

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

**OLIV TA'LIM TIZIMI PEDAGOG VA RAHBAR KADRLARINI QAYTA
TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI OSHIRISHNI TASHKIL
ETISH BOSH ILMIV - METODIK MARKAZI**

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
PEDAGOG KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING
MALAKASINI OSHIRISH TARMOQ MARKAZI**

**TEXNOLOGIK MASHINALAR VA JIHOZLAR
YUNALISHI**

“TEXNIKAVIY TERMODINAMIKA”

moduli bo'yicha

O'QUV –USLUBIY MAJMU'A

Toshkent - 2017

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

**OLIV TA'LIM TIZIMI PEDAGOG VA RAHBAR KADRLARINI
QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI
OSHIRISHNI TASHKIL ETISH BOSH
ILMIY - METODIK MARKAZI**

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
PEDAGOG KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING
MALAKASINI OSHIRISH TARMOQ MARKAZI**

**“TEXNIKAVIY TERMODINAMIKA”
moduli bo'yicha**

O'QUV –USLUBIY M A J M U A

Tuzuvchi: katta o'qituvchi. T.B. Nurmatov

Toshkent - 2017

Mazkur o‘quv-uslubiy majmua Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligining 2017 yil 29 avgustdagi 603-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv reja va dastur asosida tayyorlandi.

Tuzuvchi: TDTU, “Sovutish va kriogen texnikasi” kafedrasida katta o‘qituvchisi T.B.Nurmatov

Taqrizchi: TDTU, “Sovutish va kriogen texnikasi” kafedrasida mudiri t.f.d. Q.Karimov

O‘quv-uslubiy majmua Toshkent davlat texnika universiteti Kengashining 2017 yil _____dagi ____-sonli qarori bilan nashrga tavsiy qilingan.

MUNDARIJA

I. ISHCHI DASTUR	3
II. Modulni o'qitishda foydalaniladigan intrefaol ta'lim metodlari.	14
III. Nazariy mashg'ulot materiallari	27
IV. Amaliy mashg'ulot materiallari	93
V. Keyslar banki	110
VI. Mustaqil ta'lim mavzulari	111
VII. Glossariy	112
VIII. Adabiyotlar ro'yihati	117
IX. Ilova	118

I. ISHCHI DASTUR

Kirish

Dastur O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015 yil 12 iyundagi "Oliy ta'lim muassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi PF-4732-son Farmonidagi ustuvor yo'nalishlar mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo'lib, u zamonaviy talablar asosida qayta tayyorlash va malaka oshirish jarayonlarining mazmunini takomillashtirish hamda oliy ta'lim muassasalari pedagog kadrlarining kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni maqsad qiladi. Dastur mazmuni oliy ta'limning normativ-huquqiy asoslari va qonunchilik normalari, ilg'or ta'lim texnologiyalari va pedagogik mahorat, ta'lim jarayonlarida axborot-kommunikasiya texnologiyalarini qo'llash, amaliy xorijiy til, tizimli tahlil va qaror qabul qilish asoslari, maxsus fanlar negizida ilmiy va amaliy tadqiqotlar, texnologik taraqqiyot va o'quv jarayonini tashkil etishning zamonaviy uslublari bo'yicha so'nggi yutuqlar, pedagogning kasbiy kompetentligi va kreativligi, global Internet tarmog'i, multimedia tizimlari va masofadan o'qitish usullarini o'zlashtirish bo'yicha yangi bilim, ko'nikma va malakalarini shakllantirishni nazarda tutadi.

Ushbu dasturda Texnikaviy termodinamikada asosiy termodinamik parametrlari, turli termodinamik tizimlari, o'zgarmas bosim va o'zgarmas hajm dagi issiqlik sig'imlarini aniqlash va ulardan turli masalalarni yechish, izotermik, izohorik, izobarik, adiabetic va pollitropik jarayonlar, termodinamikaning I va II- qonunlari. Entropiya va eksergiya tushunchlari, ularning turli tizimlarni analiz qilishda qo'llanilishi. Issiqlik dvigatellar, energetik mashinalar, sovutish va isitish tizimlardagi termodinamik muammolari bayon etilgan.

Modulning maqsadi va vazifasi

Texnikaviy termodinamika **modulining maqsad va vazifalari:**

-texnologik mashinalarda kechadigan jarayonlar, nazariy va xaqiqiy sikllarni o'rganish, hamda termodinamik tahlil qilish va texnologik mashinalardagi jarayonlarni o'rganish, ularning mavjud turlarini mukammallashtirish va yangi mukammalroqlarini yaratishdir.

Modul bo'yicha tinglovchilarning bilimi, ko'nikmasi, malakasi va kompetensiyalariga qo'yiladigan talablar

Texnikaviy termodinamika modulni o'zlashtirish orqali quyidagi bilimq ko'nikma va malakaga ega bo'ladi:

Tinglovchi:

- neft va gazni, meva-sabzavotlarni qayta ishlash, kimyo sanoati, past harorat olish sikllarining termodinamik asoslarini;

- mashina va jihozlar ishining effektiv ko'rsatkichlarini;

- jihozlardagi energetik yo'qotishlar va ularni kamaytirish usullarini;

- neft va gazni, meva-sabzavotlarni qayta ishlash, kimyo sanoati, past harorat olish vositalari ko'rsatkichlarini yaxshilash usullaribo'yicha bilimlarga ega bo'lish.

Tinglovchi:

- neft va gazni, meva-sabzavotlarni qayta ishlash, kimyo sanoati, past harorat olish vositalari issiqlik va gidrodinamik hisobini bajarish;

- neft va gazni, meva-sabzavotlarni qayta ishlash, kimyo sanoati, past harorat olish vositalarini tahlil qilish;

- neft va gazni, meva-sabzavotlarni qayta ishlash, kimyo sanoati, past harorat olish vositalari harakteristikalarini olish ko'nikmalarga ega bo'ladi.

Tinglovchi:

- turli texnologik jarayonlarning termodinamika qonuniyatlarga asoslab tahlil qilish ;

- texnologik mashinalar va jihozlarda bajarilgan ish va unga sarflangan energetik quvvatlarini taqqoslash;

- texnologik mashinalar va jihozlarnin iqtisodiy samaradorligini oshirish malakalariga ega bo'ladi .

Modulni tashkil etish va o'tkazish bo'yicha tavsiyalar

"Texnikaviy termodinamika" moduli ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar shaklida olib boriladi. Kursni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy metodlari, pedagogik texnologiyalar va axborot-kommunikasiya texnologiyalari qo'llanilishi nazarda tutilgan:

- ma'ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida prezentasion va elektron-didaktik texnologiyalardan;

- o'tkaziladigan amaliy mashg'ulotlarda texnik vositalardan, ekspress-so'rovlar, test so'rovlari, aqliy hujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, kollokvium o'tkazish, va boshqa interaktiv ta'lim usullarini qo'llash nazarda tutiladi.

Modulning o'quv rejadagi boshqa fanlar bilan bog'liqligi va uzviyligi

Mazkur modul "Texnologik mashinalar va jihozlar" kursidagi fanlar bilan uzviy bog'liq

Modulning oily ta'limdagi o'rni

Respublikamizdagi ijtimoiy-iqtisodiy islohotlar natijalari va hududiy muammolarining texnologik mashinalar termodinamikasiga ta'siri masalalarini qamraydi.

Modul bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Modul mavzulari	Tinglovchining o'quv yuklamasi, soat					
		Xammasi	Auditoriya o'quv yuklamasi				Mustaqil ta'lim
			jami	jumladan			
				Nazariy	Amaliy mashg'ulot	Ko'chma mashg'ulot	
1.	Asosiy termodinamik o'lchamlar va tushunchalar	2	2	2	-	-	-
2.	Issiqlik sig'imi. O'zgarmas bosim va o'zgarmas xajimlarda issiqlik sig'imini aniqlash	4	4	2	2	-	-
3.	Asosiy termodinamik jarayonlar	2	2	2	-	-	-
4.	Gazlar aralashmalarida termodinamikaning birinchi qonuni	4	4	2	2	-	-
5.	Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Aylanma jarayonlar. Sovutish mashinalar va issiqlik nasoslari.	4	4	2	2	-	-
6.	Entorpiya. Ekssergiya.	4	2	2	-	-	2
7.	Gazli ishchi jismlar bilan ishlaydigan issiqlik dvigatellarning sikllari. Gazlarni siqish. Sovutish sikllari.	4	4	2	2	-	-
	Jami:	24	22	14	8	-	2

NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1. **Mavzu:** Asosiy termodinamik o'lchamlar va tushunchalar

Reja:

1. Kirish;
2. Termodinamik o'lchamlar;
3. Termodinamik sistemalar;
4. Ideal va real gazlar.

Asosiy holat parametrlari. Ideal gaz - asosiy tushunchalar. Ideal gaz qonunlari. Toza moddalar va ularning aralashmalari. Gaz aralashmasidagi xajmiy ulushlar. Dalton qonuni.

2. **Mavzu:** Issiqlik sig'imi. O'zgarmas bosim va o'zgarmas xajim larda issiqlik sig'imini aniqlash.

Reja:

1. Umumiy tusunchalar;
2. Solishtirma va o'rtacha issiqlik sig'implari;
3. O'zgarmas bosim va xajimlarda issiqlik sig'imini aniqlash;
4. Mayer tenglamasi.

Issiqlik sig'imi. Asosiy tushunchalar. Izoxor va Izobar issiqlik sig'imi. Mayer formulasi. Aralashmalarning issiqlik sig'imi. Solishtirma issiqlik sig'imi.

3. **Mavzu:** Asosiy termodinamik jarayonlar

Reja:

1. Umumiy tusunchalar;
2. O'zgarmas xarorat jarayonlar;
3. O'zgarmas bosim jarayonlar;
4. O'zgarmas xajimlarda jarayonlar;
5. Gaz harakati vaqtidagi holatning o'zgarishi.

Termodinamik jarayonlar xaqida umumiy tushuncha. Izoxor, izobar, izotermik, adiabat va politron jarayonlar. Gaz harakati vaqtidagi holatning o'zgarishi.

4. Mavzu: Gazlar aralashmalarida termodinamikaning birinchi qonuni

Reja:

1. Umumiy tusunchalar;
2. O'zgarmas xarorat jarayonlarda 1-qonun;
3. O'zgarmas bosim jarayonlarda 1-qonun;
4. O'zgarmas xajimlarda jarayonlarda 1-qonun;
5. Entalpiya.

Ichki energiya. Joul qonuni. PV-diogramma. Issiqlik. hajm va bosim o'zgarishida bajarilgan ish. Entalpiya. Gazlar aralashmalarida termodinamikaning birinchi qonuni

5. Mavzu: Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Aylanma jarayonlar. Sovutish mashinalar va issiqlik nasoslari.

Reja:

1. Umumiy tusunchalar;
2. Termodinamikaning ikkinchi qonuni;
3. Aylanma jarayonlar;
4. Sovutish mashinalar;
5. Issiqlik nasoslari.

Aylanma jarayonlar. Issiqlik dvigateli va sovitish mashinalarining Karno sikli. Izolyasiyalangan sistemaning entropiyasi va ish bajara olish qobiliyati.

6. Mavzu: Entorpiya. Ekssergiya..

Reja:

1. Umumiy tusunchalar;
2. O'zgarmas jarayonlarda entropiyasini aniqlash;
3. Texnologik mashinalardagi jarayonlar entropiyasi;
4. Ekssergiya ;
5. Sanoat va tabiyat uyg'unlashuvida ekssergiyaning ahamiyati.

O'zgarmas jarayonlarda entropiyasini aniqlash, texnologik mashinalardagi jarayonlar entropiyasi, ekssergiya, sanoat va tabiyat uyg'unlashuvida ekssergiyaning ahamiyati.

7. Mavzu: Gazli ishchi jismlar bilan ishlaydigan issiqlik dvigatellarning sikllari. Gazlarni siqish. Sovutish sikllari.

Reja:

1. Umumiy tusunchalar;
2. Issiqlik dvigatellarning ishchi jismlar;
3. Issiqlik dvigatellarning tasnifi;
4. Gazlarni siqish mashinalari;
5. Sovutish qurilmalarining sikllari.

Kompression mashinalarning energiyaviy va xajmiy yo'qotuvlari. Dressellash. Joul-Tomson effekti. Xaqiqiy gazning adiabatik kengayishi. Bug'-kuch qurilmalarining termodinamik sikllari. Bug'-kuch qurilmalari. Karno sikli. Renkin sikli. Buq- kuch qurilmalarning murakkablashgan sikllari. Bug'-gaz sikli. Sovitish qurilmalarining sikllari. Sovitish qurilmalari..

AMALIY MASHG'ULOTLAR MAVZUSI

1. Amaliy mashg'ulot

Issiqlik sig'imi. O'zgarmas bosim va o'zgarmas xajim larda issiqlik sig'imini aniqlash.

Issiqlik sig'imi. Asosiy tushunchalar. Izoxor va Izobar issiqlik sig'imi. Mayer formulasi. Aralashmalarning issiqlik sig'imi. Solishtirma issiqlik sig'imi.

2. Amaliy mashg'ulot

Gazlar aralashmalarida termodinamikaning birinchi qonuni

Umumiy tusunchalar; O'zgarmas xarorat jarayonlarda 1-qonun; O'zgarmas bosim jarayonlarda 1-qonun; O'zgarmas xajimlarda jarayonlarda 1-qonun; Entalpiya.

3. Amaliy mashg'ulot

Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Aylanma jarayonlar. Sovutish mashinalar va issiqlik nasoslari.

Umumiy tusunchalar; Termodinamikaning ikkinchi qonuni; Aylanma jarayonlar; Sovutish mashinalar; Issiqlik nasoslari.

4. Amaliy mashg'ulot

Gazli ishchi jismlar bilan ishlaydigan issiqlik dvigatellarning sikllari. Gazlarni siqish. Sovutish sikllari.

Umumiy tushunchalar; Issiqlik dvigatellarning ishchi jismlar; Issiqlik dvigatellarning tasnifi; Gazlarni siqish mashinalari; Sovutish qurilmalarining sikllari.

O'QITISH SHAKLLARI

Mazkur modul bo'yicha quyidagi o'qitish shakllaridan foydalaniladi:

- ma'ruzalar, amaliy mashg'ulotlar (ma'lumotlar va texnologiyalarni anglab olish, aqliy qiziqishni rivojlantirish, nazariy bilimlarni mustaqamlash);
- davra suhbatlari (ko'rilayotgan loyiha yechimlari bo'yicha taklif berish qobiliyatini oshirish, eshitish, idrok qilish va mantiqiy xulosalar chiqarish);
- bahs va munozaralar (loyihalar yechimi bo'yicha dalillar va asosli argumentlarni taqdim qilish, eshitish va muammolar yechimini topish qobiliyatini rivojlantirish).

BAHOLASH MEZONI

№	Baholash mezon	Maksimal ball	Izoh
1	“Texnikaviy termodinamika” moduli bo'yicha	2.5	Keys – 1.5 ball Test – 0.5 ball Mustaqil ish – 0.5 ball

II. Modulni o'qitishda foydalaniladigan interfaol ta'lim metodlari

“SWOT-tahlil” metodi.

Metodning maqsadi: mavjud nazariy bilimlar va amaliy tajribalarni tahlil qilish, taqqoslash orqali muammoni hal etish yo'llarni topishga, bilimlarni mustahkamlash, takrorlash, baholashga, mustaqil, tanqidiy fikrlashni, nostandart tafakkurni shakllantirishga **xizmat qiladi**.

S – (strength)	• kuchli tomonlari
W – (weakness)	• zaif, kuchsiz tomonlari
O – (opportunity)	• imkoniyatlari
T – (threat)	• to'siqlar

Namuna:

“Xulosalash” (Rezyume, Veer) metodi

Metodning maqsadi: Bu metod murakkab, kəptarmoqli, mumkin ?adar, muammoli xarakteridagi

Mavzularni o'rganishga qaratilgan. Metodning mohiyati shundan iboratki, bunda mavzuning turli tarmoqlari bo'yicha bir xil axborot beriladi va ayni paytda, ularning har biri alohida aspektlarda muhokama etiladi. Masalan, muammo ijobiy va salbiy tomonlari, afzallik, fazilat va kamchiliklari, foyda va zararlari bo'yicha o'rganiladi. Bu interfaol metod tanqidiy, tahliliy, aniq mantiqiy fikrlashni muvaffaqiyatli rivojlantirishga hamda o'quvchilarning mustaqil g'oyalari, fikrlarini yozma va og'zaki shaklda tizimli bayon etish, himoya qilishga imkoniyat yaratadi. "Xulosalash" metodidan ma'ruza mashg'ulotlarida individual va juftliklardagi ish shaklida, amaliy va seminar mashg'ulotlarida kichik guruhlardagi ish shaklida mavzu yuzasidan bilimlarni mustahkamlash, tahlili qilish va taqqoslash maqsadida foydalanish mumkin.

Metodni amalga oshirish tartibi



trener-o'qituvchi ishtirokchilarni 5-6 kishidan iborat kichik guruhlarga ajratadi;



trening maqsadi, shartlari va tartibi bilan ishtirokchilarni tanishtirgach, har bir guruhga umumiy muammoni tahlil qilinishi zarur bo'lgan qismlari tushirilgan tarqatma materiallarni tarqatadi;



har bir guruh o'ziga berilgan muammoni atroflicha tahlil qilib, o'z mulohazalarini tavsiya



navbatdagi bosqichda barcha guruhlar o'z taqdimotlarini o'tkazadilar. Shundan so'ng, trener tomonidan tahlillar umumlashtiriladi, zaruriy axborotlar bilan to'ldiriladi va mavzu yakunlanadi.

Namua:

Termodinamik tizimlar					
Ochiq		yopiq		Izolyatsiyalangan	
afzalligi	kamchiligi	afzalligi	kamchiligi	afzalligi	kamchiligi

Xulosa:

“Keys-stadi” metodi

« **Keys-stadi** » - inglizcha so'z bo'lib, ("case" - aniq vaziyat, hodisa, "stadi" – o'rganmoq, tahlil qilmoq) aniq vaziyatlarni o'rganish, tahlil qilish asosida o'qitishni amalga oshirishga qaratilgan metod hisoblanadi. Mazkur metod dastlab 1921 yil Garvard universitetida amaliy vaziyatlardan iqtisodiy boshqaruv fanlarini o'rganishda foydalanish tartibida qo'llanilgan. Keysda ochiq axborotlardan yoki aniq voqea-hodisadan vaziyat sifatida tahlil uchun foydalanish mumkin. Keys harakatlari o'z ichiga quyidagilarni qamrab oladi: Kim (Who), qachon (When), qaerda (Where), Nima uchun (Why), qanday/ qanaqa (How), Nima-natija (What).

"Keys metodi" ni amalga oshirish bosqichlari

Ish bosqichlari	Faoliyat shakli va mazmuni
1-bosqich: Keys va uning axborot ta'minoti bilan tanishtirish	<ul style="list-style-type: none"> ✓ yakka tartibdagi audio-vizual ish; ✓ keys bilan tanishish(matnli, audio yoki media shaklda); ✓ axborotni umumlashtirish; ✓ axborot tahlili; ✓ muammolarni aniqlash
2-bosqich: Keysni aniqlashtirish va o'quv topshiriqni belgilash	<ul style="list-style-type: none"> ✓ individual va guruhda ishlash; ✓ muammolarni dolzarblik ierarxiasini aniqlash; ✓ asosiy muammoli vaziyatni belgilash
3-bosqich: Keysdagi asosiy muammoni tahlil etish orqali o'quv topshiriqining yechimini izlash, hal etish yo'llarini ishlab chiqish	<ul style="list-style-type: none"> ✓ individual va guruhda ishlash; ✓ muqobil yechim yo'llarini ishlab chiqish; ✓ har bir yechimning imkoniyatlari va to'siqlarni tahlil qilish; ✓ muqobil yechimlarni tanlash
4-bosqich: Keys yechimini yechimini shakllantirish va asoslash, taqdimot.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ yakka va guruhda ishlash; ✓ muqobil variantlarni amalda qo'llash imkoniyatlarini asoslash; ✓ ijodiy-loyiha taqdimotini tayyorlash; ✓ yakuniy xulosa va vaziyat yechimining amaliy aspektlarini yoritish

Keysni bajarish bosqichlari va topshiriqlari:

- Keysdagi muammoni keltirib chiqargan asosiy sabablarni belgilang(individual va kichik guruhda).
- Mobil ilovani ishga tushirish uchun bajariladagina ishlar ketma-ketligini belgilang (juftliklardagi ish).

"Insert" metodi

Metodning maqsadi: Mazkur metod o'quvchilarda yangi axborotlar tizimini o'zlashtirish va bilimlarni o'zlashtirilishini yengillashtirish maqsadida qo'llaniladi, shuningdek, bu metod o'quvchilar uchun xotira mashg'ulotining vazifasini ham o'zlashtiradi.

Metodni amalga oshirish tartibi:

- o'qituvchi mashg'ulotga qadar mavzuning asosiy tushunchalari mazmuni yoritilgan input-matnni tarqatma yoki taqdimot ko'rinishida tayyorlaydi;
- yangi mavzu mohiyatini yorituvchi matn ta'lim oluvchilarga tarqatiladi yoki taqdimot ko'rinishida namoyish etiladi;
- ta'lim oluvchilar individual tarzda matn bilan tanishib chiqib, o'z shaxsiy qarashlarini maxsus belgilar orqali ifodalaydilar. Matn bilan ishlashda talabalar yoki qatnashchilarga quyidagi maxsus belgilardan foydalanish tavsiya etiladi:

Belgilar	1-matn	2- matn	3- matn
“V” – tanish ma'lumot.			
“q” – mazkur ma'lumotni tushunmadim, izoh kerak			
“+” bu ma'lumot men uchun yangi.			
“– ” bu fikr yoki ma'lumotga qarshiman			

Belgilangan vaqt yakunlangach, ta'lim oluvchilar uchun notanish va tushunarsiz bo'lgan ma'lumotlar o'qituvchi tomonidan tahlil qilinib, izohlanadi, ularning mohiyati to'liq yoritiladi. Savollarga javob beriladi va mashg'ulot yakunlanadi.

"Tushunchalar ta'lili" metodi

Metodning maqsadi: mazkur metod talabalar yoki qatnashchilarni mavzu buyicha tayanch tushunchalarni o'zlashtirish darajasini aniqlash, o'z bilimlarini mustaqil ravishda tekshirish, baholash, shuningdek, yangi mavzu buyicha dastlabki bilimlar darajasini tashhis qilish maqsadida qo'llaniladi.

Metodni amalga oshirish tartibi:

- ishtirokchilar mashg'ulot ?oidalari bilan tanishtiriladi;
- o'quvchilarga mavzuga yoki bobga tegishli bo'lgan so'zlar, tushunchalar nomi tushirilgan tarqatmalar beriladi (individual yoki guruhli tartibda);
- O'quvchilar mazkur tushunchalar qanday ma'no anglatishi, qachon, qanday holatlarda qo'llanilishi haqida yozma ma'lumot beradilar;
- belgilangan vaqt yakuniga yetgach o'qituvchi berilgan tushunchalarning tugri va tuliq izohini uqib eshittiradi yoki slayd orqali namoyish etadi;
- har bir ishtirokchi berilgan tugri javoblar bilan uzining shaxsiy munosabatini taqqoslaydi, farqlarini aniqlaydi va o'z bilim darajasini tekshirib, baholaydi.

I I I. Nazariy mashg'ulot materiallari

1-ma`ruza: Asosiy tushunchalar, qonunlar va tenglamalar

Reja:

1. Kirish;
2. Termodinamik o'lchamlar;
3. Termodinamik sistemalar;
4. Ideal va real gazlar.

Tayanch iboralar: termodinamika, bosim, hajim, harorat, ochiq tizim, yopiq tizim, izolyatsiyalangan tizim, ideal gaz, real gaz.

Termodinamika – energiyaning aylanish (o'zgarish) qonuniyatlari haqidagi fandır.

Termodinamikaga XIX asrda asos solingan edi. Bu davrda issiqlik dvigatellarining taraqqiyoti tufayli issiqlikning ishga aylanish qonuniyatlarini o'rganish zaruriyati tug'ildi. Lekin shundan keyin termodinamika metodi issiqlik texnikasi chegarasidan o'tib, fizika, ximiya va boshqa fanlarning ko'pchilik sohalarida keng ko'lamda qo'llanila boshladi.

Termodinamika turli fizikaviy va ximiyaviy jarayonlarning u yoki bu sistemalarda qaysi yo'nalishda sodir bo'lishini aniqlashga imkon beradi. Termodinamika moddaning turli xossalari orasidagi chuqur bog'lanishlarni ochib beradiki, biz buni keyinchalik ko'ramiz; aslini olganda bu narsa moddaning bironta xossasi, masalan, issiqlik sig'imi haqidagi ma'lumotlarga ega bo'lingan holda uning issiqlik sig'imini hisoblab topishga imkon beradi.

Termodinamika fizika va ximiyaning 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 bironta ma'lumot bera olmaydi. Lekin moddalar sistemalar xossalari haqidagi ba'zi bir ma'lumotlar ma'lum bo'lsa, u holda

termodinamikaviy metodlar qiziqarli va juda muhim xulosalar chiqarishga imkon beradi.

Termodinamikaning tuzilish printsipti juda sodda. Termodinamika asosiga tajriba yo'li bilan aniqlangan ikkita asosiy qonun (yoki ayrim hollarda boshlanishi ham deyiladi) qo'yilgan. Termodinamikaning birinchi qonuni energiya aylanish jarayonlarining miqdoriy tomonini xarakterlaydi, ikkinchi qonun esa fizikaviy sistemalarda sodir bo'ladigan jarayonlarning sifatiiy tomonini (yo'nalganligini) belgilaydi. Faqat shu ikkita qonundan foydalanib, qat'iy deduktsiya metodi yordamida termodinamikaning barcha asosiy xulosalarini chiqarish mumkin.

Termodinamikaning asosidagi qonunlarni tadbiq qilish mumkin bo'lgan barcha sistemalar uchun termodinamikani qo'llash mumkin. Termodinamikaning birinchi qonuni energiyaning saqlanish va aylanish qonunining miqdoriy ifodasidan iboratligi va umumiy xarakterga ega ekanligini quyida ko'ramiz. Ikkinchi qonunga kelsak, u bizning bevosita kuzatishimiz mumkin bo'lgan chegarada mikrosistemalarni kuzatishda to'plangan tajribaga asoslanadi.

Moddaning *solishtirma hajmi* moddaning zichlik birligi egallagan hajmdan iborat. Solishtirma hajm ν jism massasi G va uning hajmi V bilan quyidagi nisbat bilan bog'langan:

$$\nu = \frac{V}{G} \quad (1-1)$$

Moddaning solishtirma hajmi, odatda, m^3/kg yoki sm^3/g hisobida o'lchanadi.

Zichlik

$$\rho = \frac{G}{V} = \frac{1}{\nu} \quad (1-2)$$

odatda m^3/kg yoki sm^3/g hisobida o'lchanadi.

Biz ba`zan moddaning solishtirma og'irligi tushunchasini ishlatamiz. Solishtirma og'irlik (γ) deganda moddaning uning hajm birligidagi og'irligi tushuniladi. Nyutonning ikkinchi qonuniga muvofiq moddaning zichligi va solishtirma og'irligi o'zaro quyidagi nisbat bilan bog'langan

$$\gamma = \rho g = \frac{g}{\nu} \quad (1-3)$$

bu yerda g – erkin tushish tezlanishi.

Sistemaga tashqi taʼsir boʻlmaganida agar ikkita intensiv parametr berilgan boʻlsa, toza moddaning holati bir qiymat bilan aniqlangan boʻladi. Har qanday boshqa parametr berilgan ikkita parametrning bir qiymatli funktsiyasi boʻladi. Agar masalan, suv bugʻi 250°S temperaturada va 98 kPa (10kgk/sm²) bosimda tekshirilayotgan boʻlsa, bunday bugʻning solishtirma hajmi faqat bitta qiymatga ($\nu = 0,2375 \text{ m}^3/\text{kg}$) ega boʻlishi mumkin. Shunday qilib, berilgan moddaning solishtirma hajmi bosim r va temperatura T kattaliklari orqali bir qiymat bilan aniqlanadi, yaʼni

$$\nu = f(p, T) \quad (1-4)$$

Barcha holat parametrlari modda holatini aniqlash nuqtai nazaridan «teng huquqli» boʻlganligidan modda temperaturasi quyidagi nisbat yordamida

$$T = \varphi(p, \nu) \quad (1-5)$$

$$T = 273,15 + t, \text{ } ^\circ C. \quad (3-7)$$

T kattalik temperatura oʻlchamligiga ega boʻlib, uni yuz gradusli TSelsiy shkalasidan farq qiladigan (shkalaning hisob yuritiladigan noli pastda -273,15°S temperatura yonida joylashgan) shkala boʻyicha hisoblab olingan temperaturadek qarash lozim. Bu shkala boʻyicha hisoblab olingan temperatura *absolyut* temperatura deb ataladi va $^\circ K$ (Kelvin gradusi) harfi bilan belgilanadi. Absolyut temperatura tushunchasi chuqur fizikaviy maʼnoga ega ekanligini va termodinamikaning fundamental tushunchalaridan biri ekanligini keyinchalik koʻramiz.

bosim esa

$$p = \psi(T, \nu) \quad (1-6)$$

nisbat yordamida bir qiymat bilan aniqlanadi.

Shunday qilib, sof moddaning har qanday uchta holat parametri (masalan, p, ν va T) oʻzaro bir qiymat bilan bogʻlangan. Bu moddalarni oʻzaro bogʻlaydigan

tenglama ayni moddaning holat tenglamasi deb ataladi. (1-4) va (1-6) nisbatlarni holat tenglamasi ko'rinishida ifodalash mumkin

$$F(p, \nu, T) = 0 \quad (1-7)$$

Shunday qilib parametrlari p, ν va T hamda yuqorida ko'rsatilgan ikkita qonunga bo'ysunadigan gazning istalgan holati uchun

$$\frac{p\nu}{T} = \text{const} \quad (1-8)$$

ekanligini aniqlash mumkin.

(1-8) tenglamadagi o'zgarmas kattalik gaz holatiga bog'liq emas. U faqat gazning xossasiga bog'liq bo'ladi va har qaysi gaz uchun individualdir. Bu kattalik gaz konstantasi deb ataladi. Gaz konstantasini R orqali belgilab (1-8) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$p\nu = RT. \quad (1-9)$$

Shunday qilib, biz gaz parametrlari p, ν va T ni o'zaro bir qiymatda bog'laydigan tenglamani, ya'ni ideal gazning holat tenglamasini hosil qildik. Bu tenglama *Klayperon tenglamasi* deb ataladi.

1811 yilda A.Avagadro endilikda Avagadro qonuni nomi bilan ma'lum bo'lgan qoidani taklif etdi: bir xil temperaturalar va bir xil bosimlarda bo'lgan turli ideal gazlarning teng hajmlarida molekulalar soni teng bo'ladi.

Avagadro qonunidan muhim xulosa kelib chiqadi. Birinchi hajmdagi I gaz massasini quyidagi tarzda aniqlash mumkin:

$$G_I = N_I m_I, \quad (1-10)$$

ikkinchi hajmdagi gaz II massasi

$$G_{II} = N_{II} m_{II}, \quad (1-11)$$

bundan

$$\frac{G_I}{G_{II}} = \frac{N_I m_I}{N_{II} m_{II}}. \quad (1-12)$$

Molekulalar massasining nisbati m_I/m_{II} shu gazlar molekular massalarining nisbati μ_I/μ_{II} ga tengligi tushunarli. Avagadro qonuniga muvofiq $N_I = N_{II}$ va, shunday qilib, (1-12) tenglamadan quyidagi kelib chiqadi:

$$\frac{G_I}{G_{II}} = \frac{\mu_I}{\mu_{II}}, \quad (1-13)$$

ya'ni teng hajmlarda joylashgan hamda bosimlari va temperaturalari bir xil bo'lgan turli ideal gazlar massaviy miqdorlarining nisbati shu gazlar molekulyar massalarining nisbatiga teng.

Endi (1-9) tenglamadagi gaz konstantasini aniqlash masalasiga o'tamiz. Har qanday gaz holatining parametrlarini bilgan holda R ning kattaligini hisoblab topish qiyin emas.

Normal sharoitdagi gaz holati ma'lum deb hisoblaylik. U holda $p = 101325 \text{ Pa}$ va $T = 273,15 \text{ K}$ qiymatlarni Klayperon tenglamasi (1-9) ga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$R = \frac{p\nu}{T} = \frac{101325}{273.15} \nu = 371\nu. \quad (1-14)$$

Solishtirma hajm qiymatini $\mu\nu = 22,4 \text{ m}^3 / \text{kmol}$ tenglamadan olib, (1-15) tenglamaga qo'yganimizdan so'ng quyidagiga ega bo'lamiz:

$$R = \frac{8314}{\mu}. \quad (1-16)$$

Gaz konstantasining topilgan qiymatini (1-9) tenglamaga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$p\nu = \frac{8314}{\mu} T \text{ yoki } p\mu\nu = 8314T. \quad (1-17)$$

(1-17) tenglama bitta kilomol uchun ideal gazning holat tenglamasi, 8314 soni esa gazning bir kilomoliga keltirilgan gaz konstantasidir. Bu kattalik barcha gazlar uchun bir xil: *u universal gaz konstantasi* deb ataladi va μR bilan belgilanadi. Universal gaz konstantasining o'lchov birligi J (kmol·K).

(1-9) tenglamadan ayrim gazlarning gaz konstantalari R ularning molekulyar massasi qiymatiga ko'ra aniqlanishi kelib chiqadi. Masalan, azot uchun ($\mu_{N_2} = 28$) gaz konstantasi

$$R_{N_2} = \frac{8314}{28} = 297 \text{ J/(kmol.K)}.$$

Klayperon tenglamasida berilgan har qaysi ideal gazning individual xossalari uning gaz konstantasi qiymati bilan aniqlanadi.

Yuqorida aytib o'tilganlardan ko'rinib turibdiki, ideal gazning holat tenglamasi (Klayperon tenglamasi) quyidagi ko'rinishlarda ifoalanishi mumkin:

1kg gaz uchun (1-9)

$$p\nu = RT;$$

$G\nu = V$ ekanligini hisobga olib, G kg gaz uchun

$$pV = GRT;$$

gazning bitta moli uchun

$$p\mu\nu = \mu RT.$$

Tabiatda ideal gazlar mavjud bo'lmasa ham, real gazlar bilan faoliyat olib borayotgan fan va texnikada termodinamik parametrlarini aniqlashda ideal gaz holat tenglamasidan qo'llanish imkoniyatidan keng foydalaniladi. Misol uchun Klapeyron-Mendeleyev tenglamasidan reaktiv dvigatellardagi ishchi jismlarining xossalari xisoblashda qo'llash mumkin, garchi bu holatda jarayon yuqori bosim va haroratda o'tsa xam. (15-50 atm, 1500-3000°C).

Azot uchun harorat 0 °C bo'lganda ideal gaz xolat tenglamasini 100 atm gacha bo'lgan bosimlarda, Uglerod uchun esa shu haroratda 10 atm bosimgach qo'llash imkoniyatini beradi.

Adabiyotlar ro'yihati:

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.

2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.

3. И. Пригожин Д. Кондепуди. Современная термодинамика. Перевод с английского:. М. «Мир» 2002 г. 464 с.

2. Mavzu: Issiqlik sig'imi. O'zgarimas bosim va o'zgarimas hajim larda issiqlik sig'imini aniqlash.

Reja:

1. Umumiy tusunchalar;
2. Solishtirma va o'rtacha issiqlik sig'implari;
3. O'zgarimas bosim va hajimlarda issiqlik sig'imini aniqlash;
4. Mayer tenglamasi.

Tayanch iboralar: harorat, bosim, hajim, solishtirma hajim, issiqlik sig'im, hajmiy issiqlik sig'imi, massaviy issiqlik sig'imi, molyar issiqlik sig'imi.

Real gazlar termik xossalari o'zgarish qonuniyatlari, asosan, bundan oldingi mavzuda ko'rib chiqilgan edi. Jumladan, bu qonuniyatlar rasmlarda keltirilgan r, v , v, T , va r, T -diagrammalardan ma'lum ko'rinishicha, gaz fazadagi kritikacha bo'lgan izotermalar suyuq; fazadagiga qaraganda ancha qiya ketgan; bu narsa taajjublanarli emas—gaz suyuqlikga nisbatan ancha katta izotermik siqiluvchanlik $(\partial v / \partial p)_T$ ga ega (absolyut qiymati bo'yicha). Kritikdan keyingi izotermalar ham shunga o'xshash xarakterga ega; xuddi shunday sabablarga ko'ra, izotermalar solishtirma hajm sohasida ($v < v_{\partial\partial}$) solishtirma hajm ($v > v_{\partial\partial}$) sohasiga qaraganda birmuncha tikrok, bo'ladi.

Gazning termik kengayish darajasi $(\partial v / \partial T)_p$ suyuqlikning termik kengayish darajasiga qaraganda ancha yuqori bo'lganligidan kritikacha bo'lgan izobaralar v, T -diagrammada gaz sohasida suyuqlik sohasiga qaraganda birmuncha tikroq, bo'ladi. Bosim qanchalik past bo'lsa, kattalik $(\partial v / \partial T)_p$ shunchalik katta bo'ladi

(bir xil temperaturaning o'zida). Kritikdan keyingi izobaralarda ham xuddi shunday qonuniyat kuzatiladi - v ning qiymati kichkina bo'lgan sohadagi ozgina qiyalik v ning ortishi bilan tobora seziladigan qiyalikka almashinadi. Shuni eslatib o'tish kerakki, gaz faza sohasida temperatura ortishi bilan izobaraning qiyaligi $(\partial v / \partial T)_p$ kamayadi.

Kritikdan keyingi izobaralar uchun bog'liqlik $(\partial v / \partial T)_p = f(T)$ maksimum orqali o'tadigan egri chizik. ko'rinishiga ega. Bunda berilgan izobara kritik izobaraga qanchalik yaqin bo'lsa, maksimum shunchalik o'tkir cho'qqili bo'ladi bundan ko'rinishicha, kritik nuqtada

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p^{\text{ek}} = \infty$$

Izobaralar $(\partial v / \partial T)_p = f(T)$ dagi maksimumlarning nuqtalari izobaralarning v, T -diagrammadagi egik nuqtalariga mos keladi. Bu nuqtalarda

$$\left(\frac{\delta^2 U}{\delta T^2}\right)_p = 0.$$

v, T -diagrammadagi kritikdan keyingi izobaralarning egik sohalari moddaning solishtirma hajmi temperatura o'zgarishi bilan eng intensiv o'zgaradigan sohadan iborat bo'lishini aniqlash qiyin emas. Bu soha kritikdan keyingi izobaralar uchun ma'lum darajada to'yinish chizig'iga o'xshash: to'yinish chizig'idan o'tishda v ning ma'lum temperatura T_s da keskin o'zgarishi sakrashsimon tarzda sodir bo'ladi, kritikdan Ixtiyoriy qaytmas siklni cheksiz ko'p n sonli qaytmas Karno elementar sikllarining to'plamida ko'rib chiqib va bunda

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q}{T} = \oint \frac{dQ}{T}$$

keyingi izobaralarda esa bunday keskin o'zgarish temperaturalarning biror intervalida cho'zilganroq bo'ladi.

Entalpiyaning kritikdan keyingi izobara va izotermalari bu diagrammalarda egrilikka ega. bundan ko'rinishicha, kritik nuqtada

$$\left(\frac{\partial i}{\partial T}\right)_p^{kp} = \infty \quad (2-1)$$

yoki

$$c_p^{kp} = \infty \quad (2-2)$$

bo'ladi.

real gaz (suv bug'i) issiqlik sig'imi s_r ning kritikkacha bo'lgan bosimlarda temperaturaga bog'liqligi ko'rsatilgan (to'yinish temperaturasida shu izobaralardagi c_p ning qiymatiga mos kelgan turli izobaralardagi nuqtalar punktir chiziq bilan birlashtirilgan). Bu grafikdan ko'rinishicha, aynan bir xil temperaturada bosim o'sishi bilan issiqlik sig'imi c_p ortadi. Temperatura ortganda c_p kattaligi to'yinish chizig'i yaqinida izobara bo'ylab kamayadi, so'ngra (minimumdan o'tadi va temperatura yana orta borishi bilan c_p ham orta boshlaydi. Issiqlik sig'imi qiymatining to'yinish chizig'i yaqinida oshishiga sabab shuki, to'yinish chizig'idagi o'ta qizigan bug'da molekulalarning yirik assotsiatsiyalari bo'ladi.

Real gazning issiqlik sig'imi c_p yo eksperimental yo'l bilan, yoki entalpiyaning ma'lum bo'lgan qiymatlari bo'yicha hisoblab yoxud moddaning p, v, T -bog'lanishi bo'yicha aniqlanadi.

Agar modda entalpiyasiga oid eksperimental ma'lumotlar mavjud bo'lsa, u holda issiqlik sig'imi c_p ni quyidagi munosabat yordamida hisoblab topish mumkin:

$$c_p = \left(\frac{\partial i}{\partial T} \right)_p$$

Agar biz p, v, T -borlanishga oid malumotlarga ega bo'lsak, u holda bosim p va temperatura T dagi issiqlik sig'imi c_p ni quyidagi

$$c_p(p, T) = c_{p_0}(T) + \int_0^p \left(\frac{\partial c_p}{\partial p} \right)_T dp \quad (2-3)$$

munosabat munosabat yordamida xisoblab topish mumkin, (2-2) ni hisobga olib, (2-3) ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$c_p(p, T) = c_{p_0}(T) - T \int_0^c \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2} \right)_p dp \quad (2-4)$$

Bu yerda $c_{p_0}(T)$ bilan moddaning $p \rightarrow 0$ quyidagi, ya'ni ideal gaz holatidagi issiqlik sig'imi belgilangan. Bu tenglamaning o'ng qismidagi birinchi qo'shiluvchi real gaz issiqlik sig'imi kattaligining faqat temperaturaga bog'liq bo'lgan (ideal gaz issiqlik sig'imi) va, binobarin, bosim o'zgarganda o'zgarmaydigan qismidan, ikkinchi ko'shiluvchi esa bosimga bog'liq bo'lgan qismidan iborat. p, v, T - bog'lanishga oid ma'lumotlar asosida (2-4) tenglama yordamida issiqlik sig'imining absolyut qiymati $c_p(p, T)$ emas, balki ayirma $[c_p(p, T) - c_{p_0}(T)]$ hisoblab topiladi.

Avvalgi bobda ko'rsatilganidek, ideal gaz holatda issiqlik sig'imlari c_p va c_v : entalpiya i va ichki energiya u ning faqat temperaturagagina bog'liqligi o'quvchining esida, albatta. Moddaning ideal gaz holatdagi (fakat $p \rightarrow 0$ da I realizatsiya qilinadigan) i , u va s_r ning qiymatiga bundan keyin 0 indeksga qo'shib yozishni (nol zichlik), ideal gaz holatda c_v ning qiymatiga ∞ indeksi (cheksiz katta solishtirma hajm) qo'shib yozishni shartlashib olamiz. Kvantaviy statistikaning zamonaviy metodlari mazkur modda molekulalarining tuzilishi haqidagi

ma'lumotlar asosida c_{p_0} va c_v qiymatlarini juda katta aniqlikda hisoblashga imkon beradi.

Issiklik sig'imi c_v va ichki energiya u uchun o'xshash munosabatlarni xuddi shu tarzda hosil qilish qiyin emas:

$$c_v(\nu, T) = \nu_{\infty}(T) + T \int_{\infty}^{\nu} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial T^2} \right)_{\nu} d\nu \quad (2-5)$$

$$u(\nu, T) = u(\nu, T_0) + \int_{T_0}^T c_v dT \quad (2-6)$$

va

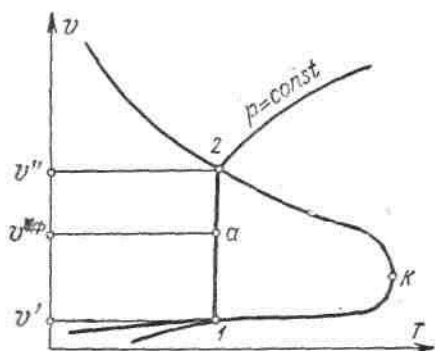
$$u(\nu, T) = u_0(T) + \int_{\infty}^{\nu} \left[T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_{\nu} - p \right] d\nu \quad (2-7)$$

Moddalar termodinamikaviy xossalarning to'yinish chizig'ida o'zgarishining asosiy qonuniyatlarini ko'rib chiqamiz. Asosan «Suyuqlik—bug'» fazaviy o'tish chizig'ini ko'rib chiqamiz, lekin bunda hosil qilingan barcha munosabatlar boshqa fazaviy o'tishlar uchun ham to'g'ri bo'ladi.

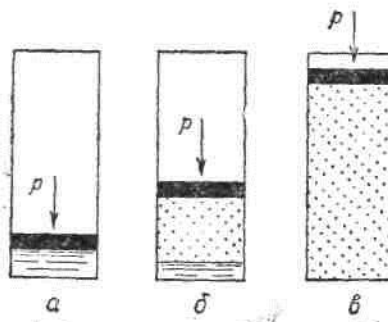
Termodinamikaviy kattaliklarning chegaraviy egri chiziqlardagi qiymatlari faqat bitta o'zgaruvchining funktsiyasi bo'ladi: masalan, qaynayotgan suyuqlik solishtirma hajmi ν ning qiymati temperatura yoki to'yinish bosimi qiymati bilan bitta qiymatda aniqlanadi.

Birgalikda bo'lgan fazalar solishtirma hajmlari ayirmasi $(\nu''-\nu')$ ning temperaturaga bog'liqligi suv va suv bug'i uchun rasmda, suvning bug' hosil qilish issiqligining temperaturaga bog'liqligi esa [1.2] rasmda ko'rsatilgan. Bu grafiklardan ko'rinishicha, $r = f(T)$ va $(\nu''-\nu') = f(T)$ kattaliklar temperaturaning ortishi bilan monoton kamayib, kritik nuqtada nolga aylanadi. Bu kattaliklarning temperaturaviy bog'liqligi boshqa moddalar uchun ham shunga o'xshash xarakterga ega.

2-1- rasmdagi v, T -diagrammadan ko'rinishicha, fazaviy o'tish jarayonida modda chegaraviy egri chiziqlar orasida (1-2 uchastka) joylashgan izobara (izoterma) kesmasidagi bir qancha holatlardan o'tadi. Bunga ishonch hosil qilish uchun 2-2-rasmda tasvirlangan «suyuqlik—bug'» fazaviy o'tish jarayonining sxemasini ko'rib chiqamiz. Ichida porshen erkin harakatlanadigan tsilindr ichiga quyilgan suyuqlikka tashqi



2-1 rasm



2-2 rasm

manbadan issiqlik uzluksiz beriladi. Idish ichidagi modda doim tashqi bosim ostida bo'lishi 2-2-rasmdan ko'rinib turibdi; binobarin, idishdagi fazaviy o'tish bu holda izotermaga mos keladagai izobara bo'yicha sodir bo'ladi. 2-2-rasm, a da sistemaning berilgan bosimda suyuqlik qaynash temperaturasigacha isitilgan, lekin bug' hosil bo'lish jarayoni hali boshlanmagan paytdagi holati tasvirlangan; ma'lumki, bu holatga v, T -diagrammada (2-1-rasmga qarang) nuqta 1 mos bo'ladi. Bu sistemaga issiqlik berilishi davom ettirilsa, suyuqlik bug'lana boshlaydi. Bug'ning solishtirma hajmi (v'') suyuqlikning solishtirma hajmi (v') dan ancha katta bo'lganligidan suyuqlik bug'lana borgan sari porshen tsilindrda yuqoriga ko'tarila boshlaydi. Idish ichidagi modda massasi (G) bug' hosil bo'lishi borasida o'zgarmasligi, modda egallagan hajm (V) esa bug' hosil bo'lgan sari kattalashishi tufayli idishdagi moddaning solishtirma hajmi $v = V/G$ izobara bo'ylab ortadi, bunda suyuqlik miqdori kamayadi, bug' miqdori esa ko'payadi. Sistemaning ikki fazali soha ichidagi holatga mos bo'lgan holati 2-2 rasm, b da ko'rsatilgan. Sistema

bunday holatda G_c kg to'yingan suyuqlik (uning solishtirma hajmi v') va G_b kg to'yingan bug'dan (uning aralashirma xajmi v'') tashkil topgan ikki fazali aralashmadan iborat bo'ladi. Idishdagi modda massasiniig yig'indisi o'zgarmas va quyidagiga teng:

$$G = G_c + G_b = const \quad (2-8)$$

Ikki fazali aralashmaning solishtirma hajmi $v^{u\phi}$ kattaligi jihatidan qaynayotgan suyuqlik solishtirma hajmidan katta va to'yingan bug' solishtirma hajmidan kichik bo'ladi:

$$v' \leq v^{u\phi} \leq v''$$

Idishdagi suyuqlikning hammasi batamom bug'ga aylangan paytda idishdagi holat (2-2-rasm, v) v, T -diagrammadagi nuqta 2 ga mos keladi.

Issiqlik berilishi davom ettirilsa, bug' o'ta qiziydi.

Quyidagi terminologiya qabo'l qilingan: ikki fazali aralashma «suyuqlik – bug'» nam bug' deb ataladi; nam bo'lmagan to'yingan bug' to'yingan quruq bug' deb ataladi. Shunday qilib, nam bug' – to'yingan suyuqlik bilan to'yingan quruq bug'ning aralashmasidir. Berilgan bosimda temperaturasi to'yinish temperaturasidan ortiq bo'lgan bug' o'ta qizigan bug' deb ataladi.

Ikki fazali sistema holatini bitta qiymatda aniqlash imkoniga ega bo'lish uchun suyuqlik va uning bug'i massalari orasidagi munosabatni bilish zarur, albatta. Ikki fazali sistemaning quruqlik darajasi x deb aralashmadagi to'yingan quruq, bug' massasi G_b ning aralashmaning umumiy massasi G ga bo'lgan nisbatiga aytiladi:

$$x = \frac{G_b}{G} \quad (2-9)$$

yoki

$$x = \frac{G_{\delta}}{G_c + G_{\delta}} \quad (2-9a)$$

Bundan aralashmadagi suyuqlik miqdori quyidagi munosabat bilan aniqlanishi kelib chiqadi

$$1 - x = \frac{G_c}{G_{\delta} + G_c} \quad (2-9b)$$

Kattalik $(1 - x)$ ikki fazali aralashmaning namlik darajasi deb ataladi.

$x = 1$ bo'lgan holat to'yingan quruq bug'ga (yuqori chegaraviy egri chiziq), $x = 0$ bo'lgan holat esa to'yingan suyuqlikka (pastki chegaraviy egri chiziq) mos bo'ladi.

Oldin aytib o'tilganidek, hajm, entalpiya, ichki energiya, entropiya ekstensiv kattalik bo'lganligidan va, binobarin, additivlik xossalariga ega bo'lganligidan, bu kattaliklarning ikki fazali sohadagi solishtirma qiymatlari uchun quyidagi munosabat to'g'ri bo'ladi:

$$v^{u\phi} = v'(1 - x) + v''x \quad (2-10)$$

$$i^{u\phi} = i'(1 - x) + i''x \quad (2-11)$$

$$u^{u\phi} = u'(1 - x) + u''x \quad (2-12)$$

$$s^{u\phi} = s'(1 - x) + s''x \quad (2-13)$$

Pretsizion eksperimental ma'lumotlarning ko'rsatishicha, izobaralar v, T -diagrammada, izotermalar p, v -diagrammada va izoboralar p, T -diagrammada chegaraviy egri chiziqdan o'tishida sinadi. Buni 2-3 — 2-4-rasmlarda tasvirlangan holat diagrammalarida yaqqol ko'rinib turibdi. Bundan shu narsa kelib chiqadiki, hosilalarning masalan, $(\partial p / \partial v)_T^s$ hosilaning izotermaning chegaraviy egri chiziq bilan kesishgan nuqtasidagi qiymati bu nuqtaga bir fazali soha tomonidan ikki fazali coha tomonidan kelganda (2-5-rasm) turlicha bo'ladi; birinchi holda bu qiymat, rasmdan

ko'rinishicha, chegaraviy kattalik bo'ladi, ikkinchi holda esa (2-13) tenglamaga muvofiq bu kattalik nolga aylanadi. 2-6- rasmda izoxoraning chegaraviy egri chiziqdan o'tishida sinishi va chegaraviy egri chiziqning turli tomonidan kelganda hosila $(\partial p / \partial T)_{s_v}$ ning turli qiymatlari r, T - diagrammada tasvirlangan. Boshqa holat diagrammalarida ham shunday holni ko'rish mumkin. Boshqacha qilib aytganda termik kattaliklar hosilalari $(\partial T / \partial v)_p, (\partial p / \partial v)_T, (\partial p / \partial T)_v$, shuningdek, bir qancha boshqa termodinamik kattaliklarning hosilalari chegaraviy egri chiziqdan o'tishda uziladi.

2-3-rasmdagi i, T -diagrammadan ko'rinishicha, i, T - diagrammada izobara ham chegaraviy egri chiziqdan o'tishida yuqorida aytganlarga o'xshash sinadi; binobarin, chegaraviy egri chiziqdan o'tishda hosila $(\partial i / \partial T)_p$ ning kattaligi, ya'ni issiqlik sig'imi, s_r sakrab o'zgaradi.

Adabiyotlar ro'yihati:

1. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.
2. И. Пригожинб Д. Кондепуди. Современная термодинамика. Перевод с английского.: М. «Мир» 2002 г. 464 с.
3. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.

3-ma`ruza: Asosiy termodinamik jarayonlar

Reja:

1. Umumiy tusunchalar;
2. O'zgarmas xarorat jarayonlar;
3. O'zgarmas bosim jarayonlar;
4. O'zgarmas xajimlarda jarayonlar;
5. Gaz harakati vaqtidagi holatning o'zgarishi.

Tayanch so'zlar va iboralar: izoxora, izoxorik jarayon, izobara, izobarik jarayon, izoterma, izotermik jarayon, adiabata, adiabatic jarayon, pollitropa, pollitropik jarayon.

Jarayonning egri chiziqlari tekis holat diagrammalari tarzida ham tasvirlanishi mumkinligi tushunarlidir. 1-rasm, b, v, g larda p, v -, p, T - va v, T - diagrammalar tasvirlangan bo'lib, 1-rasm, a dagi holat sirtidan jarayon egri chizig'i 1-2 proyeksiyalangan,

Butun jarayon davomida sistemaning temperaturasi o'zgarmasdan qoladigan muvozanatdagi jarayon *izotermik* jarayon deb ataladi. Toza suvning ochiq idishda qaynash jarayoni izotermik jarayonga misol bo'la oladi: to idishdagi suv qaynab tugamaguncha suv temperaturasi amalda o'zgarmasdan qoladi (agar qaynash jarayonida atmosfera bosimi o'zgarmasa).

O'zgarmas bosimda sodir bo'ladigan muvozanatdagi jarayon *izobarik* jarayon deb ataladi. Ochiq idishdagi suvning isitilishini izobarik jarayonga misol qilib keltirish mumkin; bu holda suvning bosimi o'zgarmaydi va atmosfera bosimiga teng bo'lib qolaveradi, holbuki, suvning temperaturasi ortadi va uning solishtirma og'irligi o'zgaradi.

O'zgarmas hajmda sodir bo'ladigan muvozanatlashgan jarayon *izoxorik* jarayon deb ataladi. Suvning germetik yopiq idishda isitilishi izoxorik jarayonga misol bo'la oladi. Isitish jarayonida idishning hajmi amalda o'zgarmasdan qoladi (agar isitish natijasida idishning bir oz kengayishi hisobga olinmasa) holbuki, idishdagi suvning temperaturasi ortadi va suvning bosimi ko'tarila boshlaydi.

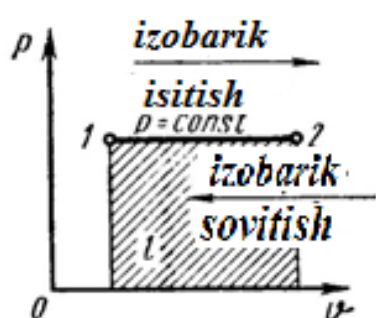
Termodinamikaviy sistemaga atrofdagi muhitdan issiqlik keltirilmaydigan (va atrofdagi muhitga issiqlik berilmaydigan) muvozanatdagi jarayon adibatik jarayon deb ataladi; bu jarayonda sistema bilan atrofdagi muhit orasidagi issiqlik almashinuvi bo'lmaydi. Sistema izolyatsiyasining issiqlik o'tkazuvchanligi qanchalik oz bo'lsa, jarayon adiabatik jarayonga shunchalik ko'p yaqinlashadi.

XVII – XIX asrlarda atmosfera bosimiga yaqin bosimlarda gazlar o'zini qanday tutishini tekshirgan tadqiqotchilar emperik yo'l bilan bir qancha muhim qonuniyatlarni ochdilar.

1662 yilda R.Boyl, 1676 yilda esa undan mustaqil holda E.Mariott o'zgarmas temperaturada gaz bosimining uning hajmiga ko'paytmasi o'zgarmas, ya'ni izotermik protsessda gazning kengayishi yoki siqilishi

$$pV = const \quad (3-1)$$

ekanligini ko'rsatgan edilar.



3-1 rasm. Izobarik jarayon

(3-1) munosabat *Boyl – Mariott qonuni* deb ataladi.

J. Gey-Lyussak 1802 yilda agar qizdirish protsessida gaz bosimi o'zgartirilmasdan saqlab turilsa (ya'ni izobarik protsess amalga oshirilsa), u holda qizdirishda temperaturaning ortishi bilan gaz hajmining ortga borishini aniqladi, bunda bu bog'lanish chizig'iy bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$V = V_0(1 + \alpha t). \quad (3-2)$$

Bu munosabat *Gey – Lyussak qonuni* deb ataladi. Bu yerda V_0 - gazning 0°S temperaturadagi hajmi, V - gazning $t^\circ\text{S}$ temperaturadagi hajmi, α - hajmiy

kengayishining temperaturaviy koeffitsiyenti. Bosim yetarlicha kichik bo'lganda, turli gazlar uchun α kattalik bir hil bo'lishi, ya'ni barcha gazlar bir hil hajmiy kengayish temperaturaviy koeffitsiyentga ega ekanligi ko'rsatilgan edi. Bu koeffitsiyent taxminan $\alpha = 1/273 = 0,00366 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ga teng; zamonaviy aniq o'lchashlar bilan $\alpha = 0,003661 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ga teng ekanligi aniqlanadi.

Agar V_1 va V_2 - gazning tegishlicha t_1 va t_2 temperaturalardagi aynan bir xil $p = \text{const}$ dagi hajmi bo'lsa, (3-2) tenglamadan quyidagi kelib chiqadi:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{1}{\alpha} + t_2}{\frac{1}{\alpha} + t_1}. \quad (3-3)$$

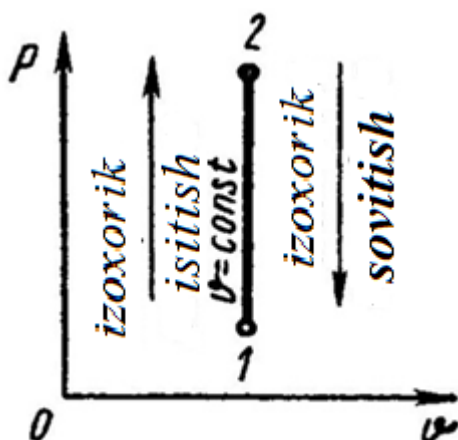
Endi gazning hajmi o'zgarmaydigan idishda sodir bo'ladigan qizdirilish protsessini ko'rib chiqamiz (izoxorik jarayon). Bu protsess ham Gey-Lyussak qonuni yordamida quyidagi ko'rinishda tavsiflanadi:

$$p = p_0(1 + \alpha t), \quad (3-4)$$

bu yerda p_0 va p - gazning tegishlicha 0 va $t^\circ\text{C}$ temperaturadagi bosimi.

Agar p_1 va p_2 gazning tegishlicha t_1 va t_2 temperaturasidagi va aynan bir hil hajmdagi ($V = \text{const}$) bosimi bo'lsa, tenglama (6-4) dan

Agar p_1 va p_2 gazning tegishlicha t_1 va t_2 temperaturasidagi va aynan bir hil hajmdagi ($V = \text{const}$) bosimi bo'lsa, tenglama (3-4) dan



3-2 rasm. Izoxorik jarayon

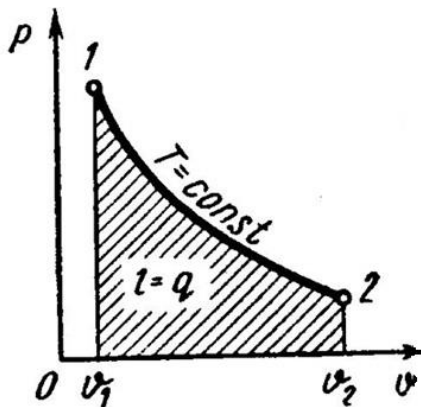
$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{1}{\alpha} + t_2}{\frac{1}{\alpha} + t_1} \quad (3-5)$$

ekanligi kelib chiqadi.

Quyidagi belgilashni kiritamiz:

$$T = \frac{1}{\alpha} + t \quad (3-6)$$

Yuqorida qayd qilib o'tilganidek, $\alpha = 1/273 = 0,00366 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ bo'lganligidan



3-3 rasm. Izotermik jarayon

Endi ikkita termodinamikaviy jarayon – izotermik jarayon $1-m$ va izobarik jarayon $2-m$ ning ketma –ketligini ko'rib chiqamiz (3-1-rasm). Gazning izotermik jarayon $1-m$ da siqilishi Boyle-Mariott qonuni tenglamasi bilan tavsiflanadi.

$$p_1 v_1 = p_m v_m \quad (3-7)$$

(bu yerda v_1 va v_m - solishtirma hajmlar), gazning izobarik jarayon $2-m$ da keyinchalik qizishi esa Gey-Lyussak qonuniga bo'ysunadi

$$\frac{v_m}{v_2} = \frac{T_m}{T_2} \quad (3-8)$$

Jarayon $1-m$ izotermik jarayon bo'lganligidan $T_1 = T_m$ ekanligi muqarrar va, binobarin, 6-11 tenglamadan quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$v_m = v_2 \frac{T_1}{T_2} \quad (3-9)$$

Jarayon 2-*m* izobarik jarayon bo'lishi uchun $p_m = p_2$. Bu sharoitni hisobga olib (3-7), (3-9) tenglamalardan quyidagi tenglamani keltirib chiqaramiz:

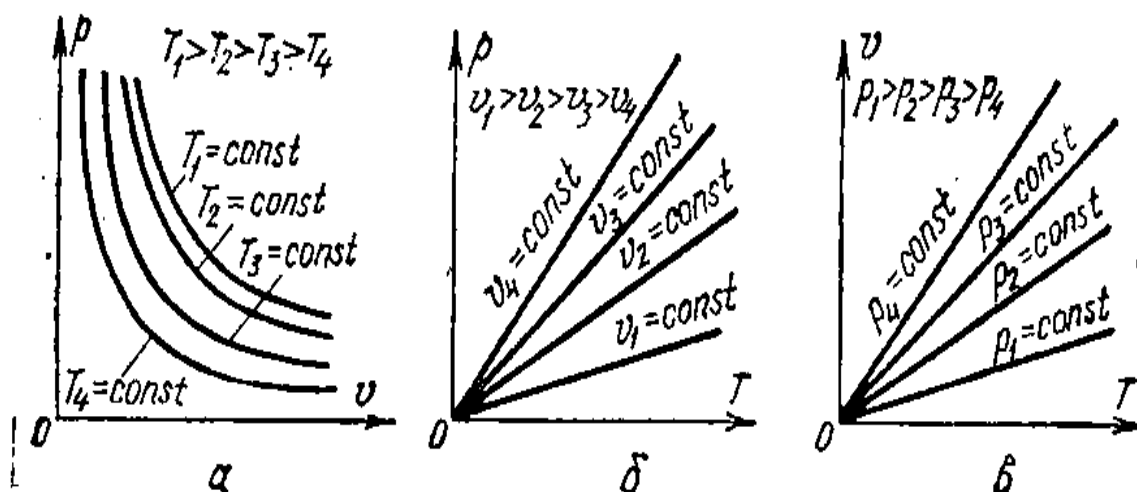
$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} \quad (3-10)$$

Shunga o'xshash, gazni biror tarzda parametrlari p_3, v_3 va T_3 bo'lgan istalgan uchinchi holatga o'tkazib

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = \frac{p_3 v_3}{T_3} = \text{const} \quad (3-11)$$

ekanligini ko'rsatish mumkin.

Endi p, v -, p, T - va v, T - diagrammalarda ideal gazning izotermalari, izobaralari va izoxoralari qanday ko'rinishlarda bo'lishini ko'rib chiqamiz (3-4-rasm).



3-4-rasm.

$T = \text{const}$ bo'lganda ideal gaz uchun $p v = \text{const}$ bo'lganligidan p, v -diagrammada izoterma teng yonli giperbola ko'rinishida (3-4-rasm, a) bo'ladi. Bunda temperatura qanchalik yuqori bo'lsa, p, v -diagrammada izoterma shunchalik baland joylashadi.

Ideal gazlar uchun izoxoralar p,T -diagrammada va ν,T - diagrammada koordinatalar boshidan chiqadigan to'g'ri chiziqlar ko'rinishida (3-4-rasm b va v) bo'lishi 3-16 tenglamadan kelib chiqadi. (3-10) tenglamaga ko'ra

$$p = \frac{R}{\nu}T,$$

ya'ni, p,T - diagrammada izoxoraning burchagiy koeffitsiyenti R/ν ga teng, va binobarin, ν ning qiymati qanchalik katta bo'lsa, izoxora chiziqlarining qiyaligi shunchalik kichik bo'ladi.

Shunga o'xshash

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

dan ν,T - diagrammada izobaraning burchagiy koeffitsiyenti R/p ga tengligi, va demak, p qanchalik yuqori bo'lsa, izobaraning qiyaligi shunchalik kichik bo'lishi ko'rinib turibdi.

Ideal gazlar aralashmasi

Toza modda va aralashmalar. Termodinamika, ko'pincha, toza modda va aralashma –eritmalar tushunchasidan foydalaniladi. *Toza modda* deb barcha molekulalari bir hil bo'lgan moddaga aytiladi. Bir necha toza moddadan iborat bo'lgan aralashma *eritma* deb ataladi. Toza moddalar jumlasiga, masalan, suv, etil spirt, azot, ammiak, natriy xlorid, temir kiradi. Azot, kislorod va bir qancha boshqa gazlardan iborat bo'lgan havo, suv –ammiak eritmaları, etil spirtining suvdagi eritmasi, metallarning turli qotishmalari aralashmalarga misol bo'la oladi. Aralashmani tashkil qilgan toza moddalar *komponentlar* deb ataladi.

Aralashma tarkibini aniqlash. Aralashmaning eng muhim xarakteristikalaridan biri uning tarkibidir. Aralashma tarkibi, ko'pchilik hollarda, aralashmaga kiradigan ayrim komponentlarning massaviy va mol ulushlari vositasida aniqlanadi.

G_1 kg birinchi komponent, G_2 kg ikkinchi komponent, G_3 kg uchinchi komponent va hokazolardan iborat aralashmani ko'rib chiqamiz. n komponentlardan iborat aralashmaning umumiy massaviy miqdori:

$$G = \sum_{i=1}^n G_i \quad (3-24)$$

Ayni komponentning butun aralashmaning massasiga bo'lgan nisbati har qaysi komponentning massaviy ulushi deb ataladi:

$$c_i = \frac{G_i}{G} \quad (3-25)$$

(3-24) va (3-25) tenglamalardan quyidagi kelib chiqadi:

$$\sum_{i=1}^n c_i = 1 \quad (3-26)$$

Binobarin, massaviy ulush ayni komponentning 1 kg aralashma tarkibidagi kilogrammning ulushi bilan aniqlanishi mumkin.

Ikkita komponentdan iborat bo'lgan aralashma uchun (bunday aralashma *binar aralashma* deb ataladi):

$$c_1 + c_2 = 1$$

va shuning uchun komponentlardan birining massaviy ulushi ma'lum bo'lsa, aralashma tarkibini to'la aniqlash mumkin. binar aralashmada ikkinchi komponentning massaviy ulushi, odatda, c orqali belgilanadi, u holda birinchi komponentning massaviy ulushi $(1-c)$ ga teng bo'lishi muqarradir. Shunday qilib, binar aralashma uchun

$$(1-c) = \frac{G_1}{G_1 + G_2} = \frac{G_1}{G}; \quad c = \frac{G_2}{G_1 + G_2} = \frac{G_2}{G} \quad (3-27)$$

Massaviy va mol ulushlar orasida zarur bo'lgan hollarda bitta ulushni boshqa ulush orqali ifodalashga imkon beruvchi bog'lanish bor. Bunday bog'lanishni topish uchun soni istalgancha bo'lgan komponentlardan iborat aralashmani ko'rib chiqamiz. Agar aralashma birinchi, ikkinchi, uchinchi va hokazo komponentlarning molekulyar massalarini tegishli $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_n$ orqali

belgilasak, u holda aralashma i - komponentning massaviy ulushi c_i ni mol ulushlari orqali quyidagi tarzda ifodalash mumkin:

$$c_i = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} = \frac{M_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n M_i \mu_i} = \frac{\frac{M_i}{M} \mu_i}{\sum_{i=1}^n \frac{M_i}{M} \mu_i} = \frac{N_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n N_i \mu_i} \quad (3-28)$$

Agar mazkur aralashma tarkibiga kiradigan komponentlarning massaviy ulushlari ma'lum bo'lsa, har qanday i - komponentning mol ulushi N_i aniqlanadigan ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} = \frac{\frac{G_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{G_i}{\mu_i}} = \frac{\frac{G_i}{G} \cdot \frac{1}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{G_i}{G} \cdot \frac{1}{\mu_i}} = \frac{\frac{c_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\mu_i}} \quad (3-29)$$

Binar aralashma uchun (7-10) va (7-11) tenglamalardan: birinchi komponent uchun

$$(1-c) = \frac{(1-N)\mu_1}{(1-N)\mu_1 + N\mu_2}$$

va

$$(1-N) = \frac{\frac{1-c}{\mu_1}}{\frac{(1-c)}{\mu_1} + \frac{c}{\mu_2}} = \frac{(1-c)\mu_2}{(1-c)\mu_2 + c\mu_1} \quad (3-30)$$

ikkinchi komponent uchun

$$c = \frac{N\mu_2}{(1-N)\mu_1 + N\mu_2}$$

va

$$N = \frac{\frac{c}{\mu_2}}{\frac{(1-c)}{\mu_1} + \frac{c}{\mu_2}} = \frac{c\mu_1}{(1-c)\mu_2 + c\mu_1} \quad (3-31)$$

Ideal gaz aralashmasi. Dalton qonuni. Turli gazlarning aralashmasi, ya'ni gaz aralashmalari deb ataladigan aralashma aralashmalar (eritmalar) ning xususiy hollari hisoblanadi. Bunda komponentlarning har qaysisi ideal gaz sifatida ko'rib

chiqilishi mumkin bo'ladigan gaz aralashmasini ko'rib chiqish diqqatga sazovordir. Aralashma komponentlari to'g'risida ideal gaz kabi tasavvur etish pastroq bosimlarda ko'pgina real gaz aralashmalariga yaqinlashishga imkon beradi: bunday gaz aralashmalarining ichida praktika uchun eng muhimi havodir.

Gaz aralashmasining xususiyatini belgilovchi asosiy qonun Dalton qonunidir; har qanday alohida gaz o'zini gaz aralashmasida shunday tutadiki, go'yo uning bir o'zi aralashma temperaturasida aralashmaning butun hajmini egallagandek bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, gaz aralashmasiga kiradigan har qaysi gaz shunday bosimga ega bo'ladiki, bu bosimga agar u aralashmaning butun hajmini egallaganda ega bo'lgan bo'lar edi. Bu bosim ayni gazning *partial bosimi* deb ataladi va har qaysi gaz uchun $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ lar orqali belgilanadi. Birinchi qarashda bu narsa ajablanarli tuyulishi mumkin – ayni gazning xususiyati uchun bu hajmda yana qandaydir gazlarning bor – yo'qligi yoki bu hajmni uning bir o'zi to'ldirishi baribir. Lekin buning hech qanday ajablanarli joyi yo'q; axir gap ideal gazlar haqida ketmoqda, ideal gaz molekullari esa, yuqorida aytib o'tilganidek, ta'rifga ko'ra, hajmi bo'lmagan va bir –biri bilan hech qanday usulda ta'sir qilmaydigan (urulishdan tashqari) material nuqtalardan iborat. Aralashma bosimi qanchalik yuqori, ya'ni gazlar ideal holatdan qanchalik uzoq bo'lsa, gaz aralashmalari xususiyatining Dalton qonunidan shunchalik ko'proq chetga chiqishi kuzatiladi.

Dalton qonunini boshqacha ta'riflash ham mumkin: gaz aralashmasi tarkibiga kiradigan ideal gazlar partial bosimlarining yig'indisi gaz aralashmasining to'la bosimiga teng

$$P_{\text{aralashma}} = \sum_{i=1}^n p_i \quad (3-32)$$

Turli gaz aralashmalarini tavsiflashda Dalton qonunidan keng foydalaniladi; biz bu qonundan keyinchalik ko'p marta foydalanamiz.

Ideal gaz aralashmasining tarkibi. Hajmiy ulushlar. Agar ideal –gaz aralashmasi komponenti aralashma temperaturasida o'zining partial bosimi ostida

emas, balki aralashmaning to'la bosimi ostida bo'lsa, u holda uning hajmi V_i kattalikka teng bo'ladi; bu kattalik i -gazning keltirilgan hajmning hajmi deb ataladi; keltirilgan hajmning aralashma hajmiga nisbati ayni komponentning hajmiy ulushi deb ataladi:

$$r_i = \frac{V_i}{V_{aral}} \quad (3-33)$$

Keltirilgan hajm Boyl –Mariott qonuni yordamida aniqlanadi:

$$p_{aral}V_i = p_iV_{aral}$$

$$\sum_{i=1}^n p_{aral}V_i = \sum_{i=1}^n p_iV_{aral}$$

bundan

$$p_{aral} \sum_{i=1}^n V_i = V_{aral} \sum_{i=1}^n p_i$$

bu yerda p_{aral} va V_{aral} - aralashmaning tegishlicha bosimi va hajmi.

Aralashma bosimi

$$p_{\ddot{a}\ddot{o}\ddot{a}\ddot{e}} = \sum_{i=1}^n p_i$$

bo'lgani uchun

$$V_{\ddot{a}\ddot{o}\ddot{a}\ddot{e}} = \sum_{i=1}^n V_i \text{ yoki } \sum_{i=1}^n r_i = 1 \quad (3-34)$$

Shunday qilib, gaz aralashmasining to'la hajmi uning komponentlarining keltirilgan hajmlari yig'indisiga teng.

Agar gaz turli gazlarning $M_1, M_2, M_3, \dots, M_i$ mollaridan iborat bo'lsa, u holda i – gazning hajmiy ulushi quyidagiga teng:

$$r_i = \frac{V_i}{V_{\ddot{a}\ddot{o}\ddot{a}\ddot{e}}} = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{M_i \mu_i \nu_i}{\sum_{i=1}^n M_i \mu_i \nu_i} \quad (3-35)$$

gaz aralashmasi tarkibiga kiradigan va bir xil bosim p_{aral} hamda bir hil temperatura $T_{\ddot{a}\ddot{o}\ddot{a}\ddot{e}}$ ga keltirilgan barcha gazlar uchun mollar hajmi bir hil bo'lganligidan:

$$r_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} = \frac{M_i}{M_{\text{ad}\ddot{a}\ddot{e}}} = N_i \quad (3-36)$$

Shunday qilib, ideal – gaz aralashmasi uchun komponentning hajmiy ulushi uning mol ulushiga teng.

Shu sababli (7-10) va (7-11) tenglamalar quyidagi tarzda yozilishi mumkin:

$$c_i = \frac{r_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n r_i \mu_i} \quad (3-37)$$

$$r_i = \frac{\frac{c_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\mu_i}} \quad (3-38)$$

Aralashmaning tuyulma molekulyar massasi. Ideal-gaz aralashmalari bilan hisoblash ishlarini bajarishda aralashmaning tuyulma molekulyar massasi tushunchasidan foydalanish ancha qulay, bu molekulyar massa aralashma massasining komponentlari mollarining yig'indisi miqdoriga nisbatidan iborat:

$$\mu_{\text{aral}} = \frac{G_{\text{aral}}}{M_{\text{aral}}} \quad (3-39)$$

(3-20), (3-28) va (3-29) tenglamalarni hisobga olsak

$$\mu_{\text{aral}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\mu_i}} \quad (3-40)$$

va

$$\mu_{\text{aral}} = \sum_{i=1}^n r_i \mu_i \quad (3-41)$$

Aralashmaning gazaviy konstantasi. $V_{\text{ad}\ddot{a}\ddot{e}}$ hajmini egallagan ideal-gaz aralashmaning i – komponenti uchun Klayperon tenglamasi quyidagi tarzda yoziladi:

$$p_i V_{\text{ad}\ddot{a}\ddot{e}} = G_i R_i T_{\text{ad}\ddot{a}\ddot{e}}$$

Bu tenglamani aralashmaning barcha i - komponentlari uchun yozib va ularning chap hamda o'ng qismlarini qo'shib quyidagini hosil qilamiz:

$$V_{\text{aral}} \sum_{i=1}^n p_i = T_{\text{aral}} \sum_{i=1}^n G_i R_i \quad (3-42)$$

Dalton qonuniga muvofiq $\sum_{i=1}^n p_i = p_{\text{adäë}}$; bundan:

$$p_{\text{aral}} \cdot V_{\text{aral}} = T_{\text{aral}} \sum_{i=1}^n G_i R_i \quad (3-43)$$

Boshqa tomondan olganda, ideal-gaz aralashmasi uchun Klayperon tenglamasi umuman quyidagi tarzda yozish mumkin:

$$p_{\text{aral}} V_{\text{aral}} = G_{\text{aral}} R_{\text{aral}} T_{\text{aral}} \quad (3-44)$$

bu yerda R_{aral} - aralashmasining gazaviy konstantasi.

(7-25) va (7-26) tenglamalardan

$$R_{\text{aral}} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i R_i}{G_{\text{aral}}} \quad (3-45)$$

kelib chiqadi.

Gazaviy konstanta

$$R_i = \frac{8314}{\mu_i}$$

bo'lganligi sababli (7-27) dan quyidagini hosil qilamiz:

$$R_{\text{aral}} = 8134 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\mu_i} \quad (3-46)$$

bundan (7-25) ni hisobga olsak, kutilganidek,

$$R_{\text{aral}} = \frac{8314}{\mu_{\text{aral}}} \quad (3-47)$$

bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yihati

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.
2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.
4. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.
5. Mahmoud Massoud. EngineeringThermofluids Thermodynamics,Fluid Mechanics,and HeatTransfer/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005. 1132 pp.

4-ma`ruza: Termodinamikaning birinchi qonuni

Reja:

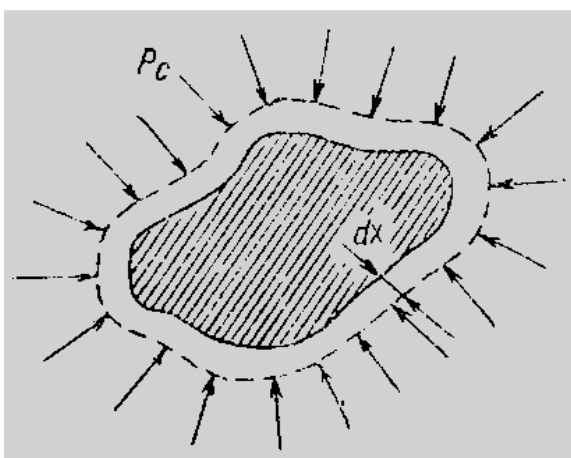
1. Umumiy tusunchalar;
2. O'zgarmas xarorat jarayonlarda 1-qonun;
3. O'zgarmas bosim jarayonlarda 1-qonun;
4. O'zgarmas xajimlarda jarayonlarda 1-qonun;
5. Entalpiya.

Tayanch so'zlar va iboralar: xarorat, bosim, hajim, ichgi energiya, ish, issiqlik, to'g'ri va teskari jarayonlar.

Energiyaning saqlanish va aylanish qonuni tabiatning umumiy xarakterga ega bo'lgan fundamental qonundir. Bu qonun quyidagicha ta'riflanadi: *energiya yo'q bo'lmaydi va qaytadan paydo bo'lmaydi, u faqat turli fizikaviy hamda ximiyaviy jarayonlarda bir turdan boshqa turga o'tadi*. Boshqacha qilib aytganda, izolyatsiyalangan har qanday sistemada (ya'ni atrofdagi muhit bilan issiqlik bilan ham, ish bilan ham, modda bilan ham, almashishmaydigan termodinamikaviy sistema) shu sistema ichidagi energiya o'zgarmasdan saqlanib turadi.

Termodinamikaning birinchi qonuni umumiy xarakterga ega ekanligini yana bir bor qayd qilib o'tish lozim.

Ichki energiya va tashqi ish



4-1-rasm

Yuqorida jismga issiqlik berish jarayoni jismning hajmi o'zgarishidan qoladigan holda ko'rib chiqildi. Ma'lumki, jismlar odatdagi sharoitda qizdirilganda ular kengayadi. Shuning uchun umumiy holda, jism qizdirilganda uning hajmi kattalashadi. Agar ko'rib chiqilayotgan jism bosimi p_m ga teng bo'lgan muhitga joylangan bo'lsa, jismning hajmi kattalashganda tashqi bosim p_i kuchlariga qarshi ish bajariladi. Haqiqatan ham, p_m bosimli muhit ichida bo'lgan ixtiyoriy shakldagi jism hajmi V ning kattalashish jarayonini ko'rib chiqamiz (4-1 rasm). Jism sirtining yuzini F orqali belgilaymiz. Agar jism hajmining o'zgarishi cheksiz kichik dV deb hisoblasak, u holda hajmning kattalashishini bu jism sirtidagi har qaysi nuqtaning dx masofaga ko'chishidan iborat deb tasavvur etish mumkin. Bosim jism sirtining birligiga normal bo'yicha ta'sir etadigan kuch bo'lganligidan jismning butun sirtiga ta'sir etuvchi kuchlarning yig'indisi $P = p_m F$ ga teng bo'ladi.

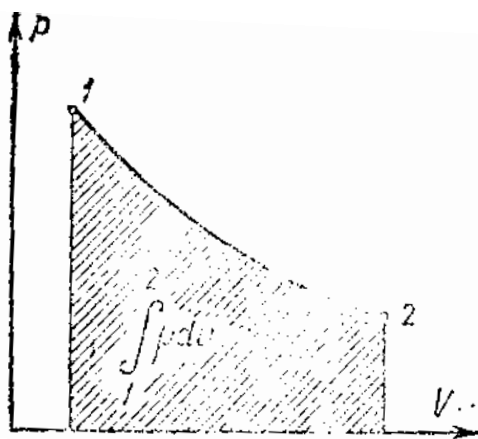
Bundan keyin biz, asosan muvozanatdagi jarayonlarni ko'rib chiqamiz. Ular uchun $p_i = p$ tenglik to'g'ridir. Shu sababli bundan keyin alohida aytib o'tiladigan hollardan tashqari barcha hollarda kengayish ishi uchun quyidagi munosabatdan foydalanamiz:

$$dL = p dV \quad (4-1)$$

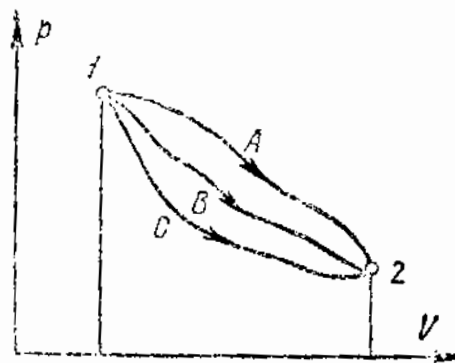
va

$$L_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p dV, \quad (4-2)$$

bular p_i ni p ga almashtirish yo'li bilan (4-1) va (4-2) lardan hosil qilingan.



4-2-rasm,



4-3-rasm

Sistema kengayish ishining (4-2) tenglama bilan aniqlanadigan kattaligini p, V - diagramma yordamida hisoblash qulay. Sistema hajmi o'zgarish jarayonining shu diagrammada tasvirlanishini ko'rib chiqamiz (4-3-rasm). Sistema hajmi V_1 dan V_2 gacha o'zgaradi. Hajm o'zgaradigan jarayonda sistema o'tadigan holatlar nuqta 1 va 2 lar orasidagi jarayon egri chizig'ida joylashadi. Sistemaning kengayish ishi p, V -diagrammada jarayon egri chizig'i ostidagi yuza bilan (4-3-rasmda shtrixlangan) tasvirlanishi (4-1) tenglamadan ko'rinib turibdi.

Sistema V_1 hajmga ega bo'lgan holatdan V_2 xajmli holatgacha kengayganida sistema bajaradigan ishning kattaligi bu holatlarning parametrlarigagina emas, balki kengayish jarayonining qanday yo'l bilan amalga oshirilayotganligiga ham bog'liq. Haqiqatan ham 4-rasmda tasvirlangan p, V -diagrammadan ko'rinib turibdiki, kengayish jarayoni qaysi yo'ldan (A, B yoki C dan) borishiga qarab integral

$$L = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (4-3)$$

ning kattaligi turlicha bo'ladi.

Shunday qilib, *kengayish ishi jarayonning funksiyasidir.*

Sistema faqat kengayish ishini bajaradigan xususiy holdagina $n=1$ ga, $y_i = p$ ga $Y_i = V$ ekanligi muqarrardir. Agar, masalan, massasi G bo'lgan jism ko'tarilgan

balandlik h o'zgarsa, ya'ni jismning potentsial energiyasi tortishish maydonida o'zgarsa, bu holda ish jismning og'irlik kuchi Gg ga qarshi bajarilishi mexanikadan ma'lum. Bu holda $y_i = Gg$, $V_i = h$ bo'ladi va (4-1) va (4-2) tenglamalarga muvofiq hamda $G = const$ ekanligini hisobga olib, quyidagi tenglamalarga ega bo'lamiz:

$$dL = Ggdh \quad (4-4)$$

va

$$L_{1-2} = Gg(h_2 - h_1). \quad (4-5)$$

Biz bundan keyin, asosan, tashqi bosim kuchlariga qarshi faqat kengayish ishini bajaradigan sistemalarni ko'rib chiqishimiz tufayli, har qanday ish turini L simvoli bilan belgilaymiz, mustasno tariqasida kengayish ishidan boshqa har qanday ish turini esa L^* simvoli bilan belgilaymiz. U holda

$$dL = PdV + dL^* \quad (4-6)$$

va

$$L_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} PdV + L^*_{1-2} \quad (4-7)$$

(4-6) va (4-7) tenglamalar undagi moddasining massasi G ga teng bo'lgan sistema uchun yozilgan. Modda massasi birligi (1 kg, 1 g va hokazolar) uchun bajariladigan hisoblashda bu tenglamalar quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$dl = pdv + dl^*; \quad (4-8)$$

$$l_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} pdv + l^*_{1-2}; \quad (4-9)$$

bu yerda l - modda massasining birligiga to'g'ri keladigan ish.

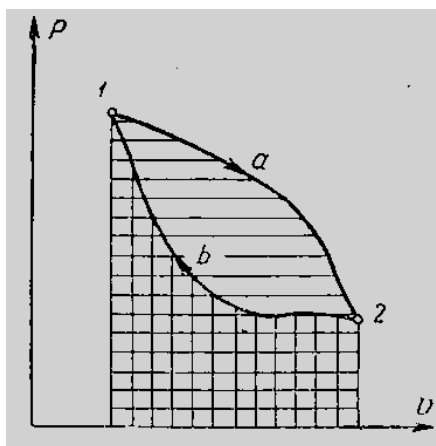
Kengayish jarayonida gaz tashqi bosim kuchlariga qarshi ish 2-ma'ruzada keltirilgan edi. Gazning bosim p_1 dan bosim p_2 gacha kengayishida bajarilgan ishi (4-9) tenglamaga muvofiq quyidagiga teng:

$$L_{1-2}^{keng} = \int_{V_1}^{V_2} p dV, \quad (4-10)$$

bu yerda V_1 va V_2 - tegishli kengayish jarayonining boshlang'ich va oxirgi nuqtalaridagi gaz hajmlari.

Gazning xuddi shu kengayish jarayonini yangidan takrorlash va qaytadan L_{1-2}^{KEH} ishini hosil qilish uchun gazni p_1 va V_1 parametrlar bilan xarakterlanadigan dastlabki holati 1 ga qaytarish, ya'ni gazni siqish kerak. Bunda gaz aylanma jarayon (sikl) ni o'tadi.

Ish bajariladigan siklik jarayonlar turli issiqlik dvigatellarida amalga oshiriladi. Ish issiqlikka aylanaliga aylanma jarayonlar (sikllar) ni amalga oshiruvchi uzluksiz ishlaydigan sistema *issiqlik dvigateli* deb ataladi. Holatining o'zgarishi hisobiga siklda ish hosil qilinadigan *ish jismi* deb ataladi.



4-4- rasm

Sikl ishi p,V - diagrammada juda qulay grafikaviy interpretatsiyalanadi (tushuntiriladi) (4-4-rasm). Agar $1-a-2$ – kengayish jarayonining egri chizig'i, $2-b-1$ – sig'ish jarayonining egri chizig'i bo'lsa, u holda $1-a-2$ egri chiziq ostidagi yuza kengayish ishiga, $2-b-1$ egri chiziq siqish ishiga teng bo'ladi, berk egri chiziq sikl egri chizig'i bilan chegaralangan yuza $1-a-2-b-1$ esa sikl ishidan iborat. Sikl ishi musbat bo'lishi uchun siqish jarayonining egri chizig'i p,V - diagrammada

kengayish egri chizig'idan pastda joylashish kerakligi bu diagrammadan ko'rinib turibdi. Termodinamika birinchi qonunining diferentsial tenglamasini integrallaymiz:

$$dQ = dU + dL; \quad (4-11)$$

ish jismi bilan amalga oshiriladigan ixtiyoriy sikl uchun

$$\oint dQ = \oint dU + \oint dL. \quad (4-12)$$

Q - sistemaga tashqaridan beriladigan (yoxud olinadigan) issiqlik, L - sistema bajaradigan (yoxud sistema ustida bajariladigan) ish ekanligini eslatib o'tamiz. Ichki energiya U holat funktsiyasi bo'lganligidan va, binobarin, uning integrali berk kontur bo'yicha nolga teng bo'lganligidan (ya'ni sikl amalga oshirilgandan keyin ish jismi dastlabki holatiga qaytganida ish jismining ichki energiyasi boshlang'ich qiymatga ega bo'ladi) (4-5) tenglamadan quyidagini hosil qilamiz:

$$\oint dQ = \oint dL. \quad (4-13)$$

Quyidagi

$$L_{\text{is}} = \oint dL$$

va

$$Q_{\text{is}} = \oint dQ$$

Belgilashlarni kiritib, (3,6) munosabatlarni quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

$$Q_{\text{is}} = L_{\text{is}} \quad (4-14)$$

Ishga aylanadigan issiqlik Q_{is} ga kelganda shuni aytib o'tish kerakki, siklning ba'zi uchastkalarida ish jismiga issiqlik beriladi, boshqa uchastkalarida esa jismdan issiqlik olib ketiladi. Siklning ayrim uchastkalarida ish jismdan issiqlik olish istalgan issiqlik dvigateli siklining amalga oshirilishi mumkinligining asosiy (ajralmas) sharti ekanligini keyinchalik ko'rsatiladi. Ish jismiga siklda beriladigan issiqlikni Q_1 orqali, ish jismdan siklda olib ketiladigan issiqlikni Q_2 orqali belgilasak, u holda

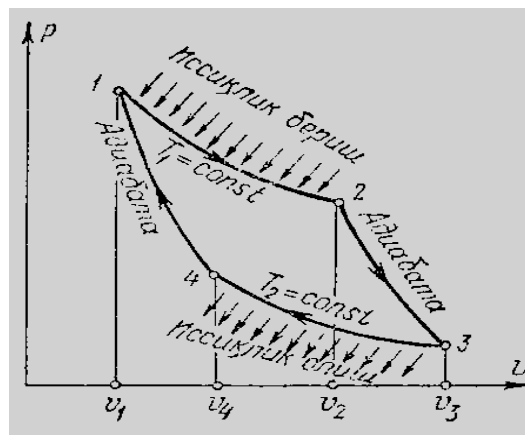
$$Q_y = Q_1 - Q_2 \quad (4-15)$$

va (3-7) ga muvofiq

$$L_y = Q_1 - Q_2 \quad (4-16)$$

Karno sikli. Karno teoremasi

1824 yilda frantsuz injeneri S.Karno keyinchalik issiqlik dvigatellari nazariyasiga asos bo'lgan ishini nashr ettirdi. Karno o'zining bu ishida issiqlik dvigatellarining termodinamika uchun alohida ahamiyatga ega bo'lgan siklni (keyinchalik uning nomi bilan atalgan siklni) ko'rib chiqdi



4-5 rasm

Karno sikli ish jismi tomonidan ikkita issiqlik manbai – issiq va sovuq manba orasida quyidagicha amalga oshiriladi (4-5) rasm. Siklning boshlang'ich nuqtasi 1 va T_1 temperaturaga, v_1 solishtirma hajm va p_1 bosimga ega bo'lgan ish jismiga issiqlik manbadan (uning temperaturasini $T_{ucc.man}$ bilan belgilaymiz) issiqlik keltiriladi, bunda $T_{ucc.man} > T_1$. Ish jismi (gaz) kengayib ish bajaradi (masalan, porshenni tsilindrga siljitib). Bunda ish jismiga issiqlik keltirish jarayoni shu tarzda o'tadiki, ish jismi temperaturasi o'zgarmasdan qoladi deb tasavvur qilish mumkin (ya'ni kengayish vaqtida gaz temperaturasining pasayishi tashqaridan issiqlik berib kompensatsiyalanadi). Boshqacha qilib aytganda izotermik jarayon $T_1 = const$ amalga oshiriladi. Gaz biror holatgacha kengayganidan so'ng (nuqta 2) unga issiqlik berilishi to'xtatiladi va gazning bundan keyingi kengayishi issiqlik keltirilmasdan adiabat bo'yicha sodir bo'ladi. Adiabatik kengayish jarayonida,

gazga tashqaridan issiqlik berilmasligi tufayli, gazning temperaturasi pasayadi va, binobarin, ish gazning ichki energiyasi hisobigagina bajariladi. Gaz biror holat 3 ga erishgandan so'ng (gazning bu holatdagi temperaturasini T_2 bilan belgilaymiz), ish bajarib kengayish jarayoni tugaydi va ish jismi dastlabki holatiga qayta boshlaydi. Bironta tashqi manbadan olinadigan ish hisobiga gaz siqiladi, bu jarayonda esa gazdan issiqlik olinadi. Olingan issiqlik $T_{\text{сов.ман}} < T_2$ temperaturali sovuq manbaga beriladi. Issiqlik olinishi shunday amalga oshiriladiki, bunda siqish jarayonida gazning temperaturasi o'zgarmas saqlab turiladi, ya'ni siqish jarayoni izoterma $T_2 = \text{const}$ bo'yicha sodir bo'ladi. Gaz holati siklning boshlang'ich nuqtasi 1 bilan bitta adiabatada yotgan nuqta 4 ga erishgandan so'ng, issiqlik olinishi to'xtatiladi. Gazning bundan keyingi siqilishi adiabataga bo'yicha, gaz nuqta 1 ga qaytmaganiga qadar davom etadi. Shunday qilib, Karno sikli ikkita izoterma va adiabatadan iborat. Kengayish jarayonida gaz bajaradigan ish p, v – diagrammada 1-2-3 chiziq ostidagi yuza bilan, gazni siqish uchun sarflanadigan ish 3-4-1 chiziq ostidagi yuza bilan, bitta siklda tashqi iste'molchiga beriladigan foydali ish 1-2-3-4-1 yuza bilan tasvirlanadi.

Agar bu shart bajarilgan bo'lsa va gazning 2-3 jarayonda kengayishi va 4-1 jarayonda siqilishi ishqalanishsiz sodir bo'lsa, u holda ko'rib chiqilayotgan jarayon qaytar jarayon bo'ladi. Haqiqatan ham xuddi shu ish jismining o'zi aynan shu issiqlik manbalarining orasida teskari yo'nalishda amalga oshiriladigan Karno siklini ko'rib chiqamiz (4-6 rasm). Holati p, v – diagrammada nuqta 1 bilan tasvirlanadigan siqilgan gaz 1-4 adiabataga bo'yicha kengayib (porshenni siljitib) ish bajaradi. Adiabatik kengayishda gaz temperaturasi pasayadi. Gaz adiabatik kengayish jarayonida nuqta 4 ga erishgandan so'ng [gazning bu nuqtadagi temperaturasi (uni T_{II} bilan belgilaymiz) sovuq manba temperaturasidan cheksiz kichik kattalik dT ga kam] adiabatik jarayon tugaydi.

$$T_{II} = T_{\text{сов.ман}} - dT \quad (4-17)$$

So'ngra gazning izotermik kengayishi 3-4 ($T_{II} = const$) amalga oshiriladi, bu jarayonda gaz sovuq manbadan issiqlik oladi. Shundan keyin birorta tashqi manbadan beriladigan issiqlik hisobiga gazni nuqta 2 ga mos keladigan holatgacha adiabatik siqish jarayoni amalga oshiriladi. Adiabatik siqish jarayonida gazning temperaturasi oshadi. Holat 2 gazning temperaturasi (uni T_1 bilan belgilaymiz) bu nuqtada issiq manba temperaturasidan cheksiz kichik kattalikka ortiq bo'ladigan qilib tanlanadi.

$$T_1 = T_{ucc.man} + dT. \quad (4-18)$$

Gazning bundan keyingi siqilish jarayonini izoterma $T_1 = const$ bo'yicha amalga oshiramiz; siqish jarayonida ajralib chiqqan issiqlik issiq manbaga beriladi. Natijada gaz boshlang'ich nuqta 1 ga qaytadi. (4-15) va (4-16) tenglamalarni (4-15) va (4-18) tenglamalar bilan taqqoslab ko'rishdan cheksiz kichik kattalikkacha aniqlikda $T_1 = T_1$ va $T_2 = T_{II}$ bo'lishi, ya'ni ish jismining holati to'g'ri siklda qanday temperaturalar intervalida o'zgarsa, teskari siklda ham xuddi shunday temperaturalar intervalida o'zgarishi ko'rinib turibdi. Kengayish jarayonida gaz bajargan ish 1-4-3 egri chiziq ostidagi yuza bilan, siqish uchun sarflangan ish 3-2-1 egri chiziq ostidagi yuza bilan tasvirlanadi va binobarin, bu ikkala ish ayirmasi 1-4-3-2-1 yuza bilan tasvirlanadi. Bu ayirmani $-L_y$ bilan belgilaymiz; minus belgisi ish tashqi manbadan keltirilganligini ko'rsatadi. Ko'rib chiqilgan teskari sikl natijasida issiqlik Q_2 sovuq manbadan olinib, issiq manbaga berilgan. Shuningdek, tashqaridan keltirilgan ish L_y ga ekvivalent bo'lgan issiqlik ham issiq manbaga berilgan. Shunday qilib, issiq manba hammasi bo'lib $Q_1 = Q_2 + L_y$ issiqlik oladi. Yuqorida ko'rsatib o'tilganidek, $T_1 = T_1$ va $T_2 = T_{II}$ bo'lishi tufayli to'g'ri siklda sovuq manbaga qancha issiqlik berilgan bo'lsa, teskari siklda bu manbadan xuddi shuncha issiqlik miqdori Q_2 olinadi, tegishli issiq manbadan to'g'ri siklda qancha issiqlik olingan bo'lsa, teskari siklda unga shuncha issiqlik miqdori Q_1 beriladi. Binobarin, teskari siklni o'tkazish uchun tashqi manba sarflagan ish to'g'ri siklda tashqi iste'molchiga beriladigan ishga aniq teng bo'ladi.

Shunday qilib, to'g'ri sikl amalga oshirilgan aynan o'sha yo'lning o'zidan Karno teskari siklini amalga oshirdik, ya'ni Karno sikli qaytar sikldir.

Siklning qaytuvchanligiga issiq manbaning va ish jismining izotermik jarayonda 1 va 2 nuqtalar orasidagi temperaturalarning teng bo'lishi (cheksiz kichik kattalikkacha aniqlikda) hamda sovuq manbaning va ish jismining izotermik jarayonda 3 va 4 nuqtalar orasidagi temperaturalarning tengligi hisobiga erishilgan. Agar issiqlik manbai va ish jismi orasidagi temperaturalar ayirmasi chekli bo'lganda edi, u holda sikl qaytmas sikl bo'lar edi.

Ideal gaz uchun termodinamika birinchi qonunining tenglamasini yuqoridagi munosabatni hisobga olib quyidagicha yozish mumkin:

$$dq = c_v dT + p dv, \quad (4-19)$$

bundan izotermik jarayon uchun ($T = const$, ya'ni $dT = 0$) quyidagini hosil qilamiz:

$$dq = p dv. \quad (4-20)$$

Klayperon tenglamasiga muvofiq ideal gaz uchun

$$p = \frac{RT}{v}$$

Bo'lganligidan (4-15) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$dq = \frac{RT}{v} dv, \quad (4-21)$$

bundan

$$q_{I-II} = RT \ln \frac{v_{II}}{v_I}; \quad (4-22)$$

bu yerda I va II indekslar tegishli jarayonning boshlang'ich hamda oxirgi nuqtalariga taaluqlidir. Agar ideal gaz izotermik jarayonda kengaysa, ya'ni $v_{II} > v_I$ bo'lsa, u holda (4-17) dan $q_{I-II} > 0$ bo'lishi, ya'ni kengayish jarayonida gaz temperaturasi o'zgarmasdan qolishi uchun unga issiqlik berilishi kerakligi ko'rinib turibdi. Agar gaz siqilsa, ya'ni $v_{II} < v_I$ bo'lsa, u holda $q_{I-II} < 0$ bo'ladi.

Termodinamika birinchi qonunining ideal gaz uchun (4-14) tenglamasidan adiabatik jarayonda ($dq = 0$)

$$pdv = -c_v dT \quad (4-23)$$

ekanligi kelib chiqadi.

Bu tenglamani hadma-had Klayperon tenglamasi

$$pv = RT$$

ga bo'lib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{dv}{v} = -\frac{c_v}{R} \cdot \frac{dT}{T}. \quad (4-24)$$

$$R = c_p - c_v$$

bo'lgani uchun (2-54) tenglamaga qarang] quyidagini hosil qilamiz:

$$(k-1) \frac{dv}{v} = -\frac{dT}{T}, \quad (4-25)$$

bu yerda k bilan issiqlik sig'implari c_p va c_v ning nisbati belgilangan.

Biz issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq bo'lmaydigan ideal gazni ko'rib chiqayotganligimiz sababli kattalik k o'zgarmas bo'lib, temperaturaga bog'liq bo'lmaydi. Bu holni hisobga olib (4-20) tenglamani integrallashda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\left(\frac{v_{II}}{v_I} \right)^{k-1} = \frac{T_I}{T_{II}}. \quad (4-26)$$

Hosil qilingan munosabatdan Karno siklining termik f.i.k. ini hisoblashda foydalanamiz.

Biz ko'rib chiqayotgan Karno siklida izotermik jarayonlarga tatbiqan q_1 va q_2 hisoblanadigan ifodalar (4-17) tenglamani hisobga olib quyidagicha yoziladi:

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1}; \quad (4-27)$$

$$q_2 = RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4}. \quad (4-28)$$

VI. FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YIHATI

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.

5-ma`ruza: Termodinamikaning ikkinchi qonuni

Reja:

1. Umumiy tusunchalar;
2. Termodinamikaning ikkinchi qonuni;
3. Aylanma jarayonlar;
4. Sovutish mashinalar;
5. Issiqlik nasoslari.

Tayanch so'zlar va iboralar: xarorat, bosim, hajim, ichgi energiya, ish, issiqlik, to'g'ri va teskari jarayonlar, birinchi qonun, ikkinchi qonun.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni umumiy ko'rinishda quyidagicha ta'riflash mumkin: **o'z-o'zidan sodir bo'ladigan har qanday jarayon qaytmas jarayondir;** yetarlicha aniq bo'lgan bu xulosani biz bundan oldingi ma'ruzada muhokama qilganmiz. Ikkinchi qonunning barcha boshqa ta'riflari bu umumiy ta'rifning xususiy hollaridan iborat.

R.Klauzius (1850 yilda) termodinamikaning ikkinchi qonunini quyidagicha ta'rifladi: **issiqlik ancha sovuq jismdan ancha issiq jismga o'z-o'zidan o'ta olmaydi.**

V.Tomson (lord Kelvin) 1851 yilda quyidagi ta'rifni taklif etdi: **jonsiz material agent yordamida moddaning qandaydir massasidan uni atrofdagi predmetlarda eng sovug'ining temperaturasidan past temperaturagacha sovutish yo'li bilan mexanikaviy ish olib bo'lmaydi.**

M.Plank quyidagi ta'rifni takdifi etdi: **barcha ish bironta yukni ko'tarish va issiqlik manbaini sovutishdan iborat bo'lgan davriy ishlaydigan mashina qurib bo'lmaydi.** Davriy ishlaydigan mashina deganda uzluksiz ravishda siklik jarayonda issiqlikni ishga aylantiruvchi mashinani tushunish kerak. Haqiqatan ham, agar bironata manbadan to'g'ridan-to'g'ri issiqlik olib, uni uzluksiz (siklik ravishda) ishga aylantiradigan issiqlik dvigateli qurish iloji bo'lganda edi, bu hol

sistemada muvozanat holati bo'lmaganidagina (jumladan, issiqlik dvigateliga tatbiqan – sistemada issiq va sovuq manbalar temperaturasining ayirmasi bo'lganda) bu sistemaning ish bajarishi mumkinligi to'g'risida bundan oldin ta'riflangan qoidaga qarama-qarshi bo'lur edi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni qo'yadigan cheklashlar mavjud bo'lmagan edi, bu hol loaqal bitta issiqlik manbai bo'lganda ham issiqlik dvigateli qurish mumkinligini bildirar edi. Bunday daigatel, masalan, okeandagi suvning hisobiga ishlay olgan bo'lur edi. Okeanning barcha ichki energiyasi ishga aylanmagunicha bu jarayonning davom etishi mumkin bo'lardi. Shu tarzda ishlaydigan issiqlik mashinasini V.F.Osvald o'rinli qilib ikkinchi tur abadiy dvigatel (energiyaning saqlanish qonuniga qarama-qarshi o'laroq ishlaydigan birinchi tur abadiy dvigateldan farqli o'laroq) deb atadi. Aytib o'tilganlarga muvofiq termodinamika ikkinchi qonuniga Plank bergan ta'rifni quyidagicha o'zgartirib aytish mumkin: **ikkinchi tur abadiy dvigatel quriib bo'lmaydi.** Ikkinchi tur abadiy dvigatelning mavjud bo'lishi termodinamikaning birinchi qonuniga qarshi bo'lmasligini aytib o'tish kerak; haqiqatan ham, bu dvigatelda ish hech narsadan emas, balki issiqlik manbaining ichki eneriyasi hisobiga bajarilgan bo'lur edi.

Agar sistemada ixtiyoriy qaytmas sikl amalga oshirilayotgan bo'lsa, sistemaning entropiyasi albatta o'zgaradi. Oldin ko'rsatilganidek, har qanday qaytmas siklning termik f.i.k. aynan shu issiqlik manbalarining orasida amalga oshiriladigan qaytar Karno siklining termik f.i.k. $\eta^{k-p.k.u}$ dan har doim kichik bo'ladi.

Qaytar Karno sikli uchun

$$\eta_T^{k-p.k.u} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (5-1)$$

bo'lishi, har qanday qaytmas sikl uchun esa umumiy ta'rifga muvofiq

$$\eta_T^{k-c.u.} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (5-2)$$

bo'lishini hisobga olib tengsizlik

$$\eta_T^{K-c.u} < \eta_T^{K-p.K.u} \quad (5-3)$$

ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin;

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} < \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (5-4)$$

bunday qaytmas sikl uchun

$$\frac{Q_2}{T_2} > \frac{Q_1}{T_1} \quad (5-5)$$

ekanligi kelib chiqadi (bu yerda temperaturalar ish jismiga emas, balki issiqlik manbalariga taaluqlidir). Binobarin, sistemada ikita issiqlik manbai orasida qaytmas sikl amalga oshirilsa, sistemaning entropiyasi ortadi:

$$\Delta S_{cucm} > 0. \quad (5-6)$$

Bu xulosa istalgan sondagi issiqlik manbalari orasida amalga oshiriladigan qaytmas sikllar uchun ham to'g'ridir.

Sistema entropiyasining ortishi shu narsaga bog'liqki, ish jismining entropiyasi sikl davomida o'zgarmaydi, issiqlik manbalar entropiyasining kamayishi esa absolyut qiymati bo'yicha sovuq manbalar issiqligi entropiyasining ortishiga qaraganda oz kamayadi. Shunday qilib, qaytmas siklni amalga oshirish natijasida izolyatsiyalangan sistemaning entropiyasi ortadi.

Bu holatni umumiy ko'rinishda quyidagi tarzda isbotlash mumkin. Qaytmas Karno sikli uchun har qanday qaytmas sikl uchun bo'lganidek, quyidagi ravishda yozishimiz mumkin bo'lgan (5-5) tengsizlik to'g'ri bo'ladi:

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} < 0,$$

yo, xuddi shuning o'zi.

$$\sum \frac{Q}{T} < 0. \quad (5-7)$$

Termodinamikaning ikkinchi qonunining bir necha ifodalari

Termodinamikaning ikkinchi qonun ifodalanishi mana'n jahatdan bir, lekin turli izohlanishi mumkin. Masalan:

Issiqlik o'z o'zidan yuqori xaroratli jisimdan, xarorati past bo'lgan jisimga ikkala jisimlardagi o'zgarishlarsiz yoki tashqi muhitdagi o'zgarishlarsiz o'tishi mumkin emas.

Yoki: termodinamik tizimda yoki atrof muhitda hech qanday o'zgarishlarsiz sovitish jarayoni mo'baynida ajraliyotgan issiqlik evaziga uzluksiz ish bajarib davriy ishlab turadigan mashinani yaratib bo'lmaydi.

Ma'lum bir vaqt o'tgach isitgich va sovitgich xaroratlari muvazonatga kelib issiqlik almashinish jarayoni to'xtaydi, yani mashina ishlamaydi.

Demak:

Ikkinchi darajali abadiy dvigayelni yaratish imkoniyati mavjud bo'lar edi agar sovitgich bo'lmay isitgichda olingan butun issiqligi ish bajarishga sarflanganida. Ammo bunday holat bo'lmasligi aniq chunki har qanday davriy ishlaydigan real mashinada sovitgich bo'lishi zarur. Bu esa ikkinchi darajali abadiy dvigatelni qurishga hech qanday imkoniyati mavjud emasligini isbotlaydi.

VI. FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YIHATI

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:.. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.

6- ma'ruza: Entropiya. Ekssergiya.

Issiqlik jarayonlarining o'ziga xos muhim xususiyatini ta'kidlab o'tish zarur. Mexanikaviy ishni, elektrik ishni, magnitaviy kuchlarning ishi va hokozolarni qoldiqsiz, batamom to'la issiqlikka aylantirish mumkin. Issiqlikka kelsak davriy takrorlanadigan jarayonda uning bir qismigina mexanikaviy va boshqa turlardagi ishga aylanishi mumkin: uning boshqa qismi muqarrar ravishda sovuq manbaga berilishi kerak.

Entropiya

Endi qaytar sikllarning ba'zi bir muhim xossalari ko'rib chiqishga o'tamiz.

Qaytar Karno siklining f.i.k. quyidagi

$$\eta_r = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

munosabat yordamida aniqlanadi, umumiy ko'rinishda esa har qanday siklning termik f.i.k. ta'rifi ko'ra

$$\eta_T = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

Bunday qaytar Karno sikli uchun

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad (6-1)$$

yoki, xuddi shuning o'zi,

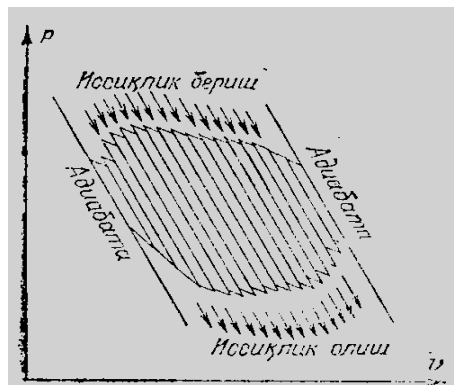
$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \quad (6-2)$$

kelib chiqadi.

Bu munosabat umumiy ko'rinishda quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0. \quad (6-3)$$

Issiqlik uchun ishora tanlash shartli ekanligini eslatib o'tish lozim: masalan, to'g'ri siklda (bu siklning amalga oshirilish natijasi bajarilgan ish bo'ladi) issiqlik Q_2 ish jismiga nisbatan minus ishora (issiqlik ish jismidan olinadi), issiqlikning sovuq manbaiga nisbatan esa plus ishoraga (issiqlik Q_2 sovuq manbaga beriladi) ega bo'lishi kerak.



6-1-rasm

Oxirgi munosabatni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\sum \frac{Q}{T} = 0. \quad (6-4)$$

Ixtiyoriy qaytar siklni ko'rib chiqamiz. Ixtiyoriy qaytar siklni amalga oshirish uchun issiqlik manbaining soni cheksiz ko'p bo'lishi kerakligini eslatib o'tamiz. Avvalgi ma'ruzalarda ko'rsatilganidek, har qanday qaytar siklni har qaysisi o'zi ΔQ_1 issiqlik oladigan issiq manba va o'zi ΔQ_2 issiqlik beradigan sovuq manbaga bog'liq bo'lgan juda ko'p sonli elementar Karno siklidan (6-1-rasmga qarang) iborat deb tasavvur etish mumkin. (6-3) tenglamani hisobga olib, bu elementar sikllarning har qaysisi uchun (ularning umumiy sonini n bilan belgilaymiz) quyidagini yozish mumkin:

1-sikl:

$$\frac{\Delta Q_1^{(1)}}{T_1^{(1)}} + \frac{\Delta Q_2^{(1)}}{T_2^{(1)}} = 0;$$

2-sikl:

$$\frac{\Delta Q_1^{(2)}}{T_1^{(2)}} + \frac{\Delta Q_2^{(2)}}{T_2^{(2)}} = 0;$$

.....

n -sikl:

$$\frac{\Delta Q_1^{(n)}}{T_1^{(n)}} + \frac{\Delta Q_2^{(n)}}{T_2^{(n)}} = 0.$$

Bu munosabatlarni qo'shib quyidagini hosil qilamiz:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_1^{(i)}}{T_1^{(i)}} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_2^{(i)}}{T_2^{(i)}} = 0, \quad (6-5)$$

yoki, (4-4) ga o'xshash

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q}{T} = 0. \quad (6-6)$$

Agar cheksiz kichik sikllar ko'riladigan bo'lsa, limitda

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q}{T} = \oint \frac{dQ}{T} \quad (6-7)$$

bo'ladi, bundan (4-6) ga muvofiq quyidagini hosil qilamiz:

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0. \quad (6-8)$$

(6-8) tenglamaning integrali *Klauzius integrali* deb yuritiladi. (4-8) tenglama har qanday *qaytar* sikl uchun klauzius integrali nolga tengligini ko'rsatadi.

Integral ostidagi ifodaning xossasini aniqlaymiz. Integral ostidagi funktsiya uchun quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$dS = \frac{dQ}{T}. \quad (6-9)$$

U holda (6-8) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\oint dS = 0. \quad (6-10)$$

Ikkita ixtiyoriy xolat A va B orasida (6-2-rasm) qar qanday yo'l bo'yicha olingan egri chiziqli integral $\int_{(l)} pS$ ning qiymati jarayon amalga oshirilgan yo'lga bog'liq bo'lmasdan, faqat shu jarayon amalga oshiriladigan oxirgi holatlarga bog'liq, ya'ni

$$\int_{AaB} dS = \int_{AbB} dS = \dots = \int_A^B dS = S_B - S_A \quad (6-11)$$

bo'lishini ko'rsatish qiyin emas.

Shunday qilib, integral ostidagi S funktsiya ichki energiya va entalpiyaga o'xshab holat funktsiyasidan iborat ekan – uning qiymati holat parametrlari bilan bir qiymatda aniqlanadi. Avval qayd etib o'tilganidek, holat funktsiyasining diferentsiali to'la diferentsial ekanligini ham eslatib o'tamiz.

Klauzius kiritgan funktsiya S *entropiya* deb ataladi.

Entropiya ekstensiv xossa bo'lib, u ham boshqa ekstensiv kattaliklarga o'xshab **additivlik** xossasiga ega. Solishtirma entropiya deb ataladigan quyidagi

$$s = \frac{S}{G} \quad (6-12)$$

kattalik modda massasi birligining entropiyasidan iborat bo'ladi.

Holatning istalgan boshqa funktsiyasi kabi sistemaning solishtirma entropiyasi ham holatning istalgan ikkita parametri x, y uning funktsiyasi ko'rinishida tasavvur etilishi mumkin:

$$s = f(x, y), \quad (6-13)$$

bu yerda x va y sifatada p va v, p va T va hokazolar bo'lishi mumkin.

Modda entropiyasini boshqa termik kattaliklar yordamida hisoblab topish metodlarini keyingi ma`ruzalarda batafsil ko'rib chiqamiz.

Entropiya ta`rifidan ko'rinishicha [(6-9) tenglama], entropiya issiqlik birligining temperatura birligi bo'linmasiga teng o'lchamlikka ega. Entropiyaning o'lchov birliklaridan eng ko'p ishlatiladigani J/K, kkal/K.

Solishtirma entropiyaning o'lchov birliklari – J/(kg.K), kJ/kg.K). kkal/(kg.K) va hokazolar. Shunday qilib, entropiyaning o'lchamligi issiqlik sig'imi o'lchamligiga mos keladi. Toza modda uchun va moddalarning o'zaro ximiyaviy reaksiyaga kirmaydigan aralashmalari uchun, ichki energiyaning nol sanoq boshi ixtiyoriy tanlanganidek, entropiyaning nol sanoq boshi ham ixtiyoriy tanlanadi; turli termodinamikaviy jarayonlarni ko'rib chiqishda bizni bu jarayonlarda *entropiyaning o'zgarishi*, ya`ni jarayonning bosh va oxirgi nuqtalaridagi entropiyalar ayirmasi qiziqtiradi, tabiiyki, bu ayirma entropiyaning sanoq boshi tanlashga bog'liq bo'lmaydi.

Sistemaning entropiyasi turli qaytar jarayonlarda ortishi va kamayishi mumkinligi (6-9) munosabatda ko'rinib turibdi: temperatura kattaligi T har doim musbat bo'lganligidan, sistemaga issiqlik berilganda ($dQ > 0$) uning entropiyasi ortishi, ($dS > 0$) issiqlik olinganda esa ($dQ < 0$) uning entropiyasini kamayishi ($dS < 0$) munosabat (6-9) dan kelib chiqadi.

Qaytar jarayonda jism holati boshlang'ich holat 1 dan oxirgi holat 2 gacha o'zgarganda jism entropiyasining quyidagi

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (6-14)$$

kattalikka o'zgarishi ham (6-9) dan kelib chiqadi.

$$dQ = Gc_p dT$$

bo'lganligidan G va c_p larni integral belgisidan tashqariga chiqarib, (6-9) dan quyidagini hosil qilamiz:

$$S_2 - S_1 = Gc_p \ln \frac{T_2}{T_1},$$

yoki

$$S_2 - S_1 = 10 \cdot 4,19 \ln \frac{60 + 273,15}{20 + 273,15} = 5,40 \text{ kJ/K} (1,29 \text{ kcal/grad})$$

Bitta muhim holni alohida qayd qilib o'tish lozim. Entropiya haqidagi tushuncha qaytar sikllarni ko'rib chiqish asosida kiritilgan. Bu hol go'yo bizni qaytmas jarayonlarni analiz qilishda entropiya tushunchasidan foydalanish imkoniyatidan mahrum qiladi. Lekin entropiya holat funksiyasi ekanligini va, binobarin, uning bironta jarayonda o'zgarishi faqat dastlabki va oxirgi holatlar bilangina aniqlanishini esda tutish lozim.

Entropiya tushunchasi issiqlik dvigatellarining sikllarini analiz qilish uchun juda qulay bo'lgan holat diagrammasini kiritishga imkon beradi. Holat diagrammasida abtsissa bo'yicha entropiya, ordinata bo'yicha esa absolyut temperatura qo'yiladi (6-3-rasm). Ixtiyoriy jarayon *I – II* ning egri chizig'ini *T, S* – diagrammada tasvirlaymiz.

(6-9) tenglamada qaytar jarayonda

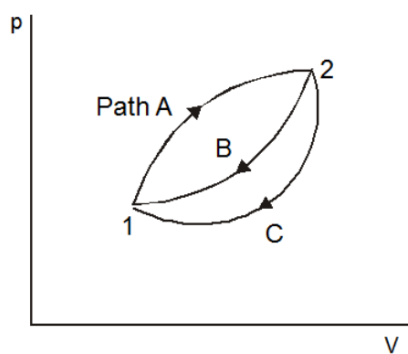
$$dQ = TdS \quad (6-15)$$

ekanligi kelib chiqadi.

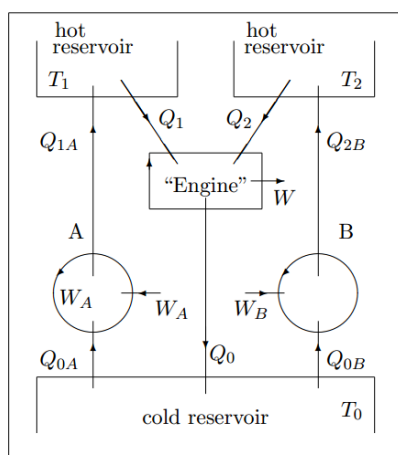
Holat *I – II* lar oralig'ida amalga oshiriladigan qaytar jarayonda sistemaga beriladigan (yoki undan olinadigan) issiqlik miqdori quyidagiga teng bo'ladi:

$$Q_{I-II} = \int_{S_I}^{S_{II}} TdS. \quad (6-16)$$

Ma'lumki qaytar jarayonda sistema olgan (yoki bergan) issiqlik miqdori *T, S* – diagrammada jarayon egri chizig'i ostidagi yuza bilan tasvirlanadi. 4-4-rasmda issiqlik dvigatelinin qaytar sikli *T, S* – diagrammada tasvirlangan. Sikl ichida ish jismiga keltirilgan Q_1 issiqlik



6-3-rasm



6-4-rasm

miqdori ABC egri chizig'i ostidagi yuza bilan, ish jismidan olingan Q_2 issiqlik miqdori esa CDA egri chizig'i ostidagi yuza bilan tasvirlanadi. Siklda ish jismi bajargan $L_{\sigma} = Q_1 - Q_2$ ish berk egri chiziq $ABCD$ bilan chegaralangan yuza bilan tasvirlanadi.

T, S – diagrammaning qulayligi shundaki, siklda keltirilgan va olingan issilik miqdori ham, siklni amalga oshirish natijasida olingan ish (yoki agar sikl teskari bo'lsa, sarflangan ish) unda yaqqol tasvirlanadi. T, S – diagrammada siklning qaysi uchastkalarida ish jismiga issiqlik keltirilishi va qaysi uchastkalarda issiqlik olinishi ham ko'rinadi: issiqlikning qaytuvchan keltirish jarayoniga entropiyaning ortishi, issiqlik olish jarayoniga esa entropiyaning kamayishi mos keladi.

Izotermik jarayon T, S – diagrammada gorizontaal to'g'ri chiziq bilan ifodalanishi mumkin.

Izotermik jarayon $I - II$ da

$$Q_{I-II} = T(S_{II} - S_I)$$

bo'lishi (6-16) dan kelib chiqadi.

Tenglama

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

dan qaytar adiabat jarayonda ($dQ = 0$)

$$dS = 0 \quad (6-17)$$

va

$$S = \text{const} \text{ bo'ladi.} \quad (6-18)$$

Shuning uchun qaytar adiabatik jarayonlar izoentropik jarayonlar deb, bu jarayon egri chizig'i esa izoentropa deb ham ataladi, izoentropa T, S –diagrammada vertikal to'g'ri chiziq bilan tasvirlanadi.

Qaytmas jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi

Shu paytgacha biz entropiyaning faqat qaytar jarayonlardagina o'zgarishini ko'rib chiqdik. Endi qaytmas jarayonlarda sistemaning entropiyasi qanday o'zgarishi masalasiga o'tamiz.

Biz uchun eng qiziqarlisi izolyatsiyalangan sistemada sodir bo'ladigan qaytmas jarayonlarni ko'rib chiqishdir. Atrofdagi muhitdan juda yaxshi izolyatsiyalangan, qattiq (bikr) qobiqli sistema izolyatsiyalangan sistema deb ataladi. Ideal issiqlik izolyatsiyasi sistemani atrofdagi muhit bilan issiqlik almashishdan saqlaydi ($dQ_{\bar{n}\bar{e}\bar{n}\bar{o}} = 0$), qattiq qobiq esa kengayish ishini atrofdagi muhit bilan almashishdan saqlaydi. ($dQ_{\bar{n}\bar{e}\bar{n}\bar{o}} = 0$), va $p dV_{\bar{n}\bar{e}\bar{n}\bar{o}} = 0$ bo'lganligidan [1] tenglamadan $dU_{\bar{n}\bar{e}\bar{n}\bar{o}} = 0$, ya'ni $U_{\bar{n}\bar{e}\bar{n}\bar{o}} = \text{const}$ bo'lishi ko'rinib turibdi. Izolyatsiyalangan sistemada sodir bo'ladigan jarayonlarni analiz qilish yana shu narsasi bilan qiziqarlilik, izolyatsiya qilinmagan har qanday sistemani va uni o'rab olgan muhitni ma'lum bir chegarada izolyatsiyalangan bitta sistemadek fikran ko'rib chiqish mumkin.

Izolyatsiyalangan sistema uchun $dQ_{\text{net}} = 0$ bo'lganligidan bunday sistemada sodir bo'ladigan har qanday jarayon butun sistema uchun adiabat jarayon hisoblanadi.

Turli T_1 va T_2 temperaturalarga ($T > T_2$) ega bo'lgan ikkita qism (jism) dan iborat izolyatsiyalangan sistemani ko'rib chiqamiz. Sistemaning bu qismlari orasida issiqlik almashinish jarayoni sodir bo'ladi – issiqlik ancha yuqori temperatura T_1 li jismdan ancha past temperatura T_2 li jismga o'tadi. Agar birinchi jismdan ikkinchisiga issiqlik dQ miqdori o'tsa, u holda (6-9) ga muvofiq birinchi jismning entropiyasi

$$dS_1 = -\frac{dQ}{T_1} \quad (6-19)$$

kattalikka kamayadi, ikkinchi jismning entropiyasi esa

$$dS_2 = \frac{dQ}{T_2} \quad (6-20)$$

kattalikka oshadi.

Butun sistema entropiyasining umumiy o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

$$dS_{\text{cucm}} = dQ \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right). \quad (6-21)$$

Temperaturalar

$$T_2 < T_1$$

bo'lishi tufayli

$$dS_{\text{cucm}} > 0 \quad (6-22)$$

bo'ladi, ya'ni qaytmas jarayon natijasida ko'rilayotgan izolyatsiyalangan sistemaning entropiyasi ortadi.

Agar sistemaning qismlari orasidagi issiqlik almashinish jarayoni qaytar o'tganda edi (bu jarayonning qaytar tarzda amalga oshirilish sharti jism temperaturalarining bir-biridan cheksiz kichik tafovut qilishi: $T_1 - T_2 = dT$ bo'lishi ekanligini eslatamiz), u holda birinchi jism entropiyasi

$$dS_1 = -\frac{dQ}{T_1}$$

kattalikka kamaygan, ikkinchi jism entropiyasi esa

$$dS_2 = \frac{dQ}{T_1 - dT}$$

kattalikka ortgan bo'lur edi, umuman sistema uchun entropiyaning o'zgarishi nazarga olinmaydigan darajada kichik bo'lardi:

$$dS = dQ \left(\frac{1}{T_1 - dT} - \frac{1}{T_1} \right) \approx dQ \frac{dT}{T_1^2} \approx 0. \quad (6-23)$$

Ko'proq qizigan jismdan kamroq qizigan jismga o'tishni qaytar amalga oshirishning boshqa usuli, oldin eslatib o'tilganidek, qaytar Karno siklidan foydalanishdan iborat. Har qanday qaytmas siklni amalga oshirish uchun muvozanatda bo'lmagan uchta element: issiq manba, sovuq manba va ish jismidan iborat sistema bo'lishi zarur. Agar bir sikl ichida issiqlik manbadan (temperaturasi T_1) issiqlik Q olinsa, sovuq manbaga (teiperaturasi T_2) issiqlik Q_2 berilsa, u holda issiq manbaning entropiyasi

$$\Delta S_{ucc.man.} = -\frac{Q_1}{T_1} \quad (6-24)$$

kattalikka kamayadi, sovuq manbaning entropiyasi esa

$$\Delta S_{sov.man.} = \frac{Q_2}{T_2} \quad (6-25)$$

kattalikka ortdi; ish jismi entropiyasi esa siklning amalga oshirilishi natijasida ish jismi dastlabki holatiga qaytishi tufayli uning entropiyasi o'zgarmaydi, ya'ni

$$\Delta S_{u.jc} = 0 \quad (6-26)$$

bo'ladi.

Binobarin, ko'rib chiqilayotgan butun sistema etropiyasining o'zgarishi siklning amalga oshirilishi natijasida quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta S_{cucm} = \Delta S_{ucc.man.} + \Delta S_{u.jc.} + \Delta S_{sov.man.} = \frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1}. \quad (6-27)$$

Bu munosabat ikkita issiqlik manbai orasida amalga oshiriladigan har qanday qaytar va qaytmas sikllar uchun to'g'ridir.

Oldin ko'rsatib o'tilganidek, qaytar Karno sikli uchun

$$\frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1} = 0.$$

Binobarin, agar sistemada qaytar Karno sikli (yo ikkita issiqlik manbai orasida har qanday istalgan boshqa qaytar sikl) amalga oshirilayotgan bo'lsa, u holda sistemaning entropiyasi o'zgarmaydi:

$$\Delta S_{cum} = 0. \quad (6-28)$$

Bunday xulosani istalgan sondagi issiqlik manbalari orasida amalga oshiriladigan qaytmas sikllar uchun ham chiqarish mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yihati:

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.
2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.
3. И. Пригожинб Д. Кондепуди. Современная термодинамика. Перевод с английского:.. М. «Мир» 2002 г. 464 с.
4. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.
5. Mahmoud Massoud. EngineeringThermofluids Thermodynamics,Fluid Mechanics,and HeatTransfer/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005. 1132 pp.

7-ma'ruza: Gazli ishchi jism issiqlik dvigatellar tsikllari. Gazlarni siqish. Sovutish tsikllari.

Reja:

1. Issiqlik dvigatelining aylanma jarayoni.
2. Karnoning to'g'ri qaytar tsikli.
3. Karnoning teskari qaytar tsikli.

Tayanch so'zlar va iboralar: Tsiklda bajarilgan ish . Issiqlik dvigatellari tsikli. Termodinamikaning II-qonuni. Termik F.I.K. termodinamikaviy protsess, egri chizig'i, aylanma tsikl, ish jism, issiqlik, bajarilgan ish.

7.1. Issiqlik dvigatelining aylanma jarayoni.

Termodinamikning birinchi qonuni gazga keltirilgan issiqlik qanday maqsadlarga sarf bo'lishini belgilaydi. Lekin u quyidagi savollarni hal qilmaydi: issiq jismdan yanada issiqroq jismga issiqlik uzatish imkoniyatini, va keltirilgan issiqlik miqdorini to'liq ishga aylantirish imkoniyatini hal qilmaydi. Bu masalalar bilan termodinamikaning ikkinchi qonuni shug'ullanadi.

Jism bir qancha o'zgarishlarga uchrab, yana boshlang'ich holatiga qaytib keladigan ketma-ket qator jarayonlar aylanma jarayon, boshqacha aytganda tsikl deyiladi. Ideal tsikllarda jarayonlar qaytar bo'ladi va sistemaga issiqlik keltirish jarayonida ish jismining ximiyaviy tarkibi o'zgarmaydi deb qaraladi, hamda sistemadan issiqlik olib ketilishi jarayoni bu issiqlikni sovitgichga berish sifatida qaraladi.

Real tsikllarda esa sistemadan issiqlik olib ketilishi ishlab bo'lgan gaz yoki bug'ni chiqarib yuborish yo'li bilan amalga oshiriladi.

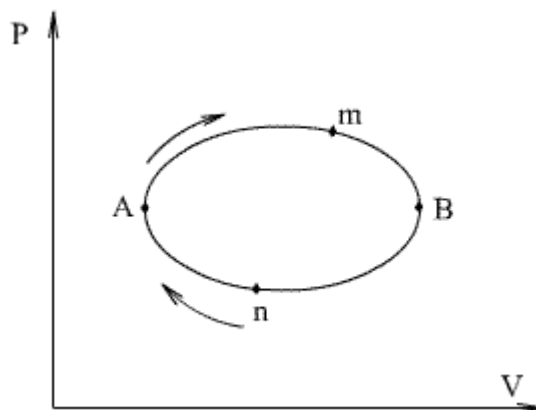
Ideal tsikllarda adlabatik siqilish va kengayish jarayonlarida ish jismi bilan tashqi muhit orasida issiqlik almashinuvi bo'lmaydi, real tsikllarda esa issiqlik almashinuvi bo'lishi mumkin.

7.1-rasmda tasvirlangan aylanma qaytar jarayonni ko'rib chiqamiz.

Ish jismi kengayganda ya'ni sistemaga Q , issiqlik keltirilganda A_{mB} va A yuzaga teng musbat ish bajarildi.

Ish jismi siqilganda tashki kuchlarning son jihatdan A_{nB} va A yuzaga teng manfiy ishi sarflangan.

Foydali ish olish uchun kengayish ishi siqilish ishidan katta bo'lishi kerak.



7.1-rasm. Aylanma jarayonni PV diagrammasi.

Foydali ish kengayish va siqilish ishlarining ayirmasiga teng

$$L=L_1-L_2$$

Termodinamikning birinchi qonuniga muvofiq

$$Q_1-Q_2=U+L(7.1)$$

Aylanma jarayonda $U = 0$ bo'ladi shuning uchun $Q_1 - Q_2 = L$

Ishga aylangan issiqlikning aylanma tsiklni amalga oshirishga sarflangan issiqlik Q_1 - ga nisbati termik f.i.k. deyiladi.

$$\eta_1 = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \text{ yoki } \eta_1 = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (7.2)$$

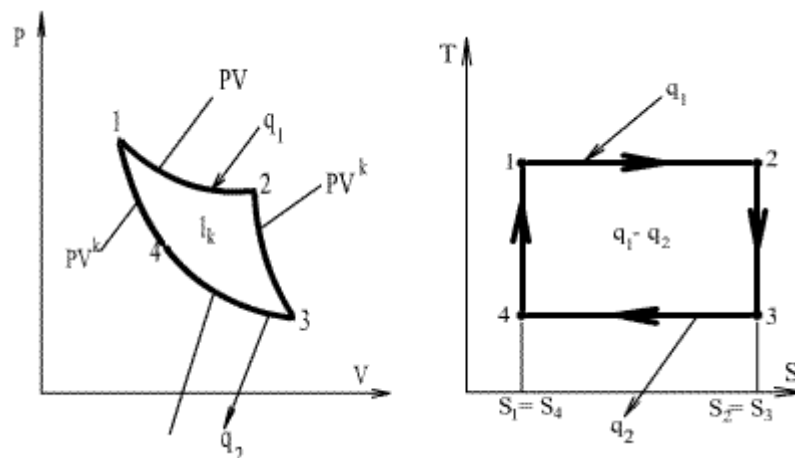
Agar AmB va A egri chiziq bo'yicha yopiq tsikl olishning iloji bo'lsa, u holda bunday tsiklda issiqlik miqdori nolga teng va termik f.i.k. birga teng bo'lar edi. Lekin bunday tsiklni amalga oshirib bo'lmaydi, chunki jarayon va chiziq bo'yicha absolyut nolga (-273 S) teng temperaturada borishi kerak edi, dvigatellarda haqiqatda buni amalga oshirib bo'lmaydi.

Barcha ideal tsikllar orasida 1824 yilda fransuz olimi Sadi Karno taklif etgan va uning nomi bilan atalgan tsikl - Karno tsikli eng mukammalidir.

7.2. Karnoning to'g'ri qaytar tsikli.

Bu tsikl 1924 yilda frantsuz dengiz ofitseri Sadi Karno tomonidan taklif qilingan Karno tsikli issiqlik dvigatellarining ideal tsikli bo'lib, 2 ta izotermik va 2 ta adiabatik jarayondan tashkil

topgan. Karno tsiklining diagrammasini chizamiz: $PV = \text{const}$; $PV^k = \text{const}$



7.2-rasm Kar no tsiklining PV va TS diagrammalari

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} \text{ yoki } q_1 = T_1 (S_2 - S_1) \quad q_1 = l_{12}$$

2 нуда issiqlik manbai ajratilib, gaz adiabatga bo'yicha kengayadi (7-3. $PV^k = \text{const}$)
 $q = 0$

$$l_{23} = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2)$$

Adiabatik kengayishda gazning temperaturasi T_1 dan T_2 gacha pasayadi. 3 nuqta da sovuqlik manbai ulanadi va gaz 3 - 4 chiziq bo'yicha izotermik siqiladi $PV = \text{const}, T_2 = \text{const}$.

Bunda q_2 issiqlik sovuqlik manbaiga beriladi

$$q_2 = RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4} = -l_{34} \quad \text{yoki TS diagramma bo'yicha}$$

$$q_2 = T_2 (s_3 - s_4), \text{ КДЖ/КГ} \quad (7.3)$$

4 da sovuqlik manbai ajratiladi va gaz 4-1 adiabatik bo'yicha siqiladi bajarilgan ish

$$l_{41} = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2)$$

Gazning kengayishda bajargan ishi 2-3 va 4-1 adiabatik jarayonlarda son qiymatlari bir xil bo'lib, biri musbat ikkinchisi manfiy ya'ni ishoralari qarama-qarshi bo'lgani uchun tsiklni ishiga ta'sir qilmaydi.

Karno tsiklini termik foydali ish koeffitsientini hisoblaymiz.

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} - RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4}}{RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1}} \text{ bundan } \eta_t^k = \frac{T_2}{T_1} \quad (7.4)$$

Xulosa: 1. To'g'ri qaytar Karno tsiklining termik f.i.k. gazning tabiatiga bog'liq emas.

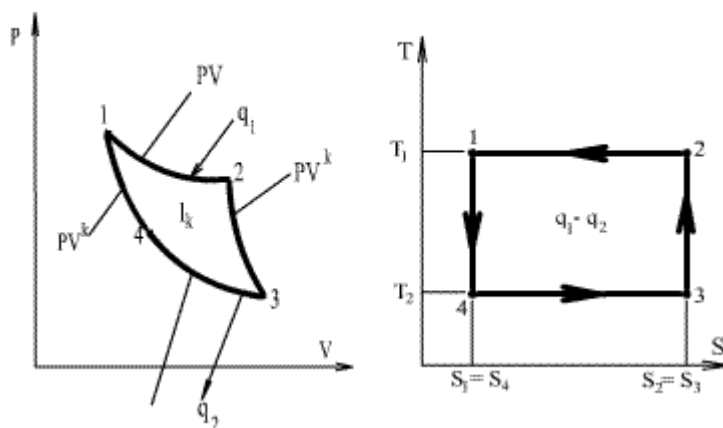
2. Karno tsiklining f.i.k. T_1 issiqlik manbai temperaturasi qancha katta bo'lsa, shunga katta bo'ladi va T_2 qancha (sovuqlik manbai) kichik bo'lsa shuncha katta bo'ladi.

3. T_1 va T_2 - temperaturalar oralig'ida Karno tsiklining f.i.k. boshqa har qanday tsiklga nisbatan kattadir. Buni TS diagrammadan ko'rishimiz mumkin

.

7.3. Karnoning teskari qaytar tsikli.

Bu tsikl sovitish mashinalarining ideal tsikli bo'lib soat strelkasiga teskari yo'nalishda kechadi. to'g'ri tsikl kabi ikkita izotermik va ikkita adiabatik jarayonlardan tashkil topgan.



7.3-rasm. Teskari qaytar Karpo tsiklining PV va TS diagrammalari.

Bu tsiklda 4-3 jarayon chizig'i bo'yicha issiqlik manбайдan $q_2=T_2(s_3-s_4)$ issiqlik beriladi.

2-1 jarayon chizig'i bo'yicha esa manbaga issiqlik beriladi $q_1=T_1(s_2-s_1)$

Karno tsiklining sovitish koeffitsientini aniqlaymiz.

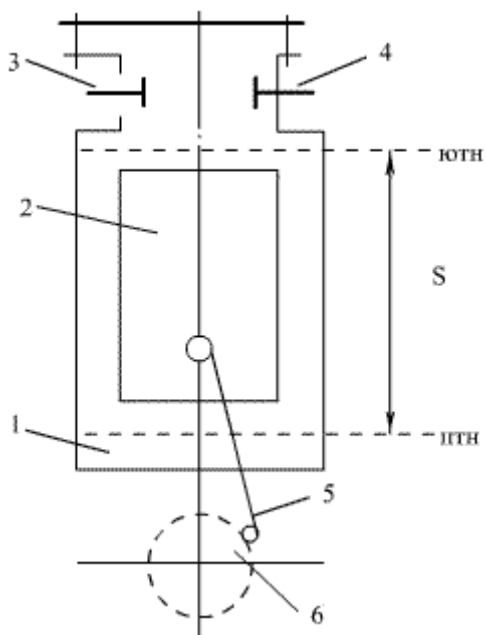
$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{T_2(S_3 - S_4)}{T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_3 - S_4)}$$
$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad \varepsilon > 0 \quad (7.5)$$

Temperaturalar farqiga qarab ε birdan katta, kichik va teng bo'lishi mumkin. Ko'pchilik real holda $\varepsilon > 1$.

Ichki yonuv dvigatellari (IYoD).

Asosiy tushuncha va ta'riflar.

Ichki yonuv dvigatellariga (IYoD) barcha ish jarayonlari (yoqilg'ining yonishi, issiqlik chiqishi va uning mexanikaviy ishga aylanishi) dvigatel ish tsilindrining ichida sodir bo'ladigan issiqlik dvigatellari kiradi. Bu dvigatellarda yoqilg'ining yonish mag'sulotlari ish jismi hisob lanadi. 6.1 - rasmda ichki yonuv dvigatelining sxemasi tasvirlangan. Tsilindr 1 ning kallagida kirish 3 va chiqish 4 klapanlari hamdm dvigatelning tipiga qarab, yondirish svechasi yoki yoqilg'i purkash forsunkasi joylashadi. Porshen 2 ning ilgarilanma harakati krivoship -shatunli mexanizm 5 yordamida aylanma harakatga aylanadi.



7.5 -rasm Ichki yonuv dvigateling sxemasi.

Porshenni bir chekka holatdan ikkinchi chekka holatga siljishi takt deyiladi. Tsilindrning yuqori turish nuqta (TYuN) bilan pastki turish nuqta (PTN) orasidagi hajmni tsilindrning ish hajmi deyiladi va V_n bilan belgilanadi. Tsilindrning kalpigi bilan YuTN da turgan porshen orasidagi hajm yonish kamerasining hajmi yoki sikish kamerasi deyiladi va V_c bilan belgilanadi. Ish hajmi V_n bilan, yonish kamerasi V_c ning yig'indisi tsilindrning to'la hajmi deyiladi.

$$V_a = V_n + V_c$$

To'la hajmning yonish kamerasining hajmiga nisbatan siqish darajasi deyiladi va ϵ bilan belgilanadi:

$$\epsilon = V_a / V_c$$

Dvigatelning tsilindrda yonilg'i eng to'liq yonishi uchun u yonish uchun zaruriy miqdordagi havo bilan yaxshi aralashgan bo'lishi lozim.

Dvigatelda yondirish uchun tayyorlangan havo bilan yonilg'i aralashmasi ish aralashmasi deyiladi. Aralashma tayyorlashning ikki: tashqi va ichki usuli bor. Aralashma tashqarida tayyorlanadigan dvigatellarda yangi aralashma aralastirgichda tayyorlanadi va siqilish darajasi past bo'ladi. Ularga karbyuratorli va gaz dvigatellari kiradi.

Aralashma ichkarida tayyorlanadigan dvigatellarda yonilg'i va havo ish tsilindriga alohida beriladi. Ular tsilindr ichida aralashib, ish aralashmasini hosil qiladi.

7.2.1 Aralashma tashqarida hosil bo'ladigan dvigatellar.

Karbyuratorli dvigatellar. To'rt taktli karbyuratorli dvigatellarning ish tsiklini ko'rib chiqamiz Birinchi takt- ish aralashmasining tsilindrga kirishi (surilishi). (12.1-rasm) Porshen 2 YuTN dan PTN ga yuqoridan pastga tomon siljiydi, bunda kirish klapani 3 ochiq, chiqish klapani 4 esa berk bo'ladi.

Porshen pastga tomon harakatlenganda tsilindr 1 da siyraklanish vujudga keladi va unga ish aralashmasi suriladi. Porshen yo'lining oxirida tsilindr ish aralashmasi bilan to'ladi va kirish klapani berqiladi.

Ikkinchi takt -ish aralashmasining siqilishi. Ikkinchi taktning oxirida aralashma elektr uchquni ta'sirida o't oladi, temperatura bosimi ko'tariladi.

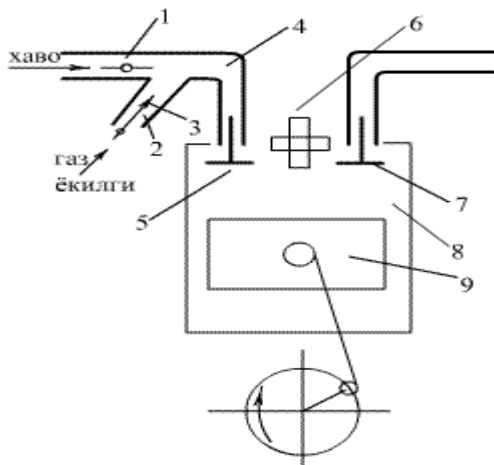
Uchinchi takt- yonish mag'sulotlarining kengayishi. Ikkala klapan berk bo'ladi. Yonish mag'sulotlari kengayib, porshenni bosadi va mexanikaviy ish bajaradi, bu ish shatun 5 orqali dvigatel valiga uzatiladi.

Turtinchi takt- yonish mag'sulotlarini siqib chiqarish. Uchinchi taktning oxirida porshen PTN ga kelganda chiqarish klapani ochiladi va tsilindrning ish bo'shlig'i atmosfera bilan tutashadi. Gazning asosiy qismi ochiq klapan orqali tsilindrdan atmosferaga chiqarib yuboriladi. Porshen PTN dan YuTN ga tomon harakatlenganda qolgan yonish mag'sulotlari ham tsilindrdan atmosfera siqib chiqariladi.

SHundan keyin yana surish boshlanadi va tsikl takrorlanadi.

Karbyuratorli dvigatellar yengil suyuq yoqilg'ida ishlaydi. Ish aralashmasi maxsus qurilmada - karbyuratorda tayyorlanadi; uning ishlash printsipi yonilg'ining dvigatelga suriladigan va karbyurator orqali katta tezlikda o'tadigan havo oqimi ta'sirida tuzatilishiga asoslangan.

Gaz dvigatellari. Gaz dvigatellda gaz yonilg'i bilan havo truboprooad 1 va 2 lar bo'ylab aralashtirgich 4 ga kiradi.



7.6 -rasm. Gaz dvigateling sxemasi.

Ularning miqdoriy nisbati droselli zaslonkalar 3 yordamida rostlanadi. Porshen 9 pastga tomon harakatlenganda tsilindr 8 ga kirish klapani 5 orqali aralashtirgichdan ish aralashmasi suriladi. Porshen yuqoriga harakatlanganida ish aralashmasi siqiladi. YuTN yaqinida svechalar (sham) ning elektrodlari orasida paydo bo'ladigan elektr uchquni ta'sirida aralashma alanganadi. Ish yo'li o'tilgandan keyin ishlab bo'lgan gazlar klapan Z orqali atmosferaga chiqariladi.

7.2. Aralashma tsilindr ichida tayyorlanadigan dvigatellar.

Siqish darajasi yuqori bo'lgan dvigatellar, Siqish darajasi yuqori bo'lgan dvigatel tsilindriga atmosferadan toza havo beriladi. Porshen tsilindrning qopqog'i tomon harakatlanganida havoni yuqori bosimgacha siqadi. Bunda temperatura ko'tariladi.

Nasos va forsunka yordamida siqish kamerasiga tuzatilgan suyuq yoqilg'i purkaladi. U siqish kamerasidagi qizigan havo bilan aralashadi va uz - o'zidan alanganib ketadi.

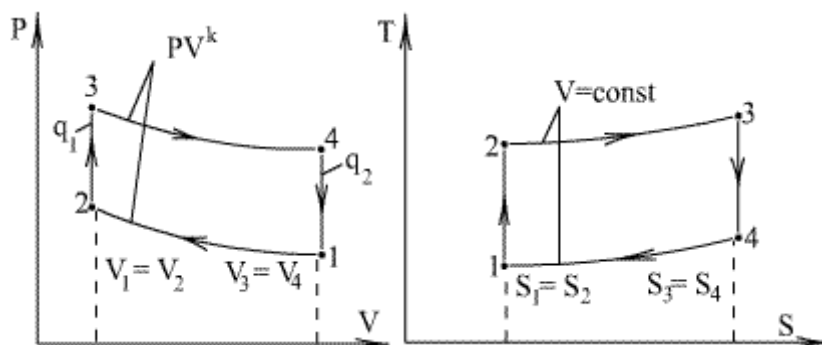
Ichki yonuv dvigatellarining ideal tsikllari

Ichki yonuv dvigateli - issiqlik mashinasi bo'lib, unda issiqlikenergiyasini mexanik ishga aylantirish dvigatelning ishchi tsilindrda amalga oshiriladi. Ichki yonuv dvigatellarini tadqiqot qilishda mavjud dvigatellarga nisbatan quyidagi chetlanishlar qullaniladi:

1. Ish jismi sifatida 1 kg. ideal gaz olinadi;
2. Yoqilg'ining yonish jarayoni va yonishdan hosil bo'lgan gazlarni chiqarib tashlash sistemaga issiqlik keltirish (q_1) va sistemadan issiqlik olib ketish (q_2) bilan almashtiriladi. Ichki yonuv dvigatellarida ish jarayonini tashqil qilish bo'yicha uchga bo'linadi.

Hajm o'zgarmas bo'lganda issiqlik keltiriladigan Otto tsikli. Bu qism karbyuratorli dvigatellarning ideal tsikli bo'lib, bunda siqish darajasi kam bo'lib, yoqilg'i va havo aralashmasi tsilindrdan tashqarida, karbyuratorda tayyorlanib ish tsilindrida siqiladi.

Bu tsikl 2 ta izoxoraviy ($V = \text{const}$) va 2 ta adiabatik jarayondan tashqil topgan. Otto tsiklini PV va TS koordinatlarda tasvirlaymiz.



7.7- rasm. Otto tsiklini PV va TS diagrammalari tsiklni tushuntirilishi.

Porshen pastki o'lik nuqtadan yuqorigi o'lik nuqtaga qarab harakat o'zgarganda gaz 1-2 adiabatik jarayon bo'yicha siqiladi ($PV^k = \text{const}$)

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$$

siqish darajasi deyiladi. siqish darajasi bu porshen pastki o'lik nuqtada bo'lganda tsilindirning to'liq hajmini porshen yuqori o'lik nuqtada bo'lganda siqish kamerasini hajmiga nisbatiga aytiladi. Karbyuratorli ichki yonuv dvigatellari uchun $\varepsilon < 10$.

2-3 - izoxoraviy ($V = \text{Const}$) q_1 issiqlik keltirish, bunda $q_1 = C_v(T_3 - T_2)$

3-4 -- adiabatik ($Pv^k = \text{Const}$, $q = 0$) qismining kengayish jarayoni, bunda gaz kengayib porshenni yuqori o'lik nuqtadan pastki o'lik nuqtaga siljitib foydali ish bajaradi.

4-1 — izoxoraviy ($V = \text{Const}$) q_2 issiqlik olib ketish jarayoni $q_2 = C_v(T_4 - T_1)$

Tsiklni foydali ish koeffitsentini aniqlaymiz.

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (12.1)$$

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

Kasrni surat maxraji tahlil qilinganda

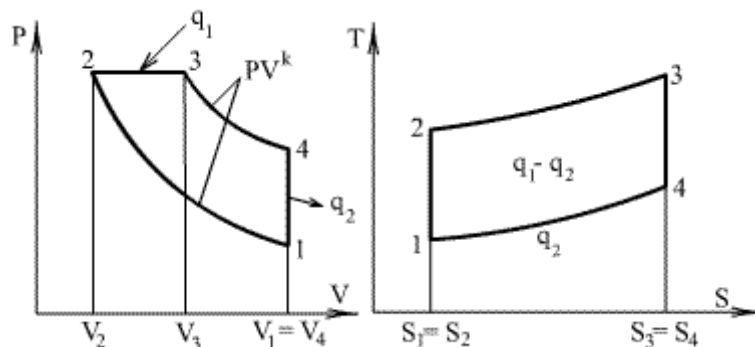
$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \quad \text{yoki} \quad \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad \eta_t^{V=const} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (7.6)$$

Xulosa: 1) Ichki yonuv dvigitelining $V = \text{const}$ bo'lganda issiqlik keltiriladigan ideal yiklining termik F I K siqish darajasi ε oshishi bilan oshadi

2) Tsiklning termik FIK gazning tabiatiga bog'liq (formulaga oqibati ko'rsatkichi k kiradi)

7.2.4. Bosim o'zgarmas bo'lganda issiqlik keltiriladigan Dizel tsikli.

Bu tsikl kompressorni dizellarning, ya'ni I.yo.d. ning ideal tsikli bo'lib, unda siqish vaqtida ish tsilindrida yoqilg'i bilan havo aralashmasi emas havoning uzi siqiladi. Ish tsilindriga berilayotgan yoqilg'i maxsus kompressor yordamida changlashtirilib turiladi. Kompressor harakatni tirsakli valdan oladi. Tsikl nemets injeneri Dizel tomonidan 1896 yilda taklif qilingan.



7.7 rasm Dizel tsiklining PV va TS diagrammalari

Tsiklni tushuntirilishi:

1-2. Ish jismni adiabatik ($Rvk = \text{const}$, $q=0$) siqish jarayoni.

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{siqish darajasi, } \varepsilon = 14 - 21$$

2-3- izobariy ($r=\text{const}$) ish jismiga q_1 issiqlik keltirilishi.

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

$\frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} = \rho$ Bu nisbat ish jismning oldindan kengayish darajasi deyiladi.

S=1,35: 1,45,

3-4 ish jismining adiabatik kengayishi

4-1 izoxoraviy ($V = \text{const}$) q2 issiqlik olib ketilishi

$q_2 = \nu (T_4 - T_1)$

Dizel tsiklining termik F.I.K.ni hisoblash formulasini keltirib chiqaramiz.

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{k} \frac{T_1}{T_2} \frac{\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)} \quad (7.9)$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \rho \text{ va } \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1} = \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \text{ e'tiborga olib}$$

1 - 2 va 3 - 4 adiabatik jarayonlardan

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k$$

$$P_4 V_4^k = P_3 V_3^k$$

$P_3 = P_2$, va $V_4 = V_1$ ekanligini hisobga olib, quyidagini hosil qilamiz.

$$\frac{P_1}{P_4} = \left(\frac{V_2}{V_3}\right)^k \text{ Bunda } \frac{P_1}{P_4} = \left(\frac{V_3}{V_2}\right)^k = \rho^k$$

4-1 izoxoraviy jarayondan bizga ma'lum

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{P_4}{P_1} = \rho^K$$

Tengliklarni termik F.I.K.ni formulasiga qo'yib quyidagini olamiz,

$$\eta_1^{\text{dizel}} = 1 - \frac{1}{k} \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{\rho - 1} \quad (7.10)$$

Xulosa: 1. Dizel tsiklining termik F.I.K. qt gazning tabiatiga bog'liq chunki formulada K katnashyapti.

2. Siqish darajasini oshishi bilan nt oshadi ($Ye = 14- 21$) porshen tsilindr gruppasining ishonchliligi orqali cheklanadi.

3. Oldinda kengayish darajasi q tsiklning termik F.I.K.ga teskari ta'sir qiladi.

Hajm va bosim o'zgarmas bo'lganda aralash issiqlik keltiriladigan Trinkler tsikli

Bu tsikl 1901 yilda rus muxandisi Trinkler tomonidan taklif qilingan va hozirgi zamon transport dizellarining ideal tsikli bo'lib, unda Dizel tsiklining energiya va metall sarfi katta bo'lgan kompressori iqtisodiy jihatdan ancha samarali bo'lgan yoqilg'i nasosi va forsunka bilan almashtiriladi. Bo'lar yoqilg'ini haydash va purkash uchun xizmat qiladi. Trinkler tsiklida ham siqish darajasi Ye Dizel tsiklidagiga taqriban tengdir ya'ni $Ye=14-21$

Tsiklni tushuntirilishi:

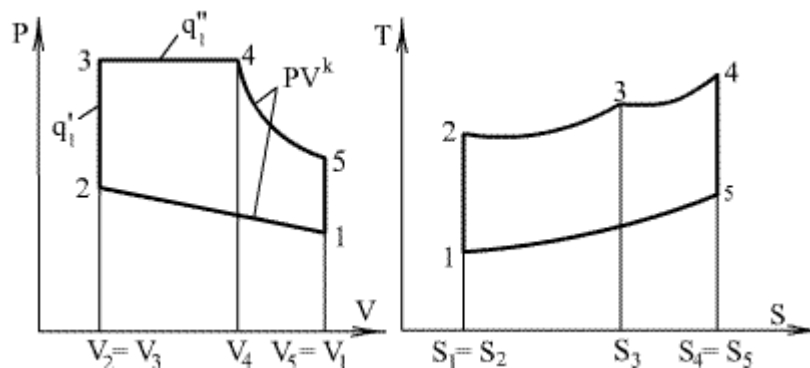
1-2 Ish jismning adiabatik siqilishi ($Pv^k=const, q=0$)

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = 14 \dots 21 \quad \text{-siqish darajasi}$$

2-3-izoxoroviy m-n ($V=const$) q1,-issiqlik keltiriladi.

$$q_1 = C_v(T_3 - T_2) \quad \lambda = \frac{P_3}{P_2} \quad \text{- bosim oshish darajasi}$$

$$\lambda = 1.35 - 1.55$$



7.8 rasm Trinkler tsiklining PV va TS diagrammasi.

3-4 izobaroviy m-n(r=const). q1-issiqlik keltiriladi

$$q_1 = C_p (T_4 - T_2) \quad V_4$$

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

P - dastlabki kengayish darajasi R= 1,3:1,4

4-5 Ish jismining adiabatik kengayishi (Pvn=const. q=0)

5-1-izoxoroviy j-n, (V=const) q2-issiqlik olib ketiladi.

$$q_2 = \lambda v (T_5 - T_1) \quad (6.5)$$

Tsiklning termik F.I.K. ni aniqlash formulasi quyidagicha bo'ladi.

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1^1 + q_1^2} = 1 - \frac{C_V (T_5 - T_1)}{C_V (T_3 - T_4) + C_P (T_4 - T_3)} \quad (7.11)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{(\lambda - 1) + K \lambda (\rho - 1)} \quad (7.12)$$

Xulosa: - bosimni oshish darajasi termik F.I.K.ga foydali ta'sir ko'rsatadi. Trinkler tsiklining termik F.I.K.ni aniqlash formulasi uchala tsikl uchun umulashtiruvchi hisoblanadi. ya'ni L=1 bo'lsa,

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{\rho - 1} \text{ yoki } p=1 \text{ bo'lsa, } \eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \text{ bo'ladi } (7.13)$$

I.yo.d.ining ideal tsikllarini iqtisodiy ko'rsatkichlarini solishtirish I.yo.dvigatellarining iqtisodiy samaradorligi siqilish darajasi hisob ga olgan holda baholanadi. Otto tsikliga nisbatan Dizel tsiklida Ye ancha katta. Keltirilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori teng deb hisob lanadi. Shunga ko'ra Otto tsiklining termik foydali ish.K. Dizel tsiklinikidan kichik. Trinkler va Dizel tsikllarining F.I.K.lari taxminiy teng. kompressorga ketadigan harajatlarni hisob ga olganda Trinkler tsikli 2% ga samarali.

7.2.4. Dvigatelning quvvati va f.i.k.

Dvigatelning bir marta to'liq tsiklida tsilindr ichida gaz bajaradigan sekundiy ish indikatoriy quvvat Ni deyiladi.

Dvigatelning har kaysi tsilindrida hosil qilinadigan quvvati quyidagi formuladan topiladi:

$$N_i^k = \frac{\rho_i V_h 2n}{6.10^4 \pi} \quad (7.13)$$

bu yerda

$P_t V_n$ - dvigatelning indikatoriyligi ishi,

n - dvigatel valining aylanishlar soni

Ko'p tsilindrli oddiy dvigatelning indikatoriyligi quvvati quyidagiga teng,

$$N_i = \frac{p_i V_h n z}{3.10^4 \pi} \quad (7.14)$$

bu yerda

t - dvigatel tsilindrlarining soni.

Effektiv quvvat quyidagicha aniqlanadi.

$$N_e = N_i - N_{\text{шк}}$$

bu yerda

$N_{\text{шк}}$ - ishqalanishni yengishga sarflangan quvvat

Dvigatelning indikatoriyligi f.i.k. quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_i = \frac{N_i}{BQ_k^M} \quad (7.15)$$

bu yerda

V - yonilg'ining o'rtacha sarfi, kg\sek yoki m³\sek

Q_{kk} - tsiklga sarflanadigan issiqlik miqdori

Effektiv f.i.k. effektiv ishga aylantirilgan issiqlikning sarflanishi barcha issiqlikka nisbatan foydalanish darajasini ko'rsatadi:

$$\eta_i = \frac{N_i}{BQ_k^M} \quad (7.16)$$

bu yerda

N_e - effektiv quvvat Effektivva indikatoriy f.i.k. o'zaro quyidagi nisbat orqali bog'langan

$$\eta_e = \eta_i \eta_m$$

bu yerda

η_m - mexanikaviy isroflarni hisobga oluvchi mexanikaviy f.i.k., u effektiv quvvatning indikatoriy quvvatga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

Sovo'tish qurilmasini ish unumdorligi sovo'tiladigan binoda temperatura rejimini ta'minlash uchun yetarli bo'lishi kerak . Sovo'tish kamerasi sovuq sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (7.17)$$

bu yerda: Q_1 - tashqi tusiqlik orqali issiqlikni oqib kirishi.

Q_2 - mag'sulotlarda sovo'tish vaqtida issiqlikning ajralishi,

Q_3 - binoni shamollatish mobaynida tashqi havo bilan issiqlikni kirishi,

Q_4 - har xil foydalaniladigan manbalarda issiqlikning chiqishi.

Tashqi tusiqlik orqali issiqlikni oqib kirishi yoki sovuq sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n k_i F_i (t_H - t_k) + Q_p \quad (7.18)$$

bu yerda: k_i - devor, pol va patalokning issiqlik uzatish koeffitsienti

F_i -devor, pol va patalokning yuzasini maydoni,

n -tashqi tusiqlar soni,

t_H - tashqi havoning yoki tuprokning hisob lash temperaturalarini,

t_k -kamera havosining belgilangan temperaturasi.

Quyosh radiatsiyasi natijasida issiqlikni kirishi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_p = k_p F_p \Delta t_p \quad (7.19)$$

Bu yerda: k_p -quyosh nurlari ta'sirida bo'ladigan tashqi yuzani issiqlik uzatish koeffitsenti,

F_p -quyosh nurlari ta'sir qiladigan polning va devorlarning maydoni,

▲ tp-yoz paytida quyosh radiatsiyasini hisob ga oladigan ortiqcha temperatura.

Mag'sulotni sovitishga sovuq sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_2=0,278(Gc+GTcT)(t_1-t_2) \quad (7.20)$$

Bu yerda: G va GT-sovuqxonaga kirayotgan mag'sulotni va idishni massasi, s va cT-mag'sulotni va idish materialining issiqlik sigimi, t1 va t2-mag'sulotni va idishni sovitishdan oldingi va keyingi temperaturasi.

Binoni shamollatish mobaynida kiradigan tashqi havoni sovitishga sovuq sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_3=0,278aVpk(IH-Ik) \quad (7.21)$$

Bu yerda: a-shamollatish karraligi, a=0,04...0,16,

V-sovitish kamerasing hajmi, m³,

pk-kameradagi havoni zichligi,

IH-Ik-tashqi havoning va kamera havosining entalpiyasi.

Har xil foydalaniladigan manbalardan chiqarilgan issiqlik uchun ketadigan sovuq sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_4=(0,1...0,2)Q_1 \quad (7.22)$$

Sovitish qurilmasini ish sovuq ishlab chiqarish unumdorligi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_p=\xi \sum Q/b \quad (7.23)$$

$\sum Q$ -umumiy suyuq sarfi,

-trubalarni ishlatishga ketadigan sovuq sarfini hisob ga oladigan koeffitsenti, =1,05+1,07;

b-sovitish mashinasining ish vaqti koeffitsenti, b=0,75-0,8.

Adabiyotlar ro'yihati:

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:.. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.

2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.

3. И. Пригожин, Д. Кондепуди. Современная термодинамика. Перевод с английского. М. «Мир» 2002 г. 464 с.

4. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.

5. Mahmoud Massoud. Engineering Thermofluids Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Heat Transfer/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005. 1132 pp.

I V. Amaliy mashg'ulotlar materiallari

1. mashg'ulot: Issiqlik sig'imi. O'zgarmas bosim va o'zgarmas xajim dagi issiqlik sig'implarni aniqlash usullari.

Reja:

1. Umumiy tushunchalar;
2. Solishtirma va o'rtacha issiqlik sig'implari;
3. O'zgarmas bosim va xajimlarda issiqlik sig'imini aniqlash;
4. Mayer tenglamasi.

Vazifa: Issiqlik sig'imi. Asosiy tushunchalar. Izoxor va Izobar issiqlik sig'imi aniqlash. Mayer formulasi. Aralashmalarning issiqlik sig'imi aniqlash. Solishtirma issiqlik sig'imi.

1.1 Gazlarning issiqlik sig'imi

Massasi bir xil bo'lgan ikkita turli moddani bir xil temperaturagacha qizdirish uchun turli miqdorda issiqlik sarflash kerak bo'ladi. Masalan, suvni qizdirish uchun xuddi shu miqdordagi temirni o'sha temperaturaga qadar qizdirishga ketadigan issiqlikka qaraganda taxminan to'qqiz marta ko'p issiqlik sarflashga to'g'ri keladi.

Demak, har qanday jismning faqat shu jismga xos issiqlik sig'imi bo'ladi. Jismning temperaturasini bir gradusga o'zgartirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori jismning issiqlik sig'imi deyiladi.

Gazlar uchun issiqlik sig'imi deb 1kg, 1m³, yoki 1 kmol gazni temperaturasini 1 grad.ga oshirish uchun sarf bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi.

Ular orasidagi boglanish quyidagicha ifodalanadi

$$C = C^1_{\rho} = \frac{M C}{\mu} \quad C^1 = \frac{\mu C}{22.4} \quad (1.1)$$

Issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq.

Bir atomli gazlar uchun $C = a + bt$

Ikki va ko'p atomli gazlar uchun $C = a + bt + \frac{1}{2}t^2$

Kichik temperaturalar oralig'ida o'rtacha va haqiqiy issiqlik sig'imi tushunchalari mavjud.

O'rtacha issiqlik sig'imi quyidagicha aniqlanadi

$$C_m = \frac{q}{t_2 - t_1} \quad (1.2)$$

Haqiqiy issiqlik sig'imi, jismga cheksiz kichik issiqlik miqdori dq va jismning temperaturasi dT qiymatga ortgan bo'lsa, quyidagicha aniqlanadi

$$C = dq/dT \quad (1.3)$$

Gazlarning issiqlik sig'imi termodinamik jarayonlarning kechish shart sharoitlariga bog'liq. Issiqlik texnikasida o'zgarmas hajmda ($v = \text{const}$) va o'zgarmas bosimda ($p = \text{const}$), boradigan jarayonlar katta ahamiyatga ega.

Jarayon o'zgarmas hajmda borganda issiqlik sig'imi izoxoroviy deyiladi va bilan belgilanadi, o'zgarmas bosimda borganda esa izobaraviy deyiladi va bilan belgilanadi.

Gaz izoxoroviy isitilganda uning hajmi kengaymaydi. Binobarin, u tashki kuchlarga qarshi ish bajarmaydi. Gaz izobaraviy isitilganda kengayib, porshenga ta'sir etuvchi tashqi kuchni yengib o'tadi, ya'ni ish bajaradi. Demak bir gazning o'zini bir xil sharoitda bir xil temperaturagacha qizdirilganda izobaraviy jarayonda izoxoroviy jarayondagiga qaraganda ko'p issiqlik sarflash kerak bo'ladi.

Issiqlik sig'imi har xil jarayonlarda quyidagicha ifodalanadi:

C_{pm} - P-const bo'lganda o'rtacha massaviy issiqlik sig'imi, -

C_{vm} - V-sonst bo'lganda o'rtacha massaviy issiqlik sig'imi,

C^1_{pm} - R-const, bo'lganda o'rtacha hxajmiy issiqlik sig'imi,

C^1_{vm} - V-sonst bo'lganda o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imi,

C_{pm} -r-const bo'lganda o'rtacha molyar issiqlik sig'imi

C_{vm} -V-const bo'lganda o'rtacha molyar issiqlik sig'imi

Molyar issiqlik sig'imi gazning atomlar soniga qarab quyidagicha o'zgaradi(2.1 - jadval)

Gazning atomlar soni	μC_v	μC_p
Bir atomli gazlar uchun	12,6	20,9
Ikkiatomli gazlar uchun	20,9	29,2
Uch va undan ortiq atomli gazlar uchun	29,2	37,5

Bosim o'zgarmas bo'lgandagi issiqlik sig'imini hajm o'zgarmas bo'lgandagi issiqlik sig'imiga nisbati adiabata ko'rsatgichi deyiladi va quyidagicha aniqlanadi

$$k = \frac{C_p}{C_v} \quad (1.4)$$

O'rtacha issiqlik sig'imini hisoblash uchun, temperaturalar intervali berilganda, shu temperaturadagi moddaning issiqlik sig'imi maxsus jadvallardan olinganda, quyidagi formuladan foydalaniladi

$$C \Big|_{t_2}^{t_1} = \frac{C \Big|_0^{t_2} t_2 - C \Big|_0^{t_1} t_1}{t_2 - t_1}; \quad \left[\frac{\text{K} \cdot \text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \quad (1.5)$$

1.2. Gazlar aralashmasining issiqlik sig'imi.

Issiqlik texnikasidagi hisoblashlarda gazlar aralashmasining issiqlik sig'imini aniqlashga to'g'ri keladi. 1kg gazlar aralashmasini qizdirishga ketadigan issiqlik aralashmadagi ayrim komponentlarni qizdirishga sarflanganligi sababli aralashmaning issiqlik sig'imi aralashmani tashkil qiluvchi komponentlarning

Issiqlik sig'implari bilan ularning massaviy yoki hajmiy ulushlari ko'paytmasining yig'indisiga teng.

Agar aralashmaning tarkibi gazning massasi bo'yicha berilgan bo'lsa, u holda aralashmaning issiqlik sig'imi ushbu tenglikdan aniqlanadi.

$$C_{cm} = g_1 c_1 + g_2 c_2 + \dots + g_n c_n \quad (1.6)$$

bu yerda

c_1, c_2, c_n - aralashma komponentlarining massaviy issiqlik sig'imi,

g_1, g_2, g_n - aralashma komponentlarining massaviy ulushi.

Agar aralashmaning tarkibi hajmiy ulushlarda berilgan bo'lsa, u holda aralashmaning hajmiy issiqlik sig'imini quyidagi formuladan hisoblab topiladi

$$c_{cm}^1 = r_1 c_1^1 + r_2 c_2^1 + \dots + r_n c_n^1 \quad (1.7)$$

bu yerda

r - aralashma komponentining hajmiy ulushi.

Misollar.

Boshlang'ich parametrlari $P_1=6,8\text{Mpa}$ va $t_1=12^\circ\text{C}$ bo'lgan $V_1=300\text{ l}$, hajmdagi karbonat angidrid (CO_2) $t_2=85^\circ\text{C}$ gacha qizdirilgan. Gazning keyingi bosimini, massasini va qizdirish uchun sarflangan issiqlik miqdorini izoxorik va izobarik jarayonlar uchun aniqlangq

$C = \text{const}$ deb qabul qiling.

Yechish:

a) Izoxorik jarayon uchun gazning keyingi bosimi

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{6,8 \cdot 358}{285} = 8,55\text{MPa}$$

Karbonot angidridning massasini ideal gazlarning holat tenglamasidan aniqlaymiz.

$$P_1 V_1 = MRT_1$$

$$M = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{6,8 \cdot 10^6 \cdot 300 \cdot 10^{-3}}{189 \cdot 285} = 38 \text{ kg}$$

Sarflangan issiqlik miqdori:

$$Q_v = MC_v(t_2 - t_1) = 38 \cdot 0,66(85 - 12) = 1834 \text{ kJ}$$

$$C_v = \frac{\mu C_v}{\mu} = \frac{29,31}{44} = 0,66 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

b) Izobarik jarayon uchun. Bu jarayonda $P = \text{const}$ bo'lgani uchun

$$P_2 = P_1 = 6,8 \text{ MPa}$$

Gazning miqdori ham o'zgarmaydi.

$$M = 38 \text{ kg}$$

Sarflangan issiqlik miqdori.

$$Q_p = MC_p(t_2 - t_1) = 38 \cdot 0,86(85 - 12) = 2380 \text{ kJ}$$

$$C_p = \frac{\mu C_p}{\mu} = \frac{37,68}{44} = 0,86$$

Masala № 2

Gazning temperaturasi t_1 va bosimi R_1 xajmi V ballonda joylashgan. Gazni sovitgandan so'ng uning xarorati t_2 gacha pasaydi. Gazning massasi, sovitgandan so'ng bosimi va ajralgan issiqlik miqdorini aniqlang

1 – s = const; 2 – c=f(t) – tog'ri; 3 – s=f(t) – egri.

Parametr	Variant									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V, \text{ m}^3$	0,11	0,15	0,2	0,35	0,45	0,7	0,3	0,25	0,55	0,45
$R, \text{ MPa}$	1,0	0,5	0,8	1,5	2,0	0,05	0,9	1,2	2,5	2,1
$T_1, ^{\circ}\text{S}$	100	90	60	120	150	200	80	75	40	250
$T_2, ^{\circ}\text{S}$	27	20	7	17	27	25	20	15	19	10
Gaz	SO ₂	O ₂	Ar	Xavo	N ₂	SO ₂	H ₂	H ₂ O	CO	H ₂

2 -amaliy mashg'ulot: Termodinamikaning birinchi qonuni

Reja:

1. Umumiy tusunchalar;
2. O'zgarmas xarorat jarayonlarda 1-qonun;
3. O'zgarmas bosim jarayonlarda 1-qonun;
4. O'zgarmas xajimlarda jarayonlarda 1-qonun;
5. Entalpiya.

Vazifa. Umumiy tusunchalar; O'zgarmas xarorat jarayonlarda 1-qonun; O'zgarmas bosim jarayonlarda 1-qonun; O'zgarmas xajimlarda jarayonlarda 1-qonun; Entalpiya. O'rganish

2.1.Sistemaning ichki energiyasi

Molekulalarning mikroskopik issiqlik harakatining kinetik energiyasi bilan ularning o'zaro ta'sir etish potentsial energiyasi jismning ichki energiyasi deyiladi.

Molekulalar harakatining kinetik energiyasi temperatura T ga bog'liq. Molekulalarning o'zaro ta'sir potentsial energiyasi hajm V ga bog'liq.

Shunga asosan

$$U = f_1(p, V) = f_2(p, T) = f_3(v, T) \quad (2.1)$$

ekanligini aniqlaymiz.

1kg gazning ichki energiyasi solishtirma ichki energiya deyiladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$u = U/m, \text{ Дж/кг} \quad (2.2)$$

Gazning 1-2 holatlari uchun

$$\Delta u = \int_1^2 du = u_2 - u_1 \quad (2.3)$$

Aylanma qaytar jarayon uchun $\oint du = 0$ bo'ladi.

$U = f_3(v, T)$ tenglamani differentsiallasak

$$du = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v dT + \left(\frac{\partial u}{\partial V} \right)_T dV \quad (2.4)$$

Faqat mavjud (real) gazning ichki energiyasi temperatura va hajmga bog'liq. Ideal gaz uchun esa, molekular orasidagi tortishish kuchi bo'lmagani uchun, gazning ichki energiyasi faqat temperaturaga bog'liq bo'ladi, hajmga esa bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun

$$\left(\frac{\partial u}{\partial V} \right)_T = 0 \quad (2.5)$$

Bundan kelib chiqadi $\left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_V = \frac{du}{dT} \quad (2.6)$

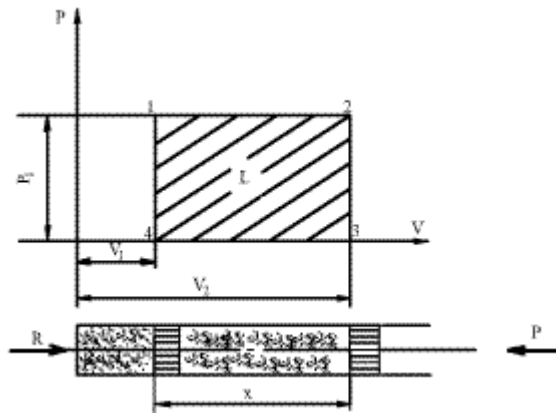
Yoki $u = \sum_{i=1}^n u_i \quad (2.7)$

bu yerda

ui- sistemaning alohida qismlarini ichki energiyasi.

Agar tsilindrda porshen ostida turgan gaz kengaysa, uning hajmi kattalashadi (dv). Bunda gaz porshenni siljitib, mexanikaviy ish bajaradi. Bunday ish musbat hisoblanadi. Gaz siqilganda (dv) ish gaz ustida tashqi muhit tomonidan bajariladi. Bu ish manfiy hisoblanadi.

Termodinamikaviy sistema bajargan mexanikaviy ishni hisoblab topish uchun $P = \text{const}$ bo'lganda boshlang'ich holati P, V, T bo'lgan muvozanatda bo'lgan sistemani qarab chiqamiz. Sistemaga Q issiqlik keltiramiz (2.2-rasm), u gazning muvozanat holatini buzadi. Gaz issiqlik ta'sirida kengayib, P kuchni yengib o'tadi va porshenga R kuch bilan bosim berib uni o'ngga x-masofaga siljitadi, bunda gaz ish bajaradi.



2.2-rasm. Gazni izobaraviy kengayish ishi

Gazning nuqta 2 dagi holati P_2, V_2 , va T parametrlar bilan aniqlanadi. Mexanikadan ma'lumki, ish kuchning yulga ko'paytmasiga teng. Bizning misolimizda gazning R kuch ta'sirida bajargan ishi L shu kuchning yul x -ga ko'paytmasiga teng:

$$L = R \cdot x \quad (2.8)$$

Gaz porshenni chapdan o'ngga siljitishi uchun ketgan kuch R gaz bosimi P ning porshenning yuzasi F ga ko'paytmasiga teng:

$$R = P \cdot F \quad (2.9)$$

bu yerda $P = P_1 = P_2 = \text{const}$

(2,14) formulaga (2,15) formuladan R ning qiymatini qo'ysak

$$L = P \cdot F \cdot x \quad (2.10)$$

Lekin porshen yuzasi F ning yul x ga ko'paytmasi tsilindrning porshen boshlang'ich va oxirgi holatlari orasidagi hajmidir:

$$F \cdot x = V_2 - V_1 = \Delta V \quad (2.11)$$

(2,17) formulaga tsilindrning hajmi'ni qo'yib, gazning kengayganda bajargan ishining qiymatini aniqlaymiz:

$$L = P(V_2 - V_1) \text{ yoki } L = P \Delta V \quad (2.12)$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, gazning hajmi o'zgarganida ish bajariladi, bu ish gaz bosimining uning hajmi o'zgarishiga ko'aytmasiga teng.

PV diagrammada $P = \text{const}$ bo'lganda jarayonni borish chizig'i 1-2 abstsissalar o'qga parallel bo'ladi. To'g'ri to'rtburchak 1234 ning yuzi PV-diagrammada gazning kengayish ishini ko'rsatadi.

Hajm o'zgarishi bilan bosim ham o'zgaradigan termodinamik jarayonda (3.3-rasm) gazning kengayishida bajargan ishi quyidagicha aniqlanadi:

$$dL = PdV \quad (2.13)$$

m kg gazning 1-2 jaraenda bajargan to'la ishi elementar ishlarning yig'indisi bilan aniqlanadi. Bu yig'indi boshlang'ich hajm dan oxirgi hajm gacha chegarada olingan muayyan integralga teng:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (2.14)$$

kengayish ishini 1kg gazga taalluqli desak,

$$dl = pdv \quad (2.15)$$

$$\text{yoki} \quad l = \int_{v_1}^{v_2} p dv \quad (2.16)$$

Termodinamikaviy jarayonda issiqlik miqdori sistemaga keltirilgan yoki sistemadan olib ketilgan issiqlik energiyasining o'lchovi hisblanadi.

2.2. Entalpiya va entropiya

Entalpiya texnikaviy termodinamikaning eng muhim funktsiyalaridan biri hisoblanadi. Termodinamikada va issiqlik texnikasida hisoblashlarda ko'pincha

sistemaning ichki energiyasi va bosimni hajmga ko'paytmasini yig'indisi ishlatiladi va bu kattalik entalpiya deb ataladi .

$$h = u + pv \quad (2.17)$$

jaormulaga kiruvchi kattaliklar gaz holatini xarakterlovchi kattaliklar bo'lgani uchun entalpiya ham gaz holatini xarakterlovchi kattalikdir. Bundan entalpiyani o'zgarishi jarayonning kechish xarakteriga bog'liq emas va faqat jarayonning boshlang'ich va oxirgi holatlarining o'zgarishi bilan xarakterlanadi degan xulosa kelib chiqadi, ya'ni

$$\Delta h = \int_1^2 dh = h_2 - h_1 \quad (2.18)$$

Agar entalpiyani aniqlovchi (2.10) formulani differentsiallasak

$$dh = d(u + pv) = du + p dv + v dp = dq = v dp \quad (2.19)$$

bu formula termodinamikaning birinchi qonunini formulasini boshqacha ko'rinishidir.

Agar ish jismining holatini o'zgarish jarayoni $p = \text{const}$ bo'lganda kechsa, () tenglikdan $dh = dq$ hosil bo'ladi.

Ushbu jarayon uchun ekanligini hisobga olib $dh = c dT$ ni hosil qilamiz.

Bu tenglik har qanday termodinamik jarayon uchun o'rinlidir. Agar $t = 0$ bo'lsa entalpiyaning qiymati ham nolga teng bo'ladi.

Entropiya. Termodinamik hisoblashlarni osonlashtirish maqsadida entropiya tushunchasi kiritilgan va quyidagicha aniqlanadi

$$ds = \frac{\delta Q}{T} \quad (2.20)$$

bu yerda

T - termodinamik temperatura,

S - entropiya.

Ish jismi 1kg bo'lganda

$$ds = \frac{\delta q}{T} \quad (2.21)$$

bo'ladi

va bu solishtirma entropiya deb ataladi.

Entropiyaning o'zgarishi

Termodinamikaning birinchi qonunini tenglamasidan

$$dq = c_v dT + PdV \quad (2.22)$$

Bu tenglamani ikkala qismini T ga bo'lsak

$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + \frac{P}{T} dv$$

$$\text{Klapeyron tenglamasiga ko'ra } PV = \frac{P}{RT} = \frac{R}{v} \quad (2.23)$$

(2.22)ni (2.23) ga qo'yib

$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v} \quad (2.24)$$

hosil qilamiz.

$dq/T=ds$ ekanlini e'tiborga olib,integrallasak,

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.25)$$

Entropiya ham solishtirma issiqlik sig'imi kabi J.(kg.grad) lprda o'lchanadi.

2.3.Termodinamikaning birinchi qonuni

Termodinamikaning birinchi qonuni energiyaning saqlanish qonunining xususiy holdir.

Sistemaga keltirilgan barcha issiqlik sistema ichki energiyasining o'zgarishiga va tashqi ish bajarishga sarflanadi:

$$Q = U_2 - U_1 + L \quad (2.24)$$

bu yerda

Q- sistemaga keltirilgan issiqlik

U1- jarayonning boshlanishidagi sistemaning ichki energiyasi,

U2- jarayonning oxiridagi sistemaning ichki energiyasi,

L- sistema bajargan ish.

Agar birinchi qonunni formulasini differentsial shaklda ifodalasak va gaz bajargan ishni 1kg gaz uchun taalluqli desak, u holda (3.15) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$dq = du + dl \quad (2.25)$$

(2.22) va (2.25) tengliklardan

$$dq = du + Pdv \quad (2.26)$$

hosil bo'ladi.

Agar $PV = RT$, va $s = dq/dT$ dan foydalansak

$$c = \frac{du}{dT} + \frac{pdv}{dt} \quad (2.27)$$

bundan $V = \text{const}$ bo'lganda $pdq/dT = 0$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$c = du/dt \quad \text{ёки} \quad du = c dT \quad (2.28)$$

ekanligini aniqlaymiz.

Agar, $P = \text{const}$ bo'lganda ekanligini e'tiborga olib va Klapeyron tenglamasidan foydalanib $PV = RT$ differentsiallasak

$$PdV = RdT, \quad \text{bundan} \quad R = \frac{pdv}{dT} \quad (2.29)$$

(2.20) va (2.21) tengliklardan foydalanib quyidagi, bosimi o'zgarmas jarayondagi issiqlik sig'imi bilan, hajmi o'zgarmas jarayondagi issiqlik sig'imi orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz:

$$c_p = c_v + R \quad (2.30)$$

Bu formula Mayer formulasi deyiladi.

2.5. Entropiyaning o'zgarishi.

Termodinamikaning birinchi qonunini tenglamasidan

$$dq = c dT + PdV \quad (2.39)$$

Bu tenglamani ikkala qismini T ga bo'lsak

$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + \frac{p}{T} dv \quad (2.40)$$

$$\text{Klapeyron tenglamasiga ko'ra } \frac{p}{T} = \frac{R}{v} \quad (2.41)$$

$$PV = RT$$

(2.19) ni (2.18) ga qo'yib

$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v} \quad \text{hosil qilamiz.} \quad (2.42)$$

$dq/t=d$ sekanligini e'tiborga olib,integrallasak,

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.43)$$

Entropiya ham solishtirma issiqlik sig'imi kabi J/(kg.grad) larda o'lchanadi.

2.4. Entalpiyaning o'zgarishi.

Termodinamikaning birinchi qonunini tenglamasidan

$$dq = du + PdV \quad (2.44)$$

(2.40) ni integrallasak

$$q = u_2 - u_1 + \int_1^2 p dv \quad pdv = d(pv) - vdp \quad (2.45)$$

bo'lgani uchun $dq = du + d(pv) - vdp \quad (2.46)$

yoki $dq = d(u + pv) - vdp$

$i = u + PV$ bo'lgani uchun

$$dq = di - VdP \quad (2.47)$$

Bu ifoda termodinamikaning birinchi qonunini boshqacha ko'rinishidir.

$P = \text{const}$ bo'lganda $VdP = 0$ bo'ladi.

SHunda $dq = di$ yoki $dq = i_2 - i_1$

ya'ni $dq_{p=\text{const}} = i_2 - i_1 \quad (2.48)$

Bundan o'zgarmas bosimdagi jarayonda beriladigan issiqlik miqdorini entalpiyalarini ayirmasi sifatida topish mumkin degan xulosa kelib chiqadi

Misollar.

2.1 Masala

$P_1=1$ MPa bosimdagi va $t_1=30$ °C haroratdagi gaz doimiy hajimda va $t_2=300$ °C gacha qizdiriladi. Gazning oxirgi bosimini toping.

Izoxor jarayoni bo'lgani uchun P va T orasidagi bog'lanish: $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$;

$$\frac{1}{P_2} = \frac{303}{573}; \quad p_2 = \frac{573}{303} = 1,891 \text{MPa}$$

2.2 Masala

$V= 0,6$ m³ hajmli yopiq idishda 4,75 kg havo bor, uning bosimi $P_1=0,8$ va harorati $t=30$ °C teng.

Havo 0 °C gacha sovutilgandan so'ng uning bosimini va solishtirma hajmini aniqlang. $V=\text{const}$ bo'lgani uchun

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad T_1 = 273 + 15 = 298\text{k}; \quad T_2 = 273\text{k}.$$

$$\text{Bundan: } P_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{0,8 \cdot 273}{298} = 0,73 \text{MPa}$$

$$P_2 V_2 = mRT_2$$

$$V_2 = \frac{mRT_2}{P_2} = \frac{4,75 \cdot 287 \cdot 273}{0,73 \cdot 10^6} = 0,51 \text{ m}^3$$

$$R = 287 \text{ j/kg} \cdot \text{K}$$

2.3 Masala

Boshlang'ich parametrlari $P_1=6,8$ MPa va $t_1=12$ °C bo'lgan $V_1=300$ l, hajmdagi karbonat angidrid (CO_2) $t_2=85$ °C gacha qizdirilgan. Gazning keyingi bosimini, massasini va qizdirish uchun sarflangan issiqlik miqdorini izoxorik va izobarik jarayonlar uchun aniqlangq

C = const deb qabul qiling.

Yechish:

a) Izoxorik jarayon uchun gazning keyingi bosimi

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{6,8 \cdot 358}{285} = 8,55 \text{ MPa}$$

Karbonot angidridning massasini ideal gazlarning holat tenglamasidan aniqlaymiz.

$$P_1 V_1 = MRT_1$$

$$M = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{6,8 \cdot 10^6 \cdot 300 \cdot 10^{-3}}{189 \cdot 285} = 38 \text{ kg}$$

Sarflangan issiqlik miqdori:

$$Q_v = MC_v(t_2 - t_1) = 38 \cdot 0,66(85 - 12) = 1834 \text{ kJ}$$

$$C_v = \frac{\mu C_v}{\mu} = \frac{29,31}{44} = 0,66 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

b) Izobarik jarayon uchun. Bu jarayonda P=const bo'lgani uchun

$$P_2 = P_1 = 6,8 \text{ MPa}$$

Gazning miqdori ham o'zgarmaydi.

$$M = 38 \text{ kg}$$

Sarflangan issiqlik miqdori.

$$Q_p = MC_p(t_2 - t_1) = 38 \cdot 0,86(85 - 12) = 2380 \text{ kJ}$$

$$C_p = \frac{\mu C_p}{\mu} = \frac{37,68}{44} = 0,86$$

2.4 Masala

Massasi M=115 kg, boshlang'ich parametrlari P₁=3,7 MPa va t₁=50 °C bo'lgan vodorod P₂=0,25 MPa gacha kengaygan.

Izotermik va adiabatik kengayish jarayonlari uchun vodorodning oxirgi parametrlarini, issiqlik miqdorini, bajarilgan ishni va ichki energiyaning o'zgarishini aniqlang.

Yechish

a) Izotermik jarayon uchun. Bu jarayonda $T = \text{const}$ bo'lgani uchun

$$t_2 = t_1 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ideal gazlarning tenglamasidan vodorodning keyingi hajmini aniqlaymiz.

$$V_2 = \frac{MPT_2}{P_2} = \frac{115 \cdot 4157 \cdot 323}{0,25 \cdot 10^6} = 617 \text{ m}^3$$

Vodorodni qizdirish uchun sarflangan issiqlik miqdori

$$Q = MRT_2 \ln \frac{P_1}{P_2} = 115 \cdot 4157 \cdot 323 \ln \frac{3,7}{0,25} = 42,7 \cdot 10^7 = 427 \text{ mj}$$

Bajarilgan ish: $R = Q = 427 \text{ mj}$

Izotermik jarayonda $T_1 = T_2$ bo'lgani uchun ichki energiyaning o'zgarishi

$$\Delta U = C_v(T_2 - T_1) = 0$$

b) Adiabatik jarayon uchun

Vodorodning keyingi harorati.

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 323 \left(\frac{0,25}{3,7} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 150 \text{ K}$$

Hajmi $V_2 = \frac{MPT_2}{P_2} = \frac{115 \cdot 4157 \cdot 150}{0,25 \cdot 10^6} = 287 \text{ m}^3$

Adiabatik jarayonda $Q = 0$

Ichki energiyaning o'zgarishi:

$$\Delta U = -l = -\frac{MR}{K-1}(T_1 - T_2) = \frac{115 \cdot 4157}{1,4-1}(323 - 150) = -20,8 \cdot 10^7 = 208 \text{ mj}$$

2.5 Masala

Harorati $t_1=24\text{ }^{\circ}\text{C}$ massasi $M=1\text{ kg}$ havo poletropik jarayonda holat o'zgarishi natijasida bosimi $P_2=2,4\text{ MPa}$ va ichki energiyasining o'zgarishi $\Delta U = 30\text{ kJ/kg}$ ga teng bo'ladi. Bunda $l=-52\text{ kJ/kg}$ miqdorida ish sarflanadi.

SHu jarayon uchun politropik ko'rsatkichini havoning avvalgi va keyingi parametrlarini entropiya va entalpiyalarini aniqlang.

Yechish:

Ichki energiya o'zgarish tenglamasidan.

$$\Delta U = C_v(T_2 - T_1)$$

Jarayon oxiridagi havoning haroratini topamiz.

$$T_2 = \frac{\Delta U}{C_v} + T_1 = \frac{30}{0,72} + 297 = 339\text{ K}$$

$$\text{Bu yerda } C_v = \frac{\mu C_v}{\mu} = \frac{20,93}{29} = 0,72\text{ kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$\mu C_v = 20,93 \text{ (ilova jadval)}$$

$$\text{Ish tenglamasidan } L = \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2)$$

Politropik ko'rsatkichini aniqlaymiz.

$$n = \frac{R}{l}(T_1 - T_2) + 1 = \frac{0,287}{-52}(297 - 339) + 1 = 1,23$$

$$\text{Bu yerda } R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{29} = 287\text{ j/kg} \cdot \varepsilon$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}} = \frac{P_2}{P_1}; \quad P_1 = \frac{P_2}{\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}}} = \frac{2,4}{\left(\frac{339}{297}\right)^{\frac{1,23}{1,23-1}}} = 1,2\text{ MPa}$$

Havoning avvalgi solishtirma hajmi:

$$U_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 297}{1,2 \cdot 10^6} = 0,081\text{ m}^3 / \text{kg}$$

Keyingi solishtirma hajmi:

$$\Delta S = C_v \frac{n-k}{n-1} \ln \frac{T_2}{T_1} = 0,72 \frac{1,23-1,4}{1,23-1} \ln \frac{339}{297} = -0,07 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Politropik jarayonida entropiyaning o'zgarishi.

$$U_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{287 \cdot 339}{2,4 \cdot 10^6} = 0,041 m^3 / kg$$

Entalpiyaning o'zgarishi

$$\Delta h = C_p (T_2 - T_1) = 1,01 \cdot (339 - 297) = 42,5 kJ / kg$$

Bu yerda $C_p = \frac{\mu C_p}{\mu} = \frac{29,31}{29} = 1,01 kJ / kg \cdot ^\circ C$

$$\mu C_p = 29,31 \text{ (ilova jadvali)}$$

Topshiriqlar.

Massasi M va boshlang'ich parametrlari t_1 i P_1 v politropik jarayonida kengayish (siqilish) natijasida P_2 bosimigacha kengaydi (siqildi). Jarayonning politropa ko'rsatgichi n . Xavo $P_2 = \text{const}$ Q issiqlik miqdori bilan isitilayapti (sovitilayapti). Xavoning politropik va izobarik jarayonlarida oxirgi xolat parametrlarini, xar bir jarayondagi issiqlik miqdorini, bajarilgan (sarflangan) ish va ichgi energiyaning o'zgarishini aniqlang.

Variant	$P_1,$ MPa	$P_2,$ MPa	n	$M,$ kg	$T_1,$ $^\circ S$	$Q,$ kJ
1	25	0,2	1,28	20	27	7500
2	1,05	4,0	1,25	30	150	-4000
3	0,2	5,0	1,24	35	100	-5000
4	3,0	0,5	1,32	45	120	2000
5	0,3	0,1	1,2	50	110	6000
6	0,8	0,1	1,25	25	12	-7000
7	1,2	1,3	1,3	10	10	4500
8	0,15	3,0	1,25	25	37	3000
9	1,5	0,2	1,2	15	57	2500
10	0,1	5,0	1,3	10	17	4000

3-amaliy mashg'ulot: Termodinamikaning ikkinchi qonuni.

Reja:

1. Umumiy tushunchalar;
2. Termodinamikaning ikkinchi qonuni;
3. Aylanma jarayonlar;
4. Sovutish mashinalar;
5. Issiqlik nasoslari.

Tayanch so'z va iboralar: Tsiklga bajarilgan ish, issiqlik dvigateli tsikli, termodinamika II-qonuni, termik FIK, termodinamikaviy protsess, egri chizig'i, aylanma tsikl, ish jism, issiqlik, bajarilgan ish.

3.1. Issiqlik dvigatelining aylanma jarayoni.

Termodinamikaning birinchi qonuni gazga keltirilgan issiqlik qanday maqsadlarga sarf bo'lishini belgilaydi. Lekin u quyidagi savollarni hal qilmaydi: issiq jismdan yanada issiqroq jismga issiqlik uzatish imkoniyatini, va keltirilgan issiqlik miqdorini to'liq ishga aylantirish imkoniyatini hal qilmaydi. Bu masalalar bilan termodinamikaning ikkinchi qonuni shug'ullanadi.

Jism bir qancha o'zgarishlarga uchrab, yana boshlang'ich holatiga qaytib keladigan ketma-ket qator jarayonlar aylanma jarayon, boshqacha aytganda tsikl deyiladi. Ideal tsikllarda jarayonlar qaytar bo'ladi va sistemaga issiqlik keltirish jarayonida ish jismining ximiyaviy tarkibi o'zgarmaydi deb qaraladi, hamda sistemadan issiqlik olib ketilishi jarayoni bu issiqlikni sovitgichga berish sifatida qaraladi.

Real tsikllarda esa sistemadan issiqlik olib ketilishi ishlab bo'lgan gaz yoki bug'ni chiqarib yuborish yo'li bilan amalga oshiriladi.

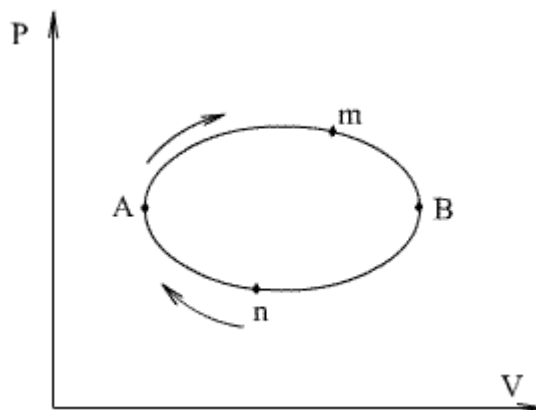
Ideal tsikllarda adlatik siqilish va kengayish jarayonlarida ish jismi bilan tashqi muhit orasida issiqlik almashinuvi bo'lmaydi, real tsikllarda esa issiqlik almashinuvi bo'lishi mumkin.

3.1-rasmda tasvirlangan aylanma qaytar jarayonni ko'rib chiqamiz.

Ish jismi kengayganda ya'ni sistemaga Q , issiqlik keltirilganda A_{mB} va A yuzaga teng musbat ish bajarildi.

Ish jismi siqilganda tashqi kuchlarning son jihatdan A_{nB} va A yuzaga teng manfiy ishi sarflangan.

Foydali ish olish uchun kengayish ishi siqilish ishidan katta bo'lishi kerak.



3.1-rasm. Aylanma jarayonni PV diagrammasi.

Foydali ish kengayish va siqilish ishlarining ayirmasiga teng

$$L=L_1-L_2$$

Termodinamikning birinchi qonuniga muvofiq

$$Q_1-Q_2=U+L(3.1)$$

Aylanma jarayonda $U = 0$ bo'ladi shuning uchun $Q_1 - Q_2 = L$

Ishga aylangan issiqlikning aylanma tsiklni amalga oshirishga sarflangan issiqlik Q_1 - ga nisbati termik f.i.k. deyiladi.

$$\eta_1 = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \text{ yoki } \eta_1 = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (3.2)$$

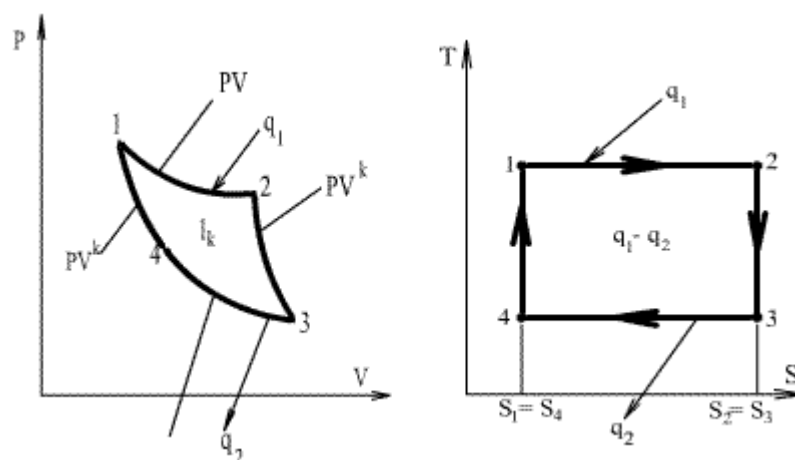
Agar AmB va A egri chiziq bo'yicha yopiq tsikl olishning iloji bo'lsa, u holda bunday tsiklda issiqlik miqdori nolga teng va termik f.i.k. birga teng bo'lar edi. Lekin bunday tsiklni amalga oshirib bo'lmaydi, chunki jarayon va chiziq bo'yicha absolyut nolga (-273 S) teng temperaturada borishi kerak edi, dvigatellarda haqiqatda buni amalga oshirib bo'lmaydi.

Barcha ideal tsikllar orasida 1824 yilda fransuz olimi Sadi Karno taklif etgan va uning nomi bilan atalgan tsikl - Karno tsikli eng mukammalidir.

3.2. Karnoning to'g'ri qaytar tsikli.

Bu tsikl 1924 yilda frantsuz dengiz ofitseri Sadi Karno tomonidan taklif qilingan Karno tsikli issiqlik dvigatellarining ideal tsikli bo'lib, 2 ta izotermik va 2 ta

adiabatik jarayondan tashkil topgan. Karno tsiklining diagrammasini chizamiz: $PV = \text{const}$; $PV^k = \text{const}$



3.2-rasm Kar no tsiklining PV va TS diagrammalari

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} \text{ yoki } q_1 = T_1 (S_2 - S_1) \quad q_1 = I_{12}$$

2 нуда issiqlik manbai ajratilib, gaz adiabata bo'yicha kengayadi (2-3. $PV^k = \text{const}$)
 $q = 0$

$$I_{23} = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2)$$

Adiabatik kengayishda gazning temperaturasi T_1 dan T_2 gacha pasayadi. 3 nuqta da sovuqlik manbai ulanadi va gaz 3 - 4 chiziq bo'yicha izotermik siqiladi $PV = \text{const}, T_2 = \text{const}$.

Bunda q_2 issiqlik sovuqlik manbaiga beriladi

$$q_2 = RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4} = -I_{34} \quad \text{yoki TS diagramma bo'yicha}$$

$$q_2 = T_2 (s_3 - s_4), \text{ КДЖ/КГ} \quad (3.3)$$

4 da sovuqlik manbai ajratiladi va gaz 4-1 adiabatik bo'yicha siqiladi bajarilgan ish

$$l_{41} = \frac{R}{k-1}(T_1 - T_2)$$

Gazning kengayishda bajargan ishi 2-3 va 4-1 adiabatik jarayonlarda son qiymatlari bir xil bo'lib, biri musbat ikkinchisi manfiy ya'ni ishoralari qarama-qarshi bo'lgani uchun tsiklni ishiga ta'sir qilmaydi.

Karno tsiklini termik foydali ish koeffitsientini hisoblaymiz.

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} - RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4}}{RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1}} \text{ bundan } \eta_t^k = \frac{T_2}{T_1} \quad (3.4)$$

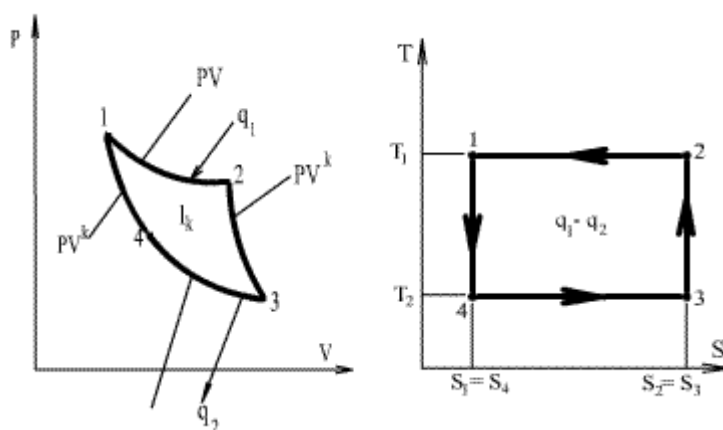
Xulosa: 1. To'g'ri qaytar Karno tsiklining termik f.i.k. gazning tabiatiga bog'liq emas.

2. Karno tsiklining f.i.k. T_1 issiqlik manbai temperaturasi qancha katta bo'lsa, shunga katta bo'ladi va T_2 qancha (sovuqlik manbai) kichik bo'lsa shuncha katta bo'ladi.

3. T_1 va T_2 - temperaturalar oralig'ida Karno tsiklining f.i.k. boshqa har qanday tsiklga nisbatan kattadir. Buni TS diagrammadan ko'rishimiz mumkin.

3.3. Karnoning teskari qaytar tsikli.

Bu tsikl sovitish mashinalarining ideal tsikli bo'lib soat strelkasiga teskari yo'nalishda kechadi. to'g'ri tsikl kabi ikkita izotermik va ikkita adiabatik jarayonlardan tashkil topgan.



3.3-rasm. Teskari qaytar Karno tsiklining PV va TS diagrammalari.

Bu tsiklda 4-3 jarayon chizig'i bo'yicha issiqlik manбайдan $q_2 = T_2(s_3 - s_4)$ issiqlik beriladi.

2-1 jarayon chizig'i bo'yicha esa manbaga issiqlik beriladi $q_1 = T_1(s_2 - s_1)$

Karno tsiklining sovitish koeffitsientini aniqlaymiz.

$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{T_2(S_3 - S_4)}{T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_3 - S_4)}$$
$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad \varepsilon > 0 \quad (3.5)$$

Temperaturalar farqiga qarab ε birdan katta, kichik va teng bo'lishi mumkin. Ko'pchilik real holda $\varepsilon > 1$

3.4. Termodinamikaning ikkinchi qonunining mohiyati.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni energiyaning bir turdan boshqa turga aylanadigan shart-sharoitlarni issiqlikning o'z-o'ziga tarqalish jarayonlari uchun muayyan miqdoriy nisbatlarni belgilab beradi.

Termodinamikaning ikkinchi qonunining juda ko'p ta'riflari bor, lekin uning mohiyati, asosan quyidagilardan iborat.

Tomson ta'rifi

I. Issiqlikni mexanikaviy ishga aylantirish uchun issiqlik manbai va temperaturasi shu manba temperaturasidan pastroq bo'lgan sovitgich bo'lishi ya'ni temperaturalar farqi bo'lishi zarur.

II. Dvigatelga keltirilgan issiqlikning hammasini butunlay ishga aylantirib bo'lmaydi. Bu issiqlikning bir qismi temperaturasi pastroq bo'lgan tashqi jismlarga o'tadi.

Boltsman ta'rifi.

III. Issiqlik kamroq qizigan jismdan ko'proq qizigan jismga tashqi ish sarflamay turib o'z-o'ziga o'tkaza olmaydi.

Uchinchi ta'rif bevosita sovitish qurilmalariga taalluqlidir. Sovitgich ichida tevarak muhit temperaturasiga nisbatan past temperatura hosil qilish uchun muayyan miqdorda energiya sarflash lozim.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni R. Plauzis quyidagicha ta'rifladi. Issiqlik energiyasi ishga aylanish jarayonida to'raligicha ishga aylanmaydi va issiqlik sovuq sistemadan issiq sistemaga o'z – o'zidan o'ta olmaydi.

$$S \frac{dQ}{T} < 0$$

Masalalar va topshiriqlar

3.1 Masala

Bosimi $R=8$ bar va $t=250$ °C bo'lgan 1 kg kislorodning entropiyasini aniqlang. Issiqlik sig'imini o'zgarmas deb hisoblang. $S = C_p \ln \frac{T}{273} - R \ln \frac{P}{P_n}$ ifodadan entropiyani aniqlaymiz.

Ikki atomli gazlar uchun $\mu C_p = 29,3 \text{ kJ} / \text{k} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}$ va $R=8,314 \text{ kJ} / \text{kmol} \cdot \text{K}$ bo'lgani uchun unda

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

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

3.2 Masala

1 kg kislorodni bosimi $R=8$ bar va harorati $t=250$ °C bo'lganda entropiyasini aniqlang $C = \text{const}$ deb qabul qilamiz.

Yechish

Kislorodning entropiyasini quyidagi formula orqali aniqlanadi.

$$S = C_p \ln \frac{T}{273} - E \ln \frac{P}{P_n}$$

Ikki atomli gazlar uchun $\mu C_p = 29,3 \text{ kJ} / (\text{kmol} \cdot \text{grad})$, $R = 8,314 / \text{kJkmol} \cdot \text{grad}$ teng bo'lgani uchun

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

$$S = 0,5978 - 0,5373 = 0,0605 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot \text{grad})$$

3.3. masala

1 kg kislorodning $t_1=127^\circ\text{C}$ haroratda hajmi besh barobar kengayadi kengayish jarayonida uning harorati $t_2=27^\circ\text{C}$ gacha pasayadi.

Entropiyaning o'zgarishini toping. Issiqlik sig'imini o'zgarmas deb qabul qiling. $C = \text{const}$.

Yechish

Quyidagi tenglamadan

$$\begin{aligned} S_2 - S_1 &= C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} = 2,303 \left(\frac{20,93}{32} \lg \frac{300}{400} + 0,260 \lg 5 \right) \\ &= 2,303(-0,0818 + 0,1827) = 0,2324 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot \text{grad}) = 0,005 \text{ kkal} / \text{kg} \cdot \text{grad} \end{aligned}$$

Topshiriqlar

3.1. 1 kg xavo $t_1 = 10$ dan $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Gacha izoxorik qizdirilmoqda. Jarayonda uzatilgan issiqlikni va entropiya o'zgarishini aniqlang.

3.2. Agar issiqlik dvigateli tsikliga uzatilayotgan issiqlik $Q_1 = 280 \text{ kJ}$ va foydali ish qiymati $L = 120 \text{ kJ}$ bo'lsa, issiqlik dvigatel tsiklining F.I.K. ni va ajralgan issiqlik miqdori Q_2 ni aniqlang.

3.3. Цикл Карно совершается с 1 kg havo ustidan Karno tsikli 927 va 27°C oralig'ida bajarilmoqda. Tsikldagi uzatilayotgan issiqlik $Q_1 = 30 \text{ kJ}$. Agar tsikldagi minimal bosim 1 atmosfer bo'lsa, undagi maksimal bosim, termik f.i.k. va foydali ish L larni aniqlang.

3.4. Bosim 10 dan 1 atm. va harorati 100°C dan 0°C gacha amalga oshirilayotgan Karno tsikli uchun termik f.i.k., 1 kg ishchi jisim (azot) uchun berilayotgan va uzatilayotgan issiqlik aniqlang.

4-amaliy ish. Gazsimon ishchi jisimli issiqlik dvigatellarning tsikllari. Gazlarni siqish. Sovutish tsikllari.

Reja:

1. Umumiy tushunchalar;
2. Issiqlik dvigatellarning ishchi jismlar;
3. Issiqlik dvigatellarning tasnifi;
4. Gazlarni siqish mashinalari;
5. Sovutish qurilmalarining sikllari.

Vazifa: issiqlik dvigatellarning ish sikllarini o'rganish va tahlil qilish. Gazlarni siqish mashinalari; Sovutish qurilmalarining sikllari o'rganish.

Ichki yonuv dvigatelning tsikli termik f.i.k.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\lambda \rho^{k-1}}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)}; \quad (4.1)$$

Bu yerda $\varepsilon = v_1/v_2$ – siqish darajasi, undagi v_1 va v_2 – siqishdan oldin va siqish yakunidagi xajmla;

$\lambda = p_3/p_2$ – issiqlikni uzatish izohorik jarayondagi bosimning oshish darajasi; $\rho = v_4/v_3$ – dastlabgi kengayish darajasi.

agar $\rho = 1$ – issiqlik uzatish faqat izoxorik bo'ladi:

$$\eta_{t_v} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}; \quad (4.2)$$

$\lambda = 1$ bo'lganda– issiqlik uzatish faqat izobarik bo'ladi:

$$\eta_{t_p} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\rho^{k-1}}{k(\rho - 1)}. \quad (4.3)$$

Issiqlik uzatish faqat izobarik va adiabetic siqish Gaz-turbinali qurilmaning termik f.i.k.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{T_1}{T_2}, \quad (4.4)$$

Bu eyrda $\beta = \frac{p_2}{p_1}$ – kompressordagi bosimning oshish darajasi.

Siklda chegaraviy regeneratsiya sharti bilan

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\rho} = 1 - \frac{T_1}{T_4}, \quad (4.5)$$

Bu yerda $\rho = T_3/T_2$ – issiqlik uzatish jarayonidagi xarorat oshish darajasi.
Regeneratorda uzatilayotgan issiqlik

$$q_p = \delta c_p (T_4 - T_2), \quad \kappa J/kg, \quad (4.6)$$

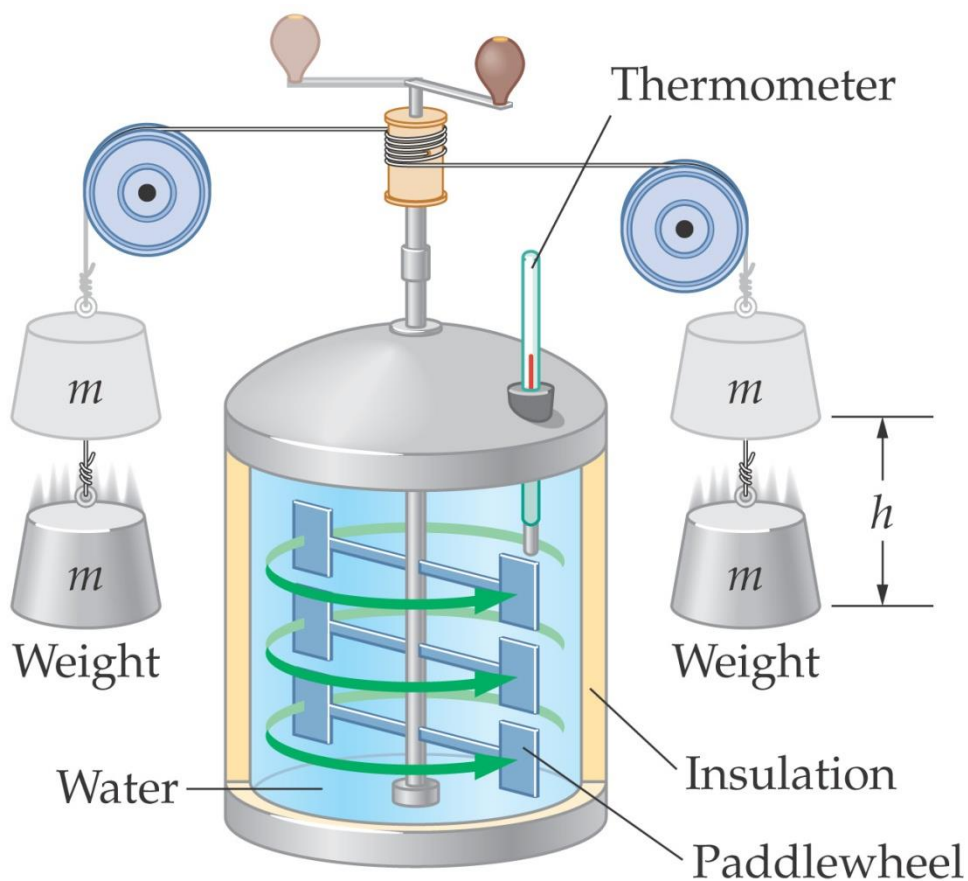
bu yerda δ - regeneratsiya darajasi ($\delta < 1$),

$$\delta = \frac{T_4 - T'_6}{T_4 - T_2} = \frac{T'_5 - T_2}{T_4 - T_2}. \quad (4.7)$$

Adabiyotlar ro'yihati:

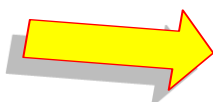
1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.
2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.
3. И. Пригожинб Д. Кондепуди. Современная термодинамика. Перевод с английского:.. М. «Мир» 2002 г. 464 с.
4. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.
5. Mahmoud Massoud. EngineeringThermofluids Thermodynamics,Fluid Mechanics,and HeatTransfer/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005. 1132 pp.

Tehnikaviy termodinamika keyslar



Muammoli masalalar!

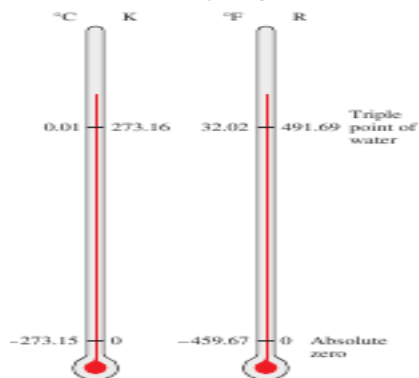
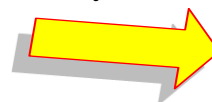
1. Toshkent davlat texnika universitetining iqtidorli talabalar o'rtasida xarorat o'lchash asbobini ixtiro qilish mummosi tug'ildi. Yangi termometr o'lcham birligi aniqlashtirilsin.



Ushbu o'rinda talaba bilan olimlar o'rtasida qanday munosabatlar vujudga keladi? Ushbu masalani xal qiling?

2. Talaba Saidovga auditoriyaning absolyut haroratini aniqlashni buyurishdi.

Lekin unda faqat Farengeyt shkalasida o'lchaydigan termometr bor.

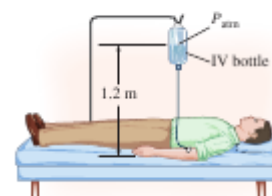


Ushbu muammoni hal qiling?

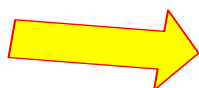
3. O'sma ukol (qon tomirga) solish uchun qanday balandligida o'rnatilishi kerak. Termodinamik jihatdan



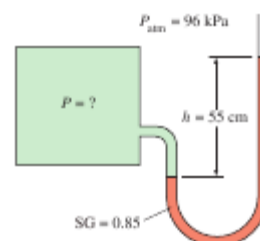
ushbu masalaning yechimini toping?



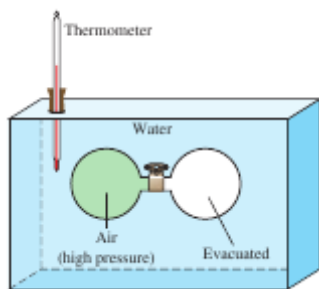
4. Laboratoriya uskunasining bosimlar farqini aniqlash zarur bo'lgan moslama zarur bo'lgan. Ishchi muhit - suv. O'lchash asboblardan faqat diferensial manometer bor.



ushbu masalaning yechimini toping?



5. Mashhur olim Joule o'z eksperimentlarida bir muammoga duch kelgan.

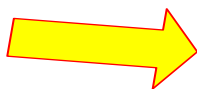


Bir idishdan ikkinchi idishga o'tayotgan gaz harorati pasaymaydi, lekin birinchi idishdagi gaz tashqi muhitga chiqarilsa harorati keskin pasayadi. Ushbu hodisani olim tushunaolmagan.



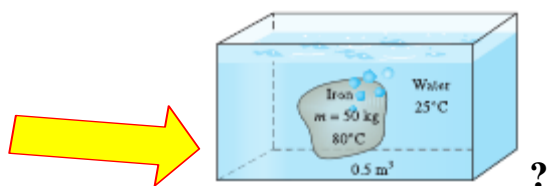
Olimning hatosini toping? Sizning fikringiz qanday?

6. O'zgarmas bosim va o'zgarmas hajimdagi issiqlik sig'implarning termodinamik jarayonlarni o'rganish uchun qo'llanilishi misollarini muammoli vaziyatlarida ko'rsating.

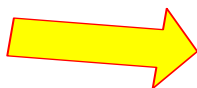


usullarni sharxlang?

7. 80°C dagi metalni sovutishimiz zarur. Qo'l ostida faqat suv bilan to'ldirilgan idish bor. Idishdagi suvning harorati 25°C . Metal ni suvga solganimizdan so'ng uning harorati necha gradusgacha pasayishi mumkin?



8. Qattiq jisim, suyuqlik va gazlarning issiqlik sig'imini aniqlash uchun mahsus laboratoriya uskunasi ixtiro qish sizning vazifangizga aylandi.



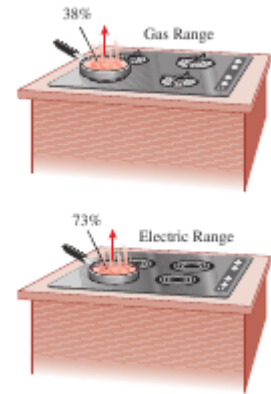
Masalani xal qiling?

9. 1 litr suvni qaynatish uchun elektr tokida ishlaydigan plitaning ishi va energiya sarfini gazda ishlaydigan plitasi bilan solishtiring. Qaysi holda biz kam

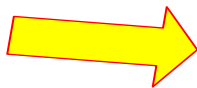
harajat qilamiz



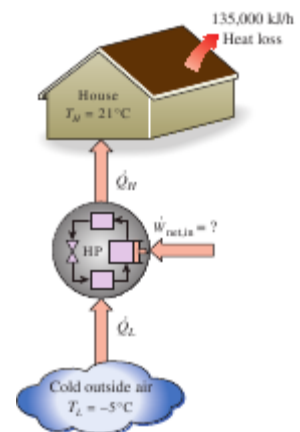
Bu masala bo'yicha ma'lu qarorga keling?



10. Qish mavsumida ma'lum bir qishloqda gazdan foydalanish yoki boshqa bir isitish usullaridan foydalanish imkoniyati yo'q. uy ro'zg'or anjomlaridan faqat sovutgich bor. Uyni qish vaqtida isitish usulini toping.



termodinamikaning ikkinchi qonunini ishga slogan holda muammoning yechimini toping?



VI. Mustaqil ta'lim mavzulari

1. Termodinamik tizim turlarini aniqlash va misollar keltirish;
2. static va kvazistatik jarayonlar;
3. termodinamikada “issiqlik sig'im” tushunchasining kelib chiqishi;
4. termodinamikaning dastlabgi qonuni;
5. ochiq termodinamikaviy tizim misollari;
6. yopiq termodinamikaviy tizim misollari;
7. termodinamik jarayonlar real jarayonlarda namoyon bo'lishi;
8. termodinamik tizimda energiya almashinuvi turlari;
9. ish bilan issiqlik bog'liqliklari;
10. ichgi energiya tushunchasi va uni aniqlash usullari;
11. entalpiya tushunchasi va uning ahamiyati
12. issiqlik sig'im.
13. termodinamikaning birinchi qonuni;
14. termodinamikaning ikkinchi qonuni;
15. entropiya tushunchasi;
16. adiabatic va izoentropik jarayonlarning farqi;
17. termodinamikaning uchinchi qonuni;
18. eksergiya tushunchasi va axamiyati;
19. sanoatda energetic muammolarni echish yo'llari;
20. termodinamikaning turli sohalarda qo'llanilishi.

VII. Glossariy

Termin	O'zbek tilidagi sharxi	Ingliz tilidagi sharxi
Absolyut bosim	rezervuar, ballon, qozon va boshqa idishlardagi bosim va tashqi (atmosfera) bosimining yig'indisi.	The actual pressure at a given position is called the absolute pressure, and it is measured relative to absolute vacuum (i.e., absolute zero pressure).
Absolyut temperatura	absolyut noldan hisoblanadigan temperatura (-273,16°S).	The absolute gas temperature scale that utilizes an "ideal" or "imaginary" gas that always acts as a low-pressure gas regardless of the temperature. If such a gas thermometer existed, it would read zero kelvin at absolute zero pressure, which corresponds
Bosim	jism sirtining biror qismiga perpendikulyar yo'nalishda ta'sir etuvchi kuchlar intensivligini ifodalaydigan kattalik. Boim birligi (SI)da – Paskal (Pa).	Pressure is defined as a normal force exerted by a fluid per unit area.
Vakuum	vakuum (lotincha) – bo'shliq, idishga solingan gazning siyraklashgan holati.	The Pressures below atmospheric pressure are sometimes called vacuum pressures.
Izobarik jarayon	o'zgarmas bosimda o'tadigan termodinamik jarayon.	An <i>isobaric process</i> is a thermodynamic process in which the pressure stays constant: $\Delta P = 0$.
Izotermik	o'zgarmas	A system consisting of a fixed mass

jarayon	temperaturada o'tadigan termodinamik jarayon.	of gas can exist in a number of equilibrium states corresponding to the same temperature T but with different values of its pressure and volume: $P, V \dots$
Izoxorik jarayon	sistemaning o'zgarmas solishtirma hajmida o'tadigan termodinamik jarayon.	An isochoric process, also called a constant-volume process, an isovolumetric process, or an isometric process, is a thermodynamic process during which the volume of the closed system undergoing such a process remains constant.
Issiqlik	issiqlik almashinuvda jismning tashqi parametrlari : hajmi va b. o'zgarmaganda sistema oladigan yoki beradigan energiya miqdori.	In physics, heat is energy as it spontaneously passes between a system and its surroundings, other than through work or the transfer of matter. In thermodynamics, finer detail of the process of transfer is in principle unspecified. When there is a suitable physical pathway, heat transfer occurs from a hotter to a colder body.
Ish	fizik jarayonda sodir bo'ladigan energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanishini ifodalovchi kattaliik.	In thermodynamics, work performed by a system is the energy transferred by the system to its surroundings, that is fully accounted for solely by macroscopic forces exerted on the system by factors external to it, that is to say, factors in its surroundings. Thermodynamic work is a version of the concept of work in physics.
Eksergiya	yex (yunon.) – ichidan. ergon - ish, kuch,	the exergy of a system is the maximum useful work possible during a process that brings the system into equilibrium with a heat

		reservoir.
Entalpiya	enthalpo (yunon.) – isitaman – termodinamik sistemaning holat funksiyasi; sistemaning ichki energiyasi bilan sistema bosimining hajmiga ko'paytmasi yig'indisiga teng.	Enthalpy is a measurement of energy in a thermodynamic system. It includes the internal energy, which is the energy required to create a system, and the amount of energy required to make room for it by displacing its environment and establishing its volume and pressure.
Entropiya	entropia (yunon) – burilish, o'zgarish – termodinamik sistemaning holat funksiyasi; sistema bilan tashqi muhit o'rtasidagi issiqlik almashinish jarayonining borish yo'nalishini, shuningdek, yopiq sistemada o'z-o'zidan sodir bo'ladigan jarayonlarning borish yo'nalishini xarakterlaydi.	entropy (usual symbol S) is a measure of the number of specific realizations or microstates that may realize a thermodynamic system in a defined state specified by macroscopic variables. Most understand entropy as a measure of molecular disorder within a macroscopic system.
Ot kuchi	sistemyaga kirmagan quvvat birligi; 1980 y. 1 yanvardan foydalanish tavsiya etilmaydi. Byelgisi — o.k. I o.k. (myetrik) q 735,499 Vt, AQSh va Buyuk Britaniyada. hp b-n byelgilanadigan va 745,7 Vt ga tyeig	Horsepower (hp) is a unit of measurement of power (the rate at which work is done). There are many different standards and types of horsepower. The term was adopted in the late 18th century by Scottish engineer James Watt to compare the output of steam engines with the power of draft horses. It was later expanded to include the output power of other

	bo'lgan O. k. qo'llaniladi (q. Vatt).	types of piston engines, as well as turbines, electric motors and other machinery. The definition of the unit varied between geographical regions. Most countries now use the SI unit <i>watt</i> for measurement of power.
Issiqlik sig'imi	1 gramm Jisim harorati 1 gradus Selsiyga o'zgarishi uchun ajratilishi zarur bo'lgan issiqlik miqdori	The specific heat of a substance is the heat required in calories to raise the temperature of 1 gram by 1 degree Celsius.
Indikator ish	ishchi tsikl bajarilishi natijasida yonilg'i yonganida ajralib chiqqan issiqlikning bir qismi foydali mexanik ishga aylanadi dvigatel tsilindrlarida gazlar (bosimi) bajariladigan ish.	is the scalar product of the applied force and the displacement of the object (in the direction of force)
Indikator quvvat	dvigatyel silindri ichida erishiladigan, indikator diagrammasi bo'yicha hisoblanadigan quvvat.	is an energy transfer induced by temperature difference.
Kriogen	Muhandislik yo'nalishi. O'ta past xaroratlarda jarayonlar amalga oshiriladi.	A branch of engineering specializing in technical operations at very low temperatures

VIII. Adabiyotlar ro'yihati

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:.. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.
2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.
3. И. Пригожинб Д. Кондепуди. Современная термодинамика. Перевод с английского:.. М. «Мир» 2002 г. 464 с.
4. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.
5. Mahmoud Massoud. EngineeringThermofluids Thermodynamics,Fluid Mechanics,and HeatTransfer/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005. 1132 pp.

www.Coursera.com

