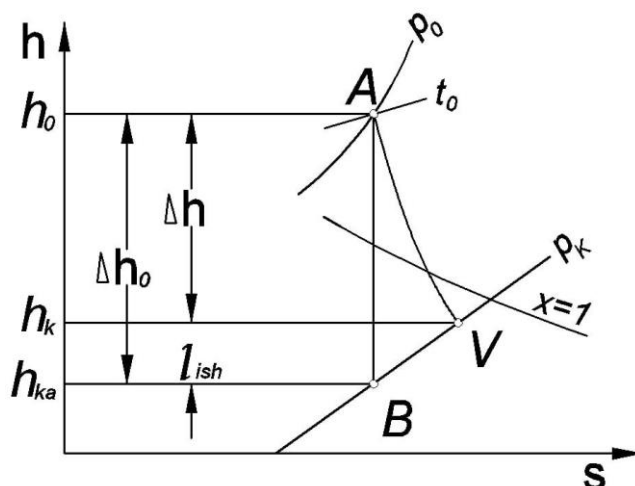


4.9-rasm. Bug' turbina qurilmasini ideal siklining h-S diagrammada tasvirlanishi.

Real bug' turbinada bug'ning kengayish jarayoni foydali ishning ichki yo'qotilishlari ishqalanish va uyurmalanish bilan kuzatiladi. Ko'p pog'onali bug' turbinasining haqiqiy jarayoni qiyin, qaytmas va noteng hisoblanadi, shuning uchun prinsipial ravishda termodinamik diagrammalarda tasvirlash mumkin emas. Energetik samaradorlik nuqtai nazaridan jarayon xarakteri muhim emas va uni shartli ravishda ixtiyoriy AV chiziq shaklida tasvirlash mumkin (4.10-rasm).

Termodinamik siklni tahlil qilishda shuni e'tiborga olish kerakki, ya'ni haqiqiy jarayon entropiyali diagrammada ideal adiabat AB dan o'ng tomonga, ya'ni entropiya o'sishi bilan og'adi. Jarayonning oxirgi nuqtasi V da entalpiya h_k , h_{ka} entalpiyadan yuqori bo'ladi, issiqlik tushishini haqiqiy qiymati Δh , ya'ni ichki ish nazariy issiqlik tushishidan kichik bo'ladi va quyidagiga teng bo'ladi:

$$l_{ti} = h_0 - h_k \quad (4.8)$$



4.10-rasm. Turbinada bug' holatining o'zgarish jarayonini tasvirlanishi.

Entalpiyalar farqi ($h_k - h_{ka}$) turbina imkoniyatli ishining ichki yo'qotilishlariga mos keladi. Turbina ichki ishining nazariy ishiga nisbati turbinaning ichki nisbiy FIK ni ifodalaydi:

$$\eta_{oi} = \frac{l_{ti}}{l_t} = \frac{\Delta h}{\Delta h_0} = \frac{h_0 - h_k}{h_0 - h_{ka}} \quad (4.9)$$

Ushbu FIK turbinaning konstruksiyasiga, bug'ning parametrlariga va hajmiy sarfiga, turbinaning ishlash rejimiga bog'liq. Termodinamik hisoblashlarda FIK berilgan kattalik sifatida qabul qilinadi.

Nasosni yuritishga yo'qotilishlar bilan birga sarflangan ish:

$$l_{ni} = v'_k(p_{t.s} - p_k) \frac{1}{\eta_n} \quad (4.10)$$

bu yerda $p_{t.s}$ -nasos hosil qilgan bosim; η_n -nasosning adiabatik koeffitsienti.

Ma'lumki, nasos hosil qilgan bosim turbinaga kirayotgan bug'ning bosimidan doimo yuqori bo'ladi, buning sababi uzatish quvurlarida va bug' qozonida ishqalanish hisobiga yo'qotilishlar mavjud bo'ladi.

Bug' turbina qurilmasining foydali ichki ishi turbina va nasos ishlarining farqini ifodalaydi:

$$l_i = l_{ti} - l_{ni} = h_0 - v'_k(p_{t.s} - p_k) \frac{1}{\eta_n} \quad (4.11)$$

Foydali ichki ishning issiqlik manbaidan qabul qilingan issiqlik miqdoriga nisbati bug' turbina qurilmasining ichki absolyut FIK deb nomlanadi:

$$\eta_i = \frac{l_i}{q_1} = \frac{(h_0 - h_k) - v'_k(p_{t.s} - p_k) \frac{1}{\eta_n}}{h_0 - ct_{t.s}} \quad (4.12)$$

Turbina oldidagi bosim kichik bo'lganda nasosning ishini hisobga olmasa ham bo'ladi:

$$\eta_i = \frac{\Delta h}{q_1} = \frac{h_0 - h_k}{h_0 - ct_k} \quad (4.13)$$

Ushbu holda o'zgartirishlardan keyin:

$$\eta_i = \frac{\Delta h}{q_1} = \frac{\Delta h_0}{q_1} \frac{\Delta h}{\Delta h_0} = \eta_t \eta_{oi} \quad (4.14)$$

Demak, ichki absolyut FIK termik FIK va ichki nisbiy FIK ning ko'paytmasiga teng bo'ladi.

4.5. Renkin siklining termik FIK.

Renkin siklining termik FIK siklining foydali ishini l_s siklga keltirilgan umumiy issiqlikka q_1 nisbatidan aniqlanadi:

$$\eta_t = \frac{l_s}{q_1} \quad (4.15)$$

Siklga keltirilgan issiqlik quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} q_1 &= i_1 - i_4 = i_1 - i_3 - (i_4 - i_3) = \\ &= i_1 - i_3 - l_n = i_1 - i_3 - (p_1 - p_2)v_3 \end{aligned} \quad (4.16)$$

l_s va q_l uchun formulalarni hisobga olganda termik FIK formulasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2 - (p_1 - p_2)v_3}{i_1 - i_3 - (p_1 - p_2)v_3} \quad (4.17)$$

Kichik bosimlarda ta'minot nasosi ishini $l_n = (p_1 - p_2)v_3$ hisobga olmasa ham bo'ladi, u holda

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3} \quad (4.18)$$

Renkin siklining iqtisodiyligini xarakterlovchi ko'rsatkichlarga siklining ishi l_s va termik FIK η_t dan tashqari, bug'ning solishtirma sarfi d_0 va issiqligi q_0 kiritiladi. Solishtirma sarf bug'ning soatij sarfini D_0 ishlab chiqarilgan elektr energiyasiga N nisbatidan aniqlanadi:

$$N = l_s = i_1 - i_2 \quad (4.19)$$

1 $kVt \cdot soat = 3600N$ ekanligini hisobga olgan holda, qurilmaning issiqlik balansi tenglamasini tuzamiz:

$$D_0(i_1 - i_2) = 3600N \quad (4.20)$$

yoki

$$D_0 = \frac{3600N}{(i_1 - i_2)} \quad (4.21)$$

Bunda bug'ning nazariy solishtirma sarfi quyidagiga teng bo'ladi:

$$d_0 = \frac{D_0}{N} = \frac{3600}{i_1 - i_2} \quad (4.22)$$

bu yerda i_1, i_2 – entalpiya, kJ/kg .

Bug'ning nazariy solishtirma sarfi kilogrammda va 1 MJ ishda quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$d_0 = \frac{1000}{i_1 - i_2} \quad (4.23)$$

Issiqlikning solishtirma sarfi kJ/MJ da quyidagicha aniqlanadi:

$$q_0 = d_0(i_1 - i_3) \quad (4.24)$$

d_0 va η_t uchun formulalarni hisobga olganda quyidagicha:

$$q_0 = \frac{1000}{\eta_t} \quad (4.25)$$

Ma'lumki, suvning issiqlik sig'imi $4,1868 \frac{kJ}{(kg \cdot ^\circ C)}$, $t_2=t_3=t_k$ t_k -kondensatning

harorati:

$$i_3 = 4,1868t_k$$

U holda q_0 va η_t uchun formulalar quyidagicha:

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - 4,1868t_k}; \quad d_0 = \frac{1000}{i_1 - 4,1868t_k}; \quad q_0 = d_0(i_1 - 4,1868t_k)$$

Demak, Renkin siklining to'rtta asosiy parametrlarini l_s , η_b , d_0 , q_0 topish uchun turbinada bug' kengayishining faqatgina bitta jarayonini h-S diagrammaga ko'chirish yetarlidir.

Turbinada bug'ni kengayish jarayonini qaytmasligidan yo'qotilishlarni hisobga olish uchun turbinaning nisbiy ichki FIK kiritiladi:

$$\eta_{oi} = \frac{i_1 - i'_2}{i_1 - i_2} \quad (4.26)$$

bu yerda $i'_2 \gg i_2$ - turbinada bug'ning haqiqiy kengayish jarayonini oxiridagi entalpiyasi.

Jarayonni qaytmasligidan yo'qotilishlar foydali ishni kamaytiradi va bug'ning solishtirma sarfi ortadi:

$$d'_0 = \frac{1000}{i_1 - i'_2} \quad (4.27)$$

4.6. Bug' va issiqlikni solishtirma sarfi, boshlang'ich va oxirgi parametrlarni termik FIK ga ta'siri.

Bug' yuritgichlarida issiqlikni nazariy foydalanishni xarakterlovchi kattaliklar bug' va issiqlikning solishtirma sarfi hisoblanadi. Bug'ning solishtirma sarfi deyilganda 1 *kVt·soat* quvvatga ish bajarish uchun zarur bo'lgan bug'ning massaviy sarfi tushiniladi.

Quvvati N_e , *kVt* bo'lgan kondensasion turbinaga bug' sarfi D_0 , *kg/soat* quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$D_0 = \frac{3600N_e}{i_a \eta_{oi} \eta_m \eta_g} \quad (4.28)$$

bu yerda i_a – turbinada bug'ning adiabatik issiqlik tushishi, kJ/kg ; η_{oi} η_m – turbinaning ichki nisbiy va mexanik FIK; η_g – elektr generatorning FIK.

D_0 uchun ifodani quyidagi shaklda ifodalash qulay:

$$D_0 = \frac{3600N_e}{i_a\eta_{oi}\eta_g} \quad (4.29)$$

Kondensatsion turbina qurilmasining umumiy energetik balansi tashqi issiqlik yo'qotilishlari hisobga olinmaganda quyidagi tenglama bilan xarakterlanadi:

$$Q_{tq} = 3600N_i + Q_k \quad (4.30)$$

bu yerda Q_{tq} va Q_k soatiy davrga nisbatan olinadi.

Bug'ni oraliq qizdirilishi bo'lmagan kichik quvvatli turbina uchun:

$$Q_{tq} = D_0(h_0 - h_{t.s}) \quad (4.31)$$

Turbina qurilmasining energetik samaradorlik ko'rsatkichi bu – issiqlikning solishtirma sarfidir, $kJ/(kVt \cdot soat)$:

$$q_{tq} = \frac{Q_{tq}}{N_e} = \frac{D_0}{N_e}(h_0 - h_{t.s} + q_{o.q}) \quad (4.32)$$

Ma'lumki, $1 kVt \cdot soat = 3600 \frac{kJ}{(kVt \cdot soat)}$, Renkin siklida 1 kg bug'ning nazariy ishi esa $l = h_b - h_c = h$, u holda bug'ning nazariy solishtirma sarfi quyidagini tashkil qiladi:

$$d_t = \frac{3600}{h} \quad (4.33)$$

Renkin siklida 1 kg bug' olish uchun sarflangan issiqlik:

$$q_1 = h_b - h'_2 \quad (4.34)$$

Demak, d_t bug' sarflanganda, $1 kVt \cdot soat$ uchun issiqlikning solishtirma sarfi:

$$W_t = q_1 d_t = (h_b - h'_2) \frac{3600}{h} = \frac{3600}{\eta_t} \quad (4.35)$$

Renkin sikli bo'yicha ishlaydigan bug' turbina qurilmasining termik FIK quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

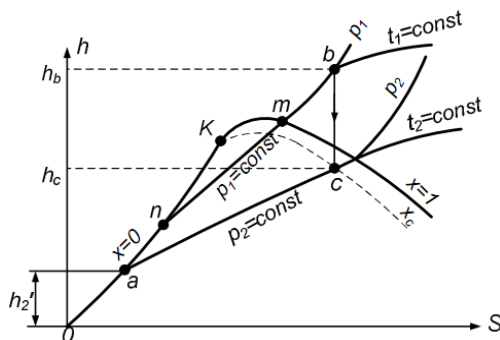
$$\eta_t = \frac{h_b - h_c}{h_b - h'_2} = \frac{h}{q_1} = \frac{h}{h_b - h'_2} \quad (4.36)$$

bu yerda h_b – turbinaga kirayotgan o'tkir bug'ning entalpiyasi, kJ/kg ; h_c – turbinada ishlatib bo'lingan bug'ning entalpiyasi (kondensatorga kirishda); h'_2 - bug' qozoniga

kirayotgan kondensatning entalpiyasi; $h=h_b-h_c$ – turbinada issiqlikni tushishi, kJ/kg ;
 $q_1 = h_b - h_2'$ - 1 kg o'tkir bug' olish uchun sarflangan issiqlik miqdori.

Bug' turbina qurilmasining h-S diagrammadagi termodinamik sikli 4.11-rasmda tasvirlangan.

Ushbu rasmdan ko'rinib turibdiki, turbinaga kirayotgan “b” nuqtadagi bug'ning entalpiyasi bosim p_1 ga va harorat t_1 ga bog'liq, demak $h_b=f_1(p_1, t_1)$. Turbinadan chiqayotgan “c” nuqtadagi bug'ning entalpiyasi bosim p_2 ga bog'liq, ya'ni $h_c=f_2(p_2)$, qozonga kirayotgan kondensatning entalpiyasi esa faqatgina p_2 ga bog'liq, ya'ni $h_2' = f_3(p_2)$. Shunday qilib, bug' turbina qurilmasining nazariy FIK $\eta_t = f(p_1, p_2, t_1)$ funksiya hisoblanadi. Endi ushbu parametrlarning har biri FIK ga qanday ta'sir ko'rsatishini ko'rib chiqamiz.



4.11-rasm. Bug' turbina qurilmasining sikli.

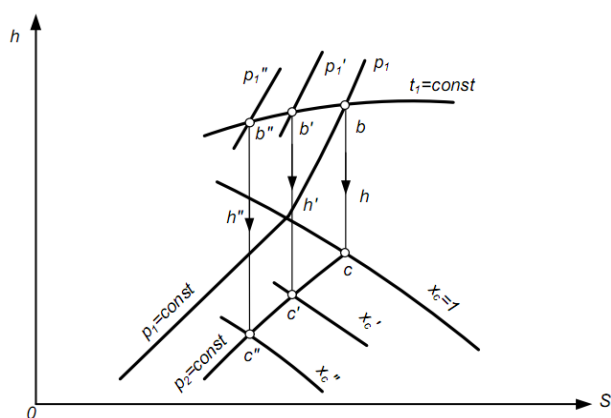
Uchta parametrdan faqatgina boshlang'ich bosimni o'zgartiramiz ($p_1=var$, $p_2=const$, $t_1=const$). Boshlang'ich bosimga qiymat beramiz va ushbu izobarani h-S diagrammadan topamiz (4.12-rasm).

Izobara p_1 ni izoterma t_1 bilan kesishuvi jarayonning boshlang'ich nuqtasi “b” va bug' entalpiyasi h_b ni beradi. “b” nuqtadan adiabata o'tkazamiz va uni izobara $p_2=const$ bilan kesishtiramiz.

1) Ularning kesishuvi “c” nuqtani va bug'ning turbinadan chiqishdagi entalpiyasi h_c ni, turbinada issiqlik tushishi $h=h_b-h_c$ ni va oxirida bug'ning quruqligi $x_c=1$ ni beradi.

Keyin ketma-ket bosimlar p_1', p_1'' ni beramiz, ular uchun xuddi shu jarayonlarni quramiz. Bundan shunday xulosa qilish mumkin, ya'ni boshlang'ich bosimni ortishi bilan $p_1 < p_1' < p_1''$:

- 1) "b" nuqtalarda o'tkir bug'ning entalpiyasi kamayadi: $h_b > h'_b > h''_b$;
- 2) "c" nuqtalarda kengayishning oxirida bug'ning entalpiyasi kamayadi: $h_c > h'_c > h''_c$;
- 3) turbinada issiqlik tushishi ortadi: $h'' > h' > h$;
- 4) bug'ning quruqlik darajasi kamayadi $x_c'' < x_c' < x_c$ va bug'ning namligi ortadi;
- 5) kondensat entalpiyasi $h'_2 = const$, demak $p_2 = const$.



4.12-rasm. p_1 ni termik FIK ka ta'sirini aniqlash uchun.

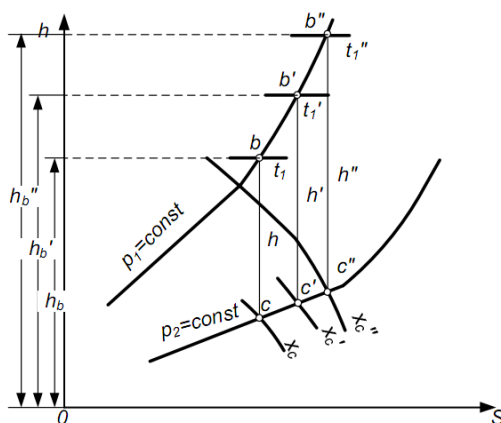
Ko'rilayotgan hol uchun quyidagicha xulosa qilish mumkin, boshlang'ich bosimni ortishi bilan $h = h_b - h_c$ ortadi, $q_1 = h_b - h'_2$ biroz kamayadi. Demak, o'tkir bug'ning boshlang'ich bosimi ortishi bilan bug' turbinasining termik FIK ortadi: $\eta_t < \eta'_t < \eta''_t$.

Shuni ta'kidlash kerakki, kengayishni oxirida boshlang'ich bosimni ortishi bilan bug'ning quruqlik darajasi kamayadi. Bu turbinasining pog'onalarining FIK ni kamayishiga va namlikni taxminan 1% ga ortishiga olib keladi. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, bug' turbinasining haqiqiy FIK bir necha marta kam bo'ladi.

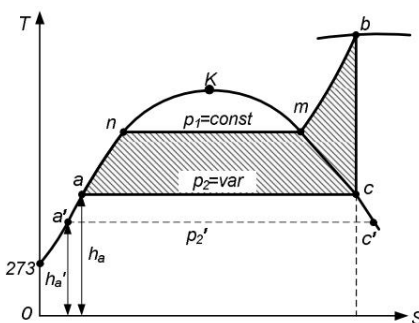
Endi boshlang'ich bosim $p_1=const$ va oxirgi bosim $p_2=const$ qabul qilamiz va bug'ning boshlang'ich haroratini bug' turbina qurilmasi FIK ga qanday ta'sir etishini ko'rib chiqamiz (4.13-rasm).

Boshlang'ich haroratni t_1 qabul qilamiz va ushbu izotermani h-S diagrammadan topamiz. Izoterma t_1 izobara p_1 bilan kesishuvi jarayonning boshlang'ich "b" nuqtasini va bug'ning entalpiyasi h_b ni beradi. "b" nuqtadan adiabata o'tkazamiz va uni izobara $p_2=const$ bilan kesishgunicha davom ettiramiz. Ularning kesimi "c" nuqta – bug'ni turbinadan chiqishdagi holatini, turbinada issiqlik tushishini va bug'ning oxirgi quruqligini beradi. Endi ketma-ket $t_1 < t_1' < t_1''$ haroratlarni beramiz va qabul qilingan haroratlarni uchun jarayonlarni quramiz. Ushbu rasmdan quyidagini xulosa qilish mumkinki, boshlang'ich haroratni ortishi bilan $t_1 < t_1' < t_1''$:

- 1) "b" nuqtalarda o'tkir bug'ning entalpiyasi ortadi: $h_b < h_b' < h_b''$;
- 2) "c" nuqtalarda kengayish oxiridagi entalpiyasi ortadi: $h_c < h_c' < h_c''$;
- 3) turbinada issiqlik tushishi ortadi: $h_b < h_b' < h_b''$;
- 4) bug'ning quruqlik darajasi ortadi: $x_c < x_c' < x_c''$.



4.13-rasm. t_1 ni termik FIK ga ta'sirini aniqlash uchun.



4.14-rasm. p_2 ni termik FIK ga ta'sirini aniqlashga.

Ushbu hol uchun quyidagicha xulosa qilish mumkin, ya'ni boshlang'ich haroratni ortishi bilan $h=h_b-h_c$ ortadi, $q_1 = h_b - h'_2$ ham ortadi. Hisoblashlar shuni ko'rsatadiki, boshlang'ich haroratni ortishi bilan termik FIK ham ortadi: $\eta_t < \eta'_t < \eta''_t$. Shuni ta'kidlash joizki, boshlang'ich haroratni ortishi bilan kengayish oxirida "c" nuqtada bug'ning quruqlik darajasi ortadi. Bu esa bug' turbina qurilmasining termik FIK ni ortishiga olib keladi.

Endi boshlang'ich bosimni $p_2=const$ va boshlang'ich haroratni $t_1=const$ va oxirgi bosimni $p_2=var$ qabul qilamiz (4.14-rasm).

Siklning foydali ishi $a-n-m-b-c-a$ maydon bilan aniqlanadi. Agar oxirgi bosim $p'_2 < p_2$ qabul qilinsa, u holda siklning foydali ishi l' ortadi, ya'ni $a-n-m-b-c-a$ maydon $<a'-n-m-b-c'-a'$. Demak bosim p_2 ni ortishi kamayishi bilan bug' turbina qurilmasining termik FIK ortadi.

4.7. Bug' turbina qurilmalarining regenerativ sikllari.

Kondensat va ta'minot suvini regenerativ isitish turbinadan olinayotgan bug' otborlari yordamida amalga oshiriladi. Qizdiruvchi bug' dastlab turbinada ish bajaradi, keyin qizdirgichlarda kondensatsiyalanadi. Turbinadan olingan bug' otborlarining olib ketilgan issiqligi qozonga qaytariladi, ya'ni regeneratsiya qilinadi.

Regenerativ qizdirish qurilmaning FIK 10-12% ga oshirishi mumkin, shuning uchun regenerativ isitish barcha zamonaviy bug' turbina qurilmalarida qo'llaniladi. Zamonaviy turbina qurilmasi odatda yetti-to'qqizta regenerativ bug' otborlariga ega bo'ladi va ularga mos ravishda qizdirgichlar ketma-ket ulanadi.

Turbinadan olinayotgan bug' oqimi bilan regenerativ qizdirish sxemasida regenerativ qizdirgichlarda sovuq manbaga (kondensator) issiqlik yo'qotilishsiz ish bajariladi. Bunda turbogeneratorning u yoki bu quvvatida kondensatorga bug' sarfi kamayadi va qurilmaning FIK ortadi.

Otborlardan olinayotgan bug' miqdori faqatgina haroratga bog'liq bo'lib, otbor turbina kondensatini qanday haroratgacha qizdirib berishiga ko'ra tanlanadi. Bug'ning turbinaga kirishdagi parametrlari qancha yuqori bo'lsa, kondensatni

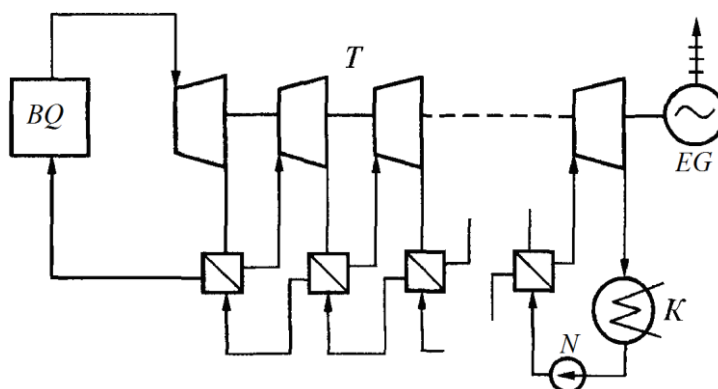
qizdirish haroratining oralig'i shuncha katta bo'ladi va regenerativ qizdirish sxemasini qo'llashdan katta samara olinadi. Odatda elektr stansiyalarda o'rta parametrlarda ta'minot suvining harorati 150-170°C oralig'ida, yuqori bosimlarda esa 225-275°C ni tashkil etadi.

Regenerativ siklni nazariy jihatdan ikki turda amalga oshirish mumkin:

- a) turbinada ishchi moddaning sarfi o'zgarmas bo'lganda;
- b) suvni regenerativ qizdirish uchun turbinaning oraliq pog'onalaridan ishchi moddaning bir qismini olish orqali.

Birinchi tur sikli bo'yicha ishlaydigan qurilmaning sxemasi 4.15-rasmda va siklning T-S diagrammada tasvirlanishi 4.16-rasmda ko'rsatilgan.

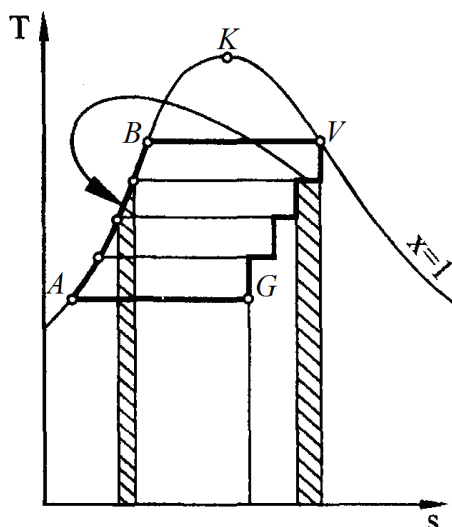
Bug' qozonidan chiqqan to'yingan bug', bug' turbinasiga kiritiladi va ketma-ket uning pog'onalaridan o'tadi, pog'onalari orasida regenerativ qizdirgichlar joylashgan. Turbina pog'onalarida bug' adiabatik kengayadi va texnik ish bajaradi. Yuzaviy regenerativ qizdirgichlarda bug' izobarik holda issiqligini ta'minot suviga beradi, ta'minot suvi kondensatordan bug' qozonigacha bo'lgan yo'lda ketma-ket barcha qizdirgichlardan o'tadi va qiziydi.



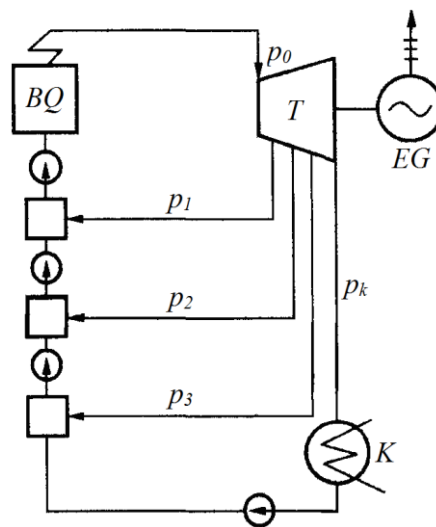
4.15-rasm. Ishchi moddaning sarfi turbinaning pog'onalari bo'yicha o'zgarmas bo'lganda ta'minot suvi regenerativ qizdiriladigan BTQ sining sxemasi.

Turbinada va regenerativ qizdirgichlarda bug' holatini o'zgarish jarayonida ishqalanishga yo'qotilish hisobga olinmaganda VG siniq chiziq shaklida tasvirlanadi, siniq chiziq adiabat va izobara qirqimlaridan iborat. Suvni qizdirish jarayoni AB izobara shaklida tasvirlanadi. 4.16-rasmda shtrixlangan maydon orqali bug' orqali berilgan issiqlik va birinchi qizdirgichda (bug' yo'li bo'yicha) suv qabul

qilgan issiqlik ko'rsatilgan. 4.15-rasmda ko'rsatilgan sikl nazariy sikl bo'lib, undan amaliyotda foydalanilmaydi.



4.16-rasm. Regeneratsiyali BTQ sining ideal siklini T-S diagrammada tasvirlanishi.



4.17-rasm. Turbinadan olinayotgan otbor bug'lari bilan ta'minot suvi regenerativ qizdiriluvchi BTQ sining sxemasi.

Amaliyotda ikkinchi turdagi sikl bo'yicha ishlaydigan qurilmalardan foydalaniladi, bunda ta'minot suvini regenerativ qizdirish uchun turbinaning oraliq pog'onalaridan bug'ning bir qismi otbor shaklida olinadi. Termodinamika nuqtai nazaridan ko'rilayotgan sikllar teng qiymatli bo'lib, bu sikl 1929 yilda texnik Ya.M. Rubinshteyn tomonidan taklif qilingan.

Uchta regenerativ otborli bug' bilan aralashtiruvchi regenerativ qizdirgichlarda ta'minot suvi qizdiriluvchi BTQ sining sxemasi 4.17-rasmda tasvirlangan. Har bir aralashtiruvchi qizdirgichga suv kiritiladi, qizdiruvchi bug'ning kondensatsiyalanishi hisobiga suv to'yinish haroratigacha qiziydi, qizdiruvchi bug'ning kondensati bilan aralashadi va hosil bo'lgan aralashma nasos yordamida keyingi ancha yuqori bosimli qizdirgichga uzatiladi. Suv yo'li bo'yicha oxirgi nasos orqali bug' qozoniga kiritiladi. Turbinadan olingan regenerativ otborlar hisobiga bug'ning miqdori kamayadi, qizdirgichlarda esa suvning yo'li bo'yicha bug'ning miqdori ortib boradi, ya'ni siklning turli uchastkalarida turli miqdordagi ishchi jism ishtirok etadi.

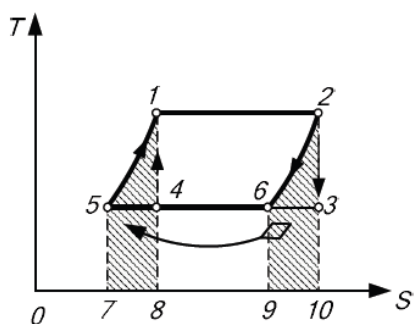
Yuqorida ko'rib o'tilgandek, regenerativ sikl Karno sikli kabi termik FIK ga ega. U Karno sikli 1-2-3-4 dan hosil qilinadi, bunda adiabatik kengayish 2-3 va siqish 4-1 jarayonlari kengayish 2-6 va siqish 5-1 ekvivalent politropalar bilan o'rin almashinadi (4.18-rasm). Demak, regenerativ sikl 1-2-6-5 maydonga teng bo'lib, ikkita izoterma va ikkita politropadan tashkil topgan. Ushbu siklda kengayish 2-6 jarayonida ishchi muhitdan olinayotgan issiqlik 2-10-9-6 maydonga teng bo'lib, ushbu issiqlik ishchi jismga siqish 5-1 jarayonida uzatiladi. Demak, 2-10-9-6 va 1-8-7-5 maydonlar bir-biriga teng. Bundan kelib chiqadiki 2-6 va 5-1 politropalar bir xil.

Nam bug'li Renkin siklini regenerativ siklga o'zgartirish uchun bug'ning adiabatik kengayish 2-3 jarayonini 2-6 politropaga va suyuqlikni qizdirilishini 5-1 politropaga almashtiramiz (4.19-rasm). Chegaraviy regenerasiyali Renkin siklining termik FIK quyidagi ifodadan aniqlanadi:

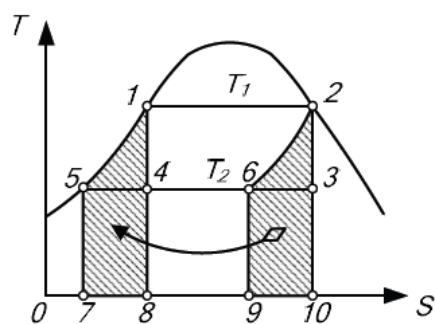
$$\eta_t^{reg} = 1 - \frac{T_2(S_6 - S_5)}{h_2 - h_1} \quad (4.37)$$

Amaliyotda bunday siklni konstruktiv va boshqa qiyinchiliklar hisobiga amalga oshirish mumkin emas, shuningdek 2-6 kengayish jarayonida issiqlikni uzluksiz olib ketish mumkin emas.

Bug' turbina qurilmalarida haqiqiy keng qo'llaniladigan sikl regenerativ sikldir. Nazariy regenerativ sikl quyidagicha amalga oshiriladi. Suvni qizdirish turbinaning alohida pog'onalarida kengayadigan bug'ning ma'lum qismi bilan amalga oshiriladi, bunda qizdirish uchun turbinaning har bir pog'onasidan otborlar olinadi.



4.18-rasm. Karno sikli va regenerativ sikl.

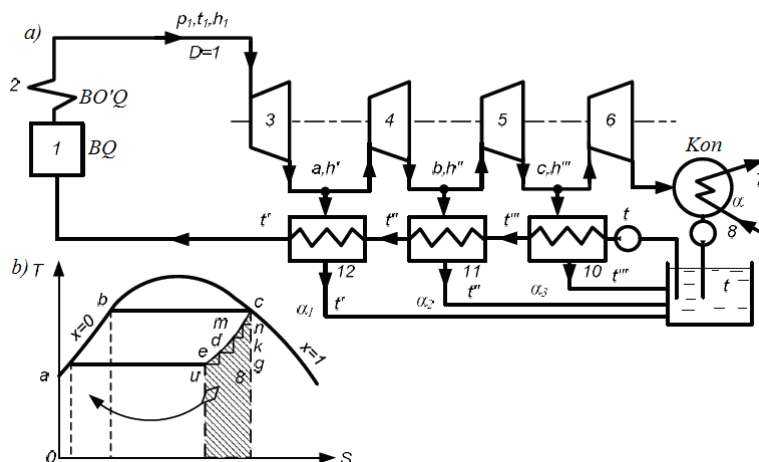


4.19-rasm. Regenerativ siklning termik FIK ni aniqlash uchun.

Ushbu sharoitlarda turbinaning har bir keyingi pog'onasida bug' miqdorini navbati bilan kamayishi sodir bo'ladi. 4.20-rasmda ta'minot suvi regenerativ qizdiriladigan uch otborli BTQ sining sxemasi va BTQ si siklining T-S diagrammasi ko'rsatilgan.

4.20-rasmda 1 va 2 raqamlar bilan bug' qozoni va bug' o'ta qizdirgich, 3, 4, 5, 6 – turbinaning alohida qismlari, 10, 11, 12 – yuzaviy qizdirgichlar, ularda olinayotgan bug'ning issiqligi hisobiga ta'minot suvini qizdirish sodir bo'ladi, a , b va c – turbinadan olinayotgan bug'ning joyi.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, bug' birinchi qismda kengaygandan so'ng uning bir qancha qismi rostlanmaydigan otbor a ga olinadi va qizdirgich 12 ga yo'naltiriladi. Bug' otborlari turbinaning ikkinchi va uchinchi bo'limlaridan ham olinadi. Bug'ning issiqligi hisobiga ushbu otborlar orqali ta'minot suvini qizdirgichlar 10 va 11 da qizdirish amalga oshiriladi. Shunday qilib, bug' turbinaning oxirgi pog'onasida kengaygandan so'ng qolgan bug'ning miqdori kondensator 7 ga yo'naltiriladi.



4.20-rasm. BTQ sining haqiqiy regenerativ sikli.

a-BTQ sining haqiqiy sxemasi; b-regenerativ siklining T-S diagrammasi.

Qizdirgichlar 10, 11, 12 dan va kondensatordan chiqqan bug' ta'minot baki 9 ga uzatiladi, keyin bug' qozoni 1 ga uzatiladi. Shunday qilib, BTQ sida bug'ning umumiy oqimi to'rtta alohida oqimlarga ajraladi, ulardan har birining ishi bosim o'zgarishining belgilangan chegaralarida amalga oshiriladi.

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$\alpha_1 = \frac{D_1}{D}$ - birinchi otbor a dan olinayotgan bug'ning miqdori, kilogramm

ulushlarida;

$\alpha_2 = \frac{D_2}{D}$ - ikkinchi otbor b dan olinayotgan bug'ning miqdori, kilogramm

ulushlarida;

$\alpha_3 = \frac{D_3}{D}$ - uchinchi otbor c dan olinayotgan bug'ning miqdori, kilogramm

ulushlarida;

$\alpha_k = \frac{D_k}{D}$ - kondensatorga kirayotgan bug' miqdori.

Demak, $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_2 + \alpha_k = 1$.

Suvni regenerativ qizdirish xususiyatlarini ko'rib chiqib shunday xulosa qilish mumkin, ya'ni regenerativ siklni amalga oshirish siklning termik FIK ni oshiradi, uning qiymati Karno siklining termik FIK ga yaqin bo'ladi. Yuzaviy qizdirgichlarda bug' va ta'minot suvi aralashmaydi, bug'dan suvga issiqlikni uzatish quvurlarning yuzasi orqali amalga oshiriladi. Bug' otborlarining belgilangan bosimlarida qolgan barcha parametrlar i - S diagramma bo'yicha aniqlanadi. Qizdirgichlardagi yo'qotilish hisobga olinmaydi.

Regenerativ siklni hisoblashda quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

- 1) O'tkir bug'. Bosimi p_1 , harorati t_1 va entalpiyasi i_1 .
- 2) Birinchi otbor bug'ining parametrlari. Bosimi p' , to'yinish harorati t' , entalpiyasi i' , olingan bug'ning miqdori α_1 .
- 3) Ikkinchi otbor bug'ining parametrlari. Bosimi p'' , to'yinish harorati t'' , entalpiyasi i'' , olingan bug'ning miqdori α_2 .
- 4) Uchinchi otbor bug'ining parametrlari. Bosimi p''' , to'yinish harorati t''' , entalpiyasi i''' , olingan bug'ning miqdori α_3 .
- 5) Bug'ning kondensatorga kirishdagi parametrlari. Bosimi p_2 , harorati t_2 va entalpiyasi i_2 , olingan bug'ning miqdori α .
- 6) Bug' qozoniga kirayotgan ta'minot suvining harorati, $t_{t.s.}$

7) Ta'minot bakidagi suvning harorati, t .

Regenerativ siklning termik FIK quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l}{q_1}$$

$$q_1 = h - h_{t.s} = h_1 - c_{t.s}t$$

Siklda bug'ning bajargan ishi l , bug'ni turbinaning alohida pog'onalarini orqali o'tayotgan shartga muvofiq quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$l = \sum l_i = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$$

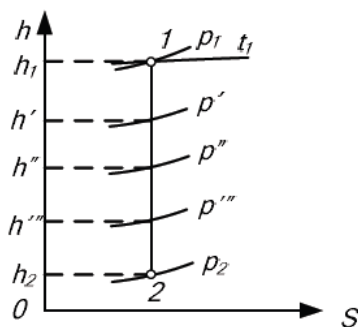
$$l_1 = h_1 D_1 = (h_1 - h') \cdot 1$$

$$l_2 = (h' - h'')(1 - \alpha_1)$$

Pog'onalar ishini l_i aniqlashda bug'ning issiqlik miqdori h_i o'tkir bug'ning boshlang'ich parametrlari, otborlardagi bosim va kondensatorga kirishdagi bosim qiymatlari bo'yicha h - S diagramma yordamida aniqlanadi (4.21-rasmga qarang).

Demak:

$$l = (h_1 - h') \cdot 1 + (h' - h'')(1 - \alpha_1) + (h'' - h''')(1 - \alpha_1 - \alpha_2) + (h''' - h_2)(1 - \alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3) = h_1 - \alpha_1 h' - \alpha_2 h'' - \alpha_3 h''' - \alpha h_2$$



4.21-rasm. Turbina pog'onalarida issiqlik tushishini aniqlash uchun.

U holda termik FIK quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\eta_t = \frac{l}{q_1} = \frac{h_1 - \alpha_1 h' - \alpha_2 h'' - \alpha_3 h''' - \alpha h_2}{h_1 - c_{t.s}t'} \quad (4.37)$$

1 kVt·soat uchun bug'ning nazariy solishtirma sarfi:

$$d_t = \frac{3600}{l} = \frac{3600}{h_1 - \alpha_1 h' - \alpha_2 h'' - \alpha_3 h''' - \alpha h_2} \quad (4.38)$$

Ta'minot suvini qizdirishga olinayotgan rostlanmaydigan otborlardagi bug' sarfi α_1 , α_2 , α_3 qizdirgichning issiqlik balansi tenglamasidan va ta'minot bakining issiqlik balansi tenglamasidan aniqlanadi.

Turbinadan olingan bug' yordamida ta'minot suvini regenerativ qizdirgichlarda qizdirish aralashtiruvchi yoki yuzaviy bo'lishi mumkin. Aralashuvchi holda qizdiruvchi bug' ta'minot suvi bilan aralashadi, yuzaviy holda bug'ning kondensatsiyalanishida ajralgan issiqlik, issiqlik almashinuvi qurilmasining quvurlari orqali qizdirilayotgan suvga uzatiladi, hosil bo'lgan qizdiruvchi bug' kondensati ta'minot suvining umumiy oqimiga qo'shiladi.

Regenerativ qizdirishni qo'llashda termik FIK ni ortishi 10÷12% dan oshmaydi. Bunda bug'ning boshlang'ich bosimi ortishi bilan yoqilg'i tejamkorligi ortadi.

Umuman ta'minot suvini regenerativ qizdirishni qo'llash quyidagilarga olib keladi:

- 1) bug' turbina qurilmasining FIK ortadi;
- 2) turbinaning oxirgi pog'onalaridan o'tayotgan bug'ning miqdori kamayadi, natijada turbinaning tashqi o'lchamlari kichrayadi;
- 3) chiqib ketuvchi gazlar bilan qizdiriluvchi ekonomayzerni zaruriyati bo'lmaydi, bu sharoitlarda chiqib ketuvchi gazlarning issiqligi qozon qurilmasining o'txonasiga kiritiladigan havoni qizdirishda maksimal foydalaniladi.

4.8. Bug' turbina qurilmalarining oraliq qizdirish sikllari.

Bug' turbinasining termik FIK bug'ning boshlang'ich parametrlari (harorat t_1 va bosim p_1) ortganda va oxirgi bosim p_2 kamayganda, ya'ni ishlatib bo'lingan bug' kondensatsiyalanganda ortadi. Boshlang'ich bosimni ortishi va kondensatsiyalanish bosimini kamayishi bug'ning oxirgi namligini ortishiga olib keladi.

Ta'kidlanganidek bug' turbina qurilmalarida bug' turbinasidan chiqayotgan bug'ning namlik darajasi 13-14% dan yuqori bo'lmasligi kerak. Bug'ning oxirgi namligini kamaytirishning eng oddiy usuli bug'ni o'ta qizdirish darajasini ko'tarishdir.

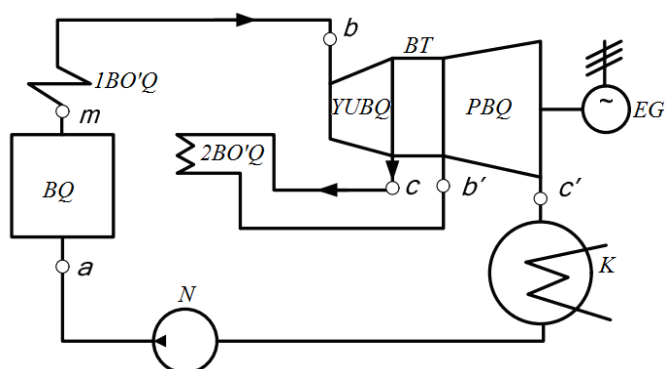
Ba'zan bosim 100-120 bar bo'lganda bug'ni 500-550°C haroratlarga o'ta qizdirish bug'ning oxirgi namligining ruxsat etilgan qiymatini bermaydi. Bunday sharoitlarda bug', turbinaning boshlang'ich qismlarida kengaygandan so'ng bug'ni oraliq o'ta qizdirish zarur bo'ladi.

Bug' turbina qurilmalarida bug'ning boshlang'ich parametrlarini oshirish energiya mashinasozlikda qo'llaniladigan materiallarning issiqlikka chidamliligi bilan chegaralanadi. Metallurgiyaning rivojlanishi bilan bug'ning boshlang'ich haroratini va bosimini sezilarli darajada oshirish imkoniyati tug'ildi, ammo bu ham bosimni kritik va kritikdan yuqori parametrlargacha oshirish imkonini bermadi. Bug'ning boshlang'ich parametrlarini oshirish bug' turbina qurilmalarida bug'ni oraliq qizdirish siklini qo'llash orqali hal etiladi.

Bug' turbina qurilmalarining termik FIK ni oshirish yo'llaridan biri bug'ni oraliq qizdirishdir. Bug' oraliq qizdiriluvchi qurilmaning prinsipial sxemasi 4.22-rasmda ko'rsatilgan.

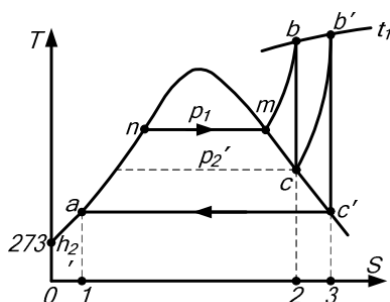
Bug' oraliq qizdiriluvchi bug' turbina qurilmalari quyidagilardan (4.22-rasm): bug' qozoni BQ , birinchi bug' o'ta qizdirgich $1BO'Q$, ikki qismdan iborat bug' turbinasi BT ning yuqori bosim qismi $YuBQ$ va quyi bosim qismi PBQ , elektrogenerator EG , ikkinchi bug' o'ta qizdirgich $2BO'Q$, kondensator K va nasos N .

Bug' turbina qurilmasida o'tkir bug' birinchi bug' o'ta qizdirgich $1BO'Q$ dan keyin bug' turbinasi BT ning yuqori bosim qismi $YuBQ$ ga kiritiladi, u yerda kengayadi, foydali ish bajaradi va $YuBQ$ dan to'liq chiqib ikkinchi bug' o'ta qizdirgich $2BO'Q$ ga kiritiladi. Ikkinchi bug' o'ta qizdirgichdan chiqqan bug', bug' turbinasining quyi bosimli qismi PBQ ga kiradi, u yerda kengayadi va foydali ish bajaradi va PBQ dan chiqqan bug' kondensatorga yo'naltiriladi. Kondensatorida bug' to'liq kondensatsiyalanadi. Kondensatordan chiqqan kondensat nasos yordamida bug' qozoniga uzatiladi. Bug' qozonida kondensat to'yinish haroratigacha qizdiriladi va bug' hosil bo'lish jarayoni sodir bo'ladi. Bug' qozonidan chiqqan bug' birinchi bug' o'ta qizdirgichga o'tadi, u yerda bosim r_1 va harorat t_1 gacha qizdiriladi, keyin sikl qaytadan takrorlanadi.



4.22-rasm. Bug' oraliq qizdiriluvchi bug' turbina qurilmasining prinsipial sxemasi.

Bug' turbina qurilmasining termodinamik sikli (4.23-rasm) quyidagi termodinamik jarayonlardan iborat: bug'ni $YuBQ$ da adiabatik kengayishi $b-c$, ikkinchi bug' o'ta qizdirgichda bug'ni izobarik o'ta qizdirilishi $c-b'$, bug'ni PBQ da adiabatik kengayishi $b'-c'$, bug' turbina kondensatorida bug'ni izobar-izotermik jarayonda kondensatsiyalanishi $c'-a$. Qozon qurilmasida kondensat izobarik holda to'yinish holatigacha qizdiriladi, izobar-izotermik jarayonda bug' hosil bo'ladi ($n-m$) va birinchi bug' o'ta qizdirgichda izobarik jarayonda bug' o'ta qizdiriladi ($m-b$).



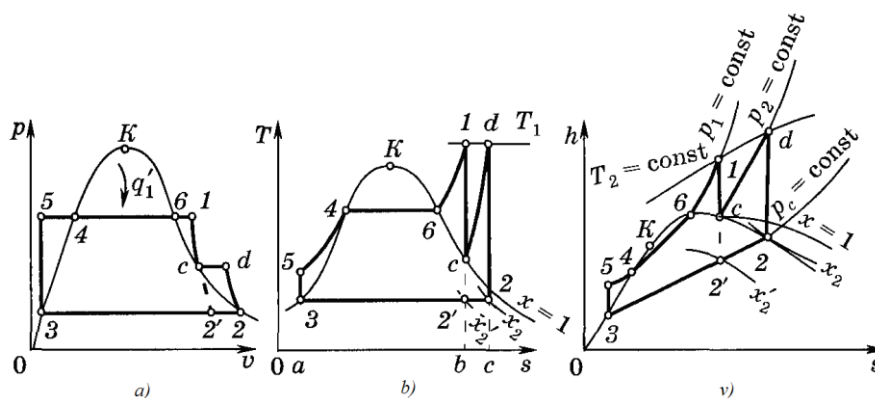
4.23-rasm. Bug' oraliq qizdiriluvchi bug' turbina qurilmasining termodinamik sikli.

4.24-rasmda bitta oraliq qizdiriluvchili bug' turbina qurilmasi siklining P-V, T-S va h-S diagrammalari keltirilgan. Nuqta 1 o'ta qizigan bug'ning boshlang'ich holatiga, nuqta 2 oraliq qizdirishdan so'ng turbinaga kirayotgan bug'ning oxirgi holatiga mos keladi. Nuqta 2' oraliq qizdirish bo'lmaganda bug'ning oxirgi holatiga mos keladi. $1-2'$ jarayon bug'ni turbinaning bitta pog'onasida to'liq kengayishiga

mos keladi, $1-c$ va $d-2$ jarayon oraliq qizdirgichli turbinaning alohida seksiyalarida bug'ning ketma-ket kengayishiga mos keladi, bu jarayon cd chizig'iga mos keladi.

Bug'ni oraliq qizdirish natijasida bug'ning quruqlik darajasi x_2 dan x_2 gacha ortadi (4.24-rasm). Bir marta qayta qizdirishni qo'llash natijasida siklning termik FIK 2-3% ga ortadi. Oraliq qizdirishlarning sonini ortishi bilan termik FIK yana ortadi.

4.24, ν -rasmda turbinada va ikkinchi bug' o'ta qizdirgichda bug' holati o'zgarishining $h-S$ diagrammasi ko'rsatilgan. Bug' oraliq qizdirish tizimlarida haqiqiy bug' turbina qurilmalarida ishqalanish va mahalliy qarshiliklar hisobiga yo'qotilishlar mavjud, bu yo'qotilishlar 4.24, ν -rasmda hisobga olinmagan.

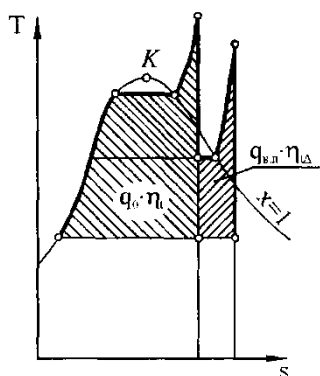


4.24-rasm. Bug' oraliq qizdiriluvchi bug' turbina qurilmasi siklining P-V, T-S va h-S diagrammalari.

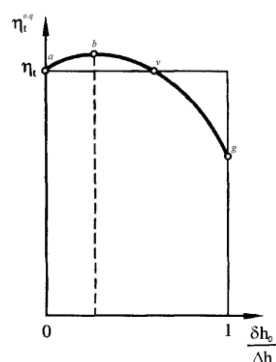
Bug'ni oraliq qizdirish nafaqat bug'ning oxirgi namligini kamaytirish uchun qo'llaniladi, balki oraliq qizdirish bug' turbina qurilmasining issiqlik tejamkorligiga ta'sir ko'rsatadi va issiqlik tejamkorligini oshirish uchun foydalaniladi.

Oraliq qizdirishli bug' turbina qurilmasining ideal sikli ikkita siklni birikmasi sifatida ko'riladi, birinchi asosiy, ya'ni oraliq qizdirish mavjud bo'lmagan va ikkinchisi bug'ni oraliq qizdirishli (4.25-rasm).

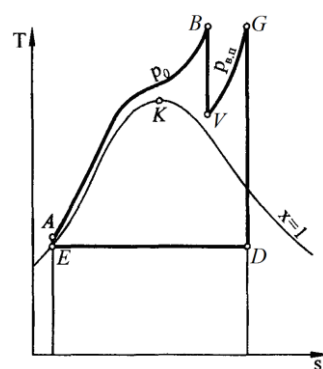
Asosiy siklda q_0 issiqlik miqdori sarflanadi (ta'minot suvini o'ta qizigan bug'ga aylanishi uchun) va nazariy foydali ish olinadi $q_0 \cdot \eta_t$, bu yerda η_t – shu siklning termik FIK. Qo'shimcha siklda $q_{o,q}$ issiqlik miqdori sarflanadi (bug'ni oraliq qizdirish uchun) va ish olinadi $q_{o,q} \cdot \eta_{t\Delta}$, bu yerda $\eta_{t\Delta}$ - qo'shimcha siklning termik FIK.



4.25-rasm. Bug'ni oraliq qizdirishni bug' turbina qurilmasining termik FIK ga ta'sirini aniqlash uchun.



4.26-rasm. Oraliq qizdirishning optimal bosimini tanlash uchun.



4.27-rasm. Bug'ning yuqori kritik boshlang'ich bosimida oraliq qizdiriluvchili BTQ si ideal siklini tasviri.

4.26-rasmda qizdirish harorati bir xil bo'lganda bug'ni oraliq qizdirish siklining FIK ni $\frac{\delta h_0}{\Delta h_0}$ ga bog'liqligi ko'rsatilgan. Bu yerda δh_0 - bug'ni oraliq qizdirishga issiqlik farqi, Δh_0 - oraliq qizdirish bo'lmaganda umumiy issiqlik farqi. Oraliq qizdirish bosimining optimal qiymati b nuqta orqali aniqlanadi. v nuqtada $\eta_t^{o,q}$ va η_t qiymatlar bir xil. Past bosimlarda oraliq qizdirish termik FIK ni pasayishiga olib keladi (vg egri chiziq sohasi).

Bug' turbina qurilmalarini loyihalashda oraliq qizdirish barcha yo'qotilishlar va barcha material harajatlarni hisobga olgan holda texnik-iqtisodiy hisoblar asosida tanlanadi. Odatda ushbu bosim bug'ning boshlang'ich bosimini 20-25% ini tashkil etadi.

Bug'ni oraliq qizdirishli zamonaviy kondensatsion bug' turbina qurilmasida boshlang'ich bosim yuqori kritik qiymatga ega bo'ladi. Bunday qurilmaning ideal siklini T-S diagrammasi 4.27-rasmda ko'rsatilgan.

Bug'ni oraliq qizdirishli bug' turbina qurilmasining termik FIK ni aniqlaymiz. Ma'lumki, bug' turbinasining termik FIK quyidagi munosabatdan aniqlanadi:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (4.39)$$

Ushbu hol uchun tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\eta_t = \frac{\sum q_1 - \sum q_2}{\sum q_1} = \frac{\sum l}{\sum q_1} \quad (4.40)$$

Bug'ni oraliq qizdirgichli qurilmada issiqlikni ikkita uzatish joyi mavjud va bug' ikkita *YuBQ* va *PBQ* da kengayadi.

Issiqlikni birinchi uzatilishi bug' qozonida va birinchi bug' o'ta qizdirgichda amalga oshiriladi. Bug' qozoniga uzatilayotgan kondensatdan “*b*” nuqta holatidagi o'tkir bug' olish uchun sarflangan issiqlik miqdori:

$$q_1 = a - n - m - b - 2 - 1 = h_b - h'_2$$

Issiqlikni ikkinchi uzatilishi ikkinchi bug' o'ta qizdirgichda amalga oshiriladi, u yerda bug'ni o'ta qizdirish uchun quyidagi issiqlik miqdori sarflanadi:

$$q'_1 = c - b' - 3 - 2 = h_{b'} - h_{2'}$$

Bug' turbina qurilmasida foydali ish turbinaning ikkita qismida bajariladi: *YuBQ* da $-l_1$, *PBQ* da $-l_2$, bu yerda:

$$l_1 = h_b - h_c \qquad l_2 = h_{b'} - h_{c'}$$

Bug'ni oraliq qizdirgichli bug' turbina qurilmasining termik FIK ni aniqlash ifodasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\eta_t = \frac{l_1 + l_2}{q_1 + q_2} = \frac{(h_b - h_c) + (h_{b'} - h_{c'})}{(h_b - h'_2) + (h_{b'} - h_{2'})} \quad (4.41)$$

Bug'ni oraliq qizdirgichli bug' turbina qurilmalarining har biri uchun p'_2 o'zining qiymatiga ega. Olinayotgan otbor bosimi to'g'ri tanlanganda bug' turbina qurilmasining termik FIK 8÷10% gacha ortadi.

4.9. Bug' turbina qurilmalarining teplofikasion sikllari.

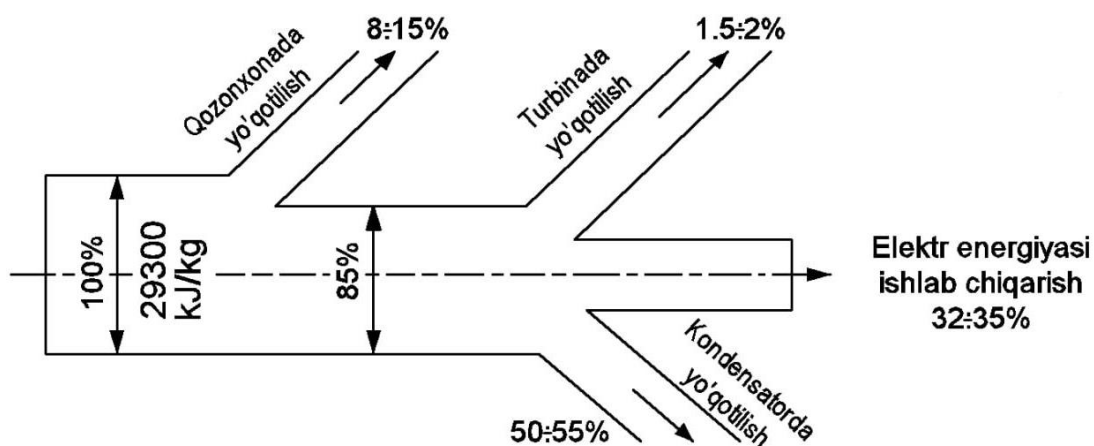
Sanoat korxonalarining texnologik jarayonlarini amalga oshirish va ehtiyojlar uchun elektr energiyasidan tashqari turli parametrlardagi bug' va issiq suv shaklidagi energiya tashuvchilar talab etiladi. Ko'pgina hollarda shaharlarda, aholi yashash maskanlarida va sanoat korxonalarida elektr energiyasi issiqlik elektr stansiyalarida ishlab chiqariladi, bunday elektr stansiyalar kondensatsion elektr stansiyalar deb ataladi (IES yoki KES). Ushbu holda bug' yoki issiq suv kichik qozonxonalarda yoki sanoat korxonalarining qozonxonalarida ishlab chiqariladi, ular o'zlarining tejamkorliklari bo'yicha issiqlik elektr stansiyalarining tejamkor qozon qurilmalariga qaraganda kam samaralidir.

Bug' turbina qurilmalarida yoqilg'i yonganda ajraladigan issiqlikning atigi (30-40%) ulushi foydali ishga aylanadi. Issiqlikning ko'p qismi sovituvchi suvga uzatiladi va foydasiz yo'qotiladi.

Boshqa tomondan maishiy va texnologik ehtiyojlar uchun elektr energiyasi bilan birgalikda nisbatan past haroratli (80-100⁰C) issiqlik talab qilinadi. Bu issiqlikning manbai bo'lib, turbinada kengaygandan keyingi bug' xizmat qiladi. Bu holda yoqilgan yoqilg'ining issiqligidan foydali ish olish mumkin.

U yoki bu bug' turbina qurilmasida bir vaqtning o'zida elektr energiyasi va past haroratli issiqlik ishlab chiqarish elektr energiyasini va issiqlikni alohida ishlab chiqarishga qaraganda ancha foydalidir. Issiqlik elektr stansiyalarida elektr energiyasini va markazlashgan issiqlik ta'minoti bazasida texnologik va maishiy ehtiyojlar uchun issiqlikni qurama usulda ishlab chiqarish *teplofikatsiya* deb ataladi. Teplofikatsiya yoqilg'ini tejash usullaridan bir hisoblanadi.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, yoqilg'ining issiqligidan samarali foydalanishni oshirish uchun, issiqlik va elektr energiyasini alohida issiqlik elektr stansiyalari va qozonxonalarida ishlab chiqarmasdan, balki bitta stansiyada birgalikda ishlab chiqarishni amalga oshirish zarur.



4.28-rasm. Kondensatsion elektr stansiyaning taxminiy issiqlik balansi.

Issiqlik va elektr energiyasini bitta stansiyada birgalikda ishlab chiqarish *teplofikatsiya* deb ataladi, bunday stansiyalarda qo'llaniladigan turbinalar *teplofikatsion turbinalar* deb ataladi. Issiqlik va elektr energiyasini ishlab chiqaruvchi stansiyalar issiqlik elektr markazlari yoki qisqacha IEM deb ataladi.

Kondensatsion elektr stansiyada yoqilg'ining issiqligidan foydalanish samaradorligini bilish uchun stansiyaning issiqlik balansini ko'rib chiqamiz (4.28-rasm).

Stansiyaning issiqlik hisoblari odatda shartli yoqilg'ida olib boriladi, shartli yoqilg'ining yonish issiqligi 29300 kJ/kg ni tashkil etadi. Bug' qozonining o'txonasida 1 kg shartli yoqilg'i yoqilganda undan 29300 kJ/kg issiqlik ajraladi, uni 100% deb qabul qilamiz. Qozonxonada yo'qotilishlar quyidagilarni o'z ichiga oladi:

q_1 – chiqib ketuvchi gazlar bilan yo'qotilgan issiqlik;

q_2 – yoqilg'ini kimyoviy chala yonishi;

q_3 – yoqilg'ini mexanik chala yonishi;

q_4 – atrof-muhitga radiasion nurlanish;

q_5 – shlak bilan yo'qotilayotgan issiqlik.

Qozonxonada eng ko'p yo'qotilish q_1 (chiqib ketuvchi gazlarning harorati $140\div 180^\circ\text{C}$) hisoblanadi. Demak, turbinaga yoqilg'ining 90% issiqligiga teng issiqlik miqdori kiradi. Turboqurilmada issiqlik yo'qotilishi $1,5\div 2\%$ ni tashkil etadi.

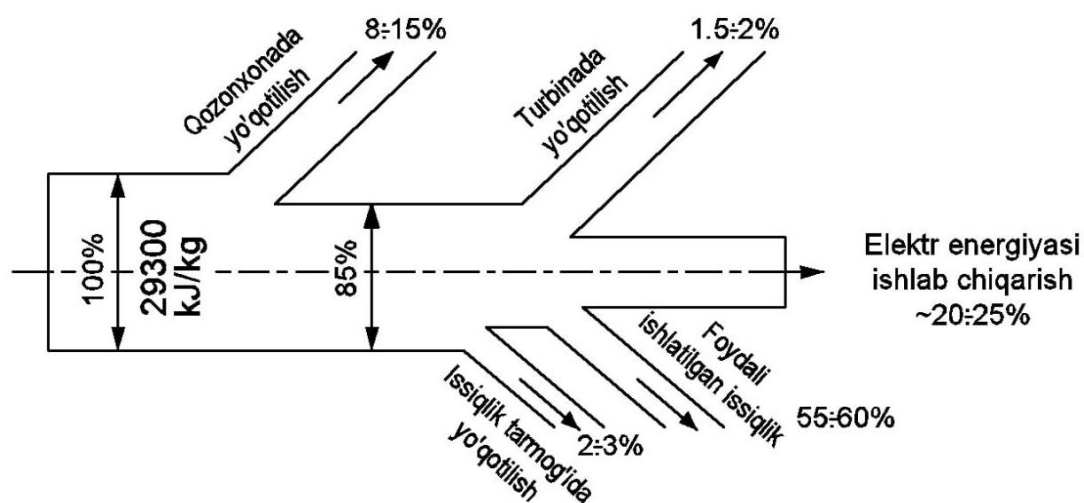
Elektr energiyasini ishlab chiqarishga ketayotgan issiqlikni foydali ishlatish o'rtacha $32\div 35\%$ ni tashkil etadi. Issiqlikning qolgan qismi ($100-10-1,5-34=35\%$) suv bilan sovitiluvchi bug' turbina kondensatorida yo'qotiladi. Shunday qilib, bug' turbina qurilmasida eng ko'p yo'qotilish bug' turbina kondensatorida bo'ladi.

Agar qurilmaning eng katta termik FIK ga erishishga harakat qilinsa, u holda kondensatorida sovituvchi suvga uzatilgan issiqlik yoki ishlab chiqarish yoki maishiy xo'jaliklar uchun issiqlik tashuvchilarning haroratlari pastligi hisobiga natija bermaydi.

Yoqilg'ining issiqligidan qurama foydalanishni va iqtisodiylikni oshirishga harakat qilinsa, u holda turbinadan chiqayotgan bug'ning bosimini oshirish kerak. Kondensatorida suv kerakli haroratgacha qizdirilganda isitish tizimiga yuboriladi yoki bosim yanada oshirilsa turbinadan chiqqan bug' ishlab chiqarishga yoki texnik ehtiyojlarga yuboriladi.

Ammo bu usul elektr energiyasini ishlab chiqarishni kamayishiga olib keladi, ammo ya'ni oldin sovituvchi suvga tashlab yuborilgan barcha issiqlik endi

foydalaniladi. Bunday yechim xalq xo'jaligi uchun juda muhim. IEM ning issiqlik balansini ko'rib chiqamiz. Oldingi sxemadagi kabi 1 kg shartli yoqilg'i yonganda ajralib chiqqan issiqlik 29300 kJ/kg ga teng.



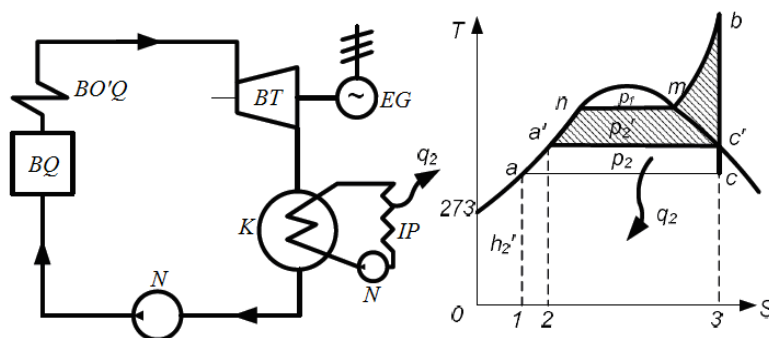
4.29-rasm. IEM ning taxminiy issiqlik balansi.

Qozonxona va turboqurilmadagi yo'qotilishlar o'zgarishsiz qolganda yana bitta issiqlik yo'qotilishi namoyon bo'ladi, bu yo'qotilish – issiqlik tarmog'idagi yo'qotilish bo'lib 2,5÷3% ni tashkil etadi. Shunday qilib, bu turdagi qurilmalarda yoqilg'ining taxminan 80% i foydali ishlatiladi: uning bir qismi elektr energiyasini ishlab chiqarishga, qolgan qismi esa issiqlik iste'molchisiga uzatiladi. 4.29-rasmdan ko'rinib turibdiki, elektr energiyasini ishlab chiqarishga faqatgina 20÷25% issiqlik sarflanadi. Lekin issiqlik iste'molchisiga 55÷60% issiqlik energiyasi beriladi.

Bug' turbina qurilmalarida yoqilg'i yonganda ajraladigan issiqlikning atigi (30-40%) ulushi foydali ishga aylanadi. Issiqlikning ko'p qismi sovituvchi suvga uzatiladi va foydasiz yo'qotiladi.

Kondensatsion bug' turbina qurilmalari va yirik bug' turbina qurilmalarining kondensatorlaridagi bosim $p_2=0,03\div0,05$ ata yoki $p_2=0,003\div0,005$ MPa ni tashkil etadi. Ushbu bosimlarda bug'ning to'yingan harorati 28÷32°C ni tashkil etadi. Agar sovituvchi suvning kondensatorga kirishdagi harorati 10÷12°C qabul qilinsa, u holda uning kondensatordan chiqishdagi harorati 20÷24°C ni tashkil etadi. Bunday past

haroratli issiqlik tashuvchidan foydalanib bo'lmaydi va u suv havzasiga tashlab yuboriladi.



4.30-rasm. Buzilgan vakuumli qurilmaning prinsipial sxemasi va termodinamik sikli.

Agar kondensatorda bosim ortsa, u holda bug'ning to'yinish harorati ham ortadi. Masalan, kondensatordagi bosim $p_2=0,043$ MPa bo'lganda bug'ning to'yinish harorati $t_t=80^{\circ}\text{C}$ bo'ladi. Bunday haroratli qizdiruvchi muhit kondensatorda sovituvchi suvni $70\div 75^{\circ}\text{C}$ haroratgacha qizdirishi mumkin va undan binolarni isitishda, issiq suv ta'minotida va boshqa maqsadlarda qo'llanishi mumkin. Bunday qurilmada elektr energiyasini ishlab chiqarish kamayadi va uning qiymati $a-n-m-b-c-a$ maydon o'rniga $a'-n-m-b-c'-a'$ maydonga teng bo'ladi (4.30-rasm), ammo oldin foydalanilmagan $q_2=a'-c'-3-2$ issiqlikdan foydalaniladi. Kondensatorda buzilgan vakuumli bug' turbina qurilmasining prinsipial sxemasi va uning termodinamik sikli 4.30-rasmda ko'rsatilgan.

Teplofikatsion qurilmalarning samaradorligi termik FIK bilan baholanmaydi, uning qiymati yoqilg'ining issiqligidan foydalanish koeffitsienti, $K_{yo.f}$ deb ataladi:

$$K_{yo.f} = \frac{l+q_2}{q_1} \quad (4.42)$$

bu yerda q_1 – qurilmaga uzatilgan issiqlik miqdori, kJ/kg ; q_2 – issiqlik iste'molchisiga berilgan issiqlik miqdori, kJ/kg ; l – qurilmada bajarilgan foydali ish, kJ/kg .

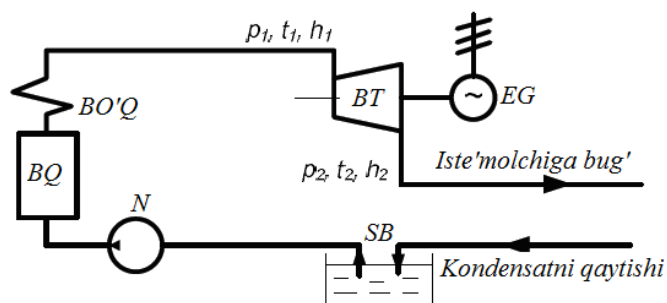
Demak, $l=q_1-q_2$, u holda nazariy $K_{yo.f}$ birga yaqin bo'lishi mumkin, ya'ni barcha q_2 issiqlik foydali ishlatiladi.

Agar issiqlik iste'molchisiga 100°C dan yuqori haroratli issiqlik tashuvchi (bug') kerak bo'lsa, bunday hollarda “P” turidagi – kondensatorsiz teplofikatsion

turbinalar qo'llaniladi. Bunday qurilmaning prinsipial sxemasi 4.31-rasmda ko'rsatilgan.

Qurilma bug' qozoni BQ , bug' o'ta qizdirgich $BO'Q$, "P" turidagi bug' turbinasi, elektrogenerator EG , stansiya baki SB va nasoslardan tashkil topgan. p_1 bosimli o'tkir bug', bug' turbinasiga kiritiladi, u yerda belgilangan oxirgi bosimgacha p_2 kengayib, foydali ish bajaradi va turbinada ishlatib bo'lingan bug' iste'molchiga yuboriladi. Iste'molchidan stansiyaga kondensat qaytadi va u stansiya bakiga quyiladi, u yerdan nasos yordamida bug' qozoniga uzatiladi.

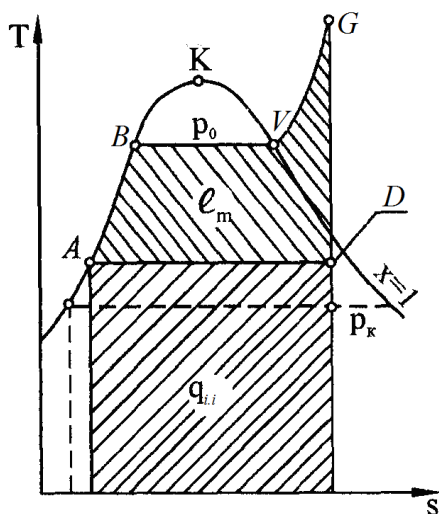
Bunday turdagi bug' turbina qurilmalarida yoqilg'i issiqligidan foydalanish koeffitsienti ancha yuqori, ya'ni barcha issiqlik q_2 bug' shaklida iste'molchiga beriladi. Shuningdek bu qurilmalar issiqlik bo'yicha erkin va elektr grafigi bo'yicha majburiy ishlaydi. Masalan, yozgi mavsumda iste'molchi bug' shaklidagi issiqlik energiyasini talab qilmaydi, shuning uchun bunday qurilma faqatgina elektr energiyasini ishlab chiqarishi mumkin emas. "P" turidagi turbinali teplofikatsion qurilma yil bo'yi issiqlik va elektr energiyasini iste'mol qiladigan ishlab chiqarishlarda qo'llaniladi.



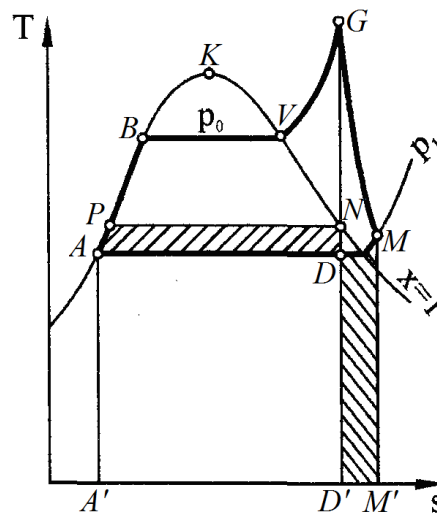
4.31-rasm. "P" turidagi turbinali bug' turbina qurilmasining prinsipial sxemasi va termodinamik sikli.

4.32-rasmning T-S diagrammasida qarshi bosim turbinali ($ABVGDA$) IEM ning nazariy sikli ko'rsatilgan. Qarshi bosim turbinadagi oxirgi bosim issiqlik iste'molchilarini qanoatlantirish shartidan aniqlanadi. Bu bosim kondensatsion turbina kondensatorida ancha katta qiymatga ega bo'ladi. Buning natijasida bir xil boshlang'ich parametrlarda IEM siklining termik FIK kondensatsion elektr stansiyaning termik FIK bilan solishtirilganda kichik bo'ladi. Ammo bunda issiqlik

tashlanmaydi va issiqlikdan foydalanishning koeffitsienti nazariy jihatdan birga teng bo'ladi.



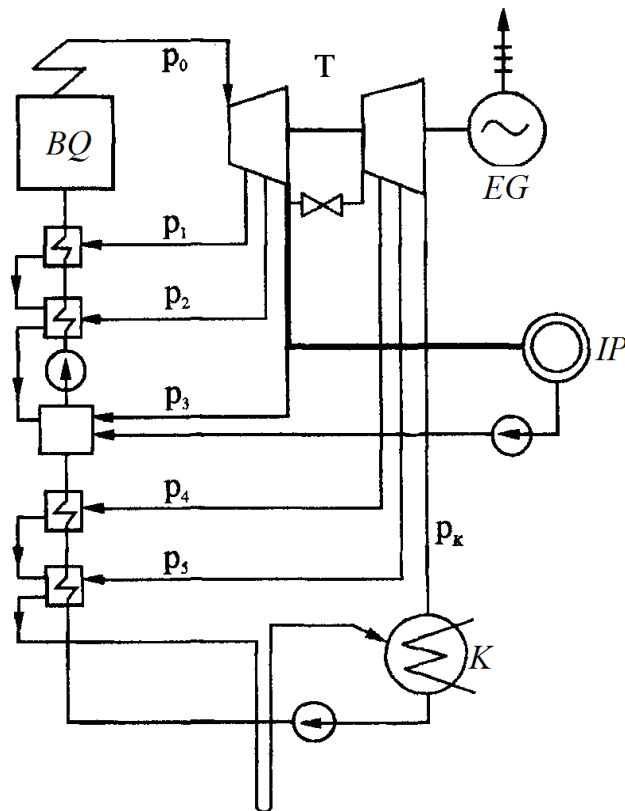
4.32-rasm. Qarshi bosim turbinali IEM ideal siklining T-S diagrammadagi ko'rinishi.



4.33-rasm. Turbinadagi yo'qotilishlar hisobga olinganda qarshi bosim turbinali IEM siklini T-S diagrammada ko'rinishi.

Shuni ham ta'kidlash joizki, ko'rilyotgan teplofikatsion siklda issiqlikdan foydalanishning nazariy koeffitsienti birga teng bo'lib, turbinadagi ichki yo'qotilishlarga bog'liq emas. Ichki yo'qotilishlar hisobiga bug'ni kengayishining haqiqiy jarayoni GM (4.33-rasm) vertikalдан o'ngga og'adi va ish oxirgi entalpiyasining ortish qiymatigacha kamayadi. Ichki yo'qotilishlarning ushbu qiymatlarida issiqlik iste'molchilarida foydalaniladigan issiqlik miqdori ortadi.

Vaqtning har qanday momentida qarshi bosim turbinaning elektrik quvvati issiqlik iste'molchisiga olinayotgan bug' miqdori bilan aniqlanadi. Bug' issiqlik iste'molchisiga aniqlangan bosimda uzatilishi kerak. Bu bosim turbina otbori kamerasida bosim rostlagichi bilan rostlanadi, shuning uchun bunday otborlar *rostlanuvchi otborlar* deb ataladi.



4.34-rasm. Ta'minot suvini regenerativ qizdirilishli teplofikatsion turbinaning sxemasi.

Issiqlik iste'molchisini belgilangan quvvatini qanoatlantirgan holda qanday qilib ko'p elektr energiyasi olish mumkin. Bunga erishish yo'llaridan biri IEM da ta'minot suvini regenerativ qizdirishni amalga oshirishdir. Regenerativ qizdirish tizimida ishlatib bo'lingan bug', shuningdek issiqlik iste'molchisini qanoatlantiruvchi bug' turbinada ishlatib bo'lingan bug' kondensatorga yuborilmaydi va uning kondensatsiyalanish issiqligidan foydalaniladi.

Kondensatordagi yo'qotilishsiz IEM da elektr energiyasini ishlab chiqarishni oshirishning ikkinchi yo'li – bug'ning boshlang'ich parametrlarini oshirishdir. Ta'minot suvini regenerativ qizdirilishli teplofikatsion turbinaning sxemasi 4.34-rasmda ko'rsatilgan.

Nazorat savollari.

1. Bug' turbina qurilmasining tuzilishini tushuntiring?
2. Birinchi universal bug' mashinasi qachon va kim tomonidan yaratilgan?
3. Birinchi bug' turbinasi qachon va kim tomonidan yaratilgan?
4. Bug' turbinali elektr stansiyaning prinsipial sxemasini tushuntiring?
5. Karnoning nam bug' siklini kamchiliklarini ayting?
6. Karnoning to'yingan bug' siklini termik FIK qanday aniqlanadi?
7. Bug' turbina qurilmasining ideal siklini tushuntiring?
8. Bug' turbina qurilmasining ideal siklini P-V diagrammasini tushuntiring?
9. Bug' turbina qurilmasining ideal siklini T-S diagrammasini tushuntiring?
10. Bug' turbina qurilmasining haqiqiy siklini tushuntiring.

V-BOB. ICHKI YONUV DVIGATELLARINING SIKLLARI.

5.1. Ichki yonuv dvigatellari to'g'risida qisqacha tarixiy ma'lumot.

XIX asrlarning 70-80-yillarida mexanik ishning asosiy manbai bug' mashinasi hisoblanib, unda bosimi va harorati past bo'lgan bug' qo'llanilgan. Yoqilg'i yonganda hosil bo'lgan yuqori haroratli gazlar bug' qozonlariga yuborilib, ma'lum bir temperatura va bosimli bug' olingan. Yoqilg'i issiqligidan bunday usulda foydalanish bug'-kuch qurilmalarining termik f.i.k.ni pasayishiga olib kelgan. Bu sohada jahonning ko'p mamlakatlaridagi olimlarning harakatlari tufayli yangi dvigatel yaratildi. Bu dvigatelda yoqilg'i yonishidan hosil bo'lgan gazlar bevosita qurilmaning porsheniga ta'sir qiladi.

Silindrning porsheni ostida yoqilg'i yondiriladigan qurilmalar *ichki yonuv dvigatellari* deb ataladi. Bunday dvigatellarni yaratish mumkinligini birinchi bo'lib Sadi Karno taklif qilgan. 1824 yili Karno o'zining "Olovning xarakatlantiruvchi kuchi haqida mulohazalar" nomli asarida quyidagi fikrlarni keltirgan: "Menimcha havoni nasos yordamida siqib, uni yopiq bir idishga o'tkazish lozim, u yerga esa qandaydir mexanizm yordamida yoqilg'ini yuborish kerak, keyin gazlar uchun porshenga ta'sir etish imkoniyatini yaratish kerak".

Karnoning g'oyalari keyinchalik to'liq ro'yobga chiqdi. 1860 yilda fransuz mexanigi Lenuar gazda ishlaydigan ichki yonuv dvigatelini yaratdi. Bu qurilmada ishchi jism dastlab siqilmaganligi tufayli uning f.i.k. past bo'ldi. Shu sababli bu qurilmalar keng tarqalmadi. 1862 yilda yana bir fransuz muhandisi Bo-de-Roshe, Karno g'oyalari yaqin bo'lgan dvigatelga patent oldi. 1877 yilda nemis muhandisi Otto, Bo-de-Roshe taklif qilgan prinsiplarga asosan ishlaydigan benzinli dvigatelni qurdi.

1897 yilda nemis muhandisi Dizel kerosinda ishlaydigan yuqori siqish darajasiga ega bo'lgan dvigatelni ishlab chiqdi. Bu dvigatelda havo kompressor yordamida siqilib keyin silindrga purkaldirdi. Rus muhandislari ham bu sohada katta ishlarni amalga oshirdilar. 1893 yilda Mamin neftda ishlaydigan yuqori bosimli dvigatelini ixtiro qildi. 1898 yilda Peterburgdagi Nobel zavodida neftda ishlaydigan

dvigatel qurildi. 1903 yilda shu zavodning o'zida birinchi marta kemalar uchun og'ir yoqilg'ida ishlaydigan dvigatel ishlab chiqarildi. 1904 yilda rus muhandisi G.V.Trinkler kompressorsiz dvigatelni ixtiro qildi. Bu dvigatelda yoqilg'i avvalo o'zgarmas hajmda, keyin esa o'zgarmas bosimda yondirilardi. Yoqilg'i aralash yonadigan bunday dvigatel hozir ham keng qo'llanilmoqda. Shunday qilib 40-50 yil ichida yuqori samaradorlikka ega bo'lgan ichki yonuv dvigatellari yaratildi.

5.2. Ichki yonuv dvigatellarining tasniflanishi va ishlash prinsipi.

Barcha zamonaviy ichki yonuv dvigatellari uchta asosiy guruhga ajratiladi:

1. O'zgarmas hajmda issiqlik uzatiluvchi siklda (Otto sikli) ishlovchi dvigatellar.

2. O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi siklda (Dizel sikli) ishlovchi dvigatellar.

3. O'zgarmas hajmda va o'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi siklda (Trinkler sikli) ishlovchi dvigatellar.

Ichki yonuv dvigatellarining termodinamik sikllarini tahlil qilishda aniqlanadigan kattaliklarga quyidagilar kiradi: uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori, siklning xarakterli nuqtalarida asosiy holat parametrlari, siklning termik FIK.

Porshenli ichki yonuv dvigatellari xalq xo'jaligining ko'pgina sohalarida keng qo'llaniladi. Barcha zamonaviy avtomobil va traktorlar asosan porshenli ichki yonuv dvigatellari bilan jihozlangan. Bu ichki yonuv dvigatellarining qator afzalliklari mavjudligi bildiradi, ularga:

1) ularda qo'pol qozon qurilmasining yo'qligi va tashqi o'lchamlarining kichikligi;

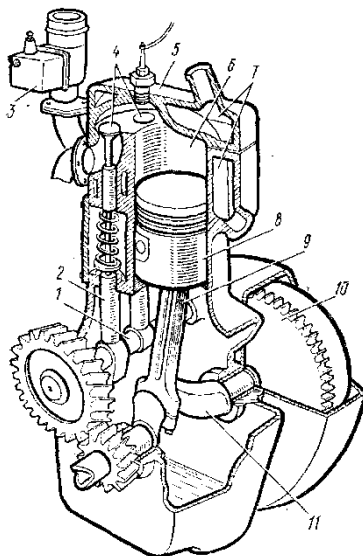
2) ishga tushirishga doimiy tayyorligi va dvigatelni ishlamagan vaqtda yoqilg'ini sarf bo'lmasligi;

3) suvni kam iste'mol qilinishi va hokazo;

Ichki yonuv dvigatellarining kamchiliklari:

a) qattiq yoqilg'i bilan solishtirilganda suyuq va gazsimon yoqilg'ining zahirasini chegaralanganligi;

- b) ishlatib bo'lingan gazlarning issiqligidan foydalanish qiyinligi;
- v) bitta qurilmada yuqori quvvat olish mumkin emasligi va hokazo.



5.1-rasm. Porshenli ichki yonuv dvigateli qurilmasining sxemasi.

1-kulachokli val; 2-turtgich; 3-karbyurator; 4-klapan; 5-silindr kallagi; 6-silindr;
7-silindr g'ilofi; 8-porshen; 9-shatun; 10-maxovik; 11-tirsakli val.

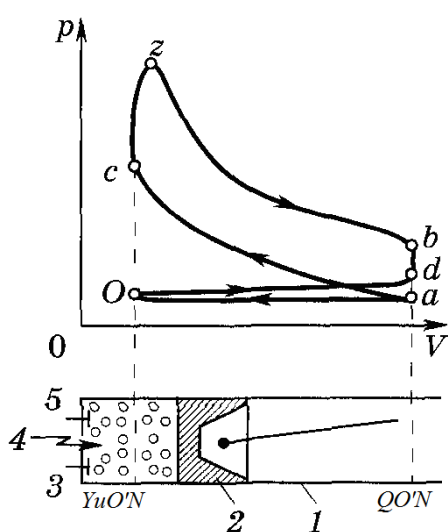
Porshenli ichki yonuv dvigatellarining ishlash prinsipi quyidagicha (5.1-rasm). Silindrda gazlarning bosimi ta'siri ostida porshenning harakati shatun orqali tirsakli valga uzatiladi. Uning ishchi silindri va kallagida klapan va o't oldirish tizimi joylashgan. Ishchi jismning yuqori harorati va bosimi ta'sirida silindr va kallak devori buzilishi yoki qizib ketishini oldini olish uchun suyuqlikli sovitishda g'ilof, havoli sovitishda qovurg'alar bilan jihozlangan. Tirsakli valni bir xilda aylanishini ta'minlash va inersion zo'riqishni kamaytirish uchun, shuningdek silindrda porshenning erkin yo'lini amalga oshirishni ta'minlash uchun maxovik joylashtirilgan, dvigatelda esa bir nechta silindr o'rnatilgan (2, 4, 6, 8, 12, 16 silindr va undan ko'p). Porshenli ichki yonuv dvigatellarida ishchi jismni so'rish va chiqarish organlari odatda tarelkali klapan shaklida tayyorlanadi va ular kerakli vaqtda richag, shtanglar yordamida ochiladi.

Porshenli ichki yonuv dvigatellarining ishlash prinsipidan ko'rish mumkinki, ularda aylanma jarayonlar sodir bo'lmaydi, shuningdek gazsimon yonish mahsulotlari kengaygandan so'ng porshen yordamida tirsakli valga berilgan energiya hisobiga

dvigatel silindridan chiqariladi, ularning o'rniga esa qaynoq aralashmaning yangi porsiyasi keltiriladi, ularning kimyoviy tarkibi keyingi yonish jarayonida o'zgaradi.

5.3. O'zgarmas hajmda issiqlik uzatiluvchi ichki yonuv dvigateling sikli.

Ushbu dvigatellarda yoqilg'i sifatida yengil va gazsimon yoqilg'ilar (benzin, kerosin, generator gazi, suyultirilgan gaz, propan, butan va hokazo) qo'llaniladi. Bu dvigatellarda ishchi jism havo va suyuq yoki gazsimon yoqilg'ilarning aralashmasi



5.2-rasm. O'zgarmas hajmda issiqlik uzatiluvchi porshenli IYoD ning indikator diagrammasi.

va siklning qolgan qismlarida gazsimon yonish mahsulotlari harakatlanadi.

Real porshenli dvigatelni ish rejimini tadqiqot qilishda indikator diagramma (maxsus asbob – indikator yordamida olingan natijalar) bo'yicha amalga oshiriladi (5.2-rasm).

Dvigatel ishlaganda porshen 2 silindr 1 da 0 nuqtadan (yuqori o'lik nuqta deb nomlanadi) quyi o'lik nuqttagacha qaytma-ilgarilanma harakat qiladi. 0-a jarayonda porshen chapdan o'ngga harakat qiladi va so'rish klapani 5 orqali silindr 1 ga qaynoq aralashma kiritiladi. O'ng chetki holatda (QO'N) silindrni qaynoq aralashma bilan to'lish jarayoni to'xtatiladi. 0-a jarayon shartli termodinamik jarayon hisoblanadi, demak so'rishda asosiy parametrlar o'zgarmaydi, faqatgina silindrda aralashmaning massasi va hajmi o'zgaradi. Keyin so'rish klapani 5 yopiladi va porshen o'ngdan chapga harakatlana boshlaydi.

a-c jarayonda silindrdagi qaynoq aralashma siqiladi va bosim p_a dan p_c gacha ortadi. Chap chetki holatda qaynoq aralashma elektrik o't oldirgich 4 yordamida alanganadi. Qaynoq aralashma amalda bir zumda yonadi va porshen o'ng tomonga

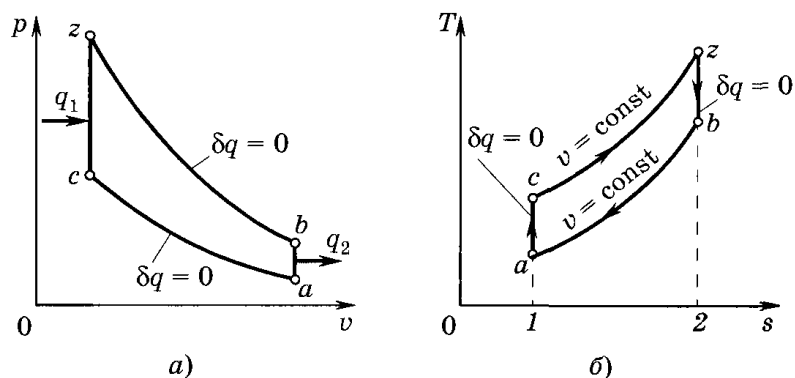
birozgina siljiydi, shuning uchun butun yonish jarayoni o'zgarmas hajmda sodir bo'ladi.

c - z jarayonda nafaqat bosim va harorat, balki ishchi jismning kimyoviy tarkibi ham o'zgaradi. Ajralib chiqqan issiqlik hisobiga silindrdagi bosim birdaniga p_c dan p_z gacha ko'tariladi. Porshen qaytadan o'ng tomonga harakatlanadi va foydali ish bajaradi, bunda bosim p_z dan p_b gacha kamayadi. z - b jarayon kengayish jarayoni deb nomlanadi. O'ng chetki holatda maxsus qurilma yordamida chiqarish klapani 3 ochiladi va silindrdagi bosim p_d gacha kamayadi, bunda yonish mahsulotlarining ko'pgina qismi silindrdan chiqarib yuboriladi. Porshen yana chapga harakatlanadi va ochiq chiqarish klapani orqali qolgan yonish mahsulotlarini chiqarib yuboradi (d - 0 jarayon). Porshening chap chetki holatida chiqarish klapani 3 yopiladi va so'rish klapani 5 ochiladi, natijada silindrga yangi porsiya qaynoq aralashma kiradi. Keyin barcha jarayonlar takrorlanadi va dvigatel uzluksiz siklik ish bajaradi.

Ko'rinib turibdiki, bunday dvigatelning silindrida bitta sikl davomida to'rtta yo'l (takt) bajariladi: qaynoq aralashmalarni so'rish (so'rish), ularni siqish, yonish mahsulotlarini kengayishi, yonish mahsulotlarini atmosfera ga chiqarib yuborilishi (chiqarish). Indikator diagrammadan ko'rish mumkinki, ya'ni so'rish jarayonida silindrdagi bosim atmosfera bosimidan ancha past, chiqarish jarayonida esa ancha yuqori.

Porshenli ichki yonuv dvigatellarining siklini tadqiqot qilishda quyidagi cheklashlar qabul qilinadi:

- ishchi jism — o'zgarmas issiqlik sig'imli ideal gaz;
- ishchi jismning miqdori o'zgarmas;
- ishchi jism va issiqlik manbai orasida cheksiz kichik haroratlar farqining o'rni mavjud;
- ishchi jismga issiqlikni uzatish yoqilg'ini yoqish hisobiga emas, balki tashqi issiqlik manбайдan amalga oshiriladi.



5.3-rasm. Izohorik jarayonda issiqlik uzatiluvchi ichki yonuv dvigateli siklining P-V va T-S diagrammalari.

1 kg ishchi jism uchun izobarik jarayonda issiqlik uzatiluvchi ichki yonuv dvigatelining ideal termodinamik siklining P-V va T-S diagrammalarini ko'rib chiqamiz (5.3-rasm).

Ideal sikl quyidagi jarayonlardan tashkil topgan:

- $a-c$ – ishchi jismni silindrda adiabatik siqilishi;
- $c-z$ – o'zgarmas hajmda issiqlikni uzatilishi;
- $z-b$ – yonish mahsulotlarining adiabatik kengayishi;
- $b-a$ – o'zgarmas hajmda issiqlikni olib ketilishi.

Ushbu siklning asosiy xarakteristikalar:

$e = \frac{v_a}{v_c}$ - siqish darajasi, bu yerda v_a – gazning siqish jarayonidan oldingi solishtirma

hajmi; v_c - gazning siqish jarayonidan keyingi solishtirma hajmi;

Siqish darajasi – porshenning jarayon boshidagi va oxiridagi holatida dvigatel silindridagi hajmlar nisbati.

$\lambda = \frac{p_z}{p_c}$ - issiqlik uzatish jarayonida bosimni ortish darajasi, bu yerda p_z – issiqlikni

uzatish jarayonining oxiridagi bosim, p_c – adiabatik siqishning oxiridagi bosim.

Bosimni ortish darajasi – issiqlikni uzatilishi natijasida dvigatel silindrida hosil bo'ladigan eng katta bosimni siqish jarayoni oxiridagi bosimga nisbati.

$v=\text{const}$ bo'lganda issiqlik uzatiladigan va issiqlik olib ketiladigan siklning termik FIK quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (5.1)$$

c-z jarayonda ishchi jismga uzatilgan issiqlik miqdori:

$$q_1 = c_v (T_z - T_c) \quad (5.2)$$

b-a izoxorik jarayonda olib ketilgan issiqlik miqdori:

$$q_2 = c_v (T_b - T_a) \quad (5.3)$$

q_1 va q_2 larning qiymatlarini termik FIK ni aniqlash formulasiga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v (T_z - T_c)}{c_v (T_b - T_a)} \quad (5.4)$$

Siklning ishi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

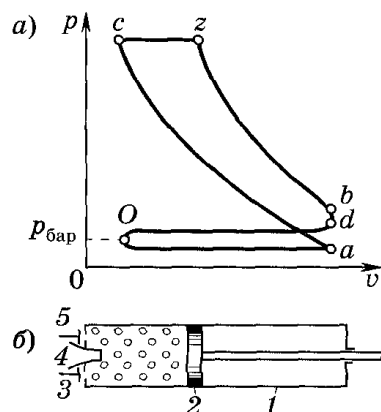
$$l = q\eta = c_v (T_b - T_a) \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{\frac{1}{k-1}}} \right) \quad (5.5)$$

O'zgarmas hajmda issiqlik uzatiluvchi sikllar karbyurator turidagi dvigatellarda qo'llaniladi.

5.4. O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi ichki yonuv dvigatelining sikli.

O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi dvigatellarda (dizellarda) havo va suyuq yoqilg'ini siqish alohida amalga oshiriladi. Havoni va suyuqlikni alohida siqish o'z-o'zidan alanganishni oldini oladi va yuqori darajali siqish olinadi. Siqish jarayonining oxiridagi bosim 3÷4 MPa ga, harorat esa 600-800°C gacha yetadi. Bunday dvigatellarda siqish darajasi $\varepsilon=14\div18$.

Bunday dvigatelning prinsipial sxemasi 5.4-rasmda ko'rsatilgan va quyidagi tartibda



5.4-rasm. O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi porshenli IYoD ning indikator diagrammasi.

ishlaydi. Suyuq yoqilg'i silindr 1 ga forsunka 4 orqali mayda purkalgan holda havoni siqish jarayonining oxirida uzatiladi. Yoqilg'ini o't olishi kompressorda siqilgan qizigan havo yordamida amalga oshadi.

Silindrda siqilgan havo ancha yuqori haroratga ega va uzatilgan yoqilg'i birdaniga alanganadi. Yoqilg'ini yonishida bosimni o'zgarmasligi yoqilg'ili

forsunka yordamida ta'minlanadi. Shunday qilib, bunday dvigatelda yonish jarayoni navbati bilan sodir bo'ladi, havo va suyuq yoqilg'ini alohida siqilishi har qanday arzon yoqilg'ini – dizel yoqilg'isi, neft, mazut va smolani qo'llash imkonini beradi.

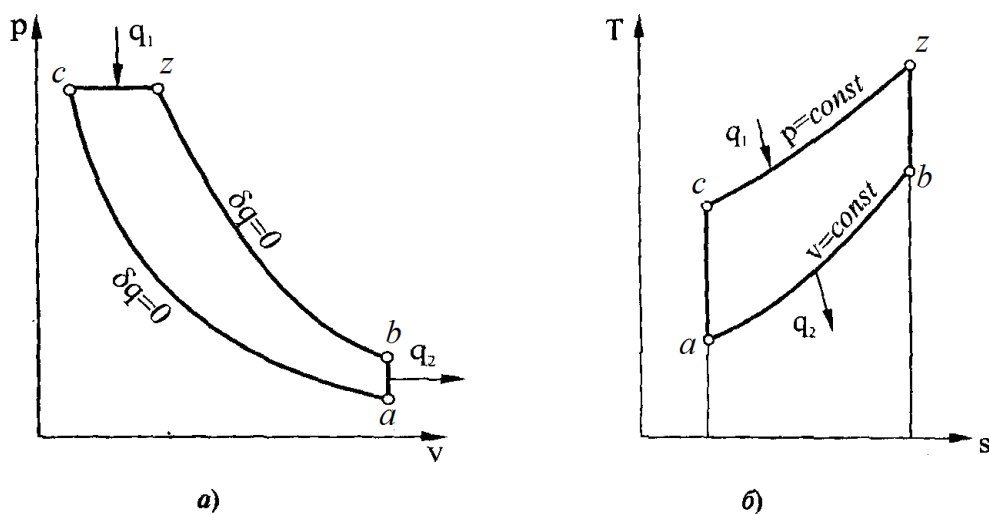
“Dizel” siklining indikator diagrammasi 5.4, a -rasmda ko'rsatilgan. $0-a$ jarayonda dvigatel silindrida atmosfera havosi so'rib olinadi, keyin u p_c bosimgacha adiabatik siqiladi. $c-z$ qismda yonish jarayoni sodir bo'ladi, bu manbadan q_1 issiqlikni uzatish shaklida tasvirlanadi, $z-b$ qismda yonish mahsulotlarining kengayishi sodir bo'ladi, keyin chiqarish klapani ochiladi va bosim pasayadi, keyin yonish mahsulotlarni dvigatel silindridan atmosferaga chiqarib yuboriladi. Shunday qilib, Dizel sikli bu to'rt taktli sikldir.

1 kg ishchi jism uchun izobarik jarayonda issiqlik uzatiluvchi ichki yonuv dvigatelining ideal termodinamik siklini P-V va T-S diagrammalarini ko'rib chiqamiz (5.5-rasm).

Ushbu diagrammalardan ko'rinib turibdiki, ideallashtirilgan Dizel sikli quyidagi jarayonlardan tashkil topgan:

- $a-c$ – ishchi jismni silindrda adiabatik siqilishi;
- $c-z$ – o'zgarmas bosimda issiqlikni uzatilishi;
- $z-b$ – yonish mahsulotlarining adiabatik kengayishi;
- $b-a$ – o'zgarmas hajmda issiqlikni olib ketilishi.

ikkita adiabat (adiabatik siqish $a-c$, va adiabatik kengayish $z-b$), $c-z$ izobara bo'yicha qaynoq manbadan issiqlik q_1 ni uzatilishi amalga oshadi va $b-a$ izoxora bo'yicha q_2 issiqlik olib ketiladi.



5.5-rasm. Izobarik jarayonda issiqlik uzatiluvchi ichki yonuv dvigateli siklining P-V va T-S diagrammalari.

Siklning asosiy xarakteristikalarini quyidagilar:

$$\varepsilon = \frac{v_a}{v_c} - \text{siqish darajasi.}$$

$$\rho = \frac{v_z}{v_c} - \text{dastlabki siqish darajasi.}$$

Dastlabki siqish darajasi — bu o'zgarmas bosimda ishchi jismga issiqlikni uzatishning boshida va oxiridagi hajmlar nisbati.

$c-z$ izobara bo'yicha uzatilgan q_1 issiqlik:

$$q_1 = c_p (T_z - T_c) \quad (5.6)$$

$b-a$ izoxora bo'yicha olib ketilgan q_2 issiqlik:

$$q_2 = c_p (T_b - T_a) \quad (5.7)$$

Siklning ishi:

$$l = q\eta = c_v (T_b - T_a) \left[1 - \frac{\rho^k - 1}{k\varepsilon^{k-1}(\rho - 1)} \right] \quad (5.8)$$

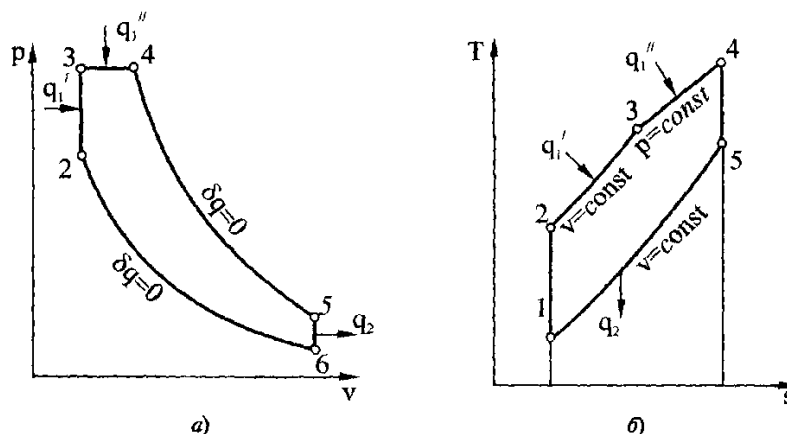
Dizel siklini Otto sikli bilan solishtirgandagi asosiy kamchiliklar:

- suyuq yoqilg'ini purkash uchun nasos qurilmasini yuritishga sarflangan ish, ushbu ish uchun dvigatelning umumiy quvvatini 6-10% sarf bo'ladi;
- nasos va forsunka qurilmalarining qiyinligi;
- yoqilg'ini sekin yonishi.

5.5. Issiqlik aralash uzatiluvchi ichki yonuv dvigateli sikli.

O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi siklda qo'llaniladigan dvigatellarining kamchiliklaridan biri yoqilg'ini uzatish uchun qo'llaniladigan kompressordan foydalanish bo'lib, uni yuritish uchun dvigatelning umumiy quvvatini 6-10% sarf bo'ladi.

Konstruksiyani soddalashtirish va dvigatelning tejamkorligini oshirish uchun rus muhandisi G.V Trinkler yuqori siqishli kompressorsiz dvigatel loyihasini ishlab chiqdi (5.6-rasm). Bu dvigatelda yuqorida ko'rib o'tilgan ikki turdagi dvigatellarda mavjud kamchilik yo'q edi.



5.6-rasm. Issiqlik aralash uzatiluvchi dvigatelning ideal siklini P-V diagrammasi

Uning asosiy farqi shundaki, suyuq yoqilg'i, yoqilg'i nasosi yordamida forsunka orqali silindr kallagiga uzatiladi, u yerda yoqilg'i alanganadi va dastlab o'zgarmas hajmda yonadi, keyin o'zgarmas bosimda yonadi.

5.7-rasmda issiqlik aralash uzatiluvchi dvigatelning ideal siklini P-V va T-S diagrammalari ko'rsatilgan.

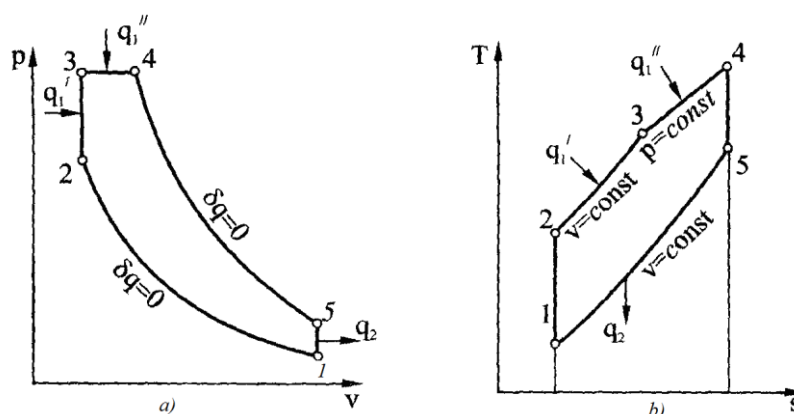
1-2 adiabatik jarayonda ishchi jism 2 nuqta parametrlarigacha siqiladi. 2-3 izoxorik jarayonda unga issiqlikning birinchi ulushi q_1' uzatiladi, 3-4 izobarik jarayonda issiqlikning ikkinchi ulushi q_1'' uzatiladi. 4-5 jarayonda ishchi jismning adiabatik kengayishi sodir bo'ladi va 5-1 izoxora bo'yicha ishchi jism dastlabki holatga qaytadi, bunda issiqlik qabul qilgichga q_2 issiqlik olib ketiladi.

Siklning asosiy xarakteristikalar:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \text{ -siqish darajasi:}$$

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} \text{ -bosimni ortish darajasi:}$$

$$\rho = \frac{v_4}{v_3} \text{ -dastlabki kengayish darajasi.}$$



5.7-rasm. Issiqlik aralash uzatiluvchi ichki yonuv dvigatelining ideal siklini P-V va T-S diagrammalari.

Uzatilgan $q_1 = q_1' + q_1''$ va olib ketilgan q_2 issiqlik quyidagicha formulalardan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} q_1' &= c_v(T_3 - T_2) \\ q_1'' &= c_p(T_4 - T_3) \\ q_2 &= c_v(T_5 - T_1) \end{aligned} \quad (5.9)$$

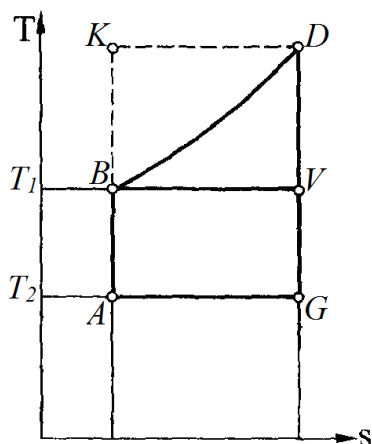
Siklning termik FIK quyidagicha:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1' + q_1''} = 1 - \frac{T_5 - T_1}{(T_3 - T_2) + k(T_4 - T_3)} \quad (5.10)$$

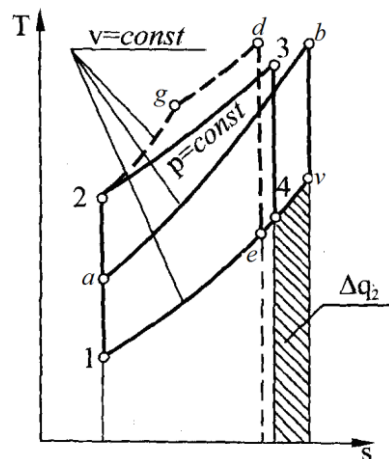
Issiqlik aralash uzatiluvchi sikl ko'pgina zamonaviy dvigatellarning asosida yotadi.

5.6. Ichki yonuv dvigatellarining sikllarini taqqoslash.

Termodinamik sikllarning iqtisodiyligi issiqlikni uzatish va olib ketishda o'rtacha termodinamik haroratlar nisbatidan aniqlanadi va bu faqatgina belgilangan haroratlarga va sikl tashkil topgan jarayonlarga bog'liqdir. Ma'lumki, Karno sikli faqatgina ishchi jismning belgilangan haroratlari oralig'ida samaralidir. Ammo Karno siklining FIK ni nolga tushirish mumkin ($T_1=T_2$). Boshqa tomondan har qanday jarayondan tashkil topgan siklning FIK Karno siklining FIK dan yuqori bo'lishi mumkin, buning uchun amalga oshirilayotgan sikl uchun parametrlarni o'zgarish chegarasi chegaralanmagan bo'lishi kerak. Masalan, $ABDGA$ siklning FIK $ABVGA$ Karno siklining FIK dan yuqori (5.8-rasm). Haqiqatdan ushbu siklda haroratni o'zgarish chegarasi yuqori. Ushbu siklga mos keladigan $AKDGA$ Karno sikli juda yuqori issiqlik unumdorligiga ega. Issiqlik energetik qurilmalari uchun termodinamik siklni tanlash uning ishlashini aniq sharoiti va ishchi jism parametrlarini o'zgarish chegarasi hamda qurilmalarda foydalanilgan konstruksion materiallardan aniqlanadi.

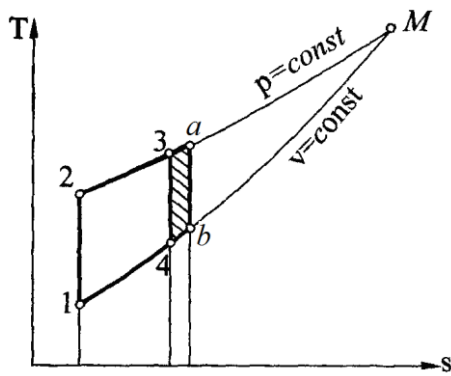


5.8-rasm. Turli sikllarni taqqoslash.

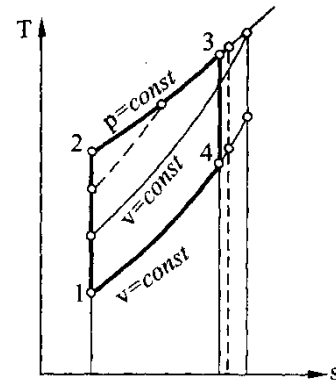


5.9-rasm. $q_1=idem$ bo'lganda ichki yonuv dvigatellarining sikllarini taqqoslash.

Agar turli turdagi ichki yonuv dvigatellari uchun bir xil siqish darajasi ϵ qabul qilinsa, u holda o'zgarmas hajmda issiqlik uzatiluvchi sikl ancha iqtisodiydir. Ammo dvigatellarni ishlash sharoiti turlicha: aralashma tashqarida hosil qilinuvchi dvigatelda siqish darajasi yoqilg'ining o'z-o'zidan alanganish harorati bilan chegaralanadi ($\epsilon=5\div 10$), aralashma ichki hosil qilinuvchi dvigatelda esa aksincha: siqishda haroratning ortishi purkalayotgan yoqilg'ini o'z-o'zidan alanganishini ta'minlashi kerak ($\epsilon=12\div 20$). $1-2-3-4-1$ va $1-a-b-v-1$ sikllarda uzatilgan issiqlik miqdori q_1 bir xil bo'lganda (5.9-rasm) o'zgarmas hajmda issiqlik uzatiluvchi siklda ko'p issiqlik Δq_2 tashlab yuboriladi, shuning uchun bu siklning FIK o'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi siklning FIK dan kichik bo'ladi.



5.10-rasm. q_1 ortishini o'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi ichki yonuv dvigateli siklining iqtisodiylikiga ta'siri.



5.11-rasm. Belgilangan maksimal bosimda ichki yonuv dvigatellarining sikllarini taqqoslash.

Issiqlik aralash uzatilishga o'tilganda dizelda ($1-2-g-d-e-1$ sikl) xuddi shu siqish darajasi saqlanganda tashlangan issiqlik q_2 $1-2-3-4-1$ siklga qaraganda kichik bo'ladi va FIK ortadi. Shuning uchun barcha zamonaviy kompressorsiz dizellar boshqa turdagi ichki yonuv dvigatellari bilan solishtirilganda yuqori FIK ga ega.

O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi ichki yonuv dvigatellarida q_1 ning ortishi dvigatel quvvatini ortishiga olib keladi, ammo bunda siklning termik FIK pasayadi: $2-M$ izobara va $1-M$ izoxorani yaqinlashishi natijasida hosil bo'lgan

qo'shimcha 3-a-b-4-3 siklning FIK 1-2-3-4-1 siklning FIK dan kichik bo'ladi (5.10-rasm).

Silindr devori va porshen sovitiladigan ichki yonuv dvigatellari uchun sikllar solishtirilganda ularda chegaralovchi sharoit sifatida q_1 ning chegara qiymati olinadi, bunda yoqilg'ining to'liq yonishi va silindrda maksimal bosim ta'minlanadi. Bunday sharoitda solishtirilganda 1-2-3-4-1 o'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi sikl eng ko'p iqtisodiy (5.11-rasm) hisoblanadi. O'zgarmas hajmda issiqlik uzatiluvchi sikl eng kam iqtisodiy, issiqlik aralash uzatiladigan sikl esa iqtisodiyliги bo'yicha oraliq holatni egallaydi.

Xulosa o'rnida shuni aytish mumkinki, ichki yonuv dvigatellari va har qanday issiqlik energetik qurilmasining umumiy iqtisodiyliги siklning termik FIK ga bog'liq, ammo faqat u bilan aniqlanmaydi. Dvigatelda olingan ish birligiga nisbatan sarflar ko'pgina omillarga (dvigatel narxiga, ekspluatasiya harajatlari va hokazo) bog'liq. Shuning uchun dvigatellarni loyihalash yoki tanlash umumiy iqtisodiy nuqtai nazaridan amalga oshiriladi. Optimal variantni tanlash maqsadida taqqoslovchi iqtisodiy hisoblar amalga oshiriladi.

Nazorat savollari.

1. Otto o'zining dvigatelini nechanchi yilda ixtiro qildi?
2. Dizel o'zining dvigatelini nechanchi yilda ixtiro qildi?
3. Trinkler o'zining dvigatelini nechanchi yilda ixtiro qildi?
4. Ichki yonuv dvigatellarining tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring?
5. $V=\text{const}$ bo'lganda issiqlik uzatiladigan siklni tushuntiring?
6. $P=\text{const}$ bo'lganda issiqlik uzatiladigan siklni tushuntiring?
7. $V=\text{const}$ va $p=\text{const}$ bo'lganda issiqlik uzatiladigan siklni tushuntiring?
8. $V=\text{const}$ siklning P-V diagrammasini tushuntiring?
9. $P=\text{const}$ siklning P-V diagrammasini tushuntiring?
10. $V=\text{const}$ va $p=\text{const}$ siklning P-V diagrammasini tushuntiring?
11. $V=\text{const}$ li ideal sikl qanday jarayonlardan tashkil topgan?
12. $V=\text{const}$ siklning asosiy xarakteristikalarini ayting?

13. $V=\text{const}$ siklda uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdorini qanday aniqlanadi?
14. $V=\text{const}$ siklning foydali ishi qanday aniqlanadi?
15. $V=\text{const}$ siklning termik FIK qanday aniqlanadi?
16. $P=\text{const}$ li ideal sikl qanday jarayonlardan tashkil topgan?
17. $P=\text{const}$ siklning asosiy xarakteristikalarini ayting?
18. $P=\text{const}$ siklda uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdorini qanday aniqlanadi?
19. $P=\text{const}$ siklning foydali ishi qanday aniqlanadi?
20. $P=\text{const}$ siklning termik FIK qanday aniqlanadi?
21. $V=\text{const}$ va $p=\text{const}$ li ideal sikl qanday jarayonlardan tashkil topgan?
22. $V=\text{const}$ va $p=\text{const}$ siklning asosiy xarakteristikalarini ayting?
23. $V=\text{const}$ va $p=\text{const}$ siklda uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdorini qanday aniqlanadi?
24. $V=\text{const}$ va $p=\text{const}$ siklning termik FIK qanday aniqlanadi?
25. Ichki yonuv dvigatellarining sikllarini taqqoslang?

VI-BOB. KOMPRESSOR QURILMALARINING SIKLLARI.

6.1. Porshenli kompressorlar.

Kompressor energetik qurilma yoki mashina hisoblanib, bosimni oshirish hamda gaz yoki gaz aralashmalarini aralashtirish uchun qo'llaniladi. Odatda kompressor qurilmasida atmosfera bosimidagi gaz bir necha atmosfera bosimgacha siqiladi.

Kompressor qurilmasi ishlash prinsipi bo'yicha hajmiy va dinamik (kurakchali yoki kinetik deb ham nomlanadi) turlarga bo'linadi.

Hajmiy harakatli kompressor qurilmalarida ishchi jarayon ishchi kamera hajmining siklik o'zgarishi natijasida amalga oshadi.

Dinamik harakatli kompressor qurilmalarida ishchi jarayon siqilayotgan gazning uzluksiz oqimini dinamik ta'sirlashish yo'li bilan amalga oshadi. Ushbu kompressorlarga turbokompressorlar va oqimli kompressorlarni kiritish mumkin.

Kompressordan chiqayotgan gazning bosimi bo'yicha, ya'ni kompressorning oxirgi bosimi bo'yicha past bosimli kompressorlar – 1,5 MPa gacha, o'rta bosimli kompressorlar – 1,5÷10 MPa gacha, yuqori bosimli – 100 MPa va undan yuqori turlarga bo'linadi.

Uzatilayotgan gazning miqdori bo'yicha (hajmiy unumdorligi bo'yicha) kichik (0,015 m³/s), o'rta (0,015 dan 1,5 m³/s gacha) va yirik (1,5 m³/s dan yuqori) kompressorlarga bo'linadi.

Siqilayotgan ishchi jismga bog'liq holda havoli (faqatgina havoni siqish uchun) va gazli kompressorlarga bo'linadi, ya'ni kislorodli, vodorodli, ammiakli va hokazo.

Umumiy maqsadlar uchun qo'llaniladigan kompressorlar atmosfera havosini (0,8÷1,5) MPa bosimgacha siqish uchun mo'ljallangan.

Kompressor ishini xarakterlovchi asosiy kattaliklar quyidagicha:

- hajmiy unumdorlik V – kompressor qurilmasidan chiqayotgan gazning hajmiy sarfi, u quyidagicha aniqlanadi:

$$V = \frac{m}{\rho_1} \quad (6.1)$$

bu yerda m – kompressor qurilmasining massaviy unumdorligi, ya'ni kompressor qurilmasidan chiqayotgan gazning massaviy sarfi; ρ_1 – so'rish sharoitida gazning zichligi;

- boshlang'ich bosim p_1 va oxirgi bosim p_2 lar – kompressor qurilmasiga kirishdagi va undan chiqishdagi bosim (so'rish va haydash bosimi);

- bosimlar nisbati (oldingi atama – siqish darajasi):

$$\beta = \frac{p_2}{p_1} \quad (6.2)$$

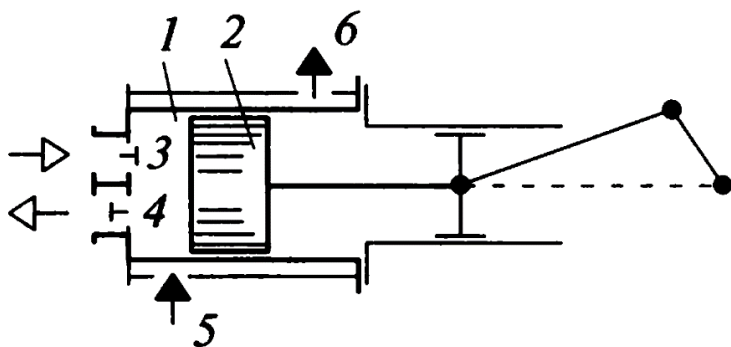
$\beta \leq 1,1$ bo'lganda kompressor qurilmalari *ventilyator* deb ataladi, ular katta miqdordagi gazni siqmasdan aralashtirish uchun qo'llaniladi. $1 < \beta < 3,0$ bo'lganda *gaz purkovchi qurilma* deb nomlanadi, kompressor qurilmalarida bosimlar nisbati $\beta > 3$ bo'lishi kerak;

- kompressorning boshlang'ich va oxirgi bosimi – gazning kompressor qurilmasiga kirishdagi va undan chiqishdagi harorati;

- dvigatel valining aylanish chastotasi n va quvvati N_{yu} .

Porshenli kompressorlarda ishchi kamera hajmining o'zgarishi to'g'ri chizichli qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi porshen yordamida amalga oshiriladi.

Porshenli kompressorlar oddiy va ikki harakatli turlarga bo'linadi.

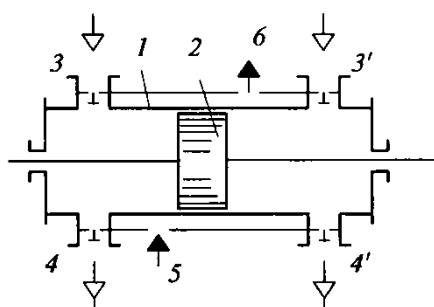


6.1-rasm. Oddiy harakatli porshenli kompressor.

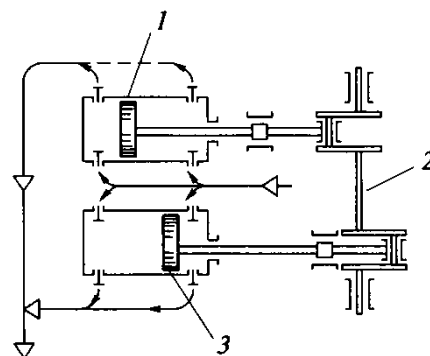
1-silindr; 2-porshen; 3, 4-so'rish va chiqarish klapani;

5, 6-sovituvchi suvning kirishi va chiqishi.

Oddiy harakatli porshenli kompressorlarda (6.1-rasm) porshen 2 o'ng tomonga harakatlanganda gaz silindr 1 ga so'ruvchi klapan 3 orqali so'riladi. Porshen chap tomonga harakatlanganda so'rish klapani yopiladi va gaz silindrda zarur oxirgi bosimgacha siqiladi, keyin haydash klapani 4 ochiladi va gaz haydash liniyasiga chiqarib yuboriladi. Porshenning qaytma-ilgarilanma harakati krivoship-shatun (tirsakli val) yordamida hosil qilinadi. Kompressor qurilmasining silindri sovituvchi suv (suvning kirishi 5 va suvning chiqishi 6) yordamida sovitiladi.



6.2-rasm. Ikki harakatli porshenli kompressor qurilmasi.



6.3-rasm. Silindri ikki harakatli ikki silindrli kompressor qurilmasi.

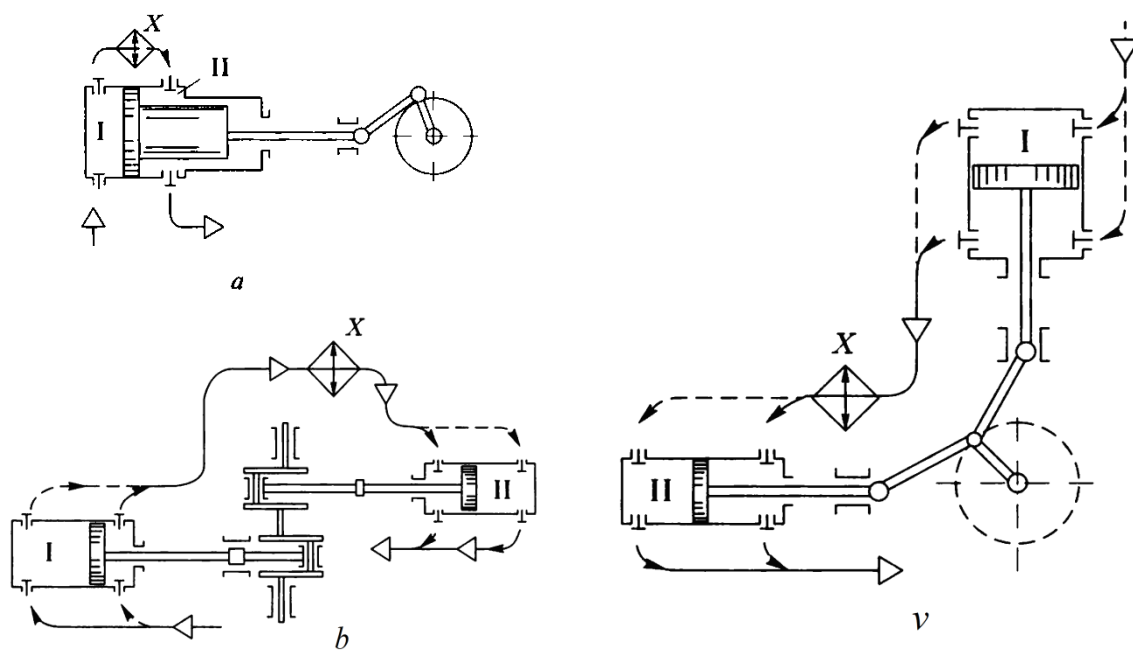
Ikki harakatli porshenli kompressorlarda (6.2-rasm) porshen 2 o'ng tomonga harakatlanganda gaz chap klapan 3 orqali silindrning chap qismiga so'riladi, bunda bir vaqtning o'zida silindrning o'ng qismiga gaz siqiladi va undan so'ng klapan 4' orqali chiqarib yuboriladi. Porshen chapga harakatlanganda gaz o'ng klapan 3' orqali silindrning o'ng qismiga so'riladi, bunda bir vaqtning o'zida silindrning chap qismida gaz siqiladi va chap klapan 4 orqali haydash liniyasiga chiqarib yuboriladi.

Ikki haraktli kompressor qurilmalari ancha qiyin konstruksiyaga ega, ammo ikki marta kuchli.

Yirik hajmiy unumdorlikka ega bo'lgan kompressor qurilmalaridan biri ko'p silindrli kompressorlar keng qo'llaniladi. 6.3-rasmda ikki silindrli kompressor qurilmasi ko'rsatilgan, bunday kompressor qurilmalarida bir vaqtning o'zida ikkita silindrda gazni so'rish va ikkita silindrdan gazni chiqarib yuborish sodir bo'ladi. Tirsakli val 2 ning aylanishida porshenlar 1 va 3 o'zaro teskari yo'nalishda harakatlanadi, natijada mashinaning dinamik og'irligi ortadi.

6.2. Ko'p pog'onali kompressorlar.

Ikki pog'onali gorizontallik kompressorlar bir silindrlilik, porsheni pog'onali qilib tayyorlanadi (6.4, a -rasm). Dastlab gaz silindrda porshenning chap tomoniga siqiladi, keyin sovitgich S orqali silindrda porshenning o'ng tomoniga o'tadi, u yerda kerakli bosimgacha siqiladi.



6.4-rasm. Ko'p pog'onali porshenli kompressorlar:

a – porshen pog'onasi bo'yicha; b – qarama - qarshi; v – to'g'ri burchakli.

Hozirda qarama-qarshi turdagi kompressorlar keng tarqalgan: bu kompressorlarning silindrlarini o'qlari tirsakli valdan ikkita qarama-qarshi yo'nalishda joylashgan va gorizontallikda yotadi (6.4, b - rasm). Bunday kompressorlarda valning aylanish tezligi 2-2,5 marta ortadi, ya'ni kompressor qurilmasining unumdorligi ortadi. Bundan tashqari silindrlarni V-simon, SH-simon shakllarda joylashtirish mumkin. 6.4, v – rasmda to'g'ri burchakli kompressor qurilmasi ko'rsatilgan. 6.4 – rasmning hammasida rim raqamlari bilan kompressor qurilmasining pog'onasi ko'rsatilgan.

Kompressor qurilmasining sxemalarini tanlash kompressor qurilmasining maqsadi, ishlatish sharoiti, unumdorligi, ishchi bosimi, pog'onalar soni va pog'onalar orasida bosimni taqsimlanishiga bog'liq.

Kompressor qurilmalarining silindrlari joylashish xarakteri bo'yicha *vertikal* va *gorizontlar* turlarga bo'linadi.

Vertikal kompressor qurilmalarida silindrga kirayotgan moylovchi material ishchi yuza bo'yicha bir xilda taqsimlanadi, moylovchi material yoki gaz bilan birga kirayotgan qattiq zarrachalar silindr yuzasiga emas, balki porshenning yuzasiga cho'kadi va silindrning yuzasi bilan to'qnashmaydi. Shuning uchun vertikal kompressorlar kam yemiriladi va juda yaxshi germetik zichlikka ega bo'ladi. Vertikal kompressor qurilmalarida qaytma-ilgarilanma harakat qiluvchi massaning inersiya kuchi poydevorga vertikal ta'sir qiladi va kompressor qurilmasining chidamliligini oshiradi.

Gorizontal kompressorlar vertikal kompressorlardan faqatgina xizmat ko'rsatishda soddaligi bilan afzaldir.

Dinamik chidamlilik nuqtai nazaridan eng maqbuli to'g'ri burchakli kompressorlardir.

Porshenli kompressorlar gazlarni o'rta va yuqori bosimgacha siqish uchun qo'llaniladi, demak ular o'rta va kichik unumdorlikli bo'ladi. Porshenli kompressorlarning kamchiliklari quyidagicha: konstruksiyasi qiyin va narxi yuqori; sekin harakatlanadi va elektr yuritgich bilan to'g'ridan-to'g'ri ulashning imkoni yo'q; detallarini tez yemirilishi; gazlarni moylovchi moy bilan ifloslanishi va ifloslangan gazlarni so'rish imkoniyatini yo'qligi; so'rishni va hajmiy unumdorlikni bir xil emasligi; xizmat ko'rsatish qiyinligi va hokazo.

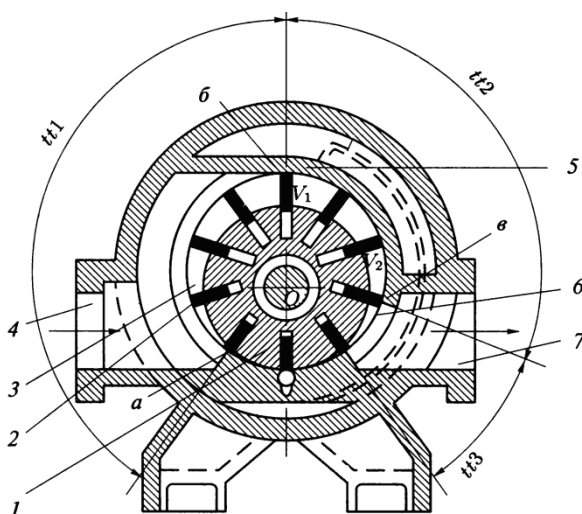
6.3. Rotorli kompressorlar.

Rotorli kompressorlar hajmiy kompressorlar sinfiga kiritiladi. Bu turdagi kompressorlarda ham porshenli kompressorlar singari hajmni qisqarishida yopiq bo'shliqda gazni siqilishi sodir bo'ladi. Porshenli kompressorlardan farqli ravishda ishchi kamera yo'nib kengaytirish orqali hosil qilinadi va unda rotor joylashadi, ishchi kameralarning hajmlarini o'zgarishi rotorning aylanishi hisobiga sodir bo'ladi. Rotorli kompressorlar plastinali, suyuqlik-halqali, rotor-porshenli, vintli, shesterniyali bo'lishi mumkin.

6.5-rasmda rotorli plastinali kompressor ko'rsatilgan. Silindrik korpusda 5 val shaklidagi eksentrik o'rnatilgan rotor 7 aylanadi. Rotorda pazlar (yoriqlar) mavjud, ularga ishchi plastinalar 2 quyilgan bo'lib radial yo'nalishda erkin aralashadi. Rotor markazdan qochma kuch ta'siri ostida aylanganda plastinalar siljiydi va ularning uchlari korpusga qisiladi, bunda korpus va rotor orasidagi yarim oy shaklidagi bo'shliqda yopiq kameralar 1 hosil bo'ladi. Ushbu kameraning hajmi rotorning aylanish yo'nalishida a dan b gacha kengayadi, bunda gazni so'rish sodir bo'ladi. Rotorning yana aylanishida ushbu kameraning hajmi b dan v gacha kamayadi, bunda gazni siqish sodir bo'ladi. Kameraning eng kichik hajmi b bo'lib, u orqali gaz bosim bilan haydash patrubkasi 7 ga kiradi. Rotor va korpus orasidagi tirqishning quyi qismida o'lik bo'shliq hosil bo'ladi (rasmda ko'rsatilmagan). Kompressorning korpusida sovitish uchun suvli g'ilof mavjud.

Gaz bosimlarining nisbati bir pog'onali mashinalarda (3...4) va ikki pog'onali mashinalarda (8...15) ga teng bo'ladi.

Rotorda plastinalar soni 20 tadan kam bo'lmaydi (qo'shni yacheykalar orasida bosim tushishini va gazning sizib chiqishini kamaytirish uchun), plastinani tez yemirilishdan saqlash uchun plastinaning tezligi (6...12) m/s ni tashkil etadi. Plastinani korpusning ichki yuzasiga zich yopishishini ta'minlash uchun tezlik (7,5...8) m/s dan kam bo'lmaydi. Kompressor qurilmalari rotorning aylanishlar soni 750...1000 oralig'ida bo'ladi.



6.5-rasm. Plastinali kompressor.

Plastinali kompressorlar porshenli kompressorlar bilan solishtirilganda konstruksiyasi bo'yicha sodda, 5...6 marta kichik maydonga ega, bir xil hajmiy unumdorlikka ega, massasi kichik va og'ir poydevor kerak emas.

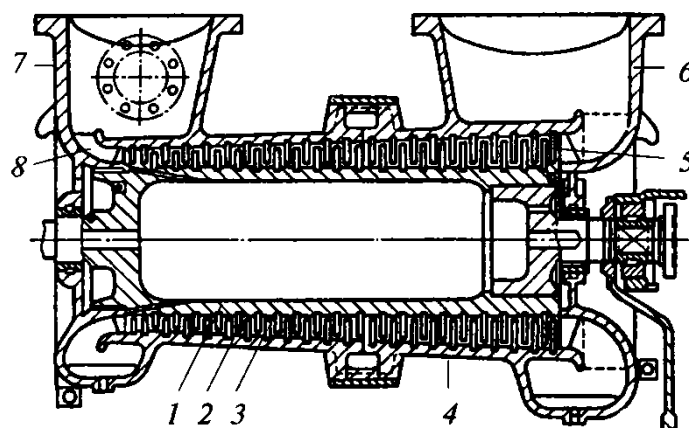
Plastinali kompressorlarning kamchiligi: plastinani tez yemirilishi, buning hisobiga ishchi kameraning germetikligi buziladi va bosimlar nisbatini kamayishi sodir bo'ladi, shuningdek siqilgan gazlarni plastinaning yemirilish mahsulotlari bilan ifloslanishi va hokazo.

6.4. O'qiy kompressorlar.

O'qiy kompressor – bu turbokompressor, unda meridian yo'nalishidagi tekislikda kurak panjaralaridagi aylanayotgan oqim asosiy o'qiy yo'nalishda bo'ladi.

O'qiy kompressorlarning qo'llanilish sohasi hajmiy unumdorlik bilan chegaralanib $4 \text{ m}^3/\text{s}$ dan oshadi, yuqori chegarasi $170 \text{ m}^3/\text{s}$ gacha yetadi. Kompressor bosimlar nisbati bo'yicha past bosimli qurilmalar deb ataladi va ularda sovitish tizimi bo'lmaydi. Ularning barcha afzalliklari markazdan qochma kompressorlarniki kabi bir xil. Bundan tashqari ular juda yuqori termodinamik FIK ga ega bo'lib, $\eta_{ad}=0,9\div 0,92$ ni tashkil etadi.

O'qiy kompressorning asosiy qismlariga (6.6-rasm) rotor 1, ishchi kuraklar 2, korpus 4 korpusning ichki yuzasiga mahkamlangan yo'naltiruvchi kurakchalar 3 va 5 rotor kurakchasi vintsimon yuzaning bir qismi bo'lib, aylanuvchi gaz esa “gayka” hisoblanadi. Bunday vintning aylanishida gaz (“gayka”) o'qiy yo'nalishda o'ngdan chapga ilgarilanma harakat qiladi va bir vaqtning o'zida aylanma harakatda ishtirok etadi. Ishchi kurakchalar 2 va yo'naltiruvchi kurakchalar 3 ning har bir ko'ndalang qatori bitta pog'onani hosil qiladi. Aylanuvchi ishchi kurakchalar 3 orqali gazga uzatilgan kinetik energiya yo'naltiruvchi kurakchalar 3 orqali o'tganda bosim energiyasiga aylanadi. Gaz kompressorga patrubka 6 orqali kiradi, kurakchalar 5 yordamida uyurmalanadi, o'q bo'ylab ketma-ket barcha pog'onalardan o'tadi va belgilangan oxirgi bosimgacha siqilgandan so'ng patrubka 7 orqali bosimli gaz uzatish quvuriga chiqarib yuboriladi.



6.6-rasm. O'qiy kompressor.

Bitta pog'onada bosimlar nisbati 1,15...1,20 dan oshmaydi, shuning uchun yuqori bosimlar nisbatiga erishishda o'qiy kompressorlarda pog'onalar soni juda ko'p bo'ladi (20 ta gacha). Bunda rotorning aylanma tezligi 400 *m/s* ga yetadi. O'qiy kompressorlarni yuritish aylanish tezligi (5000...5500) ayl/daq bo'lgan bug' yoki gaz turbina yordamida amalga oshiriladi.

Ma'lumki, gazning bosimi gaz bir pog'onadan ikkinchi pog'onaga harakatlenganda ortadi, hajmi esa kamayadi, bunga mos ravishda kurakchalarning balandligi kamayadi. Kurakchalarning balandligi kamayishi natijasida pog'onaning FIK pasayadi. Shuning uchun bir qancha hollarda o'qiy kompressorning uch-to'rtta oxirgi pog'onasi bitta markazdan qochma pog'ona bilan almashtiriladi.

6.5. Turbokompressorlar.

Turbokompressor – bu dinamik harakatli kompressoridir, unda siqilayotgan gaz oqimiga ta'sir etish kurakchalarning aylanuvchi panjaralari yordamida amalga oshiriladi. Ulardan eng ko'p qo'llaniladigani markazdan qochma kompressorlar bo'lib, ular radial turbokompressorlar hisoblanadi, ularda oqim kurakchalarning aylanuvchi panjaralari yordamida meridian tekislikda markazdan chetga harakatlanadi. Turbokompressor pog'onasining aylanuvchi elementi kurakcha panjarasi va gaz oqimi energiyasini uzatuvchi ishchi parraklarni o'z ichiga oladi.

Markazdan qochma kompressorning asosiy elementi (6.7-rasm) quyidagilar: ishchi parrak 1, kurakcha 4, diffuzor 2 (6.7, *b*-rasm). Katta tezlik bilan aylanayotgan

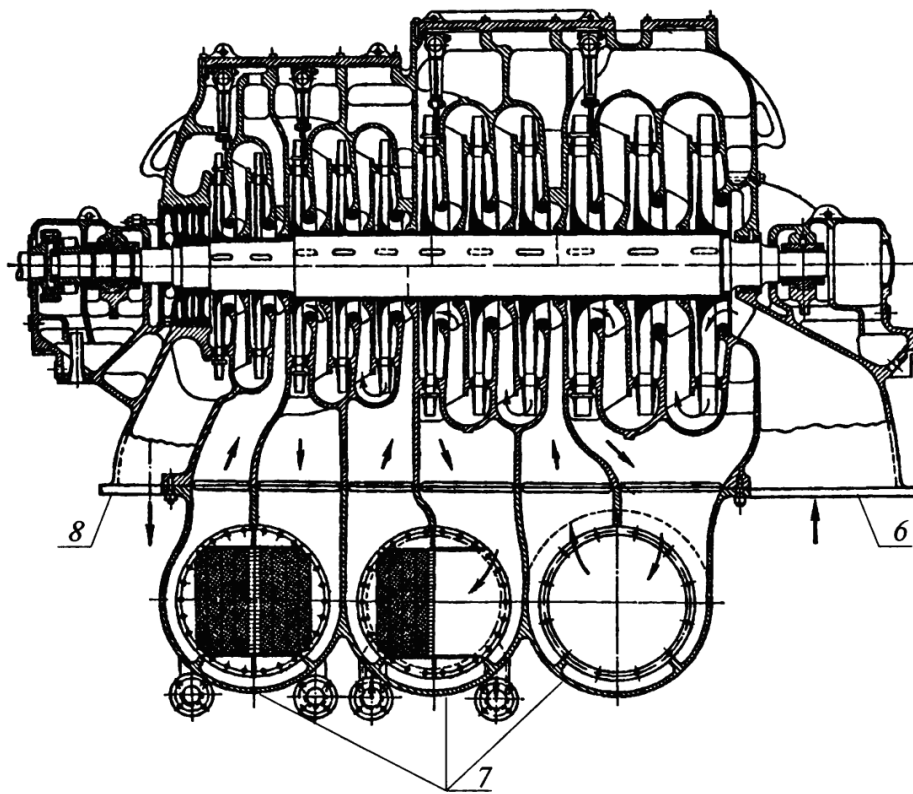
parrak gazni o'zi bilan olib ketadi va unga kinetik energiyasini beradi. Markazdan qochma kuch ta'siri ostida gaz diffuzorga chiqariladi, u yerda kinetik energiya bosim energiyasiga o'tadi. Yo'naltiruvchi moslama 5 deb nomlanuvchi diffuzorlarning hammasi qo'zg'almas kurakchalar tizimini ifodalaydi. Ishchi parrak kurakchasiz ham tayyorlanishi mumkin. Ishchi parraklarning turlari 6.7, *d*-rasmda ko'rsatilgan.

Gazlar ishchi parrakning markazdan qochma kuchi ta'siri ostida oqib o'tganda uning o'qida siyraklanish hosil o'ladi, buning natijasida so'rish patrubkasi 6 orqali gazning uzluksiz oqimi hosil bo'ladi (6.7, *a*-rasm).

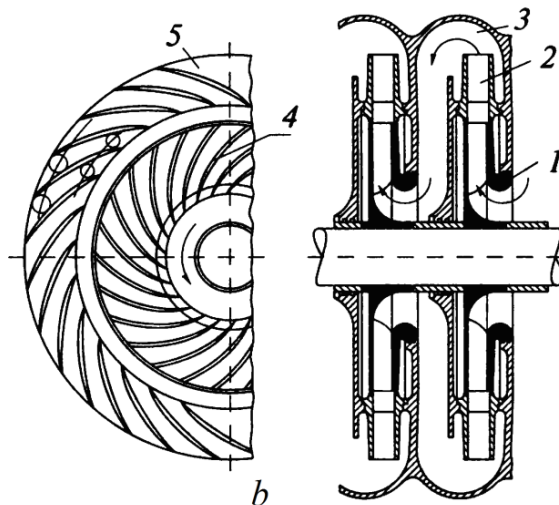
Yo'naltiruvchi moslamali bitta parrak ishlaganda markazdan qochma kompressorning hosil bo'lgan pog'onasida bosimlar nisbati $\beta=1,6...2$ bo'ladi. β kattalikning qiymati parrak va diffuzorning o'lchamlariga va shakliga hamda parrakning aylanish chastotasiga bog'liq. Kompressorda bosimlar nisbatini oshirish uchun qurilmaning umumiy qoplamasini bitta valida bir nechta parraklar o'rnatiladi. Ushbu holda diffuzorlar 2 tizimidan chiqqan gaz qaytish kanali yordamida ikkinchi parrakka uzatiladi. Barcha pog'onalardan o'tib bo'lgan siqilgan gaz patrubka 8 orqali bosimli uzatish quvuriga chiqarib yuboriladi (6.7, *a*-rasm). Oxirgi yo'naltiruvchi moslamadan chiqayotgan gazning tezligi 50 *m/s* gacha yetadi, bu tezlikni bosimli uzatish quvuridagi tezlik darajasigacha pasaytirish uchun qurilma qoplamasi spiralli va oxirida kengayuvchi konussimon quvurli qilib tayyorlanadi.

Amaliyotda qurilma qoplamasida ishchi kuraklarni joylashtirishning turli variantlari uchraydi. 6.7, *v*-rasmda valning bir tomonidan gazning so'rilishi va ikkinchi tomonidan gazni bosim bilan haydashi ko'rsatilgan. 6.7, *g*-rasmda gaz ikkita teskari joylashgan tomonlar orqali so'riladi va umumiy oqim o'rtadan chiqarib yuboriladi. Oxirgi variant ixcham va qurilmani o'qiy zo'riqishdan xalos etadi.

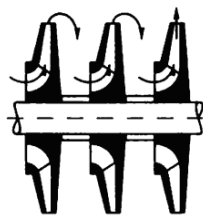
Gazni siqish yo'li bo'yicha gazning bosimi ortadi, hajmi esa kamayadi, shuning uchun ishchi parrakning kengligi va diametri kamayadi (6.7, *a*-rasm).



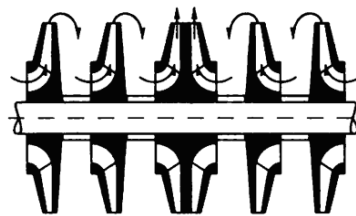
a



b



v



g

6.7-rasm. Markazdan qochma kompressor.

a-umumiy ko'rinishi; b-yo'naltiruvchi moslamali ishchi parrakning sxemasi; v-bir tomonlama so'rishda parrakning joylashishi; g-ikki tomonlama so'rishda parrakning joylashishi.

Kompressorlarda bosimlar nisbatini ortishi bilan gazning harorati ortadi, demak energiya sarfi ham ortadi. Qurilma korpusini suvli g'ilofli sovitishdan tashqari oraliq sovitgichlarda tashqi sovitish amalga oshiriladi, oraliq sovitgichlar bir nechta pog'onalardan keyin o'rnatiladi, odatda bitta sovitgich 2...4 pog'onadan keyin o'rnatiladi. Masalan 6.7, *a*-rasmda tasvirlangan markazdan qochma kompressorning umumiy ko'rinishida uchta oraliq sovitgichlar mavjud. Gazni tashqi sovitish ancha jadal sodir bo'ladi, shuningdek oraliq sovitgichning sovitish yuzasi suvli g'ilofning yuzasiga nisbatan ancha katta.

Markazdan qochma kompressorning ishi porshenli kompressorniki kabi hisoblanadi.

6.6. Kompressor qurilmasining indikator diagrammasi.

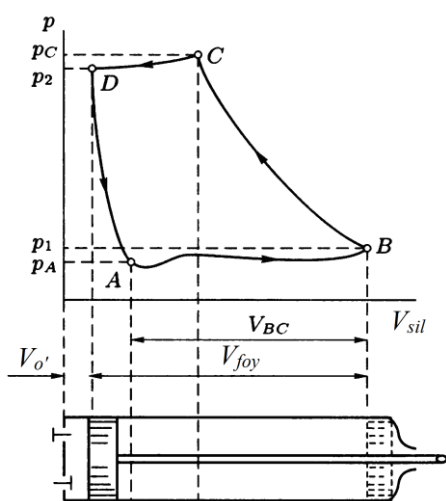
Porshenli kompressorlarning ishi indikator diagramma yordamida aniqlanadi, ushbu diagrammada porshenli mashinaning silindridagi bosimi p ni uning o'zgaruvchan hajmi V_{sil} ga bog'liqligi ifodalanadi.

Chap chetki holatga mos keluvchi D nuqta (6.8-rasmga qarang) olamiz, ma'lumki, haqiqiy kompressor qurilmasida hech qachon porshen silindr qopqog'iga zich bormaydi. Chap chetki holatda silindr qopqog'i va porshen orasidagi bo'shliq o'lik bo'shliq yoki zararli bo'shliq deb ataladi, uning hajmi $V_{o'}$. O'lik bo'shliqning hajmi silindr ishchi (foydali) hajmining V_{foyl} ulushlarida ifodalanadi:

$$V_{o'} = \gamma V_{foyl} \quad (6.1)$$

bu yerda $\gamma = V_{o'} / V_{foyl}$ - o'lik bo'shliqning nisbiy hajmi.

Kompressor qurilmasining konstruksiyasi va klapanlarini joylashishiga bog'liq holda silindrda γ qiymat 0,025 dan 0,06 gacha o'zgaradi. O'lik bo'shliqda joylashgan gaz p_2 bosimgacha siqiladi. Porshen chap chetgi holatdan o'ngga harakatlenganda o'lik



6.8-rasm. Indikator diagramma.

bo'shliqda joylashgan gazning kengayishi boshlanadi (DA jarayon). Bosim p_A qiymatgacha kamayadi va so'rish liniyasidagi p_1 bosimdan ancha kichik bo'ladi. A

nuqtada mos keluvchi porshening holatida bosimlar farqi $p-p_A$ ta'siri ostida so'rish klapani ochiladi va gaz kompressorga kiritiladi. So'rish (AB) porshen o'ng chetki holatga yetgunga qadar davom etadi (B nuqta).

So'rilgan gazning hajmi:

$$V_{so'r} = \gamma_{to'l} V_{foy} \quad (6.2)$$

bu yerda $\gamma_{to'l} = \frac{V_{so'r}}{V_{foy}}$ - kompressor qurilmasining hajmiy to'lish koeffitsienti (hajmiy

koeffitsient). Kompressor qurilmasining hajmiy koefisienti 0,7 dan yuqori bo'lishi kerak va u odatda 0,85...0,95 qiymatlar orasida bo'ladi.

Porshen o'ng chetki holatdan chapga harakatlenganda so'rish klapani yopiladi va gazni bosim liniyasidagi bosimdan bir necha marta yuqori bosimgacha siqilishi boshlanadi, bunda chiqarish klapani ochiladi (C nuqtada). Chiqarish CD liniyasi bo'yicha amalga oshadi.

6.7. Kompressorning indikator ishi.

Hajmiy harakatli kompressorning ishchi kamerasida bitta sikl davomida bajarilgan ichki ish *kompressorning indikator ishi* deb ataladi.

$p_A \approx p_B \approx p_1 \approx const$ bo'lganda gazni so'rishga sarflangan ish:

$$L_{AB} = \int_{V_A}^{V_B} p dV_{sikl} = p_1 V_B - p_1 V_A \quad (6.3)$$

BC jarayonda, ya'ni gazning hajmi V_B dan V_C gacha kamayganda, bosim esa $p_B \approx p_1$ dan $p_C \approx p_2$ gacha ortganda gazni siqishga sarflangan ish:

$$L_{BC} = \int_{V_B}^{V_C} p dV_{sikl} = \int_{V_B}^{V_C} [d(pV_{sikl}) - V_{sikl} dp] = p_2 V_C - p_1 V_B - \int_{p_1}^{p_2} V_{sikl} dp \quad (6.4)$$

$p_C \approx p_D = p_2 = const$ bo'lganda gazni chiqarishga sarflangan ish:

$$L_{CD} = \int_{V_C}^{V_D} p_2 dV_{sikl} = p_2 V_D - p_2 V_C \quad (6.5)$$

Silindrning o'lik bo'shlig'ida qolgan gazning kengayishida olingan ish ($p_A \approx p_1$ qabul qilinadi):

$$L_{DA} = \int_{V_D}^{V_C} p dV_{sikl} = \int_{V_D}^{V_A} [d(pV_{sikl}) - V_{sikl} dp] = p_1 V_A - p_2 V_D - \int_{p_1}^{p_2} V_{sikl} dp \quad (6.6)$$

bu yerda

$$\int_{p_1}^{p_2} V_{sikl} dp = 0$$

Siklning umumiy ishi:

$$L = L_{AB} + L_{BC} + L_{CD} + L_{DA} \quad (6.7)$$

Qiymatlarni qo'yish va o'zgartirishlardan so'ng quyidagiga ega bo'lamiz:

$$L = - \int_{p_1}^{p_2} V_{sikl} dp \quad (6.8)$$

L qiymat manfiy, demak kompressorda gazni siqish uchun ish sarflanar ekan, ya'ni ish tashqi manbadan uzatiladi. L qiymat kompressorning texnik ishi deb ataladi, u kompressor silindrida gazni siqish ishi L_{BC} dan farq qiladi.

Agar kompressor silindriga kirayotgan gazning massasini m_{sikl} deb belgilasak, u holda $V_{sikl} = \nu m_{sikl}$ bo'ladi. U holda bir kilogramm gaz uchun solishtirma ish quyidagicha:

$$L = - \int_{p_1}^{p_2} \nu dp \quad (6.9)$$

Kompressorning ishi haqida so'z yuritilganda “minus” ishora inobatga olinmaydi, ya'ni kompressor doimo energiya iste'mol qiladi:

$$L = \int_{p_1}^{p_2} \nu dp \quad (6.10)$$

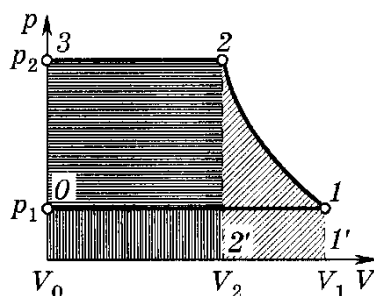
6.8. Bir pog'onali porshenli kompressorning ishi.

6.8-rasmga qaytamiz. Ushbu diagrammadan ko'rinib turibdiki, bir pog'onali kompressorning ishchi jarayoni silindrga past bosimli gazni so'rib olish, uni yuqori bosimgacha siqish va siqilgan gazni silindrdan chiqarib yuborishdan iborat. Ushbu jarayonlarning har birida ish nolga teng bo'lmaydi.

Gazni siqishga sarflarni hisobga olish uchun haqiqiy indikator diagramma emas, balki ideal ishchi jarayon ko'rib chiqiladi. Bunda klapanlarning ta'siri hisobga

olinmaydi va quyidagilar qabul qilinadi, ya'ni bosim bilan haydash jarayoni 2-3 resiverdagi bosimga teng p_2 bosimda, so'rish esa atrof-muhit bosimiga teng p_1 bosimda sodir bo'ladi.

Bundan tashqari kompressor silindrining geometrik hajmi ishchi hajmga teng qabul qilinadi. Bu cheklash zararli bo'shliqni inobatga olmaslik bilan bir xil. Hisoblashlarda ham ishqalanish hisobga olinmaydi va silindrda gazni so'rish o'zgarmas bosimda sodir bo'ladi.



6.9-rasm. Kompressor qurilmasining nazariy indikator diagrammasi.

Qabul qilingan cheklashlar hisobga olinganda nazariy indikator diagramma 6.9-rasmda tasvirlangan jarayonlarning yig'indisiga mos keladi. 0-1 ideal jarayon silindrni o'zgarmas p_1 bosimdagi gaz bilan to'lishiga mos keladi, bu ahamiyatga ega bo'lgan termodinamik jarayon hisoblanmaydi, demak bunda faqatgina silindrga so'rilayotgan ishchi jismning massasi o'zgaradi, holat parametrlari esa o'zgarmaydi. 0-1 jarayon so'rish jarayoni deb ataladi. 1 nuqta porshenning $QO'N$ dagi holatiga mos keladi, bunda silindrning butun hajmi past bosimli gaz bilan to'ldiriladi.

1-2 egri chiziq yopiq so'rish va bosim bilan haydash klapanlarida kompressordagi gazni p_1 dan p_2 bosimgacha siqish jarayoniga mos keladi va siqish jarayoni davomida issiqlik sig'imini o'zgarmaslik shartidan bu jarayon – politropik jarayondir. 2 nuqtada bosim bilan haydash klapanini ochilishi sodir bo'ladi.

2-3 gorizontal chiziq gazni silindrdan yuqori bosimli rezervuarga haydash jarayoniga mos keladi va bosim bilan haydash chizig'i deb ataladi. Bunda silindrda joylashgan gazlarning miqdori kamayadi. Bu jarayon ham termodinamik hisoblanmaydi, shuningdek ishchi jismning holat parametrlari o'zgarmasdan qoladi.

6.9-rasmdan ko'rinib turibdiki, bir pog'onali kompressorda gazni siqishga sarflangan ish L_k , grafik ravishda 12301 maydon bilan tasvirlanadi va quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$L_k = L_{12} + L_{23} - L_{01} = 211'2'm + V_0 322'm - V_0 011' \quad (6.11)$$

yoki quyidagi formuladan aniqlanadi:

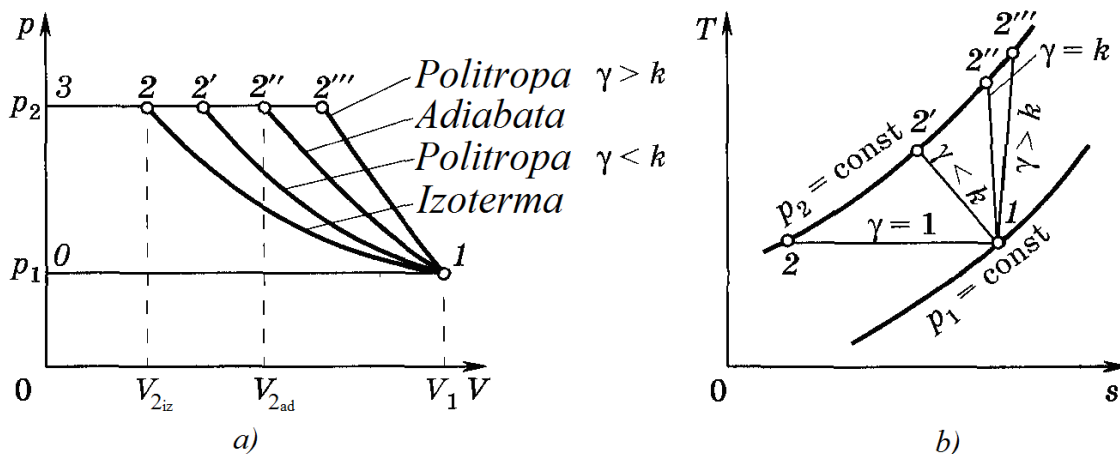
$$L_k = \int_{p_1}^{p_2} V dp \quad (6.12)$$

Umumiy holda siqilayotgan ishchi jism va silindr devori orasida issiqlik almashinuvi sharti bo'yicha siqish jarayoni adiabatik, izotermik va politropik bo'lishi mumkin. Agar ko'rsatilgan jarayon yetarlicha tez amalga ohsa, shuningdek atrof-muhit va gazlar orasida issiqlik almashinuvi sodir bo'lmasa yoki tashqi muhitning haroratini yuqoriligi sababli issiqlikni uzatish qiyin bo'lsa, bu jarayonni adiabatik deb hisoblash mumkin. Agar kompressorning silindri T_1 haroratli suv bilan sovitilsa va silindrdagi gazlar va g'ilofli sovitish orasida jadal issiqlik almashinuvi (ya'ni gaz siqilganda ajralib chiqqan issiqlik sovitgichga to'liq uzatilsa) sodir bo'lsa, u holda siqish jarayoni $T_1 = const$ da sodir bo'ladi va bu izotermik jarayon hisoblanadi.

Izotermik va adiabatik jarayonlarni faqatgina nazariy ko'rib o'tish mumkin. Haqiqatda siqish jarayonlari politrop jarayonning darajasi ko'rsatkichlari n bilan sodir bo'ladi, daraja ko'rsatkichi kompressorda siqilayotgan gazdan issiqlikni olib ketish jadalligiga bog'liqdir. Sovitiluvchi kompressorlarda gazlarni siqishda $1 < n < k$ bo'ladi, sovitilmaydigan (markazdan qochma va o'qiy) kompressorlarda $n > k$. Politrop jarayon ko'rsatkichining o'rtacha qiymati gazning siqish jarayoni boshidagi va oxiridagi parametrlari bo'yicha hisoblanadi.

6.10-rasmda ideal kompressorning nazariy jarayonlarini P-V va T-S diagrammalari ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, gazlar $1-2$ izoterma bo'yicha siqilganda siqish ishi 12301 maydon bilan tasvirlanadi, $1-2'$ adiabat bo'yicha siqilganda $12''301$ maydon bilan tasvirlanadi. Taqqoslash uchun ushbu rasmda $1 < n < k$ ($1-2'$) va $n > k$ ($1-2''$) politropalar bo'yicha siqish jarayonlari ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki 12301 maydon eng kichik, demak izotermik siqish eng foydali hisoblanadi, ya'ni izotermik siqishda eng kam ish sarflanadi.

Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, ya'ni haqiqiy kompressorlarda siqish ishini kamaytirish uchun siqish jarayonini izotermikka yaqinlashtirish zarur. Bunda kompressor silindrida siqilgan gazning issiqligini olib ketish yetarlicha yaxshi bo'lishi kerak, buning uchun kompressor silindrining tashqi yuzasini suv bilan sovitish amalga oshiriladi.



6.10-rasm. Ideal kompressorning nazariy jarayonlarini P-V va T-S diagrammalari.

Kichik unumdorlikli kompressorlarda issiqlikni olib ketishni ta'minlash uchun silindrning tashqi devori qovurg'ali qilib tayyorlanadi. Kompressor ishlaganda qovurg'a havo bilan sovitiladi.

Shuni ham ta'kidlash joizki, silindr devorini sovitish kompressorning ishlash ishonchliligini oshiradi va uning tez harakatlanishini hamda gazni juda yuqori bosimgacha siqishni ta'minlaydi.

Bir pog'onali kompressorda gazni siqishga sarflangan ishning sonli qiymati (6.12) ifoda bo'yicha aniqlanadi, bu ifoda siqishning xarakteriga bog'liq holda quyidagi ko'rinishlarga o'zgaradi.

Politropik siqishda bu ifodani quyidagicha yozish mumkin, bunda

$$PV^n = const, V = \frac{const}{p^{\frac{1}{n}}}$$

$$L_k = \int_{p_1}^{p_2} V dp = \text{const} \int_{p_1}^{p_2} p^{-\frac{1}{n}} dp = \frac{p^{\frac{1}{n}} V}{1 - \frac{1}{n}} \left(p_2^{1-\frac{1}{n}} - p_1^{1-\frac{1}{n}} \right) = \frac{n}{n-1} \left(p_2^{\frac{1}{n}} V_2 p_2^{1-\frac{1}{n}} - p_1^{\frac{1}{n}} V_1 p_1^{1-\frac{1}{n}} \right) \quad (6.13)$$

yoki

$$L_k = \frac{n}{n-1} (p_2 V_2 - p_1 V_1) \quad (6.14)$$

Politrop jarayonda parametrlar orasidagi nisbatlarni hisobga olganda oxirgi formulani quyidagi ko'rinishda ham yozish mumkin:

$$L_k = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (6.15)$$

Adiabatik siqishda keltirilgan ifodalarda politrop jarayonning ko'rsatkichi n adibatik jarayon ko'rsatkichi k bilan almashtiriladi:

$$L_k = \frac{k}{k-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (6.16)$$

Adiabatik siqishda kompressorning ishini boshqa yo'l bilan aniqlash mumkin. Haqiqatan ham (6.15) tenglamada n ning o'rniga k ni qo'ysak va ideal gazning holat tenglamasi $PV=mRT$ bo'yicha o'rin almashtirishlarni amalga oshirsak quyidagiga ega bo'lamiz:

$$L_k = \frac{k}{k-1} mR(T_2 - T_1) \quad (6.17)$$

$k = \frac{c_p}{c_v}$ va $c_p - c_v = R$ ni hisobga olsak (6.17) formula quyidagi ko'rinishga o'tadi:

$$L_k = mc_p(T_2 - T_1) \quad (6.18)$$

Ma'lumki, ideal gaz uchun $dS = c_p dT$, u holda (6.18) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$L_k = S_2 - S_1 \quad (6.19)$$

Izotermik siqishda $V = \frac{const}{P}$ va L_k ni aniqlash formulasi quyidagi ko'rinshda

bo'ladi:

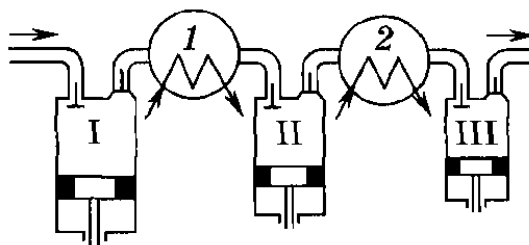
$$L_k = \int_{p_1}^{p_2} V dp = const \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{P} = p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = mRT \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (6.20)$$

Bir pog'onali kompressorlarni hisoblashda va loyihalashda shuni e'tiborga olish kerakki, yuqori bosimgacha siqishda gazning harorat tez ortadi va silindrdagi moyning o'z-o'zidan alanganish harorati ham ortishi mumkin. Odatda bir pog'onali porshenli kompressorlar 6-10 bar bosimgacha siqish uchun qo'llaniladi. Juda yuqori bosimli siqilgan gaz olish uchun ko'p pog'onali kompressorlardan foydalanish kerak.

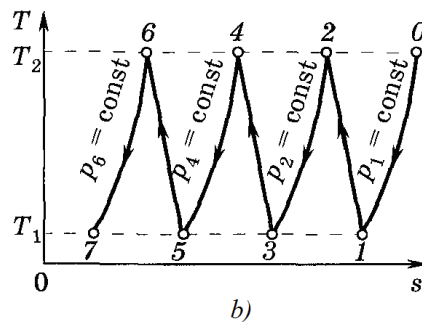
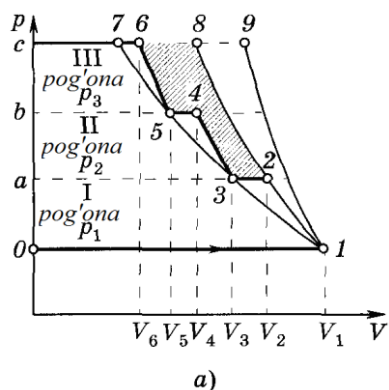
6.9. Ko'p pog'onali kompressorning ishi.

Ko'p pog'onali kompressorlar yuqori bosimli gaz olish uchun qo'llaniladi. Ular bir nechta ketma-ket ishlaydigan bir pog'onali porshenli kompressorlarning majmui bo'lib, ularda siqilgan gazni pog'onalar orasida oraliq sovitish mavjud. Gazni oraliq sovitishdan foydalanish silindrdagi porshenni moylash sharoitini yaxshilaydi va kompressorni yuritishga energiya sarfi kamayadi, ya'ni kompressordagi ishchi jarayon izotermik jarayonga yaqinlashadi.

6.11-rasmda uch pog'onali kompressorning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan, 6.12-rasmda esa uning indikator diagrammasi ko'rsatilgan. Ushbu diagrammada uch pog'onali kompressorda siqish jarayoni 1-2-3-4-5-6 siniq chiziq bilan tasvirlangan (6.12, b-rasm).



6.11-rasm. Uch pog'onali kompressorning prinsipial sxemasi.



6.12-rasm. Uch pog'onali kompressorning indikator diagrammasi.

Havo birinchi silindrga p_1 bosimda so'riladi va u 1-2 politropa bo'yicha p_2 bosimgacha siqiladi, keyin birinchi sovitgichga kiradi, u yerda $p_2 = \text{const}$ izobara bo'yicha 3 nuqtadagi haroratgacha soviydi, bunda uning hajmi $\Delta V = V_2 - V_3$ qiymatga kamayadi. Sovitishning bu jarayoni 2-3 gorizontaal qirqim bilan tasvirlangan, bunda 3 nuqta va 1 nuqtalar 1-3-5-7 izotermada yotadi. 012a maydon kompressorning birinchi pog'onasida gazni siqish ishini ifodalaydi.

Birinchi sovitgichdan chiqqan havoning holati 3 nuqtaga mos keladi, keyin havo kichik o'lchamli ikkinchi silindrga p_2 bosimgacha so'riladi va u yerda 3-4 politropa bo'yicha p_4 bosimgacha siqiladi. Keyin $p_3 = \text{const}$ izobara bo'yicha ikkinchi sovitgichda boshlang'ich haroratgacha sovitiladi, bunda havoning hajmi $\Delta V = V_4 - V_5$ qiymatga kamayadi. Ikkinchi sovitish jarayoni 4-5 gorizontaal qirqim orqali tasvirlangan. a34b maydon kompressorning ikkinchi pog'onasida gazning siqish ishini ifodalaydi.

Ikkinchi sovitgichdan chiqqan havoning holati 5 nuqtaga mos keladi, keyin havo uchinchi silindrga so'riladi, u yerda 5-6 politropa bo'yicha oxirgi bosim p_6 gacha siqiladi. b56c maydon kompressorning uchinchi pog'onasida gazni siqish ishini ifodalaydi.

Agar oxirgi bosimgacha siqish jarayoni politropa bo'yicha amalga oshirilsa, u holda siqishga sarflangan ishning qiymati 019c0 maydon bo'yicha aniqlanadi. Gazlarni politropik siqishda uch pog'onali kompressorning har bir pog'onasidagi ishi 0123456c0 maydon bo'yicha aniqlanadi.

Shtrixlangan maydon uch pog'onali siqishni qo'llaganda yutilgan ishni bildiradi. Oraliq sovitishli siqish pog'onalarining soni qancha ko'p bo'lsa siqish jarayoni izotermikga shunchalik yaqinlashadi, bunda bosimning belgilangan qiymatlarida sarflangan ish eng kichik bo'ladi (01357c0 maydon).

Butun jarayon davomida minimal ish sarflash uchun ko'p pog'onali porshenli kompressorlarni loyihalashda pog'onalar orasidagi umumiy bosimlar farqini optimal taqsimlashni tanlash muhimdir. Ushbu masalalarning yechimi quyidagilardan kelib chiqadi:

- siqilgan gaz har bir pog'onadan keyin boshlang'ich harorat T_1 gacha sovitiladi, bunda kompressorning har bir pog'onasiga kirayotgan gazning harorati bir xil, ya'ni T_1 ga teng bo'ladi;

- gazni siqishda barcha pog'onalarda gazning harorati T_2 gacha yetkaziladi.

Ushbu shartni hisobga olsak, u holda uch pog'onali kompressor uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$T_1 = T_3 = T_5, T_2 = T_4 = T_6$$

$$p_2 = p_3; p_4 = p_5; p_6 = p_7$$

Agar siqishda politropik jarayonning ko'rsatkichi barcha pog'onalarda bir xil bo'lsa, u holda:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_4}{T_3} = \frac{T_6}{T_5} \quad (6.21)$$

Kompressorning har bir pog'onasida bosimlar nisbati ham bir xil bo'ladi, u holda:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3} = \frac{p_6}{p_5} = \pi_1 \quad (6.22)$$

bu yerda π_1 – kompressorning bitta pog'onasida bosimning ortish darajasi.

Shunday qilib, qabul qilingan shartlarda gazning bosimi ko'p pog'onali kompressorlarning barcha silindrlarida bir va ko'p marta ortadi.

(6.15) formula bo'yicha birinchi pog'onada gazni siqishga sarflangan ishni hisoblash mumkin:

$$L_{p_1} = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (6.23)$$

Ideal gazning holat tenglamasi $PV=mRT$ bo'yicha o'rin almashtirishlarni amalga oshirsak quyidagiga ega bo'lamiz:

$$L_{p_1} = \frac{n}{n-1} mRT_1 \left[\pi_1^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (6.24)$$

$T_1=const$ bo'lganda (6.22) ni hisobga olganda shu formula bo'yicha ikkinchi va uchinchi pog'ona uchun ishni aniqlash mumkin. Siqilgan gazni boshlang'ich haroratgacha sovitish shartida (6.24) formula bo'yicha hisoblash bir xil qiymat beradi.

Agar Z_k pog'ona uchun ishni aniqlash zarur bo'lsa, u holda formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$L_k = Z_p L_{p_1} \quad (6.25)$$

bu yerda L_{p_1} - kompressorning birinchi pog'onasida gazni siqishga sarflangan ish; Z_k – kompressorda siqish pog'onasining soni.

Agar kompressorda bosimning umumiy ortishi tushunchasi kiritilsa, u holda

$$\pi_k = \frac{P_{ox}}{P_{bosh}}$$

(6.22) ni hisobga olganda uch pog'onali kompressor uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$\pi_k = \frac{P_6}{P_1} = \left(\frac{P_6}{P_5} \right) \left(\frac{P_4}{P_3} \right) \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = \pi_1^3 \quad (6.26)$$

Bunda bitta pog'onada bosimni ortishi quyidagicha:

$$\pi_1 = \sqrt[3]{\pi_k} \quad (6.27)$$

Olingan formulani Z_p pog'onalar soni bo'yicha umumlashtiramiz va quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\pi_1 = \sqrt[Z_k]{\pi_k} = \sqrt[Z_k]{P_{ox} / P_{bosh}} \quad (6.28)$$

Demak, kompressorning har bir pog'onasida bosimni ortish darajasi Z_k -ni ildiz ostidagi boshlang'ich va oxirgi bosimlar nisbatiga tengdir.

Shuni ham ta'kidlash kerakki, kompressor pog'onalari silindrlarining diametri siqilayotgan havoning bosimi ortishi bilan kamayib boradi. Silindrlarning ishchi hajmlari nisbatini bitta izotermada joylashgan 1, 3, 5, 7 nuqtalar orqali aniqlash qiyin emas (6.5, b-rasm). Shu bilan birgalikda:

$$p_1V_1 = p_3V_3 = p_5V_5 = p_7V_7$$

Bundan:

$$V_3 = \frac{V_1 p_1}{p_3} = \frac{V_1}{\pi_1}; \quad V_5 = \frac{V_3 p_3}{p_5} = \frac{V_3}{\pi_1} = \frac{V_1}{\pi_1^2}$$

Demak, ko'p pog'onali kompressorlarning silindrlarini hajmi geometrik regrissiyaning ikkinchi qonuni bo'yicha kamayar ekan, ya'ni $\frac{1}{\pi_1}$.

6.10. Kompressor qurilmasining quvvati va FIK.

Kompressor qurilmasining quvvati – kompressor dvigatel yuritmasining iste'mol qilgan quvvati bo'lib, yordamchi mexanizmlar va qo'shimcha qurilmalarni kompressor vali orqali yurgizishga sarflangan quvvatni ham o'z ichiga oladi.

Kompressorning ichki quvvati N (Vt), gazlarni siqish uchun kompressorda sarflangan quvvatdir. U kompressordan chiqayotgan gazning massaviy sarfini termodinamik FIK hisobga olingandagi kompressorning bajargan ishiga ko'paytmasidan aniqlanadi:

$$N = \frac{ml}{\eta} \quad (6.29)$$

Kompressor orqali tarmoqqa uzatilgan gazning massaviy sarfi: $m = \rho_l V$, bu yerda ρ_l – so'rish sharoitida gazning zichligi; V – kompressordan chiqayotgan gazning hajmiy sarfi.

Kompressor validagi quvvatni hisoblashda quyidagilarni hisobga olish kerak: mexanik FIK η_{mex} bo'lgan kompressorda mexanik ishqalanishni yengishga sarflangan quvvat; kompressordan gazni chiqishi natijasida yo'qotilgan quvvat, u unumdorlik koeffisienti γ_v bilan hisobga olinadi. Odatda $\gamma_v = (0,92 \div 0,98)$ γ_{siq} . Demak:

$$N_v = \frac{ml}{\eta\gamma_v\mu_{mex}} \quad (6.30)$$

Porshenli kompressorlar uchun $\eta_{mex}=0,85\div 0,95$; markazdan qochma kompressorlar uchun $\eta_{mex}=0,97\div 0,98$.

Kompressorning yurituvchi dvigateli validagi quvvati yurituvchi dvigateldan kompressorga harakatni uzatish qurilmasida quvvatni yo'qotilishi hisobiga ortadi:

$$N_{dv} = \frac{\varphi N_v}{\eta_v \eta_{uzat}} \quad (6.31)$$

bu yerda η_{dv} va η_{uzat} – yuritma va uzatish qurilmalarining FIK; φ - zahira koeffisienti, odatda 1,10...1,15 qabul qilinadi.

Barcha foydali ish koeffitsientlarining ko'paytmasi kompressorning FIK deb ataladi:

$$\eta\gamma_v\eta_{mex}\eta_{dv}\eta_{uzat} = \eta_{kom} \quad (6.32)$$

U holda:

$$N_{dv} = \frac{\varphi\rho_1 V l}{\eta_{kom}} \quad (6.33)$$

Kompressorda gazni siqishning ideal jarayonini real jarayondan farqi ichki nisbiy termodinamik FIK orqali xarakterlanadi, ya'ni ideal jarayondagi kompressor ishining 1, haqiqiy jarayondagi kompressor ishiga l_{haq} nisbatidan aniqlanadi:

$$\eta = \frac{l}{l_{haq}} \quad (6.34)$$

Termodinamik FIK quyidagilarni o'z ichiga oladi: so'rish va bosim bilan haydashda qarshilikka yo'qotilishlar, klapanlar mavjud bo'lganda ularning qarshiligini yengishga yo'qotilishlar; haqiqiy siqish jarayoni nazariy siqish jarayoni bilan taqqoslanganda gaz zarrachalarining o'zaro ishqalanishi hisobiga haqiqiy siqish jarayonini yomonlashishi bilan bog'liq yo'qotilishlar va hokazo. Adiabatik siqishli kompressorlarda $\eta_{ad}=0,7\div 0,9$. Izotermik siqishli (yaxshi sovitiladigan) kompressorlarda $\eta_i=0,6\div 0,8$. Termodinamik FIK kompressorda amalga oshmaydigan ideal jarayon bilan haqiqiy jarayonni taqqoslaydi.

Kompressorning eksergetik FIK kompressorda ish sarflanuvchi haqiqiy jarayonda gazni siqishga (eksergiya sarflari Δe) eng kichik sarflangan ishni taqqoslaydi:

$$\eta_e = \frac{\Delta e}{l_{dv}} \quad (6.35)$$

Agar gazni sovitishda olib ketilayotgan q_{tash} issiqlikdan foydalanilsa, u holda ushbu issiqlikning e_q eksergiyasi hisobiga eksergetik FIK ortadi:

$$\eta_e = \frac{\Delta e + e_q}{l_{dv}} \quad (6.36)$$

Nazorat savollari.

1. Kompessorlar bosimi bo'yicha qanday turlarga bo'linadi?
2. Kompessorlar hajmiy unumdorligi bo'yicha qanday turlarga bo'linadi?
3. Porshenli kompressorlarning ishlash prinsipini tushuntiring?
4. Kompessor ishini xarakterlovchi asosiy kattaliklarni ayting?
5. Ikki harakatli porshenli kompressor qurilmalarining ishlash prinsipini tushuntiring?
6. Ko'p pog'onali kompressorlarning ishlash prinsipini tushuntiring?
7. Kompessorlarda bosimlar nisbatini aniqlash formulasini ayting?
8. Rotorli kompressorlarning ishlash prinsipini tushuntiring?
9. O'qiy kompressorlarning ishlash prinsipini tushuntiring?
10. Turbokompressorlarning ishlash prinsipini tushuntiring?
11. Kompresor qurilmasining indikator diagrammasini tushuntiring?
12. So'rilgan gazning hajmi qanday aniqlanadi?
13. Kompessorning indikator ishi qanday aniqlanadi?
14. Bir pog'onali kompressorning ishini tushuntiring?
15. Ideal kompressorning nazariy jarayonlarini P-V va T-S diagrammalarini tushuntiring?
16. Siqish jarayonlarida bajarilgan ishlar qanday aniqlanadi?
17. Ko'p pog'onali kompressorning ishini tushuntiring?
18. Kompressorda bosimning umumiy ortishini tushuntiring?
19. Kompessor qurilmasini quvvat qanday aniqlanadi?
20. Kompessor qurilmasining FIK qanday aniqlanadi?

VII-BOB. GAZ TURBINA QURILMALARINING SIKLLARI.

7.1. Gaz turbina qurilmalari to'g'risida umumiy ma'lumot.

Porshenli ichki yonuv dvigatellarining asosiy kamchiliklaridan biri dvigatelni vaqt davomida bir tekis ishlamasligidir. Sikl davomida silindrdagi harorat va bosim birdaniga o'zgaradi. Porshenning ilgari lanma-qaytma harakatini aylanma harakatga o'zgartirish uchun maxsus mexanizmlar, masalan tirsakli val mexanizmini qo'llash zarur. Bundan tashqari porshenli ichki yonuv dvigatellarida, dvigatelning silindrida yonish mahsulotlarini atmosfera bosimi qiymatiga to'liq adiabatik kengayishini hosil qilish mumkin emas, shuning uchun siklning ishi nazariy mumkin bo'lgan ishdan kam bo'ladi.

Gaz turbinali ichki yonuv dvigatellari bunday kamchiliklardan holi bo'lib, uning asosiy elementi gaz turbina qurilmasi hisoblanadi. Gaz turbina qurilmasining sikli porshenli ichki yonuv dvigatellaridagi jarayonlardan tashkil topgan bo'lib, ularning farqi quyidagicha: agar porshenli dvigatellarda bu jarayonlar biridan boshqasiga ketma-ket sodir bo'lsa, gaz turbinali qurilmalarda bu jarayonlar konstruksiyaning turli xil elementlarida sodir bo'ladi, ularda porshenli dvigatellardagidek dvigatellarning ishlash sharoitini notekisligi yo'q. Gaz turbina qurilmalarida ishchi jismning o'rtacha tezligi porshenli dvigatellarnikiga qaraganda 50-100 marta yuqori. Bular kichik o'lchamdagi gaz turbina qurilmalarida ham yuqori quvvat olishni ta'minlaydi. Bundan tashqari, gaz turbina qurilmalarida ishchi jismning adiabatik kengayishi tashqi muhit bosimigacha teng bosimda sodir bo'ladi, ya'ni bu kengayish to'liq kengayish sikllari deb nomlanadi.

Bu muhim afzalliklar gaz turbina qurilmalarini tez rivojlanishiga olib keldi. Yuqori tejamkor energetik ob'ektlarda gaz turbina qurilmalarining qo'llanilishini chegaralanganligi asosan turbinani tayyorlash uchun olovbardosh zamonaviy konstruksion materiallarning yetishmasligi bilan bog'liq edi.

Yangi olovbardosh materiallarni yaratilishi gaz turbina qurilmalarini juda yuqori haroratlarda ham qo'llash imkonini berdi. Hozirgi vaqtda gaz turbina qurilmalari o'zining soddaligi, ularda qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi qismlarning yo'qligi, yuqori quvvatni olish va juda arzon yoqilg'ini qo'llash

imkoniyati kabi afzalliklarga egaligi sababli aviatsiyada, kemasozlikda, temir yo'l transportida, energetikada va gazni haydash stansiyalarida keng qo'llanilmoqda.

Gaz turbina qurilmalarining sikllari ikkita asosiy guruhga ajratiladi: $p=const$ da yondiriluvchi va $v=const$ da yondiriluvchi. O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi gaz turbina qurilmasining sikli Brayton sikli deb nomlanadi, o'zgarmas hajmda issiqlik uzatiluvchi gaz turbina qurilmasining sikli Gemfri sikli deb ataladi.

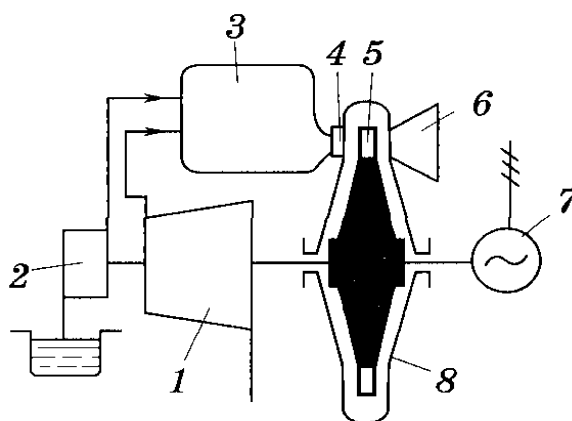
Shunday qilib, gaz turbina qurilmalari porshenli ichki yonuv dvigatellari kabi yoqilg'ini yondirish usuli bo'yicha tasniflanadi.

7.2. O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi GTQ larining sikli (Brayton sikli).

$p=const$ da yondiriluvchi gaz turbina qurilmasining prinsipial sxemasi 7.1-rasmda ko'rsatilgan. Kompessor 1, turbina 8, yoqilg'i nasosi 2 va energiya iste'mochisi 7 (7.1-rasmda u elektr generator sifatida tasvirlangan, ammo uning o'rnida har qanday energiya iste'molchisi bo'lishi mumkin) lar umumiy valga ega. Kompessor 1 atmosfera havosini zarur bosimgacha siqadi va uni yonish kamerasi 3 ga uzatadi. Yoqilg'i yonish kamerasiga yoqilg'i nasosi 2 orqali uzatiladi. Gazsimon yoqilg'idan foydalanilgan sharoitda nasosning o'rniga gazli kompressor qo'llaniladi. Yoqilg'ini yonish kamerasida yonishi $p=const$ da sodir bo'ladi. Yonish mahsulotlari soploli moslama 4 va gaz turbinasining kurakchalari 5 da kengayadi, u yerda ish bajaradi va chiqarish klapani 6 orqali atmosferaga chiqarib yuboriladi.

Ushbu gaz turbinasining ideal termodinamik sikli quyidagi jarayonlardan tashkil topgan:

- $a-c$ – kompressorda havoni adiabatik siqilishi;
- $c-z$ – yonish kamerasiga o'zgarmas bosimdagi issiqlikni uzatilishi;
- $z-b$ – yonish mahsulotlarini turbinada va chiqarish klapanida tashqi muhit bosimigacha adiabatik kengayishi;
- $b-a$ – izobarik jarayonda ishchi jismdan tashqi muhitga issiqlikni berilishi.

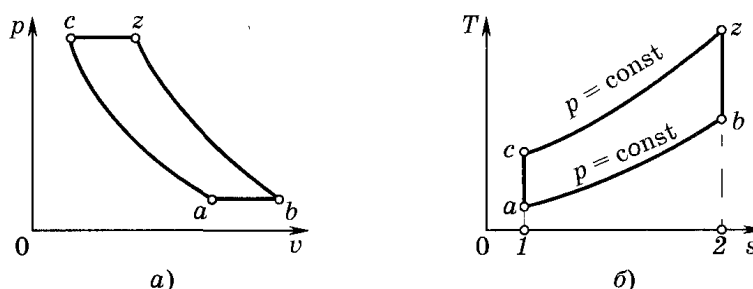


7.1-rasm. O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi gaz turbina qurilmasining prinsipial sxemasi. 1-kompressor; 2-yoqilg'i nasosi; 3-yonish kamerasi; 4-soplo; 5-turbina kurakchalari; 6-chiqarish trubkasi; 7-elektr generator; 8- gaz turbinasi.

Ushbu jarayonlarni amalga oshirilishi natijasida foydali ish bajarishi shartli-yopiq to'g'ri sikl amalga oshadi, bu bajarilgan ish P-V va T-S diagrammalarda aczba maydon bilan tasvirlanadi (7.2-rasm).

Ushbu siklning asosiy xarakteristikalar quyidagilar:

- $\lambda = p_c / p_a$ - bosimni ortish darajasi. Bosimni ortish darajasi – siqish jarayonining boshidagi va oxiridagi bosimlar nisbati;
- $\rho = v_z / v_c$ - dastlabki kengayish darajasi.



7.2-rasm. O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi gaz turbina qurilmasi siklining diagrammalari.

Uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$q_1 = c_p (T_z - T_c) \quad (7.1)$$

$$q_2 = c_p (T_b - T_a) \quad (7.2)$$

Formulalardagi nisbatlarni hisobga olganda termik FIK quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_b - T_a}{T_z - T_c} \quad (7.3)$$

Har bir keyingi nuqtadagi haroratlar ifodasini ishchi jismning boshlang'ich harorati T_a orqali topamiz.

Adiabatik siqish jarayoni uchun quyidagi munosabat o'rinlidir:

$$\frac{T_c}{T_a} = \left(\frac{p_c}{p_a} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \lambda^{\frac{k-1}{k}} \quad (7.4)$$

Bundan

$$T_c = T_a \lambda^{\frac{k-1}{k}} \quad (7.5)$$

c - z izobarik jarayonda:

$$\frac{T_z}{T_c} = \frac{v_z}{v_c} = \rho \quad (7.6)$$

Bundan

$$T_z = T_c \rho = T_a \rho \lambda^{\frac{k-1}{k}} \quad (7.7)$$

z - b adiabatik jarayonda

$$\frac{T_b}{T_z} = \left(\frac{p_b}{p_z} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{p_a}{p_c} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{1}{\lambda^{\frac{k-1}{k}}} \quad (7.8)$$

U holda

$$T_b = T_z \frac{1}{\lambda^{\frac{k-1}{k}}} = T_a \rho \quad (7.9)$$

(7.7)-(7.9) formulardagi haroratning topilgan qiymatlarini (7.6) formulaga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_a \rho - T_a}{T_a \rho \lambda^{\frac{k-1}{k}} - T_a \lambda^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{\rho - 1}{(\rho - 1) \lambda^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{\lambda^{\frac{k-1}{k}}} \quad (7.10)$$

Formuladan shunday xulosa qilish mumkinki, $p = const$ da issiqlik uzatiluvchi gaz turbina qurilmalarining FIK bosimni ortish darajasi va adiabatik jarayon ko'rsatkichi yordamida aniqlanadi. k ko'rsatkich va λ qiymat qancha yuqori bo'lsa, η_t ning qiymati shuncha yuqori bo'ladi.

7.1-jadvalda $k=1,35$ va λ har xil bo'lganda gaz turbina qurilmasi siklining η_t qiymatlari keltirilgan. Jadvaldan ko'rinib turibdiki, λ ning ortishi bilan η_t ortish jadalligi asta-sekin kamayadi.

7.1-jadval

λ	2	4	6	8	10	12	14	16
η_t	0,162	0,292	0,371	0,416	0,448	0,482	0,500	0,512

7.2, *b*-rasmdan ko'rish mumkinki, T-S diagrammada uzatilgan q_1 issiqlik $1cz2$ maydon bilan, ishchi jism olib ketgan issiqlik $1ab2$ maydon bilan, siklning ishi esa $aczb$ maydon bilan belgilangan.

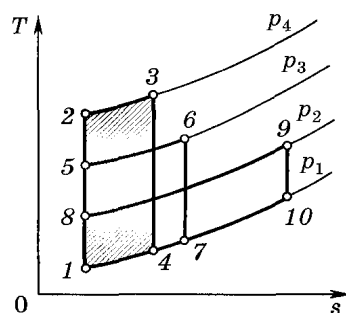
Demak, $p=const$ da issiqlik uzatiluvchi siklning termik FIK ni maydonlar nisbatidan aniqlash mumkin:

$$\eta_t = \frac{l_s}{q_1} = \frac{aczb \text{ maydon}}{1cz2 \text{ maydon}} \quad (7.11)$$

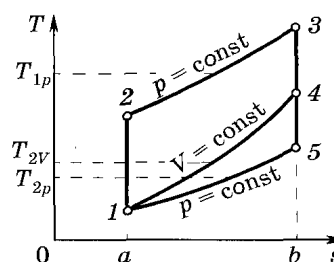
Sikllar ishi bir xil bo'lgan sharoitda bosimni ortish darajasi ortganda (7.3-rasm) olib ketilayotgan issiqlik miqdori kamayadi, bu FIK ni ortishiga olib keladi. Ammo λ ni ortishi bilan gazning turbina kurakchalariga kirishdagi harorati ham ortadi.

Yuqoridagilarni e'tiborga olgan holda zamonaviy gaz turbina qurilmalarida λ shunday tanlanadiki, gazning turbina kurakchalariga kirishdagi maksimal harorati 900-1200°C dan oshmaydi.

7.4-rasmda $p=const$ da issiqlik uzatilishida ishlaydigan porshenli ichki yonuv dvigatelining sikli 1-2-3-4 va gaz turbina qurilmasining sikli 1-2-3-5 ko'rsatilgan.



7.3-rasm. Sikllar ishi bir xil bo'lgan sharoitda bosimni ortish darajasi.



7.4-rasm. $p=const$ da issiqlik uzatilishida ishlaydigan porshenli ichki yonuv dvigateli va gaz turbina qurilmasining sikllari.

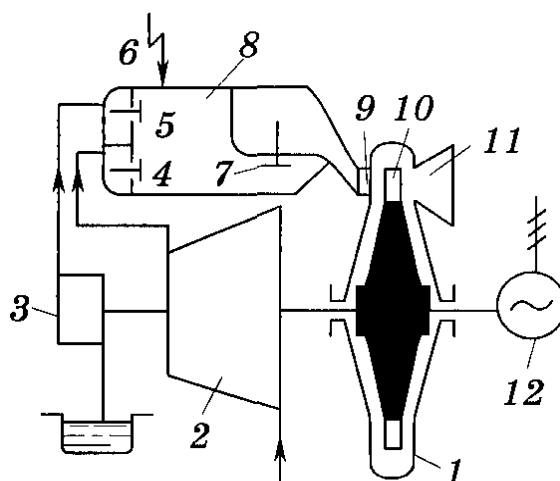
Rasmdan ko'rinib turibdiki, issiqlikni uzatishdagi sarflar bir xil bo'lganda gaz turbina qurilmasining ishi yuqori. Buni quyidagicha izohlash mumkin, gaz turbina qurilmasining sikli porshenli dvigatel bilan solishtirilganda, gaz turbina qurilmasining siklida gazlarni juda to'liq kengayish joyining mavjudligi. Natijada gaz turbina qurilmasida yonish mahsulotlaridan atrof-muhitga kam issiqlik miqdori uzatiladi.

Bundan tashqari shuni ham ta'kidlash joizki, ya'ni atrof-muhitga tashab yuborilayotgan yonish mahsulotlari kompressordan keyin yonish kamerasiga kiritilayotgan siqilgan havoga nisbatan juda yuqori haroratga ega bo'ladi. Chiqib ketayotgan gazlarning issiqligidan yonish kamerasiga uzatilayotgan havoni dastlabki qizdirishda foydalanish mumkin. Bunday jarayon regenerasiya deb ataladi. Issiqlikni regenerasiyalashni qo'llashni hisobiga gaz turbina qurilmasining termik FIK sezilarli darajada ortadi.

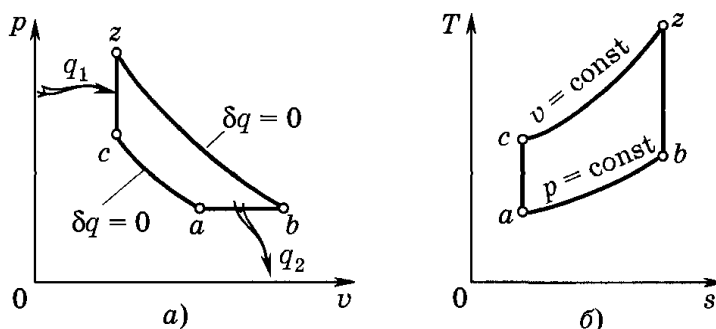
7.3. O'zgarmas hajmda issiqlik keltiriladigan GTQ larining sikli (Gemfri sikli).

Yoqilg'i o'zgarmas hajmda yondiriladigan gaz turbina qurilmasining prinsipial sxemasi 7.5-rasmda ko'rsatilgan. Gaz turbinasi 1, kompressor 2 va elektro generator 12 umumiy valga ega.

Kompressor 2 siqilgan havoni resiver va boshqarish klapani 4 orqali yonish kamerasi 8 ga uzatadi. Yoqilg'i yonish kamerasiga forsunka (klapan) 5 orqali nasos 3 yordamida uzatiladi. Elektrik uchqunlatgich 6 yoqilg'ini yondirish uchun ishlatiladi. Yonish jarayonini $v=const$ da amalga oshirish uchun yonish kamerasida uchta klapan o'rnatiladi: yoqilg'i 5, havo 4 va soplo 7 klapanlari. Yoqilg'i yongandan barcha klapanlar yopiq bo'ladi, ya'ni yonish o'zgarmas hajmda amalga oshadi. Yoqilg'i yongandan keyin bosim ortadi, klapan 7 ochiladi va yonish mahsulotlari soploli kanal 9 ga va turbina kurakchalari 10 ga uzatiladi, u yerda oxirgi bosimgacha kengayadi va chiqarish patrubkasi 11 orqali atrof-muhitga tashlab yuboriladi.



7.5-rasm. O'zgaras hajmda issiqlik uzatiladigan gaz turbina qurilmasining prinsipial sxemasi. 1-gaz turbinasi; 2-kompressor; 3-nasos; 4-boshqarish klapani; 5-forsunka; 6-elektrik uchqunlatgich; 7-soploli klapan; 8-yonish kamerasi; 9-soploli kanal; 10-turbina kurakchalari; 11-chiqarish patrubkasi; 12-elektro generator.



7.6-rasm. O'zgaras hajmda issiqlik uzatiluvchi gaz turbina qurilmasining sikli.

O'zgaras hajmda issiqlik uzatiluvchi gaz turbina qurilmasining sikli odatda davriy yonishli gaz turbina qurilmasining sikli yoki Gemfri sikli deb ataladi, bu sikl 7.6-rasmda tasvirlangan va u quyidagi jarayonlardan tashkil topgan:

- $a-c$ – kompressorda havoni adiabatik siqilishi;
- $c-z$ – o'zgaras hajmda issiqlikni uzatilishi;
- $z-b$ – yonish mahsulotlarini turbinada atrof-muhit bosimigacha kengayishi;
- $b-a$ – issiqlikni o'zgaras bosimda atrof-muhitga olib ketilishi.

Ushbu sikl uchun quyidagi xarakteristikalar asosiy hisoblanadi:

- bosimni ortish darajasi $\lambda = p_c / p_a$;
- issiqlik uzatilgan jarayonda bosimni ortish darajasi $\rho = p_z / p_c$.

Siklning termik FIK an'anaviy formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (7.12)$$

c - z jarayonda uzatilgan issiqlik miqdori quyidagicha formula bo'yicha aniqlanadi:

$$q_1 = c_v(T_z - T_c) \quad (7.12)$$

b - a jarayonda olib ketirilgan issiqlik miqdori quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$q_2 = c_v(T_b - T_a) \quad (7.14)$$

(7.12) va (7.14) ifodalarni FIK ifodasiga quyib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_p(T_b - T_a)}{c_v(T_z - T_c)} = 1 - k \frac{T_b - T_a}{T_z - T_c} \quad (7.15)$$

Har bir keyingi haroratlarni boshlang'ich haroratni T_a orqali ifodalaymiz.

Adiabatik jarayon uchun:

$$\frac{T_c}{T_a} = \left(\frac{p_c}{p_a} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \lambda^{\frac{k-1}{k}}; \quad T_c = T_a \lambda^{\frac{k-1}{k}} \quad (7.16)$$

c - z izoxorik jarayon uchun:

$$\frac{T_z}{T_c} = \frac{p_z}{p_c} = \lambda; \quad T_z = T_c \lambda = T_a \lambda \rho^{\frac{k-1}{k}} \quad (7.17)$$

$p_b = p_a$ ekanligini hisobga olganda z - b adiabatik jarayon uchun:

$$\frac{T_z}{T_b} = \left(\frac{p_a}{p_b} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{p_a p_c}{p_c p_b} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \lambda^{\frac{k-1}{k}} \rho^{\frac{k-1}{k}} \quad (7.18)$$

Bundan

$$T_b = \frac{T_z}{\lambda^{\frac{k-1}{k}} \rho^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{T_a \lambda \rho^{\frac{k-1}{k}}}{\lambda^{\frac{k-1}{k}} \rho^{\frac{k-1}{k}}} = T_a \lambda^{\frac{1}{k}} \quad (7.19)$$

T_c , T_z va T_b haroratlarning olingan qiymatlarini FIK ni aniqlash formulasiga qo'yamiz va quyidigiga ega bo'lamiz:

$$\eta_t = 1 - k \frac{\lambda^{\frac{1}{k}} - 1}{(\lambda - 1) \rho^{\frac{k-1}{k}}} \quad (7.20)$$

Yoqilg'i o'zgaras bosimda yondiriladigan gaz turbina qurilmasining termik FIK bosimni ortish darajasiga, adiabatik jarayon ko'rsatkichiga va issiqlikni uzatish jarayonida bosimni ortish darajasiga bog'liq.

7.2-jadvalda $k=1,35$ bo'lganda $v=const$ da issiqlik uzatiladigan gaz turbina qurilmasi siklining η_t qiymatlari va λ, ρ larning turli qiymatlari keltirilgan.

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, siklning termik FIK bosimni ortish darajasini ortishi bilan va issiqlik uzatilganda bosimni ortish darajasini ortishi bilan ortadi.

7.2-jadval

$\lambda \backslash \rho$	2	3	4	5	6	7
2	0,246	0,292	0,334	0,352	0,373	0,389
3	0,321	0,362	0,401	0,416	0,434	0,451
4	0,372	0,410	0,446	0,460	0,477	0,492
5	0,409	0,441	0,478	0,477	0,508	0,522

Ko'rib chiqilgan qurilmani yonish kamerasining konstruksiyasini qiyinligi, gaz oqimini pulsasiyalanishida turbinaning ish sharoitini zo'riqishi natijasida bu qurilmalar keng tarqalmagan.

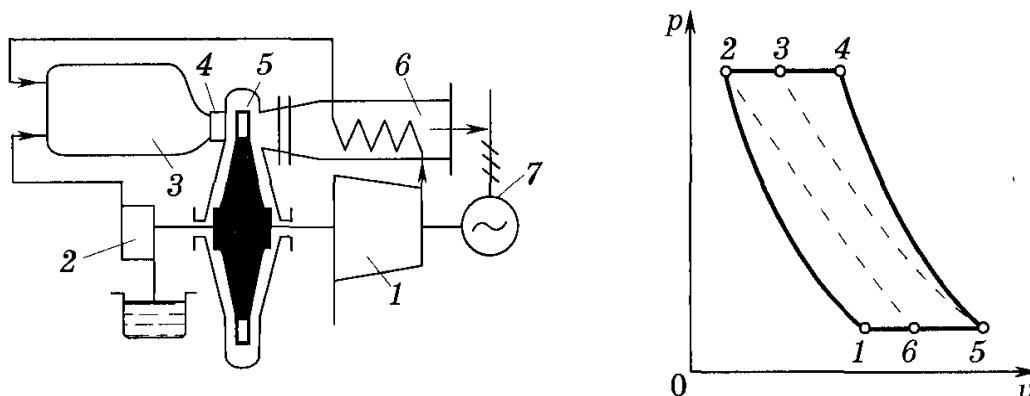
7.4. GTQ larning termik FIK ini oshirish yo'llari.

Issiqlikni regenerasiyalash turbinada ishlatib bo'lingan gazlarni issiqligidan yonish kamerasiga uzatilayotgan havoni qizdirish uchun foydalaniladi. Issiqlik regenerasiyalanuvchi gaz turbina qurilmasining issiqlik regenerasiya qilinmaydigan gaz turbina qurilmasidan farqi shundaki, kompressor 1 dan chiqqan siqilgan havo havoli regenerator-issiqlik almashinuvi qurilmasi 6 ga uzatiladi, u yerda havo turbinada ishlatib bo'lingan yonish mahsulotlarining issiqligi hisobiga qiziydi (7.7-rasm). Regenerator-issiqlik almashinuvi qurilmasidan chiqqan havo yonish kamerasi 3 ga uzatiladi.

Yoqilg'i $p=const$ da yondiriladigan va issiqlik regenerasiyalanadigan gaz turbina qurilmasining termodinamik sikli quyidagi jarayonlardan tashkil topadi:

- 1-2 – kompressorda havoni siqish jarayoni;

- 2-3 – regeneratorda havoni o'zgarmas bosimda qizdirilishi;



7.7-rasm. $p=\text{const}$ da issiqlik uzatiladigan va issiqlik regenerasiyalanadigan gaz turbina qurilmasining prinsipial sxemasi (a) va siklning P-V diagrammasi (b).

1-kompressor; 2-yoqilg'i nasosi; 3-yonish kamerasi; 4-soplo moslamasi; 5-gaz turbinasi; 6-regenerator; 7-elektro generator.

- 3-4 – yonish kamerasida yoqilg'ini yonishi hisobiga issiqlikni o'zgarmas bosimda uzatilishi;

- 4-5 – turbinada gazlarni adiabatik kengayishi;

- 5-6 – regeneratorda ishchi jismini o'zgarmas bosimda sovitilishi;

- 6-1 – ishchi jismdan tashqi havoga issiqlikni o'zgarmas bosimda berilishi.

Issiqlik to'liq regenerasiyalanganda regenerator-issiqlik almashinuvi qurilmasida yonish mahsulotlari havo haroratigacha sovitiladi, ya'ni $T_3=T_5$ dan $T_6=T_2$ gacha. 7.7, b-rasmda izotermalar uziq-uziq chiziqlar bilan ko'rsatilgan. Bunda regeneratorda havo qabul qilgan issiqlik miqdori yonish mahsulotlaridan havoga uzatilgan issiqlik miqdoriga teng:

$$q_p = c_p(T_3 - T_2) = c_p(T_5 - T_6) \quad (7.21)$$

$c_p = \text{const}$ bo'lganda quyidagiga egamiz:

$$T_3 - T_2 = T_5 - T_6$$

Issiqlik to'liq regenerasiyalanganda siklning termik FIK quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

Issiqlik to'liq regenerasiyalanadigan siklga uzatilgan issiqlik miqdori:

$$q_1 = c_p(T_4 - T_3) = c_p(T_4 - T_5) \quad (7.22)$$

Olib ketilgan issiqlik miqdori esa:

$$q_2 = c_p(T_6 - T_1) = c_p(T_2 - T_1) \quad (7.23)$$

U holda

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_4 - T_5} \quad (7.24)$$

(7.5)-(7.9) tenglamalarga muvofiq:

$$T_4 = T_1 \rho \lambda^{\frac{k-1}{k}}; \quad T_5 = T_1 \rho; \quad T_2 = T_1 \lambda^{\frac{k-1}{k}};$$

Mos keluvchi haroratlarni (7.24) ifodaga qo'yamiz, natijada $p = const$ da issiqlik uzatiluvchi va issiqlik to'liq regenerasiyalanuvchi gaz turbina qurilmasining FIK ni aniqlash uchun oxirgi formulaga ega bo'lamiz:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_5} \quad (7.25)$$

(7.25) ifodadan ko'rinib turibdiki, ko'rilyotgan hol uchun termik FIK gazning adiabatik kengayishning oxiridagi harorati T_5 va gazning boshlang'ich harorati T_1 ga bog'liq. T_5 qancha yuqori va T_1 qancha kichik bo'lsa, η_t shuncha yuqori bo'ladi.

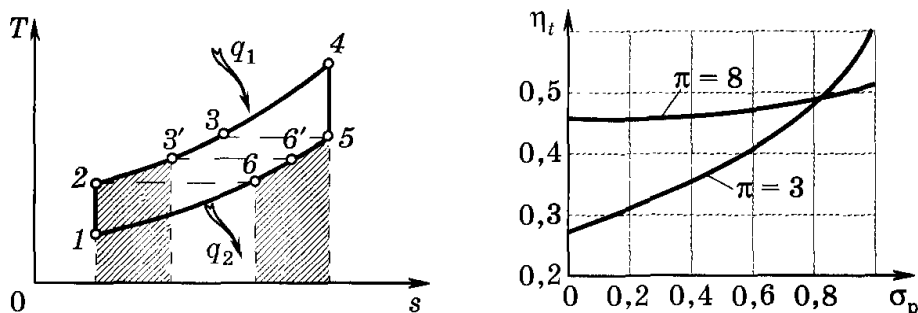
Ma'lumki, issiqlikni to'liq regenerasiyalashni amalda imkoni yo'q, buning sababi regeneratoring o'lchamlarini chegaralanganligi va qiziyotgan va soviyotgan gaz oqimlari orasida haroratlar farqining mavjudligidir. Odatda regeneratorda qiziyotgan havo T_3 haroratdan biroz kichkina T_3' haroratga ega bo'ladi va sovitilayotgan gazlar esa T_6 haroratdan biroz kichik T_6' haroratga ega bo'ladi, bu jarayonning T-S diagrammadagi ko'rinishi 12.8-rasmda ko'rsatilgan.

Issiqlikni regenerasiyalashni to'liqligi regenerasiyalash darajasi bilan aniqlanadi:

$$\sigma_r = \frac{T_3' - T_2}{T_3 - T_2} \quad (7.26)$$

Regenerasiyalash darajasining qiymati issiqlik almashinuvi qurilmasining konstruksiyasiga yoki issiqlik almashinuvi qurilmasining ishchi yuzalarining (regeneratoring) o'lchamiga bog'liq. σ_r qancha katta bo'lsa va ishlatib bo'lingan

gazlarning issiqligidan qanchalik ko'p foydalanilsa siklda regenerasiyalash shunchalik to'liq amalga oshiriladi. $\sigma_r = 0$ bo'lganda regenerasiya amalga oshirilmaydi, regenerasiya to'liq amalga oshirilganda, $T_{3'} = T_3$ bo'lganda $\sigma_r = 1$ bo'ladi. Amaliyotda σ_r koeffitsienti 0,5 dan 0,7 gacha o'zgaradi.



7.8-rasm. Regenerasiya amalga oshirilgan siklning T-S diagrammasi (a) va regenerasiyalash darajasini siklning termik FIK ga ta'siri.

To'liqsiz regenerasiyali siklning termik FIK ni aniqlaymiz. To'liqsiz regenerasiyali siklga uzatilgan q_1 issiqlik miqdori quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$q_1 = c_p(T_4 - T_{3'}) = c_p[T_4 - T_2 - (T_{3'} - T_2)] \quad (7.27)$$

Yoki (7.26) ifoda inobatga olinganda:

$$q_1 = c_p[T_4 - T_2 - \sigma_r(T_3 - T_2)] \quad (7.28)$$

Regenerasiyali siklda olib ketilgan issiqlik miqdori q_2 regenerasiya bo'lmagan holga qaraganda kam, ya'ni:

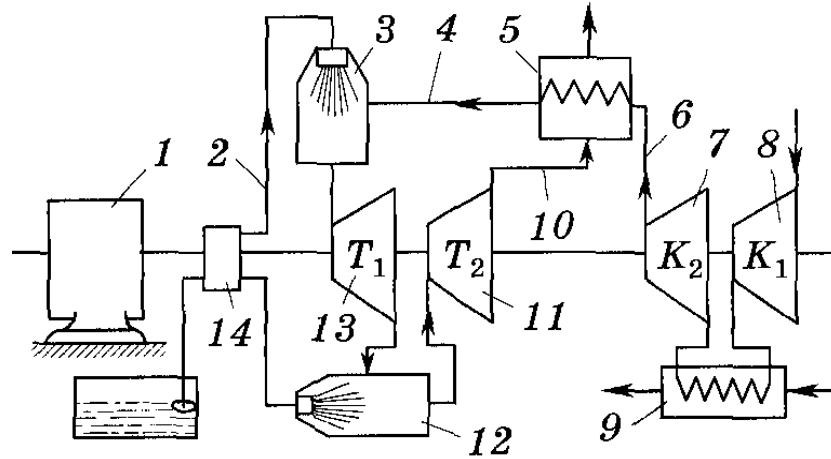
$$q_2 = c_p[T_5 - T_1 - \sigma_r(T_3 - T_2)] \quad (7.29)$$

Har bir keyingi nuqtalardagi haroratlarni boshlang'ich harorat T_1 orqali ifodalaymiz va (7.5)-(7.9) formulalardan foydalanamiz:

$$\eta_t = 1 - \frac{\frac{T_3}{T_2} - \lambda^{\frac{k-1}{k}} - \sigma_r \left(\frac{T_3}{T_2} - \lambda^{\frac{2k-1}{k}} \right)}{\lambda^{\frac{k-1}{k}} \left(\frac{T_3}{T_2} - \lambda^{\frac{k-1}{k}} \right) - \sigma_r \left(\frac{T_3}{T_2} - \lambda^{\frac{2k-1}{k}} \right)} \quad (7.30)$$

7.8, b-rasmda bosimni ortish darajasi turlicha bo'lganda termik FIK ni regenerasiyalash darajasiga bog'liqligi ko'rsatilgan.

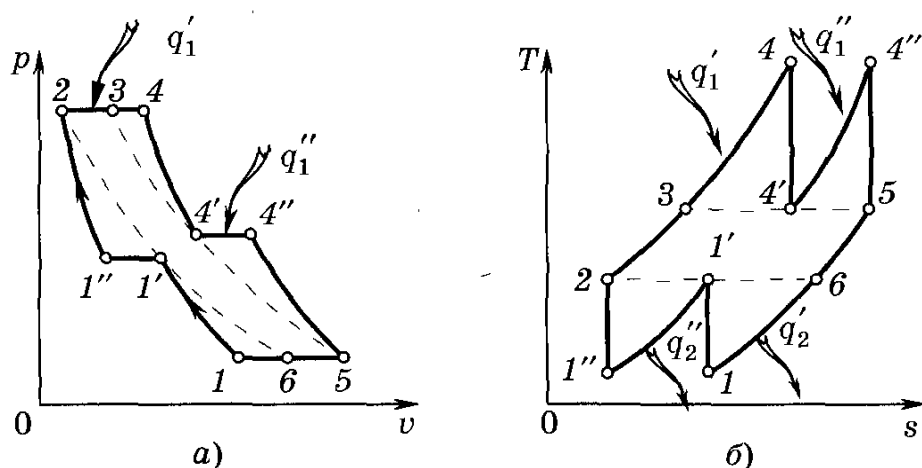
Shuni ta'kidlash joizki, T_2 harorat (adiabatik siqishning oxirida) pasayganda regenerasiyani qo'llash samaradorligi ortadi. Haqiqatan ham T_2 harorat qancha past bo'lsa, regenerasiya jarayoni amalga oshiriladigan 2-3 izobara qismi shuncha katta bo'ladi.



7.9-rasm. Ishchi jism oraliq qizdiriluvchi va issiqlik regenerasiyalanuvchi gaz turbina qurilmasining prinsipial sxemasi. 1-energiya iste'molchisi; 2-uzatish quvuri; 3, 12- yonish kamerasi; 4, 6- havo uzatish quvuri; 5- issiqlik almashinuvi qurilmasi-renerator; 7-kompressorning ikkinchi pog'onasi; 8-kompressorning birinchi pog'onasi; 9-issiqlik almashinuvi qurilmasi-sovitgich; 10-chiqarish uzatish quvuri; 11, 12- gaz turbinasining ikkinchi va birinchi pog'onasi; 14-nasos.

Gaz turbina qurilmalarining FIK ni oshirish yo'llaridan biri ishchi jismni oraliq qizdirish va kompressorda havoni oraliq pog'onalarda sovitib oraliq siqishdir.

Issiqlik regenerasiyalanadigan bunday qurilmaning sxemasi 7.9-rasmda ko'rsatilgan. Sxemadan ko'rinib turibdiki, ishchi jismni bir marta pog'onali qizdirish va bir marta siqilayotgan havoni oraliq sovitish amalga oshiriladi. Bu qurilmaning termodinamik sikli 7.10-rasmda ko'rsatilgan.



7.10-rasm. Ishchi jism oraliq qizdiriluvchi va issiqlik regenerasiyalanuvchi gaz turbinasi siklining P-V va T-S diagrammasi.

Atmosferadan so'rib olinayotgan havo adiabatik ravishda (1-1') kompressor 8 ning birinchi pog'onasida siqiladi. Keyin issiqlik almashinuvi qurilmasi-sovitgich 9 ga yuboriladi, u yerda o'zgarmas bosimda (1'-1'') boshlang'ich haroratgacha soviydi. Siqilgan havo issiqlik almashinuvi qurilmasi 9 dan keyin 1''-2 adiabata bo'yicha kompressorning ikkinchi pog'onasi 7 ga uzatiladi. Shunday qilib siqilgan havo, havo uzatish quvuri 6 orqali issiqlik almashinuvi qurilmasi-regenerator 5 ga kiritiladi. Regeneratorda qizdirilgan havo, havo uzatish quvuri 4 orqali yonish kamerasi 3 ga uzatiladi, u yerga uzatish quvuri 2 bo'yicha nasos 14 yordamida yoqilg'i uzatiladi, yoqilg'ini yonishi hisobiga ajralgan issiqlik qaynoq manbadan 3-4 izobara bo'yicha q_1 issiqlik uzatilishi hisobiga havo qo'shimcha qiziydi. Ishchi jism 4 nuqtadagi parametrlari bo'yicha gaz turbinasi 12 ning birinchi pog'onasiga uzatiladi, u yerda adiabatik kengayish jarayoni 4-4' sodir bo'ladi. Birinchi pog'onada ishlatib bo'lingan ishchi jism qaytadan yonish kamerasi 12 ga uzatiladi va 4-4'' izobara bo'yicha q_1 issiqlikni uzatilishi hisobiga 4 nuqtadagi haroratgacha qiziydi. Shunday qilib, qizdirilgan ishchi jism gaz turbinasi 11 ning ikkinchi pog'onasiga kiritiladi, u yerda 4''-5 adiabata bo'yicha kengayadi. Turbinada ishlatib bo'lingan bug' chiqarish uzatish quvuri 10 bo'yicha issiqlik almashinuvi qurilmasi-regenerator 5 ga kiritiladi, u yerda 5-6 izobara bo'yicha zmeevikdan o'tayotgan havoga o'z issiqligini beradi. Undan keyin ishchi jism atmosferaga chiqarib yuboriladi va 6-1 izobara bo'yicha sovib q_2

miqdordagi issiqlikni beradi. Qurilmada ishlab chiqarilgan energiyadan iste'molchi 1 foydalanadi.

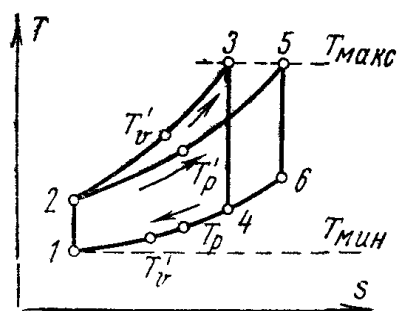
Qizdirish va sovitishning oraliq pog'onalari qancha ko'p bo'lsa, siklning termik FIK shuncha yuqori bo'ladi. Oraliq qizdirish pog'onalarining sonini ortishi qurilmaning konstruksiyasini qiyinlashtiradi va narxini qimmatlashtiradi. Shuning uchun tanlangan gaz turbina qurilmasida oraliq qizdirish pog'onalarining soni iqtisodiy tahlillar asosida tanlanadi, bunda ham termodinamik, ham konstruktiv va iqtisodiy omillar inobatga olinadi. Hozirgi vaqtda uch pog'onali siqishli va regenerasiyali ikki pog'onali yondiriluvchi sxemali qurilmalar keng qo'llaniladi.

7.5. GTQ larining sikllarini taqqoslash.

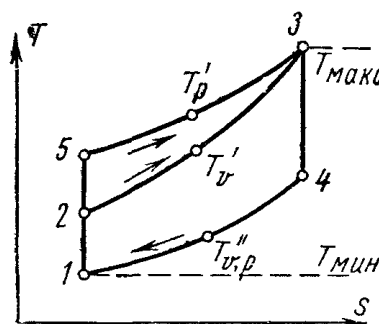
7.11 – rasmda bosimning ortish darajalari va maksimal haroratlari bir xil bo'lgan GTQ larining sikllari keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, $v=const$ da issiqlik uzatiladigan GTQ siklining F.I.K. yuqori.

Haqiqatdan ham 7.11 – rasmdan ko'rinib turibdiki, issiqlik uzatishning o'rtacha integral haroratlari $T'_v > T'_p$ va issiqlikni olib ketishning o'rtacha integral haroratlari $T''_v > T''_p$ bo'ladi, ya'ni:

$$\eta_{t.izoh} > \eta_{t.izob.}$$



7.11-rasm.



7.12-rasm.

7.12 – rasmda bosimning ortish darajalari har xil va maksimal haroratlari bir xil bo'lgan GTQ ning sikllari tasvirlangan. Bu rasmdan ko'rinib turibdiki, $T'_v > T'_p$ va $T''_v = T''_p$, ya'ni o'rtacha integral haroratlari bo'yicha aniqlangan termik F.I.K. $p=const$ da issiqlik uzatiladigan GTQ sikli uchun katta bo'lar ekan:

$$\eta_{t.izob} > \eta_{t.izoh}$$

7.6. Реактив dvigatellarning tasniflanishi.

Реактив dvigatellar shunday dvigatellar hisoblanadiki, ularda yoqilg'ining kimyoviy energiyasi dvigateldan chiqib ketayotgan gaz oqimining kinetik energiyasiga o'zgaradi, bunda hosil qilingan reaksiya kuchidan bevosita uchish moslamalarining haraktlantiruvchi kuchi sifatida foydalaniladi va tortish kuchi deb ataladi. Tortish kuchining yo'nalishi doimo tezlanish yo'nalishiga teskari bo'ladi.

Barcha reaktiv dvigatellarni uchta asosiy sinfga ajratish mumkin:

- havoli-reakтив dvigatellar, ularda oksidlovchi sifatida atmosfera havosining kislorodidan foydalaniladi;
- raketali dvigatellari, ularda yonuvchilar va oksidlovchilar uchish moslamalarining bortida (yon devorida) joylashgan bo'ladi;
- kombinasiyalashgan dvigatellar, ular raketa va havoli-reakтив dvigatellarning kombinatsiyasi hisoblanadi.

Havoli-reakтив dvigatelning ishi atrof-muhitga bog'liq, shuning uchun bunday dvigatelli moslamalar havosiz (planetalararo) bo'shliqda ucha olmaydi.

Raketa dvigatellari har qanday balandlikda uchish va planetalararo bo'shliqda uchish uchun qo'llaniladi. Agar bu dvigatellar yer sharoitida ishga tushirilsa, u holda raketa dvigatelning ishlashining boshlang'ich bosqichida havoli-reakтив dvigatellardan foydalaniladi.

Реактив dvigatellarning tasniflanishi 7.31-rasmda keltirilgan.



7.13-rasm. Реактив dvigatellarning tasniflanishi.

Raketali dvigatellar qo'llanilayotgan yoqilg'ining turi bo'yicha qattiq yoqilg'ili raketali dvigatellar (QYoRD) va suyuq yoqilg'ili raketali dvigatellar (SYoRD), yadroviy raketali dvigatellar (YaRD), gidro reaksiyalanuvchi raketali dvigatellar (SRD) va elektr raketali dvigatellar (ERD).

Havoli-reaktiv dvigatellar quyidagi turlarga bo'linadi: kompressorsiz dvigatellar-to'g'ri oqimli havoli-reaktiv dvigatellar (TOHRD), yuqori tovushli to'g'ri oqimli (YuTTORD), gipertovushli to'g'ri oqimli (GTTORD), pulsasiyalanuvchi havoli-reaktiv dvigatellar (PHRD) va gaz turbinali dvigatellar. Gaz turbinali dvigatellar (GTD) o'z navbatida quyidagi turlarga bo'linadi: turboreaktiv dvigatellar (TRD), forsaj (tezlashtirish) kamerali turboreaktiv dvigatellar (TRDF), ikki konturli turboreaktiv dvigatellar (TRDIK), forsaj kamerali ikki konturli turboreaktiv dvigatellar (TRIKF), turbovintli dvigatellar (TVD) va turbovalli dvigatellar (TValD).

Kombinasiyalashgan dvigatellarga turbo to'g'ri oqimli dvigatellar (TTOD), raketali-to'g'ri oqimli dvigatellar (RTOD), raketali-turbinali dvigatellarni (RTD) kiritish mumkin.

7.7. Suyuqlikli reaktiv dvigatellar.

Reaktiv dvigatellarda yoqilg'ini yonishi natijasida hosil bo'lgan issiqlik gazsimon yonish mahsulotlarining kinetik energiyasiga aylanadi va undan bevosita tortish kuchini hosil qilish uchun foydalaniladi. Shuning uchun reaktiv dvigatellar to'g'ri reaksiyali dvigatellar deb ham yuritiladi.

Yonish jarayonini amalga oshirish usuli bo'yicha reaktiv dvigatellar quyidagi turlarga bo'linadi:

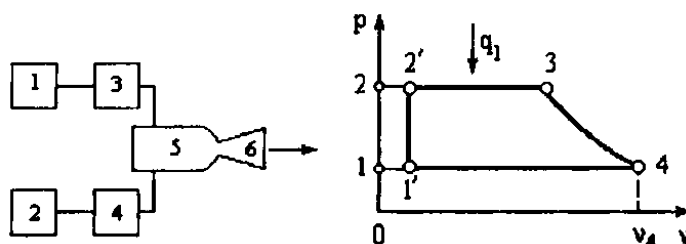
1. Suyuqlikli reaktiv dvigatellar (SRD) – bu dvigatellarda uchish moslamasining bortida zahiralangan suyuq yoqilg'idan foydalaniladi.

2. Havoli-reaktiv dvigatellar (HRD) – bu dvigatellarda yoqish uchun atmosfera havosidan foydalaniladi.

SRD lar uchun yoqilg'i sifatida vodorod va uning uglerod bilan birikmasi va hokazolar qo'llaniladi. Oksidlovchi sifatida suyuq kislorod, vodorod peroksidi, azot kislotasi va hokazolar qo'llaniladi.

SRD larning prinsipial sxemasi va P-V koordinatalardagi diagrammasi 7.13, 7.14-rasmlarda ko'rsatilgan. Prinsipial sxema quyidagilardan iborat: 1, 2-suyuq yoqilg'i va oksidlovchi uchun sig'im; 3, 4 – ta'minot nasoslari; 5 – yonish kamerasi; 6 – soplo.

P-V koordinatalardagi sikl quyidagi jarayonlardan tashkil topgan: 1'-2' – ta'minot nasosida yoqilg'ini izoxorik jarayonda siqilishi; 2'-3' – yonish kamerasiga issiqlikni izobarik uzatilishi; 3-4 – soploli moslamada gazlarni adiabatik kengayishi; 4-1' – gazlarni atmosferada sovish chizig'i.



7.14-rasm. Suyuqlikli reaktiv dvigatellarning prinsipial sxemasi.

7.14-rasm. Suyuqlikli reaktiv dvigatelning P-V koordinatalardagi diagrammasi.

Suyuqlik hajmini yonish mahsulotlarining hajmi bilan taqqoslaganda suyuqlikning hajmi ancha kichik va suyuqlik amalda siqilmaydi va 1'-2' siqish jarayonini izoxorik sanaladi, bu 1-2 chiziq bilan mos keladi.

4-1 chiziq gazlarning soplo kesimidagi bosimga mos keladi va atrof-muhit bosimi bilan tenglashadi.

Siklning foydali ishi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$l_s = (i_3 - i_4) - (p_2 - p_1)v_1 \quad (7.31)$$

bu yerda $i_3 - i_4$ – yonish mahsulotlarining adiabatik kengayish ishi; $(p_2 - p_1)v_1$ – ta'minot nasoslari 3, 4 ni yuritishga sarflangan ish. Agar nasoslardagi ish adiabatik hisoblansa, u holda:

$$(p_2 - p_1)v = i_2 - i_4 \quad (7.32)$$

Siklga uzatilgan issiqlik yoqilg'ining yonish issiqligiga teng bo'ladi:

$$q_1 = i_3 - i_4 = (i_3 - i_1) - (i_2 - i_1) = i_3 - i_1 - (p_2 - p_1)v_1 \quad (7.33)$$

Siklning foydali ish koeffisienti quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\eta_t = \frac{l_s}{q_1} = \frac{i_3 - i_4 (p_2 - p_1)v_1}{i_3 - i_1 (p_2 - p_1)v_1} \quad (7.34)$$

Suyuqlikning solishtirma hajmini kichikligi hisobiga ta'minot nasosini yuritishga sarflangan ishni inobatga olmasa ham bo'ladi. U holda:

$$\eta_r = \frac{i_3 - i_4}{i_3 - i_1} \quad (7.35)$$

Suyuqlikli reaktiv dvigatellarning afzalliklari: 1) ishlashini tashqi muhit holatiga bog'liq emasligi; 2) havosiz bo'shliqda ham uchish imkoniyati; 3) tortishni uchish tezligiga bog'liq emasligi va tezlikni ortishi bilan quvvatini ortishi; 4) konstruksiyasining soddaligi va kichik solishtirma massasi.

Suyuqlikli reaktiv dvigatellarning kamchiliklari: 1) FIK nisbatan kichikligi; 2) nafaqat yoqilg'i, balki oksidlovchining zahirasining zarurligi.

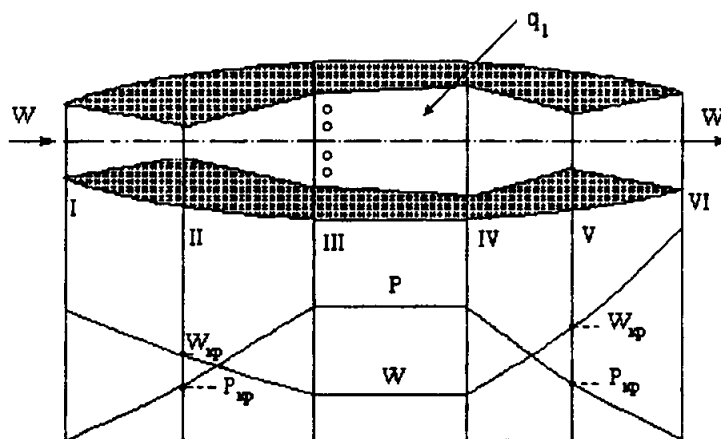
7.8. Havoli – reaktiv dvigatellar.

Havoli-reaktiv dvigatellarda (HRD) suyuq yoqilg'ini yoqish uchun atmosfera havosidan foydalaniladi. Havoli-reaktiv dvigatellar kompressorsiz va kompressorli turlarga bo'linadi.

Kompressorsiz havoli-reaktiv dvigatellar to'g'ri oqimli (yoqilg'i $p=const$ da yoqiladi) va pulsasiyalanuvchi (yoqilg'i $v=const$ da yoqiladi) turlarga bo'linadi. Kompressorsiz dvigatellar o'rnatilgan uchish moslamalarini majburiy ishga tushirish uchun zarur, shuningdek bu dvigatellar havoning yuqori oqimlarida ishlaydi.

Uchuvchi moslamaning harakatlanish tezligiga bog'liq holda havoli-reaktiv dvigatellarning ikkita sxemasi mavjud bo'lib, ular yuqori tezlikda uchish va tovush teziligiga yaqin tezlikda uchishdir. 7.15-rasmda yuqori tovush tezligida uchuvchi havoli-reaktiv dvigatelning sxemasi, shuningdek moslamaning ichida gaz oqimining tezligini va bosimini o'zgarish xarakteri ko'rsatilgan. Dvigatelning turli kesimlarida tezlik va bosimni o'zgarish xarakterini ko'rib chiqamiz.

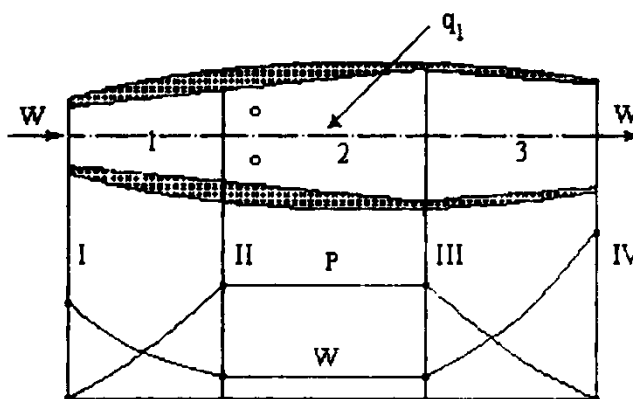
I kesimda havo yuqori tovush tezlikli kanalga kiritiladi. Kanalni siqish amalga oshirilganda kanal I-II qismda torayadi, II-III qismda esa kengayadi. Buning hisobiga I-III qismda bosim ortadi, tezlik esa tovush tezligidan past qiymatgacha kamayadi. III-IV qismda yonish kamerasi joylashgan, u yerda yoqilg'i o'zgarimas bosimda yonadi va q_1 issiqlik ajralib chiqadi. Bu qismda tezlik o'zgarimasdan qoladi.



7.15-rasm. Yuqori tovush tezligida uchuvchi havoli-reaktiv dvigatelning sxemasi.

Yonish kamerasidan chiqishdagi tezlik tovush tezligidan kichik bo'ladi. Bu tezlikni oshirish uchun dvigatel kanali qaytadan torayadi (IV-V qism), keyin esa kengayadi (V-VI qism). V kesimda gazning tezligi tovush tezligiga teng bo'ladi. V-VI qismda tezlikni yuqori tovush tezligigacha ortishi sodir bo'ladi va bosim kritik qiymatdan tashqi muhit bosimigacha kamayadi.

7.16-rasmda tovush tezligiga yaqin tezlikkagacha uchuvchi havoli-reaktiv dvigatelning sxemasi, shuningdek oqimning bosimini va tezligini o'zgarish xarakteri keltirilgan. Ushbu holda kanalning kirish qismida torayish bo'lmaydi, shuningdek gazning tezligi tovush tezligiga yaqin bo'ladi. III-IV qismda tezlikni ortishi sodir bo'ladi, ammo u tovush tezligiga yetmaydi.

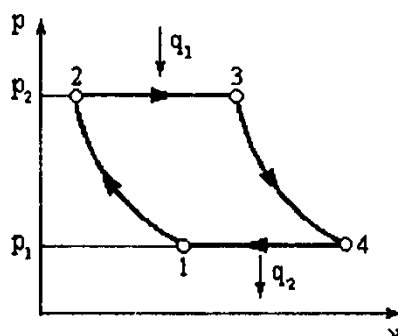


7.16-rasm. Tovush tezligiga yaqin tezlikkagacha uchuvchi havoli-reaktiv dvigatelning sxemasi. 1-diffuzor; 2-yonish kamerasi; 3-soplo.

7.17-rasmda to'g'ri oqimli havoli-reaktiv dvigatelning nazariy sikli P-V koordinatalarda ko'rsatilgan. Siklning jarayonlarini ko'rib chiqamiz: 1-2 – havo oqimini diffuzorda siqilishi; 2-3 – yonish kamerasida izobarik jarayonda q_1 issiqlikni

uzatilishi; 3-4 – soplomolamada gazlarni adiabatik kengayishi; 4-1 – gazlarni atmosferada sovishi.

7.17-rasmda ko'rsatilgan siklni tahlili shuni ko'rsatadiki, sikl shakli bo'yicha yoqilg'i $p=const$ da yoqiladigan gaz turbina dvigatellarining sikli bilan mos keladi.



7.17-rasm. To'g'ri oqimli havoli-reaktiv dvigatelning nazariy siklining P-V diagrammasi.

Shuning uchun havoli-reaktiv dvigatel siklining FIK quyidagiga teng bo'ladi:

$$\eta_r = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} \quad (7.36)$$

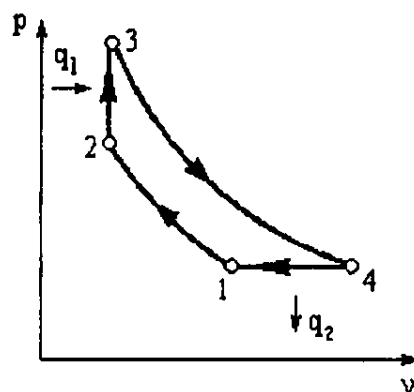
bu yerda $\beta = p_2 / p_1$ - diffuzorda havo bosimini ortish darajasi.

Havoli-reaktiv dvigatelning afzallikligi konstruksiyasining soddaligi (massaning kichikligi) va tovush tezligidan 2-3 marta yuqori tezliklarda uchish imkoniyati.

7.9. Pulsasiyalanuvchi havoli-reaktiv dvigatellar.

Pulsasiyalanuvchi havoli-reaktiv dvigatellarning yonish kamerasiga issiqlikni uzatish o'zgarmas hajmda amalga oshiriladi. Buning uchun taqsimlovchi klapan qurilmasi bo'lishi kerak, uning yordamida vaqtning istalgan momentida yonish kamerasi diffuzor va chiqarish soplolidan ajraladi.

7.18-rasmda pulsasiyalanuvchi havoli-reaktiv dvigatelning sikli P-V diagrammada tasvirlangan. Siklning jarayonlarini ko'rib chiqamiz: 1-2 – diffuzorda havoni siqilishi; 2-3 – yonish kamerasida issiqlikni izoxorik uzatish jarayoni; 3-4 – soploli moslamada gazlarni adiabatik kengayishi; 4-1 – gazlarni atmosferada sovishi.



7.18-rasm. Pulsasiyalanuvchi havoli-reaktiv dvigatelning sikli.

$v=const$ da issiqlik uzatiladigan pulsasiyalanuvchi havoli-reaktiv dvigatelning sikli izoxorik jarayonda issiqlik uzatiladigan gaz turbina dvigatelining siklidan farq qilmaydi. Shuning uchun ularning termik FIK bir xil formuladan aniqlanadi:

$$\eta_t = 1 - \frac{k \left(\lambda^{\frac{1}{k}} - 1 \right)}{(\lambda - 1) \beta^{\frac{k-1}{k}}} \quad (7.37)$$

bu yerda $\beta = p_2 / p_1$ - diffuzorda bosimni ortish darajasi; $\lambda = p_3 / p_2$ - yonish kamerasida bosimni qo'shimcha ortish darajasi.

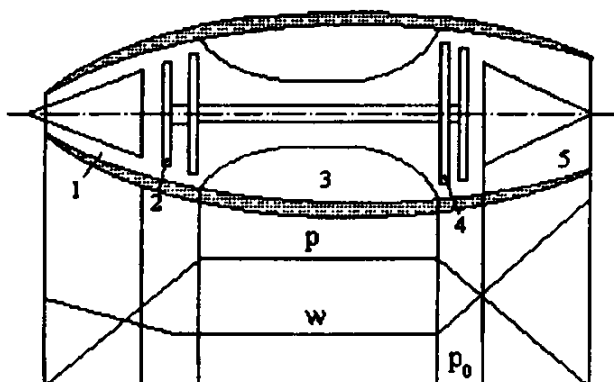
Pulsasiyalanuvchi havoli-reaktiv dvigatellar to'g'ri oqimli dvigatellar bilan taqqoslanganda yuqori FIK ga ega, buning sababi yonish jarayonining oxirida bosimning qiymatini yuqori bo'lishidir. Ammo konstruksiyasini qiyinligi hisobiga to'g'ri oqimli havoli-reaktiv dvigatelning massasidan og'iridir. Shuning uchun pulsasiyalanuvchi havoli-reaktiv dvigatellar kichik tezliklarda uchishda qo'llaniladi.

7.10. Kompessorli havoli-reaktiv dvigatellar.

Kompessorli havoli-reaktiv dvigatellarning ichida turboreaktiv dvigatellar eng ko'p tarqalgan, ularda havoni siqish yuqori bosim hisobiga amalga oshiriladi, yuqori bosim gaz turbinasi bilan bitta valda joylashgan o'qiy kompressor yordamida hosil qilinadi.

Kompessorli havoli-reaktiv dvigatelning prinsipial sxemasi, shuningdek oqimning bosimini va haroratini o'zgarish xarakteri 7.19-rasmda ko'rsatilgan.

Qurilmaning prinsipial sxemasi quyidagilarni o'z ichiga oladi: 1-diffuzor; 2-o'qiy kompressor; 3-yonish kamerasi; 4-turbina; 5-soplo.



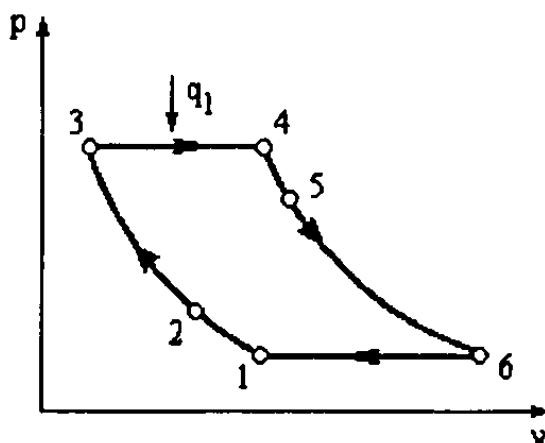
7.19-rasm. Kompressorli havoli-reaktiv dvigatelning prinsipial sxemasi.

Shiddat bilan uriluvchi havo oqimining bosimi dastlab diffuzorda, keyin kompressorda ortadi. Gaz turbinasi kompressorni yuritish uchun mo'ljallangan.

7.20-rasmda ko'rsatilgan siklning jarayonlarini ko'rib chiqamiz: 1-2 – diffuzorda havoni adiabatik siqilishi; 2-3 – kompressorda havoni adiabatik siqilishi; 3-4 – yonish kamerasida issiqlikni izobarik uzatilishi; 4-5 – gazlarni turbina kurakchalarida adiabatik kengayishi; 5-6 – gazlarni soplo moslamasida adiabatik kengayishi; 6-1 – gazlarni atmosferada sovishi.

Turboreaktiv dvigatelning termik FIK, yoqilg'i o'zgarmas bosimda yonadigan havoli-reaktiv dvigatellarniki kabi aniqlanadi.

Turboreaktiv dvigatellarda kompressorning borligi sababli bu dvigatellar yuqori siqish darajasiga ega, buning hisobiga ularning termik FIK ham yuqori. Bu turdagi dvigatellar tez uchar samolyotlar uchun asosiy dvigatel hisoblanadi.



7.20-rasm. Kompressorli havoli-reaktiv dvigatelning sikli.

Nazorat savollari.

1. Gaz turbina qurilmalari qaerlarda qo'llaniladi?
2. Gaz turbina qurilmalarining qanday sikllarini bilasiz?
3. Brayton siklini tushuntirib bering?
4. Gemfri siklini tushuntirib bering?
5. Brayton siklini asosiy xarakteristikalarini tushuntiring?
6. Brayton siklida uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori qanday aniqlanadi?
7. Gemfri siklini asosiy xarakteristikalarini tushuntiring?
8. Gemfri siklida uzatilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori qanday aniqlanadi?
9. Gaz turbina qurilmalarining termik FIK ni qanday oshirish mumkin?
10. Gaz turbina qurilmalarining sikllarini taqqoslang?
11. Reaktiv dvigatellar qanday tasniflanadi?
12. Reaktiv dvigatellar qanday turlarga bo'linadi?
13. Havoli-reaktiv dvigatellar qanday turlarga bo'linadi?
14. Suyuqlikli reaktiv dvigatellarni ishlash prinsipini tushuntiring?
15. Suyuqlikli reaktiv dvigatellar qaerlarda qo'llaniladi?
16. Suyuqlikli reaktiv dvigatellarning afzalliklarini ayting?
17. Havoli-reaktiv dvigatellarni ishlash prinsipini tushuntiring?
18. Havoli-reaktiv dvigatellarning afzalliklarini ayting?
19. Pulsasiyalanuvchi havoli-reaktiv dvigatellarning ishlash prinsipini tushuntiring?
20. Turboreaktiv dvigatellarni tushuntirib bering?

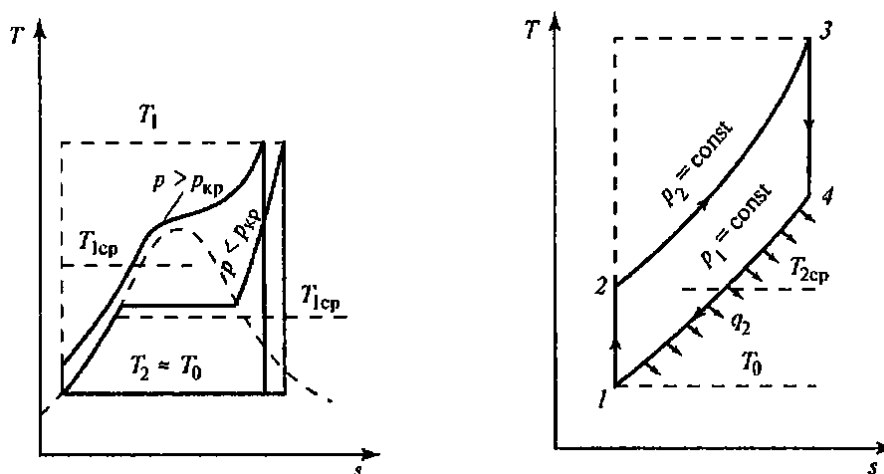
VIII-BOB. BUG'-GAZ QURILMALARINING SIKLLARI.

8.1. Bug'-gaz qurilmalari to'g'risida umumiy ma'lumot.

Bug' turbina va gaz turbina qurilmalarining termodinamik sikllarini tahlili shuni ko'rsatdiki, ushbu ikki turdagi asosiy energetik qurilmalar juda kichik samaradorlikka ega. Boshqacha qilib aytganda ushbu qurilmalarda yoqilg'i eksergiyasi to'liq ishlatilmaydi va ularning eksergetik FIK kichik bo'ladi.

Energetik qurilmalarning samaradorligini oshirish istiqboli sifatida qurilmaning siklida ishlatiladigan ishchi moddaning boshlang'ich parametrlarini oshirishni ko'rish mumkin. Ushbu yo'nalishdagi yutuqlar yangi olovbardosh materiallarni yaratilishi va qurilmalarning asosiy moslamalarini loyihalaniishi bilan bog'liq.

Hozirgi vaqtda bug'-suv siklida issiqlikni uzatish maksimal ($500-600^{\circ}\text{C}$) haroratdan biroz farq qiluvchi o'rtacha harorat $T_{lo'rt}$ bilan xarakterlanadi. Shuningdek suv yetarlicha past kritik haroratga ega va o'ta qizigan yoki yuqori kritikli bug'ga issiqlikni uzatish yuqori haroratlarda sodir bo'ladi, uning izobar shakli shundayki, maksimal haroratni ortishi bilan o'rtacha harorat va siklning termik FIK biroz ortadi (8.1, a-rasm).



8.1-rasm. Bug' turbina qurilmasi (a) va gaz turbina qurilmasi (b) sikllarining T-S diagrammalari.

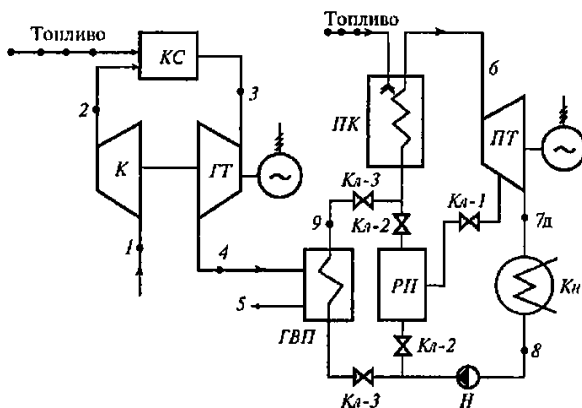
Gaz turbina qurilmalarida ishchi jism – havo yoqilg'i yoqilganda qiziydi, bu yuqori haroratlarda olish va yuqori haroratlarga chidamli jihozlarni yaratish masalasini osonlashtiradi. Siklida gazsimon kondensasiyalanmaydigan yonish mahsulotlaridan

izobara bo'yicha issiqlik berish haroratning keng ko'lamlarida sodir bo'ladi, ya'ni atrof-muhit haroratidan ancha yuqori haroratda (8.1, b-rasm). Tabiiyki bu siklning termik FIK ni pasayishiga olib keladi. Siklning ishchi jismi sifatida gaz qo'llanilganda bu kamchilik regenerasiyani qo'llash orqali to'ldiriladi. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, siklning yuqori haroratli qismida havodan foydalanish, past haroratli qismida esa suvdan foydalanish zarur.

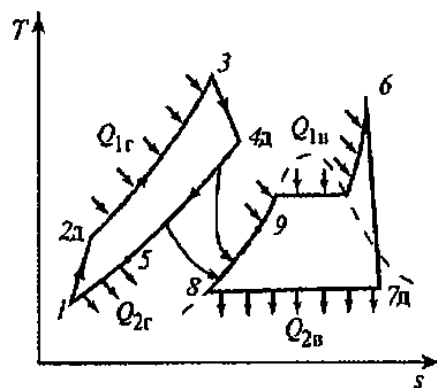
Zamonaviy energetikada kombinasiyalashgan bug'-gaz qurilmalarining (BGQ) yuqori haroratli qismida gaz turbina qurilmasi, past haroratli qismida bug' turbina qurilmasi keng qo'llaniladi. Gaz turbina qurilmasi va bug' turbina qurilmasi sikllaridan birgalikda foydalanishning bir nechta variantlari mavjud.

8.2. Gaz-suv qizdirgichli bug'-gaz qurilmasi sikli.

Kombinasiyalashgan qurilma o'z ichiga kompressor K ni gaz turbina qurilmasini (8.2-rasm), yonish kamerasi YoK ni, gaz turbinasi GT ni, bug' qozonli BQ bug' turbina qurilmasini, bug' turbinasi BT ni, kondensator Kon ni va ta'minot suvini regenerativ qizdirgichlar RQ ni oladi. Bundan tashqari, ta'minot suvini gaz-suvli qizdirgichi mavjud bo'lib, u regenerativ qizdirgichlar bilan parallel o'rnatilgan. Bu qizdirgich kombinasiyalashgan qurilmaning umumiy elementi hisoblanadi, shuningdek unda ta'minot suvini qizdirish gaz turbinasidan chiqib ketayotgan gazlarning issiqligi bilan amalga oshiriladi. U yoki bu sabab bilan gaz turbinasi to'xtaganda Kl-3 klapanli gaz-suvli qizdirgich bug' turbina qurilmasi sxemasidan uziladi va qozonni suv bilan ta'minlash regenerativ qizdirgichlar orqali amalga oshiriladi.



8.2-rasm. Gaz-suv qizdirgichli bug'-gaz qurilmasining prinsipial sxemasi.



8.3-rasm. Gaz-suv qizdirgichli bug'-gaz qurilmasining haqiqiy siklini T-S diagrammasi.

Kombinasiyalashgan qurilmaning T-S diagrammadagi haqiqiy sikli 8.3-rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda sikl $1-2d-3-4d-5-1$ gaz turbina qurilmasining sikli, unda gaz turbinada ($4d$ nuqta) kengaygandan keyin atmosfera bosimda gaz-suvli qizdirgichda 5 nuqta holatigacha soviydi, o'zining issiqligini bug' turbina qurilmasi siklidagi suvga beradi, undan keyingina Q_{2g} issiqlik atrof-muhitga tashlab yuboriladi. Bug' turbina qurilmasining $6-7d-8-9-6$ siklida ta'minot suvini 8 nuqta holatidan 9 nuqta holatiga qizdirish gaz-suvli qizdirgichda gaz turbina qurilmasi gazlarining issiqligi hisobiga sodir bo'ladi, keyingi issiqlik uzatilishi Q_{1s} qozonda yoqilg'ini yoqish hisobiga amalga oshiriladi. Shunday qilib, kombinasiyalashgan sikl qisman binar sikl deb ham ataladi, ya'ni past haroratli siklda issiqlikning bir qismi yuqori haroratli sikldan, qolgan qismi esa – yoqilg'ining yonish mahsulotlaridan olinadi.

Ma'lumki, gaz va suvning termodinamik xususiyatlari turlicha bo'lib, kombinasiyalashgan siklning gazli va suvli qismlarida turli miqdordagi ishchi jismlar sirkulyasiyalanadi. Ular orasidagi nisbat ikkita konturni birlashtiruvchi gaz-suvli qizdirgichning issiqlik balansidan aniqlanadi. Bu kattalik havoning sirkulyasiya karraligi, m deb ataladi va quyidagicha hisoblanadi:

$$m = \frac{i_9 - i_8}{i_{4d} - i_5} \quad (8.1)$$

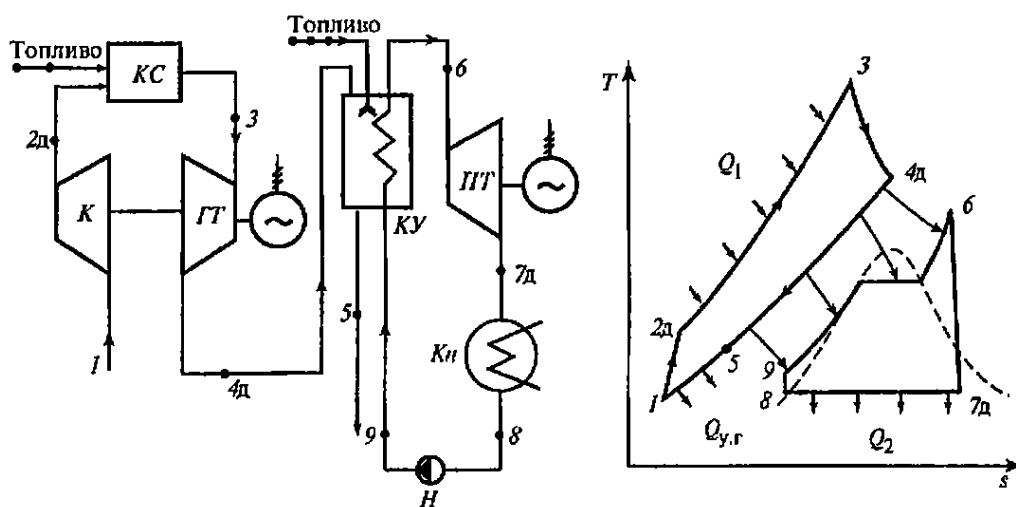
Kombinasiyalashgan siklning ichki FIK ni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\eta_i^{BGO} = \frac{m l_{GTQ}^h + l_{BRQ}^h}{Q_{1g} + Q_{1h}} = \frac{m[(i_3 - i_{4d}) - (i_{2d} - i_1)] + (i_6 - i_{7d})}{m(i_3 - i_{2d}) + (i_6 - i_9)} \quad (8.2)$$

Gaz turbinasida ishlab chiqarilgan quvvat bug'-gaz qurilmasi quvvatining 20-25% ulushini tashkil etadi.

8.3. Qozon-utilizatorli bug'-gaz qurilmasi sikli.

Qozon-utilizatorli bug'-gaz qurilmasining gazli qismida (8.4-rasm) kompressor K da siqilgan atmosfera havosi yonish kamerasi YoK ga kiritiladi, u yerda havoga yoqilg'i yoqilgandagi $Q_{I_{yo.k}}$ issiqlik uzatiladi va keyin gaz turbinasi GT da adibatik kengayadi, kompressor va generatorni aylantirish uchun ishlatiladigan ish bajaradi. Turbinadan chiqib ketayotgan gazlar qozon-utilizator QU ning o'txonasiga yo'naltiriladi. Ushbu gazlardagi kislorod miqdori 12-17% ni tashkil etadi va ulardan yoqilg'ini yoqish uchun o'txonaga kiritilayotgan havo o'rnida foydalanib qo'shimcha $Q_{I_{q.u}}$ issiqlik uzatish mumkin. Ma'lumki eng yaxshi zamonaviy gaz turbina qurilmalarida turbinaga kirayotgan gazlarning harorati 1100-1250⁰C ni, chiqib ketuvchi gazlarning harorati esa 480-570⁰C tashkil etadi. Buning hisobiga qo'shimcha issiqlik uzatmasdan qozon-utilizatorda yuqori parametrli bug' olish mumkin.



8.4-rasm. Qozon-utilizatorli bug'-gaz qurilmasining prinsipial sxemasi (a) va T-S diagrammasi (b).

Qozon-utilizatorli bug'-gaz qurilmasining siklini T-S diagrammasi 8.4, b-rasmda ko'rsatilgan. Olingan bug', bug' turbinasi BT ga kiritiladi, bug' turbinada adibatik kengayandan so'ng kondensator Kon da kondensasiyalanadi va kondensat nasosi yordamida qozon-utilizatorga uzatiladi.

Shunday qilib, ham gaz turbina qurilmasi ham bug' turbina qurilmasi o'zlarining sikllari bo'yicha ishlaydi. 8.4, b-rasmda ikkita qurilma oddiy variantlari bo'yicha ko'rsatilgan. Haqiqatda gaz turbina qurilmasining sxemasida gazni ko'p pog'onali siqish va kengayishdan foydalaniladi, bug' turbina qurilmasining sxemasida bug'ni oraliq qizdirish va ta'minot suvini turbinadan olinayotgan bug' yordamida regenerativ qizdirishdan foydalaniladi. Ularni bitta bug'-gaz qurilmasiga birlashtirish natijasida gaz turbinasidan chiqib ketayotgan gazlarning issiqligidan bug' qozonida foydalanish hisobiga yoqilg'ining sarfi kamayadi.

Kombinasiyalashgan bug'-gaz qurilmasining samarali FIK η_e^{BGQ} va uning tarkibiga kiruvchi gaz turbina qurilmasining η_e^{GTQ} va bug' turbina qurilmasining η_e^{BTQ} samarali FIK bilan bog'liqligi quyidagicha:

$$\eta_e^{BGQ} = \frac{L_{GTQ} + L_{BTQ}}{Q_{1yo.k} + Q_{1q.u}} = \frac{Q_{1yo.k} \eta_e^{GTQ} + [Q_{1yo.k} (1 - \eta_e^{GTQ}) + Q_{1q.u}] \eta_e^{BTQ}}{Q_{1yo.k} + Q_{1q.u}} \quad (8.3)$$

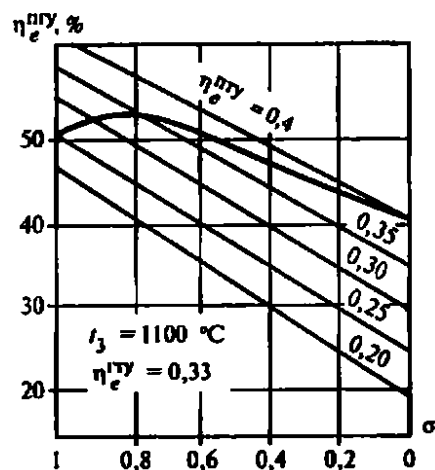
Yangi kattalik σ - siklning binarlilik darajasini kiritamiz va quyidagicha belgilaymiz:

$$\sigma = \frac{Q_{1yo.k}}{Q_{1yo.k} + Q_{1q.u}} \quad (8.4)$$

(8.3) ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\eta_e^{BGQ} = \eta_e^{BTQ} + (1 - \eta_e^{BTQ}) \sigma \eta_e^{GTQ} \quad (8.5)$$

(8.5) ifodadan ko'rinib turibdiki, GTQ va BTQ sining belginlan FIK larida BGQ sining eng yuqori FIK ga binarlilik darajasi birga teng bo'lganda erishiladi. Ushbu holda qozon-utilizatorida yoqilg'i yoqilmaydi va kombinasiyalashgan qurilmaning bug' turbina qurilmasi qismining barcha ishi gaz turbina qurilmasidan chiqib ketayotgan gazlarning issiqligidan foydalanish hisobiga bajariladi. 8.5-rasmda keltirilgan grafiklar bug'-gaz qurilmasining samarali FIK ni xarakterlaydi, gaz turbina qurilmasini turli bug' turbina qurilmalari bilan kombinasiyalashda gazning turbinaga kirishdagi harorati $t_3=1100^{\circ}\text{C}$ bo'lganda samarali FIK $\eta_e^{GTQ} = 33\%$ ni tashkil etadi.



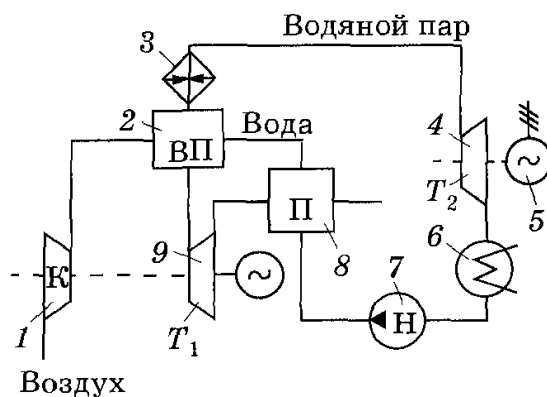
8.5-rasm. Bug'-gaz qurilmasining samarali FIK ni aniqlash uchun.

Qalin chiziq ishlab turgan bug'-gaz qurilmasida haqiqiy erishiladigan samarali FIK ni xarakterlaydi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, bug'-gaz qurilmasining samarali FIK 50-53% ga yetadi. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, qozon-utilizatorli bug'-gaz qurilmasini qo'llash energetik qurilmalarning iqtisodiyligini oshirishning juda istiqbolli yo'nalishi hisoblanadi.

8.4. Yuqori bosimli bug' generatorli bug'-gaz qurilmasi sikli.

Ma'lumki, bug'-gaz qurilmalarida ishchi jism sifatida gazzimon yonish mahsulotlari va bug' turbinasiga kiritiladigan suv bug'laridan foydalaniladi. Bunday qurilmalarda ikkita – gaz va bug' turbinalari qo'llaniladi.

Ishchi jismlarning oqimlari alohida bo'lgan bug'-gaz qurilmalari tipik jihatdan binar qurilmalar hisoblanadi. Yuqori harorat sohasida ishchi jism yonish mahsulotlari, past harorat sohasida suv bug'i ishchi jism hisoblanadi.



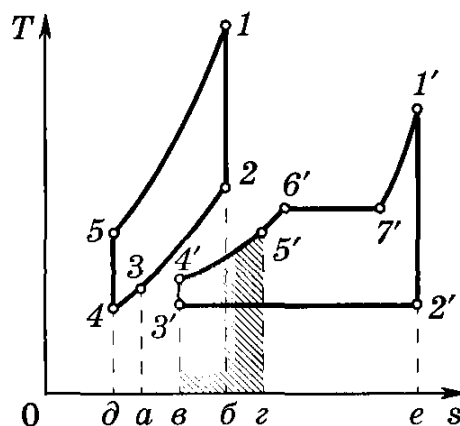
8.6-rasm. Yuqori bosimli bug' generatorli bug'-gaz qurilmasining prinsipial sxemasi. 1-kompressor; 2-yuqori bosimli bug' generatori; 3-bug' o'ta qizdirgich; 4-bug'

turbinasi; 5-elektrogenerator; 6-kondensator; 7-kondensat nasos; 8-gaz-suvli o'ta qizdirgich.

Bug'-gaz qurilmasining eng samarali sxemasi quyidagi sxemasi hisoblanadi, bu sxemada bug' sikli gaz sikliga nisbatan to'liq utilizasiyalangan hisoblanadi, ya'ni qurilmaning bug'li qismi yoqilg'ining qo'shimcha sarflarisiz ishlaydi (8.6-rasm).

Kompressor 1 dan chiqqan havo yuqori bosimli bug' generatori YuBBG ning yonish kamerasi YoK ga kiritiladi. Yonish kamerasida yoqilg'ini yonishi natijasida ruxsat etilmagan yuqori haroratli 1350-1600 K ishchi jism (yonish mahsulotlari) hosil bo'ladi, demak yonish mahsulotlarini turbinaga kiritishdan oldin sovitish zarur bo'ladi. Sovituvchi qurilma (yuqori bosimli bug' generatori) ushbu sxemada bug' qismning bug' generatori hisoblanadi. Yuqori bosimli bug' generatorida hosil bo'lgan suv bug'i bug' o'ta qizdirgich 3 ga kiritiladi, keyin bug' turbinasi 4 ga yo'naltiriladi. Suv bug'i turbinadan keyin kondensator 6 ga kiritiladi, u yerda to'liq kondensasiyalanadi. Kondensatordan chiqqan ta'minot suvi nasos 7 yordamida gaz-suvli o'ta qizdirgich 8 ga uzatiladi, keyin esa yuqori bosimli bug'-gaz generatoriga kiritiladi. Yuqori bosimli bug'-gaz generatoridan chiqqan yonish mahsulotlarining harorati suvni bug' hosil bo'lishiga berilgan issiqlik hisobiga 700-790°C gacha pasayadi, keyin gaz turbinasi 9 ga kiritiladi, undan chiqqandan so'ng gaz-suvli o'ta qizdirgich 8 ga kiritiladi va u yerda ta'minot suvi qizdiriladi. 8.6-rasmdan ko'rinib turibdiki, ishchi jism – suv bug'i va yoqilg'ining yonish mahsulotlari – mustaqil kontur bo'yicha harakatlanadi.

Ikkita turbinali bug'-gaz sikli ikkita konturdan tashkil topgan (8.7-rasm): 1-2-3-4-5-1 (gaz sikli) va 1'-2'-3'-4'-5'-6'-7'-1' (bug'-suv sikli). Gaz sikli quyidagi jarayonlardan tashkil topgan: 4-5 – havoni kompressorda adiabatik siqish; 5-1 – $p=const$ da yonish kamerasida ishchi jismga issiqlikni uzatilishi; 1-2 – ishchi jismni turbinada adiabatik kengayishi; 2-3 – issiqlikni izobarik ravishda gaz-suvli o'ta qizdirgichga berilishi; 3-4 – issiqlikni izobarik ravishda atrof-muhitga berilishi.



8.7-rasm. Yuqori bosimli bug' generatorli bug'-gaz qurilmasining sikli.

Bug' sikli quyidagi jarayonlardan tashkil topgan: 1'-2' – bug'ni turbinada adiabatik kengayishi; 2'-3' – kondensatorida bug'ni kondensasiyalanishi (issiqlikni berish); 3'-4' – nasosda suvni adiabatik siqilishi; 4'-5'-6' – gaz-suvli o'ta qizdirgichda va yuqori bosimli bug'-gaz qizdirgichda suvga issiqlikni uzatilishi; 6'-7' – yuqori bosimli bug'-gaz generatorida bug' hosil bo'lishi; 7'-1' – bug' o'ta qizdirgichda bug'ni o'ta qizdirilishi. Gaz turbina qurilmasining siklida uzatilgan issiqlik $1bd5$ maydonga teng, bug' turbina qurilmasining sikliga uzatilgan issiqlik $v3'4'5'6'7'1'e$ maydongan teng. Barcha qurilmaning foydali ishi gaz siklining foydali ishini yig'indisidan aniqlanadi, ya'ni $l_s=123451$ maydon va bug' siklining ishi $l'_s=3'4'5'6'7'1'2'3'$. Turbinada ishlatib bo'lingan gazlarning issiqligi son jihatidan $2bd4$ maydonga teng. Bug'-gaz siklida gazlar 2-3 chiziq bo'yicha sovitilganda ajralgan issiqlik $2ba3$ maydon bo'yicha aniqlanadi, bu issiqlikdan gaz-suvli o'ta qizdirgich 8 da 4'-5' chiziq bo'yicha ta'minot suvini qizdirish uchun foydalaniladi. Yuqori bosimli bug' generatorida bug' hosil qilishga sarflangan issiqlik miqdori $5'gv4'5'$ maydon qiymatigacha kamayadi, kombinasionalashgan siklning samaradorligi esa ortadi.

1 kg suvni qizdirish uchun m kg gazning issiqligi sarflanadi. Gazning miqdori m gaz-suvli o'ta qizdirgichning issiqlik balansi tenglamasidan aniqlanadi:

$$m(i_2 - i_3) = i_5' - i_4' \quad (8.6)$$

Bug'-suv siklining ishi:

$$l'_s = i_1' - i_2' \quad (8.7)$$

Gaz siklining ishi:

$$l_s = m[(i_1 - i_2) - (i_5 - i_4)] \quad (8.8)$$

Ishchi jismga uzatilgan issiqlikning nazariy miqdori:

$$Q_1 = m(i_1 - i_5) + (i_1 - i_5) \quad (8.9)$$

(8.7) – (8.9) ifodalarni FIK ni aniqlash formulasiga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

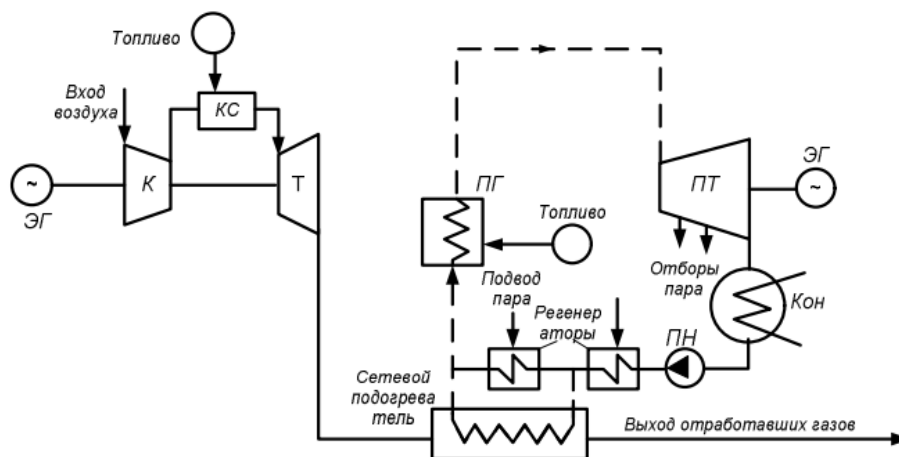
$$\eta_t = \frac{1 \cdot l_s + L_s}{Q_1} = \frac{(i_1 - i_2) + m(i_1 - i_2) - (i_5 - i_4)}{m(i_1 - i_5) + (i_1 - i_5)} \quad (8.10)$$

Bug'-gaz qurilmalarini qo'llash elektr stansiyani issiqlik sxemasini yaxshilaydi; faqat bug' va gaz turbinali qurilmalar bilan solishtirilganda yuqori yoqilg'i tejamkorligini ta'minlaydi (bug'-gaz qurilmasida 15% gacha yoqilg'i tejaladi) va FIK ortadi.

8.5. Past bosimli bug' generatorli uchunchi tur bug'-gaz qurilmasining sikli.

Past bosimli bug' generatorli uchunchi tur bug'-gaz qurilmasining gaz turbina qurilmasida ishlatib bo'lingan gazlar ta'minot suvini gazli qizdirgichiga kiritiladi, u yerda gazning issiqligi utilizasiyalanadi. Bu issiqlik ta'minot suvini regenerativ qizdirgichlarni uzib qo'yish uchun yetarlidir. Bunda bug' turbinasining quvvati va FIK birdaniga ortadi (8.8-rasm). Buning muhimligi shundaki, bug' turbinali blok sxemaga prinsipial o'zgarishlarsiz ulanadi.

Gaz turbina qurilmasidan chiqib ketayotgan gazlarning issiqligini utilizasiyalash ta'minot suvini gazli qizdirgichda qizdirish orqali amalga oshiriladi. Ta'minot suvi parallel qizdiriladigan sxema (ta'minot suvi dastlab regenerativ qizdirgichda keyin gazli qizdirgichda qizdiriladi) bug'-gaz qurilmasining maksimal termik samaradorligini ta'minlaydi, ammo bunday sxemani amalga oshirish ancha qiyin, shuningdek gazli suv qizdirgichlarning qizdirish yuzasini korroziyalanishi, uning metall sig'imini ortishi va boshqa omillar bu sxemani qo'llashni cheklaydi.



8.8-rasm. Past bosimli bug' generatorli uchunchi tur bug'-gaz qurilmasining prinsipial sxemasi.

Nazorat savollari.

1. Bug'-gaz qurilmalari to'g'risida ma'lumot bering?
2. Bug'-gaz qurilmalari siklida qanday turdagi turbinalardan foydalaniladi?
3. Gaz-suvli qizdirgichli bug'-gaz qurilmasi siklini tushuntiring?
4. Gaz-suvli qizdirgichli bug'-gaz qurilmasi siklining P-V va T-S diagrammalarini tushuntiring?
5. Qozon-utilizatorli bug'-gaz qurilmasi siklini tushuntiring?
6. Qozon-utilizatorli bug'-gaz qurilmasi siklining P-V va T-S diagrammalarini tushuntiring?
7. Bug'-gaz qurilmasining termik FIK ni qanday aniqlanadi?
8. Yuqori bosimli bug' generatorli bug'-gaz qurilmasining siklini tushuntiring?
9. Yuqori bosimli bug' generatorli bug'-gaz qurilmasi siklini P-V va T-S diagrammalarini tushuntiring?
10. Past bosimli bug' generatorli uchunchi tur bug'-gaz qurilmasining siklini tushuntiring?

IX-BOB. SOVITISH QURILMALARI. KARNONING TESKARI SIKLI.

9.1. Sovitish qurilmalari to'g'risida umumiy ma'lumot.

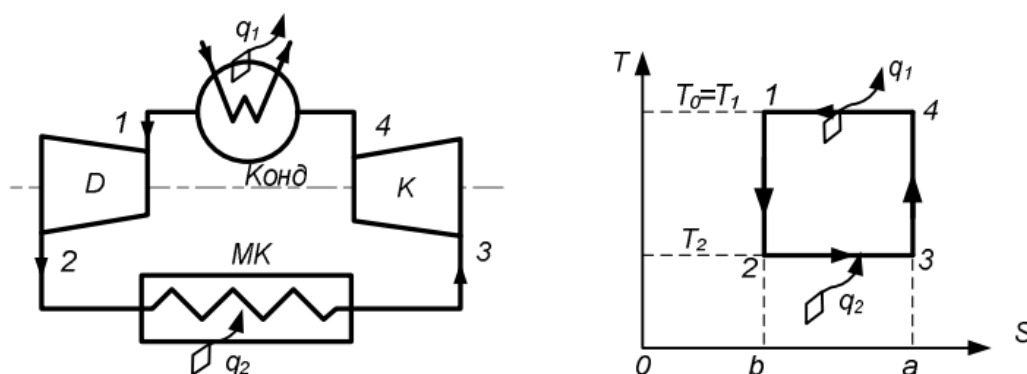
Birinchi sovitish qurilmalari XIX asrda paydo bo'ldi. Birinchi sovitish qurilmasi Angliyalik olim Perkinson tomonidan 1834 yilda ixtiro qilindi. Bu qurilma asosan etilen efirda ishlar edi. 1871 yilda Fransuz Tene metil efirda ishlovchi qurilmani ixtiro qildi. 1872 yilda Angliyalik olim Boyl tomonidan ammiakda ishlovchi sovitish qurilmasi yaratildi.

Rossiyada sovitish qurilmalari 1888 yilda Astraxanda baliq sanoatida qo'llanila boshlandi. Jismning haroratini atrof-muhit haroratidan past haroratgacha sovitish va belgilangan past haroratni uzluksiz ta'minlab turish uchun teskari issiqlik sikli bo'yicha ishlovchi sovitish qurilmalari keng qo'llaniladi.

Sovitilayotgan jismdan issiqlikni olib ketish va uni issiq manbaga uzatish sovitish agentlari deb nomlanuvchi ishchi jism yordamida amalga oshiriladi.

Sun'iy sovuqlikdan xalq ho'jaligida va ayniqsa oziq-ovqat sanoatida keng qo'llaniladi. Ko'pgina hollarda sovuqlik ishlab chiqarish ishchi jism yordamida teskari aylanma siklni bajarish bilan amalga oshiriladi. Sovitish qurilmasining bunday ideal sikli Karnoning qaytar teskari sikli deb nomlanadi, sovitish qurilmasining prinsipl sxemasi va termodinamik sikli 8.1-rasmda ko'rsatilgan.

Karno sikli bo'yicha ishlovchi sovitish qurilmasi kompressor K, kondensator Kon, detander (kengaytiruvchi kamera) D, sovitish kamerasi SK dan tashkil topgan.



9.1-rasm. Sovitish qurilmasining prinsipl sxemasi va ideal sikli.

Termodinamik sikl ikkita adiabatada va ikkita izotermadan tashkil topgan. Ushbu siklda 2-3 izotermik kengayishda ishchi jism sovitilayotgan jismdan q_2 miqdordagi issiqlikni olib ketadi, bu issiqlik 2-3-a-b maydon bilan o'lchanadi. Keyin ishchi jism 3 nuqta holatida kompressor K ga kiritiladi, ishchi jism kompressorda 4 nuqta holatigacha siqiladi (3-4 adiabatik siqish), buning natijasida ishchi jismning harorati T_2 dan $T_1=T_0$ (atrof-muhit harorati) gacha ortadi.

Ushbu jarayonga tashqi manbadan 1-2-3-4 maydonga teng l ish sarflanadi. 4-1 izotermik jarayonda ishchi jism $T_0=T_1$ o'zgarmas haroratda atrof-muhitga q_1 issiqlik miqdori uzatiladi, bu issiqlik 4-1-b-a maydon bilan o'lchanadi.

1-2 jarayonda ishchi jism 2 nuqta holatigacha adiabatik kengayadi, bunda uning harorati T_0 dan T_2 gacha pasayadi.

Shunday qilib, Karnoning teskari siklini bajarilishi natijasida sovuq manbadan (sovitilayotgan jism) o'zgarmas T_2 haroratda q_2 issiqlik miqdori olib ketiladi, siklga tashqi manbadan l ish uzatiladi va barcha issiqlik $q_2+l=q_1$ o'zgarmas haroratda $T_1=T_0$ issiq manbaga (atrof-muhitga) beriladi.

Demak, $q_2+l=q_1$ yoki $q_1-q_2=l$.

Vaqt birligi ichida sovitilayotgan jismdan olib ketilgan q_2 issiqlik miqdori qurilmaning sovuqlik unumdorligi deb ataladi.

9.2. Sovuqlik tashuvchilar.

Sovuqlik tashuvchilar – qotib qolish harorati past bo'lgan va sovitilayotgan xonadan yoki muhitdan sovitish qurilmalariga issiqlikni uzatish uchun mo'ljallangan suyuqliklar hisoblanadi. Sovuqlik tashuvchilar sovitish qurilmalarining ishchi jismlari hisoblanadi va sovitish kondensatorlarida, bug'latgichlarida va boshqa issiqlik almashinuvi qurilmalarida issiqlik tashuvchi sifatida ishtirok etadi. Sovuqlik tashuvchilar barqaror bo'lishi, yonmaydigan va portashga xavfsiz, suv bilan yaxshi, moy bilan yomon aralashishi kerak, insonlarga xavfsiz bo'lishi kerak.

Sovuqlik tashuvchilar sifatida eng ko'p tarqalgan yengil qaynovchi moddalar, ammiak NH_3 , xladon 12 va xladon 22.

Ammiak (NH_3) ning atmosfera bosimida qaynash harorati $-33,4^\circ\text{C}$, -15°C da bug' hosil bo'lish issiqligi 1312,1 kJ/kg. Ammiakni havo bilan aralashmasida ammiakning hajmiy ulushi 11...14% ga yetganda yonishi mumkin, hajmiy ulush 16...27% bo'lganda esa portlaydi. Harorat 260°C va undan oshganda ammiak parchalanadi. Namlangan ammiak rux, mis va uning aralashmalarini korroziyaga olib keladi. Suvning ammiakdagi massaviy ulushi 0,2% dan yuqori bo'lmasligi kerak. Kompresorlarni moylaganda moy ammiakda erimasligi kerak. Agar ushbu moy kondensator va bug'latgichga kiritilsa, ularning issiqlik uzatish yuzalarida cho'kma hosil qiladi va moslamalarda issiqlik almashinuvini yomonlashtiradi. Ammiak zaharli, birdan bug'uvchi hidga ega, ammo narxi ancha arzon.

Xladon 12 (R12, diftordixlormetan CF_2Cl_2) ning atmosfera bosimida qaynash harorati $-29,8^\circ\text{C}$, kritik harorati $111,5^\circ\text{C}$. R12 bug'lari havodan 4,2 marta yengil va hidsiz. Xladon 12 portlashga xavfli emas, havoda yonmaydi, termik parchalanishi 400°C da sodir bo'ladi. Quruq xladon po'lat, mis va ularning qotishmalariga nisbatan faol emas, kam zaharli, moy bilan yaxshi suv bilan esa yomon aralashadi. R12 dan boshqa barcha xladonlar barcha turdagi tirqishlar, shuningdek cho'yan teshikchalarining ichiga kirish qobiliyatiga ega. Bundan tashqari R12 rangsiz va hidsiz bo'lib, uni tizimdan va issiqlik almashinuvi qurilmasidan oqib ketishini aniqlash qiyin. U boshqa organik moddalar bilan juda yaxshi, ayniqsa rezina bilan yaxshi aralashadi. Xladonda erigan moyni mavjud bo'lishi (massaviy ulushi 1% gacha) bug'latgichda xladon qaynaganda issiqlik berish jadalligini 10...30% gacha kamaytiradi.

Xladon 22 (R22, diftormonoxlormetan CHF_2Cl) ning atmosfera bosimida qaynash harorati $-40,8^\circ\text{C}$, kritik harorati 96°C . Xladon 22 rangsiz, hidsiz, yonmaydigan, portlamaydigan, R12 ga qaraganda kam zaharli. Yuqori haroratlarda moyda yaxshi eriydi, past haroratlarda esa kam eriydi. R22 suvda yomon eriydi, ammo R12 ga qaraganda yaxshi eriydi. Metallarga nisbatan kam faol. R22 ning qaynashda va kondensatsiyalanishida issiqlik berishi R12 ga qaraganda 20...25% yuqori. Qaynash harorati -80°C va kondensatsiyalanish harorati $40...45^\circ\text{C}$ bo'lgan xladon 22 yirik, o'rta va kichik quvvatli sovitish qurilmalarida keng qo'llaniladi.

9.3. Sovitish koeffisienti.

Sovitish qurilmasining samaradorligini xarakterlash uchun sovitish koeffisientidan foydalaniladi, u quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l_s} \quad (9.1)$$

Yoki

$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2} \quad (9.2)$$

Agar siklda issiqlik uzatish va olib ketishning o'rtacha haroratlari to'g'risidagi tushunchadan foydalansak, u holda quyidagicha:

$$q_2 = T_{uza}^{o'rt} \Delta s; \quad q_1 = T_{o.k}^{o'rt} \Delta s$$

bu yerda $T_{uza}^{o'rt}$ - sovuq manbadan sovitish agentiga issiqlikni uzatishning o'rtacha harorati; $T_{o.k}^{o'rt}$ - sovitish agentidan issiq manbaga issiqlikni uzatishning o'rtacha harorati; Δs - siklning chetki nuqtalari orasida entropiyaning o'zgarishi. Ushbu munosabatlarni hisobga olsak, u holda ifodani quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$\varepsilon = \frac{T_{uza}^{o'rt}}{T_{o.k}^{o'rt} - T_{uza}^{o'rt}} \quad (9.3)$$

ε qiymat qancha yuqori bo'lsa, sovitish qurilmasining sikli shuncha samarali bo'ladi: ε qiymat qancha yuqori bo'lsa, shuncha kichik ish l_s sarflanadi.

Sovitish qurilmalari sovuqlik unumdorligi bilan xarakterlanadi, sovuqlik unumdorligi – vaqt birligi ichida sovitilayotgan ob'ektdan olib ketilgan issiqlik miqdoridir. Odatda sovuqlik unumdorligi $kJ/soat$ da o'lchanadi.

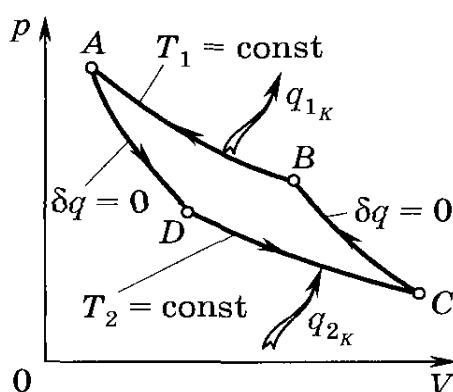
Teskari siklni amalga oshirish uchun zarur bo'lgan ish L va quvvat N quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$L = \frac{Q}{E}; \quad N = \frac{L}{1000}$$

bu yerda Q – sovuqlik unumdorligi (vaqt birligi ichida sovitilayotgan jismdan olib ketilgan issiqlik miqdori).

9.4. Karnoning teskari sikli.

9.2-rasmda Karnoning teskari sikli keltirilgan. To'g'ri sikldan farqli ravishda, uning AD qismida ishchi jism siqilmaydi, balki adiabat bo'yicha kengayadi. Bunda uning harorti T_1 dan T_2 gacha kamayadi. Keyingi DC qismda izotermik kengayish sodir bo'ladi, bunda ishchi jismdan sovuq manbaga q_{2K} issiqlik uzatiladi. Keyin CB adiabatik siqish sodir bo'ladi, unda ishchi jismning harorati T_2 dan T_1 gacha ortadi. Keyingi siqish izoterma bo'yicha issiq manbaga q_{1K} issiqlikni uzatish bilan sodir bo'ladi. Bunda ishchi jism dastlabki holatga qaytadi (A nuqta).



9.2-rasm. Karnoning teskari sikli.

Shunday qilib, to'g'ri siklniki kabi Karnoning teskari siklida ishchi jismning holatini o'zgarishi T_1-T_2 harorat oralig'ida sodir bo'ladi. 9.2-rasmdan ko'rinib turibdiki, ishchi jismning kengayganda bajargan foydali ishi ($l_{ADC}=ADC$ egri chiziq ostidagi maydon) siqishga sarflangan ishdan kichik, bu ish siklning yopiq chiziqlari bilan chegaralangan maydonga teng ($l_{BCA}=CBA$ egri chiziq ostidagi maydon). Demak, kengayish va siqish ishi orasidagi farq manfiy, ya'ni ish ichkaridan uzatilmoqda va siklni ish bajarishiga sarflanmoqda. Teskari siklni amalga oshirishga ishni sarflash natijasida sovuq manbadan issiqlikni olib ketish va issiq manbaga q_{2K} issiqlik (sovitish qurilmalarida) yoki q_{1K} issiqlik (issiqlik nasoslarida) miqdorini uzatish mumkin. Shu bilan birga issiq manbaga sikl ishiga ekvivalent issiqlik uzatiladi. Shunday qilib, issiq manba qabul qilgan umumiy issiqlik miqdori quyidagicha:

$$q_{1K} = q_{2K} + l_s \quad (9.4)$$

Karmoning teskari sikli sovitish qurilmalari yoki issiqlik nasoslarining ideal sikli hisoblanadi.

Bunday qurilmalarning samaradorligi sovitish koeffisienti ε_x yoki isitish koeffisienti K_{isi} yordamida aniqlanadi.

Karmoning teskari sikli uchun:

$$\varepsilon_{x_k} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (9.5)$$

$$T_{isi_k} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (9.6)$$

Shunday qilib, Karmoning teskari sikllarining sovitish koeffisienti ε_{x_k} va isitish koeffisienti T_{isi_k} faqatgina issiqlik manbalarining absolyut haroratlari T_1 va T_2 ga bog'liq va ishchi jismning xususiyatlariga bog'liq emas.

9.5. Sovitish qurilmalarining tasniflanishi.

Sovitish qurilmalari atrof-muhit haroratidan past haroratli ishchi muhitni uzluksiz va davriy ravishda sovuqlik bilan ta'minlaydi.

Qo'llaniladigan sovuqlik tashuvchilarning turlari bo'yicha sovitish qurilmalari ikkita asosiy guruhga bo'linadi: gazli va bug'li. Gazli sovitish qurilmalarida havo to'yinish holatidan ancha uzoqda bo'ladi. Gazli sovitish qurilmalarida ishchi jism sifatida turli moddalarning bug'lari qo'llaniladi, masalan ammiak NH_3 , uglerod ikki oksidi CO_2 , freonlar va hokazo. Gazli sovitish qurilmalari konstruksiyasi bo'yicha juda sodda, sovitish koeffisientining qiymati juda katta, ishlashda ishonchli va shuning uchun juda keng tarqalgan.

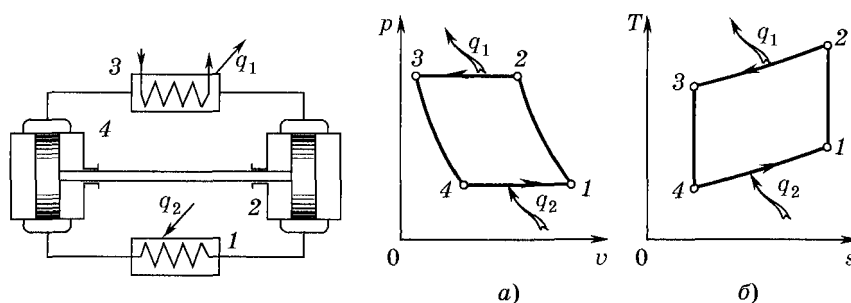
Bug'li sovitish qurilmalari bug' kompressorli, bug' ejektorli va absorbsion turlarga bo'linadi. Bug' kompressorli qurilmalarda ishchi jism mexanik ish bajaruvchi kompressorda siqiladi. Bug' ejektorli va absorbsion qurilmalarda past haroratlar olish uchun mexanik ish sarflanmaydi, balki qandaydir ishchi jismning issiqligidan foydalaniladi. Bug' ejektorli qurilmalar ko'pincha kosmik texnikada qayta sovitilgan suyuq kislorodni olish uchun qo'llaniladi. Absorbsion qurilmalar sodda, arzon, ishonchli va shuning uchun ular texnikada keng tarqalgan.

Alohida guruhga esa Pelte effekti bo'yicha ishlovchi termoelektrik sovitgichlar va uyurmaviy quvurlar kiritiladi. Bu qurilmalar sodda, ularda harakatlanuvchi qismlar yo'q, ammo sovitish koefisientining qiymati hozircha uncha yuqori emasligi sababli texnikada kam qo'llaniladi.

9.6. Havoli sovitish qurilmalarining sikllari.

Havoli sovitish qurilmasi – amaliyotda birinchi qo'llanilgan sovitish qurilmalaridan biridir. Bunday qurilmaning prinsipial sxemasi 9.3-rasmda ko'rsatilgan. Sovitilayotgan hajm 1 da joylashgan zmeevikdan havo kompressor 2 orqali so'riladi va adiabatik siqiladi. Natijada havoning harorati va bosimi ortadi, keyin issiqlik almashinuvi qurilmasi 3 ga kiritiladi, u yerda suv yordamida atrof-muhit haroratigacha sovitiladi. Keyin havo detander 4 da atmosfera bosimigacha kengayadi va foydali ish bajaradi. Detanderdan chiqqan havoning harorati -60 dan -70°C oralig'ida bo'ladi. Sovuq havo issiqlik almashinuvi qurilmasi 1 da sovitilayotgan jismdan issiqlikni olib, o'zi esa qiziydi. Keyin sikl takrorlanadi.

1 kg ishchi jism uchun sovitish qurilmasining siklini P-V va T-S diagrammalardagi ko'rinishi 8.4-rasmda ko'rsatilgan. Bu sikl quyidagi jarayonlardan tashkil topgan: 1-2 – havoni kompressorda siqilishi; 2-3 – issiqlik almashinuvi qurilmasida o'zgarmas bosimda havodan issiqlikni olib ketilishi; 3-4 – havoni detanderda kengayishi; 4-1 – sovitish kamerasida o'zgarmas bosimda havoga issiqlikni uzatilishi. 1-2 siqish va 3-4 kengayish jarayonlari adiabatik hisoblanadi. Shunday qilib, ideal sovitish qurilmasining sikli ikkita izobara (2-3 va 4-1) va ikkita adiabatadan (1-2 va 3-4) tashkil topgan.



9.3-rasm. Havoli sovitish qurilmasining prinsipial sxemasi.

9.4-rasm. Havoli sovitish qurilmasi siklining P-V va T-S diagrammalari.

Sovitish qurilmalarining samaradorligi sovitish koeffisientidan aniqlanadi:

$$\varepsilon_x = \frac{q_2}{l_s} = \frac{q_2}{q_1 - q_2} \quad (9.7)$$

4-1 izobarik jarayonda sovitilayotgan ob'ektdan havo yordamida olib ketilgan solishtirma issiqlik miqdori:

$$q_2 = i_1 - i_4 \quad (9.8)$$

Bu issiqlik miqdori 41ba4 maydonga mos keladi.

2-3 izobarik jarayonda tashqi muhitga (sovituvchi suvga) havo orqali berilgan issiqlik:

$$q_1 = i_2 - i_3 \quad (9.9)$$

Havoni issiqlik sig'imi o'zgarmas bo'lgan ideal gaz deb hisoblaymiz va (9.8) – (9.9) tenglamalarni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$q_2 = c_p (T_1 - T_4) \quad (9.10)$$

$$q_1 = c_p (T_2 - T_3) \quad (9.11)$$

Siklda sarflangan solishtirma ish:

$$l_s = q_1 - q_2 = c_p [(T_2 - T_3) - (T_1 - T_4)] \quad (9.12)$$

(9.10)-(9.12) tenglamalarni (9.7) ifodaga quyib quyidagini topamiz:

$$\varepsilon_x = \frac{T_1 - T_4}{(T_2 - T_3) - (T_1 - T_4)} = \frac{1}{\left(\frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_4}\right) - 1} \quad (9.13)$$

1-2 va 3-4 adiabatik jarayonlar uchun:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}; \quad \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (9.14)$$

Ma'lumki, $p_2=p_3$ va $p_4=p_1$, u holda:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \text{ yoki } \frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_4}$$

Bundan:

$$\frac{T_2 - T_3}{T_2} = \frac{T_1 - T_4}{T_1}$$

(9.14) formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_4}$$

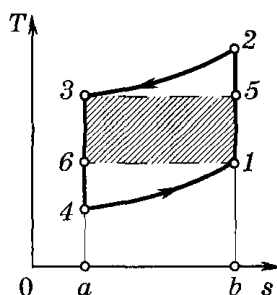
Oxirgi ifodani hisobga olib (9.13) formulani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

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

yoki

$$\varepsilon_x = \frac{1}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1} \quad (9.15)$$

Oxirgi tenglamadan shunday xulosa qilish mumkin, $k=const$ bo'lganda havoli siklning sovitish koeffisienti faqatgina bosimlar nisbatiga bog'liq bo'lar ekan.



9.5-rasm. Sovitish koeffisientini taqqoslash uchun.

Atrof-muhit va sovitish kamerasining haroratlari o'zgarmas bo'lganda havoli sovitish qurilmasining sikli qaytmasdir. Demak 2-3 va 4-1 izobarik jarayonlar haroratlarning oxirgi farqlarida sodir bo'ladi, bunda siklning nazariy sovitish koeffisienti doimo Karnoning teskari siklini sovitish koeffisientidan kichik bo'ladi, ya'ni ko'rilayotgan havoli sovitish qurilmasining sikliga qaraganda ko'proq issiqlik olib ketiladi (9.5-rasm):

$$a61ba \text{ maydon} > a41ba \text{ maydon}$$

Ushbu siklda sarflangan ish Karnoning teskari sikliga qaraganda ko'p bo'ladi:

$$1234 \text{ maydon} > 1536 \text{ maydon}$$

Demak, havoli sovitish qurilmasida sovitish koeffisienti ε_x , Karnoning teskari siklining ε_{xk} qiymatidan bir necha marta kam. Masalan, $t_1=20^{\circ}\text{C}$ va $t_2=-5^{\circ}\text{C}$, boshlang'ich bosim 1 bar bo'lganda $\varepsilon_x = 2,29$, $\varepsilon_{xk} = 10,7$ ga teng. Buni shunday izohlash mumkin, havoli sovitish qurilmalarida issiqlikni uzatish va olib ketish izoterma bo'yicha emas izobara bo'yicha amalga oshiriladi. Bunda issiqlikni olib ketilishida o'rtacha harorat atrof-muhit haroratidan ancha yuqori bo'ladi, issiqlikni uzatilishida o'rtacha harorat esa kichik bo'ladi. Bu kamchilik faqatgina bug' kompressorli sovitish qurilmasining sikligagina tegishlidir.

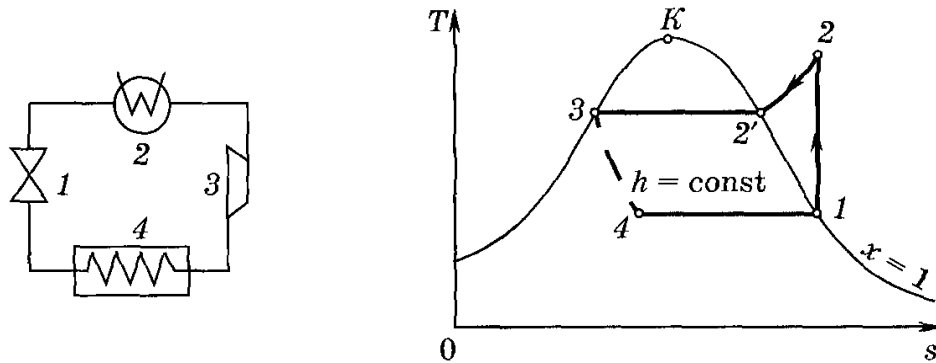
9.7. Bug' kompressorli sovitish qurilmalarining sikllari.

Bug' kompressorli sovitish qurilmalarida ishchi jism sifatida yengil qaynovchi suyuqliklar ishlatiladi, ularning ishchi sikli sovuqlik tashuvchilarning ikki fazali sohasida bo'lib, u yerda issiqlikni izobarik holda uzatish va olib ketish izotermik bilan ekvivalentdir, bu jarayonlarni qaytmasligi bilan bog'liq yo'qotilishlarni kamayishiga olib keladi.

Bug' kompressorli sovitish qurilmalarida havoli qurilmalardan farqlik ravishda detanderning o'rniga drossel (reduksion) ventil o'rnatiladi, bunda ochish darajasini o'zgartirish bilan sovitilayotgan hajmdagi harorat rostlanadi.

Bug' kompressorli sovitish qurilmasining prinsipial sxemasi 9.6-rasmda, siklning T-S koordinatadagi diagrammasi esa 9.7-rasmda ko'rsatilgan.

Qurilma quyidagi tartibda ishlaydi. Kompressor 3 da bug'ni adiabatik siqish sodir bo'ladi (1-2 jarayon). Kondensator 2 da sovitish agenti dastlab o'zgarmas bosimda soviydi (2-2' jarayon), keyin atrof-muhitga q_1 issiqlikni berib kondensasiyalanadi (2'-3 jarayon). Drossel ventili 1 da drossellanish jarayoni sodir bo'ladi (3-4 jarayon), bunda suyuqlik nam bug'ga aylanadi. Drossellanish jarayonida oxirgi bosim shunday tanlanadiki, ushbu bosimga mos keluvchi to'yinish harorati sovitilayotgan hajm haroratidan biroz past bo'ladi. Ventil 1 da drossellanish jarayoni qaytmasdir, shuning uchun T-S diagrammadagi 3-4 chizig'i shartli tasvirlangan.



9.6-rasm. Bug' kompressorli sovitish qurilmasining prinsipial sxemasi.

9.7-rasm. Bug' kompressorli sovitish qurilmasi siklining T-S diagrammasi.

Nam bug' drossel ventilidan keyin bug'latgich 4 ga yo'naltiriladi, u erda sovitilayotgan jismdan olingan issiqlik hisobiga nam bug' tarkibidagi suyuqlik bug'lanadi va nam bug'ning quruqlik darajasi ortadi. Bug'latgichda sovitish agentiga izobar-izotermik jarayonda issiqlik uzatish 4-1 chiziq bilan tasvirlanadi. Keyin sikl takrorlanadi.

Bug'ning kompressordan chiqishdagi 2 nuqtadagi holatiga bog'liq holda sikllar o'ta qizigan bug'li (9.7-rasm), to'yingan bug'li (2 nuqta quruqlik chizig'i $x=1$ da joylashadi) va nam bug'li (2 nuqta nam bug' sohasida joylashadi) bo'lishi mumkin.

Bu qurilma uchun sovitish koeffisienti quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\varepsilon_x = \frac{q_2}{l_s} \quad (9.16)$$

bu yerda $q_2 = i_1 - i_4$ – bug'latgichda bug'ning qabul qilgan solishtirma issiqlik miqdori (solishtirma sovuqlik unumdorlik); $l_s = i_2 - i_1$ kompressorda adiabatik siqishda sarflangan solishtirma ish.

Demak:

$$\varepsilon_x = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{T_1(s_1 - s_4)}{i_2 - i_1} \quad (9.17)$$

Solishtirma entalpiyalarning sonli qiymatlari sovitish agentlarining termodinamik xususiyatlari jadvalidan olinadi. Sovitish agentining xususiyati sovitish qurilmasining samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. (9.17) formuladan ko'rinib turibdiki, solishtirma entropiyalarning farqi qancha katta bo'lsa, ya'ni bug' hosil

bo'lish issiqligi r qancha katta bo'lsa, qurilmaning sovuqlik unumdorligi shuncha yuqori bo'ladi.

Bug' kompressorli sovitish qurilmalari sovitilayotgan hajmdagi haroratni 0 dan -120°C gacha ta'minlash uchun qo'llaniladi. Bunda siklning past harorati qurilmaning maqsadiga bog'liq holda loyiha topshirig'i bo'yicha beriladi, yuqori harorat esa kondensatorga kiritilayotgan sovituvchi suvning haroratidan aniqlanadi, uning qiymati 0 dan 30°C oralig'ida bo'ladi.

Ko'rilayotgan sovitish qurilmasining samaradorligini Karnoning teskari siklini samaradorligi bilan solishtirganda sovitish koeffisientlarining farqi juda kichik. Masalan, eng yuqori harorat 30°C va eng kichik harorat 15°C bo'lganda freon-12 da ishlovchi bug' kompressorli sovitish qurilmasining sovitish koeffisienti 4,72, Karnoning teskari siklida esa 5,74.

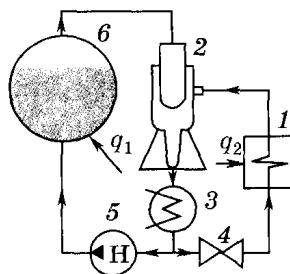
Bug' kompressorli sovitish qurilmalarining havoli sovitish qurilmalarining oldidagi boshqa afzalliklari ularning ixchamliligi va ancha arzonligi, ammo ularda juda jiddiy kamchilik – freondan foydalanishdir, freonni atmosferaga chiqib ketishi azon qatlamini buzilishiga olib keladi. Bu kamchilikni bartaraf etish uchun yangi va ekologik toza butan-propanli aralashmalarni qo'llash mumkin.

9.8. Bug' ejektorli sovitish qurilmasining sikli.

Bug' kompressorli sovitish qurilmalariniki singari bu qurilmada ham nam bug' ishlatiladi. Asosiy farq quyidagicha, sovitilayotgan hajmdan chiqqan bug' kompressorda emas bug'li ejektor yordamida siqiladi. Bunda 3 dan 10°C gacha harorat olish uchun sovitish agenti sifatida oddiy suv bug'idan foydalanish mumkin.

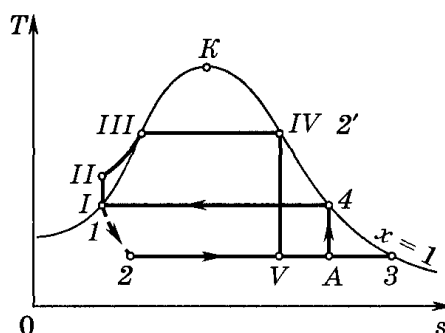
Bug' ejektorli sovitish tizimining prinsipial sxemasi 9.6-rasmda ko'rsatilgan. Bug'latgich 1 dan chiqqan bug' shaklidagi sovitish agenti ejektor 2 ning aralashtirish kamerasiga kiritiladi, u yerga bir vaqtning o'zida qozon 6 dan bug' uzatiladi. Kamerada hosil qilingan aralashma ejektor diffuzorida siqiladi va kondensator 3 ga kiritiladi, u yerda kondensasiyalanib bug' hosil bo'lish issiqligini beradi. Kondensatordan chiqqan suyuqlikning bir qismi reduksion ventil 4 da drossellanadi, u yerda bosim va haroratni tushishi sodir bo'ladi, qolgan qismi esa ta'minot nasosi 5

yordamida qozon 6 ga yo'naltiriladi, u yerda suyuqlik tashqaridan uzatilgan q_1 issiqlik yordamida qaytadan bug'ga aylanadi.



9.8-rasm. Bug' ejektorli sovitish qurilmasining prinsipial sxemasi. 1-bug'latgich; 2-ejektor; 3-kondensator; 4-reduksion ventily; 5-ta'minot nasosi; 6-qozon.

Bug' ejektorli sovitish qurilmasining bug' kompressorli sovitish qurilmasidan eng asosiy farqi kompressorni yuritish uchun elektr yoki boshqa dvigateldan mexanik energiya zarur bo'ladi, ejektorda bug'ni siqish uchun esa – qozonda hosil bo'lgan bug'ning kinetik energiyasi zarur bo'ladi.



9.9-rasm. Bug' ejektorli sovitish qurilmasining T-S diagrammasi.

Bug' ejektorli sovitish qurilmasining T-S koordinatadagi diagrammasi 8.9-rasmda tasvirlangan. 1-2 uziq chiziq yordamida reduksion ventilda to'yingan bug'ni shartli adiabatik drossellanish jarayoni tasvirlangan, 2-3 chiziq esa bug'latgichdagi izobar-izotermik jarayonga mos keladi. Tasvirlangan siklda hosil bo'lgan bug'ning bir qismi qozon-ejektor-kondensator-qozon tizimida sirkulyasiyalanadi, demak ikkita konturning har birida bug'ning sarfi turlicha bo'ladi. T-S diagrammada ikkita sikl ham 1 kg bug'ga hisoblab tasvirlangan. Bunda I-II – nasosda suvning bosimini ortish jarayoni, II-III-IV – qozonda issiqlikni izobarik ravishda uzatilishi; IV-V – bug'ni

ejektor soplosida V nuqtadagi parametrgacha kengayishi. Bu bug' keyin ejektorda bug'latgichdan chiqib kelayotgan bir xil bosimdagi bug' bilan aralashadi (3 nuqta). V holatidagi nam bug'ni 3 holatidagi quruq to'yingan bug' bilan aralashishi natijasida o'rtacha darajadagi quruqlikli bug' hosil bo'ladi (A nuqta). A-4 jarayon diffuzor ejektorida bug'ning ikkala oqimi bosimini ortishiga mos keladi, 4-1 jarayon esa kondensatorida bug'ni kondensasiyalanishiga mos keladi.

Suvni qozonga uzatuvchi nasos ishi hisobga olinmaganda va tashqaridan ish uzatilmaganligi hisobga olinsa, ko'rilayotgan hol uchun qurilmaning samaradorligi sovitish koeffisienti bilan baholanadi:

$$\varepsilon_x = \frac{q_2}{q_1} \quad (9.18)$$

bu yerda q_2 – sovitilayotgan hajmdan olib ketilgan solishtirma issiqlik; q_1 – qozonda ishchi jismga uzatilgan solishtirma issiqlik.

Bug' ejektorli sovitish qurilmalari konstruksiyasining soddaligi, ishlashda ishonchliliga va tashqi o'lchamlarini kichikligi bilan farqlanadi. Ammo ularning termodinamik samaradorligi uncha yuqori emas, ma'lumki ejektorda oqimlarni aralashish jarayoni energiyaning ko'p yo'qotilishi bilan sodir bo'ladi.

9.9. Absorbsion sovitish qurilmasining sikli.

Bug' kompressorli sovitish qurilmalaridan farqli ravishda bu qurilmalarda sovuq manbadan issiqlik manbaga issiqlikni uzatish tashqi manbadan uzatilgan ish hisobiga amalga oshiriladi, absorbsion sovitish qurilmalarida esa issiqlikni uzatish tashqi manbadan issiqlikni uzatish hisobiga amalga oshiriladi.

Absorbsion sovitish qurilmalarida ancha sovuq jismdan issiq (atrof-muhitga) jismga issiqlikni uzatish prinsipi yuqorida ko'rib o'tilgan qurilmalardan tamoman farq qiladi.

Havoli va bug' kompressorli sovitish qurilmalarida sovitish agentini siqish mexanik siqib haydash yo'li bilan amalga oshiriladi. Absorbsion sovitish qurilmalarida sovitish agentining bosimini oshirish termokimyoviy siqish yo'li

amalga oshiriladi, buning uchun atrof-muhitning haroratidan yuqori haroratli tashqi manbaning issiqligi sarflanadi.

Bunday qurilmalarda ishchi modda binar eritmalardan, ya'ni ikki moddaning eritmasidan foydalaniladi. Bunda bir modda past haroratda qaynaydi, ikkinchisi esa yuqori haroratda qaynaydi.

Past haroratda qaynovchi modda sovitish agenti funksiyasini bajaradi, yuqori haroratda qaynovchi modda – absorbent funksiyasini bajaradi.

Ma'lumki, belgilangan bosimda binar aralashmaning qaynash harorati eritmaning konsentrasiyasiga bog'liq. Binar eritma holatining fazaviy diagrammasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi (9.9-rasm).

$$C = \frac{M_1}{M_1 + M_2} \cdot 100\% \quad (9.19)$$

$$C' = \frac{M_2}{M_1 + M_2} \cdot 100\% \quad (9.20)$$

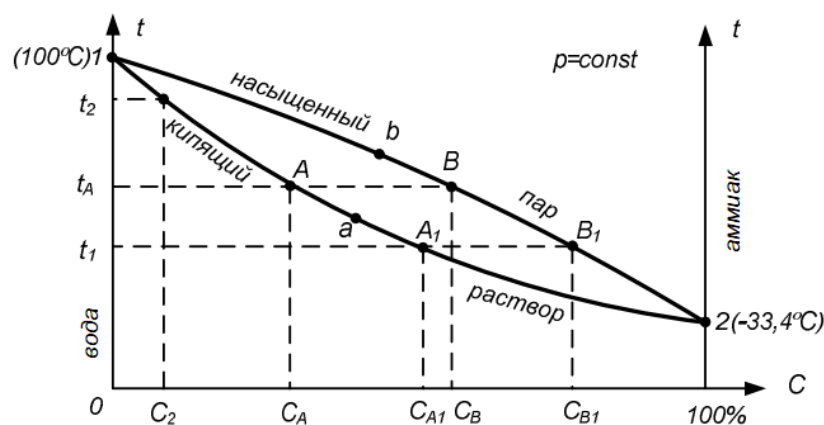
Bu yerda: C -sovitish agentining konsentrasiyasi; C' -absorbentning konsentrasiyasi, M_1 va M_2 – eritmaga kiruvchi moddalarning massalari; t -harorat.

1 nuqta toza absorbentning qaynash haroratini ifodalaydi, 2 nuqta esa – sovitish agentining qaynash (to'yinish) haroratini ifodalaydi.

Chegaraviy $1-a-2-b-1$ egri chiziq ikki fazali suyuqlik-bug' tizimining muvozanat holatini tasvirlaydi. Quyi pog'ona $1-a-2$ egri chiziq suyuq faza (qaynovchi eritma) holatiga mos keladi. Yuqori pog'ona $1-b-2$ egri chiziq gazsimon fazaga (quruq bug', bug'ning kondensasiyalanishi) mos keladi.

Agar quyi egri chiziqdagi A nuqta C_A konsentrsiyali eritmani qaynash holatiga mos kelsa, u holda bug' bilan muvozanatda joylashgan bug' holati B nuqtaga mos keladi. Diagrammadan ko'rinib turibdiki, eritmada ajralib chiqqan bug'ning konsentrasiyasi C_B dastlabki qaynayotgan eritmaning konsentrasiyasidan yuqori bo'ladi.

Ma'lumki, agar tizimda konsentrasiyasi C_{B1} (B_1 nuqta) va t_1 haroratli bug' olinsa, u holda bug'ning konsentrasiyasi C_{A1} bo'lgandagina qaynovchi eritma bilan dinamik muvozanatda bo'ladi.



9.10-rasm. Suv-ammiakli binar eritmaning fazaviy diagrammasi.

Eritmalarning konsentrasiyalari $C_2 < C_1$ bo'lganda B_1 nuqta holatidagi t_1 haroratli bug' o'ta soviydi va birdaniga eritmada kondensasiyalanadi. Bu bug'ni suyuqlik tomonidan yutilishini ifodalaydi, ya'ni bug'ning yutilishidir. Bunda kondensasiyalanish issiqligi t_2 haroratli suyuqlikka beriladi. Buning natijasida issiqlik past haroratli jismdan (yuqori konsentrasiyali bug') juda qizigan jismga (past konsentrasiyali suyuqlik) uzatiladi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq bu jarayon bir nechta to'ldiruvchi jarayonlar bilan amalga oshishi kerak. Bunday to'ldiruvchi jarayonda issiqlikning bir qancha miqdori atrof-muhitga uzatiladi.

Qaynatgich 1 da (9.11-rasm) C_1 konsentrasiyali binar aralashma joylashgan, u belgilangan p_2 bosimda t_2 haroratda qaynaydi. Harorat $t_g > t_2$ bo'lganda q_2 issiqlik uzatilganda qaynatgichda binar eritma qaynaydi va undan $C'_1 > C_1$ konsentrasiyali, p_2 bosimli va t_2 haroratli ammiakning quruq to'yingan bug'i ajralib chiqadi. Qaynatgichdan chiqqan bug' kondensator 2 da to'liq kondensasiyalanadi va sovituvchi suvga q_2 issiqlikni beradi. Kondensatordan p_2 bosimda va t_2 haroratdan chiqqan suyuq ammiak drossel 3 orqali o'tadi, uning harorati va bosimi t_1 va p_1 gacha pasayadi va ammiakning nam to'yingan bug'i sovitish kamerasiga kiritiladi, u erda izobar-izotermik jarayonda quriydi va soviyotgan jismdan $q_1 = q_x$ issiqlik o'ziga oladi. Keyin ammiak t_1 haroratda aborberga kiritiladi, u yerda drossel 7 orqali qaynatgichdan quyilayotgan past konsentrasiyali eritma mavjud. Absorber 5 da $p_1 < p_2$ bosim va t_2 harorat ta'minlanadi. Qaynoq binar eritmani sovuq $C'_1 > C_1$ li va $t_2 > t_1$ li ammiak bilan

to'qnashuvi natijasida absorberda binar aralashma tomonidan ammiakni jadal yutilishi (absorbsiya) sodir bo'ladi va eritmaning konsentratsiyasi ortadi. Keyin ushbu binar eritma nasos 6 yordamida qaynatgichga haydaladi.

Absorbsion sovitish qurilmasining samaradorligi issiqlik foydalanish koeffitsienti bilan xarakterlanadi:

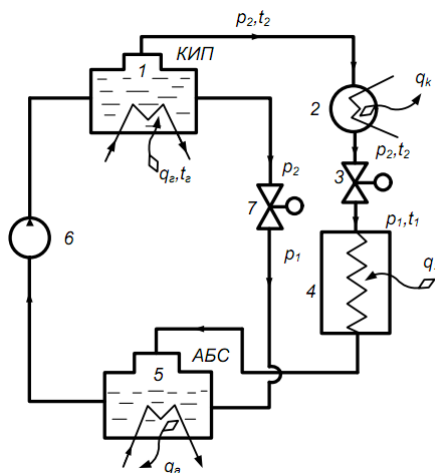
$$\xi = \frac{q_2}{q_g} = \frac{q_x}{q_g} = \frac{T_1}{T_g} \cdot \frac{T_g - T_0}{T_0 - T_1} \left[1 - \frac{T_g T_2 \Delta S^x}{q_g (T_g - T_0)} \right] \quad (9.21)$$

Issiqlikdan foydalanish koeffitsienti va haqiqiy sovitish koeffitsienti orasidagi bog'liqlik quyidagicha:

$$\xi = \frac{T_g - T_0}{T_g} \varepsilon_t \quad (9.22)$$

Issiqlikdan foydalanishning maksimal koeffitsienti $\Delta S^x = 0$ bo'lganda olinadi:

$$\xi_{maks} = \frac{T_1 (T_g - T_0)}{T_g (T_0 - T_1)} \quad (9.23)$$

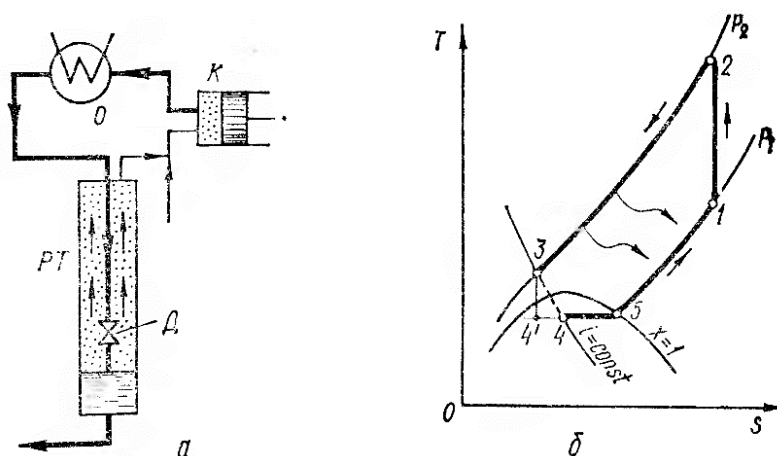


9.11-rasm. Absorbsion sovitish qurilmasining prinsipial sxemasi.

9.10. Chuqur sovitish sikli.

Yuqori darajadagi sovuqlik olish uchun, masalan gazlarni suyultirishda asosan ikkita usuldan foydalaniladi: adiabatik drossellash usuli (Linde usuli) va kengaytiruvchi qurilmada (detanderda) tashqi ish bajarish bilan adiabatik kengayish usuli (Klod usuli).

Yuqori darajadagi sovuqlik olish qurilmasining sxemasi va uning ish sikli 9.12-rasmda ko'rsatilgan. Suyultirishga keltirilgan gaz kompressor K yordamida p_2 bosimgacha siqiladi va sovitgich C ga kiritiladi, u yerda harorat o'zgarmas bosimda atrof-muhit haroratigacha pasayadi. Keyin gaz teskari oqimli regenerativ issiqlik almashinuvi qurilmasi RIAQ ga yo'naltiriladi, u yerda issiqlik almashinuvi qurilmasidan chiqayotgan gaz yordamida 3 holatgacha soviydi. Agar qurilma Linde usuli bo'yicha ishlasa dastlab sovitilgan gaz drossel D qurilmasida $h=const$ egri chizig'i bo'yicha drossellanadi (3-4 jarayon), agar qurilma Klod usuli bo'yicha ishlacha dastlab sovitilgan gaz detanderda adiabatik kengayadi.



9.12-rasm. Yuqori darajadagi sovuqlik olish qurilmasining sxemasi (a) va uning ish sikli (b).

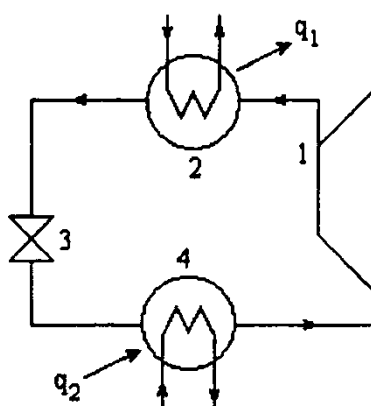
Klod usulida drossel D qurilmasi o'rniga maxsus kengaytiruvchi qurilma (Kapisa turbodetanderi) qo'llaniladi. Bunda reduksion qurilmadan ikki fazali aralashma (nam bug') chiqadi. Suyuq faza ajratiladi va ishlab chiqarishga yuboriladi, gazning suyuqlikka aylanmagan qismi esa regenerativ issiqlik almashinuvi qurilmasiga yuboriladi, u yerda gaz bilan birgalikda sovitgichdan kelayotgan gazning yangi porsiyasi ham sovitiladi (5-1 jarayon). t_1 haroratli va p_1 bosimli gaz yangi porsiya gazi bilan birgalikda qaytadan kompressorga so'riladi.

9.11. Issiqlik nasosining ishlash prinsipi.

Issiqlik nasosi qurilmasi yordamida past haroratli manbadan olinayotgan issiqlikni bevosita tashqi ish sarflab juda yuqori haroratli iste'molchiga uzatish

mumkin. Issiqlik nasosining ishlash prinsipi sovitish qurilmasining ishlash prinsipidan farq qilmaydi.

Issiqlik nasosining prinsipl sxemasi 9.13-rasmda ko'rsatilgan. Uning ishlash prinsipi quyidagicha. Kompessor 1 da sovitish agentini siqish orqali harorati oshiriladi. Kondensator 2 da bug'simon ishchi jismning kondensasiyalanishi sodir bo'ladi. Bunda ajralgan issiqlik q_1 isitish tizimida sirkulyasiyalanayotgan suyuqlikka uzatiladi. Drossel ventili 3 da ishchi jismning kondensati drossellanadi va uning bosimi va harorati pasayadi. Bug'latgich 4 da sovitish agentining harorati solishtirma issiqlik miqdori q_2 hisobiga ortadi.



9.13-rasm. Issiqlik nasosining prinsipl sxemasi.

Issiqlik nasosining ishlash samaradorligi isitish koeffisienti ε bilan xarakterlanadi va quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{q_1}{l} = \frac{q_2 + l}{l} \quad (9.24)$$

bu yerda q_1 – kondensator 2 da ishchi jismdan iste'molchiga berilgan solishtirma issiqlik miqdori; q_2 – bug'latgich 4 da ishchi jism tomonidan qabul qilingan solishtirma issiqlik miqdori; l – kompressorni yuritishga sarflangan solishtirma issiqlik miqdori.

Sovitish agenti sifatida past haroratda qaynayotgan (ammiak, karbonat angdrid, freon va hokazo) suyuqlik bug'laridan foydalanilganda issiqlik nasosining sikli bug' kompressorli sovitish qurilmasining siklidan farq qilmaydi. Ushbu sikldan shunday xulosa qilish mumkin:

$$q_1 = i_2 - i_4 = i_2 - i_5; \quad q_2 = i_1 - i_5$$

Shuningdek, drossellanish natijasida ishchi jismning entalpiyasi o'zgarmaydi, u holda:

$$i_4 = i_5$$

Demak,

$$l = q_1 - q_2 = (i_2 - i_5) - (i_1 - i_5) = i_2 - i_1 \quad (9.25)$$

Bundan

$$\varepsilon = \frac{q_1}{l} = \frac{i_2 - i_5}{i_2 - i_1} \quad (9.26)$$

Agar issiqlik nasosi Karnonning qaytar teskari sikli bo'yicha ishlasa, u holda sovitish koeffisienti quyidagiga teng bo'ladi:

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (9.27)$$

Issiqlik nasosli qurilmalari yashash xonalarini, jamoat binolarini va ishlab chiqarishning issiqlik ta'minoti uchun qo'llash mumkin. Hozirgi kunda issiqlik nasoslarining asosan uchta guruhi qo'llaniladi: kompressorli (bug'li), oqimli (ejektorli) va absorbsion.

9.12. Bug' kompressorli issiqlik nasosining sikli.

Kompressorli issiqlik nasosi qurilmasi ham yopiq ham ajralgan sxema bo'yicha ishlaydi. Yopiq sikl bo'yicha ishlovchi issiqlik nasosining sxemasi (9.14-rasm) prinsipial jihatdan bug' kompressorli sovitish qurilmasining sxemasidan farq qilmaydi. Ammo iste'molchilarni sovitish qurilmasi va issiqlik nasosi qurilmasi bilan birlashtirish turlicha usullarda amalga oshiriladi. Sovitish qurilmalarining sxemalarida iste'molchi (sovuqlik) bug'latgichga ulanadi, issiqlik nasosi qurilmasida esa iste'molchi (issiqlik) kondensatorga ulanadi.

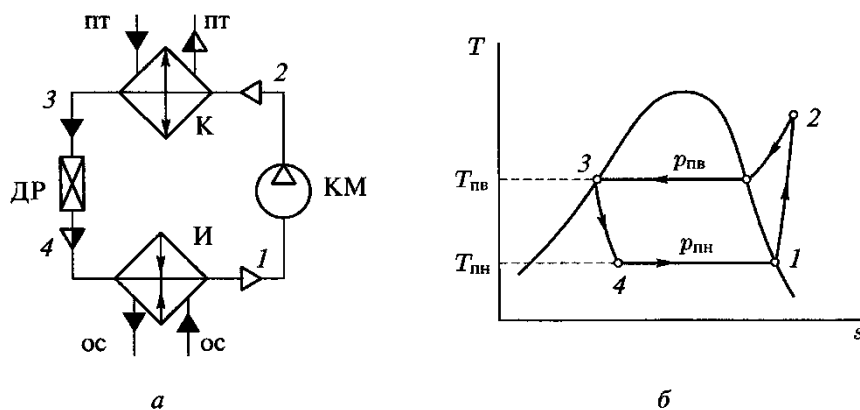
Atrof-muhit manbasidan $q_{u,p} = i_1 - i_4$ past potentsialli issiqlikni uzatish natijasida bug'latgich B da ishchi agentni $p_{u,p}$ bosimda va $T_{u,p}$ haroratda ishchi agentning qaynashi sodir bo'ladi (4-1 jarayon). Bug' 1 kompressor K ga kiritiladi, u yerda $p_{u,yu}$

bosimgacha siqiladi (1-2 jarayon) va bug'ning harorati ortadi. Bosimni ortishiga sarflangan ish quyidagiga teng bo'ladi:

$$l_{u,yu} = i_1 - i_2 \quad (9.28)$$

Keyin bug' 2 sovutiladi va $p_{u,yu}$ o'zgarmas bosimda va $T_{u,yu}$ haroratda kondensator Kon da kondensasiyalanadi (2-3 jarayon). Soviganda va kondensasiyalanganda $q_{u,yu} = i_3 - i_2$ issiqlik ajraladi va bu issiqlik iste'molchi tomonidan olib ketiladi. Kondensat 3 drossel-ventil DV 3 orqali o'tadi. Drossellanish jarayonida (3-4 jarayon) entalpiya o'zgarmasdan qoladi $i_4 = i_3$, bosim va harorat $p_{u,p}$ va $T_{u,p}$ gacha pasayadi. Keyin sikl takrorlanadi. Siklning umumiy ishi $l_s = q_s$. Ushbu holda $l_s = l_{u,yu}$, $q_s = q_{u,yu} + q_{u,p}$.

O'ta qizigan bug' sohasida ishlovchi sikllarda drossel-ventil o'rniga kengaytiruvchi qurilma (turbina yoki detander) o'rnatiladi, u holda siklning ishi quyidagiga teng bo'ladi: $l_s = l_{u,yu} + l_{u,p}$. Qolgan barcha jarayonlar va formulalar drossel-ventilli siklniki kabi qoladi.



9.14-rasm. Yopiq siklli bug' kompressorli issiqlik nasosi qurilmasi: a-prinsipial sxemasi, b-T-S koordinatalardagi sikli.

Issiqlik nasosi qurilmasining asosiy termodinamik xarakteristikasi bu o'zgartirish koeffisienti (transformasiyalash koeffisienti) hisoblanadi, bu koeffisient iste'molchiga uzatilgan issiqlik miqdorini siklga sarflangan ishning nisbatidan aniqlanadi:

$$\varphi = \frac{q_{u,yu}}{l_s} \quad (9.29)$$

Ma'lumki $q_{u,yu}$ va l_s qiymatlar doimo manfiy, demak o'zgartirish koefficienti musbat ishoraga ega. O'zgartirish koefficienti har doim birdan katta bo'ladi. Shunday qilib, issiqlik nasosi qurilmasi yordamida iste'molchi har qanday boshqa qizdirish usuliga qaraganda ko'p miqdordagi issiqlikka ega bo'ladi.

Agar nisbat $T_{u,yu} / T_{u,p} \approx 1$ bo'lsa, issiqlik nasosi qurilmalarini qo'llash afzaldir. Ushbu holda issiqlik nasosi qurilmasi ishlab chiqarilgan issiqlik birligiga nisbatan $2 \div 2,5$ marta kam energiya sarflaydi (elektr qizdirish qurilmasiga nisbatan).

Agar issiqlik nasosi qurilmasi Karnoning teskari sikli bo'yicha ishlasa, u holda o'zgartirish koefficienti quyidagiga teng bo'ladi:

$$\varphi_K = \frac{T_{u,yu}}{T_{u,yu} - T_{u,p}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{T_{u,p}}{T_{u,yu}}\right)} \quad (9.30)$$

Ushbu ifodadan ko'rinib turibdiki, $T_{u,yu}$ va $T_{u,p}$ orasidagi farq qancha kichik bo'lsa, o'zgartirish koefficienti shuncha yuqori bo'ladi. Masalan, agar $T_{u,yu}=293$ K va $T_{u,p}=393$ K bo'lsa, u holda $T_{u,yu} / T_{u,p} = 1,3 \approx 1$, yoki $\varphi_K = 4$; agar $T_{u,yu}=293$ K va $T_{u,p}=523$ K bo'lsa, u holda $T_{u,yu} / T_{u,p} = 1,8 \approx 2$, yoki $\varphi_K = 2$.

Aylanma suv ta'minoti tizimlarida yil davomidagi harorat $(+20...+30)^{\circ}\text{C}$ bo'ladi, bu tizimlar issiqlik nasosi qurilmasi uchun asosiy issiqlik manbai hisoblanishi mumkin. Bug'latish, quritish, haydash va shamollatish jarayonlarining tashlandi issiqligini issiqlik nasosi qurilmasi yordmida utilizatsiyalash maqsadga muvofiqdir.

Turli haroratli past potensilli issiqlikni utilizatsiyalovchi va turli haroratli issiqlikni iste'molchiga uzatuvchi issiqlik nasosi qurilmasini taqqoslash uchun φ kattalikdan foydalanish noqulay. Ushbu maqsadlar uchun eksergetik FIK dan foydalaniladi:

$$\eta_e = \frac{e_{u,p}}{e_{u,yu}} \quad (9.31)$$

bu yerda $e_{u,yu}$ – kondensatordagi issiqlik oqimining eksergiyasi; $e_{u,p}$ – issiqlik nasosini ishlash uchun zarur bo'lgan uzatilgan eksergiya.

$$e_{u.p} = q_{u.yu} \left(1 - \frac{T_{a.m}}{T_{u.yu}} \right) = q_{u.yu} \tau_e$$

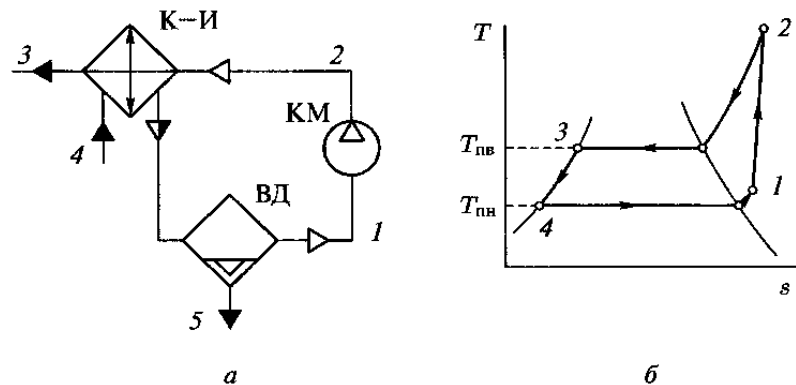
$$e_{kir} = l_s$$

Bundan

$$\eta_e = \varphi \tau_e \quad (9.32)$$

Agar $T_{u.p} = T_{a.m}$ bo'lsa, Karno sikli uchun $\eta_e = 1$.

Issiqlik nasoslarining ishchi agentlarining atmosfera bosimidagi qaynash harorati past bo'lishi, kichik solishtirma hajmga ega bo'lishi, yuqori bug' hosil bo'lish issiqligiga, yuqori bosimlarda kondensasiyalanish harorati yuqori bo'lishi, zaharsiz bo'lishi, korrozion faol bo'lmasligi va arzon bo'lishi kerak.



9.15-rasm. Alohida sikli bug' kompressorli issiqlik nasosi qurilmasi: a-sxemasi; b-T-S koordinatalardagi sikli.

Issiqlik nasosi qurilmalarida ishchi agent sifatida freon-11, freon-21, freon-113, freon-114, freon-142, suv va boshqa moddalar qo'llaniladi. Hozirgi vaqtda ozongacha xavfsiz freonlarlar ishlab chiqilgan va qo'llanilmoqda.

Bug'latgichga issiqlik bergich (issiqlik manbasi) quyidagilar bo'lishi mumkin: tashqi havo, tabiiy suv havzalaridagi suv va yer. Agar issiqlik manbasi mahsulot, yarim mahsulot yoki sanoat ishlab chiqarish chiqindilari bo'lsa, u holda issiqlik nasosi qurilmasi ishlashining energetik samaradorligi $T_{u.p} > T_{a.m}$ hisobiga nafaqat ortadi, balki tashlandi issiqlik utilizasiyalanadi.

Alohida siklda ishchi jismning bug'lanishi va kondensasiyalanishi bitta texnologik moslamada sodir bo'ladi. Issiqlik nasosi qurilmasining sxemasi ancha

soddalashadi. Bunday issiqlik nasosi qurilmalari odatda termokompressorli issiqlik nasosi deb ataladi. Ular bug'latish va quritish jarayonlarida issiqlikni utilizatsiyalash va oqava suvlarni konsentrsiyalash uchun suv bug'i yoki havoning parametrlarini oshirish uchun qo'llaniladi.

K-B moslamasiga (9.15-rasm) suyuqlik 4 oqimi uzatiladi. Suyuqlik qisman bug'lanadi, $p_{u,p}$ bosimda va $T_{u,p}$ haroratda bug' 1 hosil bo'ladi. Bug'lanishga $q_{u,p}=i_1-i_4$ issiqlik sarflanadi. Bug' 1 kompressor Kom yordamida $p_{u,p}$ bosimdan $p_{u,yu}$ bosimgacha siqiladi (1-2 jarayon), bunda $l_{kom}=i_1-i_2$ ish sarflanadi. Bug' 2 $T_{u,p}$ kondensasiyalanish haroratigacha sovitiladi va $q_{u,yu}=i_3-i_2$ issiqlik ajraladi. Bu jarayon kondensator-bug'latgichda K-B sodir bo'ladi, u yerda bug' 2 ni kondensasiyalanish issiqligi oqim 4 da bug' 1 ni hosil bo'lishiga sarflanadi. Sikldan kondensat 3 chiqariladi. Qolgan oqim 5 namlik ajratgich NA orqali chiqarib yuboriladi. Siklning material balansi quyidagicha:

$$m_4 = m_5 + m_1 \quad (9.33)$$

bu yerda m_4 va m_5 – oqimlar 4 va 5 ning massaviy sarflari; $m_1=m_2=m_3$ – bug' 1 ning sarfi; bug' 1 siklning ishchi agenti hisoblanadi. Qolgan barcha hisoblash formulalari yopiq siklniki kabi bir xil bo'ladi.

Issiqlik quvvati 400 kVt gacha bo'lgan kompressorli issiqlik nasosining har qanday sxemasida porshenli kompressorlar keng qo'llaniladi. Katta quvvatli issiqlik nasosi qurilmalarida vintli, markazdan qochma va o'qiy kompressorlar qo'llaniladi.

Kompressorli issiqlik nasoslari nisbatan yuqori FIK va kichik o'lchamga ega. Ularning kamchiligi qimmatligi va tayyorlash qiyinligi, shuningdek bosimni oshirish uchun ko'p miqdorda mexanik energiya zarur bo'ladi. Bunday issiqlik nasosi qurilmalarining qo'llanilish sohasi – kichik bosimda yuqori unumdorlik uchun qo'llaniladi. Hozirgi kunda bunday issiqlik nasosi qurilmalari issiqlik va sovuqlik ta'minotida, texnologik jarayonlarda keng qo'llaniladi.

9.13. Bug' ejektorli issiqlik nasosining sikli.

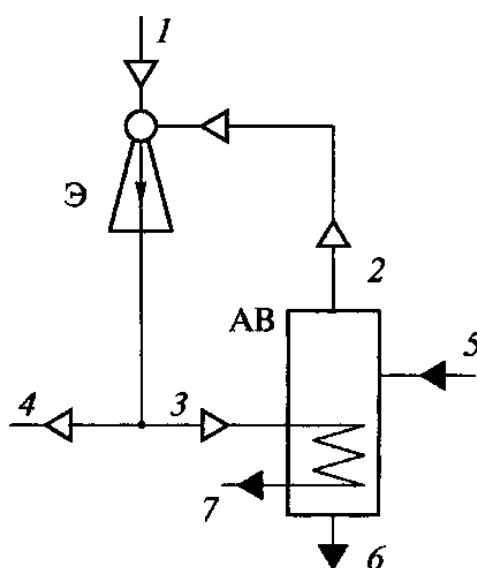
Bug' ejektorli issiqlik nasosi qurilmasi faqatgina alohida sxema bo'yicha ishlaydi. Ularda bug' ejektorlari qo'llaniladi, bug' ejektorlari ishlash prinsipi bo'yicha

oqimli vakuum nasosga o'xshashdir. Bug' ejektorlarida yuqori bosimli bug' yordamida so'rilayotgan oqimni kerakli bosim va haroratgacha siqish sodir bo'ladi. Ejektordan chiqish va kirish bosimlari nisbati 1,2 dan 4 gacha oraliqda bo'ladi.

9.16-rasmda bug' ejektorli issiqlik nasosining sxemasi ko'rsatilgan. Rasmda ko'rsatilgan bug' ejektorli issiqlik nasosi bug'latish jarayonida ikkilamchi bug' issiqligini utilizatsiyalash uchun qo'llanilishi mumkin.

Ko'p korpusli qurilmalarda ejektor har qaysi korpusdan keyin o'rnatilishi mumkin. So'rilayotgan bug'ning bosimi qancha past bo'lsa, issiqlik shuncha ko'p utilizatsiyalanadi, ammo siqishga ko'p energiya talab etiladi. Ejektorni o'rnatilish joyi texnik-energetik hisoblar asosida aniqlanadi.

Oqimli issiqlik nasosi qurilmalarini tayyorlash oson va xizmat ko'rsatishda qulay, ixcham va arzon. Bu qurilmaning asosiy kamchiligi qurilmaning FIK kichik (taxminan 20...25%).

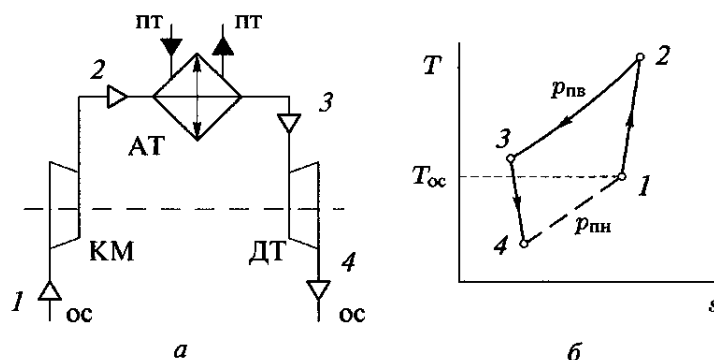


9.16-rasm. Bug' ejektorli issiqlik nasosining prinsipial sxemasi. E-bug' oqimli ejektor; BQ-bug'latish qurilmasi; 1-yuqori parametrli ishchi bug'; 2-past haroratli bug'; 3-qizdiruvchi bug'; 4-o'rta parametrli ortiqcha bosim; 5-suyuq eritma; 6-konsentrsiyalangan eritma; 7-qizdiruvchi bug' kondensati.

Oqimli issiqlik nasosi qurilmalari ifloslangan suyuqliklarning issiqligini, bug'latish qurilmalarining ikkilamchi bug'ini utilizatsiyalash uchun qo'llaniladi.

9.14. Havoli issiqlik nasosi sikli.

Yuqorida ko'rib chiqilgan issiqlik nasoslarida ishchi agent sifatida turli moddalarning bug'laridan foydalaniladi. Ammo ishchi agent sifatida havodan ham foydalanish mumkin. Havoda ishlovchi issiqlik nasoslarining ikkita modifikatsiyasi mavjud: musbat sikl va manfiy sikl.



8.17-rasm. Musbat siklli havoli issiqlik nasosi: a-sxemasi; b-T-S koordinatadagi sikli.

Musbat siklda, sikl Braytonda (8.17-rasm) havo kompressor yordamida 1 holatgacha so'riladi, u yerda havo siqiladi va harorat 2 holatgacha ortadi, keyin issiqlik almashinuvi qurilmasi IAQ da 3 holatgacha soviydi, keyin turbinada (turbodetander) TD 4 holatgacha kengayadi. Ma'lumki, $T_4 < T_1$, keyin sovuq havo atmosfera havosining issiqligi yoki biror bir sovutilayotgan ob'ektning issiqligi hisobiga T_1 holatgacha qiziydi, bu sikldagi 4-1 chiziq bilan ifodalanadi. Shuningdek turbina kompressor bilan bitta valda joylashgan, turbina kompressorni yuritishga sarflangan quvvatni bir qismini valga qaytaradi. Bunday issiqlik nasoslarini konvektiv quritgichlar bilan birga qo'llash maqsadga muvofiqdir. Ushbu qurilma uchun o'zgartirish koeffisienti:

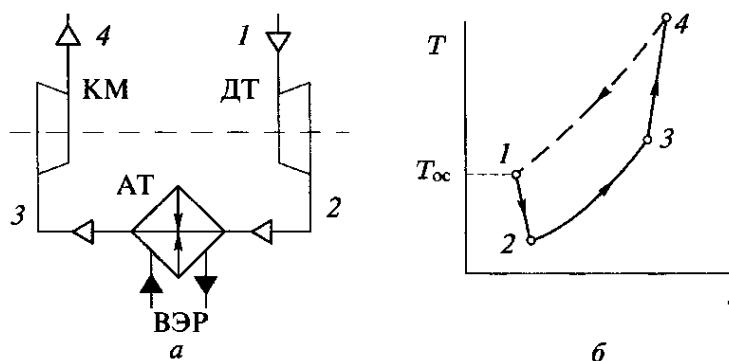
$$\varphi = \frac{Q_{iaq}}{N_{kom} + N_{de}} \quad (9.34)$$

bu yerda Q_{iaq} – issiqlik almashinuvi qurilmasida berilgan issiqlik; N_{kom} , N_{de} – kompressor va detanderning quvvati.

Detander va kompressorning takomillashganlik darajasi qancha yuqori bo'lsa, φ ham shuncha yuqori bo'ladi. Hozirgi vaqtda o'qiy ko'p pog'onali

kompressorlarning FIK 0,9, turbodetanderniki esa 0,92 bo'lsa, ko'pgina issiqlik nasosi qurilmalarida o'zgartirish koeffisienti $\varphi > 2$. Ushbu siklda havoning bosimi atmosfera bosimidan kompressorda siqilgan bosimgacha ortadi.

Ikkinchi tur modifikasiyada havo detanderga kiritiladi, u yerda kengayib soviydi va kompressorda atmosfera bosimigacha siqiladi. Ushbu manfiy sikl 1852 yilda V. Tomson (Kelvin) tomonidan taklif qilingan. Hozirgi vaqtda havoli detanderlarni takomillashishi bunday qurilmalarning FIK ni ortishiga olib keldi. Bundan tashqari, kontaktli havo qizdirgichlar takomillashdi, kontaktli havo qizdirgichlarda sovuq atmosfera havosi suv bilan bevosita to'qnashishi hisobiga qiziydi. Bunday qurilmalarni isitishning barcha hollarida qo'llash maqsadga muvofiqdir.



8.18-rasm. Manfiy havoli issiqlik nasosi: a-sxemasi; b-T-S koordinatadagi sikli.

Manfiy siklning sxemasi 8.18-rasmda ko'rsatilgan. Atmosfera havosi 1 (masalan $t_1 = -10^{\circ}\text{C}$ haroratli) detander D ga kiritiladi. Kengaygandan so'ng (1-2 jarayon) sovuq havo (masalan $t_2 = -15^{\circ}\text{C}$ haroratli) qizdirgichga IAQ uzatiladi, u yerda $+6^{\circ}\text{C}$ haroratgacha qizdiriladi (2-3 jarayon), masalan oqava suv bilan. Qizdirilgan havo 3 kompressor Kom yordamida atmosfera bosimigacha siqiladi (3-4 jarayon), bunda havoning harorati isitish va shamollatish maqsadlari uchun zarur bo'lgan qiymatgacha, masalan $t_4 = +18^{\circ}\text{C}$ haroratgacha ortadi.

Ushbu qurilmaning o'zgartirish koeffisienti:

$$\varphi = \frac{Q_{iaq}}{N_{kom} + N_{de} + N_{nas}} = \frac{I_1 - I_4}{N_{kom} + N_{de} + N_{nas}} \quad (9.35)$$

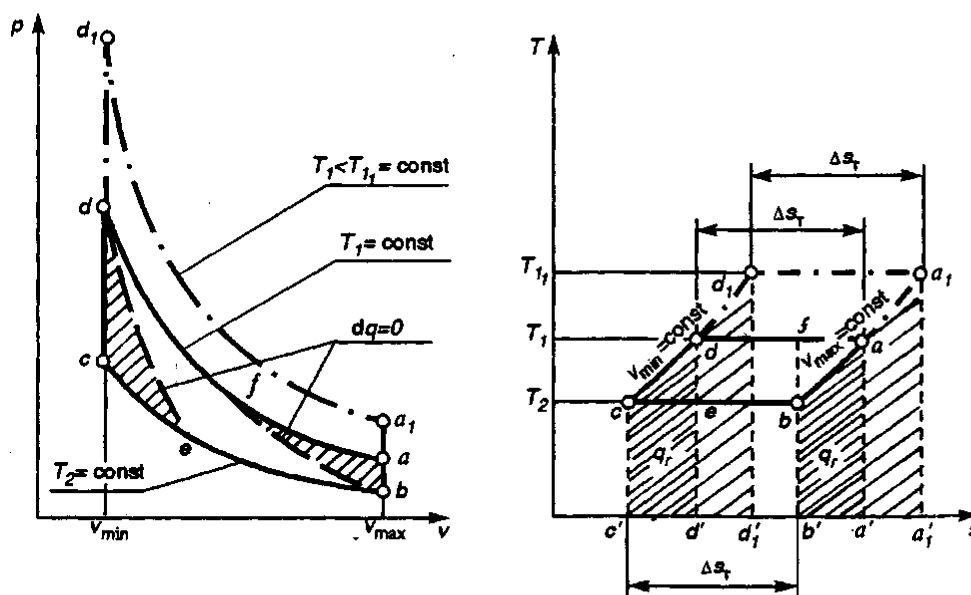
bu yerda Q – issiqlik nasosida olingan issiqlik; I_4 va I_1 – havoning issiqlik nasosiga kirishdagi va undan chiqishdagi entalpiyasi; N_{kom} , N_{de} , N_{nas} – kompressor, detander va suvni uzatuvchi nasosning quvvati.

Manfiy siklning samaradorligi tashqi havo haroratini ortishi, shuningdek ikkilamchi energiya manbalarining haroratini ortishi bilan ortadi. Ushbu sxemada nafaqat havoni qizdirish amalga oshiriladi, balki bu qurilma ventilyator funksiyasini ham bajaradi, unda bir vaqtning o'zida havo changdan tozalanadi va namlanadi.

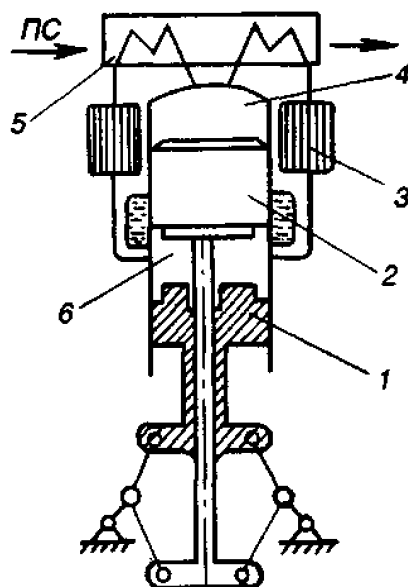
Musbat va manfiy sikllarni taqqoslashdan shunday xulosa qilish mumkinki, manfiy sikl uchun o'zgartirish koeffisienti musbat siklga nisbatan bir necha marta yuqori, ammo uni ekspluatasiya qilish juda qiyin.

9.15. Stirling sikli.

Stirling sikli 1816 yilda taklif etilgan bo'lib, uzoq vaqt davomida faqatgina nazariyada qolib ketdi. Ushbu sikl yordamida haroratning belgilangan oralig'ida Karno siklining FIK ga yaqin FIK ni olish mumkin. Siklni amaliyotga tadbiq qilish qator texnologik qiyinchiliklarni yengishni talab etadi, ammo o'tgan asrning o'ttizinchi yillarida yirik firmalar Stirlingning to'g'ri va teskari sikllari bo'yicha ishlovchi dvigatellarni va sovitish qurilmalarni yaratishdi.



9.19-rasm. Stirling va Karno sikllarini P-V va T-S diagrammalari.



9.20-rasm. Stirling dvigatelining sxemasi. 1-ishchi porshen; 2-siqib chiqargich; 3-regenerator; 4-qaynoq qism; 5-“yonish mahsulotlari – ishchi jism” issiqlik almashinuvi qurilmasi; 6-sovuq qism; YoM – yonish mahsulotlari.

Stirling sikliga asosiy qiziqish atrof-muhitni himoyalash muammosi bilan bog'liq edi. Bunday turdagi dvigatellarda yonish dvigatelning o'zidan tashqarida amalga oshirilardi va tabiat uchun juda kichik xavf tug'dirardi.

Stirlingning to'g'ri *abcd*a siklni ko'rib chiqamiz (8.20-rasm). Ushbu sikldagi ishchi jism Klapeyron tenglamasiga bo'ysunadi va o'zgarmas issiqlik sig'imiga ega deb hisoblaymiz. Ishchi jism o'zgarmas. Sikl ikkita izoterma va ikkita izoxoradan tashkil topgan, ya'ni izoxorik jarayonlarning issiqligi to'liq regenerasiyalanadi. Stirling dvigatelining sxemasi 9.20-rasmda ko'rsatilgan.

Dastabki holatda ishchi porshen 1 va siqib chiqargich 2 quyi chetki holatda joylashadi, ishchi jism esa qaynoq qism 4 da joylashadi. *ab* jarayonda siqib chiqargich yuqoriga harakatlanadi, natijada ishchi jism regenerator 3 orqali qaynoq qismdan ishchi porshen ustidagi sovuq qism 6 ga o'tadi. Siqib chiqargich ustidagi hajmi kamayishi, siqib chiqargich ostidagi hajmi ortishi bilan to'ldiriladi, demak jarayon o'zgarmas bosimda sodir bo'ladi. Ishchi jism regenerator orqali o'tganda regenerator q_{reg} issiqlikni utilizasiyalaydi, ishchi jism esa T_1 dan T_2 gacha soviydi. U holda:

$$q_{ab} = q_{reg} = c_v(T_2 - T_1) \quad (9.36)$$

bc jarayonda o'zgarmas T_2 haroratda ishchi jismdan sovuq qismning issiqlik o'tkazuvchi devori orqali atrof-muhitga quyidagi miqdordagi issiqlik uzatiladi:

$$q_2 = T_2 \Delta S_T = RT_2 \ln(v_{\max} / v_{\min}) \quad (9.37)$$

Gazni siqish ishchi porshenni yuqoriga harakatlanishida amalga oshiriladi.

cd va *ab* jarayonlar izoxorik. Siqib chiqargich ishchi porshen yo'nalishida pastga harakatlanda ishchi jism regenerator orqali qaynoq qismga o'tadi va undan oldin olingan q_{reg} issiqlik ishchi jismga qaytariladi. Izoxorik jarayonda issiqlik uzatishni mavjudligi sababli ishchi jismning bosimi va harorati ortadi va *d* nuqta eng yuqori qiymatga ega bo'ladi, ya'ni $T_d = T_1$.

da jarayon ishchi jism kengayishini ifodalaydi, bunda ishchi jismga qaynoq qismga o'zgarmas T_1 haroratda q_1 issiqlik uzatiladi. 8.20-rasmda ko'rsatilganidek, bu issiqlik ishchi jismni "yonish mahsulotlari-ishchi jism" issiqlik almashinuvi qurilmasi orqali o'tganda uzatiladi. Jarayonning oxirida, ya'ni ikkila porshen birgalikda pastga harakatlanganda ishchi jismning hajmi dastlabki hajmga teng bo'ladi. Keyin sikl takrorlanadi.

Siklda eng yuqori harorat va bosimni haqiqiy qiymatlari 1000÷1400 K va 10÷20 MPa ni tashkil etadi. Ishchi jism sifatida havodan tashqari vodorod va geliy ishlatiladi. Ichki ishchi bo'shliqni ishonchli germetikligini ta'minlash qiyinligi Stirling dvigatellarining asosiy kamchiligi hisoblanadi. Ammo ularning yoqlg'ini tanlamasligi, chiqib ketayotgan gazlarning zaharliligi kichikligi ishlashda kam shovqinliligi Stirling dvigatellarini istibolligi ekanligini saqlaydi.

Nazorat savollari.

1. Sovitish qurilmalari qaerlarda qo'llaniladi?
2. Sovitish qurilmalarining ishlash prinsipini tushuntiring?
3. Sovitish qurilmasining ideal siklini tushuntiring?
4. Sovuqlik tashuvchilar qaerlarda qo'llaniladi?
5. Sovitish koefficienti qanday aniqlanadi?
6. Teskari siklni amalga oshirishdagi ish qanday aniqlanadi?

7. Karnoning teskari siklini tushuntiring?
8. Karnoning teskari sikli uchun sovuqlik unumdorligi qanday aniqlanadi?
9. Sovitish qurilmalarining qanday turlarini bilasiz?
10. Sovitish qurilmalari qachon paydo bo'lgan?
11. Havoli sovitish qurilmalarining ishlash prinsipini tushuntiring?
12. Havoli sovitish qurilmalarining siklini tushuntiring?
13. Bug' kompressorli sovitish qurilmasining ishlash prinsipini tushuntiring?
14. Bug' kompressorli sovitish qurilmasining siklini tushuntiring?
15. Bug' ejektorli sovitish qurilmasining ishlash prinsipini tushuntiring?
16. Bug' ejektorli sovitish qurilmasining siklini tushuntiring?
17. Absorbsion sovitish qurilmasining siklini tushuntiring?
18. Absorbsion sovitish qurilmasining ishlash prinsipini tushuntiring?
19. Chuqur sovitish qurilmasining ishlash prinsipini tushuntiring?
20. Chuqur sovitish qurilmasining siklini tushuntiring?
21. Issiqlik nasosining ishlash prinsipini tushuntiring?
22. Issiqlik nasosining isitish koeffisientini tushuntiring?
23. Bug' kompressorli issiqlik nasosini ishlash prinsipini tushuntiring?
24. Bug' kompressorli issiqlik nasosining siklini tushuntiring?
25. Bug' ejektorli issiqlik nasosini ishlash prinsipini tushuntiring?
26. Bug' ejektorli issiqlik nasosining siklini tushuntiring?
27. Havoli issiqlik nasosini ishlash prinsipini tushuntiring?
28. Havoli issiqlik nasosining siklini tushuntiring?
29. Stirling dvigatelini ishlash prinsipini tushuntiring?
30. Stirling siklini ishlash prinsipini tushuntiring?

X-BOB. ATOM ELEKTR STANSIYALARINING SIKLLARI.

10.1. AES to'g'risida umumiy ma'lumot.

Insonlar energiyaning saqlanish qonunini buzmasdan energetik qurilmalar yordamida tabiiy energetik manbalardan foydalanib kerakli energetik samarani olishi mumkin. Issiqlik elektr stansiyalarida bunday tabiiy manbalar sifatida organik yoqilg'ilardan foydalaniladi. Yoqilg'i yonganda kimyoviy energiya ajralib chiqadi va bu energiya yonish mahsulotlarining issiqlik energiyasiga aylanadi.

Atom elektr stansiyalarida tabiiy manbalar sifatida yadroviy yoki noorganik yoqilg'ilardan foydalaniladi. Og'ir yadrolarning yadroviy parchalanish reaksiyalarida yoki engil yadrolarning sintezi natijasida yadroviy energiya ajralib chiqadi.

Zamonaviy atom elektr stansiyasi og'ir yadrolarning neytronli reaksiyalarining yadroviy reaksiyalariga asoslanadi. Organik yoqilg'ilarni yonishining kimyoviy reaksiyasidan farqli ravishda yadroviy reaksiyalarda reaksiyaning dastlabki va oxirgi mahsulotlari kislorod, havo yoki boshqa tashqi moddalar talab qilmaydi.

Ajralib chiqqan yadroviy energiya parchalanish bo'laklari va neytronlari orasidagi kinetik energiyaga va nurlanish energiyasiga taqsimlanadi. Reaktorning aktiv zonasidagi moddada bo'laklar to'xtaydi, nurlanish yutiladi va uchuvchi neytronlarning energiyasidan tashqari barcha energiya issiqlikka aylanadi. Bunday boshqarilmaydigan zanjirli reaksiya juda tez sodir bo'ladi (atom bombasini portlashi), ushbu issiqlik portlash zonasida haroratni million gradusga ortib ketishiga olib keladi. Atom elektr stansiyalarining reaktorida reaksiya rostlanadi, yoqilg'ini yonishi sekinlashtiriladi, reaksiya zonasidagi issiqlik suyuq yoki gazsimon issiqlik tashuvchilar bilan sovitish hisobiga olib ketiladi.

Yadroviy reaksiyalarning sodir bo'lishida parchalanish haroratga bog'liq emas, bu nuqtai nazardan reaktorning aktiv zonasida har qanday harorat ta'minlanishi mumkin. Termodinamika nuqtai nazaridan qizdirgich yuqori haroratga ega bo'lishi kerak, ammo uning haroratini ortishi qurilmaning barcha konstruksion materiallarning issiqlik bardoshligi bilan chegaralanadi.

Hozirgi vaqtda atom elektr stansiyalari yaratilgan va ishlab kelmoqda, ularda asosan og'ir elementlar yadrolarini parchalanish natijasida ajraladigan energiyadan foydalaniladi, og'ir elementlarga asosan uran 235 va 238 ning izotop aralashmalarini va plutonni kiritish mumkin. Issiqlik tashuvchilar sifatida suv, gazlar (geliy, azot, karbonat angdrid gazi), suyuq metallar (kaliy va natriy), organik suyuqliklar (uglevodorodlar, difenil, difenil efir, trifenil, izopropil) dan foydalaniladi.

Atom elektr stansiyasi quyidagi asosiy qurilmalarni o'z ichiga oladi: yadroviy reaktor, bug' generator-issiqlik almashinuvi qurilmasi, bug' turbinasi, kondensator, nasoslar va radiasion himoya. Bundan tashqari reaktorni, elektrogeneratorni, sirkulyasion konturni va yordamchi jihozlarni boshqarish tizimi mavjud.

Atom elektr stansiyalari bir, ikki va uch konturli bo'lishi mumkin. Bir konturli atom elektr stansiyalarida ishchi jism reaktorning asosiy zonasidan turbinaga yo'naltiriladi. Bunday qurilmalarda ishchi jism juda radioaktiv hisoblanadi. Ikki va uch konturli qurilmalarda ishchi jismning radioaktivlik darajasi anchagina kamayadi.

10.2. AES ning issiqlik ajratuvchi elementi to'g'risida ma'lumot.

Yadroviy yoqilg'i (uran, plutoniy) reaktorning issiqlik ajratuvchi element IAEL (TVEL) shaklidagi aktiv zonasiga joylashtiriladi. IAEL ning shakli turli xil bo'lishi mumkin, ammo barcha hollarda yoqilg'i metall g'ilofning ichiga joylashtiriladi. Reaktor ishlaganda IAEL qalinligida maksimal harorat ta'minlanadi, uning g'ilofi oraliq haroratga bo'ladi va qizdirilayotgan issiqlik tashuvchi past haroratga ega bo'ladi. Ushbu uchta harorat qo'llanilayotgan yoqilg'ining xususiyatlari, IAEL g'ilofining materiali va issiqlik tashuvchilarning xususiyati bo'yicha chegaralanadi. Yoqilg'i toza metall shaklida ishlatiladi. Yoqilg'iga bog'liq holda IAEL da maksimal harorat 600 dan 2500⁰C gacha etadi.

IAEL ning g'ilofi alyuminiy, sirkoniy, magniyli qotishmalar, zanglamaydigan po'latdan tayyorlanadi, materialning turiga bog'liq holda g'ilofdagi maksimal harorat 300 dan 600⁰C gacha etadi.

Issiqlik tashuvchilar sifatida bosim ostidagi suyuq holatdagi suv, organik birikmalar, suyultirilgan ishqorli metallar (asosan natriy), gazlar (CO_2 , He va hokazo) dan foydalaniladi. Suvdan foydalanilganda uning maksimal harorati, ya'ni to'yinish harorati suvning bosimidan aniqlanadi. Organik issiqlik tashuvchilarning harorati uning ularning issiqlikka chidamliligi bilan chegeralanadi. Suyultirilgan metallar va gazlar uchun harorat chegaralanmagan.

Yadroviy yoqilg'ida yadro energiyasining konsentratsiyasi organik yoqilg'idagi kimyoviy energiyaning konsentratsiyasiga nisbati bo'yicha juda katta, reaktorning bir marta to'ldirilgan (zapravka) ko'p oylar davomida yonadi. Issiqlik elektr stansiyasining oddiy bug' generatorida yoqilg'i yoqiladi, hosil bo'lgan yonish mahsulotlari izobarik holda ishchi jismga issiqligini uzatib soviydi va sovigan yonish mahsulotlari atmosferaga chiqarib yuboriladi. Yadroviy reaktor ishlaganda undan yonish mahsulotlari chiqmaydi, o'rnatilgan rejimda reaktordagi harorat o'zgarmaydi va yadroviy reaktor amalda o'zgarmas haroratli issiqlik manbai hisoblanadi. Nazariy jihatdan bunday manba Karno siklini amalga oshirish uchun ideal hisoblanadi.

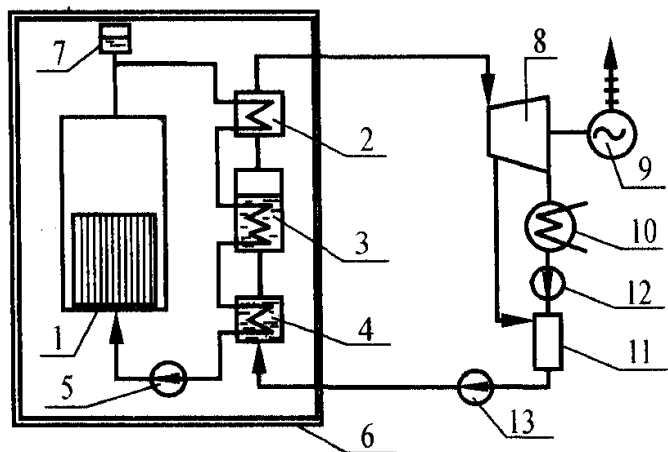
Atom reaktori barcha tirik organizm uchun radioaktiv xavfli hisoblanadi. Neytronli nurlanishda ishtirok etayotgan barcha moddalar radioaktiv hisoblanadi va ular AES xonasidan biologik himoya bilan izolyasiyalangan bo'lishi kerak, chunki AES xonasida stansiya xizmat ko'rsatuvchi bo'lishi mumkin. Reaktor orqali o'tayotgan va uning aktiv zonasini sovitib turuvchi issiqlik tashuvchi ham radioaktiv havfli hisoblanadi. Agar bunday issiqlik tashuvchi sifatida suvdan foydalanilsa, u holda kimyoviy toza suvning o'zi radioaktiv hisoblanmaydi, ammo barcha aralashmalar (tuzlar, korroziya mahsulotlari va hokazo) radioaktiv hisoblanadi. Reaktorda olinayotgan yaxshi separasiyalangan suv bug'i eng kam radioaktiv qobiliyatga egadir, shuningdek u suvga nisbatan juda kam aralashmalarga ega.

Texnik-iqtisodiy tomondan AES lar uchun elektr energiyasini ishlab chiqarish tan narxida yoqilg'i sarfining kamligi xarakterlidir. AES da u 20-40% ni tashkil qiladi, organik yoqilg'ilardan foydalanuvchi issiqlik elektr stansiyalarida bu ko'rsatkich 50-60% ni tashkil qiladi.

AES da yadroviy yoqilg'idan foydalanishning barcha xususiyatlari yadroviy energetik qurilmalarni yaratish asos bo'ldi. AES da past bosimli bug' siklidan, to'yingan bug' siklidan, ikki bosimli sikldan foydalaniladi. AES larni kritik tahlili va termodinamik sikllarini tanlash texnik-iqtisodiy hisoblar asosida amalga oshiriladi.

10.3. Bir konturli AES sikli.

Dunyoda birinchi tajribaviy AES 1954 yilda Obninsk shahrida ishga tushirilgan. Uning prinsipial sxemasi 10.1-rasmda ko'rsatilgan. Sxema ikki konturli. Birinchi radioaktiv kontur biologik himoya 6 da joylashgan va AES ishlaganda xizmat ko'rsatuvchi xodimga bu zonaga kirish ruxsat etilmaydi. Birlamchi issiqlik tashuvchi sifatida taxminan 100 bar bosim ostidagi suvdan foydalaniladi. Reaktor 1 da suv 280⁰C haroratgacha qiziydi va ketma-ket bug' o'ta qizdirgich 2, bug'latgich 3 va ekonomayzer 4 larning quvurchali qizdirish yuzalari orqali o'tib, 1900S haroratgacha soviydi, o'zining issiqligini ishchi jismga – ikkinchi konturning suv va bug'iga beradi. Suvni birinchi kontur bo'yicha harakati sirkulyasion nasos 5 yordamida ta'minlanadi. IAEL yuzasining tozaligini saqlash uchun birinchi konturning suviga juda yuqori talab qo'yiladi. Birinchi konturda suyuq suv termik kengaygashi kompensatori 7 orqali qabul qilinadi.



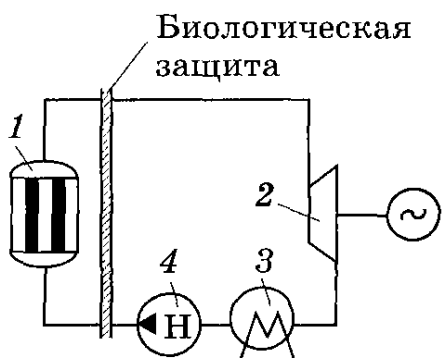
10.1-rasm. Birinchi atom elektr stansiyasining sxemasi. 1-atom reaktori; 2-bug' o'ta qizdirgich; 3-bug'latgich; 4-ekonomayzer; 5-birinchi kontur nasosi; 6-biologik himoya; 7-hajm kompensatori; 8-bug' turbinasi; 9-elektr generatori; 10-kondensator; 11-ta'minot suvini regenerativ qizdirish tizimi; 12-kondensat nasos; 13-ta'minot nasosi.

Bug' generatorida ekonomayzer, bug'latgich va bug' o'ta qizdirgich o'rnatilgan bo'lib, 1,23 MPa bosimli va 270⁰C haroratli suv bug'i olinadi, bu bug', bug' turbinasida ishchi jism bo'lib xizmat qiladi. Bug' turbina qurilmasining termodinamik sikli IES larda qo'llanilayotgan oddiy bug' turbina qurilmasining siklidan deyarli farq qilmaydi. Ikkinchi kontur radioaktiv hisoblanmaydi va ikkinchi konturning barcha jihozlari xizmat ko'rsatish uchun xavfsizdir.

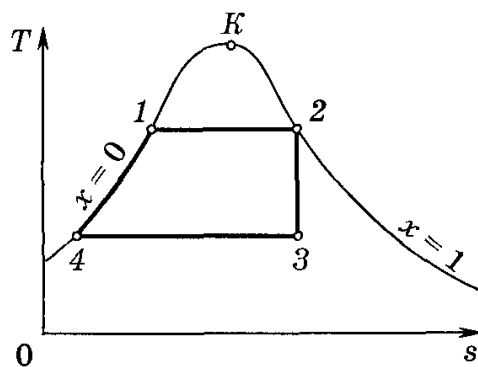
Zamonaviy quvvatli AES larda to'yingan bug' sikli ham qo'llaniladi. Turbinaga kirayotgan bug'ning boshlang'ich parametrlari 4,3-6,5 MPa ni tashkil etadi. Bunday boshlang'ich bosimli to'yingan bug'ni kondensatordagi 4 kPa bosimgacha to'liq adiabatik kengayishi turbinaning oxirgi pog'onalarida namlikni keskin ortib ketish nuqtai nazaridan ruxsat etilmaydi. Bug'ning namligini kamaytirish uchun namlikni bir yoki ikki pog'onali separasiyalash va bug'ni oraliq qizdirish kiritiladi.

Bir konturli atom elektr stansiyasining prinsipial sxemasini to'liq ko'rib chiqamiz. Uning prinsipial sxemasi 10.2-rasmda ko'rsatilgan. Yadroviy reaktor 1 da atom yadrolarining parchalanish natijasida reaktoring aktiv zonasida issiqlik ajralib chiqadi, bu issiqlik ishchi jismni qizdiradi va bug' xosil bo'ladi.

Reaktordan chiqqan bug', bug' turbinasi 2 ga kiritiladi, u erda kengayib ish bajaradi. Ishlatib bo'lingan bug' kondensator 3 ga kiritiladi. Hosil bo'lgan kondensat nasos 4 yordamida qaytadan reaktorga uzatiladi. Bir konturli atom elektr stansiyalari uchun issiqlik tashuvchi sifatida odatda gazli va organik issiqlik tashuvchilardan, shuningdek suvdan foydalaniladi. Organik issiqlik tashuvchilarning asosiy kamchiligi kondensasiyalanish haroratining yuqoriligidir. Masalan, difenil oksidning 0,015 MPa bosimda kondensasiyalanish harorat $T_2=470$ K. Shuning uchun bunday issiqlik tashuvchilar faqatgina yuqori bosim turbinali bir konturli sxemada ishlatiladi, ularda ishlatib bo'lingan bug' teplofikasiya uchun qo'llaniladi.



10.2-rasm. Bir konturli atom elektr stansiyasining prinsipial sxemasi.
1-reaktor; 2-bug' turbinasi; 3-kondensator;
4-nasos.



10.3-rasm. Bug'li bir konturli atom elektr stansiyasining sikli.

Bug'li bir konturli atom elektr stansiyasining sikli 10.3-rasmda ko'rsatilgan.

Sikl quyidagi jarayonlardan tashkil topgan:

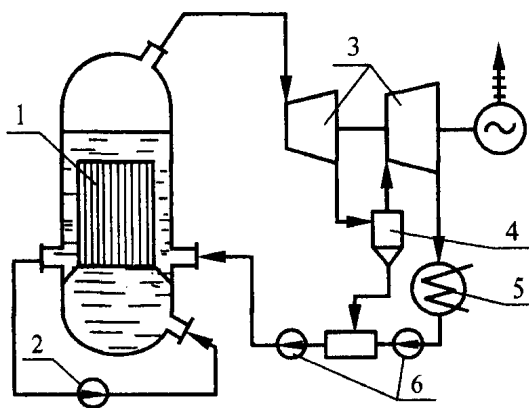
4-1 – ishchi jismni qizdirilishi;

1-2 – yadroviy reaktorda bug' hosil bo'lishi;

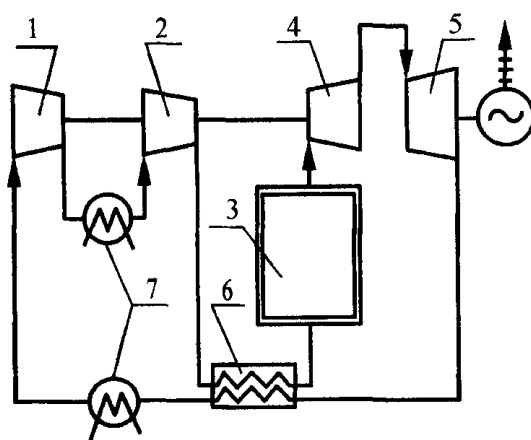
2-3 – ishchi jismni turbinada adiabatik kengayishi;

3-4 – kondensatorda o'zgarmas bosimda issiqlikni olib ketilishi.

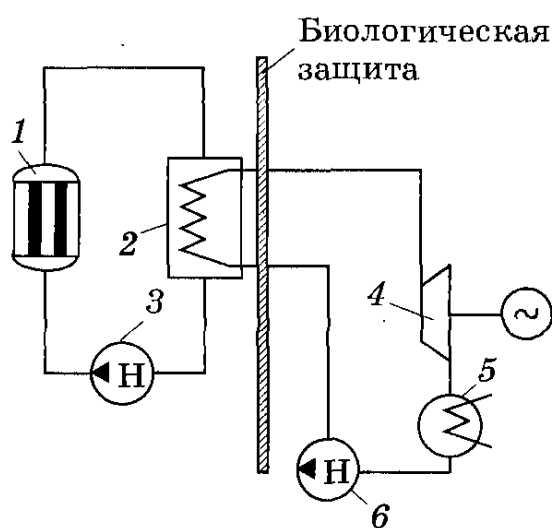
Qaynatuvchi reaktorli bir konturli AES sxemasi qo'llanilganda qurilma keskin soddalashi va ishchi jismning bosimni oshirish imkoniyati mavjud bo'ladi (10.4-rasm). Ushbu sxemada IAEL ni sovituvchi suv reaktor 1 da qaynaydi va bug' hosil bo'lib bug' turbinasi 3 ga kiritiladi. Faqatgina majburiy sirkulyasiyali nasosli 2 atom reaktori biologik himoyalanaadi. Ishchi nisbatan kam radioaktivlikka ega, ammo barcha jihozlar, turbina 3, separator 4, kondensator 5 va barcha kommunikasiyalar xizmat ko'rsatuvchi xodim uchun qisma radiasion xavfli bo'lib qoladi. Bu jihozlarni ekspluatasiyalash sharoitini qiyinlashtiradi va qurilmaning asosiy kamchiligi hisoblanadi.



10.4-rasm. Bir konturli AES ning sxemasi. 1-atom reaktori; 2-sirkulyasion nasos; 3-bug' turbinasi; 4-separator; 5-kondensator; 6-nasoslar.



10.5-rasm. Gaz siklli bir konturli AES ning sxemasi. 1-past bosimli kompressor; 2-yuqori bosimli kompressor; 3-atom reaktori; 4-yuqori bosimli turbina; 5-past bosimli turbina; 6-regenerativ qizdirgich; 7-sovitgich.



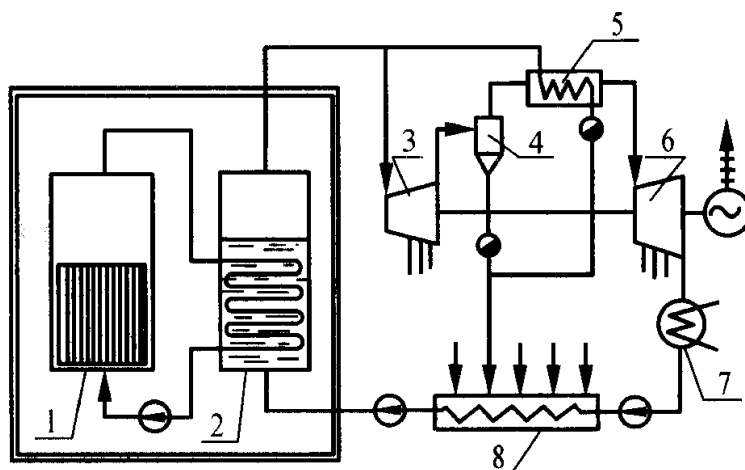
10.6-rasm. Ikki konturli AES ning sxemasi. 1-reaktor; 2-bug' generator-issiqlik almashinuvi qurilmasi; 3, 6-nasos; 4-bug' turbinasi; 5-kondensator.

AES larda nafaqat bug' sikli, balki gaz sikli ham qo'llanilishi mumkin. 10.6-rasmda gaz turbina siklli bir konturli AES ning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Issiqlik tashuvchi va ishchi jism sifatida atom reaktori orqali o'tganda radioaktiv bo'lmaydigan gazdan foydalaniladi. Bunday AES lar uchun gely eng istiqbolli issiqlik tashuvchi hisoblanadi. Gaz yopiq kontur bo'yicha past bosimli kompressor, yuqori bosimli kompressor, regenerativ qizdirgich, atom reaktori, yuqori bosimli turbina va past bosimli turbina orqali o'tadi. Gaz kompressorga kirishdan oldin suv bilan sovutiladi, yuqori bosimli turbina kompressor uchun yuritma hisoblanib, past bosimli turbina esa elektr generator uchun ishlaydi.

10.4. Ikki konturli AES sikli.

Ikki konturli atom elektr stansiyasida ikkita issiqlik tashuvchidan foydalaniladi (10.7-rasm). Birinchi konturda oraliq issiqlik tashuvchi, ikkinchi konturda esa – suv va suv bug'i sirkulyasiyalanadi. Yadroviy reaktor 1 da qizdirilgan oraliq issiqlik tashuvchi bug' generator-issiqlik almashinuvi qurilmasi 2 ga kiritiladi, u erda issiqlik ikkinchi konturning ishchi jismiga beriladi. Keyin issiqlik tashuvchi nasos 3 yordamida reaktorga uzatiladi. Bug' generatori-issiqlik almashinuvi qurilmasi 2 sidan chiqqan bug', bug' turbinasi 4 ga kiritiladi, ishlatib bo'lingan bug' kondensator 5 ga kiritiladi, u erda to'liq kondensasiyalanadi va nasos 6 yordamida bug' generator-issiqlik almashinuvi qurilmasiga uzatiladi. Ikki konturli atom elektr stansiyalarida odatda ikkinchi kontur birinchi konturdan maxsus biologik himoya bilan ajratilgan bo'ladi. Birinchi konturda issiqlik tashuvchi sifatida suv, organik moddalar va gazlardan foydalaniladi.

Suyuq metalli (kaliy, natriy) issiqlik tashuvchilarning foydalanilganda turbinaga kiritilayotgan ishchi jismning boshlang'ich haroratini oshirish imkoniyati tug'iladi, buning natijasida siklning va qurilmaning termik FIK ortadi.



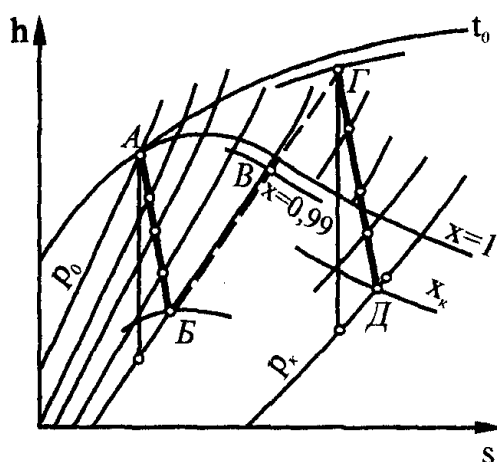
10.7-rasm. To'yingan bug'li ikki konturli atom elektr stansiyasining sxemasi. 1-atom reaktori; 2-bug' generatori; 3-bug' turbinasining yuqor bosimli qismi; 4-separator; 5-bug'-bug'li o'ta qizdirgich; 6-bug' turbinasining past bosimli qismi; 7-kondensator; 8-suvni regenerativ qizdirish qizdirish tizimi.

10.7-rasmda K-500-65/3000 bug' turbinali AES ning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan (quvvati 500 MVt, bug'ning bosimi 6,35 MPa, valning aylanishlar soni 3000 ayl/daq), 10.8-rasmda, i-S diagrammada bug' holatini o'zgarish jarayoni ko'rsatilgan.

Biologik himoya chegarasida birinchi konturning barcha jihozlari joylashadi, birinchi kontur reaktor 1 va bug' generatori 2 ni o'z ichiga oladi. Bug' generatorida namligi 0,5% ga yaqin bo'lgan 6,35 MPa bosimli to'yingan bug' olinadi, uning holati A nuqtadan aniqlanadi (18.8-rasm). Hosil bo'lgan yangi bug' turbina 3 ning yuqori bosimli qismiga kiritiladi, u erda ishlaydi va 0,342 MPa bosimda uning namligi chegaraviy qiymatga etadi. Yuqori bosimli qismdan keyin namlik separator 4 da bug'dan ajratib olinadi va B nuqta holatidagi quritilgan bug' bug'-bug'li issiqlik almashinuvi qurilmasi 5 ga o'ta qizdirishga yuboriladi. G nuqta holatidagi o'ta qizigan bug' turbina 6 ning past bosimli qismiga kiritiladi va u erda kondensator 7 dagi bosimgacha kengayguncha ishlaydi (D nuqta). Turbina ta'minot suvini regenerativ qizdirish tizimi 8 ga ega.

9.7-rasmda keltirilgan sxemani hisoblashda oraliq qizdirishga sarflangan yangi bug'ni va separatorada namlikni ushlab qolishini hisobiga bug' miqdorini

kamayishini hisobga olish kerak. 10.9-rasmda birinchi konturida gazli issiqlik tashuvchili ikki bosimli turbinali AES ning sxemasi tasvirlangan. AES ning bunday sxemasi Buyuk Britaniyada eng ko'p foydalaniladi. Birinchi konturda issiqlik tashuvchi sifatida karbonat angdird gazi (CO_2), ushbu gaz reaktor 1 va bug' generatori 2 orqali gaz hadash qurilmasi 3 orqali haydaladi. Gaz haydash qurilmasini yuritishga turbinaning anchagina quvvati (17% gacha) sarflanadi, ushbu quvvatni kamaytirish uchun gaz haydash qurilmasiga kiriyotgan gazning haroratini kamaytirish lozim bo'ladi. Bu maqsad uchun gaz yo'llari bo'yicha ketma-ket yuqori bosimli 4 va past bosimli 5 majburiy sirkulyasiyali bug' generatorlari o'rnatilgan.

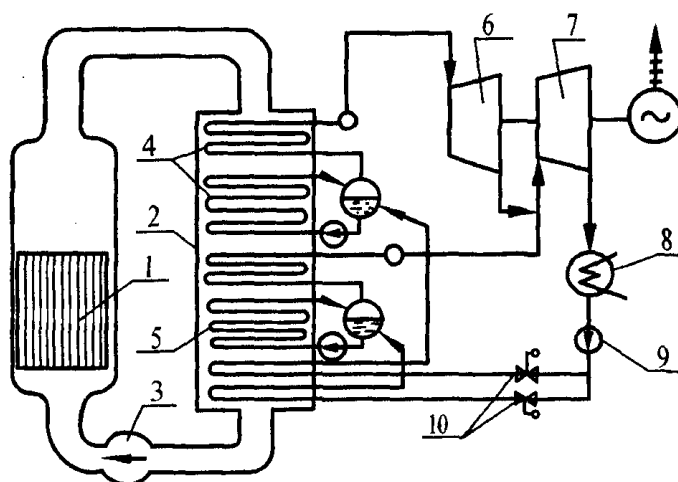


10.8-rasm. Namlik oraliq separasiyalanuvchi va o'ta qizdiriluvchi turbinada bug' holatini o'zgarish jarayoni.

Yuqori bosimli bug' generatoridan chiqqan bug' turbina 6 ning yuqori bosimli qismiga kiritiladi, past bosimli bug' generatoridan chiqqan bug' – turbina 7 ning past bosimli qismiga kiritiladi. Kondensator 8 dan chiqqan kondensat ta'minot suvi sifatida bug' generatoriga bitta ta'minot nasos 9 yordamida rostlovchi klapanlar 10 orqali uzatiladi yoki alohida ikkita yuqori va past bosimli ta'minot nasosi yordamida uzatiladi.

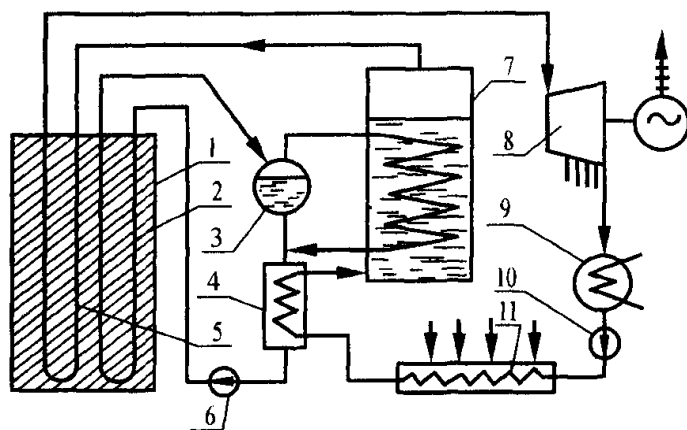
Ikki konturli AES larning reaktor uchun ruxsat etilgan harorat potensialidan foydalanish nisbati bo'yicha kamchiligi mavjud: ishchi jismning maksimal harorati birinchi konturning maksimal haroratidan ancha past. Organik yoqilg'ida ishlovchi zamonaviy bug' turbina qurilmalarida nisbatan past bosimli to'yingan ishchi bug'dan

foydalanish FIK ni pasaytiradi va qurilmani qiyinlashtiradi. Qurilmaning issiqlik iqtisodiyligini oshirishni hamda namlikni oraliq separasiyalash va oraliq o'ta qizdirishlarni qo'llamaslik uchun yangi bug'ni organik yoqilg'ini yoqish hisobiga yoki yangi bug'ning o'zini atom reaktorining o'zida foydalanish hisobiga amalga oshirish mumkin. Olovli o'ta qizdirishni kiritish qurilmani va uning ekspluatatsiyasini qiyinlashtiradi, shuningdek yadroviy va organik yoqilg'ilarni qo'shimcha sarflanishiga olib keladi. eng maqsadga muvofiq sxema ishchi bug'ni atom reaktorining kanallarida qizdirish hisoblanadi.



10.9-rasm. Ikki bosim turbinali AES ning sxemasi. 1-atom reaktori; 2-bug' generatorining korpusi; 3-gaz haydash moslamasi; 4-yuqori bosimli bug' generatori; 5-past bosimli bug' generatori; 6-bug' turbinasining yuqori bosimli qismi; 7-bug' turbinasining past bosimli qismi; 8-kondensator; 9-nasos; 10-rostlovchi ta'minot klapanlari.

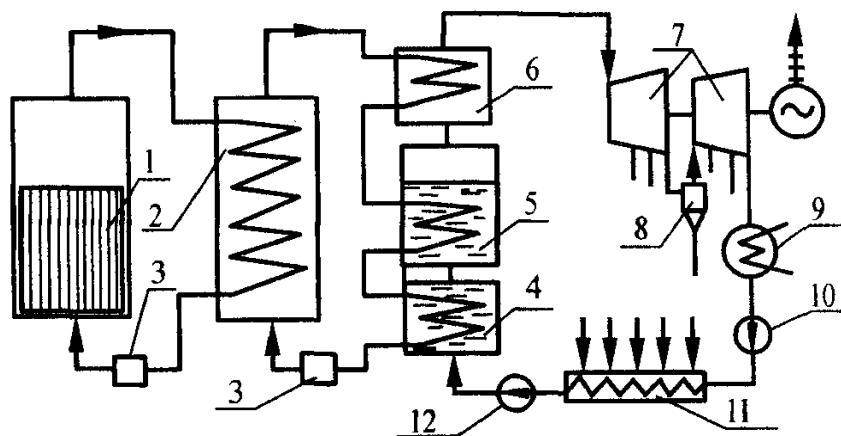
10.10-rasmda shunday o'ta qizdirishli AES ning sxemasi tasvirlangan va bu sxema "to'liqsiz ikki konturli" deb ataladi. Bunda bug' generatorida hosil bo'lgan to'yingan ishchi bug' atom reaktorining maxsus kanallariga yo'naltiriladi, u erda bug' turbinasi uchun zarur bo'lgan haroratgacha qizdiriladi. Bunday sxema Belayarsk AES ida qo'llanilmoqda, AES ning turbinasiga kirayotgan bug'ning boshlang'ich bosim 90 atm va harorati 500°C.



10.10-rasm. “To’liqsiz ikki konturli” AES ning sxemasi. 1-atom reaktori; 2-birinchi konturning qizdirish yuzasi; 3-baraban-separator; 4-ekonomayzerli issiqlik almashinuvi qurilmasi; 5-ikkilamchi bug'ni o'ta qizdirgich; 6-birinchi konturning sirkulyasion nasosi; 7-bug' generatori; 8-bug' turbinasi; 9-kondensator; 10-nasos; 11-regenerasiya tizimi.

10.5. Uch konturli AES sikli.

Hozirgi vaqtda AES reaktorlarida tez neytronlar TR (tez reaktorlar – ko'paytirgich yoki “brider”) qo'llashga katta e'tibor qaratilmoqda. Bu reaktorlar tabiiy urandan to'liq foydalanishni ta'minlaydi, shuningdek ularda uran-238 yangi yoqilg'i plutoniy-239 ga aylanadi. Tez reaktorlarda issiqlik tashuvchi sifatida neytronlarni sekinlashtiruvchi hisoblangan suvdan foydalanilmaydi, odatda birinchi konturda suyuq natriydan foydalaniladi. Natriy suv bilan kimyoviy tez ta'sirlashadi, shuning uchun har qanday halokatli holatlarda suvni yoki suv bug'ini birinchi konturning natriysi bilan to'qnashishiga ruxsat etilmaydi. Bunday to'qnashuv birinchi konturning tashlanadigan radioaktiv moddalarini xavfliligini oshirishi mumkin. Demak, halokatli holatlarda insonlar uchun xavfsizlikni ta'minlovchi ajratib turuvchi oraliq suyuq metalli kontur zarur bo'ladi. Bunday AES lar uch konturli deb ataladi (10.11-rasm). Bunday sxemada faqatgina birinchi kontur radioaktiv hisoblanadi va birinchi kontur biologik himoyalanaadi. Ikkita birinchi konturda suyuq metallni sirkulyasiyalash MGD – nasoslar (MGDN) yordamida amalga oshiriladi. Metall va ishchi jism teskari oqimda harakatlanuvchi bug' generatorida kam o'ta qizdirilgan suv bug'ini olish mumkin.



10.11-rasm. Uch konturli AES ning sxemasi. 1-atom reaktori; 2-oraliq issiqlik almashinuvi qurilmasi; 3-MGDN; 4-ekonomayzer; 5-bug'latgich; 6-bug' o'ta qizdirgich; 7-bug' turbinasi; 8-separator; 9-kondensator; 10-kondensat nasos; 11-suvni regenerativ qizdirish sxemasi; 12-ta'minot nasosi.

Uch konturli AES ning birinchi konturida metalli issiqlik tashuvchi (natriy yoki kaliy), ikkinchi konturida – natriy yoki natriy-kaliyli qotishma, uchinchi konturida suv va suv bug'i sirkulyasiyallanadi. Qurilmaning ikkinchi va uchinchi konturi radioaktiv emas va ular uchun biologik himoyani qo'llash zaruriyati yo'q.

Atom elektr stansiyalarining termik FIK bug'ning boshlang'ich va oxirgi parametrlariga bog'liq bo'lib, zamonaviy atom elektr stansiyalarining haqiqiy FIK 17-36% ni tashkil etadi.

Nazorat savollari.

1. Atom elektr stansiyalari to'g'risida umumiy tushuncha bering?
2. Atom elektr stansiyalarining qanday sikllari mavjud?
3. Birinchi atom elektr stansiyasi qachon ishga tushirilgan va qanday elementlardan tuzilgan?
4. Bir konturli atom elektr stansiyasini ishlash prinsipini tushuntiring?
5. Bir konturli atom elektr stansiyasining siklini tushuntiring?
6. Ikki konturli atom elektr stansiyasini ishlash prinsipini tushuntiring?
7. Ikki konturli atom elektr stansiyasining siklini tushuntiring?
8. Uch konturli atom elektr stansiyasini ishlash prinsipini tushuntiring?

9. Uch konturli atom elektr stansiyasining siklini tushuntiring?

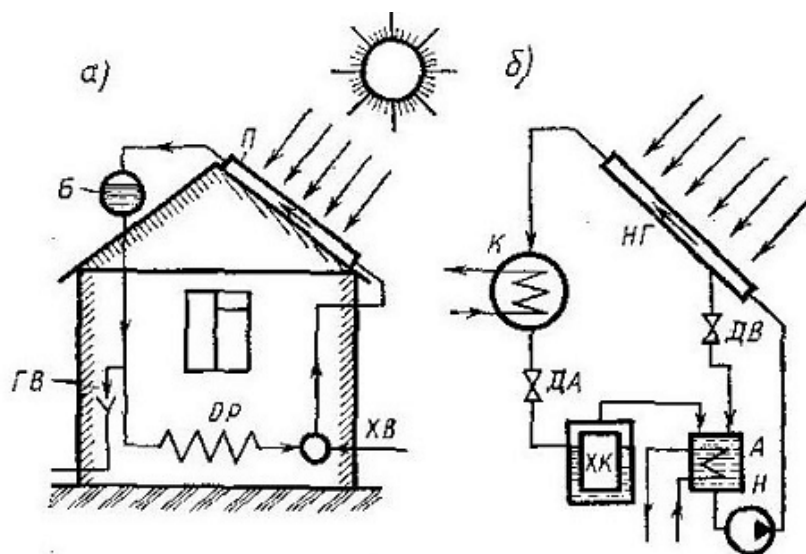
10. Atom elektr stansiyasining FIK qanchaga etadi?

XI-BOB. QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA MANBALARI ASOSIDAGI ISSIQLIK ENERGETIK QURILMALARINING SIKLLARI.

11.1. Quyosh nuri energiyasidan foydalanuvchi qurilmalar.

Quyosh nurlari yer yuzidagi qayta tiklanuvchi energiya manbalarining asosiy manbasi hisoblanadi. Quyosh nuri energiyasidan foydalanish ayniqsa bizning mamlakatimizning janubiy hududlarida juda samaralidir, u yerda 1 m² nur tushayotgan yuzadan bir yilda 1000 kVt(soat energiya ishlab chiqarish uchun yetarli bo'lgan issiqlikni olish mumkin. Zamonaviy issiqlik elektr stansiyalarida shuncha miqdordagi elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun taxminan 400 kg ko'mir sarflanadi. Hozirgi kunda dunyoda umumiy energiya iste'moli 20 mlrd. tonna shartli shartli yoqilg'ini tashkil etsa, quyosh nuri energiyasi hisobiga energiya iste'molining 8% ini qoplash mumkin. Shu bilan birga quyosh energiyasi yer yuzasida bir sutkada o'rtacha 9 soat o'zgaruvchan samaradorlikda qabul qilinadi, bu esa quyosh energiyasidan foydalanishni qiyinlashtiradi. Shuning uchun quyosh energiyasi yer yuzidagi umumiy energiya iste'molining 3-5% ini qoplashi mumkin. Quyosh nuri energiyasidan bunday foydalanish bir necha yuz million tonna organik yoqilg'ini tejash imkonini beradi.

Issiqlik va elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun quyosh energiyasidan foydalanuvchi qurilmalar gelioqurilmalar deb ataladi.

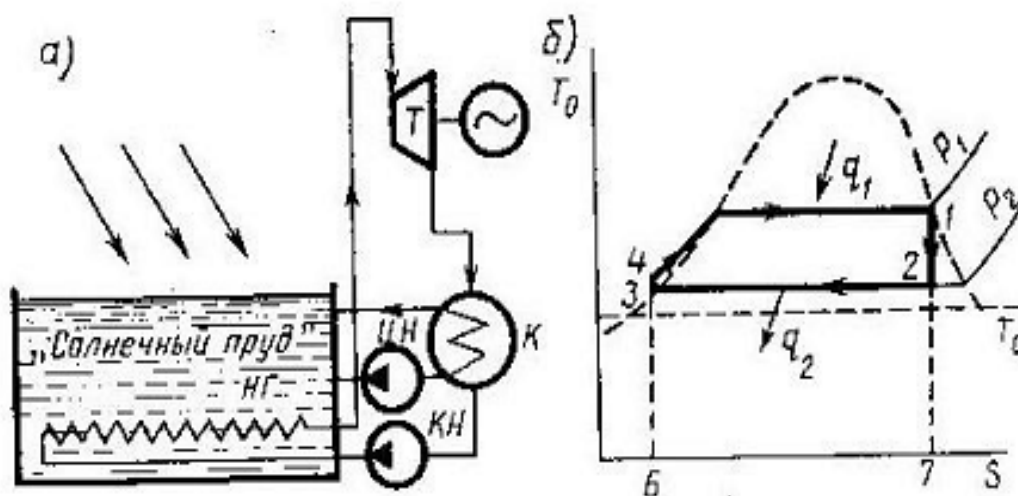


11.1-rasm.

So‘nggi yillarda oddiy gelioqurilmalar yashash binolarini isitish, issiq suv ta‘minoti va xonalarni sovitishda keng qo‘llaniladi. Oddiy gelioqurilmaga misol sifatida 11.1, a-rasmda tasvirlangan quyosh suv qizdirgini ko‘rsatish mumkin. Bu yerda: P-tashqi yuzasi yorug‘likni yutuvchi qoplamali alyuminiy yoki profillangan po‘latdan tayyorlangan yassi panel; B-qaynoq suv baki; QS-maishiy ehtiyojlarga qaynoq suvni uzatilishi; IR-isitish radiatori; SS-sovuq suvni uzatilishi.

Bunday turdagi quyosh qizdirgichlari dunyodagi ko‘pgina mamlakatlarda keng qo‘llaniladi. Ulardan eng kattasining qizdirish yuzasi 4000 m² ga yetadi.

Gelioqurilmalarning ikkinchi ancha qiyin turi quyoshli absorbsion sovitish qurilmasi hisoblanadi. Suv-ammiak eritmasida ishlovchi absorbsion turdagi birinchi quyoshli sovitish qurilmalari 1934 yilda ishga tushirilgan. Ushbu qurilmaning prinsipial sxemasi 11.1, b-rasmda tasvirlangan. Bu yerda Q-ammiakni quyoshli qizdirgich-bug‘latgich; SK-sovitish kamerasi; A-absorber; N-suv-ammiak eritmasi nasosi; DS-qaytayotgan suv (ammiakning kuchsiz eritmasi) drosseli.



11.2-rasm.

So‘nggi vaqtlarda chuqurligi 3-4 m bo‘lgan basseyn shaklidagi quyosh havzalarini qo‘llash katta qiziqish o‘yg‘otmoqda, bunda basseyn suvning belgilangan tuzli eritmasi (Na₂CO₃, NaHCO₃) bilan to‘ldirilgan. Bunday havzaning tubida yarim sferik yoki zmeyevik turidagi quyosh qizdirgichlari joylashtirilgan. Bunday quyosh havzasiga misol tariqasida Kaliforniya shtatidagi issiqlik quvvati 210 kVt va 60,7 ga maydonga ega quyoshli basseynni keltirish mumkin. 3,45

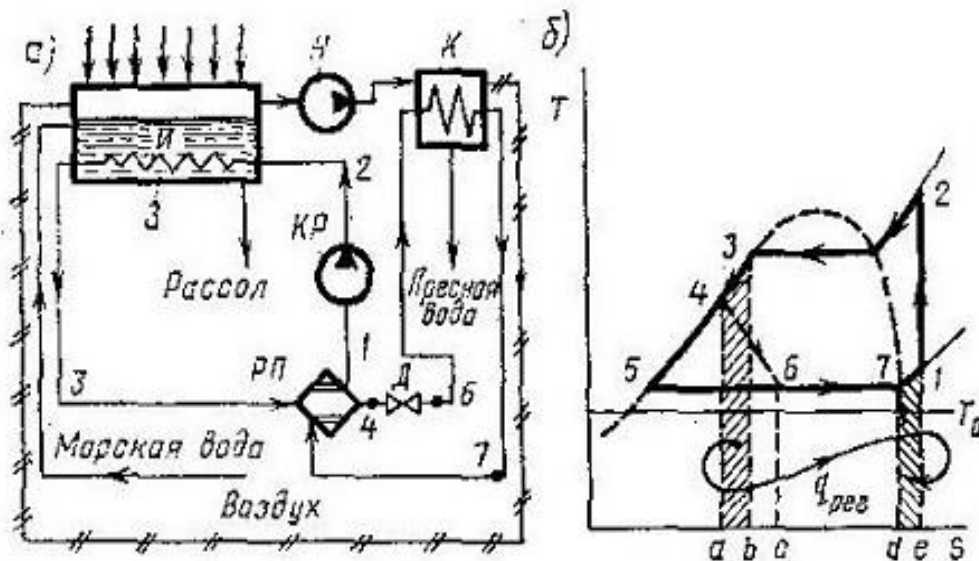
m chuqurlikda basseyn tubidagi suvning harorati 85-1000 °C ga yetadi. Bu qurilmadan isitish tizimlarida va oddiy bug‘ turbina qurilmasida elektr energiyasini ishlab chiqarishda foydalanish mumkin. Bunday qurilmaning prinsipial sxemasi 11.2, a-rasmda ko‘rsatilgan. Bunda quyosh yordamida qizdirilgan qaynoq suv Q ning zmayevikida joylashgan yengil qaynovchi moddani (YEQM) bug‘latadi, hosil bo‘lgan bug‘ keyin turbogenerator (T) ishlaydi. Ishlatib bo‘lingan bug‘ turbinadan so‘ng basseynning yuqori qatlamidan olingan suv bilan sovitiluvchi kondensatorga (K) uzatiladi. YEQM ning kondensati Q bug‘latgichiga KN yordamida uzatiladi. Qurilmaning samaradorligini oshirish uchun basseynning quyi qismida tuzning konsentratsiyasi eng yuqori, yuqorida qismida esa eng kichik qilib ta‘minlanadi. Bir nechta quyosh havzalarida suvning yuzasi qattiq shaffof material bilan yopiladi. Quyosh nuri energiyasida ishlovchi bug‘ turbina qurilmasining sikli 11.2, b-rasmda T-s diagrammada ko‘rsatilgan. Bu yerda 1-2-3-4 maydon siklning nazariy ishini ifodalaydi, 2-7-6-3 maydon esa YEQM ning kondensatsiyalanishida olib ketilgan issiqlikni ifodalaydi. Ushbu siklning termik FIK quyidagicha:

$$\eta_{st} = l_s^t / q_1^t = (i_1 - i_2 - l_n) / (i_1 - i_4) \quad (11.1)$$

bu yerda $l_n = (i_4 - i_3)$.

11.2. Chuchuklantiruvchi gelioqurilmalar.

O‘R FA Fizika-texnika instituti tomonidan quyosh issiqlik nasosli chuchuklantiruvchi qurilma yaratilgan, unda distillyatning kondensatsiyalanish issiqligidan foydalaniladi. Ushbu qurilmaning sxemasi 11.3, a-rasmda keltirilgan. Bu qurilmaning ishlashi quyidagicha: bug‘latgichda (B) quyosh nuri energiyasi hisobiga qizdirish sodir bo‘ladi va dengiz suvi (sho‘r suv) yuzaviy bug‘lanadi, undan yuvuvchi havo bilan to‘yingan toza suv bug‘lari ajraladi. Bug‘-suvli aralashma kondensatorga (K) uzatiladi, u yerda bug‘ni sovitish jarayonida toza kondensat hosil bo‘ladi, bu esa chuchuk suv hisoblanadi. Bug‘latgichning quyi qismida zmayevik (Z) joylashtirilgan, unda bug‘li kompressordan (Kr) kelayotgan freon bug‘lari kondensatsiyalanadi.



11.3-rasm.

Freon bug‘larining kondensati dastlab regenerativ qizdirgich (RQ), so‘ngra drossel (D) orqali o‘tadi, u yerda bosimni tushishi natijasida o‘zining harorati pasayadi va qisman bug‘lanadi. Suyuq va bug‘simon freonning sovuq aralashmasi kondensatorning zmayevikiga kiritiladi va u yerda bug‘lanadi.

Bug‘lanayotgan dengiz suvini qizdirishda suv bug‘ining kondensatsiyalanish issiqligidan foydalanuvchi issiqlik nasosining sikli 11.3, b-rasmda keltirilgan. Bu yerda 1-2 adiabata uchastkasi-freon bug‘larini kompressorda siqilishi, 2-3 izobara uchastkasi-dengiz suviga issiqlikni berish hisobiga sovitish va kondensatsiyalanish, 3-4 jarayon-RQ regeneratorda freon kondensatini sovitilishi, 4-6 jarayon-suyuq freonni drossellanishi, 6-7 jarayon-suv bug‘ni kondensatorida freonni bug‘lanishi va 7-1 jarayon-regeneratorda freonni qizdirilishi. Maydonlar: 2-3-b-e-dengiz suviga berilgan issiqlik, c-6-7-d-1 kg freonni kondensatsiyalanayotgan suv bug‘idan qabul qilgan issiqligi, 1-2-3-5-kompressorda bug‘ni siqishga sarflangan ish.

Issiqlik nasosida issiqlikni transformatsiyalash koeffitsiyenti K_t berilgan issiqlikni $(i_2 - i_3)$ siqishga sarflangan ishga $i_2 - i_1$ nisbatiga teng, ya‘ni:

$$K_t = (i_2 - i_3) / i_2 - i_1 \quad (11.2)$$

T-s diagrammadan ko‘rinib turibdiki (11.3, b-rasm) K_t qiymat suv bug‘ini (chuchuk suv) kondensatsiyalanish haroratidan yuqori.

11.3. Quyosh issiqlik elektr stansiyalari.

Yuqori quvvatli quyosh issiqlik elektr stansiyalarida quyosh nuri energiyasidan foydalanib sanoat ehtiyojlari uchun ko‘p miqdorda elektr energiyasini ishlab chiqarish mumkin. Bu yerda elektr generatorini yuritgichi sifatida yoki bug‘ yoki gaz turbinalari xizmat qilishi mumkin. Ishchi jism oynali nur qabul qilgichlar yordamida qizdiriladi, ya’ni ushlab olingan quyosh nurlari qizdirish yuzasi bo‘lib xizmat qiluvchi kichik maydonga konsentrlanadi.

Silindrik konsentratordlarda qizdirishning maksimal harorati quyidagi bog‘liqlikdan aniqlanadi:

$$T_{yu} \leq \sqrt[4]{[q_{yut}/(\varepsilon\sigma)\xi/3,14]} \quad (10.3)$$

bu yerda q_{yut} -oynaning birlik yuzasi qabul qilgan issiqlik, ξ -quyosh nurini qabul qilgan yuza maydonini qabul qilgich-qizdirgich maydoni nisbatiga teng bo‘lgan konsentratsiyalash omili, $\varepsilon\sigma$ -Stefan-Bolsman doimiysi.

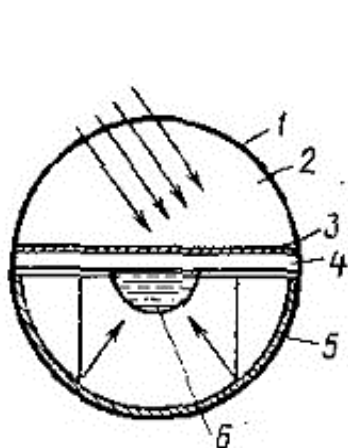
Qo‘zg‘almas konsentratolar ($\xi = 5$) uchun eng yuqori harorat 400 K gacha, siljitish tizimlari bilan jihozlangan konsentratolar ($\xi = 75$) uchun 800 K gacha. Bu haroratni yutuvchi yuzalarda turli qoplamalarni (masalan, gafniy karbid) qo‘llash yo‘li oshirish mumkin.

Metalli issiqlik tashuvchini qizdirish uchun quyosh nuri energiyasidan foydalanuvchi oddiy silindrik qabul qilgich-konsentratorning sxemasi 11.4-rasmda keltirilgan. Bu yerda: 1-qabul qilgichning shaffof silindrik qoplamasi, u orqali quyosh nuri qabul qilinadi; 2-vakuimli bo‘shliq; 3-kremniyli yupqa qatlam; 4-shaffof taglik; 5-oltinli yupqa qatlam; 6-suyuq natriyli uzatish quvuri.

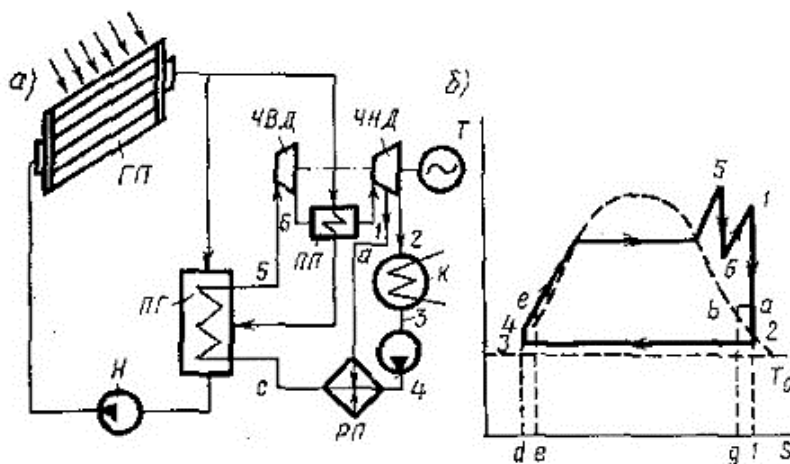
Ushbu geli oqabul qilgichning ishlash tartibi quyidagicha. Shaffof qoplama 1 orqali vakuumli bo‘shliqqa 2 o‘tayotgan quyosh nurlari shaffof taglikka 4 changsimon qilib surtilgan kremniyli yupqa qatlamga tushadi. Taglikning osti tomonidan silindrik quvurning ichki yuzasi juda yupqa oltinli qatlam bilan qoplanadi, u o‘z navbatida qiziyotgan natriy oqib o‘tayotgan quvurga quyosh nurlari kirib ketishini qaytaradi. Bunday qabul qilgichlar butun batareya shaklida o‘rnatiladi, ular orqali o‘tayotgan natriy 100 dan 540°C gacha qizdiriladi. Shunday

qilib qizdirilgan natriydan bug' turbina qurilmasi siklida qaynoq manba sifatida foydalaniladi.

Quyosh IES larining imkoniyatli issiqlik sxemasi va uning sikli 10.5, a, b-rasmda keltirilgan. Bu yerda gelio qabul qilgich (GQQ) bateriyalarida suyuq natriy 100 dan 540°C gacha qizdiriladi. Nisbatan yuqori haroratga ega bo'lgan suyuq natriydan yuqori bosimli o'ta qizigan bug' olinadi va u keyin bug' turbinasining YUBQ ga kiritiladi.



11.4-rasm.



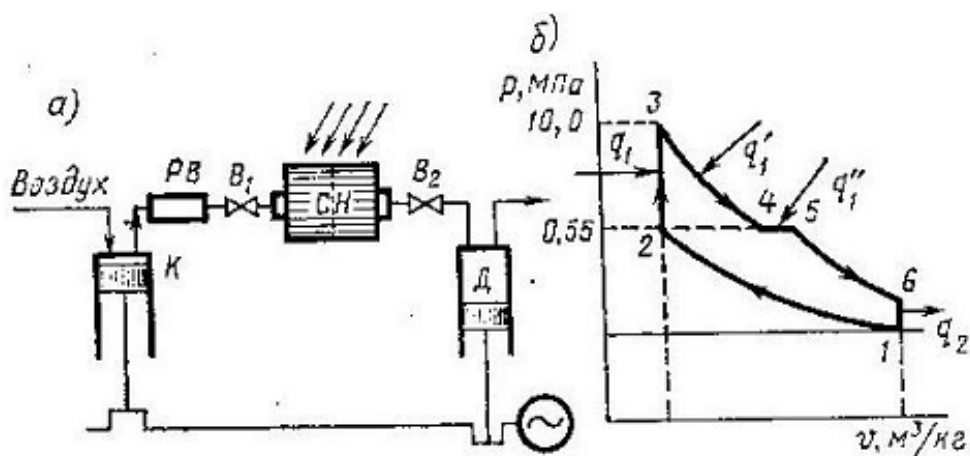
10.5-rasm.

Siklning FIK ni oshirish va turbinada ishlayotgan bug'ning oxirgi namligini kamaytirish uchun oraliq o'ta qizdirish (bug' o'ta qizdirgich BO'Q) amalga oshiriladi, u yerga gelio qabul qilgichda qizdirilgan natriyning bir qismi kiritiladi. Shuningdek sxemada ta'minot suvini turbinaning PBQ dan olingan otbor bug'i yordamida qizdirish ham amalga oshiriladi, bu esa natriyni bug' generatoridan chiqishdagi haroratini ~100°C da ushlab turishni ta'minlaydi. Bu yerda ta'minot suvini yuqori haroratgacha regenerativ qizdirish maqsadga muvofiq emas, chunki bu gelio qabul qilgichga kiritilayotgan natriyning haroratini ortishiga va quyosh energiyasidan foydalanish miqdorini kamayishiga olib keladi. Ushbu quyosh IES ning sikli 11.5, b-rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda a-b qirqim bug'ni regenerativ qizdirish mavjudligini ko'rsatadi.

Porshenli quyosh dvigateli. Kichik quvvatli quyosh elektr stansiyalarida issiqlik izoxorik ($v=const$) uzatiladigan porshenli havo dvigatellarini qo'llash

maqsadga muvofiq. Issiqlikni uzatish harorati 600°C bo'lgan quyosh energiyasida samarali ishlaydigan shunday dvigatelning sxemasi taklif etilgan. Dvigatelning sxemasi va uning sikli 11.6-rasmda keltirilgan.

Ushbu dvigatelning ishlash tartibi quyidagicha (11.6, a-rasm). Kompresorda (K) 0,55 MPa bosimgacha siqilgan havo dastlab resiverga (HR), keyin esa klapan (V1) orqali quyosh qizdirgichiga (QQ) uzatiladi. V2 klapan yopiq bo'lganda havo bilan to'ldirilgan qizdirgichda havo $\sim 870\text{ K}$ gacha qizdiriladi va havoning bosimi 1 MPa gacha ortadi.



11.6-rasm.

Keyin V 2 klapan ochiladi va qaynoq havo elektr generatorni va kompressorni yurituvchi porshenli dvigatelga (D) uzatiladi. Havoning bir qismi chiqarib yuboriladi va quyoshli qizdirgichdagi bosim 0,55 MPa gacha pasayadi, keyin esa V1 klapan ochiladi va resiverdan kelayotgan sovuq havo qizdirgichni to'ldiradi va qaynoq havoning bosimi xuddi shu bosimga tushiriladi. Qaynoq havoni sovuq havo bilan aralashib ketishiga yo'l quymaslik uchun vertikal punktir chiziq bilan ko'rsatilgan to'siq nazarda tutilgan.

Barcha qaynoq havo siqib chiqarilgandan so'ng V1 va V2 klapanlar yopiladi va izoxorik qizdirish jarayoni takrorlanadi. Ushbu qurilmaning p-v diagrammadagi nazariy sikli 10.6, b-rasmda tasvirlangan. Sikl 1-2 havoni siqishning adiabatik jarayonidan, 2-3 qizdirgichda issiqlikni izoxorik uzatilish jarayoni, 3-4 issiqlikni izotermik uzatilish jarayoni, 4-5 izobarik va 5-6 adiabatik kengayish jarayonlaridan

tashkil topgan. 6-1 vertikal qirqim ishlatib bo‘lingan havoni chiqarib yuborish jarayonini bildiradi.

Ushbu siklning termik FIK:

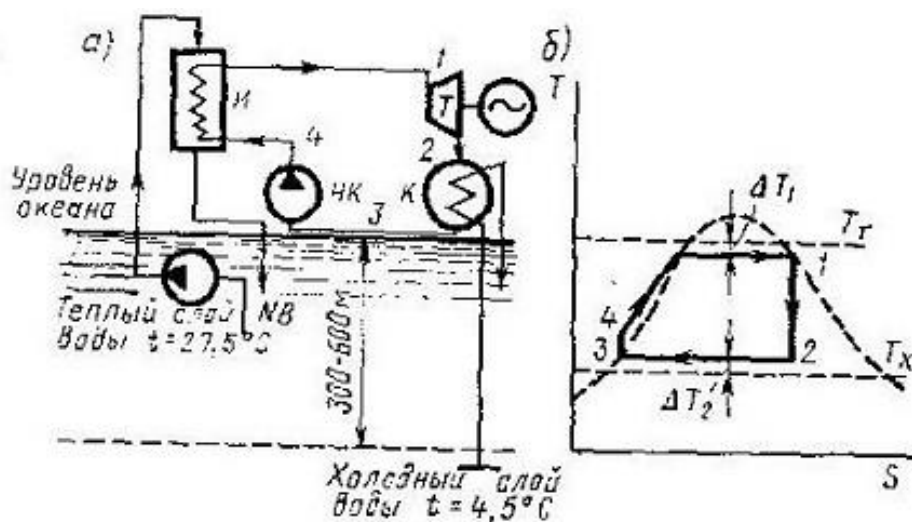
$$\eta_t = 1 - q_2 / (q_1 + q_1' + q_1'') \quad (11.4)$$

bu yerda q_1 , q_1' va q_1'' -gelioqizdirgichda quyosh issiqligini mos ravishda izoxorik, izotermik va izobarik jarayonlarda ketma-ket uzatilishi.

11.4. Suvning harorat gradiyentidan foydalanuvchi okean issiqlik elektr stansiyalari.

Tropik dengizlar va okean zonalaridagi suvning yuqori qatlami quyosh energiyasi hisobiga qizdirilishi natijasida chuqurlikdagiga nisbatan anchagina yuqori haroratga ega bo‘ladi. Ushbu haroratlarning farqi 20°C ga yetadi. Okean suvlarining juda katta issiqlik sig‘imi sharoitida ushbu haroratlar farqi mavjud bo‘lganda Karno sikliga maksimal yaqin bo‘lgan, ya’ni issiqlik izotermik uzatiladigan va olib ketiladigan termodinamik siklni amalga oshirish mumkin. Ammo ishchi jismni qizdirish va sovitish amalga oshiriladigan issiqlik almashinuvi qurilmalarining yuzalarini chegaralanganlik shartiga muvofiq ishchi jismni qizdirish darajasi atigi 10-12°C ga yetadi. Bunda siklning samarali FIK 3-4% dan oshmaydi. Yoqilg‘iga harajat bo‘lmaganda va kapital quyilmalar yuqori bo‘lganda ham okean issiqlik elektr stansiyalarini qurish iqtisodiy tomonlama maqbul hisoblanadi. Ular asosan ikki turda quriladi, ya’ni suzuvchi turidagi va qo‘zg‘almas asosli turidagi.

Okean issiqlik elektr stansiyasining prinsipial issiqlik sxemasi (a) va uning termodinamik sikli (b) 11.7-rasmda keltirilgan. Bu yerda nasos (SN) yordamida uzatilgan issiq suv bug‘latgichda (B) freonni bug‘latadi, freon bug‘lari esa turbinada (T) ish bajaradi. Ishlatib bo‘lingan bug‘ kondensatorga (K) kiritiladi, kondensatorga sovituvchi suv okeanning quyi sovuq qatlamidan keltiriladi. 11.7, b-rasmdan ko‘rinib turibdiki, bu yerda oddiy 1-2-3-4 to‘yingan bug‘li Rekin sikli amalga oshiriladi. Ishchi jism sifatida NH₃ ammiak, freon-12, propan va boshqa yengil qaynovchi moddalardan foydalaniladi.

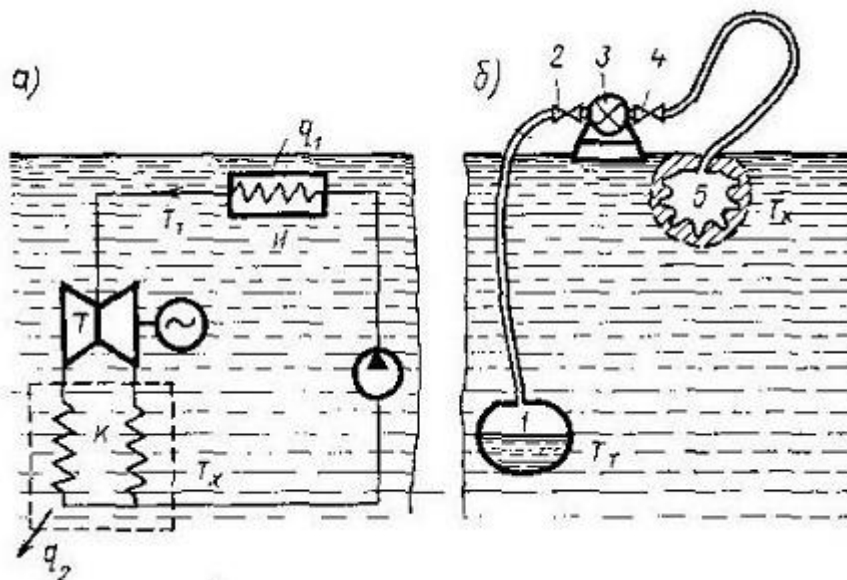


11.7-rasm.

Ishchi jismning haroratlar farqi $9,4-12^{\circ}\text{C}$ va quvvati 100 dan 400 MVt gacha bo‘lgan okean IES larning bir nechta loyihalari mavjud. Bunday okean IES larning kutilayotgan FIK 2,1-2,4% oralig‘ida. Okean IES ga yana bir boshqa misol tariqasida 11.8, a-rasmda ko‘rsatilgan bo‘lib, ushbu qurilmaning bug‘ turbinasi suv ostida joylashgan. Suv ostida joylashgan okean IES ning termodinamik sikli suv ustida joylashgan okean IES niki kabi bo‘lib, 11.7, b-rasmga mos keladi.

Qirg‘oqdan uzoqda joylashgan okean IES da ishlab chiqarilgan elektr energiyasini uzatish ancha qiyin hisoblanadi, loyihalarda ishlab chiqarilgan elektr energiyasidan o‘sha joyning o‘zida foydalanish, ya’ni vodorod, azot ishlab chiqarishda yoki okean tubidan minerallarni qazib chiqarishda foydalanish nazarda tutilgan. Yuqorida keltirilgan okean IES larning turlarini amalga oshirishdagi qiyinchiliklarni quvvati 400 MVt bo‘lgan “Mark-1” okean IES loyihasining ma’lumotlaridan ko‘rish mumkin. Ko‘rilayotgan okean IES o‘zining shakliga ega bo‘lgan katamaranda (umumiy paluba bilan birlashtirilgan ikki korpusli kema) joylashgan, katamaran har birining diametri 30 m va uzunligi 150 m ga yaqin bo‘lgan ikkita gorizontali temir betonli ichi bo‘sh bloklardan tashkil topgan. Har blokda oltita turbogenerator va kemaning suzish qobiliyatini saqlab turuvchi ballast tizim joylashtirilgan. Kondensatorning issiqlik almashinuvi yuzasi 185000 m^2 . Sovituvchi suvni uzatish quvurining diametri 18 m ga yaqin, unga kiritiladigan suv 300 m chuqurlikdan olinadi.

Shuningdek davriy harakatli propanda ishlovchi okean IES lar ham mavjud (11.8, b-rasm). Ular qish vaqtida okean suvining haroratlari farqidan foydalanish uchun mo'ljallangan, ya'ni qish vaqtida okeanning yuqori qatlami ancha sovuq, tubidagi qatlam ancha issiqroq bo'ladi.



11.8-rasm.

Qurilma ikkita elastik qobiq 1 va 5 dan iborat bo'lib, ular turbinaga 3 bilan egiluvchan shlang bilan biriktirilgan. Qobiqlar turbinadan 2 va 4 klapan orqali uzib quyiladi. Uning ishlash prinsipi quyidagicha.

Agar qobiq 1 suyuq propan mavjud bo'lsa, u holda issiq suvning ta'sirida propan bug'lanadi va 2 va 4 klapan ochilganda 3 turbinaga kiritiladi, turbinani harakatga keltiradi va keyin qobiq 5 ga kiritiladi. Klapanlar yopilgandan so'ng propan qobiq 5 da kondensatsiyalanadi, natijada qobiq bir qancha hajmga qisqaradi va o'zining og'irligi ta'sirida belgilangan chuqurlikkacha cho'kadi. Bir vaqtning o'zida qobiq 1 dan bug'lanayotgan propan chiqib ketadi va qobiq yuqoriga ko'tariladi, natijada qobiq suv yuqori sovuq qatlamidan o'ziga joy egallaydi. Bundan keyin klapanlar 4 va 2 almashlab ulanadi. Qobiq 5 da (endi pastda suvning issiq qatlamida joylashgan) propan bug'lanib turbinaga kiritiladi va turbinani harakatga keltiradi va undan o'tib qobiq 1 ga (endi suvning yuqori sovuq qatlamida joylashgan) kiritiladi. Klapanlar yopilgandan keyin propan qobiq 1 da kondensatsiyalanadi, natijada qobiq 1 ning hajmi kichrayadi va og'irlik kuchi ta'siri

ostida cho‘kadi. Bir vaqtning o‘zida qobiq 5 dan bug‘langan propanni chiqib ketishi natijasida qobiq suvning yuqori sovuq qatlamiga ko‘tariladi.

Bu jarayonlar uzluksiz tartibda takrorlanaveradi. Bunda qobiqlardagi propanning bosimi quyidagicha o‘zgaradi: propan bug‘langanda bosim 0,4-0,6 MPa, kondensatsiyalanganda esa 0,2 MPa ni tashkil etadi. Suyuq propanli qobiq botirilgan chuqurlik 30-50 m ni tashkil etadi. Shunday qilib, 11.7, b-rasmda tasvirlangan siklga o‘xshash propanli sikl amalga oshiriladi.

Okean suvining yuqori va quyi qatlamlari orasidagi haroratlar farqidan termoelektrik qurilmalar yordamida elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun foydalanish mumkin, ushbu qurilmalarda issiqlik energiyasi bevosita elektr energiyasiga o‘zgartiriladi. Bunday qurilma parallel ulangan termojuftlarning bir nechta guruhidan tashkil topgan. Juda qyuori kuchlanishli elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun ushbu guruhlar o‘zaro ketma-ket ulanadi. Termoelektrik qurilmalarning quvvatini kichikligi va notinch okean sharoitlarida qurilmalarni qurib bo‘lmasligi asosiy kamchiligi hisoblanadi.

11.5. Geotermal issiqlik elektr stansiyalari.

Yer sharining turli mintaqalarida issiqlik oqimlarining yetarlicha notengligi hisobiga litosferaning qa’rida qaynoq suv, qaynoq gazlar va bug‘larning katta yer osti zahirasi mavjud. Ushbu yer osti issiqlik manbaining harorati anchagina yuqoriligi sababli ko‘pgina hollarda ulardan nafaqat mahalliy issiqlik ta’minotida (shu jumladan binolarni isitishda), balki geotermal deb ataluvchi maxsus utilizatsion issiqlik energetik qurilmalarida elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun ham foydalanish mumkin. Bunday geotermal manbalar mamlakatimizning Farg‘ona, Qashqadaryo va Surxondaryo viloyatlarida, shuningdek qo‘shni mamlakatlar bo‘lmish Kavkaz, G‘arbiy Sibir va Uzoq Sharq mamlakatlarida mavjud. Shuningdek geotermal manbalar Vengriya, Meksika, Italiya, AQSH, Yaponiya va dunyoning boshqa mamlakatlarida ham ko‘p miqdorda mavjud.

Qaynoq suv manbalari juda ko‘p issiqlik miqdori beradi, ularning harorati bosimga bog‘liq holda 200°C va undan yuqori bo‘lishi mumkin. Foydalaniladigan

geotermal manbalardan harorati eng yuqorisi Meksika konlaridan biri hisoblanadi, u yerda 1500 m chuqurlikda bosim 5,5 MPa bo‘lganda bug‘ning harorati 365°C ga yetadi.

Issiqlik tashuvchini haroratiga mos ravishda barcha geotermal manbalar epitermal, mezotermal va gipotermal manbalarga bo‘linadi.

Epitermal manbalarga odatda harorati 50-90°C bo‘lgan qaynoq suv manbalari kiritiladi, ular cho‘kindi jinslarning yuqori qatlamida joylashgan.

Mezotermal manbalarga harorati 100-200°C bo‘lgan qaynoq suv manbalari kiritiladi.

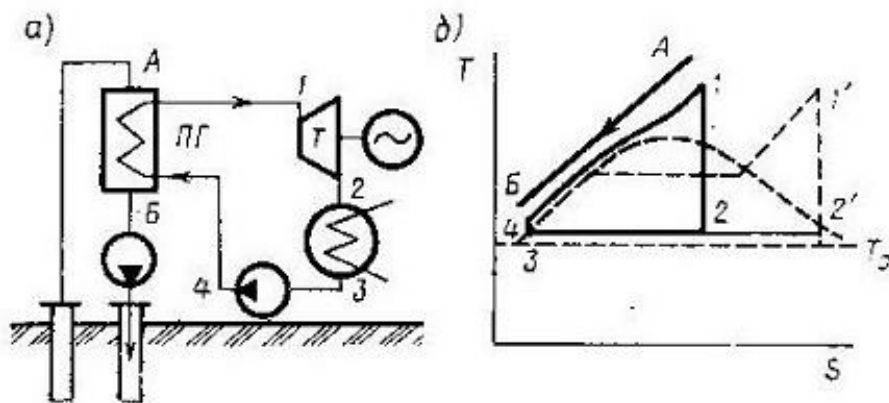
Gipotermal manbalarda harorat yuqori qatlamlarda 200°C dan oshadi va amalda yer osti suvlariga bog‘liq bo‘lmaydi.

Qaynoq suvning eng ko‘p yirik zahirasi G‘arbiy va Sharqiy Sibirda, Uzoq Sharqda va Kamchatkada joylashgan. Bu bilan bog‘liq holda birinchi geotermal IES Uzoq Sharqdagi Paratunsk va Paujetsk (Kamchatka) konlarida qurildi.

Quduqdan chiqayotgan issiqlik tashuvchining turiga bog‘liq holda issiqlik tashuvchining haroratidan geotermal IES ning u yoki bu sxemasida qo‘llaniladi. Shuningdek qaynoq suv quduqdan chiqishda kichik haroratga va turlicha zaharli moddalarga ega bo‘ladi.

Bunday geotermal qurilmaning sxemasi va uning sikli 10.9-rasmda keltirilgan. Bu yerda yuzaviy bug‘ generatorida (BG) (10.9, a-rasm) yengil qaynovchi modda yuqori kritik bosimli o‘ta qizigan bug‘ ishlab chiqariladi, bu esa foydalanilayotgan issiqlik ekssergiyasidan to‘liq foydalanish imkonini beradi. 10.9, b-rasmda T-s diagrammada 1-2-3-4 sikl va quduq suvini izobarik sovitishga mos keladigan A-B chiziq ko‘rsatilgan. Punktir chiziq yordamida kritik bosimgacha bo‘lgan sikl ko‘rsatilgan, uning termik FIK yuqori kritik siklning FIK dan ancha kichik.

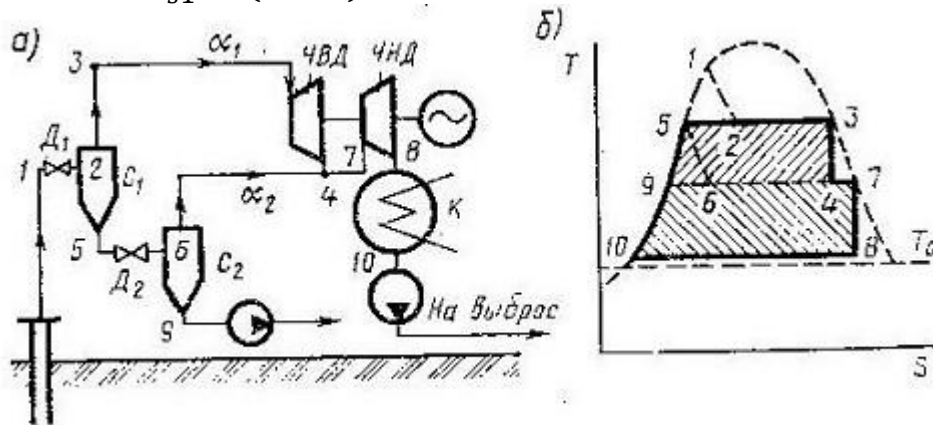
Qaynoq suv drosselanuvchi geotermal IES. Quduqdan chiqayotgan qaynoq suv yuqori bosimga ega va uning tarkibida inson sog‘ligi uchun zararli moddalar bo‘lmasa, u holda qurilmaning boshqa sxemasini qo‘llash zarur.



11.9-rasm.

Odatda qaynoq suvni pog'onali drossellashni qo'llash maqsadga muvofiq, bunda bug' turbinasida bevosita ishlash qobiliyatiga ega bo'lgan to'yingan bug' olish mumkin (11.10, a-rasm). Bu yerda: C_1 va C_2 -birinchi va ikkinchi pog'ona separatorlarining bug'lari, D_1 va D_2 -drossel klapanlari, α_1 va α_2 - D_1 va D_2 drossellarda suvni drossellanishida ajralib chiqqan bug'ning nisbiy miqdori. Ushbu kattaliklar drossellanishga kirayotgan suvning entalpiyasi va drossellashdan keyingi bug'-suvli aralashmaning entalpiyasi balans tenglamalari asosida hisoblash mumkin, ya'ni:

$$i_{s1} = (1 - x)i' + xi'' = i' + rx \quad (11.5)$$



11.10-rasm.

bu yerda i' -suvning drossellanishdan keyingi entalpiyasi, r -yashirin bug' hosil bo'lish issiqligi, x -olingan bug'ning quruqlik darajasi.

Drossellashning birinchi pog'onasi uchun olinayotgan bug' miqdori α_1 quruqlik darajasi x_1 ga teng, bug' miqdori esa (11.5) ifodadan aniqlanadi, ya'ni:

$$\alpha_1 = (i_{s1} - i'_5)/r_1 \quad (11.6)$$

bu yerda i_{s1} -quduqdan chiqayotgan suvning entalpiyasi, i'_5 -C₁ separatoridan chiqayotgan suyuq fazaning entalpiyasi, r_1 -C₁ separatoridan chiqishdagi bosimda bug' hosil bo'lish issiqligi.

Xuddi shunday α_2 bug' miqdori D₂ drosseldan chiqayotgan bug'ning quruqlik darajasi x_2 ni D₂ da drossellanayotgan suv miqdori $(1 - \alpha_1)$ ga ko'paytmasiga teng, ya'ni:

$$\alpha_2 = (1 - \alpha_1)/x_2 \quad (11.7)$$

bu yerda (11.6) ga o'xshash holda

$$\alpha_2 = (i'_5 - i'_9)/r_2 \quad (11.8)$$

Bu yerda i'_9 -C₂ separatoridan chiqayotgan suyuq fazaning entalpiyasi, r_2 -C₂ separatoridan chiqishdagi bosimda bug' hosil bo'lish issiqligi. (11.8) ni inobatga olsak (11.7) quyidagi ko'rinishga o'tadi:

$$\alpha_2 = (1 - \alpha_1)(i'_5 - i'_9)/r_2 \quad (11.9)$$

Ushbu qurilmaning sikli 10.10, b-rasmda tasvirlangan, u yerda turbinada bug'ning nazariy ishi l_t siklning shtrixlangan maydoni bilan tasvirlanadi, bunda 5-3-4-9 maydon α_1 kg ishchi jismning ishiga mos keladi, 9-7-8-10 maydon esa $(\alpha_1 + \alpha_2)$ yig'indiga mos keladi:

$$l_t = (i_3 - i_4)\alpha_1 + (i_7 - i_8)(\alpha_1 + \alpha_2) \quad (11.10)$$

Haqiqiy ish:

$$l_i = d_1(i_3 - i_4)\eta_{YUBQ} + (\alpha_1 + \alpha_2)(i_7 - i_8)\eta_{PBQ} \quad (11.11)$$

Bu yerda: i_7 -turbinaning YUBQ da ishlatib bo'lingan va C₂ separatoridan chiqayotgan bug' aralashmasining entalpiyasi, η_{YUBQ} va η_{PBQ} -turbinaning YUBQ va PBQ larining ichki nisbiy FIK.

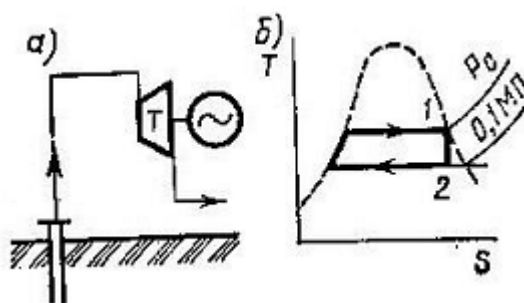
Ko'rilayotgan qurilma siklining absolyut ichki FIK:

$$\eta_t = l_i/q_s \quad (11.12)$$

bu yerda $q_s = (i_{s1} - i_0)$ -quduqdan chiqayotgan suvning foydali issiqligi, i_0 -ushbu suvning atrof muhit parametrlaridagi entalpiyasi.

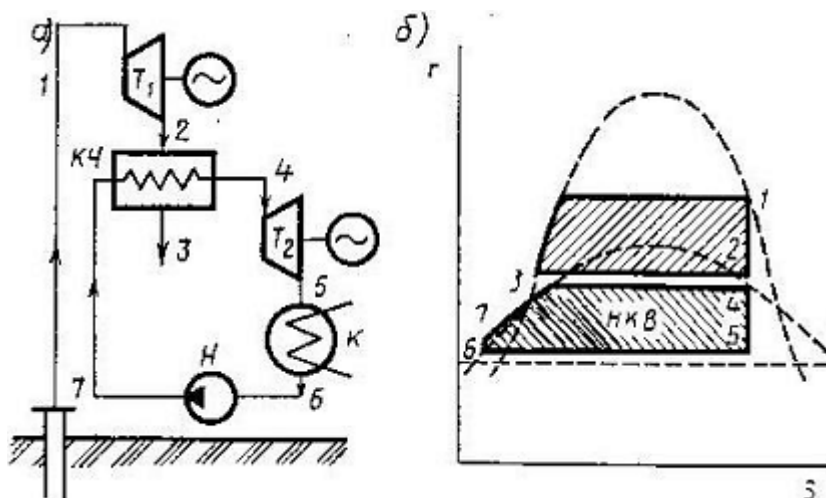
11.6. Binar geotermal IES lar.

Quduqdan chiqayotgan bug'ning tarkibida bir necha xil gazlar mavjud bo'lganda kondensatorda vakuumni hosil qilish juda qiyinlashadi, bunday hollarda oddiy sxemada ishlovchi turbina qo'llaniladi, ya'ni aralashma turbinadan atmosferaga chiqarib yuboriladi (20.11-rasm) va qurilma juda kichik iqtisodiylik bilan ishlaydi.



11.11-rasm.

Bunday hollarda binar qurilmalarni yaratish maqsadga muvofiqdir, bunda ishlatib bo'lingan bug'-gaz aralashmaning issiqligidan freon bug'ini ishlab chiqarishda foydalanish mumkin. Bunday binar qurilmaning sxemasi (a) va sikli (b) 11.12-rasmida ko'rsatilgan. Bu yerda T_1 turbinada ishlatib bo'lingan bug' KB kondensator-bug'latgichda kondensatsiyalanadi, u yerda freon bug'lanadi (yoki boshqa yengil qaynov modda), keyin T_2 turbinada ishlaydi. 11.12, b-rasmdagi yuqori sikl quduqdan chiqayotgan bug'ning ishini ko'rsatadi. Quyi sikl esa yengil qaynovchi moddaning ishini ko'rsatadi.



11.12-rasm.

Ushbu binar siklning ichki FIK:

$$\eta_t = (l_s + l_f d_t) / (i_1 - i_3) \quad (11.13)$$

bu yerda $l_s = (i_1 - i_2)\eta_{s,t}$ -bug‘-suvli turbinaning ishi, $l_f = (i_4 - i_5)\eta_{f,t}$ -freonli siklning ishi, $l_{f,n}$ -freon nasosini yuritishga sarflangan ish, d_t -freonning nisbiy sarfi, kg/kg, $i_1 - i_3$ -quduqdan chiqayotgan bug‘ning (yoki gaz-bug‘ aralashmasi) foydali issiqligi.

Binarli qurilmaning ichki FIK 12-15% ga yetadi, ishlab chiqarilgan elektr energiyasining solishtirma tan narxi bir konturli qurilmaniki bilan solishtirilganda 1,5 marta arzon.

11.7. Termoyadro elektr stansiyalari.

Qazib olinadigan energetik manbalarning (jumladan uran va toriy) chegaralanganligi sababli termoyadroviy sintez reaksiyalarini yaratishning muhim ahamiyatga ega, ularda asosiy energetik yoqilg‘i sifatida dunyo okeanlari suvining tarkibida bo‘lgan og‘ir vodorod (deyteriy D) xizmat qiladi. Termoyadroviy reaksiyani boshqa tashkil etuvchisi sifatida sun‘iy olinadigan va geliy reaksiyasida hosil bo‘ladigan o‘ta og‘ir vodorod (tritiy T) ham qo‘llaniladi.

Termoyadro energetikasida foydalanish uchun eng istiqbollisi quyidagi reaksiya hisoblanadi:



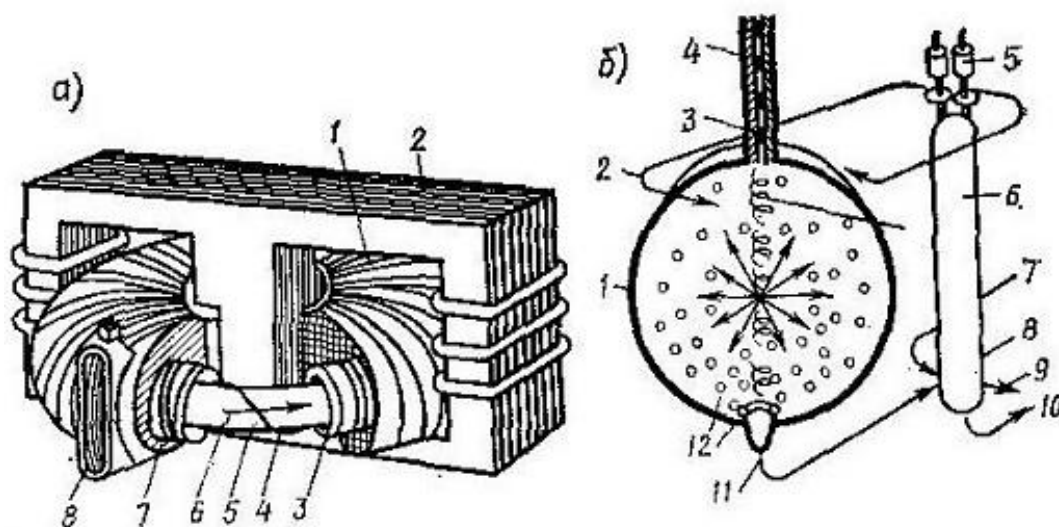
bu yerda p-proton, n-neytron, tenglamaning o‘ng qismidagi eng oxirgi qo‘shiluvchi-ajralib chiqqan energiya miqdori.

Reaksiyani o‘t oldirishning eng kichik harorati (11.16) reaksiyada $40 \cdot 10^6$ K ga yetadi. Agar okean suvida joylashgan deyteriy bir necha milliard tonnani tashkil etishini hisobga olsak (deyteriy oksidining massasi suvning 1/6000 qismini tashkil etadi), u holda 1 kg termoyadro yoqilg‘isi taxminan 16000 tonna toshko‘mirga ekvivalent bo‘ladi, dunyo okeani suvidan bunday usulda foydalanish amalda chegaralanmagan vaqt davomida insoniyatni energiya ehtiyojlarini ta‘minlash mumkin. (11.16) termoyadro reaksiyasi uchun zarur bo‘lgan T tritiyni xuddi shu

termoyadro reaktorida litiy Li izotopidan ajralgan neytronlarni nurlantirish natijasida olish mumkin. Bunda quyidagi reaksiya amalga oshiriladi:



Ushbu nurlantirish maxsus kamerada sodir bo‘ladi, u yerdan hosil bo‘lgan tritiy T forplazma tayyorlash kamerasiga kiritiladi, u yerda deyteriy D ning zarur porsiyasi bilan aralashadi.



11.13-rasm.

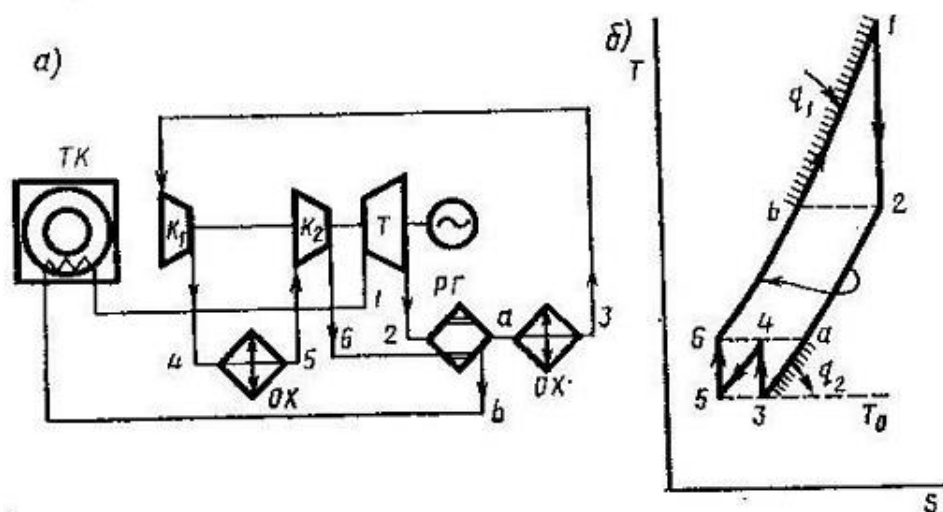
11.13-rasmda ikkita turli turdagi termoyadro reaktori keltirilgan.

Hozirgi vaqtda termoyadro reaktorining eng istiqbolli turi TOKAMAK (magnit maydonidagi toroidal kamera) tizimi hisoblanadi, uning prinsipial sxemasi 11.13, a-rasmda ko‘rsatilgan. Bunday kvazistatsionar termoyadro reaktorining ishlash tartibi quyidagicha. Elektr magnet 2 bilan hosil qilinadigan kuchli magnit maydonida joylashgan halqali kamera 3 da induksion usulda kuchli tok uzatadigan liniyalı halqali tok hosil qilinadi, u o‘z navbatida kamerada joylashgan og‘ir vodorodni (forplazma) ionlashtiradi, natijada halqali plazmali shnur 5 hosil bo‘ladi. U kamera devoridan plazmaga perpendikulyar harakatlanuvchi xususiy magnit maydoni bilan ajratiladi. O‘zaro ta’sirlashuvchi ikkita magnit maydonini hosil bo‘lishi (elektr magnet va halqali plazmali shnur) kuchli tok uzatuvchi spiral liniyalı 4 kuchli koaksial magnit maydoni yaratiladi, bu esa plazmali shnurning barqarorligini ta’minlaydi.

Termoyadroviy reaksiya natijasida ajralib chiqqan energiya neytronlarning kinetik energiyasi (~80%) va zaryadlangan zarrachalarning energiyasi (20%)

shaklida namoyon bo‘ladi. Agar ishchi kamerani qoplab turuvchi blanket 7 da issiqlik tashuvchi (litiy yoki geliy) joylashtirilsa, u holda neytronlardan ajralgan energiya issiqlik shaklida olib ketiladi va undan issiqlik energetik qurilmaning siklida foydalanish mumkin bo‘ladi. Zaryadlangan zarrachalarning energiyasini elektr energiyasiga energiyani to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘zgartirish usullari yordamida o‘zgartirish mumkin. Zarur o‘lchashlarni amalga oshirish uchun toroidal kamera 1 korpusida maxsus teshik 8 mavjud.

Termoyadro reaktor neytronlarining energiyasidan foydalanuvchi va turbinasida yuqori haroratli geliy ishlaydigan termoyadro elektr stansiyaning oddiy issiqlik sxemasi va sikli 11.14-rasmda ko‘rsatilgan.

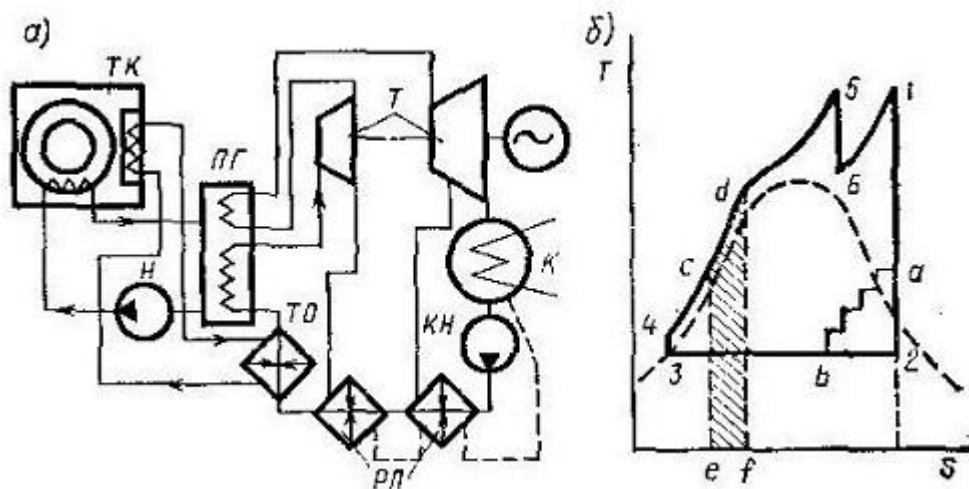


11.14-rasm.

Bu yerda: TK-termoyadro reaktori (tokamak); K_1 , K_2 -geliyli kompressorlar; T-geliyli turbina; RG-regenerators; OX-sovitgich. 20.14, b-rasmda ko‘rilayotgan qurilmaning geliyli sikli ko‘rsatilgan. Ushbu TYAES da zaryadlangan zarrachalarning energiyasi elektr energiyasi to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘zgartiriladigan qurilmada foydalaniladi va u sxemada keltirilmagan. 10.14-rasmdan ko‘rinib turibdiki ko‘rilayotgan gaz turbinali TYAES ning issiqlik energetik qismi yuqori haroratli reaktorlari geliy bilan sovitiluvchi gaz turbinali AES dan farq qilmaydi.

Ikkinchi oddiy qurilma bo‘lib bug‘ turbinali turidagi TYAES xizmat qilishi mumkin, unda blanketda neytronlarning kinetik energiyasini o‘zgartirishdan va zaryadlangan zarrachalarning energiyasini o‘zgartirishdan olingan issiqlikdan foydalaniladi. Biroq ushbu energiyalar qiymati va harorat potentsiallari bo‘yicha

turlicha bo'lganligi sababli, oddiy holda zaryadlangan zarrachalarning energiyasini o'zgartirishda olingan issiqlikdan ta'minot suvini qizdirishda foydalanish mumkin.



11.15-rasm.

11.15-rasmda reaktorida litiy issiqlik tashuvchisi harakatlanadigan bug' turbinali TYAES ning issiqlik sxemasi va sikli tasvirlangan. Bu yerda: TK-termoyadro reaktori (tokamak), BG-litiyli bug' generatori (bug' o'ta qizdirgichli), T-bug' turbinasining yuqori va past bosimli qismlari, K-kondensator, RQ-ta'minot suvini regenerativ qizdirgichlari guruhi, Q-zaryadlangan zarrachalar energiyasini o'zgartirishda olingan issiqlikdan foydalanuvchi qizdirgich, KN-litiyli nasos.

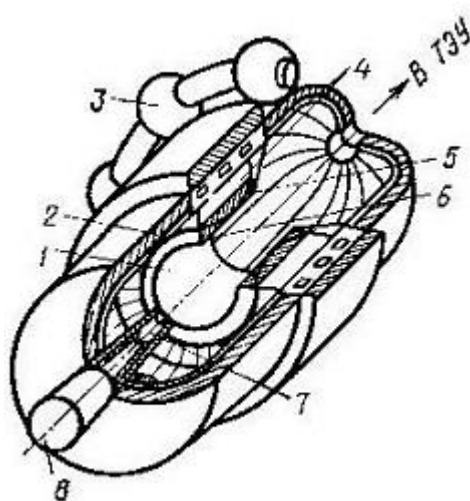
Qurilmaning sikli (11.15, b-rasm) oddiy bug' turbinali AES dan ta'minot suvini qo'shimcha qizdirgichi Q borligi bilan farqlanadi. Shtrixlangan e-c-d-f maydon zaryadlangan zarrachalar eksergiyasini o'zgartirishda foydalanilgan issiqlikka mos keladi. Pog'onali chiziq a-b ta'minot suvini qizdirgichlar guruhida qizdirish uchun bug'ning regenerativ otborlari borligini ko'rsatadi.

Termoyadro issiqlik energetik bloklarining kutilayotgan quvvati 2 dan 10 mln. kVt ni tashkil etadi. Bunda birinchi termoyadro reaktorlarining energiyasi faqatgina tabiiy uranni kuchli neytronli nurlantirish uchun ishlatiladi.

Termoyadroviy reaktorning boshqa istiqbolli turi impulsli tizimlar (11.13, b-rasm), ba'zida lazerli termoyadroviy reaktor deb ham ataladi. Bu yerda reaktorning prinsipial sxemasi tasvirlangan bo'lib, u kichik quvvatli davriy takrorlab portlatishga asoslangan. Qurilma quyidagi tartibda ishlaydi. Ishchi kamera 1 ga uzatish quvuri 2 bo'yicha nasos 5 yordamida suyuq natriy tangensial ravishda uzatiladi. Suyuq

natriyni aylanishi natijasida voronka (chuqur) hosil bo‘ladi, u yerga kanal 4 orqali davriy ravishda yoqilg‘i tabletkasi uzatiladi, u tizim markazidan o‘tayotgan momentda lazer 3 yordamida nurlantiriladi, natijada termoyadroviy mikro portlash sodir bo‘ladi. Neytronlarning hosil qilgan energiyasi suyuq litiy tomonidan qabul qilinadi va u qiziydi, keyin patrubka 11 orqali issiqlik almashinuvi qurilmasi 6 ga yo‘naltiriladi, issiqlik almashinuvi qurilmasi bug‘ generatori va ikkilamchi bug‘ o‘ta qizdirgichdan iborat. Unga bug‘ oraliq o‘ta qizdiriladigan 7-9 ta oddiy bug‘ turbina qurilmasi ulanadi (10.15-rasmga qarang) va elektr energiyasini ishlab chiqarishga imkon tug‘iladi. Mikro portlash momentida hosil bo‘ladigan zarbali to‘lqinlarning buzuvchi ta’sirlarini kamaytirish uchun ishchi kameraga gazli pufaklar 12 uzatiladi. Issiqlik almashinuvi qurilmasiga 6 litiyni uzatish va undan chiqarib olish patrubkalar 8 va 10 orqali amalga oshiriladi.

Impulsi termoyadro reaktorlarining boshqa varianti ham mavjud bo‘lib, u kuchli magnit maydonida plazmani tez siqishga asoslangan. Plazmani siquvchi suyuq metalli qobiq (layner) eng ko‘p energetik qiziqishni ifodalaydi. Magnit maydonini juda tez kuchayishi hisobiga sodir bo‘ladigan davriy siqish natijasida siqilgan plazmada kichik termoyadro portlashlar seriyasi sodir bo‘ladi. Layner bug‘lanib o‘zining past haroratli plazmasini hosil qiladi va u keyin pulsatsiyali MGD generatorida ishlaydi.



11.16-rasm.

Yuqorida aytib o‘tilgandek termoyadro reaktorining maxsus kamerasida tritiy ishlab chiqarishda toriydash tashqari ko‘p miqdorda geliy ham hosil bo‘ladi, undan

gaz turbina qurilmasida ishchi jism sifatida xizma qilishi mumkin, bunda gaz dastlab MGD generatorida ishlatib bo'lingan layner bug'i yordamida qizdiriladi. Layner bug'larini MGD generatorga kirishdagi harorati 5000 K va geliyni gaz turbinasiga kirishdagi harorati 1500 K ga teganda umumiy qurilmaning netto FIK 50% ga yetadi. Bunda shuni ta'kidlash kerakki, magnit maydonini yaratishda, plazmani qizdirishda, issiqlik tashuvchilarni haydashda va TYAES ning boshqa ehtiyojlariga energiyaning sarfi juda katta, bu qiymat ishlab chiqarilgan elektr energiyasining 30% ini tashkil etadi.

Impulsi termoyadro reaktorining prinsipial sxemasi 11.16-rasmda ko'rsatilgan. bu yerda 1-suyuq metall layneri, 2-reaktor kamerasi, 3-metall bug'lari kondensatori, 4-neytronlarning energiyasini issiqlikka o'zgartirish va tritiyni takror ishlab chiqarish uchun xizmat qiluvchi blanket, 5-solenoid (magnit maydoni hosil qilinadigan maxsus spiral), 6-aylanuvchi metall qolip, 7-plazma injektor, 8-forplazma tayyorlash tizimi.

Ko'rilayotgan termoyadro reaktori quyidagi tartibda ishlaydi. Dastlab aylanuvchi metall qolipga suyuq metall uzatiladi va suyuq metalli qobiqni ifodalovchi layner 1 hosil qilinadi. Kondensator 3 ni zaryadsizlanishi hisobiga solenoid 5 da magnit maydonini tez kuchayishi natijasida layner ichkariga kiradi va deyteriy-tritiy plazmasini siqadi. Buning natijasida uning harorati o'n million gradusgacha ortadi va kichik termoyadro portlashi sodir bo'ladi. Ajralgan energiyaning bir qismi layner metalni qizdirishga sarflanadi, buning natijasida uning plazmasi hosil bo'ladi. Energiyaning qolgan qismi neytronlarning oqimi bilan birgalikda blanket 4 orqali o'tayotgan issiqlik tashuvchiga uzatiladi. Layner bug'lari kamera 2 dan 2300-3000 K harorat va 5 MPa bosimda chiqib keyingi energiya o'zgartirish tizimiga yo'naltiriladi. Blanket 4 da neytron oqimlari suyuq natriyni nurlantiradi vva tritiy ishlab chiqariladi, hosil bo'lgan tritiy issiqlik tashuvchidan ajratiladi va forplazma tayyorlash tizimi 8 ga yo'naltiriladi.

Olingan forplazma injektor 7 yordamida reaktor kamerasi 2 ga uzatiladi. Termoyadroviy portlash natijasida kamera markazida hosil bo'lgan quyuq plazma quyqumi parchalana boshlaydi (10-3 s davomida). Parchalanishdan so'ng uning

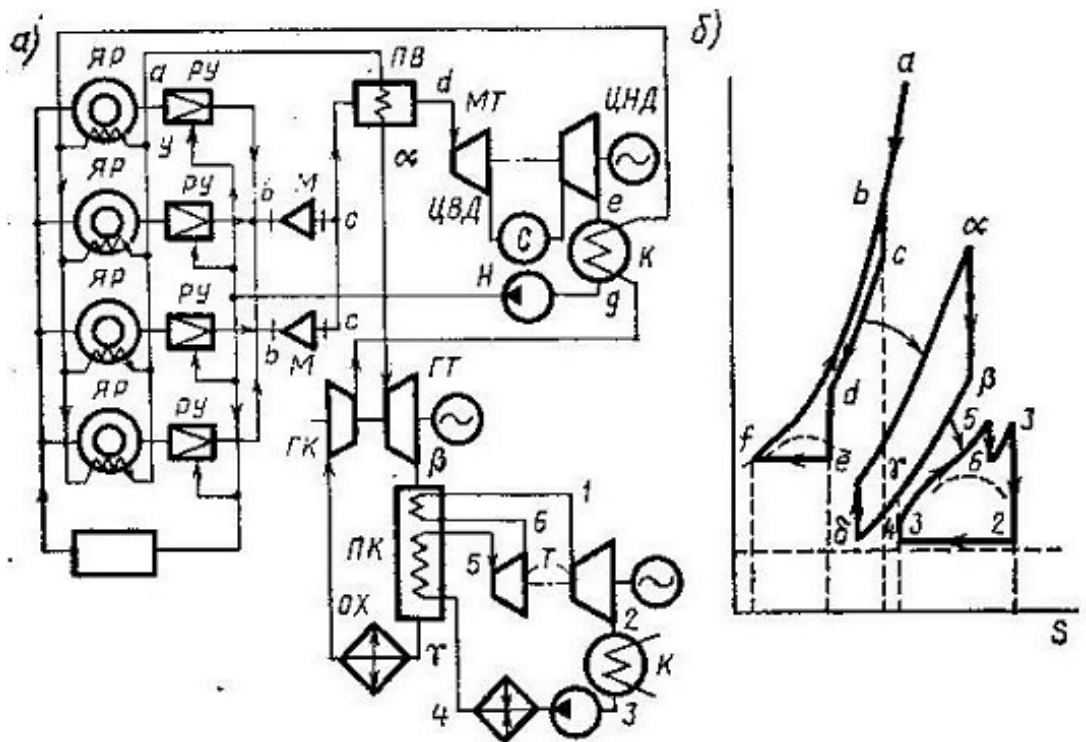
bosimi 40(105 Pa gacha tushadi, harorati esa 10000 K gacha pasayadi. Ushbu past haroratli plazma kamera 2 dan keyin issiqlik energetik qurilmasiga yuboriladi.

Reaktor blanketida ajralgan energiya sovitiuvchi gaz (geliy) bilan olib ketilib, gaz qurilmadan 1000-1200 K haroratda chiqib ketadi. Shunday qilib, reaktordan ikkita potentsialli energiya uzatiladi-o'ta yuqori haroratli metall plazma va gaz turbinasida ishlash qobiliyatiga ega qaynoq gaz (geliy) shaklida.

Metall plazmaning energiyasini o'zgartirishning eng oddiy usuli uni MGD generatorida ishlatish hisoblanadi. Bunda uning harorati reduksion-sovitish qurilmasida suyuq metall purkaladigan haroratgacha pasayishi kerak, olingan bug'larning elektr o'tkazuvchanligini oshirish uchun esa ularga seziiy yoki kaliy qo'shimchalarini qo'shish mumkin. Shuni ham e'tiborga olish kerakki, MGD generatorining reaktoridan chiqayotgan plazma pulsatsiyalanuvchi xarakterga ega bo'lganligi sababli qisqa impulslarda ishlaydi. Ularda plazma energiyasidan foydalanish 10% dan oshmaydi.

Shuning uchun MGD generatoridan chiqayotgan metall bug'larining energiyasidan ketma-ket ulangan "utilizatsiyalash" qurilmalarida foydalanish kerak, utilizatsiyalash qurilmalari sifatida bug' turbinali yoki bug'-gaz blokli, yuqori haroratli gaz turbinali, shuningdek MGD generatoridan bug'ni chiqishida o'rnatiladigan turbinali birikmalari ishlatiladi.

Turbinalarni metall bug'larida normal ishlashi uchun bitta turbinaga bir nechta shunday reaktorlar o'rnatilishi kerak. Sxemada bir vaqtning o'zida geliy reaktorining blanketidan chiqayotgan energiyadan foydalanuvchi "past haroratli qism" bo'lishi kerak, chunki bu energiya reaktorda ajralayotgan energiyaning yarmini tashkil qiladi. Buning eng tejamkor yechimi-gaz turbinadi qismni utilizatsion bug'-gaz qurilmasi rejimida ishlatishdir.



11.17-rasm.

Kombinatsiyalashgan TYAES ning prinsipial sxemasi (a) va uning sikli (b) 10.17-rasmida ko'rsatilgan. Bu yerda: YAR-reaktor, RU-reduksion namlantirish qurilmasi, M-MGD generator, MT-layner metall bug'larida ishlovchi va oraliq separatori bo'lgan turbina, GT-geliyli turbina, PK-utilizatsion bug' qozoni, T-bug' turbinasi, OX-geliy sovitgich, GK-geliyli kompressor. a-b jarayon layner bug'larini RSQ sida sovutilishi, b-c jarayon MGD generatoridagi jarayon, c-d jarayon geliy qizdirgichda bug'larni sovutilishi. α - β - γ - δ sikl geliyli konturni ishiga mos keladi, 1-2-3-4-5-6 sikl bug' turbinali utilizatsion qurilmaning ishiga mos keladi.

Ko'rinib turibdiki, reaktordan chiqayotgan ikkita issiqlik tashuvchining (layner metali va geliy) ishi keltirilgan qiyin qurilmada turlicha amalga oshiriladi. O'ta yuqori haroratli (5000 K) layner bug'lari RSQ da suyuq metalni purkash hisobiga bir qancha sovutiladi va dastlab MGD generatorida elektr energiyasi ishlab chiqariladi. Keyin vodorod sovitgichda sovutilib turbinada kengayadi.

Blanketda qizdirilgan geliy turbinada (1000 K) ishlash uchun yetarlicha haroratga ega bo'lmaydi, shuning uchun u qizdirgichda metall bug'lari bilan yetarlicha qizdiriladi va keyin gaz turbinasida ishlaydi. Ishlatib bo'lingan gaz

utilizatsion bug‘ qozoniga kiritiladi, u yerda suv bug‘i o‘ta qizdiriladi va ishlab chiqariladi. Keyin ushbu bug‘ oraliq o‘ta qizdirgichi mavjud bo‘lgan oddiy bug‘ siklida ishlovchi bug‘ turbinasida ishlaydi. T-s diagrammadan ko‘rinib turibdiki (11.17, b-rasm), qurilmada bir vaqtda uchta turli ishchi jism (metall, geliy va suv bug‘i) yordamida uchta termodinamik sikl amalga oshiriladi.

O‘tkazilgan hisoblar shuni ko‘rsatadiki, bunday qiyin qurilmaning umumiy FIK taxminan 50% ni tashkil etadi, bunda o‘z ehtiyojlar uchun 25% energiya sarfi ham hisobga olingan. MGD generatorda faqatgina 10% energiya ishlab chiqariladi, qurilmada uning borligi hisobiga umumiy FIK atigi 2-3% ga ortadi. Shu bilan birga metall bug‘larida ishlovchi turbinaning ishi umumiy FIK ni 5-6% ga oshiradi. Bu raqamlar shunga guvohlik beradiki, TYAES sxemani soddalashtirish uchun MGD generatorlarni qo‘llashdan voz kechish mumkin, yuqori haroratli issiqlik tashuvchi va metall bug‘lari uchun turbinaning o‘zi yetarli bo‘ladi. Geliyning issiqligidan foydalanuvchi kombinatsiyalashgan bug‘-gaz qurilmasini qo‘llash to‘liq o‘rinlidir.

TYAES ning keltirilgan sxemalari va sikllaridan ko‘rinib turibdiki bunday qurilmalarni takomillashtirish zarur.

XII-BOB. ENERGIYANI BEVOSITA O‘ZGARTIRISHNING TERMODINAMIK ASOSLARI.

12.1. Yoqilg‘ili elementlarning termodinamik asoslari.

Issiqlik energetik qurilmalarida elektr energiyasini ishlab chiqarishning an’anaviy usullari energiyani ko‘p karrali o‘zgartirishga asoslangan. Masalan issiqlik elektr stansiyasida bug‘ qozonining o‘txonasida yoki gaz turbinasining yonish kamerasida yoqilg‘ining kimyoviy energiyasi issiqlik energiyasiga o‘zgaradi. Keyin issiqlik energiyasi turbinada elektr generatorini harakatga keltiruvchi mexanik energiyaga o‘zgaradi, elektr generatorda mexanik energiya elektr energiyasiga o‘zgartiriladi. ularning har birida kattagina energiya yo‘qotilishlari mavjud, ya’ni yoqilg‘ini yoqqanda ajralib chiqqan energiyaning yarmidan ko‘pi atrof muhitga tashlab yuboriladi va uni ifloslantiradi.

Ushbu sabablarga ko‘ra so‘nggi vaqtlarda asosiy e’tibor energiyani o‘zaro o‘zgartirish usullariga qaratilmoqda, birinchi navbatda kimyoviy energiyani elektr energiyasiga va issiqlik energiyasini elektr energiyasiga o‘zgartirish masalalari ilgari surilmoqda.

Kelajak energetikasi uchun eng ko‘p qiziqish dastlab issiqlik hosil qilmasdan turib kimyoviy energiyani elektr energiyasiga bevosita o‘zgartirish qurilmasiga qaratilmoqda. Bu quyidagicha izohlanadi, kimyoviy energiya yo‘nalishli harakat energiyasini ifodalaydi va ideal holatda to‘liq elektr energiyasiga o‘zgartirish mumkin, ya’ni $dE_x = dL$ tenglik ta’minlanadi. Biroq u faqatgina issiqlikka o‘zgaradi, u holda termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq maksimal imkoniyatli ish doim kichik qiymatga ega. Shunday qilib, hech bo‘lmaganda $dQ = dE_x$ bo‘lsa, u holda

$$dL' < dE_x, \text{ бу ерда } dL' = (1 - T_0/T_q)dQ \quad (12.1)$$

Shunday qilib, kimyoviy energiyani issiqlikka oraliq o‘zgartirishning mavjudligi qaytmas yo‘qotilishlarni yuzaga keltiradi:

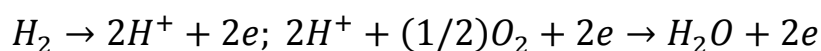
$$dE_{y o'q} = dE_x - dL' \quad (12.2)$$

yoki (12.1) ifoda inobatga olinganda

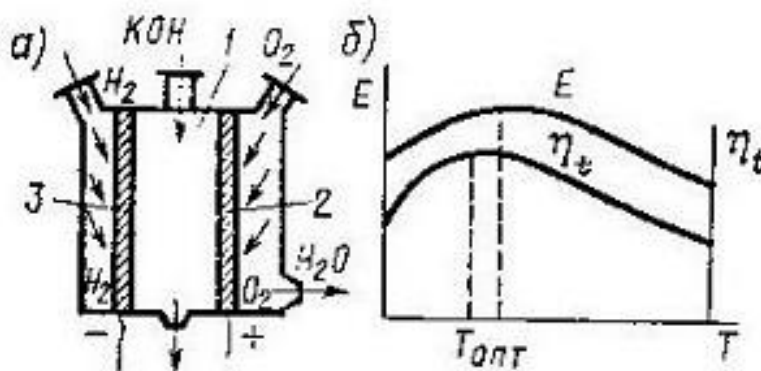
$$dL_{y o'q} = dE_x(T_0/T_q) \quad (12.3)$$

Keltirilganlardan kimyoviy energiyani elektr energiyasiga o'zgartirishni amalga oshirish zaruriyati kelib chiqadi. Bunday o'zgartirishlar tokning turli kimyoviy manbalarida amalga oshiriladi, ulardan energetikada eng katta qiziqish uyg'otgani bu yoqilg'ili elementlar.

Yoqilg'ili element elektr energiyasining kimyoviy generatori deb ataladi, unda yoqilg'i va oksidlovchi orasidagi reaksiya ntijasida ajralib chiqqan kimyoviy energiya bevosita elektr energiyasiga o'zgartiriladi. Birinchi yoqilg'ili element 1842 yilda ixtiro qilingan bo'lib, u quyidagi tartibda ishlaydi (12.1, a-rasm). KOH elektrolitli idish 1 da ikkita elektrod-anod 3 va katod 2 joylashtiriladi. Anod yuzasiga uzluksiz ravishda tiklovchi (vodorod) keltiriladi, katod yuzasiga esa oksidlovchi (kislород) keltiriladi. Ichi bo'sh elektrodning kontaklashuvchi yuzalarida quyidagi reaksiya sodir bo'ladi:

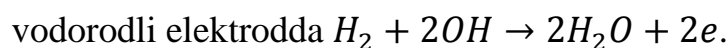
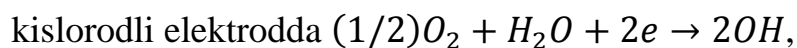


bu yerda e-elektron zaryadi.



12.1-расм.

Ushbu yig'indili tok hosil qiluvchi reaksiya ikkita reaksiyaning qo'shilish natijasidir:



Yoqilg'ili elementlar o'zining ish prinsipi bo'yicha qandaydir darajada issiqlik energetik qurilmalariga o'xshashdir, ya'ni ularda yoqilg'ini oksidlash (sovuq yoqish) natijasida energiya ajraladi.

Yoqilg'ili elementda kichik elektr tokining hisobiga sodir bo'ladigan jarayon qaytar izobar-izotermik jarayonga yaqinlashadi. Gibbs-Gelmgols tenglamasiga muvofiq bunday jarayonning termodinamik potentsiali quyidagi ko'rinishda bo'ladi, ya'ni $Z = I + T(dZ/dT)_r$, ushbu jarayonning maksimal ishi esa quyidagicha:

$$L_{max} = \Delta Z = \Delta I + T(\partial \Delta Z / \partial T)_r = \Delta I_r + T(dL_{max}/dT)_r \quad (12.4)$$

Ma'lumki, o'xshash reaksiyalar uchun L_{max} qiymati kichik, reaksiyaning maksimal issiqligini ifodalovchi ΔI qiymat esa katta, ya'ni $L_{max} \leq Q_r$.

ΔI va L_{max} orasidagi nisbat to'laligicha (dZ/dT) ko'paytma belgisi bilan aniqlanadi. $(dZ/dT) < 0$ bo'lganda $\Delta L < \Delta I$ va ortiqcha issiqlik atrof muhitga beriladi. $(dZ/dT) > 0$ bo'lganda esa $\Delta L > \Delta I$. Ushbu holda yetishmaydigan energiya atrof muhitdan o'zlashtiriladi. Yoqilg'ili elementning L_{max} qiymati $n\Phi$ elektr zaryadini uzatish ishidan aniqlanadi, bu yerda n -valentlilik va $\Phi=96500$ kJ/keV-Faradey doimiysi, ya'ni:

$$L_{max} = \Delta L = n\Phi E = -96500nE \quad (12.5)$$

bu yerda E -elementning elektr yurituvchi kuchi.

(12.5) va (12.4) ifodalarni birgalikda yechsak, u holda

$$L_{max} = \Delta I - 96500nT(\partial E / \partial T)_r \quad (12.6)$$

bu yerda

$$E = -\Delta I/96500 + T(\partial E / \partial T)_r \quad (12.7)$$

Yoqilg'ili elementning foydali ish koeffitsiyenti $\eta_{yo.e}$ xaqiqiy ishni (elektr toki) L_h yoqilg'ini issiqlik ajratish qobiliyatiga Q_i taxminan teng bo'lgan nazariy ishning nisbatiga aytiladi, ya'ni:

$$\eta_{yo.e} = L_h/Q_i \quad (12.8)$$

Termik FIK:

$$\eta_t = L_t/Q_i \quad (12.9)$$

Elementning nazariy ishi L_t ni haroratga bog'liqligi kimyoviy termodinamika kursidan ma'lum formuladan aniqlanadi:

$$L_t = Q_i - T(S_1 - S_2) - Q_{1,2}(T - T_0)/T_0 \quad (12.10)$$

bu yerda S_1 - S_2 -reaksiya mahsulotlari entropiyasining o'zgarishi, T_0 -atrof muhit harorati, K , T -reaksiya amalga oshadigan harorati, K , $Q_{1,2}$ -atrof muhitga berilgan issiqlik.

Termik FIK η_t va EYuK qiymati reaksiya haroratiga bog'liq. Bunda E potensial va termik FIK maksimumlari turli haroratlarga mos keladi (12.1, b-rasm). Masalan metan-kislorodli element uchun η_t maksimumda 700-800 K da, E maksimumga esa 900 K da erishiladi.

Barcha taklif etilgan yoqilg'ili elementlarning jiddiy kamchiligi juda past kuchlanishli (1-1,2 V) o'zgarmas tokni hosil bo'lishi hisoblanadi. Biroq ideal yoqilg'ili elementning termik FIK juda yuqori va ayrim hollarda $\eta_t > 1$ bo'lishi mumkin. Buni quyidagicha izohlash mumkin, ya'ni izotermik reaksiyaning oxirgi mahsulotlari entropiyasi S_1 ning absolyut qiymati, boshlang'ich mahsulotlarning entropiyasi S_2 qiymatidan katta bo'lishi mumkin, bunda $T(S_1 - S_2)$ qiymat manfiy bo'ladi, eksergiyani ortishi $\Delta Z = Q_r - T(S_1 - S_2)$ esa Q_r dan katta bo'ladi. Bunday elementlarda reaksiya jarayonida qisman atrof muhitdan olingan energiyadan foydalaniladi.

Namuna sifatida 12.1-rasmda tasvirlangan yoqilg'ili elementning maksimal ishini va EYuK sini hisoblash ma'lumotlarini keltirish mumkin. Ushbu elementda kislorod O_2 va vodorod H_2 bosim ostida ichi bo'sh platinali elektrodlar 2 va 3 orqali KOH ishqorining eritmasi-elektrolitga kiritiladi. Bunda O_2 atomlari elektronlarni tortib oladi va manfiy ionlarga o'zgaradi va elektrod 2 ga o'tadi, u yerda elektronlarini beradi va neytral atomlarga ajralib vodorod bilan reaksiyaga kirishadi, ya'ni $H_2 + (1/2)O_2 \leftrightarrow H_2O$. $T=298$ K bo'lganda ushbu reaksiya uchun: reaksiyaning maksimal issiqligi $Q_r=287000$ kJ/kmol, reaksiyaning maksimal ishi $L_{max} = \Delta Z=238000$ kJ/kmol, ishlab chiqarilgan energiya $E=1,23$ B, o'zgartirgichning termik FIK $\eta_t = L_{max}/Q_r = 238000/287000 = 0,8$.

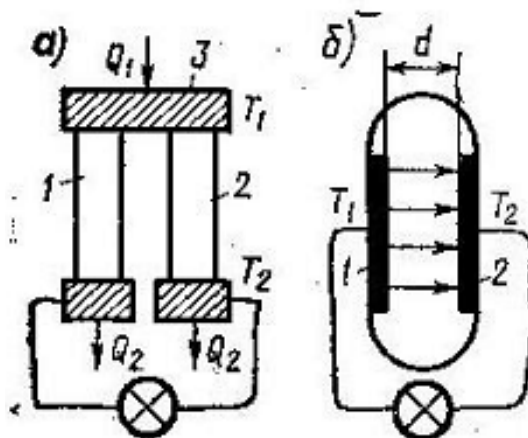
Ko'rinib turibdiki, yoqilg'ili elementlarda oddiy turdagi issiqlik energetik qurilmalarida erishib bo'lmaydigan juda yuqori termik FIK ga erishish mumkin. Quvvatini kichikligi, kuchlanishni pastligi, o'zgarmas tokni hosil bo'lishi va

qurilmaning massasini nisbatan kattaligi qurilmaning asosiy kamchiliklariga kiradi. Shuning uchun ham bu qurilmalar hozirgi kunda keng tarqalmagan.

12.2. Termoelektrik generatorlar.

Yuqori quvvatli “mashinasiz” termoyadro qurilmalarini yaratish uchun o‘zining sifati bilan ajralib turadigan termoelektrik generatorlar kelajakda yuqori haroratli yadroviy qurilmalar uchun juda katta amaliy qiziqishga sabab bo‘ladi.

Zeyebek effekti asosida haroratni o‘lchash uchun qo‘llaniladigan va keng tarqalgan termojuftlar termoelektrik generatorlarning namunasi hisoblanadi. 12.2, a-rasmda yarim o‘tkazgichlardan hosil qilingan termogenerator qurilmasining sxemasi ko‘rsatilgan. Bunda yarim o‘tkazgich 1 va 2 sterjenlar kichik issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega, u holda ular o‘zaro yaxshi o‘tkazuvchi (plastina) plastina 3 orqali biriktiriladi. Uning yordamida ikkita yarim o‘tkazgichning harorati va qaynoq manbaning harorati T_1 ning tengligi ta‘minlanadi. Yarim o‘tkazgichlarning ikkinchi uchi ancha past haroratli T_2 muhitga joylashtiriladi. Qaynoq va sovuq kavsharlarning haroratlari farqi ta‘siri ostida EYuK hosil bo‘ladi, ya‘ni $dE = \alpha_{1,2}dT$.



12.2-расм.

yoki

$$E \approx \alpha_{1,2}(T_1 - T_2) \quad (12.10)$$

bu yerda $\alpha_{1,2}$ -termo-EYuK koeffitsiyenti, u yarim o‘tkazgichlar juftining materialiga bog‘liq, dT -qaynoq va sovuq kavsharlar orasidagi haroratlari farqi.

Elektr energiyasiga oʻzgargan issiqlik miqdori:

$$q' = (\pi_{1,3} - \pi_{2,3})i \quad (12.11)$$

bu yerda π -Pelte koeffitsiyenti, injekslar koeffitsiyentni qaysi materialga tegishli ekanini koʻrsatadi.

Issiqlikning bir qismi bevosita issiqlik oʻtkazuvchanlik orqali yarim oʻtkazgich sterjenlar orqali uzatiladi:

$$q'' = \lambda(T_1 - T_2) \quad (12.12)$$

bu yerda λ -sterjenlar 1 va 2 ning kesimini inobatga oluvchi issiqlik oʻtkazuvchanlik koeffitsiyenti.

Ajralayotgan joulli issiqlik ikkila tomonga ham bir xilda tarqaladi, bunda qaynoq manbadan issiqlik uzatilishini quyidagiga kamayadi:

$$q''' = -i^2r/2 \quad (12.13)$$

bu yerda i -tok, r -yarim oʻtkazgich sterjenlarning qarshiligi.

Bundan tashqari yarim oʻtkazgichlar ulangan joydan elektr tokini oʻtishi natijasida “Tomson issiqligi” yuzaga keladi, u quyidagi bogʻliqlikdan aniqlanadi: $dQ = \tau di(\partial T/\partial x)dx$, koʻrilayotgan sharoitda u quyidagini tashkil etadi:

$$q'''' = (\tau_1 - \tau_2)i(T_1 - T_2) \quad (12.14)$$

bu yerda τ -Tomson koeffitsiyenti, x -oʻtkazgich sterjenning uzunligi.

Qaynoq manbadan uzatilgan issiqlikning umumiy miqdori koʻrsatib oʻtilgan issiqliklarning algebraik yigʻindisiga teng, yaʼni $q_1 = q' + q'' + q''' + q''''$ yoki (12.11)-(12.14) larni inobatga olsak:

$$q_1 = (\pi_{1,3} - \pi_{2,3})i + \lambda(T_1 - T_2) - i^2r/2 - (\tau_1 - \tau_2)i(T_1 - T_2) \quad (12.15)$$

Tok kuchi $i = E/[r(m + 1)]$, bu yerda $m = R$ -yuklama parametri (R -tashqi zanjirning qarshiligi). Bu yerga (12.10) dagi E qiymatni quyi quyidagiga ega boʻlamiz:

$$i = \alpha(T_1 - T_2)/[r(m + 1)] \quad (12.16)$$

Termogeneratorning foydali ishi:

$$l = i^2R = \alpha^2(T_1 - T_2)^2m/[r(m + 1)^2] \quad (12.17)$$

va kuchlanish

$$V = \alpha(T_1 - T_2)m/(m + 1) \quad (12.18)$$

Termogeneratorning termodinamik FIK foydali ishni qaynoq manbadan sarflangan issiqlikka nisbatidan aniqlanadi, ya'ni:

$$\eta_t = l/q_1 \quad (12.19)$$

q_1 qiymatni (12.16) ni hisobga olganda (12.15) dan va (12.17) dan aniqlash mumkin. Masalan, quvvati 10 Vt va kuchlanishi $V=3$ V bo'lgan tellur qo'rg'oshindan tayyorlangan termoelektrik generator uchun $T_1=873$ K va $T_2=293$ K, $m=1,3$, $r=0,692$ Om, $\lambda=0,02$ Vt/(m·°C) bo'lganda termodinamik FIK $\eta_t=9,9\%$.

FIK qiymati ancha past bo'lganligi uchun termoelektrik generatorlar hozircha energetikada keng qo'llanilgani yo'q. Biroq ularda quyosh energiyasidan foydalanilganda samarali bo'lishi mumkin.

Termoelektrik generatorlarning asosiy kamchiligi ularning quvvatini kichikligi va FIK ni pastligi hisoblanadi.

12.3. Termoelektron generatorlar.

Termoelektron generatorlarda (12.2-rasm) qaynoq 1 va sovuq 2 plastinalar vakuum ostida joylashgan ingichka muhit bilan ajratilgan, u issiqlik o'tkazuvchanlik bilan issiqlikni uzatmaydi va elektr tokini elektronlarni chiqish (emissiya) yo'li bilan o'tishini ta'minlaydi. Bu yerda metallarni qizigan vaqtida o'zining yuzasidan erkin elektronlarni o'tkazish xususiyatidan foydalaniladi.

Juda yuqori haroratda joylashgan plastina 1 katod deb ataladi, plastina 2 esa anod deb ataladi. Erkin elektronlarni metaldan chiqishi uchun metal yuzasining chegarasida chiqish ishi sarflanadi, bu ish metall va uning ichi chegarasida elektron energiyasining farqiga teng bo'lgan potensial qarshilikni yengishga sarflanadi. Har bir plastinaning yuzasidagi emissiyalar natijasida uzluksiz ravishda elektronlar ajraladi, ya'ni ma'lum miqdordagi tok ko'chishi sodir bo'ladi.

Emissiya maksimal tokining zichligi j fizika kursidan ma'lum bo'lgan Richardson formulasidan aniqlanadi:

$$j = BT^2 e^{\varphi/(kT)} \quad (12.20)$$

bu yerda (φ -elektronlarni chiqish ishi (turli materiallar uchun 1-5 eV ga teng); $B=120$ A/(sm²·grad²) ga teng doimiy; k -Bolsman doimiysi.

Katod yuzasidan chiqarilayotgan elektronlar anod yuzasiga jamlanadi, bu plastinalar orasidagi potentsiallar farqini ifodalovchi qo‘shimcha potentsiallar qarshiligi yengishga sarflangan ishni oshiradi.

Xuddi shunday katoddagi maksimal tok zichligi:

$$j_k = BT_1^2 e^{-(\varphi_2 + V_a)/(kT_1)} \quad (12.21)$$

Qarama-qarshi yo‘nalishli tok anod yuzasidan katod yuzasiga o‘tadi. Richardson formulasiga muvofiq ushbu tokning zichligi:

$$j_a = BT_2^2 e^{-\varphi_2/(kT_2)} \quad (12.22)$$

Katoddan anodga yo‘nalgan natijaviy tok $(j_k - j_a) = i$ farqqa mos keladi yoki (12.21) va (12.22) lar inobatga olinganda:

$$j = BT_1 e^{-(\varphi_2 + V_a)/(kT_1)} - BT_2 e^{-\varphi_2/(kT_2)} \quad (12.23)$$

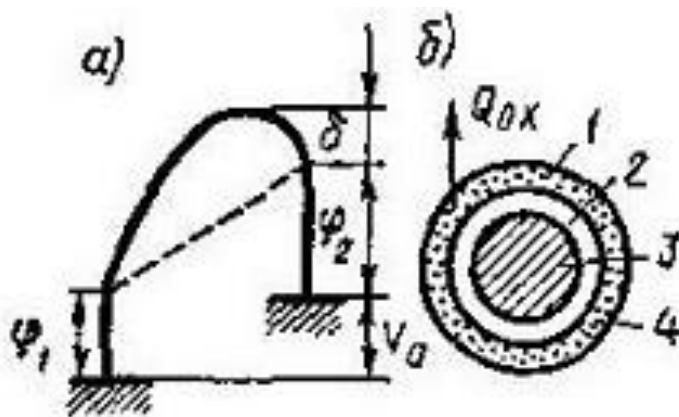
Katod yuzasining maydoni F bo‘lganda termoelektron o‘zgartirgich (generator) zanjiridagi tok:

$$I = jF \quad (12.24)$$

xuddi shu o‘zgartirgichning quvvati esa

$$N = V_a I \quad (12.25)$$

Termoelektron generator real sharoitlarda harakatlanganda plastinalar orasida “elektronli bulut” hosil bo‘ladi, uni yengishga qo‘shimcha δ ish kerak bo‘ladi. Ushbu holda chiqishning umumiy ishi $(\varphi + V_a + \delta)$ yig‘indini tashkil etadi. Ushbu sharoitda yuzaga keladigan qiyin potentsial qarshilik 12.3-rasmda tasvirlangan. Bu yerda: φ_1 va φ_2 -elektronlarning chiqish ishi; δ -elektron bulutni yengishga sarflangan ish; V_a -elektr toki kuchlanishi.



12.3-расм.

Tok zichligi j (A/sm^2) elektrodlararo tirqishning qiymati d ga juda kuchli bog‘liq (12.2, b-rasmga qarang). Yetarlicha aniqlik bilan qabul qilish mumkin, ya’ni:

$$j = 7,73 \cdot 10^{-12} (T^{3/2} / d^2) \quad (12.26)$$

Termoelektron generatorlarning samaradorligini oshirish uchun elektrodlararo tirqishni ruxsat etilgan imkoniyatli qiymatgacha kichraytirish zarur. Masalan, generatorlar 10 mkm tirqish bilan tayyorlansa, uning FIK 10% dan oshmaydi.

Termik FIK:

$$\eta_t = N/Q_k = V_R I [I\varphi_1 + I(V_a + \varphi_2 + V_R - \varphi_1) + u_e + Q_{yo'q}] \quad (12.27)$$

Bu yerda: Q_k -katodga uzatilgan issiqlik; V_R -tashqi zanjirdagi kuchlanish; u_e -elektronlarning kinetik energiyasi; $Q_{yo'q}$ -generatorning barcha elementlaridagi yo‘qotilishlar.

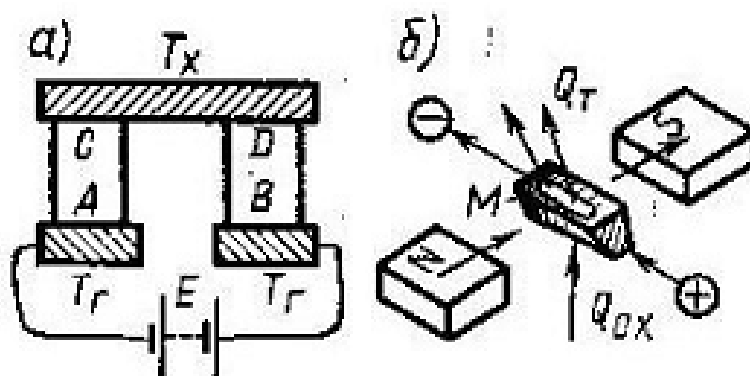
Termoelektron generator qurilmasining soddaligi, ishlashda yuqori ishonchliligi va yuqori quvvatli qurilmalarni yaratish imkoniyati mavjudligi sababli ular keng tadqiqot qilinmoqda. Ular atom energetikasi uchun kelajakda yuqori haroratli atom reaktorlarni va termoyadro qurilmalarini yaratishda keng qo‘llanilishi mumkin.

Atom elektr stansiyalarining termoelektron generatorlari juda sodda va ular bevosita yadro reaktorida joylashtirilishi mumkin, u yerda qaynoq issiq manba sifatida issiqlik ajratuvchi element xizmat qiladi. Atom reaktorining issiqlik ajratuvchi elementida to‘plangan termoelektron o‘zgartirgichlarning sxemasi 12.3, b-rasmda keltirilgan. Ko‘rinib turibdiki, katod bevosita issiqlik ajratuvchi element 3 da joylashtirilgan. Quvur shaklida bo‘lgan anod 1 kichik oraliq 2 (shtrixlanmagan halqa) bilan katodni o‘rab olgan. Anodni sovitish va anodda past haroratni ta’minlash uchun tashqi halqali tirqish 4 bo‘yicha sovituvchi suyuqlik o‘tkaziladi.

Katodda harorat ortganda tok j ham ortadi, ya’ni IAEL da juda yuqori harorat ta’minlanganda anodning harorati ham yetarlicha yuqori bo‘ladi, bu sovitish issiqligidan oddiy bug‘ sikli bo‘yicha elektr energiyasi ishlab chiqarish uchun qo‘shimcha foydalanish mumkin.

12.4. Termoelektrik sovitish qurilmasi.

Soʻnggi yillarda havoni qisman sovitish uchun, baʼzida maromlashda termoelektrik elementlar qoʻllanilmoqda, ulardan elektr toki oqib oʻtganda yetarlicha haroratlar farqi hosil boʻladi. Ushbu hodisa oqib oʻtayotgan tok taʼsiri ostida turli xil oʻtkazgichlar juftlarining kavsharlarida haroratlar farqi yuzaga kelishiga asoslangan va bu effekt Pelte effekti deb ataladi. Agar sovuq kavshardagi harorat atrof muhit haroratidan past boʻlsa, u holda ushbu termoelement sovitish mashinasi funksiyasini bajara boshlaydi.



12.4-pacm.

Pelte elementining ishlash prinsipini ushbu sxema (12.4, a-rasm) yordamida koʻrib chiqamiz. Bu yerda ikkita yarim oʻtkazgich A va B kontur hosil qiladi, u orqali elektr batareya E dan uzatilayotgan doimiy tok sirkulyatsiyalanadi. Buning natijasida C va D kavshar joylarida turlicha haroratlar ($T_q > T_s$) oʻrnatiladi, sovuq kavshar D dagi issiqlik qaynoq kavshar C ga uzatiladi. Qurilmasining juda soddaligi, hech qanday aylanuvchi mexanizmlarni va ishchi jismlarni yoʻqligi Pelte termoelementini maishiy va transport sovitgichlari va maromlagichlarda keng qoʻllash uchun istiqbolli ekanligini kafolatlaydi.

Akademik A.T. Ioffe 1929 yilda Pelte termoelementlari uchun yarim oʻtkazgichlardan foydalanishni taklif etgan va qator cheklashlar orqali maksimal haroratlar farqi ΔT_{max} va termoelementning bir nechta parametrlari orasidagi bogʻliqlikni olgan:

$$\Delta T_{max} = (z/2)T_2^2 \quad (12.28)$$

bu yerda $z = (a_1 - a_2)^2 / (\sqrt{\lambda_1 \rho_1} + \sqrt{\lambda_2 \rho_2})$, T_2 -sovuq kavsharning harorati; a_1 va a_2 , λ_1 ba λ_2 , ρ_1 ba ρ_2 -mos ravishda termo-EYuK, issiqlik o'tkazuvchanlik va termoelement tarmoqlarining solishtirma qarshiligi.

z koeffitsiyent material juftlarining sifatlik koeffitsiyenti deb ataladi. z qancha katta bo'lsa, shuncha yuqori haroratlar farqi olish mumkin. Biroq ΔT qancha katta bo'lsa, erishiladigan sovitish koeffitsiyenti K_s shuncha kichik bo'ladi.

Tadqiqotlarning ko'rsatishicha toza metallardan yuqori haroratlar farqini ta'minlovchi juftlarni tuzib bo'lmaydi. Eng yaxshi natijalarni surma, tellur va selendan tayyorlangan yarim o'tkazgichlar yordamida olish mumkin.

Hozirgi vaqtda yarim o'tkazgichli termoelektr qurilmalarning sovitish koeffitsiyentini qiymati deyarli kichik maishiy absorpsion qurilmalarning sovitish koeffitsiyentini qiymatiga tengdir. Bu termoelektr qurilmalarni ichimlik suvlarini sovitgichi sifatida, havoli maromlagichlar sifatida va turli reaktorlarni sovitgichlari sifatida qo'llashga imkoniyat yaratadi. Ushbu qurilmalarning asosiy kamchiligi quyidagicha, ya'ni haroratlar farqi yuqori bo'lganda qurilmaning samaradorligini keskin kamayib ketadi. Biroq ko'p kaskadli qurilmalarni qo'llash orqali haroratni 140-130 K gacha pasaytirish mumkin. Ularning asosiy afzalligi quyidagicha, ya'ni termoelektr qurilmalarda ta'minlovchi elektr tokining yo'nalishini o'zgartirish bilan qurilmani sovitish rejimidan qizdirish rejimiga o'zgartirish mumkin. Bunday qurilma issiqlik nasosi kabi ishlaydi, u qarshilikli elektr qizdirgichga qaraganda kam energiya sarflaydi.

So'nggi yillarda chuqur haroratga (100 K gacha) erishish uchun yarim o'tkazgichli vismut-surma monokristallar yordamida termomagnetli yoki Ettinsgauzenning "galvanik-magnit" effekti deb ataladigan sovitgichlar ham qo'llanilmoqda. Ushbu sovitgichlarning ishlash prinsipi quyidagicha. Prizma shakliga ega bo'lgan monokritallik modda M, magnitning N-S qutblari orasida joylashadi. Monokristalning yon tomonlariga potentsiallarning doimiy farqi uzatiladi, buning natijasida monokristalda elektr toki hosil bo'ladi, uning yo'nalishi magnit maydon yo'nalishiga perpendikulyar bo'lib qoladi. Bunda monokristalda

ham tok va magnit maydoniga perpendikulyar bo'lgan yo'nalishda haroratlar gradiyenti yuzaga keladi.

Kristall va magnitni rasmda ko'rsatilgandek joylashishi natijasida monokristallning yuqori qirradi qiziydi, past qirradi esa soviydi. Yuqori va quyi qirralar orasidagi haroratlar farqining doimiyligi ta'minlanganda ushbu qurilmalardan qurilmalarni sovitishda foydalanish mumkin bo'ladi. Haroratning keng ko'lamlarida sovitish zaruriyati tug'ilgan hollarda Pelte termoelementlari bilan Ettinsgauzen elementlarining kaskadli birikmasi qo'llaniladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Kirillin V. A., Sichev V. V., Sheyidlin A.YE. Texnicheskaya termodinamika. - M.: Energoatomizdat, 1983.
2. Krutov V. I. Texnicheskaya termodinamika. - M.: Visshaya shkola, 1981.
3. Larikov N.N. Teplotexnika. - M: Stroyizdat, 1985.
4. Nashokin V. V. Texnicheskaya termodinamika i teploperedacha. - M: Visshaya shkola, 1980. - 469 s.
5. Putilov K.A. Termodinamika. - M.: Nauka, 1971. - 375 s.
6. Rabinovich O.M. Sbornik zadach po texnicheskoy termodinamike. M.: «Mashinostroyeniye», 1973, 344 s.
7. Kudinov V.A., Kartashov E.M. Texnicheskaya termodinamika. Ucheb. posobiye dlya vtuzov. M: Vissh. shk., 2000.- 261 s.
8. Burdakov V.P., Dzyubenko B.V., Mesnyankin S.Y., Mixaylova T.V. Termodinamika. –M: Drofa, 2009 g.
9. I.S. Verigin. Raschet termodinamicheskogo sikla. Metodicheskiye ukazaniya. Yaroslavl, 1978.
10. Texnicheskaya termodinamika. Pod redaksiyey V.V. Krutova. M: Vissh. shk., 1971.
11. Andryushenko A.I. Osnovi termodinamiki siklov teploenergeticheskix ustanovok. –M.: Vissh. shk. 1968, -288 s.
12. Brodnyaskiy V.M. Ekssergeticheskiy metod termodinamicheskogo analiza. –M.: Energiya, 1973, -296 s.
13. Zbarev V.N. i dr. praktikum po texnicheskoy termodinamike. –M.: Energoatomizdat, 1986.
14. Andrianova T.N. Sbornik zadach po texnicheskoy termodinamike. –M.: Energoatomizdat, 1981.
15. Chechetkin A.V., Zanimonets N.A. Teplotexnika. –M.: Vissh. shk. 1986.

MUNDARIJA

ANNOTATSIYA.....	4
KIRISH.....	5
I BOB. TERMODINAMIKANING TARIXI, RIVOJLANISH TENDENSIYALARI VA ZAMONAVIY HOLATI.....	6
1.1. Termodinamikaning tarixi va rivojlanish tendensiyalari.....	6
1.2. Energetikaning rivojlanishi va zamonaviy holati.....	10
1.3. Texnikaviy termodinamika issiqlik energetikasining nazariy asosi.....	11
1.4. Termodinamikaning predmeti va uslubi.....	12
1.5. Termodinamikaviy jarayon to'g'risida ma'lumot.....	13
II BOB. ASOSIY TERMODINAMIK JARAYONLAR TAHLILI. AYLANMA JARAYONLAR VA KARNO SIKLI.....	17
2.1. Termodinamik jarayonlarni o'rganish usullari.....	17
2.2. Izoxorik jarayon.....	18
2.3. Izobarik jarayon.....	20
2.4. Izotermik jarayon.....	22
2.5. Adiabatik jarayon.....	25
2.6. Politrop jarayon.....	29
2.7. Aylanma jarayon.....	32
2.8. Karno sikli.....	34
III BOB. ISSIQLIK ENERGETIK QURILMALARINING SIKLLARINI TERMODINAMIK TAHLIL QILISHNING UMUMIY METODIKASI....	42
3.1. To'g'ri sikllarning termodinamik samaradorlik ko'rsatkichi.....	42
3.2. Sikllarning eksergetik FIK.....	52
3.3. Issiqlik energetik qurilmalarining namunaviy sikllari.....	58
3.4. Sikllarning tashqi o'lcham (gabarit) xarakteristikasi.....	63
3.5. Sikllarning termodinamik samaradorligini oshirishning umumiy usullari. Sikllarni Karnotizatsiyalash.....	66

IV	BOB. BUG' TURBINA QURILMALARINING SIKLLARI.....	74
4.1.	Suv bug'ining P-V, T-S, h-S diagrammalari.....	74
4.2.	Bug' turbina qurilmalarining tuzilishi va ishlash prinsipi.....	79
4.3.	Karnoning nam bug' sikli va uning kamchiliklari.....	82
4.4.	Bug' turbinesi qurilmasining ideal va haqiqiy sikli.....	83
4.5.	Renkin siklining termik FIK.....	88
4.6.	Bug' va issiqlikni solishtirma sarfi, boshlang'ich va oxirgi parametrlarni termik FIK ga ta'siri.....	90
4.7.	Bug' turbina qurilmalarining regenerativ sikllari.....	95
4.8.	Bug' turbina qurilmalarining oraliq qizdirish sikllari.....	102
4.9.	Bug' turbina qurilmalarining teplofikasion sikllari.....	107
V	BOB. ICHKI YONUV DVIGATELLARINING SIKLLARI.....	116
5.1.	Ichki yonuv dvigatellari to'g'risida qisqacha tarixiy ma'lumot.....	116
5.2.	Ichki yonuv dvigatellarining tasniflanishi va ishlash prinsipi.....	117
5.3.	O'zgarmas hajmda issiqlik uzatiluvchi ichki yonuv dvigatelining sikli.....	119
5.4.	O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi ichki yonuv dvigatelining sikli.....	122
5.5.	Issiqlik aralash uzatiluvchi ichki yonuv dvigateli sikli.....	125
5.6.	Ichki yonuv dvigatellarining sikllarini taqqoslash.....	127
VI	BOB. KOMPRESSOR QURILMALARINING SIKLLARI.....	131
6.1.	Porshenli kompressorlar.....	131
6.2.	Ko'p pog'onali kompressorlar.....	134
6.3.	Rotorli kompressorlar.....	135
6.4.	O'qiy kompressorlar.....	137
6.5.	Turbokompressorlar.....	138
6.6.	Kompressor qurilmasining indikator diagrammasi.....	141
6.7.	Kompressorning indikator ishi.....	142
6.8.	Bir pog'onali porshenli kompressorning ishi.....	143
6.9.	Ko'p pog'onali kompressorning ishi.....	148
6.10.	Kompressor qurilmasining quvvati va FIK.....	152
VII	BOB. GAZ TURBINA QURILMALARINING SIKLLARI.....	156

7.1.	Gaz turbina qurilmalari to'g'risida umumiy ma'lumot.....	156
7.2.	O'zgarmas bosimda issiqlik uzatiluvchi GTQ larining sikli (Brayton sikli)..	157
7.3.	O'zgarmas hajmda issiqlik keltiriladigan GTQ larining sikli (Gemfri sikli)...	161
7.4.	GTQ larning termik FIK ini oshirish yo'llari.....	164
7.5.	GTQ larining sikllarini taqqoslash.....	170
7.6.	Reaktiv dvigatellarning tasniflanishi.....	171
7.7.	Suyuqlikli reaktiv dvigatellar.....	172
7.8.	Havoli – reaktiv dvigatellar.....	174
7.9.	Pulsasiyalanuvchi havoli-reaktiv dvigatellar.....	176
7.10.	Kompressorli havoli-reaktiv dvigatellar.....	177
VIII	BOB. BUG'-GAZ QURILMALARINING SIKLLARI.....	180
8.1.	Bug'-gaz qurilmalari to'g'risida umumiy ma'lumot.....	180
8.2.	Gaz-suv qizdirgichli bug'-gaz qurilmasi sikli.....	181
8.3.	Qozon-utilizatorli bug'-gaz qurilmasi sikli.....	183
8.4.	Yuqori bosimli bug' generatorli bug'-gaz qurilmasi sikli.....	185
8.5.	Past bosimli bug' generatorli uchunchi tur bug'-gaz qurilmasining sikli.....	188
IX	BOB. SOVITISH QURILMALARI. KARNONING TESKARI SIKLI.....	190
9.1.	Sovitish qurilmalari to'g'risida umumiy ma'lumot.....	190
9.2.	Sovuqlik tashuvchilar.....	191
9.3.	Sovitish koeffisienti.....	193
9.4.	Karnoning teskari sikli.....	194
9.5.	Sovitish qurilmalarining tasniflanishi.....	195
9.6.	Havoli sovitish qurilmalarining sikllari.....	196
9.7.	Bug' kompressorli sovitish qurilmalarining sikllari.....	199
9.8.	Bug' ejektorli sovitish qurilmasining sikli.....	201
9.9.	Absorbsion sovitish qurilmasining sikli.....	203
9.10.	Chuqur sovitish sikli.....	206
9.11.	Issiqlik nasosining ishlash prinsipi.....	207
9.12.	Bug' kompressorli issiqlik nasosining sikli.....	209
9.13.	Bug' ejektorli issiqlik nasosining sikli.....	213

9.14.	Havoli issiqlik nasosi sikli.....	215
9.15.	Stirling sikli.....	217
X	BOB. ATOM ELEKTR STANSIYALARINING SIKLLARI.....	221
10.1.	AES to'g'risida umumiy ma'lumot.....	221
10.2.	AES ning issiqlik ajratuvchi elementi to'g'risida ma'lumot.....	222
10.3.	Bir konturli AES sikli.....	224
10.4.	Ikki konturli AES sikli.....	228
10.5.	Uch konturli AES sikli.....	232
XI	BOB. QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA MANBALARI ASOSIDAGI ISSIQLIK ENERGETIK QURILMALARINING SIKLLARI.....	235
11.1.	Quyosh nuri energiyasidan foydalanuvchi qurilmalar.....	235
11.2.	Chuchuklantiruvchi gelioqurilmalar.....	237
11.3.	Quyosh issiqlik elektr stansiyalari.....	239
11.4.	Suvning harorat gradiyentidan foydalanuvchi okean issiqlik elektr stansiyalari.....	242
11.5.	Geotermal issiqlik elektr stansiyalari.....	245
11.6.	Binar geotermal IES lar.....	249
11.7.	Termoyadro elektr stansiyalari.....	250
XII	BOB. ENERGIYANI BEVOSITA O'ZGARTIRISHNING TERMODINAMIK ASOSLARI.....	259
12.1.	Yoqilg'ili elementlarning termodinamik asoslari.....	259
12.2.	Termoelektrik generatorlar.....	263
12.3.	Termoelektron generatorlar.....	265
12.4.	Termoelektrik sovitish qurilmasi.....	268
	<i>Foydalanilgan adabiyotlar.....</i>	271

СОДЕРЖАНИЕ

	АННОТАЦИЯ.....	4
	ВВЕДЕНИЕ.....	5
I	ГЛАВА. ИСТОРИЯ, ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИКИ.....	6
1.1.	История и тенденции развития термодинамики	6
1.2.	Развитие энергетики и современное состояние	10
1.3.	Техническая термодинамика как теоретическая основа теплоэнергетики	11
1.4.	Предмет и метод термодинамики	12
1.5.	Сведения о термодинамических процессах.....	13
II	ГЛАВА. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. КРУГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЦИКЛ КАРНО.....	17
2.1.	Методы изучения термодинамических процессов	17
2.2.	Изохорический процесс	18
2.3.	Изобарический процесс	20
2.4.	Изотермический процесс	22
2.5.	Адиабатический процесс	25
2.6.	Политропический процесс	29
2.7.	Круговой процесс	32
2.8.	Цикл Карно	34
III	ГЛАВА. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЦИКЛОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	42
3.1.	Показатели термодинамической эффективности прямых циклов	42
3.2.	Эксергетический КПД циклов	52
3.3.	Образцовые циклы теплоэнергетических установок	58
3.4.	Габаритные характеристики циклов	63
3.5.	Общие методы повышения термодинамической эффективности циклов. Карнотизация циклов	66

IV	ГЛАВА. ЦИКЛЫ ПАРОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК	74
4.1.	P-V, T-S, h-S диаграммы водяного пара	74
4.2.	Конструкции и принцип работы паротурбинных установок	79
4.3.	Цикл Карно во влажном паре и его недостатки	82
4.4.	Идеальный и реальный цикл паротурбинных установок	83
4.5.	Термический КПД цикла Ренкина	88
4.6.	Влияние параметров пара на термический КПД цикла	90
4.7.	Регенеративный цикл паротурбинных установок	95
4.8.	Цикл промежуточного перегрева паротурбинных установок	102
4.9.	Теплофикационный цикл паротурбинных установок	107
V	ГЛАВА. ЦИКЛЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.	116
5.1.	Краткие исторические сведения о двигателях внутреннего сгорания...	116
5.2.	Классификации и принцип работы двигателей внутреннего сгорания ..	117
5.3.	Циклы ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме	119
5.4.	Циклы ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении	122
5.5.	Циклы ДВС со смешанным подводом теплоты	125
5.6.	Сравнение циклов ДВС	127
VI	ГЛАВА. ЦИКЛЫ КОМПРЕССОРОВ	131
6.1.	Поршневые компрессоры	131
6.2.	Многоступенчатые компрессоры	134
6.3.	Роторные компрессоры	135
6.4.	Осевые компрессоры	137
6.5.	Турбокомпрессоры	138
6.6.	Индикаторная диаграмма компрессора	141
6.7.	Индикаторная работа компрессора	142
6.8.	Работа одноступенчатые поршневые компрессоры	143
6.9.	Работа многоступенчатые компрессоры	148
6.10.	Мощность и КПД компрессора	152
VII	ГЛАВА. ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК И РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	156

7.1.	Общие сведения о ГТУ	156
7.2.	Циклы ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Брайтон)	157
7.3.	Циклы ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме (цикл Гемфри)	161
7.4.	Методы повышения термического КПД ГТУ	164
7.5.	Сравнение циклов ГТУ	170
7.6.	Классификация реактивных двигателей	171
7.7.	Жидкостные реактивные двигатели	172
7.8.	Воздушные реактивные двигатели	174
7.9.	Пульсирующие воздушно-реактивные двигатели	176
7.10.	Компрессорные воздушно-реактивные двигатели	177
VIII	ГЛАВА. ЦИКЛЫ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК.....	180
8.1.	Общие сведения о ПГУ	180
8.2.	Цикл ПГУ с газо-водонагревателями	181
8.3.	Цикл ПГУ с котел-утилизатором	183
8.4.	Цикл ПГУ с высоконапорными парогенераторами	185
8.5.	Цикл ПГУ с низконапорным парогенератором третьего типа	188
IX	ГЛАВА. Холодильные установки. Обратный цикл Карно ...	190
9.1.	Общие сведения о холодильных установках	190
9.2.	Хладоносители	191
9.3.	Холодильный коэффициент	193
9.4.	Обратный цикл Карно	194
9.5.	Классификация холодильных установок	195
9.6.	Цикл воздушной холодильной установки	196
9.7.	Цикл парокомпрессионной холодильной установки	199
9.8.	Цикл парожеткторной холодильной установки	201
9.9.	Цикл абсорбционной холодильной установки	203
9.10.	Цикл глубокого охлаждения	206
9.11.	Принцип работы теплового насоса	207
9.12.	Цикл парокомпрессионного ТНУ	209

9.13.	Цикл пароежекторного ТНУ	213
9.14.	Цикл воздушного ТНУ	215
9.15.	Цикл Стирлинга	217
X	ГЛАВА. ЦИКЛ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ	221
10.1.	Общие сведения о АЭС	221
10.2.	Тепловыделяющий элемент АЭС	222
10.3.	Цикл одноконтурной АЭС	224
10.4.	Цикл двухконтурной АЭС	228
10.5.	Цикл трехконтурной АЭС	232
XI	ГЛАВА. ЦИКЛЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ	235
11.1.	Установки, использующие энергию солнечного излучения	235
11.2.	Опреснительные гелиоустановки	237
11.3.	Солнечные тепловые электрические станции	239
11.4.	Океанические тепловые электростанции, использующие температурный градиент воды	242
11.5.	Геотермальные ТЭС	245
11.6.	Бинарные геотермальные ТЭС	249
11.7.	Термоядерные электростанции	250
XII	ГЛАВА. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ .	259
12.1.	Основы термодинамики топливных элементов	259
12.2.	Термоэлектрические генераторы	263
12.3.	Термоэлектронные генераторы	265
12.4.	Установки термоэлектрического охлаждения	268
	<i>Использованные литературы.....</i>	271