

**M.Aşyrbaýew, J.Mämmedow**

**LOKOMOTIW ENERGETIK DESGALARY**

**Türkmen döwlet ulag we  
aragatnasyk institutynyň Demir ýol  
fakultetiniň talyplary üçin okuw  
kitaby**

**Aşgabat “Ylym”  
2010**

## UDK 625.282.843.6

**M.Aşyrbaýew, J.Mämmedow**

**Lokomotiw energetik desgalary.** Türkmen döwlet ulag we aragatnaşyk institutynyň Demir ýol fakultetiniň talyplary üçin okuw kitaby. -- A. Ylym, 2010

Okuw kitabyň başynda gidrodinamikanyň esaslary, termodinamikanyň we ýylylyk geçirişiniň esaslary barada maglumat berilýär. Içinden ýandyrylýan hereketlendirijiler, olaryň toparlara bölünişi we işleýiş düzgünleri, işçi prosessler barada giňişleýin maglumat berilýär. Dizeller, dizel hereketlendirijileriň kriwoşip-şatun mehanizmi barada düşünje berilýär.

Hereketlendirijileriň gurluşy, lokomotiw hereketlendirijileriň häsiýetnamalary, Türkmenistanda demir ýol ulagynyň ulanylyş şertleri baradaky maglumatlar talyplarda lokomotiwlerde peýdalanylýan energetik desgalary düýpli özleşdirmäge mümkinçilik berýär.

Okuw kitabynda ýerleşdirilen işçi prosessleriň hasaplama usullary, kombinirlenen hereketlendirijileriň işçi prosesslerini modelirlmek ýaly maglumatlar talyplaryň lokomotiwleriň energetik desgalarynda bolup geçýän prosesslere aýdyň düşünmeklerine we olaryň bolup geçýän prosessleri öwrenmekde matematiki modelleriň ähmiýetine göz ýetirmegine kömek eder.

## Mazmuny:

Giriş.....	10
<b>Birinji bap.</b> Lokomotiwlər barada umumy maglumat.....	14
1.1. Lokomotiwlərin görünüşü.....	14
1.2. Teplowozlaryň işleýiş düzgüni we olaryň esasy bölekleri..	16
1.3. SKD 9A (DF8B) ýolagçy teplowozynyň umumy shemasy.....	18
1.4. Teplowozlaryň toparlara bölünüşü.....	24
<b>Ikinji bap.</b> Gidrawlikanyň esaslary.....	26
2.1. Gidrostatika.....	26
2.2. Gidrodinamika.....	29
2.3. Turba boýunça suwuklygyň hereketi.....	31
2.4. Nasoslar we wentilýatorlar.....	34
Merkezden daşlaşýanlyk we okly wentilýatorlar.....	42
<b>Üçünji bap.</b> Termodinamikanyň we ýylylyk geçirilişin esaslary.....	44
3.1. Esasy maglumatlar. Hyýaly gaz kanunlary. Ýylylyk sygymy.....	44
3.2. Termodinamikanyň 1-nji kanuny.....	53
3.3. Termodinamiki prosesler.....	58
3.4. Termodinamikanyň 2-nji kanuny.....	62
3.5. İçinden ýandyrylýan ýylylyk hereketlendirijilərin işçi aýlawlary.....	67
3.6. Ýylylyk geçirijiligin esasy kanunlary.....	82
3.7. Çylşyrymly ýylylyk çalşygy. Ýylylyk çalşygy enjamlar....	93
<b>Dördünji bap.</b> İçinden ýandyrylýan hereketlendirijiler.....	97
4.1. İçinden ýandyrylýan hereketlendirijilərin (IÝH) işleýiş düzgünleri we olaryň toparlara bölünüşü.....	97
4.2. İçinden ýandyrylýan hereketlendirijilerde garyndy emele getirilişi.....	104
4.3. İki we dört taktly hereketlendirijiler we olaryň özara tapawudy. Dizellerde üflenme.....	110

4.4. Lokomotiiv hereketlendirijileriň tehniki gözrkezjileri.....	116
4.5 Lokomotiiv gazturbina enjamy.....	120
4.6 Gazturbina enjamynyň peýdaly täsir koeffisiýentini ýokarlandyrmagyň ýollary.....	124
4.7 Ýanyş kamerasy.....	132
<b>Bäşinji bab.</b> Hereketlendirijileriň gurluşy.....	138
5.1. Lokomotiiv dizellerine bildirilýän talaplar.....	138
5.2. Dizel hereketlendirijileriniň şertli belgilenişi.....	139
5.3. Hytaý Halk Respublikasyndan alynýan lokomotiivlerde ulanylýan dizeller barada käbir maglumatlar.....	140
5.4. Dizel hereketlendirijileriniň umumy gurluşy we kinematiki shemalary.....	152
5.5. Gaz turbinaly hereketlendirijiler.....	159
<b>Altynjy bab.</b> Içinden ýandyrylýan porşenli ýylylyk hereketlendirijileriň esasy ulgamlary.....	164
6.1. Howa üpjünçiligi.....	164
6.2. Ýangyç ulgamy.....	172
6.3. Ýaglaýyş ulgamy.....	178
6.4. Suw ulgamy.....	182
<b>Ýedinji bab.</b> Hereketlendirijileriň işçi prosessleri.....	187
7.1. Içinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň işçi prosessleriniň hasaplanylşy.....	187
7.2. Ýangyç, howa we ýanma önümleri.....	188
7.3. İşçi prosessleriň hasaplanylşy.....	191
7.4. Hasaplama indikator diagrammasy.....	200
7.5. Kuwwatyň hasaplanylşy we dizeliň ýylylyk balansy....	206
<b>Sekizinji bab.</b> Kombinirlenen hereketlendirijileriň işçi prosesslerini modelirlemek.....	214
8.1. Umumy düşünje.....	214
8.2. Hereketlendirijileriň porşen böleginde işçi prosessiň modeli.....	215
8.3. Howa we gazyň gatlaklaýyn hereketi arkaly silindriň üflemesiniň modeli.....	220

8.4. Göýberiji we çykaryjy howa üpjünçilik agregatyny modelirlemek.....	223
8.5. Işçi prosessiň modeliniň peýdalanylyşy.....	225
<b>Dokuzynjy bap.</b> Dizel hereketlendirijileirniň “göni-aýlaw hereket” (kriwoşip-şatun) mehanizmi.....	228
9.1 Dizel hereketlendirijileriniň ýasaw çyzgytlary.....	228
9.2 Iki taktly dizel hereketlendirijilerinde gaz çalyşma hadysalarynyň çyzgytlary.....	230
9.3 Hereketlendirijiniň esasy ýasaw görkezijileriniň saýlanyp alnyşy. “Göni-aýlaw hereket” mehanizminiň görnüşleri we olara baha berilişi.....	232
9.4 Hereketlendirijileriň “göni-aýlaw hereket” mehanizminiň kinematikasynyň esaslary. Hereketlendirijileriň kinematikasynyň meseleleri.....	236
<b>Onynjy bap.</b> Lokomotiw hereketlendirijileriniň häsiýetnamalary.....	250
10.1. Türkmenistanyň demir ýol ulgamynyň ulanylyş şertleri.....	250
10.2. Häsiýetnamalar we olaryň ähmiýeti.....	253
<b>Edebiýatlar</b> .....	265

## Giriş

Demir ýol pudagy ýurdumyzyň halk hojalygyny, senagatyny we ykdysadyýetini ösdürmekde aýratyn goşant goşýan pudakdyr. Şonuň üçin Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň aýratyn tagallasy bilen bu pudak görnüp-eşidilmedik derejede ösdürilýär.

Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistan Merkezi Aziýa döwletleriniň arasynda ilkinjileriň biri bolup, gadymy Beýik Ýüpek ýoluna polat düşmegiň hötdesinden geldi.

Uzynlygy 308 km bolan, 132 kilometri Türkmenistanyň çäginde geçýän Tejen-Sarabs-Maşat demir ýoly guruldy. Taslama boýunça bu demir ýol bir ýylda 3,5 million tonna golaý ýük daşamaga niýetlenendir. Demir ýoly her ýylda ABŞ-nyň 30 million dollaryna barabar girdeýji getirmäge ukyplydyr. Aýratyn tagalla bilen gurlan bu ýol Maşadyň üsti bilen dünýäniň beýleki ýurtlaryna çykmaga we olar bilen amatly ykdysady hyzmatdaşlygy açmaga şertler döredýär.

Uzynlygy km Türkmenabat-Atamyrat we 540 km bolan Aşgabat-Garagum-Daşoguz demir ýollarynyň ulanylyşa berilmegi ýurdumyzyň ykdysadyýetini has-da ýokarlandyrmakda, ýolagçylara hyzmat etmekde uly ähmiýete eýedir.

Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň ýiti paýhasy bilen we onuň parasatly ýolbaşçylygy bilen Amyderýanyň üstünde gurlan köpri dünýä derejesinde uly möçberdäki gurluşykdyr. Bu köprüniň uzynlygy km bolup, onuň ykdysady ähmiýeti ägirt uludyr.

Türkmenistanyň Demir ýol ministrliginiň Lokomotiw hojalygynda ylmyň we tehnikaýyň iň soňky gazananlary bilen enjamlaşdyrylan Teplovoz zawodynyň söküş we ýygnaýyş bölümünde ýük göterijigi 30 tonna barabar bolan enjam gurnaldy.

Zawotda ornaşdyrylan enjamlar dünýäniň dokuz ýurdunyň: Ýaponiýanyň, Russiýanyň, ABŞ-nyň, Ukrainanyň, Belarusiýanyň, Çehiýanyň, Fransiýanyň, Finlýandiýanyň we Polşanyň önümleridir.

Ýolagçylary we ýükleri bökdençsiz daşamak üçin Hytaý Halk Respublikasyndan alnan täze teplowozlar kuwwaty boýunça öňki ulanylýan teplowozlardan has ýokary bolup, ulanylyşda örän tygşytlydyr. Teplowozlaryň esasy aýratnylygyny olarda hereket howpsuzlygyny üpjün edýän kompýutarlaşdyrylan enjamlaryň bolmagydyr.

2002-2007-nji ýyllar aralygynda Hytaý Halk Respublikasyndan 54 wagon satyn alnan bolsa, 2007-nji ýylda ýol wagonlarynyň 200-si we dizel-generatorlarynyň 17-si satyn alyndy. Türkmenistanda ýolagçy wagonlaryň parky täzelendi. Bu bolsa demir ýol pudagynda ýolagçy gatnatmagyň mukdaryny we ýolagçylara hyzmat etmegiň hilini üzl-kesil ýokarlandyrdy.

Hormatly Prezidentimiziň öndengörüjiligi bilen halkara demir ýol magistralynyň täze ugurlary esaslandyrdy. Pars aýlagyna çykmaga mümkinçilik berjek Uzen-Bereket-Gürgen täze demir ýoluň gurluşygyna ak pata berildi. Bu wajyp taslama dünýäniň köp ýurtlary uly gyzyklanma bildirýärler. Bu „Demirgazyk-Günorta“ transkontinental demir ýol geçelgesiniň uzynlygy 900 kilometre uzap, onuň 80 kilometr bölegi Eýran Yslam Respublikasynyň, 697,5 kilometri Türkmenistanyň, 130 kilometrden gowrak bölegi bolsa Gazagystanyň çäginde geçer. Hormatly Prezidentimiziň ýolbaşçylygynda geçirilýän bu taryhy ähmiýetli işler türkmen hünärmenleriniň gaýratly zähmetleri bilen amala aşyrylýar. Şu asyly işleri amala aşyrmaklygy dowam etmek üçin ýaş, zehinli demir ýolçulary taýýarlamaly.

Hormatly Prezidentimiziň ýurt baştutanlygyna geçen gününden başlap yglan eden ylym-bilim syýasatynyň esasy özeni ýurduň ykdysadyýetini ösdürjek dünýä ünlülerine laýyk

gelyän ýiti zehinli hünärmenleri taýýarlamakdan ybaratdyr. Mähriban Prezidentimiziň aýratyn tagallasy bilen ýurdumyzyň içinden eriş-argaç bolup geçýän polat ýollarynyň gurluşygyny amal etjek, täze satyn alnýan ýokary tehnologiýaly ulag serişdelerini kämil derejede dolandyryjak ýaş hünärmenleri taýýarlamak wajyp meseleleriň biridir. Bu meseleleri çözmek üçin Hormatly Prezidentimiz tarapyndan ähli şertler döredilen. Mähriban Prezidentimiziň yzygiderli aladasynyň netijesinde gurlup, ulanylmaga berlen Türkmen döwlet ulag we aragatnaşyk institutynyň täze binasynyň tejribe otaglarynda ornaşdyrylan döwrebap enjamlar talyplaryň dünýä standartlaryna laýyk bilim almaklaryna, ökde hünärmenler bolup ýetişmeklerine doly mümkinçilik berýär.

Şu okuw kitaby demir ýol fakultetiniň talyplary üçin niýetlenen Lokomotiiv energiýa desgalary dersi boýunça taýýarlanan okuw maksatnamasy esasynda ýazyldy.

Okuw kitabyň başynda Lokomotiivleriň görnüşleri, teplowozlar barada gysgaça maglumat berilýär. Hytaý Halk Respublikasyndan satyn alnan ýolagçy gatnatmak we ýük çekmek üçin niýetlenen teplowozlaryň umumy shemasy getirilýär.

Kitapda içinden ýandyrylýan hereketlendirijileri, olaryň gurluşy, işçi prosessleriň hasaplanylyşy barada giňişleýin maglumatlar berilýär.

Hereketlendirijileriň şatun-kriwoşip mehanizmleri, Lokomotiiv hereketlendirijileri baradaky maglumatlar lokomotiiv energetik desgalarynyň aýratynlygyna has düýpli düşünmäge mümkinçilik berýär.

Okuw kitabynda ýerleşdirilen kombinirlenen hereketlendirijileriň işçi prosesslerini modelirlemeklige degişli bölüm talyplaryň hereketlendirijileriň ýylylyk tehniki parametrlerini, olarda bölüp geçýän ýylylyk prosessleri nazary usul arkaly özleşdirmekligine peýda berer.



Okuw kitabyňyň birinji we ikinji baplarynda ýerleşdirilen gidrodinamikanyň we ýylylyk tehnikasynyň esaslary Teplowozyň energetik enjamlarynda bolup geçýän çylşyrymly prosessleri özleşdirmeklikde kömek eder. Bu materiallaryň gysgaldylan görnüşde şu kitapda ýerleşdirilmegi, biziň pikirimizçe, talyplara dizeller, gazyturbina enjamlar özleşdirilende gerek gidrawliki we ýylylyk tehniki düşüňjeleri çalt tapmaklyga we energetiki enjamlara degişli materiallary çalt özleşdirmeklikde wagtyňy tygşytlamaga ýardam berer.

## **Birinji bap. Lokomotiwler barada umumy maglumat**

### **1.1. Lokomotiwlerniň görnüşü**

Lokomotiwler diýlip ýolagçy we ýük otlularyny demir ýol boýunça herekete getirmek üçin hereketlendiriji güýjüni (çekiji güýji) döredýän ulag maşynlaryna aýdylýar.

Demir ýol ulagynda peýdalanylýan lokomotiwlerniň birnäçe görnüşleri bar. Meselem: elektrowozlar, teplowozlar, gazoturbowozlar, parowozlar.

Lokomotiwlerniň görnüşleri ýangyjyň energiýasyny ýa-da elektrik energiýasyny mehaniki energiýa özgerdiji desgalaryň gurluşy we işleýiş düzgünleri bilen tapawutlanýarlar.

Elektrowozlarda elektrik energiýasyny mehaniki energiýa öwürüji bolup, çekiji elektrik hereketlendirijileri hyzmat edýär. Bu görnüşli hereketlendirijiler energiýany elektrostansiýalardan galtaşma torlarynyň üsti bilen alýarlar.

Lokomotiwlerniň beýleki ähli görnüşleri ýangyjyň içki himiki energiýasyndan peýdalanylýp, daşyndan oňa hiç hili energiýa berilmeýär. Şeýle teplowozlara özbaşdak (awtonom) energiýa ulgamly teplowozlar diýilýär.

Parowozlarda ýangyjyň (kömrüň ýa-da nebitiň) içki himiki energiýasynyň mehaniki energiýa öwürilişi bolup geçýär. Parowozlary herekete getiriji desga bug gazanyndan, energiýa beriji generatordan we bug maşynyndan, ýagny hereketlendirijiden durýar.

Parowozlaryň hereketlendirijilerinde energiýa ýitgisi köp bolup, olaryň peýdaly täsir koeffisiýenti (p.t.k.) bary-ýogy  $5 \div 7\%$ . Şonuň üçin bu görnüşli ulag maşynlary ykdysady taýdan amatsyzlygy sebäpli häzir demir ýol pudagynda ulanylmaýar.

Gazoturbowoz ady energiýa generatory hökmünde gaz turbinanyň ulanylýandygy üçindir.

Demir ýol ulagynda has köp ulanylýany teplowozlardyr.

Teplowoz diýip güýç desgasy hökmünde ýylylyk hereketlendirijileri ulanylýan lokomotiwlere aýdylýar.

Teplowozlarda porşenli içinden ýandyrylýan hereketlendirijiler - dizeller peýdalanylýar. Dizellerde ýangyjyň himiki energiýasynyň mehaniki energiýa öwrülmesi ýapyk göwrümde, silindriň içinde amala aşyrylýar.

Lokomotiwlerniň beýleki görnüşleri bilen deňeşdirilende teplowozlaryň örän köp artykmaçlyklary bar. Olaryň p.t.k.-lary ýokary bolup,  $26 \div 30\%$  deňdir. Teplowozlar ätiýaç ýangyçsyz we suwsuz  $800 \div 1000$  km aralygy geçip bilýärler.

Garaşsyzlyk ýyllaryna çenli Türkmenistan Russiýada çykan (öňki SSSR-ň önümi bolan) teplowozlary ulandylar.

Ilkinji gezek 1905-nji ýylda N.G.Kuznesow we A.I.Odinsow tarapyndan elektrik geçirişli we içinden ýandyrylýan hereketlendirijili lokomotiwiň taslamasy işlenilip düzüldi. Soňra 1909-njy ýylda Kolomenskiý maşyngurluşyk zawodynda lokomotiw dizelleriniň taslamasy taýýarlanylady.

1924-nji ýylyň 7-nji noýabrynda öňki SSSR-de dünýäde ilkinji gezek magistral teplowozy synag edildi. Soňra 1930-nji ýylda Kolomenskiý parowoz gurluşyk zawody tarapyndan 30-a golaý teplowoz guruldy.

Dünýäde ilkinji gezek 1931-nji ýylda Aşgabat demir ýol böleginde teplowoz işläp başlady. Aşgabatda dünýäde birinji teplowoz depozy döredildi. Soňra teplowozlaryň sany ýyl-ýyldan köpeldildi. Olaryň hili has ýokarlandyryldy.

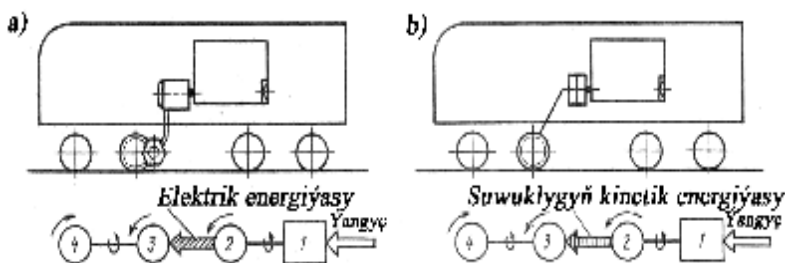
Türkmenistanda köp ýyllaryň dowamynda we şu wagtam kysymly teplowozlar ulanylýar.

Garaşsyzlyk alynmagy bilen, Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň taýsyz tagallasy bilen Hytaý halk respublikasyndan satyn alnan kämil teplowozlar biziň halk hojalygymyzy, senagatymyzy we ykdysadyýetimizi ýokary götermekde uly goşant goşýarlar.

## 1.2 Teplowozlaryň işleýiş düzgüni we olaryň esasy bölekleri

Teplowozlaryň esasy bölegi dizeldir. Dizel ýangyjyň himiki energiýasyny tirsekli walyň aýlanma mehaniki energiýasyna öwürýär.

Dizelleriň kuwwaty ýangyç berlişi üýtgemeýän ýagdaýynda tirsekli walyň aýlanma ýygylgyna göni proporsionaldyr. Dizeliň walyň hemişelik aýlanma ýygylgynynda işlemegi üçin onuň energiýasy hereket edýän tigr goşasyna geçirilýär. Hemişelik aýlanma ýygylkly işlemeli tirsekli wal bilen aýlanma ýygylgy üýtgeýän tigr goşasynyň arasynda geçiriliş diýip atlandyrylan ýörite aralyk desga göz önünde tutulýar. Geçiriliş enjamy dizelli lokomotiwiň işlemeli şertine uýgunlaşdyrýar. Geçirilişiň elektrik we gidrawliki görnüşleri bar. Elektrik geçiriliş usuly 1-nji suratda görkezilýär.

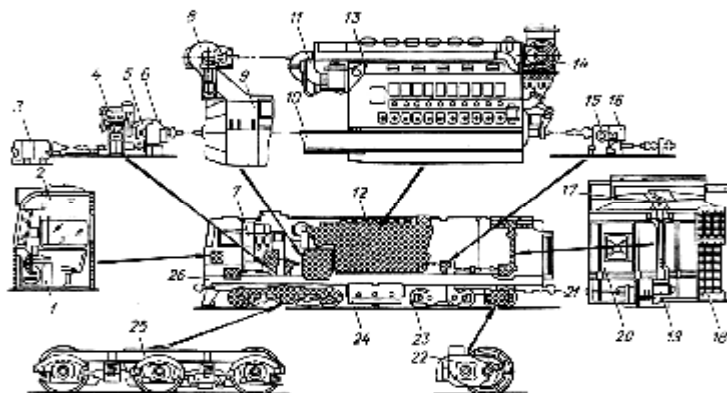


**1.1-nji surat.** Enjamlary ýerleşdiriliş shemasy we teplowozda energiýanyň öwrülişi (özgerişi)

a)–elektrik geçirilişli, b) – gidrawliki geçirişli

Elektrik geçirilişde (1.1, a) surat) dizeliň (1) walynyň aýlanma mehaniki energiýasy çekiji elektrik generatoryna (2) berilýär we mehaniki energiýa elektrik energiýasyna öwrülýär. Çekiji generatoryň elektrik energiýasy çekiji elektrik hereketlendirijisine (3) berilýär. Ol bolsa öz gezeginde tigr goşasy (4) bilen bagly bolup, ony aýlaýar.

Gidrawliki geçirilişde (1.1, b) surat) dizeliň (1) energiýasy suwuklyga energiýa berýän gidrawliki nasosy



**1.2-nji surat.** 2TЭ10B teplowozyň seksiýasynyň esasy bölekleriniň ýerleşiş shemasy.

Shemada: 1- dolandyryş puly, 2-maşinistiň kabinasy, 3- iki maşynly agregat, 4- togtadyjy kompressor, 5- wentilýator, 6- öňki reduktor, 7 – ýokary woltly kamera, 8 –ýöriteleşdirilen wentilýator, 9 –çekiji generator, 10 – dizelasty rama, 11- merkezden daşlaşýanly itekleyji, 12 – kuzow, 13 – dizel, 14 –turbokompressoryň turbinasy, 15 – yzky reduktor, 16 – wentilýator, 17 – sowadyjy gurluş (sowadyjy), 18 – seksiya, 19 – gidroreduktor, 20 – sowadyjynyň şahtasy, 21 – awtossepka, 22 – çekiji elektrodwigatel, 23 – tigr goşasy, 24 – gap (bak), 25 – üç okly teležka, 26 – rama.

herekete getirýär. Suwuklygyň basyş güýji gidrawliki turbinany (3) aýlaýar we şonuň bilen birlikde teplowozyň tigr gozasy (4) hem aýlanýar.

Bulardan başga-da teplowozlarda ekipaž bölegi we kömekçi bölegi bar.

Ekipaž bölegine: kuzow, esasy rama, tigr goşaly, teležka girýär.

Kömekçi bölegine: dizeliň sowadylyşyny üpjün edýän ýangyç ulgamy, sowadyjy ulgam, ýag we howa üpjünçilik ulgamlary girýär.

Has köp ýaýran netijeli teplowozlaryň biri 2TЭ10B teplowozdyr. 1.2-nji suratda bu teplowozyň esasy bölekleriniň ýerleşiş shemasy görkezilen.

Bu görnüşli teplowozyň energiýa çeşmesi bolup kuwwaty 2200 kw bolan 10D100 dizel gulluk edýär. Dizel-generator teplowozyň iň agyr bölegi bolansoň, ol onuň ortasynda ýerleşdirilýär. (2-nji surata seret).

Dizeliň energiýasynyň esasy bölegi çekiji generatora berilýär. Çekiji generator bolsa dizeliň energiýasyny elektrik energiýasyna özgerdýär. Dizel generator bilen bir umumy güýç agregaty bolup hyzmat edýär.

Teplowozyň beýleki bölekleri barada Lokomotiwlery, lokomotiwleryň gurluşy dersi öwrenilende doly maglumatlar berilýär.

### **1.3. SKD 9A (DF8B) ýolagçy teplowozynyň umumy shemasy**

Bu kysymly Ýolagçy otlulary üçin niýetlenen bu kysymly teplowoz Hytaý halk respublikasynyň Ssýan Lokomotiw gurluşyk zawody tarapyndan öndürilen. Teplowozda 16 V 28 OZJA kysymly dizel ýerleşdirilip, onuň pasportda görkezilen kuwwaty 3860 kWt-a deňdir. Teplowozda JF 204D kysymly esasy generator, ZD109C kysymly çekiji hereketlendiriji we agramy 23 tonna bolan üçokly teležka peýdalanylýar. Teplowozda dolandyryjy kompýuter ulgamy oturdylyp, onuň kömegi bilen tizlik, tormoz ulgamynyň işi we beýleki agregatlar ýokary takyklyk bilen dolandyrylýar.

Teplowozyň elementleri ýerleşdirilen umumy shemasy 1.3-nji suratda görkezilýär. Shema ýokarky we aşaky bölekden durýar. Ýokarky bölekde kuzow we kuzowda ýerleşdirilen enjamlar görkezilýär. Aşaky bölekde: teležka, ýangyç gaby görkezilen. Ýangyç gabynyň ön we yz ýanlarynda esasy gap,

onuň sag we çep taraplarynda bolsa akkumulýator batareýalaryndan ybarat seksiya ýerleşýär.

Teplowozyň ýokarky kuzowy baş sany germew bilen alty sany kabina bölünýär. Olar: maşinistiň kabinasy, elektrik enjamlary ýerleşdirilen kabina, energiýa enjamlary ýerleşdirilen kabina, sowadyjy ulgamlar ýerleşdirilen kabina, kömekçi agregatlar ýerleşdirilen kabina we teplowozyň ahyrynda ýerleşdirilen maşinistiň kabinasydyr.

Maşinistiň kabinasy. Maşinistiň kabinalary (iki sany) teplowozyň önki we yzky bölümünde simmetrik ýerleşdirilýär. Kabinalaryň önünde we gapdallarynda aýnadan daşaryk gözegçilik eder ýaly penjireler göz önünde tutulan.

Maşinistiň kabinasynda wentilýatoir, ýşyklandyryjy, kondisioneriň howasynyň çykyşyny üpjün edýän gurluş ýerleşdirilen.

Aşaky bölekde lokomotiwiň konduktory üçin kabina göz önünde tutulan. Germewiň ýokarsynda heläkçilik ýagdaýynyň önüni almak üçin togtadyjy klapan, aşagynda bolsa oturgyç ýerleşdirilýär. Germewiň orta böleginde ot öçüriji mehanizmiň enjamlary oturdylan. Kabinanyň içiniň howasynyň temperaturasyny sazlamak, kadaly şertde saklamak üçin elektrik gyzdyryjylar germewiň aşaky böleginiň iki tarapynda ýerleşdirilýär.

Oturgyçlar hereketsiz bolup, olar lokomotiwiň konduktorlary üçin oňaly ýagdaýda goýlan.

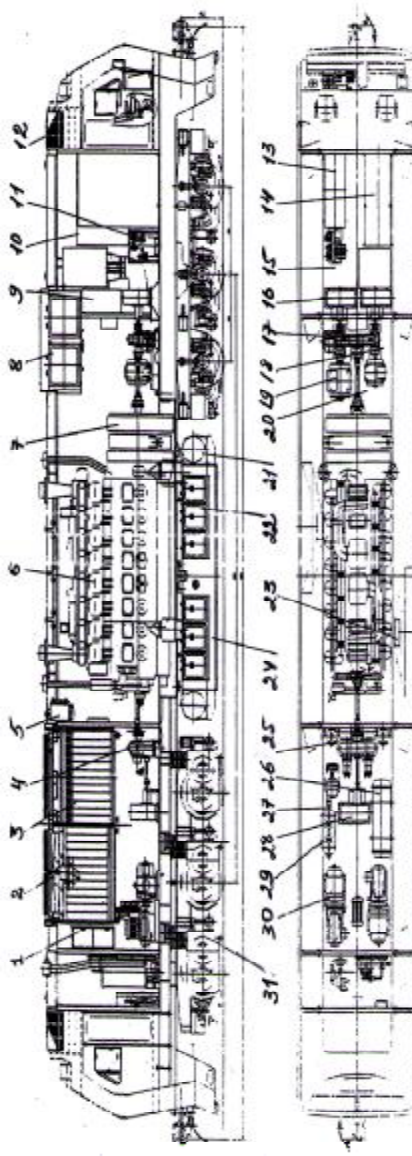
Maşinistiň kabinasynda dolandyryş pulty, togtadyjy klapan, maşinist üçin manipulýator, knopkalar, priborlar, kompýuter displeyi, tizlige gözegçilik etmek üçin mehanizm we başgalar ýerleşdirilen. Dolandyryjy serişdelerden başga-da ol ýerde howany salkynlatmak üçin sowadyjy ýerleşdirilen.

Elektrik enjamlary ýerleşdirilen kamerada ýokary naprýaženiýede elektrik şkafty we kremni göneldiji şkaף bar. Onuň aşagynda esasy generator we göneldiji şkaף üçin

wentilýator, yzky germewiň çep tarapynda bolsa ot söndüriji ýerleşdirilen. Sag tarapda, aşakda pes naprýaženiýanyň teplowozyň signal beriji enjamynyň şkafy we çekiji hereketlendirjiniň wentilýatory ýerleşdirilýär. Wentilýatoryň aşagynda bolsa dolandyryjy kompýuter şkafy göz önünde tutulan.

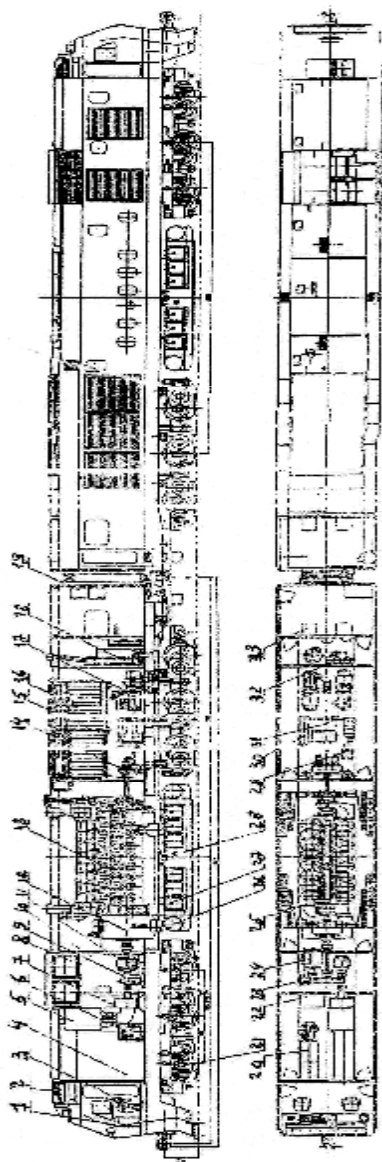
Energetiki enjamlary ýerleşdirilen kabinada iki sany ýangyç beriji agregat we ýangyç filtri bar. Sag tarapda ýangyç gyzdyryjy, ýangyç nasosy, kömekçi ýag





### 1.3-nji surat Teplowoznyň umumy shemasy

1-geým üçin şaf; 2- sowadyjy wentilýator; 3-radiator; 4-yzky geçiriji korobka; 5-giňeldiji suw gaby; 6-dizel; 7-esasy generator; 8-garşylykly togtadyjy desga; 9-dolandyryjy kompýuter ýerleşdirilen şaf, 10-teplowoznyň signal enjamynyň ýerleşen şafy; 11-tormoz klapanyň montaży; 12-kondisioner; 13-ýokary naprýajeniýe şafy; 14-pes naprýajeniýe şafy; 15- kremniý göneldiji şaf; 16-çetki diwigateliň öňki wentilýatory; 17-öňki geçiriji korobka; 18-tahogenerator; 19-oýandyryjy; 20-hereket getiriji generator; 21-esay gap; 22-akkumulýator batareýaly bölüm; 23-giriş filtri; 24-yangyç gaby; 25-gidrostatiki ýag gaby; 26-starteriň nasosy; 27- suw ýag ýylylyk çalsyjy; 28- çekiji dwigateliň yzky wentilýatory; 24-ýag filtri; 30-kompressor; 31-teležka



**1.4-nji surat Teplovozyň umymy shemasy**

1-IV; 2-kondisioner; 3-mašinistiň oturgyjy; 4-ýokary woltly kamera; 5-kremnili göneldiji enjamyň ýerleşýän ýeri; 6-armaturaly montaj sütüni; 7- öňki wentialýator; 8-reostat togdadylma garşylygy; 9-öňki paýlaýjy reduktor; 10-oýandyryjy-göneldiji enjamyň ýerleşýän ýeri; 11-oýandyryjy; 12-esasy (baş) generator; 13-dizel; 14-yzky paýlaýjy reduktor; 15-radiatorly sowadyjy; 16- sowadyjy wentialýator; 17-iki motor kompressor, 18- gyzdyryjy gazan; 19-garderoob we instrumentler üçin şka; 20-peswoltly kamera; 21-telejka; 22-dolandyryjy kompýuter üçin şka; 23-IT; 24-herkete getiriji dwigatel; 25-3Y; 26-esasy gap; 2-akkumulýator batareýalar bölümi; 28-ýangyç gaby; 29-ýag beriji nasos; 30-ýag filtri; 31-dizeliň ýagyny sowatmak üçin ýylylyk çalşyjy; 32-howa guradyjy; 33-oturgyç (kreslo).

nasosynyň agregaty we howa bilen işleýän togtadyjy üçin işçi göwrüm (rezerwuar) ýerleşdirilen. Diwaryň sag we çep tarapynda di

zel üçin howa filtri we iki sany ot öçüriji hem-de kuzowa üçin wentilýator goýlan. Öňki germewiň ýokarky böleginde elektrik enjamlary kamerasy we energetiki enjamlary kabinasy üçin garşylykly togtadyjy desga ýerleşdirilen. Germewiň aşaky böleginde göneldiji şkaф görkezilen. Yzky germewiň ýokary böleginde giňeldiji suw gaby, aşaky böleginde bolsa ölçeýji priborlar ýerleşdirilýär.

Sowadyjy enjamlar üçin kabinada V-şekilli sowadyjy desga ýerleşdirilip, onuň iki kanally, 48 seksiyaly mis radiatorlary bardyr. Onda iki sany gidrostatiki motor we wentilýator gurnalan.

Ortada, aşakdaky bölekde çekiji hereketlendiriji üçin yzky geçiriji korobka we wentilýator ýerleşdirilen. Şeýle hem ol bölümde ýag ýylylykçalsygy, howa kompressor agregaty we shemada görkezilen beýleki enjamlar bar.

Kömekçi agregatlar ýerleşdirilen bölekde çep tarapda gazany gyzdyrmak üçin sirkulýasion nasos, sag tarapynda bolsa gyzydýrjy gazan bar. Öňki germewiň çep tarapynda howa arassalaýjy enjam, yzky germewiň çep tarapynda bolsa merdiwan ýerleşdirilip, ol boýunça teplowozyň üçegine çykmak bolýar. Şol bölümiň ortasynda, aşak tarapda eliň kömegi bilen işleýän togtadyjy mehanizmi we iki tarapyň bolsa relsi gaýtaryjysy ýerleşdirilen.

Hytaý halk respublikasyndan satyn alnan CKB 9c (ДТ-4В) ýük teplowozynyň elementleri ýerleşdirilen umumy shemasy 1.4-nji suratda görkezilýär.

## 1.4. Teplowozlaryň toparlara bölünşi

Teplowozlar ulanylyşyna baglylykda ýük çekmek, ýolagçy gatnatmak we uniwersial mansatlar üçin ulanylýan görnüşlere bölünýär.

Uniwersal görnüşlilere dürli işler üçin ulanylýan, meselem ýük-ýolagçy gatnatmak, monýowr we senagat işleri üçin ulanylýan teplowozlar girýär.

Energiýa geçirilişi boýunça elektrik geçirilişli we gidrawliki geçirilişli teplowozlaryň bardygy ýokarda aýdylypdy.

Elektrik geçirilişi amala aşyryan enjam hemişelik, üýtgeýän-hemişelik we üýtgeýän toklarda işleýär. Kiçi kuwwatly senagat teplowozlarda mehaniki geçiriliş hem peýdalanylýar.

Teležkaly we gaty ramaly teplowozlar bar. Häzirki ulanylýan teplowozlaryň hemmesi diýen ýaly teležka görnüşli teplowozlardyr.

Teplowozlar ýöreyän relsleriniň aralygy bilen hem tapawutlanýar: kadaly aralykly (ýa-da giň) 1520 (1524) mm Russiýada we 1435 mm beýleki daşary ýurtlarda; Şeýle hem dar aralykly 600-den 1000 ÷ 1100 mm çenli.

Seksiýalarynyň sany boýunça bir, iki we köpseksiýaly teplowozlary görkezmek bolar.

Seriýasy boýunça teplowozlar köplenç T (teplowoz) harpdan başlanýar. Ikinji harpy geçirilişiň görnüşini kesgitleýär. (Э-elektrik, Г-gidrawliki). Üçünji harpy teplowozyň näme üçin niýetlenendigini görkezýär (II-ýolagçy, M-manýowr, ýük teplowozlarynda üçünji harp seriýada ýok). Teplowozyň seriýasy sanlar bilen görkezilýär. Şeýle-de ol sanlar teplowozyň öndürilýän zawodyny hem görkezýär:

1-den 49-a çenli belleniýän nomerler Harkowyň maşyngurluşyk zawodynyň önümidigini aňladýar;

50-den 99-a çenli nomerler Kolomeniň teplovozgurluşyk zawodyna degişli teplovozlary aňladýar;

100-den ýokarky nomerler Woroşilowgrad teplovozgurluşyk zawodyna degişli.

Meselem: ТЭП 70 - elektrik geçirişli, ýolagçy teplowozy, Kolomen zawodyniň önümi.

Eger-de seriýada harpyň öňünde san goýlan bolsa, onda ol kopseksiýaly teplowozyň seksiyá sanyny görkezýär, meselem 2 ТЭП 60- ikiseksiýaly ýolagçy teplowozy.

## Ikinji bap. Gidrawlikanyň esaslary

### 2.1. Gidrostatika

Gidrawlika dersinde suwuklyklaryň deňagramlylyk we hereket kanunlary we olaryň amalyýetde peýdalanylyş usullary öwrenilýär. Gidrawlika gidrostatika we gidromehanika bölümlerden durýar. Gidrostatika suwuklyklaryň deňagramlylyk kanunlaryny, gidromehanika bolsa olaryň hereket kanunlaryny öwrenýär. Gidrawlikada „suwuklyk“ düşünjesi maddanyň diňe bir suwuk halyny däl, eýsem onuň gaz halyny hem aňladýar. Suwuklyk hem öz gezeginde damja- we gazgörnüşlilere bölünýär.

**Suwuklyklaryň fiziki häsiýetlerine** udel agram, dykzlyk, şepbeşiklik, gysylyjylyk, ýylylyk giňelmesi ýaly fiziki ululyklar degişlidir.

Göwrüm birligindäki suwuklygyň agramyna udel agram diýilýär.

$$g = \frac{P}{V} \quad (2.1.1)$$

bu ýerde  $P$  – suwuklygyň agramy ( $N$ ),  $V$  – göwrümi ( $m^3$ ),  $\gamma$  – udel agramy ( $N/m^3$ ).

Dykzlyk ( $\rho$ ) – suwuklygyň birlik göwrümindäki massasydyr

$$r = \frac{m}{V} \quad (2.1.2)$$

bu ýerde  $m$  – suwuklygyň massasy ( $kg$ ),  $V$  – göwrümi ( $m^3$ ).

Udel agram bilen dykzlyk aşakdaky ýaly baglanyşykly

$$g = r \cdot g \quad (2.1.3)$$

bu ýerde  $g = 9,81 \text{ m/c}^2$  – erkin gaçmanyň tizlenmesi.

Şepbeşiklik – suwuklyk bölejikleriniň bir-birine görä hereket etmeginde döreýän garşylygy häsiýetlendirýär. Suwuklygyň diwara galtaşýan ýerinde onuň bölejikleriniň diwara görä tizligi nula deňdir. Oňa ýelmeşme şerti diýilýär. Suwuklygyň diwara galtaşýan ýerinde we suwuklygyň gatlaklarynyň özara hereketinde sürtülme ýüze çykýar.

Udel sürtülme güýji  $t$  harpy bilen belenip, aşakdaky formula bilen kesgitlenýär.

$$t = \frac{F}{S} = m \frac{\Delta u}{\Delta h} \quad (2.1.4)$$

bu ýerde  $\mu$  – **dinamiki şepbeşiklik** ( $\frac{N \cdot s}{m^2}$  ýa-da  $Pa \cdot s$ ).

Gidrawlikada kinematiki şepbeşiklik diýilen düşünje hem ulanylýar.

$$n = \frac{m}{r} \quad (2.1.5)$$

ölçeg birlihi:  $m^2 / s$ .

Şepbeşiklik suwuklygyň bölejikleriniň hereketlenijilik derejesini kesgitleýär.

Suwuklygyň giňelmesi **göwrümine giňemegiň temperatura koeffisiýenti** diýilen ululyk bilen häsiýetlendirilýär we aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär

$$b_t = \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta V}{V_0} \quad (2.1.6)$$

bu ýerde  $\beta_t$  – göwrümine giňemegiň temperatura koeffisiýenti ( $\frac{1}{grad}$ ),  $V_0$  – başlangyç göwrüm,  $\Delta V$  – göwrümiň artdyrmasy.

Suwuklygyň gysylyjylygy göwrümleýin gysylyjylyk koeffisiýenti bilen häsiýetlenilýär

$$b_v = -\frac{1}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta V}{V_0} \quad (2.1.7)$$

**Gidrostatikanyň esasy deňlemesi.** Suwuklygyň içindäki islendik nokadynda gidrostatik basyş ( $p$ ) suwuklygyň erkin üstüne düşýän basyşyň ( $p_0$ ) we şol nokatdan suwuklygyň üstüne çenli beýiklige deň bolan suwuklyk sütüniniň basyşynyň ( $\rho gh$ ) jemine deňdir

$$p = p_0 + \rho gh \quad (2.1.8)$$

(2.1.8) formula boýunça kesgitlenilýän basyşa doly ýa-da absolýut basyş diýilýär. Artykmaç ýa-da monometrik basyş bolsa

$$p_{art} = p - p_0 = \rho gh \quad (2.1.9)$$

formula bilen aňladylýar.

Basyşyň birligi:  $N/m^2$ .

**Paskalyň kanuny** boýunça ýapyk gidrawliki ulgamyň haýsy hem bolsa bir bölegine goýlan basyş bu ulgamdaky suwuklygyň ähli ýerine geçirilýär.

Gidrostatiki kanuna görä suwuklygyň gabyň diwaryna edýän basyşy onuň beýikligine görä birmeňzeş däl.  $h=0$  bolanda, ýagny suwuklygyň üstünde, diwara edilýän  $p$  basyş daşky  $p_0$  basyşa deň bolýar, ýagny  $p=p_0$ . Gabyň düýbünde bolsa ( $h=H$ ) diwara edilýän basyş  $p = p_0 + \rho gh$  formula bilen kesgitlenýär.



Suwuklykdan doldurylan gabyň orta beýikliginde suwuklygyň diwara edýän basyşy  $p_{or} = p_0 + \frac{1}{2} \rho g h$  formula bilen kesgitlenilýär.

## 2.2. Gidrodinamika

Gidrodinamikada hereket edýän suwuklygyň hereket kanunlary öwrenilýär. Gidrodinamikada suwuklyk aýry-aýry elementar çüwdirimlerden ybarat bolup, olar bir-birleri bilen garyşman hereket edýär diýlip hasaplanylýar. Elementar suw çüwdürimleriniň toplумы suwuklygyň akymyny emele getirýär. Suwuklygyň akymynyň kese kesiginden wagt birliginde geçýän suwuklygyň mukdaryna **suwuklygyň harçlanmasy** diýilýär.

Göwrümleýin harçlanma ( $Q, m^3/s$ ) we massalaýyn harçlanma ( $M, kg/s$ ) düşüňjeleri aşakdaky ýaly baglanyşýarlar

$$M = \rho Q. \quad (2.2.1)$$

Akymyň ortaça tiziligi

$$v = \frac{Q}{S} \quad (2.2.2)$$

formula bilen kesgitlenilýär, bu ýerde  $S$  – akymyň kese kesiginiň meýdany. Tizlik belli bolsa şu formuladan göwrümleýin harçlanmany kesgitlemek bolýar

$$Q = v \cdot S \quad (2.2.3)$$

$S$  meýdanyň suwuklyk tarapyndan öllenen perimetre ( $\kappa$  – „kappa“, ölçeg birligi  $m$ ) bolan gatnaşygyna gidrawliki radius diýilýär:  $R = S/\kappa$ .

Eger-de akymyň her bir nokadynda tizlik, basyş we temperatura wagtyň geçmegi bilen üýtgemeyän bolsa, onda

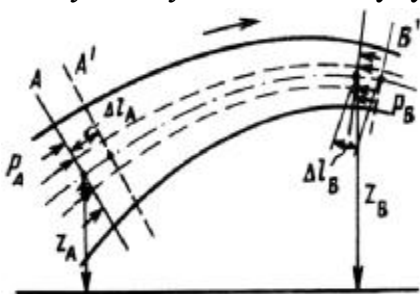
suwuklygyň hereketine durnugyşan diýilýär. Eger-de akym tutuş uzynlygy boýunça kese kesiginiň meýdanyny we tizligini üýtgetmeýän bolsa, şeýle durnugyşan herekete deňölçegli hereket diýilýär.

Bölünmeýän akymyň tutuş uzynlygy boýunça islendik kesiginde suwuklygyň harçlanmasy birmeňzeşdir.

$$Q = v \cdot S = \text{const} \quad (2.2.4)$$

Bu deňlemä akymyň üznüksizliginiň deňlemesi diýilýär. Bu formula massanyň saklanmak kanunyndan gelip çykýar.

**Gidrodinamikada Bernullynyň deňlemesi** uly ähmiýete eýedir. Bernullynyň deňlemesi A we B kesigiň arasyndaky durnukly akymyň örän kiçi  $\Delta t$  wagt arasyndaky ýagdaýy esasynda getirilip çykarylýar. Onuň getirilip çykarlyşy gidrawlika degişli derslerde giňişleýin berilýär. Bernullynyň deňlemesi aşakdaky ýaly aňladylýar



2.1 –nji surat. Suwuklygyň akymynyň shemasy

$$z_A + \frac{p_A}{g} + a_A \frac{v_A^2}{2g} = z_B + \frac{p_B}{g} + a_B \frac{v_B^2}{2g} \quad (2.2.5)$$

Şeýle deňlik akymyň elementleriniň islendik kesiginde ýerine ýetýär. Onda ýokarky deňlemäni umumy görnüşde aşakdaky ýaly ýazmaly bolar

$$z + \frac{p}{\gamma} + a \frac{v^2}{2g} = \text{const}, \quad (2.2.6)$$

bu ýerde  $p$  - basyş,  $v$  – tizlik,  $\gamma$  - udel agram,  $a$  - Koriolis koeffisienti.

Bu deňleme suwuklygyň ideal akymy üçin dogrudyr. Manysy boýunça, ol durnugyşan ideal suwuklyk akymynda udel energiýanyň hemişelikdigini aňladýar. (2.2.6) formulada birinji agza seredilýän derejeden (üstden) akymyň degişli kesigine çenli beýikligi (geometriki napory) aňladýar. Ikinji agza suwuklygyň sütüniniň beýikligi bilen kesgitlenilýän gidrostatiki basyşy aňladýar. Üçünji agza akymyň kinetik energiýasyny aňladýar, oňa tizlik (ýa-da dinamiki) napory diýilýär.

Üç agzanyň jemi akymyň  $H$  doly udel energiýasyny (doly napory) emele getirýär

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + a \frac{v^2}{2g} \quad (2.2.7)$$

Hemişelik naporda (2.2.6) deňlik akymyň tizligi artanda basyşyň kiçelýändigini, ýa-da tersine, akymyň basyşy ýokarlansa tizligiň peselýändigini görkezýär. Bu baglanyşyga Bernullynyň kanuny diýilýär.

### 2.3. Turba boýunça suwuklygyň hereketi

**Gidrawliki garşylyk.** Suwuklyk turba ýa-da kanal boýunça akanda daşky we içki sürtülme ýüze çykýar. Netijede akymyň akmasyny kynlaşdyrýan garşylyk ýüze çykýar. Oňa gidrawliki garşylyk diýilýär.

Çyzykly we ýerli garşylyk diýilýän düşüňjelerden peýdalanýarlar. Suwuklyk akymynyň umumy garşylygy

ýeňmek üçin sarp edýän energiýasy turbanyň uzynlygyna göni proporsional bolsa, onda oňa çyzykly garşylyk diýilýär. Çyzykly garşylyk turbalaryň göni böleklerinde bolýar.

Çyzykly garşylyk suwuklygyň dykzlygyna we şepbeşikligine, turbanyň diametrine, akymyň tizligine hem-de turbanyň içki üstüniň arassalygyna (büdür-südürligine) bagly.

Ýerli garşylyk turbalar boýunça akýan akymyň öwrülmesinde, kesiginiň üýtgemesinde, kranlarda, şahalanmalarda we ş.m.-lerde ýüze çykýar. Bu ýagdaýda akymyň energiýasy köwlenme we akym tarapyndan diwarlara bolan urga sarp edilýär.

Çyzykly garşylyk, şeýle hem ýerli garşylyk islendik gidrawliki hasaplamalarda takyk kesgitlenilmelidir.

Suwuklygyň häsiýetli iki sany akym kadasyny tapawutlandyryrlar: laminar we turbulent akymlar. Laminar akymda suwuklygyň gatlaklary bir-birlerine parallel bolup, garyşman akýarlar. Laminar akym akymyň tizligi pes bolanda ýüze çykýar. Tizligiň artmagy bilen tizligiň belli çäginde soň akym turbulent, köwlenme görnüşe geçýär. Suwuklyk gatlaklary intensiw garyşyp başlaýarlar.

Laminar ýa-da turbulent kadanyň ýüze çykmagy akymyň kinetiki energiýasynyň içki sürtülmäniň işine bolan gatnaşygy bilen kesgitlenilýär. Bu gatnaşyk aşakdaky görnüşde aňladylan ölçegsiz ululyk bilen häsiýetlendirilýär

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{n}. \quad (2.3.1)$$

Re - Reýnoldsyň sany (ýa-da kriteriýasy). Akymda Re sanyň kiçi bolmagy suwuklykda içki sürtülmäniň artykmaçlygy aňladýar we bu ýagdaýda laminar akym ýüze çykýar. Eger-de Re san uly bolsa, akymyň kinetik energiýasy artykmaçlyga eýe bolýar we turbulent akym ýüze çykýar.

**Gidrawliki garşylygıň hasaplanylşy.** Naporyň çyzykly ýitgisi Darsi-Weýsbolyň formulasy bilen kesgitlenýär

$$\Delta H_l = l \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (2.3.2)$$

bu ýerde  $l$  - çyzykly garşylyk koeffisienti, ol Reýnoldsyň sanyna bagly. Laminar akymda kese kesigi tegelek bolan turbada  $l = 64/Re$  (tizlige bagly), turbulent akym üçin  $l$  tizlige az bagly. Ol köp ýagdaýda turbalaryň diwarlarynyň бүдүр-сүдүрлігі bilen kesgitlenilýär.

Yerli napor ýitgisi aşakdaky formula bilen kesgitlenýär.

$$\Delta H_z = V \frac{v^2}{2g}, \quad (2.3.3)$$

$V$ -ýerli garşylygıň koeffisienti.  $V$  koeffisient garşylygıň görnüşine, onuň geometrik häsiýetnamasyna bagly bolup, tejribeler arkaly kesgitlenilýär. Bu koeffisientiň ululygy sprawoçniklerde berilýär.

Gidrawliki meselede gerek suwuklygıň mukdaryny goýbermek üçin basyşyň peselmesi (napory) ýa-da berlen basyşyň peselmesinde harçlanýan suwuklygıň mukdary kesgitlenilýär.

Islendik ýagdaýda ulgamyň doly napor ýitgisi kesgitlenilýär

$$\Delta H = \sum \left( l \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \right) + \sum \left( V \frac{v^2}{2g} \right), \quad (2.3.4)$$

Eger-de turbageçirijileriň islendik ýerinde akymyň orta tizligi birmeňzeş bolsa, ýokarky deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazmak bolar

$$\Delta H = \left( \sum l \frac{1}{d} + \sum V \right) \frac{v^2}{2g}. \quad (2.3.5)$$

Adatça ulgamyň hemme ýerinde akymyň tizligi birmeňzeş däl. Emma muňa garamazdan suwuklygyň harçlanmasy birmeňzeşdir. Şonuň üçin tizligi harçlanma arkaly aňladyp, ýokarky formulany aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$\Delta H = \sum \left( l \frac{1}{d} \frac{Q^2}{2gS^2} \right) + \sum \left( V \frac{Q^2}{2gS^2} \right) = \frac{1}{2g} \left[ \sum \left( l \frac{1}{dS^2} \right) + \sum \left( V \frac{1}{S^2} \right) \right] Q^2 = z Q^2 \quad (2.3.6)$$

bu ýerde  $z = \frac{1}{2g} \left[ \sum \left( l \frac{1}{dS^2} \right) + \sum \left( V \frac{1}{S^2} \right) \right]$  - gidrawliki häsiýetnama ýa-da ulgamyň umumy garşylyk koeffisienti.

## 2.4. Nasoslar we wentilýatorlar

Nasos – bu gidrawliki maşyn bolup, gidrawliki ulgam ýa-da turbageçirijiler boýunça suwuklygyň akmagyny üpjün edýär. Nasosyň harçlaýan energiýasy turbageçirijilerde ýüze çykýan çyzykly we ýerli garşylyklary ýeňip, olardan suwuklygyň kadaly akmasyny üpjün etmeli.

Wentilýatorlar gaz şekilli sredany (howany) aralyga geçirmek üçin niýetlenendir.

Nasoslar we wentilýatorlar olara berlen mehaniki energiýany suwuklyklaryň we gazlaryň potensial we kinetik energiýasyna öwürýär.

Nasosyň işi talap edilýän akymyň we naporyň (basyşyň) üpjün edilişi, peýdaly täsir koeffisiýenti we sarp edilýän kuwwat bilen häsiýetlendirilýär.

Teplowozlarda ulanylýan nasoslar iki topara bölünýär: göwrümleýin we dinamiki düzgün boýunça işleýän nasoslar.

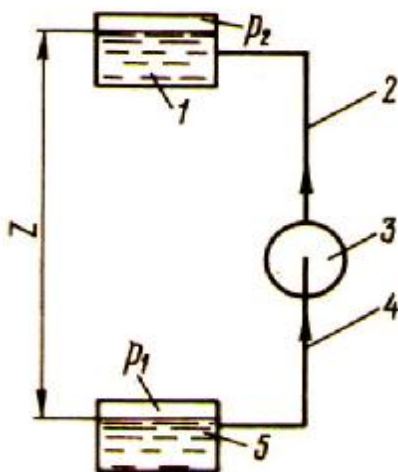
Göwrümleýin işleýiş düzgünli nasoslarda suwuklyk öz eýeleýän göwrüminiň periodiki üýtgemegi sebäpli herekete gelýär.

Dinamiki işleýiş düzgünli nasoslarda nasoslaryň pilçelerine berilýän mehaniki energiýa suwuklygyň hereketiniň energiýasyna harçlanýar.

Göwrümleýin düzgün boýunça işleýän maşynlara porşenli, şesterneli, hyrly, rotar-porşenli nasoslar şeýle-de dizellerde üflemäni amala aşyrýan rotorly howaüfleýjiler girýär.

Dinamiki düzgünli nasoslara pilçeli merkezden daşlaşýanly we okly nasoslar hem-de wentilýatorlar girýär.

Nasos desgalarynda doly napor ( $gH$ ) sarp edilen energiýanyň suwuklygyň massasyna bolan gatnaşygy bilen kesgitlenilýär. Bernullynyň deňlemesi esasynda ol aşakdaky görnüşde aňladylýar.



2.2-nji surat. Nasosly desganyň shemasy

$$gH = gz + \frac{p_2 - p_1}{g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g \sum h_{\text{yit}}, \quad (2.4.1)$$

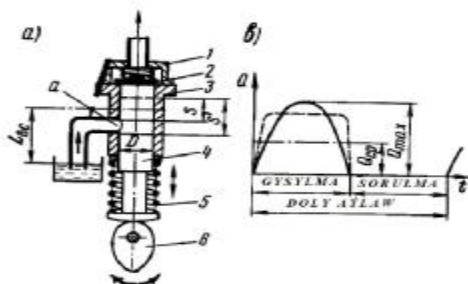
bu ýerde  $p_1$  we  $p_2$  - aşaky we ýokarky gaplardan basyşlary (2.2-nji surat),  $P_a$ ;  $v_1$  we  $v_2$  - nasosyň girişinde we çykyşynda suwuklygyň tizlikleri,  $m/s$ .  $gH$ -yň ölçegi birligi  $J/kg$  (Joul-kilogram).

Nasosyň doly kuwwaty aşakdaky formula esasynda kesgitlenýär.

$$N = \frac{gMH}{1000} = \frac{Q \cdot P}{1000}, \quad (2.4.2)$$

bu ýerde  $N$ -kuwwat,  $kWt$ ;  $Q$ -göwrümleýin rashod ,  $m^3/s$ ,  $M$ -massalaýyn rashod;  $H$ -napor,  $m$ ;  $p$ -basyş,  $Pa$ .

Porşenli nasoslaryň esasy bölegi porşen ýa-da plunžerdir. Olar hereket edýän diwary emele getirip, ýapyk kamerada hereket edýär. (2.3-nji surat).



2.3-nji surat. Plunžerli nasosyň shemasy (a) we wagta baglylykda rashodyň grafigi (b)

Plunžeriň (4) hereket etmegi bilen gilzanyň (3) we klapanyň (2) diwarlary bilen çäklenen işçi göwrüm periodyny üýtgetýär. Plunžerden öňe-yza bolan hereket etmegi bilen meselem ýumrujygyň (6) aýlanma we pružynyň (5) täsiri bilen ýumrujygyň bir aýlawynyň netijesinde iki sany içgi aýlawy emele getirýär. Olaryň biri sorulma, beýlekisi bolsa gysylma zerarly howanyň itiklenmesi (nagnetaniýa) bilen plunžeriň aşak süýşmesi bilen (2) klapanyň ýapylýar. Plunžeriň giňişliginde seýreklenme döreýär. Plunžer tarapyndan  $a$  äpişgäniň açylmagy bilen gilzada suwuklyk plunžer asty giňişligi doldurýar. Pružiniň ýokaryk hereketi suwuklygyň itekleme prosesine gabat gelip, pružiniň güýjemesini ýeňmäge suwukluga basyş berýär.



Plunžerli nasosyň berýän suwuklygynyň mukdary aýlawyň dowamynda hemişelik bolman, eýsem üýtgeýär.

Bir sekundyň dowamynda silindirden çykarylýan rashod  $Q=Fv$  formula boýunça hasaplanylýar, bu ýerde  $F$ -meýdan,  $m^2$ ;  $v$ -tizlik,  $m/s$ .

Eger-de porşen şatun-kriwaşip mehanizmi bilen herekete getirilýän bolsa, onda porşeniň tizligi kriwoşipiň aýlanma burçuna baglanyşyklykda sinusoida boýunça üýtgeýär. Bu ýagdaýda  $Q$

$$Q = F \cdot r \cdot w \cdot \sin a$$

formula boýunça hasaplanýar. Bu ýerde  $r$ ,  $w$  we  $a$  degişlilikde radius, aýlanma ýygylgy we kriwoşipiň aýlanma burçy. (2.3) surata laýyklykda, rashod we suwuklugyň tizligi sinusoidal kanun boýunça üýtgeýär. Eger-de nasosyň kriwoşipiniň aýlanma ýygylgy minutdaky aýlawyň sany bilen aňladylan bolsa, onda nasosyň göwrümleýin rashody  $Q = s \cdot n / 60$  formula bilen kesgitlenilýär.

Nasosyň hakyky göwrümleýin roshody hemişe nazary rashoddan kiçidir.

Formuladan görnüşi ýaly, rashod (nasosyň berişi) napora bagly däl.

Nasosy herekete getirmek üçin kuwwat aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär

$$N_n = \frac{N}{h_{meh} h_0 h_g}, \quad (2.4.3)$$

$h_{meh}$  - sürtülme güýjüni ýeňip geçmek üçin energiýa ýitgisini hasaba alýan mehaniki p.t.k.  $h_{meh}$ -niň bahasy  $0,85 \div 0,95$  aralykda ýatýar.

$h_0$  -işçi göwrüminiň doly ulanylmazlygyndan gelip çykýan, göwürümleýin p.t.k.  $h_0$ -yň bahasy nasoslaryň gurluş aýratynlyklaryna, olaryň iýilmesine bagly. Ululygy  $0,8 \div 0,98$  aralykda bolýar.

-gidrawliki p.t.k. Bu koffisiýent klapanlaryň, nasosyň kanallarynyň gidrawliki garşylygy ýeňmek üçin ýitirilýän energiýa bagly.

Nasosyň doly p.t.k.-sy  $h_n = h_{meh} \cdot h_0 \cdot h_g$  deňdir.

Ýokarky sanlar boýunça  $h_n = 0,6 \div 0,9$  deňdir.

Bu ýerden nasosyň doly p.t.k.-sy bilen kuwwaty aşakdaky görnüşde aňlatmak bolar

$$N_n = \frac{N}{h}, \quad (2.4.4)$$

Teplowoz gurluşygynda plunžerli nasoslar dizel ýangyjyny hereketlendirijileriň silindrlerine bermek üçin peýdalanylýar. Emma bu görnüşli nasoslar suwuklygyň hereketiniň deňölçeýsizligi sebäpli rashodyň pesligi, ulanyjylyk ýagdaýyň ýaramazlygy üçin teplowozlarda ulanmak üçin çäklendirýär.

**Şesterneli nasoslar.** Bu nasoslar göwürümleýin düzgün boýunça işleýär. Bu görnüşli nasoslaryň içki organlary doly deňagramly bolup, onuň hereket edýän böleginiň ýokary ýygýlykda aýlanmagyna mümkinçilik berýär. Netijede şeýle nasoslaryň massasy we ölçegleri kiçi bolýar. Bu görnüşli nasoslaryň umumy p.t.k.-sy  $0,6 \div 0,75$ .

Şesterneli nasoslar edil porşenli ýaly pulsirlenen berişli. Rashodyň deňölçeýsizligi şesterneleriň dişleriniň sanynyň artdyrylmagy bilen kemelýär. Suwuň eýeleýän göwrüminiň giňelmegi bilen ol ýerde wakuum emele gelýär. Bu ýagdaý suwuklykdan howanyň çykmagyna getirýär. Köpürjik emele gelýär. We gidrosistemanyň netijeliliginiň peselmegine getirýär.

Bu ýetmezçiligi düzetmek üçin bu görnüşli nasoslarda gytak dişli ýa-da şewronly şesterneler peýdalanylýar. Şeýle şesterneli nasoslarda diňe bir wakuum ýüze çykmany azaldylan, eýsem rashodyň deňölçeşsizligi hem kemelýär.

**Wintli nasoslar.** Bu görnüşli nasoslaryň şesterneli nasoslardan esasy artykmaçlygy: rashodyň deňölçeşsizligi, basyşyň üýtgemesiniň azalmagy (pulsasiýanyň ýok edilmegi), suwuklygyň göwrüminiň hemişeligi, suwuklygyň köpürjige öwürülmesiniň bolmazlygy, sessizligi, ýokary p.t.k.-lylygy ( $0,8 \div 0,85$ ). Wintli nasoslar köp görnüşli teplowoz dizelleriniň gidrosistemalarynda peýdalanylýar. Bu görnüşli nasoslaryň esasy kemçiligi olaryň ýasalyş tehnologiýalarynyň çylşyrymlylygyndan ybaratdyr.

#### **Rotor-lopastly (ganatly) nasoslar.**

Bu görnüşli nasoslar teplowozlaryň kömekçi agregatlarynda reduktorlary, kompressorlary we başgalary ýaglamakda ulanylýar. Nasoslar garylýan suwuklygyň göwrüminiň bölünip çykarylyş düzgünine esaslanyp işleýär. Basyşy we rashody pes.

**Aksial-porşenli nasoslar.** Bu görnüşli nasoslarda plunžerler ok boýunça (aksial) öňe-yza hereket edýär.

Nasosyň nazary taýdan itekleýän suwuklugynyň rashody

$$Q = \frac{FD_0 \cdot \text{tg} \alpha \cdot z_s \cdot n}{60}, \quad (2.4.5)$$

formula bilen kesgitlenýär. Bu ýerde  $F$ -porşeniň meýdany,  $m^2$  ( $F = \pi d_s^2 / 4$ ),  $d_s$ -porşeniň diametri,  $m$ ;  $z_s$  - silindriň blogundaky porşenleriň sany;  $D_0$  - blokda ýerleşdirilen silindriň okunyň ýerleşýän töwereginiň diametri,  $m$ ;  $n$  - walyň aýlanma ýygyllygy,  $aýl/min$ .

Nasosyň p.t.k.-sy  $h_n = 0,88 \div 0,92$ ; aksial-porşenli nasoslaryň göwrümleýin p.t.k.-sy  $h_n = 0,95 \div 0,98$ .

Aksial-porşenli gidroherekletlendirijileriň artykmaçlygy kiçi massada we ölçegde uly kuwwaty geçirip bilmek mümkinçiliginden ybaratdyr. 1 kWt geçirilýän kuwwata düşýän massa 5-6 kg deň. Bu nasoslaryň kemçiligi hökmünde olaryň bahalarynyň ýokarylygyny we abatlamaklygyny çylşyrymlydygyny görkezmek bolar.

**Lopastly (ganatly) merkezden daşlaşýanly we okly nasoslar we wentilýatorlar.** Lopastly nasoslarda lopast suwuklyga täsir edip, akymyň kinetik we potensial energiýalaryny artdyrýar.

Lopastly nasoslaryň nazary napory

$$gH_z = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2},$$

bu ýerde  $c_1$  we  $c_2$  suwuklyk bölejikleriniň nasosyň iş tigrine girýän we çykýan ýerlerindäki absolyt tizlikleri,  $u_1$  we  $u_2$  - töwerek boýunça tizlikleri,  $w_1$  we  $w_2$  - otnositel tizlikleri.

Deňligiň sag böleginiň birinji agzasy merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri bilen statiki naporyň ýokarlanýandygyny görkezýär. Ikinji agza, haçan-da  $w_1 > w_2$  bolanda, otnositel hereketde akymyň haýallamagy sebäpli statiki naporyň ýokarlanmasyny kesgitleýär; üçünji agza kinetik energiýanyň ulalmagyny görkezýär (dinamiki napor).

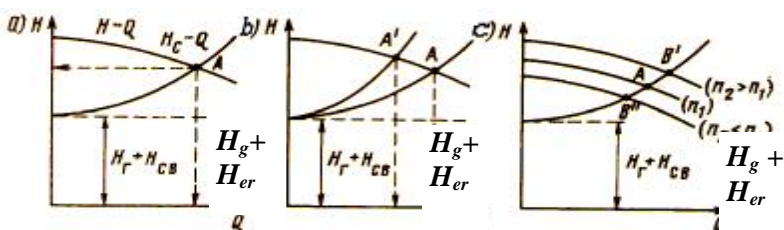
Merkezden daşlaşýanly nasosyň nazary rashody

$$Q = fC_{r2} = 2pR_2b_2C_2 \sin a_2,$$

bu ýerde  $b_2$  – içki tigriniň giňligi.

Lopastly nasoslaryň häsiýetnemasyny  $H=f(Q)$  baglanyşyk bilen häsiýetlendirilýär (2.4-nji surat).

Nasosyň işiniň durnukly bolmagy üçin onuň häsiýetnamasyna toruň häsiýetnamasy goşulýar (2.4, a) surat . Ol suwuklygy ýokary galdyrmak we toruň garşylygyny ýeňmek



2.4-nji surat. Nasosyn nasiýetnamasy

- a) torda nasosyň bilelikdäki işi ( $H-Q$  nasosyň naporynyň rashoda baglylygy, toruň  $H_c - Q$  häsiýetnamasy);
- b) drosselirmek bilen sazlamak;
- c) aýlanma ýygylýk bilen sazlamak.

üçin zerur bolan nasosyň naporyny görkezýär

$$H_c = H_{bol} = H_g + H_{er} + zQ^2,$$

bu ýerde  $H_c$  - toruň napory;  $H_{bol}$  - bolmaly napor;  $H_g$ ,  $H_{er}$  - geometriki we erkin naporlar;  $z$  - turbageçirijileriň umumy garşylyk koeffisiýenti.

A nokada berlen tor üçin içki nokat diýilýär. Bu nokat häsiýetnamalaryň kesişen ýerinde ýerleşýär.

Drosselirlenme sazlanylmasynda (zadwižkaly) naporyň ýitgisi ýokarlanýar. İçki A nokat A' nokada süýşýär (2.4, b) surat). Nasosyň rashody azalýar. Nasosyň işi üçin sarp edilýän kuwwatyň mukdary artýar.

Işçi tigriň aýlanma ýygylýgynyň üýtgemesi sazlananda nasosyň häsiýetnamasynyň (2.4, c) surat)  $n_2 > n_1$  bolanda ýokaryk süýşmesi,  $n_3 < n_1$  bolanda bolsa aşak süýşmesi bolýar. Bu ýagdaýda nasosyň rashody nasosyň alnan täze

häsiýetnamasy bilen toruň häsiýetnamasynyň kesişýän B' we B'' nokatlary bilen kesgitlenilýär. Işçi tigriň aýlanma ýygylgynyň üýtgemesini sazlamak usuly ykdysady taýdan iň amatlydyr. Emma munuň üçin sazlaýjy hereketlendiriji gerek bolýar. Merkezden daşlaşanly nasoslar teplovoz hereketlendirijileriniň sowadylyş ulgamynda giňden peýdalanylýar.

**Okly gidrawliki maşynlar.** Bu maşynlaryň merkezden daşlaşanly maşynlardan esasy tapawudy akymyň hereketiniň işçi tigriň okunyň ugry boýunça ugrukdyrylýandygydyr. Işçi tigriň ganatlary suwuklygyň kinetik we potensial energiýasyny ýokarlandyrýar.

Okly nasoslaryň işçi tigirleri ýokary çalt hereketliligi bilen häsiýetlendirilýär. Olaryň ganatlary merkezden daşlaşanly nasoslara garanynda giň bolup, çykyşyň diametriniň girişiň diametrine bolan gatnaşygy kiçi baha eýedir ( $0,8 \div 1,0$ ). Merkezden daşlaşanly nasoslarda bu gatnaşyk  $1,5 \div 3$  deňdir. Şonuň üçin okly nasoslar naporyň uly bolmadyk bahalarynda uly rashodlary geçirmäge ukyplydyr.

### **Merkezden daşlaşanly we okly wentilýatorlar**

Wentilýatorlar ýokarda belleşimiz ýaly howany aralyga geçirmek üçin niýetlenen gidrawliki maşynlardyr.

Dürli görnüşli merkezden daşlaşanly wentilýatorlaryň basyş koeffisiýenti  $0,5 \div 1,5$  aralykda üýtgäp, ol ganatlaryň sanyna we görnüşine baglydyr. Okly wentilýator üçin basyş koeffisienti  $\bar{p} < 0,5$ . Merkezden daşlaşanly we okly wentilýatorlaryň parametrleri edil merkezden daşlaşanly we okly nasoslaryňky ýaly deňlemeler bilen aňladylýar. Merkezden daşlaşanly wentilýatorlar çekiji elektrik maşynlaryny we apparatlary sowatmak üçin ulanylýar.

Okly wentilýatorlar ýokary rashodlary döredýär we olar teplowozlarda dizelleriň sowadyjy üstünden köp howany göýbermek üçin ulanylýar.

**Üçünji bap. Termodinamikanyň we ýylylyk  
geçirilişiň esaslary**  
**3.1 Esasy maglumatlar. Hyýaly gaz kanunlary.**  
**Ýylylyk sygymy**

Tehnikada ýylylyk-energiýasynyň mehaniki energiýa öwrülişiginiň kanunalaýyklygyny öwrenýän ylma **tehnika termodinamikasy** diýilýär. **Termodinamika** grek sözi bolup, **termo** – ýylylyk we **dinamika** – güýç diýmekdir.

Termodinamika kanunlary bize belli bolan energiýanyň saklanmak we öwürlmek kanunyny mukdar taýdan häsiýetlendirip, ol dürli fiziki we himiki prosessleriň ugruny görkezýär.

Termodinamikanyň beýleki ylmlardan esasy tapawudy ol jisimleriň molekulýar gurluşyny göz önünde tutman ýa-da jisimleriň mikrostrukturasyna bagly bolmazdan diňe olaryň ýagdaýlarynyň üýtgeýşini häsiýetlendirýär.

Termodinamikanyň esasy termodinamikanyň 1-nji we 2-nji kanunlary düzýär. Termodinamikanyň 1-nji kanuny energiýanyň saklanmak, öwürlmek kanunynyň mukdar tarapyny häsiýetlendirse, onda 2-nji kanun ol kanunyň hil tarapyny häsiýetlendirýändir.

Termodinamikanyň kanunlarynyň jisimleriň molekulýar gurluşlaryna bagly bolmazlygy, onuň käbir ýetmezçiligi bolup, ol kanunlar boýunça jisimleriň häsiýetleriniň öwrenip bolmajagyny görkezýär. Eger-de ol häsiýetler belli bolsa, onda ol kanunlar arkaly jisimleriň ýa-da tutuş ulgamyň energiýa öwrülişikleri barada, umuman olarda bolup geçýan prosessler barada giň maglumatlary almak bolýar.

Gazyň ýa-da işçi jisimiň termodinamiki ýagdaýny häsiýetlendirýän parametrler hökmünde **basyş, temperatura**



hem-de **udel göwrüm** ulanylýar. Udel göwrüm 1 kg maddanyň tutýan göwrümi bolup, ol aşakdaky formula bilen kesgitlenýär:

$$u = \frac{V}{m}$$

Biziň daş töweregimizi gurşap alyan howa molekulalary dyngysyz üstlere, diwarlara, biziň bedenimize urlup başyş edýärler. Ol **basyş** aşakdaky formula arkaly aňladylýar:

$$p = \frac{F}{S} \quad (3.1.1)$$

$F$  – üste täsir edýan güýç. Güýjüň ölçeg birligi Nýuton.

Basyşyň ölçeg birligi  $\frac{N}{m^2}$ .

Basyş ölçenende adatça atmosfera basyşyna görä ölçenilýär. Şonuň üçinem manometrlerde (howanyň basyşyna görä) artykmaç basyş ölçenilýär. Howanyň basyşy barometrler bilen ölçenýär. Tehnikada basyş ölçeniş usullaryna baglylykda barometrik we manometrik basyşlar diýlip atlandyrylýar. Barometrik we manometrik basyşlaryň jemine absolýut basyş diýilýär. Eger-de haýsy hem bolsa bir gapdaky howanyň basyşy atmosfera basyşyndan kiçi bolsa, onda oňa wakuum ýa-da wakuum basyşy diýilýär. Ýokarda aýdylanlara görä:

$$p_{abs} = p_{man} + p_{bar}$$

şeýle hem,

$$p_{abs} = p_{bar} - p_{wak} \quad (3.1.2)$$

Howanyň basyşy onuň temperaturasyna baglydyr. **Temperatura** esasy termodinamika parametrleriniň biri bolup, ol jisimleriň gyzgynlyk derejesini häsiýetlendirýär. Islendik sredanyň gyzgynlyk derejesi onuň molekulalarynyň, atomlarynyň tertipsiz hereketiniň çaltlygy bilen kesgitlenilýär.

**Jisimiň içki energiýasy** esasan, onuň molekulalarynyň hereketiniň kinetik we potensial energiýasyndan durýar. Kinetik energiýa molekulalaryň tizligi bilen kesgitlenilýär:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} \quad (3.1.3)$$

Gazyň tertipsiz hereket edýän molekulalarynyň orta kwadrat tizligi aşadaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$u_{or.kw} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad (3.1.4)$$

bu ýerde  $k$  - Bolsmanyň hemişeligi.

Temperaturanyň üýtgemesi termometrler bilen ölçenilýär. Jisimleriň temperaturasyny ölçemek üçin dürli temperatura şkalalaryndan peýdalanylýar. Olar Selsiý, Kelwin, Farengeýt, Reomýura, Renkina temperatura şkalalarydyr.

Termodinamikada köplenç **termodinamiki temperatura**  $T$  bilen belgilenip, **Kelwin** birlikde ölçenilýär. **Selsiý** bilen ölçenilýän temperatura bolsa  $t$  harpy bilen belgilenilýär. Bu birlikleriň arasyndaky özara baglanyşyk aşadaky formula bilen aňladylýar.

$$T = t^{\circ}C + 273,16 \quad (3.1.5)$$

Jisimleriň termodinamika ulgamlarynda ýagdaýlaryny häsiýetlendirýän parametrleriniň ýene-de biri, jisimleriň udel göwrümidir. Islendik maddanyň dykzlygy onuň massasynyň göwrümine bolan gatnaşygy bilen kesgitlenilýär. Ýagny

$$r = \frac{m}{V} \quad (3.1.6)$$

Dykyzlygyň ters ululygy bolsa udel göwrümdir. Ýagny:

$$u = \frac{1}{r} \quad (3.1.7)$$

Diýmek, onuň ölçeg birligi  $\frac{m^3}{kg}$ .

Dykyzlyk, udel göwrüm jisimiň termodinamika parametrlere, ýagny, temperatura we basyşa baglydyr.

Maddalar adatça esasan üç halda bolup bilýär: gaty, suwuk hem-de gaz halynda. Jisimiň, ulgamyň termodinamik ýagdaýy deňagramlylyk ýagdaýyndaky ony häsiýetlendirýän termodinamika parametrleriň toplumy bilen kesgitlenilýär.

**Termodinamika ulgamy** diýip biri-birleri hem-de daşky sreda bilen ýylylyk we mehaniki täsirde bolýan, daşky sredadan çäklenen jisimlere, jisimleriň toplumyna düşünilýär. Termodinamika ulgamy häsiýetlendirýän parametrlar wagta görä üýtgemeseler, onda ol termodinamika deňagramlylygynda bolýar. **Daşky sreda** diýlip seredilýän ulgamyň daşyny gurşap alýan başga sreda ýa-da jisimler toplumyna aýdylýar.

**Termodinamika prosessi** diýip seredilýän ulgamyň ýagdaýynyň tükeniksiz üýtgeýiş toplumyna aýdylýar. Diýmek, termodinamika prosessi ulgamyň ýagdaýynyň tükeniksiz üýtgame yzygiderliginden ybaratdyr.

Termodinamika ýagdaýy häsiýetlendirýän parametrleriň arasynda hemişe özara baglanyşyk bardyr. Ol parametrleriň arasyndaky baglanyşyk, ýagny **ýagdaýyň deňlemesi** umumy görnüşde aşakdaky ýaly aňladylýar we **ýagdaý deňlemesi** diýilýär.

$$F(p, u, T) = 0 \quad (3.1.8)$$

Bu deňleme başgaça:

$$u = f(p, T); \quad p = f(u, T)$$

we

$$T = f(p, u) \quad (3.1.9)$$

görnüşlerde hem aňladylyar.

Ýokardaky deňlemelerden görnüşi ýaly, islendik parametrleriň biriniň uýtgemegi ulgamyň ýagdaýynyň uýtgemegine getirýär.

Hyýaly gaz diýlip gabyň içindeki seýreklendirilen gaza düşünilýär. Hyýaly gaz boljak bolsa onuň molekulalary material nokat hökmünde kabul edilip, olar özara çekişmeýän, diňe bir-birleri bilen maýyşgak urguda bolýan diýlip kabul edilýär. Hyýaly gazyň häsiýetleri tejribe arkaly birnäçe alymlar tarapyndan öwrenildi we olaryň ady bilen baglanyşykly birnäçe kanunlar açyldy. Olardan biri 1662-nji ýylda R. Boýl we oňa bagly bolmazdan 1676-njy ýylda Mariott tarapyndan açylan **Boýluň-Mariottyň kanunydyr**. Bu kanun boýunça 1 kg massaly hyýaly gaz üçin aşakdaky deňlik ýerine ýetýär:

$$pu = const \quad (3.1.10)$$

Bu kanun hemişelik temperaturada gazyň basyşy bilen göwrüminiň arasyndaky baglanyşygy görkezýär. Hemişelik temperaturada gazyň basyşy bilen göwrüminiň arasynda ters baglanyşyk bar.

Hyýaly gaza degişli 2-nji kanun Geý-Lýussaga degişlidir. Bu kanun boýunça hemişelik basyşda gazyň göwrümi bilen temperaturanyň arasynda çyzykly baglanyşyk bolup, gazyň göwrümi temperaturanyň artmagy bilen ulalýar.

$$V = V_0(1 + at) \quad (3.1.11)$$

1 kg gaz üçin bu kanun aşakdaky görnüşe eýedir:

$$\frac{u}{T} = const \quad (3.1.12)$$

Hemişelik göwrümde hyýaly gazyň basyşy bilen temperaturasynyň arasyndaky baglanyşyga **Şarlyň kanuny** diýilýär. 1 kg hyýaly gaz üçin bu kanun aşakdaky deňlik bilen aňladylýar:

$$\frac{p}{T} = const \quad (3.1.13)$$

Diýmek, hemişelik göwrümde gazyň basyşy bilen temperaturasynyň arasynda göni baglanyşyk bar. Bu üç kanunlaryň birleşdirilen ýagdaýy aşakdaky formula bilen aňladylýar.

$$\frac{p_1 u_1}{T_1} = \frac{p_2 u_2}{T_2}$$

ýa-da

$$\frac{pu}{T} = const . \quad (3.1.14)$$

deňlemäni alarys. Bu deňlemä **Boýl-Mariottyň** we **Geý-Lýussagyň birikdirilen kanuny** diýilýär

Bu deňlemeden görnüşi ýaly, gazyň basyşynyň göwrümüne köpeltmek hasylynyň absolýut temperature bölünmegi hemişelikdir.

Bu hemişelige uniwersal gaz hemişeligi diýilýär we  $R$  bilen belgilenýär.

Onda

$$pu = RT \quad (3.1.15)$$

Bu deňlemäni islendik  $m$  mukdardaky birjynsly gaz üçin aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$pV = mRT \quad (3.1.16)$$

Bu deňlemäni Boýl-Mariottyň we Geý-Lýussagyň kanunlaryny bileleşdirmegiň esasynda ilkinji gezek 1834-nji ýylda fransuz fizigi Emil Klapéýron bilen Mendeleyiw hödürledi. Şol sebäpli bu deňlemä hyýaly gaz üçin **Klapéýron-Mendeleyewiň deňlemesi** diýilýär.

Real gazlarda hyýaly gazlardan tapawutlylykda gaz halynyň haýsy-da bolsa bir parametri hasaplananda, molekulalaryň özara täsiri hem-de olaryň hususy göwrümi hasaba alynýar. Şonuň üçin hem onuň deňlemesi hyýaly gaz halynyň deňlemesinden birneme çylşyrymlydyr. Ýagny:

$$\left(p + \frac{a}{u^2}\right)(u - b) = RT \quad (3.1.17)$$

Bu deňleme Wander-Waalsyň deňlemesi diýen at bilen bellidir.

Haýsy hem bolsa berlen termodinamika prosessde gazyň birlik mukdarynyň temperaturasyny  $1^\circ\text{C}$  gyzdyrmak üçin gerek bolan ýylylygyň mukdaryna *udel ýylylyk sygymy* ýa-da ýöne *ýylylyk sygymy* diýilýär.

Gazyň mukdarynyň birligine baglylykda ýylylyk sygymy massalaýyn, göwrümleýin we molýar ýylylyk sygymy bolýar.

Mukdary 1 kg bolan gazy 1°C gyzdymak üçin gerek bolan ýylylygyň mukdaryna **massalaýyn ýylylyk sygymy** diýilýär we  $c$  harpy bilen belgilenip,  $J/(kg \cdot K)$  birliginde ölçenýär.

Mukdary  $1m^3$  bolan gazy normal şertde 1°C gyzdymak üçin gerek bolan ýylylygyň mukdaryna **göwrümleýin ýylylyk sygymy** diýilýär we  $c'$  harpy bilen belgilenip,  $J/(m^3 \cdot K)$  birliginde ölçenýär.

Gazyň 1 molekulýar massasyny (1 molyny) 1°C gyzdymak üçin gerek bolan ýylylygyň mukdaryna **molýar ýylylyk sygymy** diýilýär we  $mc$  bilen belgilenip,  $J/(kmol \cdot K)$  birliginde ölçenýär.

Ýokarda görkezilen ýylylyk sygymlarynyň öz aralarynda ýönekeý gatnaşyklary bardyr:

$$c = c' J_n = \frac{mc}{m}$$

ýa-da

$$c' = c r_n = \frac{mc}{22,4146} \quad (3.1.18)$$

Bu ýerde  $J_n$ ,  $r_n$  we 22.4146-degişlilikde, gazyň normal şertlerdäki udel göwrümi, dykzyzlygy we bir kilomolynyň göwrümi.

Gazyň ýylylyk sygymy hakyky we ortaça baha bilen tapawutlanýar.

Gazyň **hakyky ýylylyk sygymy** diýip, 1 kg gaza elementar prosessde berilýän  $\Delta q$  ýylylyk mukdarynyň netijesinde temperatura tapawudynyň nola ymtylýan tükeniksiz kiçi ululygyna bolan gatnaşygyna düşünilýär:

$$c = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$c = \frac{dq}{dt} \quad (3.1.19)$$

Gazyň **ortaça ýylylyk sygymy** diýip, 1 kg gazy  $t_1$  temperaturadan  $t_2$  temperatura çenli gyzdyrylanda şol gazyň temperaturasyny  $1^\circ\text{C}$  gyzdymak üçin ortaça harçlanýan ýylylygyň mukdaryna düşünilýär:

$$c = \frac{q}{t_2 - t_1} \quad (3.1.20)$$

Gazy gyzdymak üçin berilýän ýylylygyň mukdary prosessiň häsiýetine bagly. Şonuň üçin gazyň ýylylyk sygymy hem prosessiň häsiýetine baglydyr.

Gazlary gyzdyrylanda ýylylyk sygymyny esasan iki sany has wajyp prosessler üçin öwrenilýär: izohora ( $J = \text{const}$ ) we izobara ( $p = \text{const}$ ) prosesslerde.

Izohora prosessde gazyň ýylylyk sygymyna **hemişelik göwrümdäki ýylylyk sygymy** diýilýär we aşakda görkezilişi ýaly belgilenýär:

$c_v$  - hemişelik göwrümdäki massalaýyn ýylylyk sygymy;

$c'_v$  - hemişelik göwrümdäki göwrümleýin ýylylyk sygymy;

$mc_v$  - hemişelik göwrümdäki molýar ýylylyk sygymy;

Izobara prosessde gazyň ýylylyk sygymyna **hemişelik basyşdaky ýylylyk sygymy** diýilýär we şeýle belgilenýär:

$c_p$  - hemişelik basyşdaky massalaýyn ýylylyk sygymy;

$c_p^1$  - hemişelik basyşdaky göwrümleýin ýylylyk sygymy;

$mc_p$  - hemişelik basyşdaky molýar ýylylyk sygymy.

Bir atomly gazlardan beýleki ähli gazlaryň temperaturasynyň ýokarlanmagy bilen ýylylyk sygymy ulalýar. Iki atomly we seýrek, üç atomly gazlar üçin temperaturalarynyň sähelçe üýtgemegindäki ýylylyk sygymynyň temperatura baglylygy göni çyzykly ýylylyk sygymy diýlen formula bilen aňladylýar:



$$c = a + bt \quad (3.1.21)$$

Bu ýerde

$a - t=0$  °C-da ýylylyk sygymynyň bahasy;

$b$  - temperaturanyň ýokarlanmagy bilen ýylylyk sygymynyň artma tizligini häsiýetlendirýän hemişelik koeffisiýenti.

Massa üleşünde berlen garyşyk gazlar üçin massalaýyn ýylylyk sygymy aşaky formula boýunça kesgitlenýär:

$$c = q_1 c_1 + q_2 c_2 + \dots + q_n c_n = \sum_{i=1}^n q_i c_i \quad (3.1.22)$$

Bu ýerde  $q_1 c_1, q_2 c_2, \dots, q_n c_n$  - gaz garyndysynyň massa üleşleriniň degişli prosesdäki gaz garyndysynyň düzümindäki her bir gazyň massalaýyn ýylylyk sygymyna köpeldilmegidir.

Göwrüm üleşünde berlen garyşyk gazlar üçin gaz garyndysynyň göwrümleýin ýylylyk sygymy aşaky formula boýunça kesgitlenýär:

$$c' = r_1 \cdot c'_1 + r_2 \cdot c'_2 + \dots + r_n \cdot c'_n = \sum_{i=1}^n r_i \cdot c'_i \quad (3.1.23)$$

Bu ýerde  $r_1 c'_1, r_2 c'_2, \dots, r_n c'_n$  -gaz garyndysynyň düzümindäki her bir gazyň degişli prosesdäki göwrümleýin ýylylyk sygymy gazlaryň göwrüm üleşlerine köpeldilmegidir.

### 3.2 Termodinamikanyň 1-nji kanuny

Termodinamikanyň 1-nji kanuny biziň hemmämize belli bolan energiýanyň saklanmak we öwürlmek baradaky kanunyň ýylylyga we mehaniki işe degişli hususy ýagdaýydyr.

**Energiýa** diýlen adalgany fizika getiren we oňa aýdyň düşünje beren inlis fizigi T. Ýungdyr (1873-1929). Ol, energiýa - bu hereket edýän jisimiň massasynyň onuň tizliginiň

kwadratyna köpeldilmegi bilen anladylýan ululykdyr diýip düşündirýär. Ondan on energiýa iş düşünjesi bilen garjaşdyrylypdyr. Ýungyň bu energiýa beren aňlatmasy geljekde bu düşünjä aýdyňlyk girizdi. Termodinamikada mehaniki işiň ýüze çykmagy elmydama sredanyň (jisimiň) göwrüminiň üýtgemegi bilen bagly.

Geçirilen tejribeleriň netijesinde sarp edilen iş ( $L$ ) bilen alnan ýylylyk mukdarynyň ( $Q$ ) arasynda aşakdaky ýaly baglanyşyk alypdyr:

$$Q = A \cdot L \quad (3.2.1)$$

Bu ýerde  $A$  –proporsionallyk koeffisiýenti.

Joul tarapyndan hasaplanyp alnan bu koeffisiýentiň bahasy  $A = 0,002345 \text{ kkal}/(\text{kg} \cdot \text{m})$  bolupdyr.

Elbetde (2.1) formula ýylylygyň hasabyna iş edilende hem dogrudyr:

$$L = I \cdot Q \quad (3.2.2)$$

Bu ýerde  $I$  - ýylylygyň mehaniki ekwiwalent koeffisiýentidir.  $A$  bilen  $I$  ululyklar bir-birine ters proporsionaldyr.

$$I = \frac{1}{A} \quad (3.2.3)$$

$I$ -ň bahasy  $I=427 \text{ (kg} \cdot \text{m)}/\text{kkal}$  dendir.

**Içki energiýa** bu jisimi düzýän bolejikleriň hereketiniň we olaryň özara täsirleriniň energiýasydyr. Has takygy jisimiň içki energiýasyna: jisimi düzýän molekulalaryň öňe-yza we aýlanma hereketleriniň energiýasy, molekulalaryň özara täsirleri netijesinde ýüze çykýan potensial energiýasy, molekulalaryň yrgyldylarynyň energiýasy, içki molekulýar, içki atom

energiyasy, atamlaryň elektron gatlaklarynyň energiýasy we ýadrosynyň içki energiýasy girýär.

Jisime ýylylyk berlende jisimiň göwrümi üýtgemeyän bolsa, onda daşyndan berilýän ýylylyk görnüşindäki energiýanyň hemmesi jisimiň içki energiýasyna öwrülýär. Belli boluşy ýaly, jisimler gyzdrylanda olaryň göwrümi giňelýär. Göwrümiň giňelmegi bolsa daşky basyş güýjüň garşysyna iş edilýändigini aňladýar.

Porşen bilen silindriň arasyndaky gaz gyzdrylýar diýeliň. Onda gazyň porşene edýän basasyňyň hetijesinde ýüze çykýan güýç porşeni  $dh$  aralyga süýşürýär diýeliň. Diýmek, gaz gyzdrylmagy zerarly göwrümini üýtgedip porşeni  $dh$  aralyga süýşürýär, daşky basyş güýjüň garşysyna  $dL$  mehaniki iş edipdir. Eger:

$$F = p \cdot S \quad (3.2.4)$$

belli bolsa, onda bu iş:

$$dL = Fdh = pSdh = pdV \quad (3.2.5)$$

formula bilen hasaplanýar. Bu işe **giňelme işi** diýilýär. Eger-de daşky güýçleriň täsiri bilen suratdaky görkezilen porşen çepe tarap süýşse, ýagny silindr bilen porşeniň aralygyndaky gazyň göwrümi kiçelýän bolsa, onda muňa **gysylma işi** diýilýär. Giňelme işine **položitel**, gysylma işine bolsa - **otrisatel iş** diýlip şertleşilýär.

Porşeniň täsir edýän gazynyň giňelmegini ýa-da gysylmagyny deňagramly prosess diýip hasap edeliň we ýokarky formuladaky görkezilen işi aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$L_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (3.2.6)$$

**Termodinamikanyň 1-nji kanunynyň deňlemesi.** Jisime berilýän ýylylygyň hasabyna jisimiň içki energiýasy artýar, şeýle hem onuň göwrümi ulalýar. Diýmek, daşky güýçlerin garşysyna iş edilýär. Netijede,

$$Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + L_{1-2} \quad (3.2.7)$$

deňleme gelip çykýar. Bu ýerde  $Q_{1-2}$  - jisimiň 1-nji ýagdaýdan 2-nji ýagdaýa çenli gyzmagyna getirýän ýylylyk mukdary;

$\Delta U_{1-2}$  - jisimiň içki energiýasynyň üýtgemegi;

$L_{1-2}$  - 1-2 prosessiň netijesinde jisimiň edýän işi.

**Bu deňleme termodinamikanyň 1-nji kanunynyň denlemesidir.**

Differensial görnüşde denlemäni şeýle ýazmak bolar:

$$dQ = dU + dL \quad (3.2.8)$$

Bu ýerde bir bellemeli zat  $dQ > 0$  bolanda ýylylyk jisime berilýär,  $dQ < 0$  bolsa ýylylyk jisimden alynýar diýip şertleşilendir. (2.8) deňleme  $m$  massaly jisim üçin ýazylandyr. Işçi jisimiň massa birligine degişlilikde (3.2.8) deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$dq = du + dl \quad (3.2.9)$$

Bu ýerde  $dl = pdu$  deňligi göz önünde tutup, ýokarky deňlemäni:

$$dq = du + pdu \quad (3.2.10)$$

görnüşde ýazarys.

Termodinamikada **entalpiýa** hökmünde ulgamyň içki energiýasynyň üstüne ulgamyň  $p$  basyşynyň onuň göwrümine köpeltmek hasylynyň goşulmagyna düşünilýär:

$$J = U + p \cdot V \quad (3.2.11)$$

bu ýerde  $J$  - entalpiýadyr. Onuň birligi Joul (J). Entalpiýa edil içki energiýa ýaly ekstensiw häsiýete eýedir, ýagny

$$I = i \cdot m \quad (3.2.12)$$

bu ýerde  $i$  - udel entalpiýa (massa birligindäki entalpiýa). Onuň birligi J/kg-dyr.

Massa birligindäki entalpiýa

$$i = u + pu \quad (3.2.13)$$

görnüşinde aňladylýar.

Termodinamikanyň 1-nji kanuny entalpiýanyň üsti bilen aşakdaky ýaly aňladylýar.

$$dq = di - udp \quad (3.2.14)$$

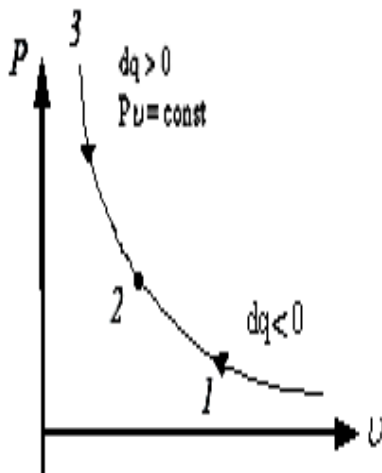
formulany alarys. Soňky alnan (3.2.14) formula izobara prosessi ( $dp=0$ ) üçin aşakdaky görnüşde bolýar:

$$dq_p = di \quad (3.2.15)$$

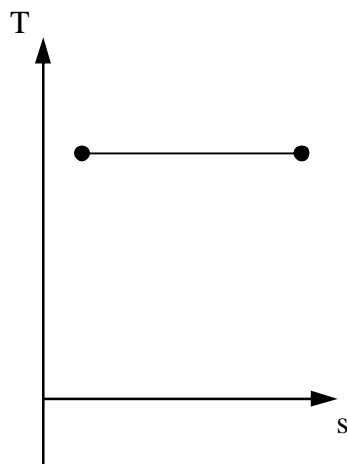
Termodinamikada içki energiýa, entalpiýa, ýylylyk sygymyna maddanyň **kalloriki häsiýetnamasy** diýilýär. Udel göwrüme, basyşa, temperatura **bolsa termiki häsiýetnamasy** diýilýär.

### 3.3 Termodinamiki prosessler

**Izoterma prosessi**  $pu = \text{const}$  formula bilen aňladylýar. Muňa Boýluň we Mariottyň kanuny diýilýär.  $pu$  we  $Ts$  koordinatalar ulgamynda aşakdaky ýaly şekillendirilýär



3.1 - nji surat. Izoterma prosessiniň  $p$ - $v$  - diagrammasy



3.2 - nji surat. Izoterma prosessiniň  $T$ - $s$  diagrammasy

Izoterma prosessinde

$$l_{1-2} = \int_{v_1}^{v_2} p du \quad (3.3.1)$$

Hyýaly gaz üçin  $p = \frac{RT}{u}$  bolany üçin ýokarky formulany aşakdaky görnüşde aňladyp bileris:

$$l_{1-2} = RT \ln \frac{u_2}{u_1} \quad (3.3.2)$$

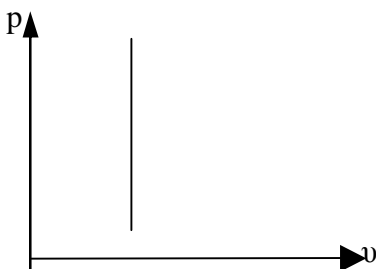
Ýokarky deňlik basyşlaryň gatnaşygy arkaly aşakdaky görnüşde hem aňladylyp bilner:

$$l_{1-2} = RT \ln \frac{p_1}{p_2} = p_1 u_1 \ln \frac{u_2}{u_1} = p_2 u_2 \ln \frac{u_2}{u_1} = p_1 u_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = p_2 u_2 \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (3.3.3)$$

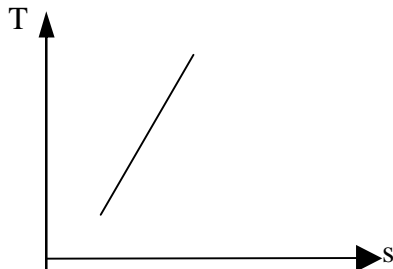
**Izohora prosessi.** Hyýaly gaz halynyň deňlemesinde  $u = const$  (izohorik prosess) bolanda

$$\frac{p}{T} = const \quad (3.3.4)$$

Muňa Geý-Lýussagyň kanuny diýilýär. Hemişelik göwrumdäki prosessde, termodinamikanyň 1-nji kanunundan, izohora prosessinde **ulgamyň giňelme** işi nola deň, ýagny



3.3-nji surat. Izohora prosessiniň  $p - v$  diagrammasy



3.4-nji surat. Izohora prosessiniň  $T - s$  diagrammasy

$$l_{1-2} = \int_1^2 p du, \quad u = const; \quad l_{1-2} = 0.$$

Izohora prosessi  $p - u$  (3.3-nji suratda) we (3.4-nji suratda)  $T - s$  diagrammalar aşakdaky ýaly şekillendirilýär:

**Izobara prosessi.** Izobara prosessinde basyş hemişelikdir, ýagny  $p = const$ . Onda  $pu = RT$  formuladan bolanda aşakdaky gatnaşygy alarys:

$$\frac{u}{T} = \text{const} \quad (3.3.5)$$

Izobara prosessinde gazyň giňelmeginiň hasabyna edilýän iş

$$L_{1-2} = \int_1^2 p du = p(u_2 - u_1) \quad (3.3.6)$$

ýa-da

$$L_{1-2} = R(T_2 - T_1)$$

**Adiabata prosessi.** Ulgamyň ony gurşap alýan sreda bilen ýylylyk çalyşygy bolmaýan prosesse adiabata prosess diýilýär. Ýagny adiabata prosessde ulgama ýylylyk berilmeýär we ondan ýylylyk alynmaýar.

**Öwrülişikli prosessde adiabata prosess** diýlip ulgamyň daşky sredalar bilen ýylylyk çalyşygynyň ýoklugy bilen bir hatarda sürtülmäniň (sürtülme zerarly ýylylyk çalyşygynyň) ýoklugyna düşünilýär. Öwrülişikli prosessde adiabata prosesse başgaça izoentropiýa (hemişelik entropiýadaky) prosess hem diýilýär.

Ulgamyň (jisimiň) daşky sredalar bilen ýylylyk çalyşygyny hasaba almazlyk derejesinde az, ýagny  $dq = 0$ , emma sürtülme zerarly ýüze çykýan ýylylyk  $dq_{sur} \neq 0$  diýlip kabul edilýän prosesslerdäki adiabata prosesse **öwrülişiksiz adiabata prosessler** diýilýär. Bu prosesse başgaça **hemişelik däl entropiýaly prosess** hem diýilýär.

Şeýlelikde, ýokarky aýdylanlardan, islendik izolirlenen hemişelik entropiýaly prosessler adiabata prosessler bolup, islendik adiabata prosessleriň hemişelik entropiýaly prosessler dældigi gelip çykýar.

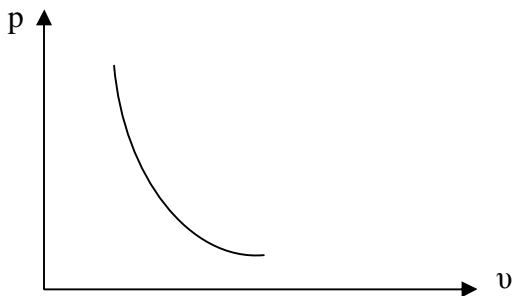
Adiabatanyň deňlemesi

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

formula bilen aňladylýar.



Adiabata  $pu$  diagrammada aşakdaky ýaly şekillendirilýär.



3.5-nji surat. Adiabata prosessiniň  $p - v$  diagrammasy

**Politropa prosessi.**  $pu^n = \text{const}$  deňlemäni kanagatlandyryýan öwrülişikli proseslere **politropa prosessleri** diýilýär. Bu deňlemedäki  $n$ -ululyga **politropanyň görkezijisi** diýilýär.

Politropa prosesinde ulgam (jisim) özüniň daşyndaky sreda ýa-da jisimler bilen ýylylyk çalyşýar  $dq \neq 0$ . Politropa prosessiň deňlemesi termodinamikanyň 1-nji kanunynyň deňlemesinden alynýar we

$$pu^n = \text{const} \quad (3.3.8)$$

formula bilen aňladylýar.

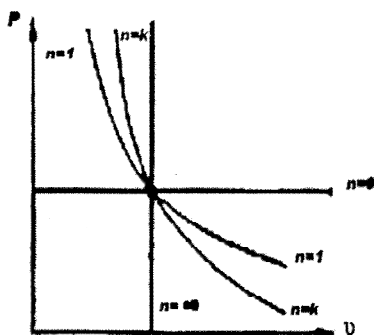
Soňky deňleme  $n$ -iň bahasyna baglylykda izotermaň, izohoraň, izobaraň we adiabataň deňlemesine öwrülip biler. Meselem:

- 1)  $n=1$  bolanda,  $pu^n = pu^1 = pu = \text{const}$  - izoterma prosessiniň deňlemesi;
- 2)  $n=0$  bolanda,  $pu^n = pu^0 = p = \text{const}$  - izobara prosessiniň deňlemesi;

3)  $n=\infty$  bolanda,  $(pu^n)^{1/n} = p^{\frac{1}{n}}u = p^{\frac{1}{\infty}}u = p^0u = u = const$  - izohora prosessiniň deňlemesi;

4)  $n=k$  bolanda,  $pu^n = pu^k$  - adiabata prosessiniň deňlemesi.

$n$ -iň dürli bahalarynda politropanyň ýagdaýlary 3.6-njy suratda görkezilendir.



3.6-njy surat. Politropa prosessiniň  $p$ - $v$  diaqrammasy

### 3.4 Termodinamikanyň 2-nji kanuny

**Öwrülišikli we öwrülišiksiz prosessler.** Öwrülišikli we öwrülišiksiz prosessler barada gürrüň etmezden önürti deňagramly we deňagramsyz prosessler barada durup geçeliň.

Jisimin (ulgamyň) termodinamika denagramlylygy ýagdaýynda bolmagy üçin onun göwrüminiň haýsy bolsa-da bir böleginiň ýa-da nokadynyň ony gurşap alýan sredanyň temperaturasyna deň bolmagy ýeterlik däl. Munuň üçin jisimiň (ulgamyn) gowruminiň ähli nokatlary birmenzeş temperaturaly we basyşly bolmalydyr. Eger-de ýokarda agzalan şertler yerine yetmese, onda ol jisim (ulgam) termodinamika denagramsyzlygy ýagdaýynda bolýar.

Tebigatda ähli jisimler (ulgamlar) öz-özünden termodinamika deňagramlylygy ýagdaýyna ymtylýarlar. Termodinamiki deňagramlylyk ýagdaýyndan çykarmak bolsa öz-özünden amala aşyrylmaýar.

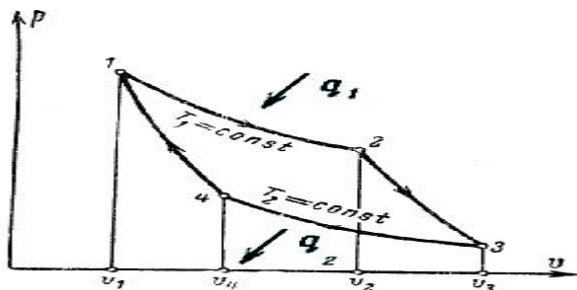
Islendik prosessiň öwrulişikli bolmagy üçin termodinamika ulgamy bir ýagdaýdan beýleki ýagdaýa geçende we ýene-de yzyna başlangyç ýagdaýyna dolanyp gelende ulgamyň özünde we onun bilen täsir edişen daşky sredada hiç-hili özgerişlikler bolmaly dälär.

Fizika dersinde öwrenilen hyýaly gaz halynyň kanunlary öwrulişikli prosessler üçin ýazylandyr.

Eger-de ulgam bir ýagdaýdan başga ýagdaýa geçenden son, ýene-de yzyna öwrülse, ýöne başlangyç ýagdaýa dolanyp gelmese, onda ol prosesslere deňagramsyz prosessler diýilýar.

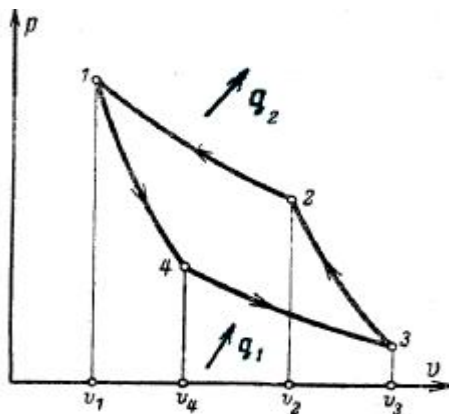
Tebigatda duş gelyän ähli prosessler öwrulişiksiz prosesslerdir. Meselem, sürtülmäni ýeňmek üçin edilýän iş öwürlişiksizdir, sebäbi ol iş sürtülmede bölünip çykýan ýylylyga harçlanýar.

**Karnonyň aýlawy. Karnonyň nazaryýeti.** Ýylylyk hereketlendirijileriň nazarýetini esaslandyryjy fransuz inženeri Sadi Karno ýylylyk maşynlary arkaly peýdaly işi almagyň mümkinçilikleriniň üstünde işledi. Bu beýik alymyň işçi jisimi hökmünde hyýaly gazy kabul eden, öz adyny göterýän aýlawly prosessi iki izotermadan we iki adiabatadan ybaratdyr. Karnonyň göni aýlawly shemasy (3.7-nji surat).



3.7-nji surat. Karnonyň göni aýlawy

Eger-de ýokarda seredilen gazyň ýa-da işçi jisimiň ginelmesi we gysylmasy sürtülmesiz diýip kabul edilse, onda ozal aýdylyşy ýaly, bu prosess öwrülişiklidir. Onda ýaňy sereden aýlawly prosessimiz alnan iki çeşmäniň (gyzdyryjynyň hem-de sowadyjynyň) arasynda tersine hem ýerine ýetip biler (3.8-nji surat).



3.8-nji surat. Karnonyň aýlawy

Karnonyň nazary aýlawy boýunça işleýän ýylylyk maşynynyň peýdaly täsir koeffisiýenti:

$$h_i = \frac{l}{q_1} \quad (3.4.1)$$

ýa-da

$$h_i = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (3.4.2)$$

oňa Karnonyň **termiki peýdaly täsir koeffisiýenti** diýilýär.

Termiki peýdaly täsir koeffisiýenti hiç wagt bire deň bolup bilmez. Bu koeffisiýentiň bir bolmagy üçin  $T_1 = \infty$  ýa-da  $T_2 = 0$  K deň bolmalydyr.  $T_1 = \infty$  bolmajagy öz-özünden düşnüklidir, sebäbi ýylylyk tehnikasynda seredilýän

meselelerdäki duş gelýän abzallardaky, ýylylyk hereketlendirijilerdäki iň uly temperatura 2500-3000 K-den geçmeýär.  $T_2 = 0$  bolmagy bolsa asla mümkin däldir. Beýle diýildiği, jisimleri düzýän bölejikleriň ýylylyk hereketiniň togtaýanlygyny aňladýar.

Termodinamika Klauzius tarapyndan girizilen entropiýa (grekçe “özgertmeklik”) düşünjesi termodinamikanyň 2-nji kanunynyň manysyna düşünmekde esasy orna eýedir.

$$S = \frac{Q}{T} \quad (3.4.3)$$

Bu formula jisime ýa-da ulgama berilyan  $Q$  ýylylyk ähli ýylylyk berliş prosessiň dowamynda şol bir  $T$  temperaturada ýerine ýetende dogrudyr.

Emma, tejribelikde ol temperatura üýtgäp durýar. Sebäbi ýylylygy kabul edýän jisim barha gyzyýar. Emma, käbir örän ujypsyz  $\delta Q$  ýylylyk berliş prosessiniň dowamynda temperaturany hemişelik diýip kabul etmek bolar.

Onda:

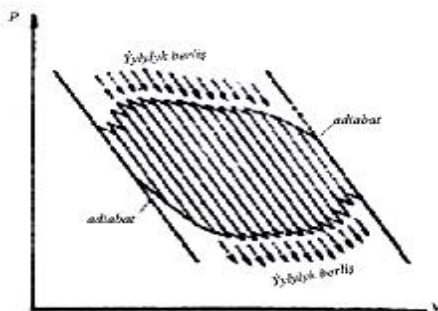
$$\Delta S = \frac{\sum dQ}{T}$$

ya-da

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} \quad (3.4.4)$$

Islendik owrulişikli aýlawlaryň amala aşyrylmagy üçin hökman işçi jisime edil tükeniksiz köp çeşmelerden ýylylyk berlen ýaly, şonça köp çeşmeleriň ýylylygyny kabul ediji sowadyjylary bar ýaly göz önünde getirilmelidir. Sebäbi işçi jisime ýylylyk berliş we işçi jisiminden ýylylyk alnyş prosessleri hemişelik temperaturada bolup geçmelidir.

Şeýlelikde, islendik görnüşli öwrülişikli aýlawa Karnonyň elementar aýlawlarynyň toplumy hökmünde seretmek bolar (3.9-nji surat). Elementar aýlawlaryň her haýsyna ýylylyk berliş ýa-da ondan ýylylyk alnyş prosessi olaryň hersiniň özüne degişli izotermalar arkaly amala aşyrylýar.



3.9-njy surat. Karnonyň elementar aýlawlarynyň toplumy

Onda, ýokarky aňlatmany suratda görkezilen elementar aýlawlar üçin aşakdaky görnüşde ýazarys:

$$\frac{dq_1}{T} + \frac{dq_2}{T} + \dots + \frac{dq_n}{T} = 0$$

ýa-da ýapyk kontur boýunça integrirleseň:

$$\oint \frac{dq_{owr}}{T} = 0 \quad (3.4.5)$$

Bu formula Klauzis tarapyndan getirilip çykarylan. Oňa **Klauzisiň integraly** diýilýär.

$$dS = \frac{dq_{owr}}{T} \quad (3.4.6)$$

### 3.5 İçinden ýandyrylýan ýylylyk hereketlendirijileriň

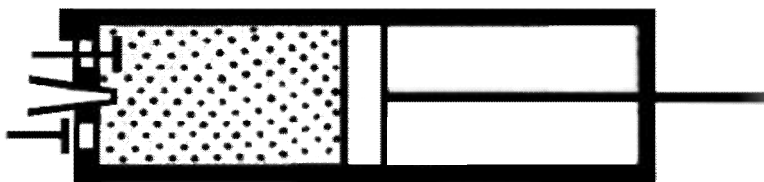
#### işçi aýlawlary

Işçi jisime ýylylyk berlişiniň dürli şertlerine baglylykda ýylylyk hereketlendirijileri termodinamika kämilligini häsiýetlendirmäge we olaryň termiki peýdaly täsir koeffisiýentlerini hasaplamaga mümkinçilik berýän alymlar tarapyndan birnäçe işçi aýlawlar işlenip düzüldi. Geliň ol işçi aýlawlar bilen giňişleýin tanyş bolalyň.

#### **Hemişelik göwrümde ( $u=\text{const}$ ) ýylylyk berlendäki aýlaw.**

Islendik porşenli hereketlendirijilerde porşeniň öňe-yza bolan hereketi şatunyň hem-de kriwoşipiň kömegi bilen tirsekli walyň aýlanma hereketine geçirilýär.

Porşen ýokarky butnawsyz nokatdan (ý.b.n.) aşaky butnawsyz nokada (a.b.n.) hereket edende (3.10-njy surat) silindriň içine sorujy klapanyň (çykaryjy klapanyň ýapyk) üsti bilen howa garylan ýangyç girizilýär.  $p_v$  diagrammada (3.11-nji surat) bu prosess ( $p_1 - 1$ ) çyzyk bilen görkezilen. Soruş prosessi hemişelik  $p_1$  basyşda (atmosfera basyşda) bolup geçýär diýlip hasap edilýär. Porşen a. b. n.-e ýetende sorujy klapanyň ýapylýar we porşen ýokarky hereket edýär we howa ýangyç garyndysynyň adiabata gysylyşy bolup geçýär. Adiabata gysylyş prosessi nazary  $p_u$  diagrammada 1-2 çyzyk bilen şekillendirilen.



3.10-njy surat. Silindrde porşeniň hereketi

Gysylyş prosessinde porşeniň “sürtülmesiz” hereketi örän çalt bolup geçip, şol wagtda howanyň ýangyç bilen garyndysy daşky sreda bilen ýylylyk çalyşmaga ýetişmeýär. Gysylyşyň ahyrynda elektrik uçgynyň täsiri astynda garyndynyň ýanma prosessi bolup geçýär. Bu ýanma prosessi şeýle bir çalt bolup geçýär we porşen hereket edip ýetişmeýär. Şonuň üçinem bu ýanma prosessi hemişelik göwrümde bolup geçýär diýilip hasaplanylýar. Ýanma prosessiniň netijesinde  $q_1$  udel ýylylyk alan garyndynyň basyşy ulalýar.  $p$ - $V$  diagrammada bu prosess 2-3 çyzyk bilen aňladylýar. Gazyň porşene basyş etmeginiň hasabyna porşen ý.b.n. -dan a.b.n-e çenli aşak hereket edýär. Gazyň adiabata giňeliş prosessi gazyň basyşy netijesindeki porşeniň göz açyp ýummasy salymynda “sürtülmesiz” hereketiň hasabyna amala aşyrylýar. Adiabata giňelme prosessi 3-4 çyzyk bilen aňladylýar. Ýangyjyň ýanmagy netijesinde giňelme prosessindäki porşeniň hereketi položitel iş edýär (ýagny tirsekli waly aýlaýar). Giňeliş prosessiniň ahyrynda porşen a.b.n. ýetende, çykaryjy klapany açylýar we porşeniň a.b.n.-dan tä ý.b.n.-a çenli hereket etmegi netijesinde işlän howa ýangyç garyndysy şol klapanyň üsti bilen daşaryk çykarylýar. Garyndynyň basyşy derrew atmosfera basyşyna çenli peselýär. Bu ýagdaýda gazdan (ýa-da işçi jisiminden) daşky sreda  $q_2$ -udel ýylylyk berilýär. Ýagny gaz sowawar.



Diagrammada bu prosess 4-1 çyzyk bilen şekillendirilýär. 3.11-nji suratda görkezilişi ýaly, bu aýlaw iki sany adiabatdan hem-de iki sany izohoradan ybarat. Aýlawyň amala aşyrylyş prosesinde howa bilen garylýan ýangyjyň buglary hem-de işläň gaz özüni hemişelik sygymly hyýaly gaz ýaly alyp barýar diýlip kabul edilýär.

1, 2, 3, 4 ýapyk çyzyklardan ybarat meýdan bilen şekillendirilen aýlawyň peýdaly işi

$$l = q_1 - q_2 \quad (3.5.1)$$

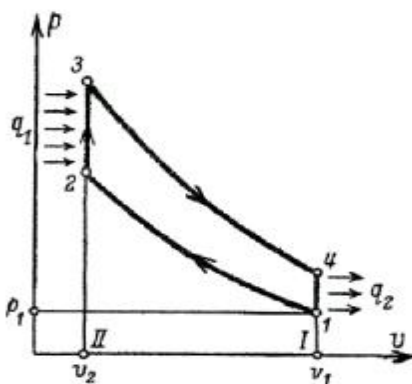


Рис. 10-2.

3.11-nji surat. Aýlaw prosessiniň p – diagrammasy

$v = \text{const}$  bolanda, ýylylyk berliş prosessini häsiýetlendirýän aýlawyň termiki peýdaly täsir koeffisiýenti gyzdyryjydan işçi jisimiň alýan ( $q_1$ ) we onuň sowadyja berýän ( $q_2$ ) udel ýylylyk akymalarynyň üsti bilen aňladylýar.

$$h_t = \frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (3.5.2)$$

Hemişelik göwrümde işçi jisimine ýylylyk berilmeginiň hasabyna onuň temperaturasy  $T_2$ -den  $T_3$ -e çenli ýokarlanýar. Şeýlelikde işçi jisime berilýän udel ýylylyk:

$$q_1 = c_u(T_3 - T_2) \quad (3.5.3)$$

bolar.

Edil şonuň ýaly işçi jisimiň sowamagy netijesinde daşky sreda berilýän udel ýylylyk:

$$q_2 = c_u(T_4 - T_1) \quad (3.5.4)$$

bolar.

3.11-nji suratdaky  $p$  diagrammadan görnüşi ýaly, işçi jisimiň gysylmagy netijesinde onuň göwrümi  $v_1$ -den  $v_2$ -ä çenli kiçelýär.

$v_1$  udel göwrüminiň  $v_2$  udel göwrümüne bolan gatnaşygyny  $\varepsilon$  bilen belgilenýär. Ol gysylyş derejesi diýip atlandyrylýar:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \quad (3.5.5)$$

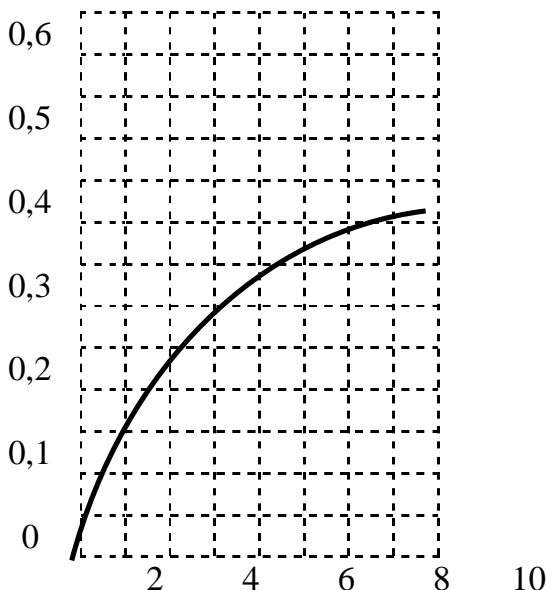
we  $v$ -niň formulalaryny ornuna goýup we degişli öwürmeler geçirip  $h_t$ -niň  $\varepsilon$ -na bagly formulasyny alarys.

$$h_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (3.5.6)$$

Bu formula Ottonyň aýlawynyň termiki peýdaly täsir koeffisiýenti diýilýär. Formuladan görnüşi ýaly diňe  $\varepsilon$ -gysylyş derejesine bagly. Onuň bahasy uly boldugyça, şonça-da  $\eta_t$ -niň bahasy uly bolýar. Diýmek, bu aýlawda  $\eta_t$ -niň bahasyny ulaltmagyň ýeke-täk ýoly  $\varepsilon$ -niň bahasyny artdyrmakdan ybarat eken.

$\eta_t$  ululygyň  $\varepsilon$ -niň bahasyna baglylykdaky üýtgeýşi 3.12-nji suratda görkezilen.

Suratda görkezilişi ýaly,  $\varepsilon$ -niň artmagy bilen  $\eta_t$  bahasy çalt ulalýar. Soňra  $\varepsilon$ -niň bahasy 0,6-dan, 0,7-den ýokary geçende  $\eta_t$ -niň artmasy haýallaýar. Sebäbi  $\varepsilon$ -niň bahasynyň artmagy bilen şol bir deň şertlerde aşa gysylýan gazyň (işçi jisimiň) basyşy we temperaturasy artýar. Gyzduryjydan işçi jisime berilýän  $q_1$  ýylylygyň  $\varepsilon$ -



3.12-nji surat.  $h_t$  ululygyň  $\varepsilon$  – a baglylygy

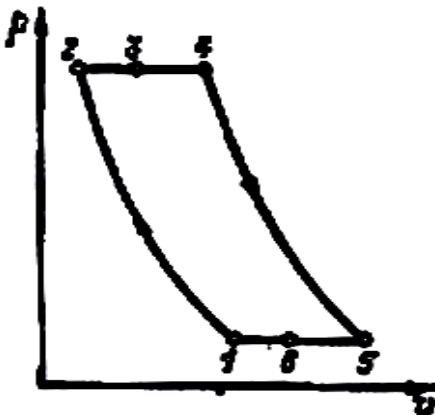
nyň kiçi bahasyna garaňda gitdigiçe azalýar we  $\frac{q_1 - q_2}{q_1}$  gatnaşygy kiçelýär.

Şeýle bolsa-da,  $\eta_t$ -niň bahasy  $\varepsilon$ -niň bahasyna baglylykda ulalýar. Emma,  $\varepsilon$ -niň bahasyny çäksiz ulaltmak bolmaz. Onuň sebäbi  $\varepsilon$ -niň ulalmagy ýokarda belleýşimiz ýaly, gysylyş

döwründe işçi jisimiň temperaturasynyň we basyşynyň aşa ýokarlanmagyna we onuň netijesinde porşendäki garyndyň öz-özünden ýanmagyna getirmegi mümkin. Bu bolsa hereketlendirijiniň položitel işine zyýan ýetirýär we onuň çalt sandan çykmagyna getirýär.

### **Hemişelik basyşda ( $p=\text{const}$ ) ýylylyk berlendäki aýlaw.**

Nemes inženeri R. Dizeliň (1897 ý.) işçi aýlawy  $\varepsilon$ -niň bahasynyň ulaldylmagyna mümkinçilik berýär, sebäbi ol aýlawda howa bilen ýangyjyň garyndysy gysylman, ilki bilen howanyň özi gysylýar. Soňra gysylmanyň ahyrky pursatynda silindre ýangyç (örän kiçi damjajyklaryň akymy) pürkülýär. Dizeliň nazary aýlawy 3.13-nji suratda şekillendirilen.



3.13-nji surat. Dizeliň nazary aýlawy

Bu aýlawyň öňki sereden aýlawlarymyzdan tapawudy «gyzdyryjydan» işçi jisime berilýän  $q_1$  udel ýylylyk hemişelik basyşda berilýär. İşçi jisimi hökmünde ulanylýan howa bilen garylan ýangyjyň udel göwrümi  $u_1$ -den  $u_2$ -ä çenli artýar. Bu prosess diagrammada 2-3 çyzyk bilen görkezilen. Hemişelik basyşda ýangyjyň ýanmak prosessiniň netijesinde işçi

jisimiň göwrüminiň giňelmeginiň ahyryndaky udel göwrümiň ilki başdaky göwrüme bolan gatnaşygyny  $\rho$  bilen belläliň. Oňa giňelme derejesi diýilýär:

$$r = \frac{u_3}{u_2} \quad (3.5.7)$$

Galan 1-2, 3-4, 4-den 1-e çenli prosessler edil ýokardaky ýazylan ýalydyr. Suratda görkezilen aýlaw iki adiabatadan, bir izobaradan we bir izohoradan ybaratdyr.

Aýlaw üçin termiki koeffisiýenti

$$h_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

formula bilen kesgitlenýär.

Bu ýerde:

$$q_1 = c_r (T_3 - T_2) = c_r T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right) \quad (3.5.8)$$

$$q_2 = c_u (T_4 - T_1) = c_u T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right) \quad (3.5.9)$$

Bu formulalardan

$$\frac{u_4}{u_2} = \frac{u_1}{u_2} = e \quad (3.5.10)$$

koeffisientleri göz önünde tutup, - niň we -na bolan baglanyşygyny alarys.

$$h_t = 1 - \frac{1}{e^{k-1}} \cdot \frac{r^k - 1}{k(r - 1)} \quad (3.5.11)$$

Soňky formuladan görnüşi ýaly,  $\eta_t$ -nin bahasy  $\varepsilon$ -niň ulalmagy we  $\rho$ -nyň kiçelmegi bilen artýar.

$p$ -nyň dürli bahalarynda  $\eta_t = f(\epsilon)$  baglylyk 3.12-nji suratda görkezilen.

**Hemişelik göwrümde we hemişelik basyşda ýylylyk berlendäki aýlaw.** Ýokary derejedäki gysylyşyň ulanylyş tejribesi hereketlendirijileriň tygşylylygyny has ýokarlandyrmak üçin aýlawda gysyşdan soň gaza başda ýylylyk  $=const$  şertde, soňra bolsa gazyň basyşy belli çäge ýetenden soň ýylylygy  $p=const$  şertde bermelidigini görkezdi. Şeýle gatyşyk görnüşde ýylylyk berliş ýagdaýyny ulanýan aýlawa Trinkleriň aýlawy diýilýär.

Trinkleriň aýlawy adyny alan aýlaw ýokarda seredilen Ottonyň hem-de Dizeliň birleşdirilen aýlawlary bolýar. Ol aýlawyň diagrammada şekili 3.14-nji suratda görkezilendir. Bu aýlawyň ýokarda seredilen aýlawlardan tapawudy ýylylyk berliş prosesinde ilki bilen hemiselik göwrümde işçi jisimiň basyşynyň  $p_2$ -den  $p_3$ -e çenli artmagy (2-3 çyzyk), soňra bolsa hemişelik basyşda göwrümiň 3-den 4-e çenli artmagyndadyr (3-4 çyzyk).

Hemişelik göwrümde we hemişelik basyşda işçi jisimine berilýän udel ýylylyk deňişlilikde

$$q_1' = c_u(T_3 - T_2) \text{ we } q_1'' = c_r(T_4 - T_3)$$

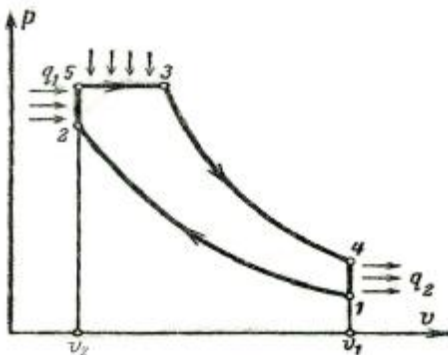


Рис. 10-10.

3.14-nji surat. Birleşdirilen aýlawlaryň  $p - v$

Ýangyjyň ýanmagy netijesinde işçi jisimiň alýan ýylylygy:

$$q_1 = (T_3 - T_2) + c_p (T_4 - T_3) \quad (3.5.12)$$

Aýlawyň 5-1 prosessinde daşky sreda berilýän ýylylyk:

$$q_2 = (T_5 - T_1) \quad (3.5.13)$$

1, 2, 3, 4, 5 meýdandan ybarat aýlawyň termiki peýdaly täsir koeffisiýenti:

$$h_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (3.5.14)$$

Bu formula boýunça  $\eta_t$ -niň bahasyny kesgitlemek üçin izohora ýanyş prosessindäki basyşyň ýokarlanma derejesi ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} \quad (3.5.15)$$

we izobara ýanyş prosessindäki işçi jisimiň giňelme derejesi:

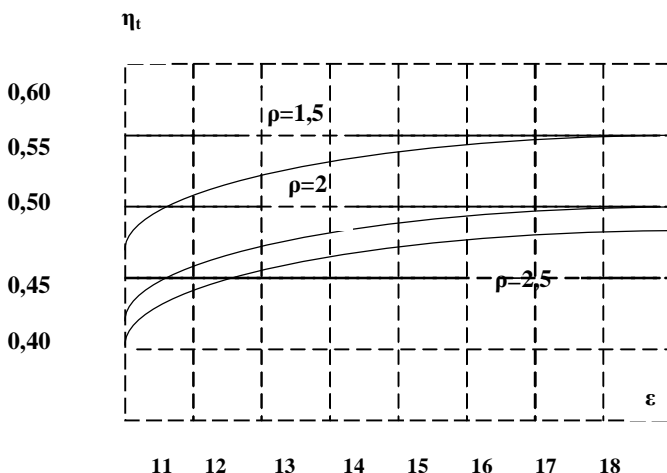
$$r = \frac{u_4}{u_3} \quad (3.5.16)$$

diýen düşüňjeler peýdalanylýar.

Formulardaky temperaturalaryny kesgitlemäge mümkinçilik berýän aňlatmalary we deňligi göz önünde tutup aşakdaky formulany alarys:

$$h_t = 1 - \frac{1}{e^{k-1}} \frac{\lambda r^k - 1}{\lambda - 1 + k \lambda (r - 1)} \quad (3.5.17)$$

(3.5.17) formula Trinkleriň aýlawynyň termiki peýdaly täsir koeffisiýentiniň formulasydyr. Bu formuladan  $\lambda=1$  bolanda, (3.5.12) formulany, ýagny Dizeliň aýlawynyň termiki peýdaly täsir koeffisiýentiniň formulasyny alarys. Eger-de (3.5.17)-deňlemede  $\rho=1$  bolsa, Ottonyň aýlawynyň peýdaly täsir koeffisiýentiniň formulasyny alarys.



3.15-nji surat. Ululyklaryň baglanyşygy

### **Gazoturbin we reaktiw hereketlendirijileriň aýlawlary.**

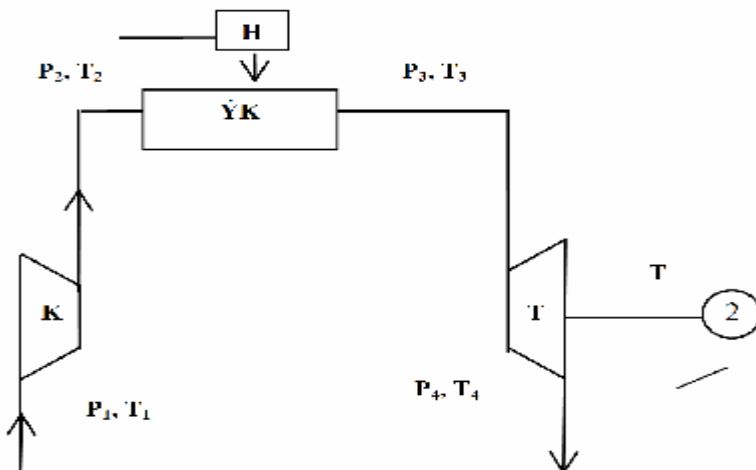
Biz geçen paragrafda içinden ýandyrylýan porşenli hereketlendirijileriň aýlawlaryna seretdik. İçinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň beýleki bir görnüşine gazoturbinaly hereketlendiriji diýilýär. Bu hereketlendirijilerde hem porşenli hereketlendirijilerdäki ýaly ýanýan ýangyjyň energiýasynyň üznüksiz mehaniki işe öwrülmesi bolup geçýär. İçinden ýandyrylýan porşenli hereketlendirijilerde iş prosessleri, ýagny sorulyş, gysylyş, giňeliş we çykarylyş ýapyk göwrümde bolup geçýär. Emma, gazoturbinaly hereketlendirijilerde bu prosessler hereketlendirijiniň aýry-aýry böleklerinde bolup geçýär. Şonuň



üçin şeýle hereketlendirijilere **daşyndan ýandyrylýan hereketlendirijiler** hem diýilýär. Munuň şeýleligi üçin gazoturbina enjamlarda abatlaýyş işleri beýleki hereketlendirijilere garanynda aňsatdyr. Şol bir deň şertlerde porşenli hereketlendirijilerde peýdaly täsir koeffisiýenti gazoturbinaly hereketlendirijilere seredeniňde ýokarydyr. Onuň ululygy takmynan porşenli hereketlendirijiler üçin  $0,41 \div 0,43$  bolsa, gazoturbinaly hereketlendirijiler üçin  $0,34 \div 0,36$ . Emma, muňa garamazdan, gazoturbinaly hereketlendirijileriň tehniki taýdan ygtybarlylygy üçin olar tehnikada we ulagda köp ulanylýar.

Gazoturbinaly hereketlendirijileriň aýlawlaryna garamazdan öň, olaryň işleýiş düzgüni barada gysgaça durup geçelin. Gazoturbinaly hereketlendirijileriň ýa-da gazoturbinaly enjamlaryň düzümine turbina, kompressor, ýanyş kamera hem-de ýangyç nasosy girýär (3.16-nji surata serediň).

Başlangyç  $p_1$  basyşy we  $T_1$  temperaturasy bolan howa kompressor arkaly sorulýar we gysylýar. Gysylan howa  $p_2$  basyşda we  $T_2$  temperaturada ýanyş kamera (ÝK) berilýär. Ýanyş kamerada gysylan howada kamera pürkülýän ýangyjyň ýanyş prosessi bolup geçýär. Bu prosess hemişelik basyşda bolup geçýär. Ýanyş kamerasynda ýangyjyň himiki energiýasy ýylylyk energiýasyna öwrülýär we gazyň temperaturasyny artdyrýar. Howa bilen garylan ýangyjyň ýanmagy netijesindeki garynda gaz diýýäris. Hereketlendirijiniň gazoturbinaly diýilmeginiň sebäbi hem şonuň üçindir.



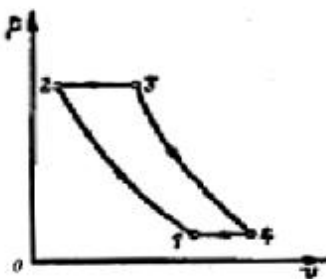
3.16-njy surat. Gazoturbina desgasynyň shemasy

Ýanyş kamerasyndan çykýan gaz  $p_2$  basyşda we öňkünden has ýokary  $t_3$  temperaturada (T) turbina geçirilýär. Gaz turbinanyň soplasynda giňelýär we turbinanyň pilçelerine urulýar, ony aýlaýar hem-de iş edýär. Gazyň giňelmeginiň hasabyna iş edilmegi onuň basyşynyň we temperaturasynyň degişlilikde  $p_4$  we  $T_4$ -e çenli peselmegine alyp barýar. Soňra gaz şol  $p_4$  basyşda we  $T_4$  temperaturada daşky gurşawa berilýär. Turbinadan daşyna çykarylýan gazyň basyşy we temperaturasy atmosferanyň basyşyndan we temperaturasyndan ep-esli ýokarydyr. Şonuň üçin hem köplenç daşaryk zyňylýan ýokary energiýaly gazyň ýylylygyny ýörite ýylylyk çalşygy enjamlaryň üsti bilen gaýtadan yzyna berip, kompressordan çykýan howany (ýanyş kamera berilmezden ozal) gyzdyrýarlar. Bu bolsa enjamyň ýa-da hereketlendirijiniň umumy peýdaly täsir koeffisiýentini artdyrýar, netijede onuň ykdysady tygşytlylygyny ýokarlandyrýar. Gazoturbinaly enjamlardan alynýan energiýanyň hemmesi daşky peýdaly işe gitmeýär. Onuň takmynan 70%-i kompressory işletmäge harçlanýar. Diňe 30%-i

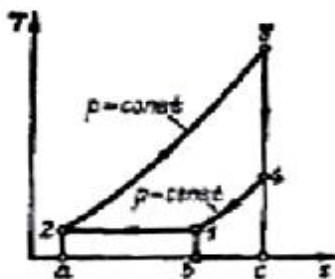
peýdaly iş üçin ulanylýar. Gazoturbinaly hereketlendirijiler ýangyjyň ýakylyş usuly boýunça hemişelik basyşda ýangyjy ýanýan gazoturbina we hemişelik göwrümde ýangyjy ýanýan gazoturbina enjamlaryna bölünýärler. Häzirki döwürde gazoturbinalar uçarlarda, demir ýol ulaglarynda, gämilerde, elektrik stansiýalarynda we beýleki energiýa sarp ediji iri hojalyklaryň dürli pudaklarynda giňden ulanylýar.

**Hemişelik basyşda ýylylyk berýän gazoturbina enjamyň aýlawy.** Hemişelik basyşda ýangyjyň ýanmagyna esaslanyp işleýän gazoturbina enjamyň işleýiş prosessine gysgaça seredip geçdik. Indi bolsa gazoturbina enjamynyň aýlawlaryna seredeliň. Hemişelik basyşda ýangyjyň ýanyş prosessine degişli aýlawlaryň iki görnüşi bardyr. Birinjisi kompressorda izoterma gysylyşy, beýlekisi bolsa adiabata gysylyşy aýlawlardyr.

Basyş  $p = \text{const}$  bolanda, izoterma gysylyş prosessine esaslanýan aýlawlar we T-s diagrammalarda (işçi jisimleri hyýaly gaz diýilip hasap edilýär) 3.17-nji we 3.18-nji suratlarda görkezilendir.



3.17-nji surat. Aýlawyň p-V diagrammasy



3.18-nji surat. Aýlawyň T-s diagrammasy

Degişlilikde we T-s – diagrammalarda:

1-2 izoterma gysylyş;

2-3 - hemişelik basyşda işçi jisime ýylylyk berliş;

3-4 - adiabata giňelme;

4-1 - izobara sowadylyş prosessleridir.

Görkezilen T-s diagrammada işçi jisiminden ýylylyk sowadyja 4-1 izobara prosessinde hem-de 1-2 izoterma gysylyş prosessinde berilýär. Şekillendirilen 2-3 izobara prosessinde işçi jisime berilýän udel ýylylyk  $q_1 = c_p(T_3 - T_2)$  formula boýunca hasaplanylýar. İşçi jisiminden 4-1 izobara we 1-2 izoterma prosessiniň netijesinde sowadyja (daşarky sreda) berilýän udel ýylylyk

$$q_2 = q_2' + q_2'' = c_p(T_4 - T_1) + RT_1 \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (3.5.18)$$

Gyzdyryjydan alynýan we sowadyja berilýän udel ýylylyk  $q_1$  we  $q_2$  ululyklary aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$q_1 = c_p(T_3 - T_2) = c_p T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right) \quad (3.5.19)$$

$$q_2 = T_1 c_p \left[ \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right) + R \ln \frac{P_2}{P_1} \right] \quad (3.5.20)$$

Bu formulalarda  $p_2/p_1 = \pi$ ;  $\pi$ -basyşyň ýokarlandyryş derejesi. TS diagrammadaky 2-3 izobara prosessi üçin  $T_3/T_2 = p_3/p_2 = \rho$ . Bu ýerde -göwrümüne giňeliş ululygy bilen belgilenýänligi üçin we  $R = c_p - c_v$  deňligi göz önünde tutup, hem-de izoterma prosessinde  $T_1 = T_2$  sebäpli  $q_1$  we  $q_2$  aňlatmalary aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$q_1 = c_p T_2 (r - 1) = c_p T_1 (r - 1)$$

$$q_2 = T_1 \left[ c_p \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right) + (c_p - c_u) \ln p \right]$$

Bu ýerde  $q_1$  we  $q_2$  bahalaryny  $h_t = 1 - q_2/q_1$  deňlemede ornuna goýup,  $p = \text{const}$  bolanda  $h_t$  formulasyny alýarlar.

$$h_t = 1 - \frac{p^{\frac{k-1}{k}} \left( \frac{k-1}{k} \ln p - 1 \right) + r}{p^{\frac{k-1}{k}} (r-1)} \quad (3.5.21)$$

Soňky formuladan görnüşi ýaly,  $\eta_t$  bahasy  $\pi$ -niň bahasyndan başga-da  $p$ -nyň bahasyna baglydyr.  $p$ -nyň her bahasyna degişli  $\eta_t$  -niň maksimal bahasyny tapmak üçin ýokarky formuladan  $\pi$ -e görä önüm almaly we alynan netijäni nola deňläp, aşakdaky aňlatmany alarys:

$$p = r^{\frac{k}{k-1}} \quad (3.5.22)$$

$\pi$ -niň bahasyny ýokarky formulada ornuna goýsak,  $\eta_t$  -niň maksimal bahasynyň formulasyny alarys:

$$h_t^{\max} = 1 - \frac{\ln r}{r-1} \quad (3.5.23)$$

Hemişelik basyşda adiabata gysylyş prosessi üçin  $\eta_t$ -niň formulasyny aşakdaky görnüşde ýazmak mümkin:

$$h_t = 1 - \frac{1}{p^{\frac{k-1}{k}}} \quad (3.5.24)$$

Hemişelik göwrümde ýylylyk berilýän gazoturbina enjamyň aýlawy üçin peýdaly täsir koeffisienti

$$h_t = 1 - \frac{k(I^{1/k} - 1)}{p^{\frac{k-1}{k}}(I - 1)} \quad (3.5.25)$$

formula bilen kesgitlenýär. Bu ýerde  $\lambda$  basyşyň ýokarlandyrylyş derejesi.

### 3.6 Ýylylyk geçirijiligiň esasy kanunlary

Ýylylyk geçirijiligiň manysyna düşünmek we ony mukdar taýdan häsiýetlendirmek üçin temperatura meýdany we temperatura gradiýenti diýlen düşüňjelerden peýdalanýarlar.

Temperatura **meýdany**. Islendik ýylylyk geçirijilik ýa-da ýylylyk çalyşyk jisimlerdeki dürli nokatlaryň ýa-da jisimleriň arasyndaky temperaturanyň dürlüligi sebäpli mümkindir.

Sredada temperaturanyň koordinata we wagta görä paýlanyşyna **temperatura meýdany** diýilýär.

Jisimleriň ýa-da sredanyň temperatura meýdany giňişligiň koordinatasyna we wagta baglylykda aşakdaky ýaly aňladylyar:

$$t = f(x, y, z, t) \quad (3.6.1)$$

Bu deňlemä temperatura meýdanyň matematiki aňladylyşy diýilýär.

Durnukly we durnuksyz temperatura meýdanyny tapawutlandyryýarlar. Eger-de temperatura meýdany wagta bagly üýtgemese, onda ol meýdana **durnukly temperatura meýdany** diýilýär. Durnukly temperatura meýdany matematiki taýdan aşakdaky ýaly aňladylyar:

$$t = f(x, y, z)$$

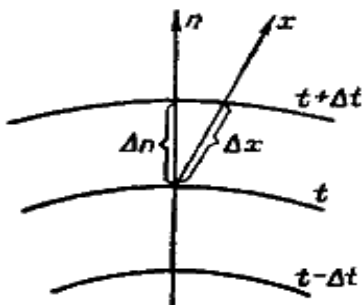
Ýokarky (12.1) formula durnukly däl temperatura meýdanyny häsiýetlendirýär. Jisimlerde ýa-da sredada temperaturanyň ýaýraýan ugurlary boýunça üç ölçegli, iki ölçegli we bir ölçegli temperatura meýdany diýlen düşüňjelerden peýdalanylýar we degişlilikde olar matematika taýdan aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$t = f(x, y, z, t); \quad t = f(x, y, t) \quad \text{we} \quad t = f(x, t)$$

Bir ölçegli, iki ölçegli we üç ölçegli durnukly temperatura meýdanlary üçin aşakdakylary ýazmak bolar:

$$t = f(x), \quad t = f(x, y) \quad \text{we} \quad t = f(x, y, z)$$

**Temperatura gradiýenti.** Jisimlerde temperaturanyň göwrüm boýunça paýlanmagyna garamazdan, köplenç, islendik temperatura meýdanynda birmeňzeş temperaturaly nokatlary tapmak mümkindir. Eger-de, şeýle nokatlary birleşdirsek birmeňzeş temperaturaly üsti alarys, oňa **izotermika üsti** diýilýär (3.19-nji surat).



3.19-njy surat. Izotermalar.

Temperaturanyň izoterma üstüne geçirilen normalyň ugry boýunça ulalmagy temperatura gradiýentini häsiýetlendirýär. Temperatura gradiýenti wektor ululyk bolup, aşakdaky formula bilen aňladylýar:

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta n} = \frac{\partial t}{\partial n} = \overrightarrow{\text{grad } t} \cdot \vec{n} \quad (3.6.2)$$

$\frac{\partial t}{\partial n}$  - temperatura gradiýenti - izotermika üstüň dürli nokatlarynda dürlüdür. Onuň ululygy izoterma üstleriň aralygynyň kiçi ýerinde uludyr. Temperatura gradiýentiň ölçeg birligi  $\frac{\text{grad}}{m}$ ,  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  koordinata oklaryna görä  $\text{grad } t$  proyektirläp, aşakdaky aňlatmalary alarys:

$$\begin{cases} (\text{grad } t)_x = \frac{\partial t}{\partial n} \cos(n, x) = \frac{\partial t}{\partial x} \\ (\text{grad } t)_y = \frac{\partial t}{\partial n} \cos(n, y) = \frac{\partial t}{\partial y} \\ (\text{grad } t)_z = \frac{\partial t}{\partial n} \cos(n, z) = \frac{\partial t}{\partial z} \end{cases}$$

**Ýylylyk akymy. Furýeniň kanuny.** Tekizlik boýunça ýylylygyň ýaýramak şerti jisimleriň islendik nokatlarynda temperatura gradiýentiniň nula deň bolmazlygydyr. Jisimlerde ýylylyk geçirilişi tejribe üsti bilen öwrenen belli alym Furýe izotermika üstden kesgitli wagt aralygynda geçýän ýylylygyň temperatura gradiyente proporsionaldygyny bilipdir. Furýe  $dF$  üstden  $d\tau$  wagt aralygynda geçýän  $dQ$  ýylylygy aşakdaky formula bilen aňladypdyr:

$$dQ = -l \frac{\partial t}{\partial n} dF dt \quad (3.6.4)$$



Bu formuladaky  $\lambda$  – proporsionallyk koeffisiýenti tejribe üsti bilen kesgitlenip, oňa ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti diýilýär. Bu koeffisiýent jisimiň (maddanyň) ýylylyk geçirijilik ukbybny häsiýetlendirip, onuň ölçeg birligi Wt/m.

Wagt birliginde meýdany bir birlige deň bolan izotermika üstden geçýän ýylylyk mukdaryna ýylylyk akymynyň dykyzlygy diýilýär. Ýylylyk akymynyň dykyzlygy (3.6.4) formulanyň esasynda skalýar görnüşinde aşadaky ýaly ýazylyar:

$$q = -l \frac{\partial t}{\partial n} \quad (3.6.5)$$

Formuladaky “–”-minus alamaty ýylylyk akymynyň temperatura gradiýentiniň tersine ugrukdyrylandygy üçündir. Dogrudan hem temperatura gradiýenti kiçi temperaturaly nokatdan uly temperaturaly nokada ugrukdyrylsa, ýylylyk akymy, ozal aýdylyşy ýaly tersine, ýokary temperaturaly nokatdan pes temperaturaly nokada ugrukdyrylandyr.

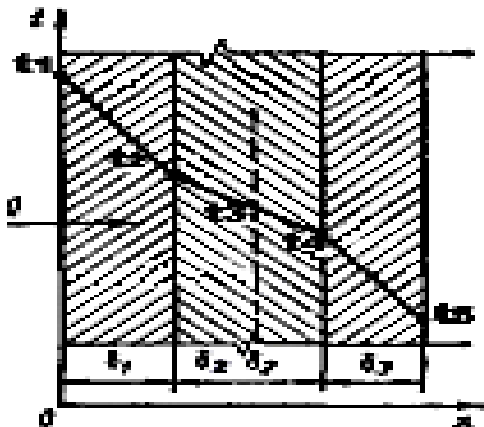
Ýylylyk akymynyň birligi Wt, ýylylyk akymynyň dykyzlygynyň (udel ýylylyk akymynyň) birligi bolsa  $\frac{Wt}{m^2}$ .

**Tekiz diwarda ýylylyk geçirijilik.** Tehnikada we gurluşykda tekiz üstlerden we tekiz diwarlardan ýylylygyň geçirilişini bilmek gerek bolýar.

Şeýle hasaplamalar esasan ýaşaýyş we önümçilik jaýlar taslananda geçirilýär. Birjynsly, birmeňzeş galyňlykly diwaryň ýylylyk akymynyň formulasy aşadaky görnüşde aňladylýar:

$$q = \frac{l}{d}(t_1 - t_2) \quad (3.6.7)$$

-  $\frac{l}{d}$  - ululyga diwaryň ýylylyk geçirijiligi,  $\frac{d}{l}$  ululyga bolsa diwaryň ýylylyk garşylygy ýa-da termiki garşylygy diýilýär.



3.20-nji surat Köp gatlakly tekiz diwaryň ýylylyk geçirijiligi

Eger diwar dürli galyňlykly dürli materiallardan ýasalan gatlaklardan durýan bolsa, onda ýylylyk akymy aşakdaky formula bilen aňladylýar:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{d_1}{l_1} + \frac{d_2}{l_2} + \frac{d_3}{l_3}}$$

**Konwektiw ýylylyk çalşygy.** Konweksiýa boýunça ýylylyk çalşmasy ýylylyk geçirijilik bilen bilelikde bolup geçýär. Bilelikde bolup geçýän bu prosesse konwektiw ýylylyk çalşmasy diýilýär.

Konweksiýa boýunça berilýän ýylylyk akym Nýutonyň formulasy boýunça kesgitlenilýär:

$$Q = a(t_1 - t_2)F ; \quad (3.6.8)$$

bu ýerde  $a$  - ýylylyk berijilik koeffisiýenti  $\frac{Wt}{m^2 grad}$ ;

$F$  - konweksiýa prosessine gatnaşýan üstüň meýdany,  $m^2$  ;

$t_1$  - ýylylygyny beriji akymyň ortaça temperaturasy, grad;

$t_2$  - ýylylygy kabul ediji üstüň temperaturasy, grad.

Eger gaty üstüň temperaturasy suwuklygyň ýa-da gazyň temperaturasyndan ýokary bolsa, onda konweksiýa boýunça ýylylyk üstten sreda berilýär:

$$Q = a(t_2 - t_1)F \quad (3.6.9)$$

Formulalardaky  $a$  ýylylyk berijilik koeffisiýenti proporsionallyk koeffisiýenti bolup, ol temperatura tapawudy  $1^0C$  bolan, meýdany  $1m^2$  bolan üstten berilýän ýylylyk akymyna san taýdan deňdir. ululuk şol bir wagtda suwuklygyň gatlaklarynyň ýylylyk geçirijiligini hem hasaba alýar.

Ýylylyk tehnikasy meselelerinde esasy mesele ululugy takyk kesgitlemeklige syrygýar. Ol ululyk akymyň häsiýetine bagly. Laminar kadaly akymmy, turbulent kadaly akymmy ýa-da akymyň geçiş kadasymy?

Laminar akymda akymyň gatlaklary garyşman, akym ýuwaş durnukly häsiýete eýe bolýar. Turbulent akym bolanda onuň gatlaklary biri-birleri bilen gatyşyp, örän çylşyrymly köwlenme häsiýetine eýe bolýar.

Ýylylyk berijilik koeffisiýentiniň ululygy erkin konweksiýada, ýagny suwuklyk gyzdýrylanda ýa-da sowadylanda onuň bölejikleriniň dykzlygynyň üýtgemesi bilen baglanşykly konweksiýada bir ululyga, mejbury konweksiýada

bolsa başga ululyga deňdir. Bu koeffisiýentiň ululygyna ýene-de suwuklygyň fiziki häsiýeti (dykzlyk, ýylylyk geçirijilik, ýylylyk sygym, şepbeşiklik), gaty üste deňişlilikde (onuň içki ýa-da daşky üstüne deňişlikde) ýylylyk akymyň ugry, üstüň formasy, üstüň büdür-südürlik derejesi we temperatura interwaly täsir edýär.

Konwektiw ýylylyk çalyşygy öwrenilende fiziki we geometriki ululyklary saklaýan kriteriýalar diýip atlandyrylýan ölçegsiz gatnaşyklardan ybarat meňzeşlik nazaryýetinden peýdalanylýar.

Ölçegsiz gatnaşyklar ýa-da kriteriýalar ýylylyk geçiriliş prosessini beýan edýän deňlemeler (ýylylyk geçirijileriň deňlemesi, konweksiýa ýylylyk geçirijileriň deňlemeleri) ölçegsiz görnüşe geçirilip alynýar.

Kriterial formulalary peýdalanmak üçin deňişli suwuklygyň we suwuklygyň galtaşýan gaty üstüň ýylylyk fiziki we geometriki parametrlerini bilmeli. Olardan başga-da konwektiw ýylylyk çalyşygy öwrenilende kesgitleýji ölçeg diýlen parametr peýdalanylýar. Meselem, silindrik görnüşli turbanyň içki üstündäki ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti üçin kesgitleýji ölçeg bolup, turbanyň içki diametri hyzmat edýär. Tekiz üstler, plastinalar üçin kesgitli ölçeg bolup, suwuklygyň hereketiniň ugry boýunça onuň uzynlygy kabul edilýär.

Konwektiw ýylylyk çalyşygy boýunça umumy kriterial deňleme:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr) \quad (3.6.10)$$

Deňlemedäki kriteriýalar ýylylyk çalyşmasy nazaryýetine uly goşant goşan alymlaryň familiýalarynyň başky iki harpy bilen aňladylýar.

Ýokarky funksiýada gidrodinamika deňişli meňzeşligiň kesgitleýji kriteriýasy, Reýnoldsyň kriteriýasy bar. Ol kriteriýa

turbalar we plastina üçin  $Re = \frac{wl}{n}$  görnüşe eýedir, bu ýerde  $w$  - suwuklygyň ortaça tizligi,  $W$  - suwuklygyň orta tizligi,  $\frac{m}{s}$ ;  $n$  – sepbeşiklik koeffisiýenti, ýa-da kinematiki sepbeşiklik,  $m^2/s$ .

$Re$  – niň uly bolmadyk bahasy suwuklyklaryň laminar akymyna degişlidir. Reýnoldsyň kriteriýasy inersiýa güýjüniň sepbeşiklik güýjüne gatnaşygyny häsiýetlendirýär. Laminar akym turbulent akyma geçende  $Re = 2 \cdot 10^3 \div 10^4$  baha eýe bolýar.  $Re > 10^4$  bolanda **ýaýbaňlanan turbulent akymy** ýüze çykýar. Ýokarky formula mejbury konwektiw ýylylyk çalşygy prosesinde ulanylýar.

Erkin konweksiýa ýylylyk çalşygynnda ýokarky deňleme aşakdaky görnüşe geçýär:

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad (3.6.11)$$

Göteriji güýjüň kesgitleýji kriteriýasyna Grasgofyň kriteriýasy diýilýär. Bu kriteriýa suwuklykda dykzlygyň tapawudynyň hasabyny ýüze çykýan göteriji güýji häsiýetlendirýär:

$$Gr = \frac{b \cdot gl^3 \Delta t}{n^2} \quad (3.6.12)$$

$g=9.81 \text{ m/s}^2$  –erkin gaçmanyň tizlenmesi;

$b$  –göwrümine giňelme temperatura koeffisiýenti,  $1/\text{grad}$ ;

$\Delta t$  – temperatura tapawudy, grad.

Mejbury konweksiýada göteriji güýjiň täsiri hasaba alynmaýar. Şonuň üçin degişli hasaplamalar üçin ulanylýan deňlemä Gragofyň kriteriýasy girmeyär.

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (3.6.13)$$

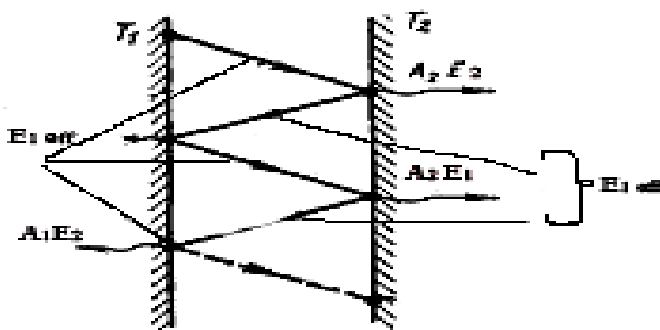
Formuladaky Pr kriteriýa konwektiw ýylylyk çalyşmada suwuklygyň fiziki häsiýetini hasaba alýar. Bu kriteriýa Prandtlň kriteriýasy diýilýär.

$$Pr = \frac{mc_p}{l} \quad (3.6.14)$$

Gazlarda basyşa we temperatura az bagly. Iki atomly gazlar, howa üçin  $=0.7$ .

**Jisimleriň arasyndaky şöhlelenme boýunça ýylylyk çalşygy.** Jisimleriň arasyndaky şöhlelenme boýunça ýylylyk çalyşmasyna degişli meseleler tehnikada we durmuşda köp gabat gelýär. Jisimleriň özara şöhlelenme energiýalary her sapa ol jisimler tarapyndan bölekleyin siňdirilýär we bölekleyin serpilýär.

Özara ýakyn ýerleşdirilen, ýagny ölçegleri aralyklary bilen deňeşdirilende örän uly bolan parallel tekizlikleriň özara şöhlelenmesine seredeliň (3.21-nji surat).



3.21-nji surat. Parallel tekizlikleriň özara şöhlenmesiniň shemasy

Parallel ýerleşdirilen jisimiň biriniň, meselem çepkisiniň, temperaturasy ikinjisiniň temperaturasyndan ýokary diýeliň ( $T_1 > T_2$ ). Temperaturasy ýokary bolan tekizligiň garalyk derejesi  $e_1$ , pes temperaturaly tekizligiň garalyk derejesi bolsa  $e_2$  bolanda çepki tekizligiň sagky tekizlige şöhlenme arkaly berýän ýylylyk mukdaryny tapalyň.

Tekizlikleriň arasynda gurak howa bar diýip düşüňäris.

Tekizlikleriň arasyndaky howanyň ýylylyk geçirijilik we konweksiýa arkaly ýylylyk bermek mümkinçiligi hasaba alynmaýar. Temperaturasy ýokary bolan tekizligiň hususy şöhlenmesi  $E_1$  we oňa pes temperaturaly tekizlikden  $E_{2eff}$  şöhlenme düşýär. Şeýle hem, birinji tekizlik  $e_1 \cdot E_{2eff}$  şöhlenme energiýany kabul edýär we  $(1 - e_1) E_{eff}$  energiýany bolsa serpikdirýär. Netijede, temperaturasy ýokary bolan tekizlikden beýleki tekizlige berilýän effektiw şöhlenme:

$$E_{1eff} = E_1 + (1 - e_1) E_{2eff} \quad (3.6.15)$$

Edil şonuň ýaly, temperaturasy pes bolan soňky tekizlikden birinji tekizlige berilýän effektiv şöhlelenme:

$$E_{2eff} = E_2 + (1 - e_2) E_{1eff} \quad (3.6.16)$$

bu ýerde  $E_2$  - ol tekizligiň hususy şöhlelenmesi.

(3.6.16) deňligi (3.6.15) deňlige goýup, deňişli öwürmeler geçirip,

$$E_{1eff} = \frac{E_1 + E_2 - e_1 E_2}{e_1 + e_2 - e_1 e_2} \quad (3.6.17)$$

(3.6.15) deňligi (3.6.16) deňlige goýup bolsa  $E_{2eff}$  üçin

$$E_{2eff} = \frac{E_1 + E_2 - e_2 E_1}{e_1 + e_2 - e_1 e_2} \quad (3.6.18)$$

deňişli formulalary alarys.

Iki tekizligiň arasyndaky şöhlelenme netijesindeki udel şöhlelenme ýylylyk akymy:

$$q_{1-2} = E_{1eff} - E_{2eff} = \frac{e_2 E_1 - e_1 E_2}{e_1 + e_2 - e_1 e_2}$$

Bu formula

$$E_1 = e_1 c_0 \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \quad \text{we} \quad E_2 = e_2 c_0 \left( \frac{T_2}{100} \right)^4$$

formulalary goýup aşakdaky formulany alarys:



$$q_{1-2} = \frac{e_1 e_2 c_0 \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - e_1 e_2 c_0 \left( \frac{T_2}{100} \right)^4}{e_1 + e_2 - e_1 e_2} \quad (3.6.19)$$

Formulanyň sanawjysyny we maýdalawjysyny  $e_1 e_2$  böleliň :

$$q_{1-2} = \frac{c_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} - 1} = e_{get} \cdot c_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

bu ýerden

$$e_{get} = \frac{1}{\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} - 1} \quad (3.6.20)$$

$e_{get}$  - iki parallel tekizlikler ulgamynyň getirilen garalyk derejesi.

### 3.7 Çylşyrymly ýylylyk çalşygy. Ýylylyk çalşygy enjamlar

Ýylylyk çalşygyň ýokarda seredilen üç görnüşi: ýylylyk geçirijilik, konweksiýa we şöhlelenme tebigatda hem-de durmuşda köplenç bilelikde bolup geçýär. Üç görnüşi bir wagtda bilelikde bolup geçýän ýylylyk çalyşma prosessine çylşyrymly ýylylyk çalyşmasy diýilýär.

Çylşyrymly ýylylyk çalyşmada umumy ýylylyk akymynyň dykzlygyny konwektiw ýylylyk çalyşygynyň hem-de

şöhlemenme boýunça ýylylyk çalyşygynyň üsti bilen aşakdaky ýaly aňladýarlar:

$$q = q_k + q_{\text{io}} \quad (3.7.1)$$

$q_k$  -konwektiw ýylylyk çalyşygynda ýylylyk akymynyň dykzlygy bolup, öz içine ýylylyk geçirijilik we konweksiýa boýunça ýylylyk geçirilişi alýar.

$$q_k = a_k(t_s - t_d) \quad (3.7.2)$$

bu ýerde  $a_k$  - konweksiýa boýunça ýylylyk berijilik koeffisiýenti,  $Wt (m^2 K)$ ;  $t_s$  we  $t_d$  – degişlilikde suwuklygyň (gazyň) ýylylygy berýän ýa-da kabul edýän üstüň (diwaryň) temperaturasy,  $q_s = a_s(t_s - t_d)$  - şöhlemenme arkaly berilýän (ýa-da alynýan) ýylylyk akymynyň dykzlygy;  $a_s$  - şöhlemenme boýunça ýylylyk berliş koeffisiýenti,  $Wt/(m^2 \cdot K)$ .

Ýokarky formulalary göz önünde tutup, (3.7.1)-i aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$q = (a_k + a_s)(t_s - t_d) = a(t_s - t_d)$$

$a = a_k + a_s$  - umumy ýylylyk berliş koeffisiýenti. Bu ýerde şöhlemenme boýunça ýylylyk berliş koeffisienti aşakdaky inženerçilik formulasy arkaly kesgitlenilýär.

$$a_s = ec_0 \cdot 10^{-8} (T_s^4 - T_d^4) / (T_s - T_d) \quad (3.7.3)$$

Köplenç suwuklyklaryň (gazlaryň) arasyndaky ýylylyk çalşygy olary bölýän gaty diwarlaryň, germewiň üsti bilen bolup geçýär. Bu ýagdaýda suwuklyklaryň arasyndaky ýylylyk çalşygy olary bölýän diwaryň (germewiň) üsti bilen bolýan ýylylyk çalşygyna ýylylyk geçiriliş diýilýär.

Çylşyrymly ýylylyk çalşymasynda ýylylyk akymy şu formula bilen kesgitlenilýär:

$$Q = k(t_1 - t_2)F \quad (3.7.4)$$

$k$  - ýylylyk geçiriliş koeffisiýenti,  $\frac{Wt}{m^2 K}$  ;

$F$  – ýylylyk çalşylýan üstüň meýdany,  $m^2$  ;

$t_1$  we  $t_2$  - ýylylyk çalşyjy suwuklyklaryň temperaturalary.

**Ýylylyk çalşyjy enjamlar.** Bir ýylylyk äkidijiden beýleki ýylylyk äkidijä ýylylygy geçirmek üçin ulanylýan enjamlara ýylylyk çalşyjy enjamlar diýilýär. Ýylylyk çalşyjy enjamlar gurluşlaryna baglylykda rekuperatiw, regeneratiw we garyjy görnüşlere bölünýärler.

Rekuperatiw ýylylyk çalşyjy enjamlarda ýylylyk bir gyzgyn suwuklykdan (gazdan) başga oňa görä sowuk suwuklyga (gaza) olaryň arasyňy bölýän (germewiň) diwarlaryň üsti bilen berilýär.

Regeneratiw enjamlarda şol bir üst gyzdyrylýar we sowadylýar. Bu gurluşlarda üst gyzdyrylan wagty ýylylyk akkumulirlenýär. Soňra bu üstden gyzdyrylmaga degişli sowuk akym geçirilende bolsa, öňki akkumulirlenen ýylylygyň hasabyna sowuk suw (gaz) gyzyýar.

Demir ýol pudagynda köplenç rekuperatiw ýylylyk çalşyjy enjamlar ulanylýar. Bu görnüşli ýylylyk çalşyjy

enjamlar jaýlaryň ýyladyş ulgamlarynda durmuşda we tehnikada giňden ulanylýar.

Ýylylyk çalyşma prosessinde alynýan ýa-da berilýän ýylylyk mukdary hasaplananada esasy hasaplama formulasy hökmünde aşakdaky formula peýdalanylýar:

$$Q = kF\Delta t_{or} \quad (3.7.5)$$

Bu ýerde  $k$ - ýylylyk geçiriliş koeffisiýenti

$\Delta t_{or}$  - ortaça tempratura tapawudy.