

**M. Aşyrbaýew, S. Daňatarow**

**ÝYLYLYK**

**TEHNIKASY**

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

**Türkmenistanyň Bilim ministrligi**

**tarapyndan hödürlenildi**

**Aşgabat - 2009 ý.**

**Meret Hezretgulyýewiç** – tehniki ylymlaryň doktory, Türkmen  
**Aşyrbaýew** döwlet ulag we aragatnaşyk instituty

**Sapargeldi Daňatarow** – tehniki ylymlaryň kandidaty,  
Türkmen politehniki instituty

Bu okuw kitabynda ”Ýylylyk tehnikasy” dersine degişli dünýä ülüňlerine laýyk gelýän ähli maglumatlar toplanan we bu kitap türkmen dilinde ýazylan ili düýpli işleriň biridir. Bu iş ýurdumyzyň ýokary okuw mekdeplerinde okaýan talyplara we şol ugurda işleýän mugallymlara, hünärmenlere, ylmy – tehniki işgärlere öz hünärlerini kämilleşdirmäge kömek edir bilen.

**Synçylar:** **G. Toýlyýew** – Magtymguly adyndaky Türkmen döwlet uniwersitetiniň professory, tehniki ylymlaryň doktory, TÝA-nyň habarçy agzasy;  
**A.Rahmanow** – Magtymguly adyndaky Türkmen döwlet uniwersitetiniň professory, tehniki ylymlaryň doktory.

## Sözbaşy

Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň alyp barýan bilim-ylm syýasatynyň esasy maksady Türkmenistan döwletimiziň ähli pudaklar boýunça pajarlap ösýän senagatyny we energetikasyny dolandyrjak, onuň geljekde ykbalyny çözjek, ylymly-bilimli, sagdyn nesli ýetişdirmekden, dünýäniň ösen tehnologiýasyndan başy çykýan hünärmenleri taýýarlamakdan ybaratdyr.

Ýaş neslimizi watançylyk ruhunda terbiýelemekde we öwrenýän hünäri boýunça dünýä ülhülerine laýyk hünärmenleri taýýarlamakda bilimiň çeşmesi bolan okuw kitaplarydyr usuly gollanmalary öz milli dilimizde taýýarlamagyň ähmiýeti örän uludyr.

Talyplaryň özbaşdak öwrenmegini netijeli ýola goýmagyň mümkinçilikleri, esasan, okuw kitaplarynyň, usuly gollanmalaryň kämilleşdirilmegi bilen baglanyşyklydyr.

Türkmen döwletimiziň ösüşine, ykdysadyýetine beýleki pudaklar bilen bir hatarda energetika pudagynyň hem täsiri bimöçberdir. Energetika ulgamy bolsa ýylylyk tehnikasy bilen baglanyşyklydyr. Şonuň üçin Türkmenistanyň ýokary okuw mekdepleriniň birnäçesinde “Ýylylyk tehnikasy” dersi okadylýar.

Ýylylyk tehnikasy dersini öwrenmegiň we ony özleşdirmegiň esasy maksady tehniki ugurlar boýunça ýokary bilim alýan hünärmenleriň senagatyň dürli pudaklarynda, ulagda we gurluşykda ulanylýan çylşyrymly ýylylyk we energiýa desgalarynyň işleýiş düzgünlerine, olaryň shema aýratynlyklaryna düýpli düşünmegini, ýylylyk hadysalaryna degişli çylşyrymly meseleler çözülende onuň dogry we ähmiýetli çözüwlerini tapmak üçin termodinamikanyň kanunlaryny ulanmak başarnyklaryny üpjün etmekden ybaratdyr. Ýylylyk tehnikasynyň öwrenilýän döwründe her bir talyp ýylylyk, bug, gaz turbinalarynyň we sowadyjy maşynlaryň aýlawlary boýunça olaryň PTK-syny özbaşdak hasaplamaklygy, nazary we hakyky işçi aýlawlary biri-birlerinden tapawutlandyrmagy, enjamlaryň PTK-ini ýokarlandyrmagyň usullaryny bilmelidir.

Ýokary okuw mekdepleriniň ýylylyk tehnikasyny öwrenýän talypalary we şol ugurda işleýän hünärmenler üçin niýetlenip ýazylan

“Ýylylyk tehnikasy” atly okuw kitaby mazmuny boýunça Türkmenistanyň ýokary okuw mekdepleriniň birnäçe hünärleriniň okuw maksatnamasyna doly laýyk gelýär. Bu okuw kitabynda Tehniki termodinamikasy, ýylylyk çalşygy, ýangyçlar, ýangyç ojaklary, gazanlar, gazan desgalary, içinden ýandyrylýan hereketlendirijiler, kompressorlar we wentilýatorlar, ýylylyk elektrik stansiýalary, gaz turbinaly stansiýalar, energiýa desgalary we enjamlary barada, şeýle hem şol enjamlaryň gurluş we işleýiş kadalary barada giňişleýin beýan edilýär.

## Giriş

Yylylyk tehnikasy ylmy ýaş ylym bolup, ol fizikanyň, matematikanyň, himiýanyň gazananlaryny özünde jemleýär. Bu ylymda beýleki ylymlardan tapawutlylykda tas yuz yyllap amalyýet nazaryýetden öňde bolupdyr.

Adamlar ir döwürlerden başlap dürli görnüşli ulaglary we mehanizmleri oýlap tapmak bilen meşgullanypdyrlar.

Ilkinji oýlanyp tapylan ulaglar we mehanizmler örän tagaşyksyz, energiýany has köp talap edýän, tizligi örän ujypsyz ulaglar bolupdyr. Olar bolsa adamlaryň barha ösýän talaplaryny ödäp bilmändir. Kämil, energiýany rejeli ulanýan ulaglary we mehanizmleri döretmek üçin ylmy nazaryýetler gerek boldy. Ol nazaryýetler, hasaplamalar kem-kemden özbaşdak ýylylyk tehnikasy diýlen ylmyň döremegine getirdi.

Ylmy nazaryýetiň ösmegi energiýany bir görnüşden başga görnüşe özgerdýän, täze, has kämil hereketlendirijileriň, mehanizmleriň we ulaglaryň döremegine getirdi.

Yylylyk tehnikasy öz içine tehniki termodinamika, ýylylyk geçiriliş, energiýany bir görnüşden başga görnüşe özgerdiji energetik desgalara, maşynlara we mehanizmlere degişli bölümleri alyp, ýaşaýyş üçin wajyp köp meseleleriň üstünde durup geçýär.

Adamlaryň ýylyň dowamynda saglygyny saklamagy uçin olaryň ýaşaýan, işleýän jaýlarynda kadaly yylylygyň döredilmegi, tomsuna bolsa gerek salkynlygyň döredilmegi, gök önümleriň, azyk önümleriň zaýalanmazlygy üçin olary sowuk saklamak, ol önümleriň kakadylmagy, ýylylyk, elektrik we beýleki energiýalary öndürmek meseleleri ýylylyk tehnikasynyň öwrenýän meseleleridir.

Yylylyk energiýasyny özgerdiji, aralyga geçiriji maşynlaryň, mehanizmlerin, abzallaryň işleýiş düzgünine, olaryň işleýiş düzgüniniň düýp manysyna düşünmäge hem ýylylyk tehnikasy mümkinçilik berýär.

Ýylylyk tehnikasy biziň ýurdumyzda hem giňden ösendir.

Ýurdumyzda Hormatly Prezidentimiziň ýolbaşçylygynda her bir raýatyň energiýa bilen üpjünçiligine, ol energiýanyň tygşytlý ulanylmagyna köp üns berilýär. Garaşsyz, Bitarap Watanymyzyň

dürli künjeklerinde häzirki zaman ösen tehnologiýalaryna daýanýan elektrik stansiýalary gurulýar. Soňky ýyllaryň dowamynda ýurdumyzda ozaldan işläp gelýän bug turbinaly elektrik stansiýalaryndan başga-da gaz turbinaly elektrik stansiýalarynyň birnäçesi guruldy we olarda elektrik energiýasy öndürilýär. Türkmenbaşy şäherinde – 82 MWt, Balkanabatda – 123 MWt, Abadanda – 254 MWt, Aşgabatda - 254 MWt, Tejende – 19 MWt, Seýdide – 254 MWt, Daşoguzda – 254 MWt elektroenergiýasy gaz turbinaly elektrik stansiýalarynda öndürilýär. Bu energiýa çeşmeleri ýeke bir ýurduň hajatlaryny üpjün etmek bilen çäklenmän, eýsem goňşy ýurtlara hem çykarylýar.

# I BÖLÜM

## TEHNIKI TERMODINAMIKA

### Birinji bab. ESASY MAGLUMATLAR. HYÝALY GAZLARYŇ KANUNLARY

#### 1.1. Tehniki termodinamika nämäni öwrenýär ?

Termodinamika bilen mekdep ýyllarynda azda-kände tanyş bolunýar. Eýýäm mekdepde termodinamikanyň energiýa baradaky, energiýanyň bir görnüşden başga görnüşe geçmeginiň kanunalaýyklygyny öwrenýän ylymdygyny aňansyňyz.

Biziň bilşimiz ýaly, energiýanyň birnäçe görnüşleri bar. Olardan mehaniki, ýylylyk, himiki, biologiki we başgalary bilýäris. Biz öz durmuşymyзда bu energiýalaryň biri-birlerine öwrülýänliginiň şaýady bolýarys. Meselem, maşynlarda we mehanizmlerde ýylylyk energiýasynyň mehaniki energiýa owrulyandygyny bilýäris. Termodinamika şu energiýa öwrülişiklerini mehanizmlerine düşünmäge kömek edip, olaryň öwürlmekleriniň esasy kanunalaýyklygyny öwredýär. Tehnikada ýylylyk-energiýasynyň mehaniki energiýa öwrülişiginiň kanunalaýyklygyny öwrenýän ylma **tehniki termodinamika** diýilýär. **Termodinamika** grek sözi bolup, **termo** – ýylylyk we **dinamika** – güýç diýmekdir.

Tehniki termodinamikadan başga-da fiziki termodinamikasy we himiki termodinamika bardyr. Olar energiýanyň degişli görnüşleriniň özara öwrülişini öwrenýärler.

Tehniki termodinamikanyň öwrenýän esasy meseleleriniň biri ýylylyk energiýanyň mehaniki energiýa, mehaniki energiýanyň bolsa ýylylyk energiýa öwürliş prosessleridir. Termodinamikanyň esaslary XIX asyrdan emele geldi. Sebäbi şol döwürlerde ýylylyk hereketlendirijileri oýlanyp tapylyp, ol hereketlendirijilerdäki bolup geçýän prosessleri öwrenmek gerek boldy.

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

Termodinamikanyň beýleki ylymlardan esasy tapawudy ol jisimleriň molekulýar gurluşyny göz önünde tutman diňe olaryň ýagdaýlarynyň üýtgeýsini häsiýetlendirýär.

Termodinamikanyň esasyny termodinamikanyň 1-nji we 2-nji kanunlary düzýär. Termodinamikanyň 1-nji kanuny energiýanyň saklanmak, öwrülme kanunynyň mukdar tarapyň häsiýetlendirse, 2-nji kanun bolsa onuň hil tarapyň häsiýetlendirýändir.

Termodinamikanyň kanunlarynyň jisimleriň molekulýar gurluşlaryny hasaba almazlygy, 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 öwürilişikleri barada, umuman olarda bolup geçýan prosessler barada giň maglumatlary almak bolýar.

## 1.2. Termodinamiki parametrler we olaryň ölçenilişi

Maşynlarda, mehanizmlerde, sowadyjy ulgamlarda işçi jisimler hökmünde bug, gaz, howa we birnäçe dürli görnüşli suwuklyklar we olaryň buglary ulanylýar. Bularyň hemmesini geljekde gaz diýip atlandyralyň. Elbetde işçi jisim hökmünde gazlary ulanýan maşynlaryň işjenligi, olaryň öndürijiligi gazyň ýagdaýyna, has dogrusy onuň ýagdaýyny häsiýetlendirýän esasy parametrlere baglydyr. Gazyň 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:

$$v = \frac{V}{m}.$$

Biziň daş töweregimizi gurşap alyan howa molekulalary üstlere, diwarlara, biziň bedenimize dyngysyz urlup, başyş edýarler. Ol **basys** asakdaky formula arkaly anladylar:

$$p = \frac{F}{S}. \quad (1.1)$$



$F$  – üste täsir edýan güýç. Güýjüň ölçeg birligi Nýuton. Bir Nýuton diýip massasy 1 kg bolan jisime  $1\text{m}/\text{sek}^2$  tizlenme berýän güýje aýdylýar. Nýuton gysgaça N harpy bilen belgilenilýär. S-meýdan, ölçeg birligi  $\text{m}^2$ . Diýmek, basyşyň ölçeg birligi  $\text{N}/\text{m}^2$  ýa-da Paskal (Pa). Basyşyň bu birligi örän kiçi, şonuň üçin hem tejribelikde ondan has uly bolan birlikler bilen iş salşylýar. Meselem, bar.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N}/\text{m}^2.$$

Basyş adatça ölçenende atmosfera basyşyna görä ölçenilýär. Şonuň üçin hem manometrlerde (howanyň basyşyna görä) artykmaç basyş ölçenilýär. Howanyň basyşy barometrler bilen ölçenilýär. 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,

$$p_{abs} = p_{bar} - p_{wak}. \quad (1.2)$$

Howanyň basyşy onuň temperaturasyna baglydyr. **Temperatura** esasy termodinamiki parametrleriň biri bolup, ol jisimleriň gyrgyznlyk derejesini häsiýetlendirýär. Jisimleriň, suwuklyklaryň, gazlaryň umuman, islendik sredanyň gyrgyznlyk derejesi onuň molekulalarynyň, atomlarynyň tertipsiz hereketiniň çaltlygy bilen kesgitlenilýär. Haýsy jisimiň molekulalarynyň ortaça tizligi ýokary bolsa, onda şol jisimiň gyrgyznlygy, ýagny temperaturasy ýokary bolýar.

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

$$W_k = \frac{m\mathcal{G}^2}{2}. \quad (1.3)$$

Gazyň tertipsiz hereket edýän molekulalarynyň orta kwadrat tizligi orta mekdepeden belli bolusy ýaly, temperatura baglylykda aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$\mathcal{G}_{or.kw} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}. \quad (1.4)$$

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. **Selsiýa** bilen ölçenilýän temperatura bolsa  $t$  harpy bilen belgilenilýär. Iki birlikler bilen olcenilýan temperaturalaryň arasyndaky özara baglanyşyk aşakdaky formula bilen aňladylýar:

$$T = t^{\circ}C + 273,16. \quad (1.5)$$

Jisimleriň termodinamiki ulgamlarda ýagdaýlaryny häsiýetlendirýän parametrleriň ýene-de biri, ýokarda aýdylyşy ýaly, jisimleriň udel göwrümidir. Islendik maddanyň dykzlygy onuň massasynyň göwrümüne bolan gatnaşygy bilen kesgitlenilýär. Ýagny

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1.6)$$

Dykzlygyň ters ululygy bolsa udel göwrümdir. Ýagny:

$$\nu = \frac{1}{\rho} . \quad (1.7)$$

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

Dykyzlyk, udel göwrüm jisimiň termodinamiki parametrlerine, ýagny, temperatura we basysa baglydyr.

Ýokarda jisimleriň ýagdaýyny häsiýetlendirýän birnäçe parametrleriň içinde iň esasyalaryna seredip geçildi. Indi termodinamikada örän köp duş gelýän ýagdaý diýilýän düşüňjä seredip geçeliň.

Maddalar adatça esasan uç halda bolup bilýär: gaty, suwuk hem-de gaz halynda. Maddalaryň bu hallary ýokarky sanalan termodinamiki parametrlere bilen kesgitlenilýär. Diýmek, işçi jisimiň, ýöne jisimiň, ulgamyň termodinamiki ýagdaýy deňagramlylyk ýagdaýyndaky ony häsiýetlendirýän termodinamiki parametrleriň toplumy bilen kesgitlenilýär.

Termodinamiki ulgam diýlip nämä düşünilýär?

**Termodinamiki ulgam** diýip biri-birleri hem-de daşky sreda bilen ýylylyk we mehaniki täsirde bolýan, daşky sredadan çäklenen jisimlere ulgam (jisimleriň toplumyna) düşünilýär. Termodinamiki ulgamy häsiýetlendirýän parametrlere wagta görä üýtgemeseler, onda ol termodinamiki deňagramlylykda bolýar. **Daşky sreda** diýlip seredilýän ulgamyň daşyny gurşap alýan başga sreda ýa-da jisimler toplumyna aýdylýar.

Indi häli-şindi duş geljek düşüňje bolan termodinamiki proses bilen tanyş bolalyň.

**Termodinamiki prosesi** – seredilýän ulgamyň ýagdaýynyň ony häsiýetlendirýän parametrleriň üýtgemegi netijesinde üýtgemesidir. Diýmek, termodinamiki proses ulgamyň ýagdaýynyň üýtgeме yzygiderliginden ybaratdyr.

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

$$F(p, \nu, T) = 0. \quad (1.8)$$

Bu deňleme başgaça:

$$\nu = f(p, T); \quad p = f(\nu, T) \quad \text{we} \quad T = f(p, \nu) \quad (1.9)$$

görnüşlerde hem aňladylýar.

Ýokardaky deňlemelerden görnüşi ýaly, islendik parametrleriň biriniň uytgemegi ulgamyň ýagdaýynyň üýtgemegine getirýär.

### 1.3. Hyýaly gazlar. Hyýaly gazlaryň kanunlary.

Hyýaly gaz diýlip gabyň içindäki seýreklendirilen gaza düşünilýär. Hyýaly gazyň molekulalary özara çekişmeýän, diňe biri-birleri bilen maýyşgak urguda bolýan material nokat hökmünde kabul edilýär. Hakykatda hyýaly gaz diýlen zat ýok. Emma, basyşy atmosfera basyşyna ýakyn bolan gazlar özlerini hyýaly gazlar ýaly alyp barýarlar. Elbetde, ol gazlaryň parametrleriniň özara baglanyşygyny owrenmek real gazlaryň parametrleriniň ozara baglanyşygyny öwrenenden has aňsatdyr. Hyýaly gazyň häsiýetleri tejribe arkaly birnäçe alymlar tarapyndan öwrenildi we olaryň ady bilen baglanyşykly birnäçe kanunlar açyldy. Olardan biri, siziň mekdepeden bilşiňiz ýaly 1662-nji ýylda R. Boýl we oňa bagly bolmazdan 1676-njy ýylda E. Mariott tarapyndan açylan **Boýluň-Mariottyň kanunydyr**. Bu kanun boýunça 1 kg massaly hyýaly gaz üçin aşakdaky deňlik ýerine ýetýär:

$$p\nu = \text{const}. \quad (1.10)$$

Bu kanun hemişelik temperaturada gazyň basyşy bilen göwrüminiň arasyndaky baglanyşygy görkezýär. Deňlemeden görnüşi ýaly, hemişelik temperaturada gazyň basyşy bilen göwrüminiň arasynda ters baglanyşyk bardyr.

Hyýaly gaza degişli 2-nji kanun Geý-Lýussaga degişlidir. Ol kanuny fransuz alymy Geý-Lýussak 1802-nji ýylda açdy. Geý-Lýussagyň kanuny hemişelik basyşda gazyň göwrümi bilen temperaturasynyň arasyndaky baglanyşygy görkezýär. Bu kanun boýunça gazyň göwrümi bilen temperaturanyň arasynda çyzykly baglanyşyk bolup, gazyň göwrümi temperaturanyň artmagy bilen ulalýar:

$$V = V_0(1 + \alpha t) . \quad (1.11)$$

Bu ýerde  $\alpha$ -göwrüme giňelme koeffisiýenti.

Geý-Lýussagyň kanunyny aşakdaky görnüşde hem ýazyp bileris:

$$\frac{V}{T} = const , \text{ 1 kg gaz üçin bu kanun aşakdaky görnüşe eýedir:}$$

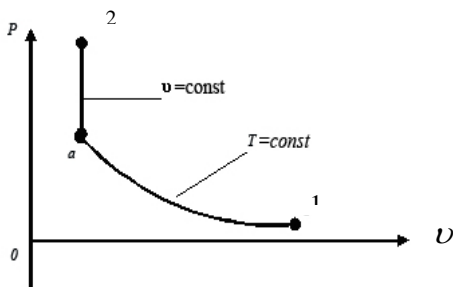
$$\frac{v}{T} = const . \quad (1.12)$$

Bu ýerden hemişelik basyşda gazyň temperaturasynyň artmagy bilen onuň göwrüminiň artýandygy görünýär.

Hemişelik göwrümde hyýaly gazyň basyşy bilen temperaturasynyň arasyndaky baglanyşyga **Şarlyň kanuny** diýilýär. Bu kanun boýunça hemişelik göwrümde gazyň basyşynyň ýokarlanmagy onuň temperaturasynyň artmagyna getirýar. Ýagny, 1 kg hyýaly gaz üçin bu kanun aşakdaky deňlik bilen aňladylýar:

$$\frac{p}{T} = const . \quad (1.13)$$

Diýmek, hemişelik göwrümde gazyň basyşy bilen temperaturasynyň arasynda göni baglanyşyk bar.



1.1 - nji surat. P -  $v$  diagramma

Bu üç kanunlaryň birleşdirilen ýagdaýyna seredeliň. 1.1-nji suratda gazturbina enjamynyň hemişelik temperaturada gysylyş we hemişelik udel göwrümdäki ýanyş aýlawly prosesiniň aýlawynyň bir bölegi görkezilen. Bu aýlawly prosesler barada giňişleýin düşünje soňky bablarda berilýär. Suratdan görnüşi ýaly, 1-a proses izoterma prosesik. Boýluň – Mariottyň kanuny boýunça:

$$p_1 v_1 = p_a v_a \quad (1.14)$$

Bu ýerde  $p_1, v_1, p_a, v_a$  - deňşlilikde 1 we a nokatlara deňişli bасыş we udel döwrüm.

2-a proses bolsa izohorik proses. Bu proses üçin Şarlyň kanuny boýunça:

$$\frac{p_a}{p_2} = \frac{T_a}{T_2} \quad (1.15)$$

deňlik ýerine ýetýär.

Bu deňlemeden

$$p_a = p_2 \cdot \frac{T_a}{T_2} \quad (1.16)$$

(1.14) formulada 2-a izohorik proses üçin  $v_a = v_2$ . Onda formulany  $p_1 v_1 = p_a v_2$  görnüşde ýazalyň we  $p_a$ -nyň ornuna (1.16)-dan goýup aşakdaky deňligi alarys:

$$p_1 v_1 = p_2 \frac{T_a}{T_2} v_2; \text{ 1-a izotermik proses üçin } T_a = T_1 \text{ bolýandygyny}$$

göz öňünde tutup  $p_1 v_1 = p_2 \frac{T_1}{T_2} v_2$  deňligi alarys.

Bu ýerden bolsa

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{p v}{T} = \text{const} \quad (1.17)$$

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

Bu deňlemeden görnüş i ýaly, gazyň basyşynyň göwrümine köpeltmek hasylynyň absolýut temperatura bölünmegi hemişelikdir.

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

Onda (1.17) deňlemeden

$$p\nu = RT . \quad (1.18)$$

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

$$pV = mRT . \quad (1.19)$$

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

(1.19) formula  $10^{-3}$  mol gaz üçin ulanylyp biliner. Goý  $m$ -gazyň molýar massasy bolup, ol kg/mol-da aňladylýan bolsun. Awogadronyň kanuny boýunça  $10^{-3}$  mol islendik himiki düzümlü hyýaly gazyň göwrümi birmeňzeş  $P$  we  $T$  bahalarda şol bir ululyga deň: kadaly fiziki şertlerde  $P_0=101,33 \text{ Pa}$ ,  $T_0=273,16 \text{ K}$   $10^{-3}$  mol islendik gazyň göwrümi:

$$V_m = 22,4146 m^3 .$$

$P_0$ ,  $V_0$ ,  $T_0$  we  $M = m$  ululyklaryň bahalaryny (1.19) formulada ornuna goýup,  $R^* = MR = 8,325 \cdot 10^3 \frac{J}{mol \cdot K}$  ululygy alarys.

Bu ýerden

$$R = \frac{R^*}{m} . \quad (1.20)$$

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:

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT. \quad (1.21)$$

Bu deňleme Wander-Waalsyň deňlemesi diýen at bilen bellidir. Bu deňleme hyýaly gazlaryň deňlemesinden, ýokarda aýdysymyz ýaly, molekulalaryň ozara täsiri bilen bagly  $\frac{a}{v^2}$  –goşmaça basysy hem-de b bilen belgilenen molekulanyň hususy göwrümini hasaba alýanlygy bilen tapawutlanýandyr. Real gazlarda hyýaly gazlar düşünjesinden has daşlaşdygyça olaryň parametleriniň arasyndaky baglanyşyk hasam çylşyrymlaşýar.

Tebigatda duş gelýän gazlaryň hemmesiniň hakykatda real gazlardygyna garamazdan, durmuşda pes basyşlarda gazlar özüni hyýaly gazlar ýaly alyp barýarlar.

Şonuň üçin hem, ýokarda aýdylýşy ýaly, hyýaly gazyň deňlemeleri ol gazlar üçin ulanylsa kesgitlenilýän parametrleriň bahasy tehniki hasaplamalardaky gerek bolan takyklygyň çäginde bolar.

Käbir okuw kitaplarynda bellenişi ýaly, hyýaly gaz düşünjesi hem-de onuň deňlemeleri real gazlaryň çäkli, ýagny has pes basyşly ýagdaýyny häsiýetlendirmek üçin örän peýdalydyr.

#### 1.4. Gazlaryň garyndysy

Öz aralarynda himiki täsiri bolmadyk birnäçe gazlaryň garyndysyna **gazlaryň garyndysy** diýilýär. CO<sub>2</sub> – kömürturşy gazy, H<sub>2</sub>O - suw bugy, N<sub>2</sub> – azot, O<sub>2</sub> – kislorod – ýangyç ýananda emele gelýän gazlar bolup, olar gazlaryň garyndysydyr. Şeýle hem, durmuşda ulanylýan tebigy gazymyz CH<sub>4</sub> –metan, C<sub>2</sub> H<sub>6</sub> – etan we



başga-da birnäçe gazlaryň garyndysy garyşyk gazlara degişlidir. Atmosfera howasy hem  $N_2$ ,  $O_2$  we ş.m. gazlardan durýan gazlaryň garyndysydyr. Gazlaryň garyndysy tehnikada giňden ulanylýar. Meselem, ýangyç ýananda emele gelýän gazlaryň garyndysy ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ) işçi jisim bolup içinde ýandyrylýan hereketlendirijilerde şeýle hem daşynda ýandyrylýan hereketlendirijileriň enjamlarynda ulanylýar. Tehnikada garyşyk gazlary ulanylanda dürli tehniki meseleleri çözmek üçin gaz garyndysynyň ( $p$ ) basyşyny we ( $g$ ) udel göwrümini kesgitlemek zerurdyr. Gaz garyndysyny emele getirýän gazlaryň her biri aýratynlykda biri-birine baglanyşyksyz ähli göwrüm boýunça erkin hereket edýär we göwrümi doldurýar. Şonuň üçin olaryň her biri aýratyn öwrenilýär.

Gazlaryň garyndysynyň umumy basyşy olary düzýän her bir aýratyn gazyň parsial basyşynyň jemine deňdir we Daltonyň kanuny esasynda aşakdaky ýaly kesgitlenýär:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i . \quad (1.22)$$

Gazlaryň garyndysyny häsiýetlendirýän ululyklary kesgitlemek üçin onuň düzümini bilmek zerurdyr. Düzümi bolsa gazyň mukdary boýunça onuň massalary ýa-da göwrümleri boýunça berilýär. Eger gaz garyndysy  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$  massaly gazlardan ybarat bolsa, onda gazlaryň garyndysynyň umumy massasy şol aýratyn gazlaryň massalarynyň jemine deňdir:

$$m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n = \sum_{i=1}^n m_i . \quad (1.23)$$

Gazlaryň garyndysyny düzýän her bir gazyň aýratynlykdaky massasy şol gazyň üleşüni düzýär we

$$\frac{m_1}{m} = g_1; \frac{m_2}{m} = g_2; \frac{m_3}{m} = g_3, \dots \frac{m_n}{m} = g_n \text{ bolar.}$$

Gazlaryň garyndysyny düzýän aýratyn gazlaryň massa üleşleriniň jemi:

$$g_1 = g_2 + g_3 + \dots + g_n = \sum_{i=1}^n g_i = 1. \quad (1.24)$$

Eger, gaz garyndysynyň düzümindäki gazlar göwrümi boýunça berilse, onda aýratyn göwrüm boýunça üleşleri:

$$r_1 = \frac{V_1}{V}; r_2 = \frac{V_2}{V}; r_3 = \frac{V_3}{V}, \dots r_n = \frac{V_n}{V}.$$

Gazlaryň göwrümi boýunça üleşleriň jemi:

$$r_1 = r_2 + r_3 + \dots + r_n = \sum_{i=1}^n r_i = 1. \quad (1.25)$$

Gazlaryň garyndysyny düzýän gazlaryň massasy we göwrümi boýunça üleşleri belli bolsa, onda olaryň dykzlygyny, udel göwrümini, molekulýar massasyny we gaz hemişeligini hasaplap bolýar.

Gaz halynyň deňlemesinden peýdalanylýan garyşyk gazlaryň ( $R$ ) gaz hemişeligini we ( $\mu$ ) ortaça molekulýar massasyny kesgitleýär bolýar:

$$pV = mRT, \quad (1.26)$$

bu ýerde  $p$  – gazlaryň garyndysyny düzýän her bir aýratyn gazyň basyşynyň jemi we (1.22) formula boýunça ol kesgitlenýär,

$V$  – gaz garyndysynyň tutýan göwrümi,

$m$  – gaz garyndysynyň her bir gazynyň massasynyň jemi we ol (1.23) formula boýunça kesgitleýär,  $T$  – gaz garyndysynyň temperaturasy,  $R$  – gaz garyndysyny düzýän gazlaryň gaz hemişeligi.

Garyşyk gazlary düzýän her bir aýratyn gaz üçin gaz halynyň deňlemesi:

$$\left. \begin{array}{l} p_1 V = m_1 R_1 T \\ p_2 V = m_2 R_2 T \\ \text{-----} \\ \text{-----} \\ p_n V = m_n R_n T \end{array} \right\} \quad (1.27)$$

Bu deňlemeler ulgamynyň çep we sag taraplaryny goşup, her bir aýratyn gazynyň basyşynyň jemini  $p$  bilen belgiläp alarys:

$$pV = (m_1 R_1 + m_2 R_2 + \dots + m_n R_n) T. \quad (1.28)$$

Soňky (1.26) we (1.28) deňlemeleriň çep taraplary deň bolany sebäpli olaryň sag taraplary hem deňdirler:

$$mRT = (m_1 R_1 + m_2 R_2 + \dots + m_n R_n) T.$$

Bu deňlemeden gazlaryň garyndysy üçin gaz hemişeligi kesgitleýän deňleme alynýar:

$$R = \left( \frac{m_1}{m} R_1 + \frac{m_2}{m} R_2 + \dots + \frac{m_n}{m} R_n \right)$$

ýa-da

$$R = (g_1 R_1 + g_2 R_2 + \dots + g_n R_n) = \sum_{i=1}^n g_i R_i. \quad (1.29)$$

Islendik gazyň gaz hemişeligi bilen molekulýar massasynyň özara baglanyşygy bardyr we (1.20) formulanyň esasynda (1.29) deňlemeden alarys:

$$R = 8314 \left( \frac{g_1}{\mu_1} + \frac{g_2}{\mu_2} + \dots + \frac{g_n}{\mu_n} \right) = 8314 \sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_i} . \quad (1.30)$$

Gazlaryň garyndysynyň gaz hemişeligini gazyň göwrümleýin hem-de massalaýyn üleşüniň üsti bilen aňlatmak bolar:

$$g_1 + g_2 + \dots + g_n = \frac{m_1}{m} + \frac{m_2}{m} + \dots + \frac{m_n}{m} = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2 + \dots + p_n V_n}{pV} = 1 . \quad (1.31)$$

Awogadronyň kanuny esasynda:

$$\mu_1 \nu_1 = \mu_2 \nu_2 = \mu \nu = \frac{\mu_1}{\rho_1} = \frac{\mu_2}{\rho_2} = \frac{\mu}{\rho} = const$$

ýa-da

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} .$$

Bu ýerde  $\rho_1, \rho_2$  – degişli gaz garyndysynyň dykyzlygy.

Awogadronyň kanunynyň we (1.25) aňlatmanyň esasynda (1.31) deňlemeden alarys:

$$\frac{\mu_1 r_1 + \mu_2 r_2 + \dots + \mu_n r_n}{\mu} = 1 . \quad (1.31a)$$

Netijede (1.31) we (1.31a) deňlemeler arkaly gazlaryň garyndysynyň ortaça molekulýar massasy  $\mu$  aşaky deňleme boýunça kesgitlener:

$$\mu = \mu_1 \cdot r_1 + \mu_2 \cdot r_2 + \dots + \mu_n \cdot r_n = \sum_{i=1}^n \mu_i r_i . \quad (1.32)$$

Soňky (1.32) deňlemäniň esasynda gazlaryň garyndysynyň gaz hemişeligini onuň göwrümleýin üleşi bilen aňlatmak bolar:

$$\mu = \frac{8314}{R} = \frac{8314 \cdot r_1}{R_1} + \frac{8314 \cdot r_2}{R_2} + \dots + \frac{8314 \cdot r_n}{R_n},$$

$$R = \frac{1}{\frac{r_1}{R_1} + \frac{r_2}{R_2} + \dots + \frac{r_n}{R_n}}. \quad (1.33)$$

Gazlaryň garyndysynyň her bir gazynyň gaz hemişeligini molekulýar massasy boýunça aşaky deňleme bilen kesgitläp bolar:

$$R = \frac{8314}{\mu_1 r_1 + \mu_2 r_2 + \dots + \mu_n r_n} = \frac{8314}{\mu}. \quad (1.34)$$

Gazlaryň garyndysynyň düzümi massalarynyň üleşleri boýunça berilse, onda onuň göwrümleýin üleşini kesgitläp bolýar we tersine. Şeýle hem, her bir gazyň dykzlygyny  $\rho_i$ , udel göwrümini  $v_i$ , molekulýar massasyny  $\mu_i$  we gaz hemişeligini  $R_i$  kesgitläp bolýar. Eger-de gazlaryň garyndysy massa üleşinde berlen bolsa,

$$\text{onda: } r_i = \frac{g_i / \mu_i}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_i}}; \quad \rho = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\rho_i}}; \quad V = \frac{1}{\rho}; \quad \mu = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_i}}; \quad R = \sum_{i=1}^n g_i R_i.$$

Eger-de gazlaryň garyndysy göwrüm üleşinde berlen bolsa, onda:

$$g = \frac{r_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i r_i}; \quad \rho = \sum_{i=1}^n r_i \rho_i; \quad \rho = \frac{1}{V}; \quad \mu = \sum_{i=1}^n r_i \mu_i; \quad R = \frac{8314}{\sum_{i=1}^n r_i \mu_i}.$$

## 1.5. Ýylylyk sygymy hakynda düşünje

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

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

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

Mukdary  $1\text{m}^3$  bolan gazy adaty şertlere  $1^{\circ}\text{C}$  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 moluny)  $1^{\circ}\text{C}$  gyzdymak üçin gerek bolan ýylylygyň mukdaryna **molýar ýylylyk sygymy** diýilýär we  $\mu c$  bilen belgilenip,  $J/(kmol \cdot K)$  birliginde ölçenýär.

Ýokarda görkezilen ýylylyk sygymalarynyň aralarynda ýönekeý gatnaşyklar bardyr:

$$c = c' g_n = \frac{\mu c}{\mu}$$

ýa-da

$$c' = c \rho_n = \frac{\mu c}{22,4146}. \quad (1.35)$$

Bu ýerde  $v_n$ ,  $\rho_n$  we 22,4146-degişlilikde, gazyň adaty şertlerdäki udel göwrümi, dykzlygy we bir kilomolynyň göwrümi.

Gazyň ýylylyk sygymy hakyky we ortaça baha bilen tapawutlanýar.

Gazyň **hakyky ýylylyk sygymy** diýip, 1 kg gaza elementar prosesde berilýän  $dq$  ýylylyk mukdarynyň temperatura tapawudynyň nola ymtylýan tükeniksiz kiçi ululygyna bolan gatnaşygyna düşünilýär:

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

$$c = \frac{dq}{dt}. \quad (1.36)$$

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

$$c = \frac{q}{t_2 - t_1}. \quad (1.37)$$

Gazy gyzdyrmak üçin berilýän ýylylygyň mukdary prosesin häsiýetine baglydyr. Şonuň üçin gazyň ýylylyk sygymy hem prosesin häsiýetine baglydyr.

Gazlary gyzdyrylanda ýylylyk sygymyny esasan iki sany has wajyp prosesler üçin öwrenilýär: izohorik ( $v = \text{const}$ ) we izobarik ( $p = \text{const}$ ) prosesler.

Izohorik prosesde ( $v = \text{const}$ ) 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;

$\mu c_v$  - hemişelik göwrümdäki molýar ýylylyk sygymy;

Izobarik prosesde ( $p = \text{const}$ ) 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;

$\mu c_p$  - hemişelik basyşdaky molýar ýylylyk sygymy.

Bir atomly gazlardan başga ähli gazlaryň temperaturasynyň ýokarlanmagy bilen ýylylyk sygymy ulalýar. Iki atomly we seýrek,

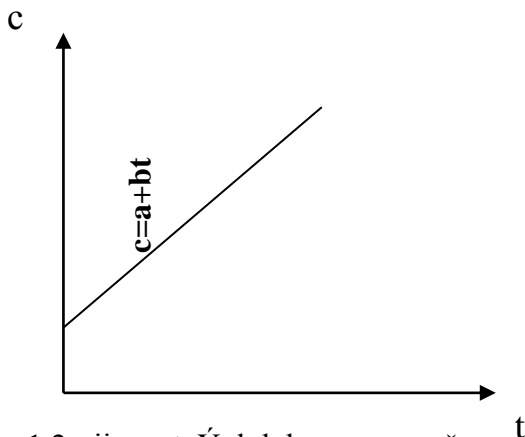
üç atomly gazlar üçin olaryň ýylylyk sygymynyň temperatura baglylygy göni çyzyk bilen aňladylýar (1.2-nji surat).

Şeýle ýagdaýda hakyky massalaýyn ýylylyk sygymy aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$c = a + bt \quad (1.38)$$

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

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

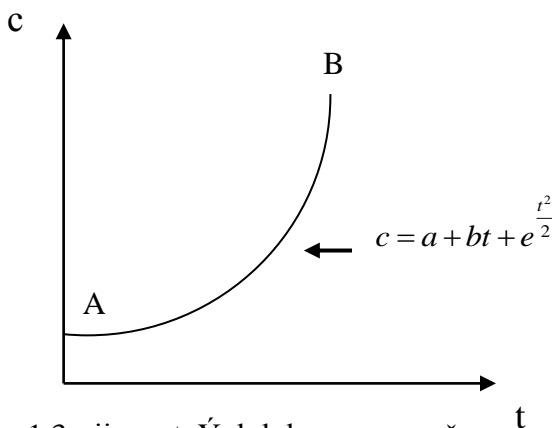


1.2-nji surat. Ýylylyk sygymynyň temperatura çyzykly baglylygy

Ýokarky (1.38) deňlemä laýyklykda üýtgeýän ýylylyk sygymyna **göni çyzykly ýylylyk sygymy** diýilýär.

Emma, üç atomly we köp atomly gazlar üçin ýylylyk sygymynyň temperatura baglylygy has çylşyrymly häsiýete eýe bolýar we göni çyzykly deňlemäniň üsti bilen aňladyp bolmaýar. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen gazyň ýylylyk sygymynyň üýtgeýiş tizligi üznüksiz artýar.  $c=f(t)$  grafiki baglylyk egri çyzyk bilen şekillendirilýär (1.3-nji surat).





1.3-nji surat. Ýylylyk sygymynyň  
temperatura egri çyzykly baglylygy

Gazyň ýylylyk sygymynyň temperatura baglylygy şeýle görnüşe eýe bolýan bolsa, onda oňa **egri çyzykly ýylylyk sygymy** diýilýär. Köp atomly gazlar üçin  $c=f(t)$  çylşyrymly baglylyk esasan, gazyň temperaturasynyň ýokarlanmagy bilen molekulalardaky atomlarynyň yrgyldy hereketleriniň güýçlenýändigini we gazyň temperaturasynyň ýokarlanmagyna harçlanýan energiýa üznüksiz artýandygy bilen düşündirilýär.

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

$$c = q_1 c_1 + q_2 c_2 + ..... + q_n c_n = \sum_{i=1}^n q_i c_i . \quad (1.39)$$

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

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

$$c' = r_1 \cdot c'_1 + r_2 \cdot c'_2 + \dots + r_n \cdot c'_n = \sum_{i=1}^n r_i \cdot c'_i . \quad (1.40)$$

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 sygymynyň gazlaryň göwrüm uluşlerine köpeldilmegidir.

## Ikinji bap. TERMODINAMIKANYŇ 1-NJI KANUNY

### 2.1. Ýylylyk we iş. Olaryň özara öwrülişi

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

Energiýanyň saklanmak we öwürlmek kanuny tebigatyň umumy kanuny bolup, ol energiýanyň täzeden döremeýändigini we ýok bolup gitmeýändigini, diňe onuň bir görnüşden başga görnüşe geçýändigini aňladýar. Bu kanun has önünden bellidir. Emma, şeýle-de bolsa, bu kanunyň ykrar edilmegi we energiýa diýlen düşüňjä dogry düşünilmegi orán kyn bolupdyr.

**Energiýa** diýlen adalgany fizika getiren we oňa aýdyň düşünje beren inlis fizigi T. Ýungdyr (1873-1929). Ol mehanik bolandygy sebäpli energiýa düşüňjesini mehaniki hereket bilen baglanyşdyryp, energiýa, bu hereket edýän jisimiň massasynyň onuň tizliginiň kwadratyna köpeldilmegi bilen anladylýan ululykdyr diýip düşündirýär. Ondan on energiýa iş düşüňjesi bilen garjaşdyrylypdyr. Ýungyň energiýa beren bu kesgitlemesi geljekde bu düşüňjä aýdyňlyk girizdi.

Häzire çenli energiýa bize mikrobölejikleriň hereketiniň ýylylyk energiýasy, jisimleriň kinetik we potensial energiýalary, grawitasiýa meýdanyň energiýasy, elektrik we magnit meýdanlaryň energiýasy, elektromagnit şöhlelenmäniň energiýasy, atomlardaky elektron gatklaryň energiýasy, ýadronyň içindäki energiýa görnüşlerinde bellidir.

**Mehaniki iş**, umuman «iş» düşüňjesi önündenem adamlara bellidir. Emma, «ýylylyk» düşüňjesine gezek gelende käbir düşüňsizligiň bardygyny aýdyp geçmek zerurdyr. Ilki döwürlerde ýylylygyň bir jisimden başga jisime geçmegini, ýylylygyň ýaýraşyny düşündirmekde kynçylyk çekipdirler. Sonra bu meseläni teplotod diýen düşünje girizip aňsatlyk bilen düşündirmegi başarypdyrlar. Ol alymlaryň düşündirmegine görä, ýylylygyň gyzgyn jisimden oňa görä sowugrak jisime geçmegi, teplotodyn berilmegi bilen baglydyr. Teplotody köp bolan jisim gyzgyn, teplotody az jisim

bolsa sowuk, ýagny teplorody köp jisimler bolsa temperaturasy pes jisimlerdir diýip hasap edilipdir. Elbetde, bu şeýle bolsa, onda hemme zat düşnükli. Ýylylygyň ýaýraýşy, onun bir jisimden başga bir jisime geçişi aňsat düşündirilýär. Emma, ol teplorodyň özi näme? Onun tebigaty näme? - diýlen soraglara alymlar jogap berip bilmändirler. Ol dusunje duýbunden ýalňys nazaryýet bolup, ylmyň öňe gitmegini birnäçe ýyllap bökdäpdir. Ol nazaryýetiň ýetiren zyýany häzirem saklanyp galypdyr. Meselem, häzirki okuw kitaplarynda duş gelyän «ýylylyk akkumulýatory», «ýylylygyň saklanmagy», «ýylylyk geçirijiligi» diýlen adalgalar şol «teplorod» düşüňjelerden galan adalgalarydyr.

Ýylylyk we iş düşüňjeleri biri-birlerine manylary boýunça ýakyn düşüňjelerdir. İşem, ýylylygam energiýanyň üýtgeýiş formalarydyr. Muny düşünmek üçin şu aşakdakylara üns bereliň.

Jisimiň öz energiýasy, ýagny onuň içki energiýasy hem-de jisime berilýän ýa-da jisimden alynýan energiýa diýlen düşüňjeler bardyr. Bu iki düşüňjeleriň biri-birlerinden uly tapawudy bardyr. Energiýanyň ikinji görnüşü diňe energiýa bir jisimden beýleki bir jisime geçirilende ýüze çykýar. Bu energiýanyň geçirilişi iki görnüşde, ýagny ýylylyk hem-de iş görnüşinde berilýär. Diýmek, ýylylygam, işem jisimlere berilýän ýa-da jisimlerden alynýan energiýanyň mukdar ölçegi bolup hyzmat edýär. İş bilen ýylylygyň arasynda hem örän uly tapawut bar. İş - bu energiýanyň geçirilişiniň gurnalan (tertipleşdirilen) görnüşü bolsa, ýylylyk - bu energiýanyň geçirilişiniň gurnalmadyk (tertipleşdirilmedik) görnüşidir.

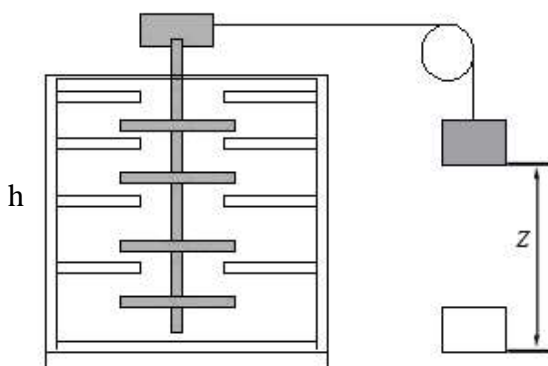
Energiýa iş görnüşinde geçende jisimiň her bir nokady kesgitli traýektoriya boýunça hereket edýär. Energiýanyň ýylylyk görnüşinde geçirilişinde, molekulalaryň tertipsiz hereketleriniň gatnaşyandygy üçin bu geçiriliş tertipsiz energiýa geçirilişi diýip bellenilýär.

Ýokarky áydylanlardan ýylylygam, işem energiýa geçirilende ýüze çykýar. Energiýa berilmeýän ýa-da alynmaýan bolsa, onda işem ýok, ýylylygam ýokdur. Ýylylygam, işem jisimlerde saklanmaýarlar.

Jisimlere energiýanyň ýylylyk görnüşinde berilmegi ol jisimin içki energiýasynyň artmagyna we jisimiň umumy temperaturasynyň ýokarlanmagyna sebäp bolýar. Termodinamikada mehaniki işiň ýüze çykmagy elmydama jisimiň göwrüminiň üýtgemegi bilen baglydyr.

Adamlary gadymdan bäri ýylylygyn işe öwrülişi gyzyklandyryp gelipdir. Olar bu öwrülişiň syrlaryny açmak üçin ençeme tejribeler geçiripdirler. Olardan in takyk diýlip hasap edilýän tejribä seredip geçeliň. Gürrüňi ediljek tejribe 1843-1850-nji ýyllar aralygynda geçirilen görnükli inlis fizigi Joulyň tejribesidir. Bu tejribäniň maksady mehaniki iş bilen, ol işiň ýerine ýetirilmegi bilen ýüze çykýan ýylylygyň arasyndaky baglanyşygy takykklamakdan ybaratdyr.

Joul tejribe geçirmek üçin daşy ýylylykdan izolirlenen misden ýasalan gaby suwdan doldurýar ( 2.1-nji surat).



2.1-nji surat. Tejribe guralynyň shemasy

Gabyň içine sterženiň üstünde berkidilen birnäçe pilçejikleri bolan, aýlanmaga ukyply garyjy ýerleşdirilýär. Garyjy aýlananda suwuň hereketini kynlaşdyrmak üçin, ýagny suwuň hereketinde sürtülmäni artdyrmak üçin, gabyň diwarlaryna hem birnäçe pilçejikler berkidilen. Suratda görkezilişi ýaly, garyjynyň aýlanma hereketi ýüküň aşak gaçmagy, ýagny onuň  $mgh$  potensial energiýasynyň azalmagy netijesinde ýüze çykýar. Ýükün aşak tarapa hereketi, garyjynyň aýlanmaga netijesindeki mehaniki iş gabyň içindäki suwy gyzdymaga gidýär. Suwy hem-de gaby, garyjyny gyzdymaga harçlanýan ýylylygy hasaplamak üçin Joul suwuň

temperaturasyny, gabyň diwarynyň hem-de pilçejikleriniň temperaturasyny ölçäpdir. Suwuň, gabyň temperaturalarynyň we ýylylyk sygymlarynyň we suwuň massasynyň belli bolany üçin suwy gyzdymaga harçlanýan ýylylygyň mukdaryny hasaplamak Joula kyn düşmändir. Geçirilen tejribeleriniň netijesinde sarp edilen iş ( $L$ ) bilen alnan ýylylyk mukdarynyň ( $Q$ ) arasynda aşakdaky ýaly baglanyşyk alypdyr:

$$Q = A \cdot L. \quad (2.1)$$

Bu ýerde  $A$  –proporsionallyk koeffisiýenti.

Joul geçiren tejribeleriniň netijesinde alynýan ýylylyk mukdarynyň sarp edilýän işe ekwiwalent bolan  $A$ -koeffisiýentiň takyk bahasyny hasaplapdyr. Bu koeffisiýente işiň ýylylyk ekwiwalenti diýip at berilýär. 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:

$$L = I \cdot Q. \quad (2.2)$$

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

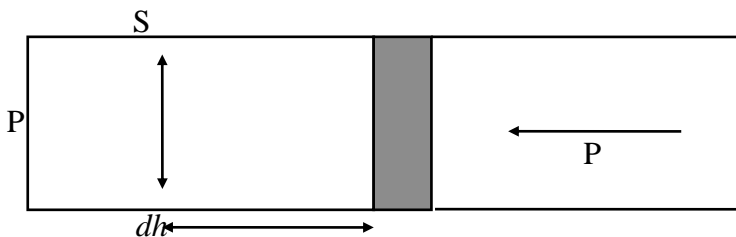
$$I = \frac{1}{A}. \quad (2.3)$$

$I$ -niň bahasy:  $I=427 \text{ (kg} \cdot \text{m)/kkal}$ . Bu ululyk Jouldan öň ilkinji gezek görnukli fransuz alymy, termodinamikanyň 2-nji kanunyny esaslandyryjy Sadi Karno, şeýle hem nemes lukmany hem-de fizigi R. Maýer tarapyndan kesgitlenipdir. Emma, olaryň alan netijeleri Joulyň tejribesi boýunça alan netijä görä birneme nätakyk bolupdyr.

## 2.2. Içki energiýa we iş barada düşünje

Bir jisim gyzdyrylanda onuň temperaturasynyň artýandygy, sowadylanda bolsa temperaturasynyň peselýändigini tejribelerden bellidir. Fizika dersinden belli boluşy ýaly, jisimiň temperaturasynyň artmagy jisimi düzýän mikrobölejikleriň (molekulalaryň we atomlaryň) hereketiniň çaltlanmagy bilen, temperaturasynyň peselmegi bolsa, ol hereketiň haýallamagy bilen düşündirilýär. Islendik jisime berilýän ýylylyk jisimiň içki energiýasynyň artmagyna sebäp bolýar. **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 energiýasy, atomlaryň 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 gyzdyrylanda olaryň göwrümi giňelýär. Göwrümiň giňelmegi bolsa daşky basyş güýjüň garşysyna iş edilýändigini aňladýar. Meselem, silindr we onuň içinde ýerleşdirilen porşeni göz önüne getiriň (2.2-nji surat).



2.2-nji surat. Porşenli silindr

Porşen bilen silindriň arasyndaky gaz gyzdyrylýar diýeliň. Onda gazyň porşene edýän basyşynyň netijesinde ýüze çykýan güýç

porşeni  $dh$  aralyga süýşüripdir diýeliň. Diýmek, gaz gyzdyrylmagy zerarly göwrümini üýgedip porşeni  $dh$  aralyga süýşürip, daşky basyş güýjüň garşysyna  $dL$  mehaniki iş edipdir. Eger:

$$F = p \cdot S \quad (2.4)$$

belli bolsa, onda bu iş:

$$dL = Fdh = pSdh = p dV \quad (2.5)$$

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 işini **položitel**, gysylma işini bolsa - **otrisatel iş** diýlip kabul edilendir.

Porşeniň täsir edýän gazynyn ginelmegini ýa-da gysylmagyny deňagramly proses diýip hasap edeliň we ýokarky formuladaky görkezilen işi aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$L_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p dV. \quad (2.6)$$

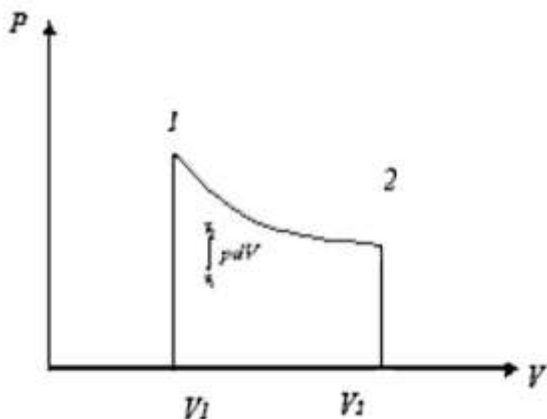
Bu iş  $pV$  diagrammada görkezilse has düşnükli bolýar (2.3-nji surat). Bu işiň ululygy  $V_1$  göwrümden  $V_2$  gowrume giňelýän gazyň diňe bu ýagdaýlardaky parametrlerine bagly bolman, göwrümiň  $V_1$  - den  $V_2$  -ä çenli üýtgemegine, onuň haýsy ýol boýunça bolup geçýänligine baglydyr.

Dogrudan-da gazyn ginelmegi 2.4-nji suratda görkezilen dürli 1A2, 1B2 ýa-da 1C2 ýollar boýunça bolup geçýän bolsa,

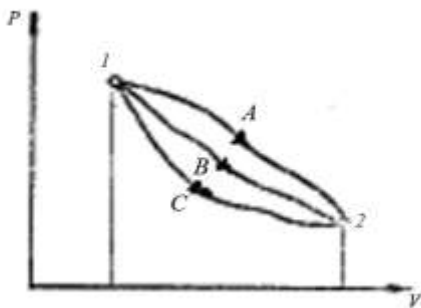
$$L = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

integral arkaly aňladylýan işiň ululygy hem giňelme prosesiniň haýsy ýol boýunça geçýändigine baglylykda dürlüdür. Diýmek, giňelme işi prosesiniň funksiýasydyr.





2.3-nji surat. Işıň p-V diagrammasy



2.4-nji surat. Gazyň giňelmesiniň ýollary

### 2.3. Termodinamikanyň 1-nji kanuny

Ýokarda aýdylyşy ýaly, jisime berilýän ýylylygyň hasabyna jisimiň molekularynyň hereketi çaltlaşýar, diýmek içki energiýasy artýar, şeýle hem onuň göwrümi ulalýar. Diýmek, daşky güýçlerin garşysyna iş edilýär. Bu aýdylanlar

$$Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + L_{1-2} \quad (2.7)$$

deňlem äniň üsti bilen berilýär. 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:

$$dQ = dU + dL. \quad (2.8)$$

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 (2.8) deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$dq = du + dl. \quad (2.9)$$

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

$$dq = du + pdv. \quad (2.10)$$

görnüşde ýazarys. Bu  $q, u, l$  ululyklaryň hemmesiniň hem birlikleri J/kg. Geçen bölümçede giňelme işiň jisimiň giňelme ýoluna baglydygy, ýagny prosesiň funksiýasydygy görkezildi. Edil şonuň ýaly jisime berilýän ýylylyk hem prosesiň funksiýasydyr. Sebäbi ol ýerine ýetirilen işe baglydyr. Içki energiýa barada aýdylanda bolsa, onuň ululygy berlen jisimiň (ulgamyň) diňe ýagdaýyna bagly bolup, jisimiň bir ýagdaýdan başga ýagdaýa geçendäki ýoluna bagly dälir.

Diýmek, jisimiň içki energiýasy onuň eýeleýän başlangyç we ahyrky ýagdaýynyň parametrleri  $p, v, T$  bilen häsiýetlendirilýändigini üçin oňa **ýagdaýyň funksiýasy** diýilýär. Bu ýerde içki energiýanyň absolýut ululygy barada gürrüň edilmän onuň uýtgemegi barada gürrüň edilýär. Ýagny

$$\Delta U = U_2 - U_1.$$

Içki energiýa parametrleriň biri belli bolsa beýleki iki parametrleriň üsti bilen aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$U = f(V, T), \quad (2.11)$$

$$U = \varphi(p, T), \quad (2.12)$$

$$U = \psi(p, V). \quad (2.13)$$

Içki energiýa **ekstensiw** häsiýete eýedir. Ýagny,  $U$  ululyk ulgamdaky maddanyň  $m$  mukdaryna bagly. **Udel içki energiýa:**

$u = \frac{U}{m}$ . Matematiki analizden belli bolşy ýaly, eger ululygyň bahasy

integrirlenmäniň ýoluna bagly bolman, integrirlenmäniň başlangyç we ahyrky nokatlary bilen kesgitlenýän bolsa, onda integral astyndaky aňlatma **doly differensial** diýilýär. Şonuň üçin hem ýokarda aýdylanlara görä içki energiýa hem doly differensialdyr. Onda  $u = f(v, T)$  üçin doly differensial:

$$du = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v dT + \left( \frac{\partial u}{\partial v} \right)_T dv \quad (2.14)$$

Ýokaryda görkezilen (2.14) formulany izohora prosess üçin ýazsak ( $dv = 0$ ) aşakdaky formulany alarys:

$$dq_v = du \quad (2.15)$$

Diýmek, izohora prosessinde jisime (ulgama) berlen ýylylyk diňe jisimiň (ulgamyň) içki energiýasyny üýtgetmäge gidýär. Onda

bu aňlatmadan (1.36) deňlemä degişlilikde ulgamyň izohorik ýylylyk sygymyny aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$c_v = \frac{dq_v}{dT} \quad (2.16)$$

ýa-da

$$c_v = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v . \quad (2.17)$$

Bu formuladan izohorik prosesde ýylylyk sygymyň temperaturanyň artmagy bilen içki energiýanyň artma çaltlygyny häsiýetlendirýändigini görüňýär.

Hyýaly gazlar üçin içki energiýa

$$du = c_v dT \quad (2.18)$$

formula bilen aňladylýar. Hyýaly gazlaryň içki energiýasy diňe temperatura bagly. Bu formulany göz önünde tutup, (2.9) formulany aşakdaky görnüşde ýazmak bolýar:

$$dq = c_v dT + p dv .$$

## 2.4. Entalpiýa

Oňki paragraflarda ýatlap geçen teplotod düşünjesinden galan «ýylylyk saklanyş» (teplosoderžaniýa) adalgasy häzir entalpiýa diýlen adalga bilen çalşyryldy. Termodinamikada **entalpiýa** hökmünde ulgamyň içki energiýasynyň üstüne ulgamyň  $p$  basyşynyň onuň göwrümüne köpeltmek hasylynyň goşulmagyna düşünilýär:

$$I = U + p \cdot V \quad (2.19)$$

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

$$I = i \cdot m \quad (2.20)$$

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

$$i = u + p\nu \quad (2.21)$$

görnüşinde aňladylýar.

Entalpiýa hem edil içki energiýa ýaly jisimiň ýa-da ulgamyň başlangyç we ahyrky eýeleýän ýagdaýlarynyň parametrleri bilen kesgitlenip, prosesini bolup geçýän ýoluna bagly däl. Diýmek, entalpiýa hem ýagdaýyň funksiýasydyr. Ol basyşa we temperatura baglylykda aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$i = f(p, T). \quad (2.22)$$

Entalpiýa ýagdaýyň funksiýasy bolany üçin ol doly differensialdyr:

$$di = \left( \frac{\partial i}{\partial T} \right)_p dT + \left( \frac{\partial i}{\partial p} \right)_T dp. \quad (2.23)$$

Termodinamikanyň 1-nji kanunynyň deňlemesini entalpiýanyň üsti bilen aňladalyň. Munuň üçin (2.21) formulany differensirlälin:

$$di = du + p d\nu + \nu dp. \quad (2.24)$$

Bu ýerden

$$du = di - p d\nu - \nu dp. \quad (2.25)$$

Bu deňligi (2.10)-da ornuna goýalyň:  
 $dq = di - p d\nu - \nu dp + p d\nu$ . Bu ýerden

$$dq = di - vdp \quad (2.26)$$

formulany alarys. (2.26) formula izobarik proses ( $dp=0$ ) üçin aşakdaky görnüşeýe bolýar:

$$dq_p = di. \quad (2.27)$$

Soňky deňlemeden görnüşi ýaly izobarik prosesde jisime (ulgama) berilýän ýylylygyň hemmesi jisimiň entalpiýasyny üýtgetmäge gidýär. Bu ýerden  $c_p$  **izobarik ýylylyk sygymy** (1.36) deňlemä görä:

$$c_p = \left( \frac{\partial q_p}{\partial T} \right) \text{ ýa-da} \quad (2.27) \text{ -dä görä bolsa}$$

$$c_p = \left( \frac{\partial i}{\partial T} \right)_p \quad (2.28)$$

formula bilen aňladylýar.

$c_p$  - hemişelik basyşdaky ýylylyk sygym bolup, entalpiýanyň temperatura boýunça artma (ulalma) tizligini häsiýetlendirýär. Hyýaly gazlar üçin entalpiýa hyýaly gazlaryň içki energiýasy ýaly diňe temperatura baglydyr:

$$di = c_p dT. \quad (2.29)$$

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

## 2.5. Termodinamikanyň 1-nji kanunynyň akym üçin ulanylyşy

Biz häzire çenli termodinamikanyň 1-nji kanunyny umumy görnüşde jisimiň ýa-da ulgamyň tutuşlaýyn giňişlik boýunça hereketsiz ýagdaýyna seretdik. Termodinamikanyň 1-nji kanuny umumy häsiýete eýe bolup, ol islendik hereketsiz we hereketli ulgamlar üçin hem ulanarlyklydyr. Hereket edýän hem-de hereketiniň netijesinde iş edýän suwuklyk, gaz ýa-da ulgam üçin termodinamikanyň 1-nji kanunynyň aňladylyşyna seredeliň. Eger deňölçeqli hereket edýän akym 1-2 ýoluň dowamynda yzygider iş edýän bolsa, meselem, turbinanyň tigrini aýlaýan bolsa, hem-de oňa ýylylyk berýän bolsa, onda energiýanyň saklanma we owrülme kanuny esasynda hereket edýän akymyň udel ululykdaky işini aşakdaky ýaly aňlatmak bolar:

$$l_{1-2} = (p_2 v_2 - p_1 v_1) + \left( \frac{\omega_2^2}{2} - \frac{\omega_1^2}{2} \right) + g(h_2 - h_1) + l_{meh} + l_{sür}. \quad (2.30)$$

Bu ýerde  $l_{meh}$  - turbinanyň tigriniň aýlanmagy üçin sarp edilýän tehniki iş,  $l_{sur}$  - sürtülmäniň işi. (2.30) deňlemäni,  $l_{1-2} = q_{1-2} - (u_2 - u_1)$  deňlemäni göz önünde tutup, aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$q_{1-2} = (u_2 - u_1) + (p_2 v_2 - p_1 v_1) + \left( \frac{\omega_2^2}{2} - \frac{\omega_1^2}{2} \right) + g(h_2 - h_1) + l_{meh} + l_{sur}, \quad (2.31)$$

ýa-da

$$i = u + p v \quad (2.32)$$

bolany üçin

$$q_{1-2} = i_2 - i_1 + \left( \frac{\omega_2^2}{2} - \frac{\omega_1^2}{2} \right) + g(h_2 - h_1) + l_{meh} + l_{sür}. \quad (2.33)$$

görnüşinde ýazmak mümkin. Bu formulany differensial görnüşde aşakdaky ýaly ýazalyn:

$$dq = di + \omega d\omega + gdh + dl_{meh} + dl_{sür}. \quad (2.34)$$

In soňky alnan denlemede sag tarapdan ululyklaryň birinjisi akymyň entalpiýasynyň uýtgemesini, ikinjisi kinetik energiýasynyň uýtgemesini aňladýar, üçünji seredilýän akymyň kesigi dürli  $h_1$  we  $h_2$  beýikliklerde ýerleşen bolsa, akymyň udel potensial energiýasynyň uýtgemesini aňladýar. Deňlemäniň soňky dördünji we başynji agzalary barada ozal durup geçipdik. Soňky ýazylan akymyň deňlemesi, differensial görnüşde, içki energiýanyň üsti bilen şeýle aňladylýar:

$$dq = du + d(pv) + \omega d\omega + gdh + dl_{meh} + dl_{sür}. \quad (2.35)$$

Bu deňlemäni termodinamikanyň 1-nji kanunynyň islendik ulgam üçin umumy görnüşde ýazylan differensial deňleme bilen deňeşdireliň, ýagny

$$dq = du + pdv. \quad (2.36)$$

(2.35) denleme bu umumy denlemäniň hususy görnüşi bolup, bu ýerden

$$pdv = d(pv) + \omega d\omega + gdh + dl_{meh} + dl_{sür} \quad (2.37)$$

gelip çykýar. Bu denlemeden akymyň iteklenmegine  $d(pv)$ , onuň  $\omega d\omega$ , kinetik energiýasynyň uýtgemegine akymyň  $gdh$ , potensial energiýasynyň uýtgemegine sürtülme güýjüň garşysyna edilýän işiň we tehniki taýdan edilýän işiň ýerine ýetirilmegine sarp edilýän işler gazyn (ýa-da suwuklygyň) giňelmeginiň hasabyna edilýän  $pdv$  işin ululygyna deňdigi gelip çykýar.



## Üçünji bab. TERMODINAMIKI PROSESSLER

### 3.1. Termodinamiki prosesleri hakynda düşünje

Jisimi (ulgamy) häsiýetlendirýän termodinamiki parametrleriniň haýsy-da bolsa biriniň ýa-da birnäçesiniň üýtgemeginde bolup geçýän prosese **termodinamiki proses** diýilýär, ýa-da, başgaça aýdanyňda, ulgamyň ýagdaýynyň tükeniksiz zygiderli üýtgemek prosesine **termodinamiki proses** diýilýär. Siz ulgamyň ýagdaýyny häsiýetlendirýän  $p, v, T$  parametrleriň haýsy-da bolsa biriniň hemişelik bolup, beýleki ikisiniň arasyndaky baglylygy görkezýän gaz halynyň kanunlaryny bilýärsiňiz. Ol kanunlar hyýaly gaz halynyň kanunlary hökmünde bize Boýluň-Mariottyň, Gey-Lýussagyň, Şarlyň kanunlary ady bilen bellidir. Olar barada hyýaly gaz kanunlaryny öwrenemizde gyşgaça durup geçipdik.

### 3.2. Izotermik proses

Hyýaly gazyň  $p v = R T$  deňlemesinde  $T = const$  bolanda, ýagny izotermik prosesde  $R T$  ululygyň hemişelikdigi üçin  $p v = const$  aňlatmany alýarys. Bu ýerden  $p_1 v_1 = p_2 v_2$ ,  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_1}{v_2}$  gatnaşyklary alarys. Muňa Boýluň we Mariottyň kanuny diýilýär.

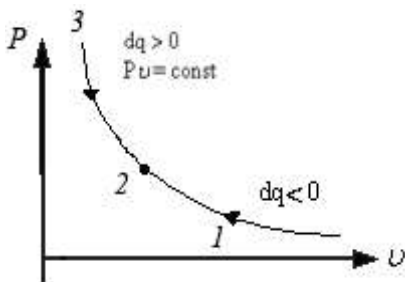
Termodinamikanyň 1-nji kanunynyň formulasynda  $T = const$  bolanda,  $dq = p dv$  aňlatmany alarys. Ulgama berlen ýylylyk ulgamyň daşky guýçleriň garşysyna iş etmegine harçlanylýar. Bu formulany aşakdaky görnüşde hem ýazmak bolýar:

$$dq = p v \frac{dv}{v}$$

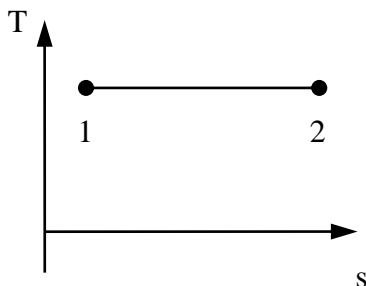
ýa-da

$$q = p v \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = RT \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = RT \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right) \quad (3.1)$$

$p v = \text{const}$  -izotermik proses.  $p v$  we  $T s$  koordinatalar ulgamynda aşakdaky ýaly şekillendirilýär ((3.1-nji) we (3.2-nji) suratlar):



3.1 - nji surat. Izotermik prosesiniň  $p - v$  diagrammasy



3.2 - nji surat. Izotermik prosesiniň  $T - s$  diagrammasy

$p v$  koordinatalarda görkezilen grafik deňýanly giperboladyr. 1-2-çyzyk gysylmada gowrumiň kiçelmesi bolup, ulgama ýylylyk berilýär ( $dq < 0$ ); 3-2 - çyzyk giňelmäni aňladyp, bu aralykda ulgamdan ýylylyk alynýar.

Izotermik prosesde izotermalaryň 1 we 2 nokatlarynyň arasyndaky giňelme işi aşakdaky formula bilen kesgitlenýär:

$$l_{1-2} = \int_{v_1}^{v_2} p dv. \quad (3.2)$$

Integraly hasaplamak üçin basyşyň izoterma boýunça udel göwrüme baglylygyny bilmeli. Hyýaly gaz üçin  $p v = RT$  –deňlemde  $p = \frac{RT}{v}$  bolany üçin ýokarky formula aşakdaky görnüşde aňladylyp bilner:

$$l_{1-2} = RT \ln \frac{v_2}{v_1}. \quad (3.3)$$

Izotermik prosesde ýokarky deňlik aşakdaky görnüşde hem aňladylyp bilner:

$$l_{1-2} = RT \ln \frac{p_1}{p_2} = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = p_2 v_2 \ln \frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = p_2 v_2 \ln \frac{p_1}{p_2}. \quad (3.4)$$

### 3.3. Izohorik proses

Hyýaly gaz halynyň deňlemesinde  $v = const$  (izohorik proses) bolanda

$$pv = RT; \quad \frac{p}{T} = \frac{R}{v} = const.$$

Bu ýerden

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}. \quad (3.5)$$

Muňa Geý-Lýussagyň kanuny diýilýär. Hemişelik göwrumdäki prosesde, termodinamikanyň 1-nji kanunyndan, izohorik prosesde iş edilmeyändigini ( $dv = 0$ ) göz önünde tutup alarys:

$$dq = c_v dT + pdv = c_v dT + p \cdot 0 = c_v dT \quad (3.6)$$

ýa-da

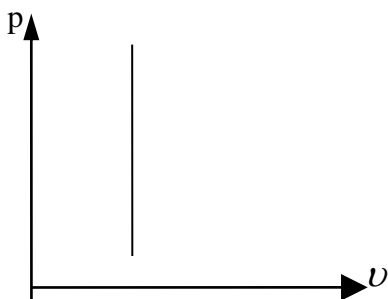
$$dq = c_v dT.$$

Bu ýerden integrirläp  $q = c_v(T_2 - T_1)$  deňligi alarys.

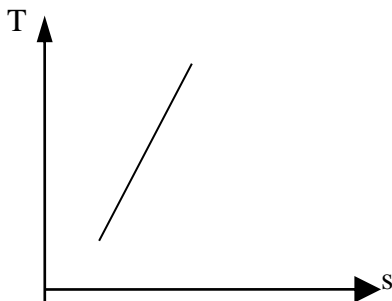
Izohorik prosesde ulgamyň giňelme işi nola deň, ýagny

$$l_{1-2} = \int_1^2 pdv, \quad v = const; \quad l_{1-2} = 0.$$

Izohorik proses  $p\nu$  (3.3-nji suratda) we (3.4-nji suratda)  $Ts$  diagrammalar aşakdaky ýaly şekillendirilýär:



3.3-nji surat. Izohorik prosesin  $p - \nu$  diagrammasy



3.4-nji surat. Izohorik prosesin  $T-s$  diagrammasy

### 3.4. Izobarik prosessi

Izobarik prosesde basyş hemişelikdir, ýagny  $p = const$ . Onda  $p\nu = RT$  formuladan  $p = const$  bolanda aşakdaky gatnaşygy alarys:

$$\frac{\nu}{T} = const \text{ ýa-da } \frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{T_2}{T_1} . \quad (3.7)$$

Bu ýerden hemişelik basyşda gazyň göwrüminiň üýtgemeginiň temperaturanyň üýtgemegine proporsionallygy gelip çykýar.

Izobarik prosesde gazyň giňelmeginiň hasabyna edilýän iş

$$L_{1-2} = \int_1^2 p d\nu = p(\nu_2 - \nu_1) . \quad (3.8)$$

Izobarik proses  $p\nu$  (3.5-nji suratda) we  $Ts$  (3.6-njy suratda) diagrammada aşakdaky ýaly şekillendirilýär.

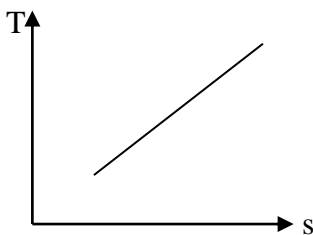


3.5-nji surat. Izobarik prosesiniň  $p$ - $v$  diagrammasy

Bu iş temperaturanyň üsti bilen aşakdaky görnüşde ýazylyp biliner:

$$L_{1-2} = p(\nu_2 - \nu_1) = R(T_2 - T_1) .$$

Izobarik prosesde ulgama berilýän ýa-da ulgamdan alynýan ýylylyk termodinamikanyň 1-nji kanunyny peýdalanmak arkaly aşakdaky ýaly kesgitlenilip bilner:  $dq = di - \nu dp$ ; izobarik proses ( $dp = 0$ ) üçin bu formuladan  $dq = di$ .



3.6-njy surat. Izobarik prosesiniň  $T$ - $s$  diagrammasy

Bu ýerden ulgamy gyzdymak üçin berilýän ýylylygyň onuň entalpiýasyny  $i_1$  ýagdaýdan  $i_2$  ýagdaýa çenli üýtgetmäge sarp edilýänligi gelip çykýar, ýagny

$$q_{2-1} = i_2(p_2, T_2) - i_1(p_1, T_1).$$

Öz gezeginde

$$i_2(p_2, T_2) - i_1(p_1, T_1) = \int_{T_1}^{T_2} \left( \frac{\partial i}{\partial T} \right)_p dT.$$

Bu ýerde  $\left( \frac{\partial i}{\partial T} \right)_p$  -niň bahasynyň  $c_p$  -e deňdigini göz önünde

tutup, ýokarky formulany şeýle görnüşde ýazarys:

$$i_2(p_2, T_2) - i_1(p_1, T_1) = \int_T^{T_2} c_p dT.$$

Onda  $q_{2-1} = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT$  ýa-da  $c_p = \text{const}$  bolsa,  $q_{2-1} = c_p (T_2 - T_1)$

formulany alarys.

Bu formula Maýýeriň  $c_p - c_v = R$  formulasyny ulanmak arkaly aşakdaky ýol bilen hem alnyp biliner:

$$dq = c_v dT + PdV = c_v dT + R dT = (c_v + R) dT = c_p dT.$$

Bu formulany integrirläp:

$$q_{1-2} = c_p (T_2 - T_1) \tag{3.9}$$

formulany alarys.

### 3.5. Adiabatik proses

Ulgamyň ony gurşap alýan sreda bilen ýylylyk çalyşygy bolmaýan prosese adiabatik proses diýilýär. Ýagny adiabatik prosesde ulgama ýylylyk berilmeýär we ondan ýylylyk alynmaýar.

Ýagny  $dq = 0$ . Eger-de jisim ýa-da ulgam ýokary derejede ýylylyk geçirmeyän (ýylylygy gaty az geçirýän) materiallar bilen izolirlenen bolsa, ýa-da silindrde gazyň giňelmegi we gysylmagy şeýle bir çalt bolup, netijede gaz bilen ony gurşap alýan sredanyň ýa-da materialyň arasyndaky ýylylyk çalyşygy hasaba alardan ujypsyz bolanda, ol prosesi adiabata proses diýip kabul etmek bolar.

Ýokarda seredilen izotermik, izobarik, izohorik prosesleriň hemmesi gazyň öwrülişikli proseslerine degişlidir. Emma, adiabatik prosese seredilende prosesin öwrülişikliligi ýa-da öwrülişiksizligi göz önünde tutulmalydyr. Sebäbi adiabatik proses öwrülişikli ýa-da öwrülişiksiz hem bolup bilýär.

**Öwrülişikli adiabatik proses** diýlip ulgamyň daşky sredalar bilen ýylylyk çalyşygynyň ýoklugy bilen bir hatarda sürtülme zerarly ýylylyk çalyşygyne ýok bolan prosese düşünilýär. Öwrülişikli adiabatik prosese başgaça izoentropiýaly (hemişelik entropiýadaky) proses hem diýilýär. Entropiýa barada indiki babymyzda giňişleýin durup geçeris.

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 proseslerdäki adiabatik prosese **öwrülişiksiz adiabatik proses** diýilýär. Bu prosese başgaça **hemişelik däl entropiýaly proses** hem diýilýär.

Şeýlelikde, ýokarky aýdylanlardan, islendik izolirlenen hemişelik entropiýaly proses adiabatik proses bolup, islendik adiabatik prosesin hemişelik entropiýaly proses dældigi gelip çykýar.

Adiabatanyň deňlemesini getirip çykarmak üçin termodinamikanyň 1-nji kanunynyň deňlemesinden peýdalanalyň:

$$dq = c_v dT + p dv. \quad (3.10)$$

Adiabatik proses üçin  $dq = 0$ ; onda

$$c_v dT + p dv = 0.$$

Hyýaly gazy häsiýetlendirýän  $p\nu = RT$  deňlemäni differensirläp  $dT$ -ni tapalyň.  $Pd\nu + \nu dp = RdT$ . Bu ýerden

$$dT = \frac{pd\nu + \nu dp}{R}$$

deňligi alarys. Bu formulany ýokarky formulada ornuna goýup:

$$c_v \frac{pd\nu + \nu dp}{R} + pd\nu = 0$$

deňligi alarys. Bu ýerde

$$R = c_p - c_v \text{ we } c_v \frac{pd\nu + \nu dp}{c_p - c_v} + pd\nu = 0$$

ýa-da

$$\left( \frac{c_v}{c_p - c_v} + 1 \right) pd\nu + \frac{c_v}{c_p - c_v} \nu dp = 0.$$

Bu ýerden:

$$\frac{c_p}{c_p - c_v} pd\nu + \frac{c_v}{c_p - c_v} \nu dp = 0.$$

deňligi alarys. Bu deňligiň iki tarapyny hem  $\frac{c_v}{c_p - c_v}$  aňlatma bölüp

hem-de  $\frac{c_p}{c_v} = k$  deňligi göz önünde tutup,



$$k p d\nu + \nu dp = 0$$

aňlatmany alarys.  $k$  - **gazyň adiabatata görkezijisi**.

Bu aňlatmany  $p\nu$ -e böleliň:

$$k \frac{d\nu}{\nu} + \frac{dp}{p} = 0.$$

Alnan deňligi integrirleýäris, ýagny  $k \ln \nu + \ln p = \ln c$  ýa-da  $\ln p \nu^k = \ln c$ .

Bu ýerden

$$p \nu^k = \text{const}. \quad (3.11)$$

Soňky alnan deňlige **adiabatanyň deňlemesi** diýilýär. Bu deňleme basyş bilen udel göwrümiň arasyndaky baglanyşygy berýär.

Bu baglanyşyk başgaça  $\frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{\nu_1}{\nu_2} \right)^k$  görnüşinde hem aňladylýar.

Adiabatanyň deňlemesi temperatura bilen udel göwrümiň baglanyşygy, hem-de temperatura bilen basyşyň baglanyşygy görnüşinde, degişlilikde aşakdaky formulalar bilen aňladylýar:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{\nu_1}{\nu_2} \right)^{k-1} \quad \text{we} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

Adiabatik prosesde ulgamyň giňelmede edýän işi:

$$dl = -du = -c_v(T_2 - T_1) = c_v(T_2 - T_1)$$

ýa-da

$$l = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT = c_v(T_1 - T_2).$$

Ýokarky formula şeýle görnüşlerde hem berlip bilner, ýagny:

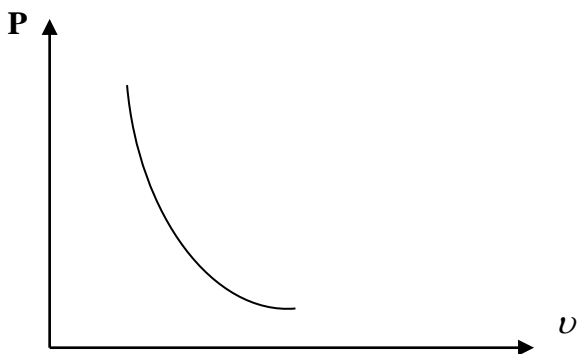
$$l = \frac{c_v}{R}(p_1 v_1 - p_2 v_2) = \frac{1}{k-1}(p_1 v_1 - p_2 v_2),$$

$$l = \frac{RT_1}{k-1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{RT_1}{k-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right].$$

m-massaly gaz üçin bolsa bu formula aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$L = \frac{mR \cdot T_1}{k-1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right).$$

Adiabata  $p v$  diagrammada aşakdaky ýaly şekillendirilýär.



3.7-nji surat. Adibatik prosesiniň  $p - v$  diagrammasy

### 3.6. Politropik prosesi

$p\nu^n = \text{const}$  deňlemäni kanagatlandyryan öwrülişikli proseslere **politropik proses** diýilýär. Bu deňlemedäki  $n$ -ululyga **politropanyň görkezijisi** diýilýär.

Politropik prosesde ulgam (jisim) özüniň daşyndaky sreda ýa-da jisimler bilen ýylylyk çalyşýar  $dq \neq 0$ . Politropik prosesiniň deňlemesi termodinamikanyň 1-nji kanunynyň deňlemesinden alynýar:

$$dq = du + dl = c_v dT + p d\nu. \quad (3.12)$$

Bilşimiz ýaly,  $dq = c_n dT$ , onda

$$c_n dT = c_v dT + p d\nu \text{ ýa-da } (c_n - c_v) dT - p d\nu = 0.$$

Öňki paragrafda alnan:

$$dT = \frac{p d\nu + \nu dp}{R} = \frac{p d\nu + \nu dp}{c_p - c_v} \text{ aňlatmadan peýdalanyp}$$

alarys:

$$\frac{c_n - c_v}{c_p - c_v} (p d\nu + \nu dp) - p d\nu = 0$$

ýa-da

$$\left( \frac{c_n - c_v}{c_p - c_v} - 1 \right) \cdot p d\nu + \frac{c_n - c_v}{c_p - c_v} \nu dp = 0.$$

Bu ýerden

$$\frac{c_n - c_p}{c_p - c_v} \cdot p d\nu + \frac{c_n - c_v}{c_p - c_v} \nu dp = 0.$$

Bu deňlemäni:

$$\frac{c_n - c_v}{c_p - c_v} \cdot p v$$

Ululyga bolup aşakdaky formulany alarys:

$$\frac{c_n - c_p}{c_n - c_v} \cdot \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} = 0. \text{ Bu ýerde } \frac{c_n - c_p}{c_n - c_v} = n$$

diýip belgiläp:

$$n \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} = 0$$

deňligi alarys.

Alnan deňlemäni integrirläp we degişli atallary ýerine ýetirip

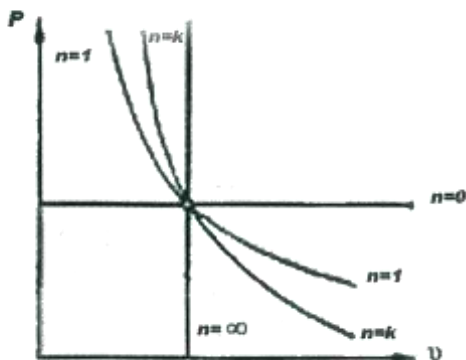
$$p v^n = \text{const} \quad (3.13)$$

deňlemäni alarys. Bu deňlemä **politropanyň deňlemesi** diýilýär.

Soňky deňlemäni  $n$ -iň bahasyna baglylykda izotermanyň, izohoranyň, izobaranyň we adiabatanyň deňlemesine öwürüp bolýa. Meselem:

- 1)  $n=1$  bolanda,  $p v^n = p v' = p v = \text{const}$  - izotermik prosesin deňlemesi;
- 2)  $n=0$  bolanda,  $p v^n = p v^0 = p = \text{const}$  - izobara prosesiniň deňlemesi;
- 3)  $n=\infty$  bolanda,  $p v^n = p^{\frac{1}{n}} v = p^{\frac{1}{\infty}} v = p^0 v = v = \text{const}$  - izohora prosesin deňlemesi;
- 4)  $n=k$  bolanda,  $p v^n = p v^k$  - adiabatik prosesin deňlemesi.

$n$  -iň dürli bahalarynda politropanyň ýagdaýlary 3.8-nji suratda görkezilendir.



3.8-nji surat. Politropik prosesiniň  $p$ - $v$  diagrammasy

Politropik prosesde göwrümiň giňelmeginde edilýän iş:

$$l_{1-2} = \frac{1}{n-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) = \frac{1}{n-1} R(T_1 - T_2)$$

ýa-da

$$l_{1-2} = \frac{RT}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]. \quad (3.14)$$

Bu prosesde gazy gyzdymaga berilýän udel ýylylygyň mukdary:

$$q = u_2 - u_1 + l$$

ýa-da

$$q = c_n (T_2 - T_1) = \left( c_v - \frac{R}{n-1} \right) (T_2 - T_1) = c_v \frac{n-k}{n-1} R (T_2 - T_1).$$

Politropik proses hemişelik udel ýylylyk sygymly prosesdir. Politropik prosesde  $n$  dürli bahalara eýe bolup biler.

Ýokarky formuladan görnüşi ýaly,  $c_n = c_v \frac{n-k}{n-1}$ , politropik prosesde hyýaly gazyň ýylylyk sygymydyr. Bu formuladan:

1)  $n=0$  bolanda,  $c_n = c_v k$  formulany alarys. Başgaça

$c_p = c_v k$ . Diýmek,  $c_n = c_p$ , bu bolsa izobaradyr.

$$2) \ n=\infty \text{ bolanda, } c_n = c_v \frac{1 - \frac{k}{\infty}}{1 - \frac{1}{\infty}} = c_v \frac{1 - \frac{k}{\infty}}{1 - \frac{1}{\infty}} = c_v;$$

$c_n = c_v$  izohorik prosese degişlidir.

$$3) \ n=1 \text{ bolanda, } c_n = c_v \frac{n-k}{n-1} = c_v \frac{1-k}{1-1} = \pm\infty;$$

$c_n = \pm\infty$  - alnan netije izotermik prosese degişlidir.

4)  $n = k$  bolanda

$$c_n = c_v \frac{n-k}{n-1} = c_v \frac{k-k}{k-1} = c_v \frac{0}{k-1} = 0; \ c_n = 0 - \text{bu bolsa}$$

adiabatik prosese degişlidir.

## Dördünji bap. TERMODINAMIKANYŇ 2-NJI KANUNY

### 4.1. Öwrülişikli we öwrülişiksiz prosesler

Öwrülişikli we öwrülişiksiz prosesler barada gürrüň etmezden öňürti deňagramly we deňagramsyz prosesler barada giňräk durup geçeliň. Termodinamiki deňagramlylyk diýlen düşüňjä akyl ýetirmek üçin pikirimizde aşakdaky ýaly tejribäni geçireliň. Bir kâse gyzgyn demlenen çäýy alalyň we onuň temperaturasyny termometr alyp wagtal-wagtal ölçäp duralyň. Şol wagtyň özünde öýüň howasynyň temperaturasyny hem termometr bilen ölçäliň we ony ýatda belläliň. Bir az wagtdan soň kâsedäki çäýiň temperaturasynyň peselýändigini we onuň öýüň howasynyň temperaturasyna çenli denleşýändigini bileris. Eger-de öýüň temperaturasy üýtgemese, soňra her näçe ölçesegem, çäýiň temperaturasy üýtgemez. Diýmek, kâsedäki çäý öýüň howasy bilen termodinamiki deňagramlylyk ýagdaýyna geçdi.

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

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

Tebigatda bolup geçýän prosesleriň aglabasynyň durnugysmadyk ýagdaýynda bolýanlygy sebäpli islendik jisimin (ulgamyň) göwrum boýunça ähli nokatlarynyň temperaturalary ýa-da basyşlary deň dälidir. Mysal üçin şu wagat otagyň temperaturasyny onuň beýikliginiň dürli nokatlarynda ölçesek, otagyň beýikligi boýunça temperaturanyň dürlidigini göreris. Otagyň howasynyň has beýik nokatlarynda temperaturanyň onun aşaky nokatlaryndan az kem ýokarydygyny bileris.

Elbetde, bu otagyň howasynyň termodinamiki deňagramsyzlyk ýagdaýdadygyny aňladýar. Diýmek, islendik hakyky prosess azdäkände denagramsyz prosesdir. Emma, bu deňagramsyzlygy prosesiň geçiş tizligini peseltmegiň hasabyna orän kiçeltmek we ony deňagramly prosese ýakynlaşdyrmak mümkindir. Bu ýerden deňagramly prosesiň, prosesiň üýtgeýiş tizliginiň nola ymtylýan ýagdaýynda deňagramsyzlygyň prosesiň çäk ýagdaýydygy gelip çykýar.

Islendik prosesiň öwrulişikli bolmagy üçin termodinamiki ulgam 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 prosesler üçindir.

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

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

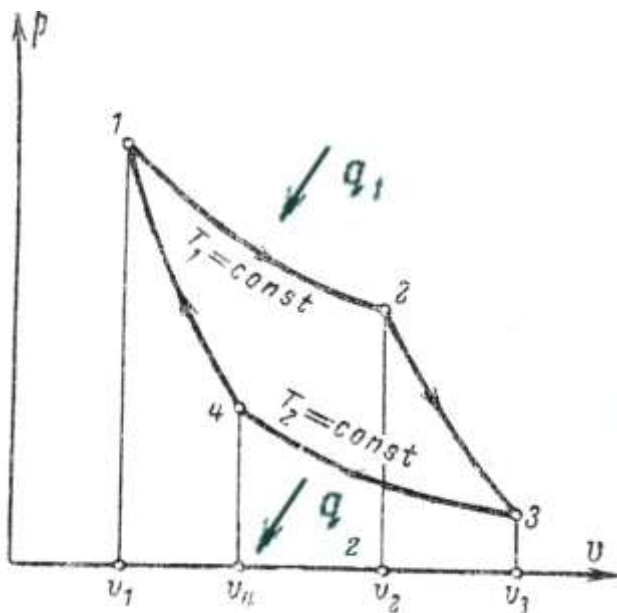
Öwrulişiksiz prosesleri dolandyrmak bolmaýar. Olaryň geçişleri tertipsiz we öz-özünden bolup geçýär. Islendik denagramsyz proses öwrulişiksiz prosesdir. Sebäbi ýokarda aýdylyşy ýaly, deňagramlylyk ýagdaýyny eýeleýän ulgam öz-özünden yzyna, başky deňagramsyz ýagdaýyna gaýdyp barmaýar.

Jisimlerin biri-birleri bilen ýylylyk çalşygy ýa-da gyzgyn jisimden sowuk jisime ýylylyk berilmegi ol jisimleriň temperaturalarynyň dürlüligi sebäpli bolup geçýär. Başgaça aýdanynda bu iki jisim biri-birleri bilen termodinamiki denagramlylyk ýagdaýynda bolmanlygy üçin biri-birleri bilen ýylylyk çalşygyny amala aşyrýarlar. Diýmek, bir jisimiň başga jisime ýylylyk berme prosesi şol bir wagtyň özünde öwrulişiksiz prosesdir. Eger-de bu jisimleriň temperaturalaryny biri-birine tükeniksiz ýakynlaşdysak, onda öňki öwrulisiksiz ylylyk prosesini öwrulişikli prosese ýakynlaşdyrmak mümkindir.



## 4.2. Karnonyň aýlawy. Karnonyň nazaryýeti

Ýylylyk hereketlendirijileriň nazaryýetini esaslandyryjy fransuz inženeri Sadi Karno ýylylyk maşynlary arkaly peýdaly işi almagyň mümkinçilikleriniň üstünde işledi. S. Karno: “Iş edip bilmäge mümkinçiligi bar bolan maşynlary döretmek üçin hökman gyzdyryjynyň, sowadyjynyň hem-de gyzdyryjydan sowadyjy sreda ýylylyk geçirijiniň, işçi jisiminiň (suwuklygyň, buguň ýa-da gazyň) bolmagy zerurdyr” diýip belleýär. Bu beýik alymyň işçi jisimi hökmünde hyýaly gazy kabul eden, öz adyny göterýän aýlawly prosessi iki izotermadan we iki adiabatadan ybaratdyr (4.1-nji surat).

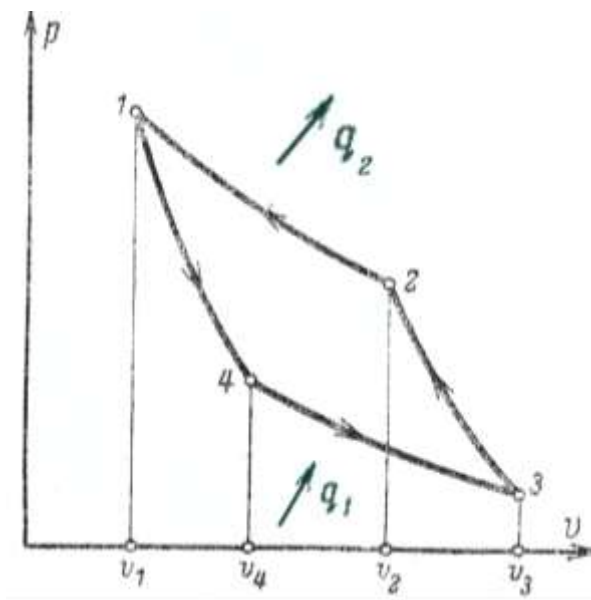


4.1-nji surat. Karnonyň aýlawy

Termodinamiki parametrleri  $p_1$ ,  $v_1$ ,  $T_1$  bolan 1 kg işçi jisime (1 nokat) gyzdryjydan hemişelik  $T_1$  temperaturada  $q_1$  ýylylyk berilýär (1-2 çyzyk). Gyzdrylan gaz ginelýär we alan ýylylygynyň bir böleginiň hasabyna iş edýär (meselem, silindrde porşeni süýşürýär). İşçi jisimiň göwrümi 1-nokatdan 2-nokada çenli ginelýänçä ýylylyk berilýär. 2-nji nokada ýetende gaza (işçi jisime) ýylylyk berilmesi kesilýär. İşçi jisimiň (gazyň) soňky 2-den 3-nji nokada çenli ginelmesi adiabatik prosesde bolup geçýär. İşçi jisimiň 2-3 prosesdäki edýän işi onun içki energiýasynyň hasabyna bolup geçýär, şonun üçinem gaz sowadyr. Onuň temperaturasy  $T_1$ -den  $T_2$ -ä çenli peselýär. 3-4 prosesde işçi jisimi (gaz) öz ýylylygyny sowadyja (daşky sreda) berýär. İşçi jisimiň sowamagy hemişelik  $T_2$  temperaturada bolup geçýär. 3-4 aralygynda işçi jisimiň (gazyň) daşky sreda berýän  $q_2$  ýylylygy daşky çeşmeden alynýan  $q_1$  ýylylykdan işiň tapawudyna deňdir. 4-1 aralykda daşky çeşmelerden sarp edilýän işiň hasabyna gaz gysylýär. Bu ýagdaýda işçi jisimden (gazdan) ýylylyk alynmaýanlygy sebäpli, onuň içki energiýasy artýar. Şeýlelikde onuň temperaturasy  $T_1$ -e çenli ýokarlanýar we işçi jisim öňki başlangyç ýagdaýyna dolanyp gelýär. 4-1 aralykda ýylylyk çalşygy bolmaýanlygy (ýagny daşky işiň, içki energiýa öwürülýändigini) sebäpli, bu prosese adiabatik gysylma prosesi diýilýär.

Eger-de ýokarda seredilen gazyň ýa-da işçi jisimiň ginelmesi we gysylmasy sürtülmesiz diýip kabul edilse, onda ozal aýdylyşy ýaly, bu proses öwrülişiklidir. Onda ýanky sereden aýlawly prosesimiz alnan iki çeşmaniň (gyzdryjynyň hem-de sowadyjynyň) arasynda tersine hem ýerine ýetip biler (4.2-nji surat).

Meselem, gysylan gaz 1-nji nokatdan tä 4-nji nokada çenli adiabatik giňelip iş edýär we onuň temperaturasy  $T_1$ -den  $T_2$ -ä çenli sowar. Sowan gaza 4-nji nokatdan başlap tä 3-nji nokada çenli hemişelik  $T_2$  temperaturada sowadyjydan ýylylyk berler. Bu ýagdaý gazyň izotermik giňelme ýagdaýynda bolup geçýär. İşçi jisim ýa-da gaz 3-nji nokatdaky ýagdaýa ýetenden soň, onuň daşky energiýanyň hasabyna 3-nji nokatdaky ýagdaýdan tä 2-nji nokatdaky ýagdaýa çenli adiabatik gysylmasy bolup geçýär. Onuň temperaturasy  $T_2$ -den



4.2-nji surat. Karnonyň aýlawy

$T_1$ -e çenli ýokarlandyrylýar. Soňra, 2-nji nokatdan bolsa gaz hemişelik  $T_1$  temperaturada (izoterma gysylma) tä 1-nji nokada çenli gyzdýryja öz gysylmagy netijesinde bölünip çykýan ýylylygyny berýär. Netijede gaz öňki 1-nji nokatdaky ýagdaýyna dolanyp gelýär. Şeýlelikde biz Karnonyň ters aýlawly prosesini gurdyk. Bu aýlawly proses Karnonyň göni aýlawly prosesiniň ýoly bilen geçip, diňe onuň geçiş ugry tersinedir. Karnonyň göni aýlawly prosesi netijesinde alynýan peýdaly iş gyzdýryjydan berilýän ýylylyk bilen sowadyja berilýän ýylylygyň tapawudynyň hasabyna amala aşyrylsa, Karnonyň ters aýlawly prosesinde daşky işiň hasabyna ýylylyk işçi jisimiň üsti bilen sowadyjydan gyzdýryja berilýär. Diýmek, aýdylanlardan Karnonyň göni aýlawly prosesinde 1 kg işçi jisim üçin alynýan peýdaly iş:

$$l = q_1 - q_2 \quad (4.1)$$

bolar.

Onda ýylylyk **maşynynyň peýdaly täsir koeffisiýenti**:

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

ýa-da

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} \quad (4.2)$$

bolar. Oňa Karnonyň **termiki peýdaly täsir koeffisiýenti** diýilýär.

Öň bilşimiz ýaly, izotermik proses üçin işçi jisimine berilýän udel ýylylygy

$$q_1 = RT_1 \ln \left( \frac{\nu_2}{\nu_1} \right) \quad (4.3)$$

görnüşde, işçi jisiminden sowadyja berilýän udel ýylylygy bolsa

$$q_2 = RT_2 \ln \left( \frac{\nu_3}{\nu_4} \right) \quad (4.4)$$

görnüşde aňladylar.

Karnonyň aýlawly prosesinde 2-3 adiabatik prosesi üçin:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{\nu_2}{\nu_3} \right)^{k-1}$$

we 4-1 adiabatik prosesi üçin bolsa:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{\nu_1}{\nu_4} \right)^{k-1}$$

deňlemeleri ýazyp bileris.

Bu ýerden

$$\left(\frac{\nu_2}{\nu_3}\right)^{k-1} = \left(\frac{\nu_1}{\nu_4}\right)^{k-1}$$

$$\frac{\nu_2}{\nu_3} = \frac{\nu_1}{\nu_4}, \quad \text{ýa-da}$$

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{\nu_3}{\nu_4}$$

deňlemeler gelip çykýar.

Soňky iki deňlemeden görnüşi ýaly, deňlemeleriň çep tarapy deň, diýmek, sag taraplary hem deňdir. Bu ýerden  $q_1$  we  $q_2$ -niň bahalaryny (4.2)- de ornuna goýup, hem-de, görkezilen göwrümleriň gatnaşygyny göz önünde tutup, aşakdaky formulany alarys:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{RT_1 \ln\left(\frac{\nu_2}{\nu_1}\right) - RT_2 \ln\left(\frac{\nu_3}{\nu_4}\right)}{RT_1 \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (4.5)$$

Karnonyň aýlawlarynyň termiki peýdaly täsir koeffisiýenti  $0 < \eta_t < 1$  aralygynda bolup, ol ýylylyk maşynlary üçin mümkin bolan iň uly baha eýedir. Hakyky, öwrülişiksiz proseslerden durýan maşynlaryň peýdaly täsir koeffisiýenti, öwrülişikli prosesli Karnonyň termiki peýdaly täsir koeffisiýentiniň bahasyndan hemişe kiçidir. Termiki peýdaly täsir koeffisiýenti hiç wagt bire deň bolup bilmez. Bu koeffisiýentiň bir bolmagy üçin  $T_1 = \infty$  ýa-da  $T_1 = 0$  K deň bolmalydyr.  $T_1 = \infty$  bolmajagy öz-özünden düşnüklidir, sebäbi ýylylyk tehnikaşynda seredilýän meselelerde duş gelýän abzallardaky, ýylylyk hereketlendirijilerdäki iň uly temperatura 2500-3000 K-den geçmeýär.  $T_1 = 0$  bolmagy bolsa asla mümkin däldir. Beýle diýildiği, jisimleri düzýän bölejikleriň ýylylyk hereketiniň togtayanlygyny aňladýar. Şeýle hem, biziň bilýän adaty

sowadyjylarymyzyň temperaturalarynyň 250-320 K aralykdadygyny göz öňünde tutmak ýeterlikdir.

Ýokarky formula boýunça termiki peýdaly täsir koeffisiýenti gyzdyryjynyň we sowadyjynyň temperaturalaryna bagly bolup, işçi jisimiň fiziki häsiýetlerine bagly däl. Bu koeffisiýentiň bahasyny ýokarlandyrmak üçin esasan sowadyjynyň temperaturasyny peseltmek gerek.

Sowadyjynyň temperaturasynyň gyzdyryjynyň temperaturasyna göre  $\eta_t$  ululyga täsiriniň güýçliligi aşakdaky baglylyklardan düşnükli:

$$\frac{\partial \eta_t}{\partial T_2} = \frac{1}{T_1} \text{ bolsa, } \frac{\partial \eta_t}{\partial T_2} = \frac{T_2}{T_1^2}.$$

Diýmek:

$$\frac{\partial \eta_t / \partial T_2}{\partial \eta_t / \partial T_1} = - \frac{T_1}{T_2}.$$

Bu ýerde  $T_1 > T_2$ ; (-) alamaty  $T_1$  we  $T_2$  üýtgemesiniň özara ters täsiriniň netijesidir.

### 4.3. Entropiýa

Ýokarda berlen  $\eta_t$ -niň bahasynyň ýylylyk mukdary we temperaturalar arkaly aňladylan formulalaryndan aşakdaky gatnaşygy alarys:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}; \quad \eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Bu ýerden:

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}.$$

Karnonyň geçiren ylmy barlaglary bilen tanşan we ony gowy özleşdiren Klauziýs ýylylyk maşynyň işçi jisiminiň gyzdyryjydan

«alýan»  $Q_1/T_1$  gatnaşygyň, onuň sowadyja «berýän»  $Q_2/T_2$  gatnaşyga deňdigini bilipdir. Şeýlelikde Klauzius edil içki energiýa meňzeş, ýagdaýyň funksiýasy bolan haýsy-da bolsa bir ululygyň bardygyny we onuň  $Q/T$  gatnaşyga deňdigini aňypdyr. Ol ululygy Klauzius **entropiýa** diýip atlandyrypdyr. Entropiýa  $S$  harpy bilen belgilenip, bu **grekçe öwrülişik (özgermeklik)** diýmekdir.

Ýokarky formulany umumy görnüşde aşakdaky ýaly ýazmak bolar:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad \text{ýa-da} \quad \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i} = 0. \quad (4.6)$$

Entropiýa düşüňjesi ylma örän kynlyk bilen ornaşdy. Entropiýanyň düýp manysyna düşünmedik alymlar bu düşüňjäniň ylma girmegine belli bir derejede zyýan ýetirdiler. Entropiýany açmasy örän kyn bolan, poslan gulp bilen deneşdirip, bu düşüňjäniň asla ýönekeý daldigini, oňa düşünmegiň kyndygyny ençeme alymlar aýdyp geçdiler.

Professor B. M. Brodýanskiniň belläp geçişi ýaly, entropiýanyň esasy geň häsiýetleriniň biri hem onuň köne, ýalňyş «teplorod» düşüňjesi bilen belli bir derejede «garyndaşlygynyň» barlygyndadyr. Onuň aýtmagyna görä entropiýa diňe ýylylyk arkaly jisime berlip bilmän, eýsem ýylylykdan tapawutlylykda ol jisimde toplanypda, saklanypda biler. Jisime ýylylyk berilmegi esasynda jisim gyzdyrylanda onuň entropiýasy artýar, onda toplanýar, ýylylyk bolsa icki energiýa owrulýar.

Entropiýanyň

$$S = \frac{Q}{T} \quad (4.7)$$

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

Emma, amalyýetde ol temperatura üýtgäp durýar. Sebäbi ýylylygy kabul edýän jisim barha gyzýar. Emma, käbir örän ujypsyz

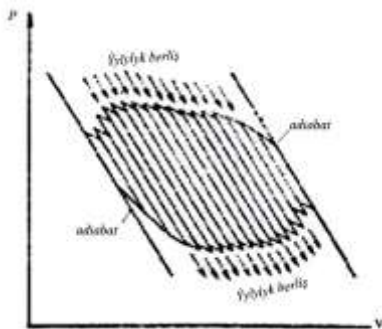
$\delta Q$  ýylylyk berliş prosesiniň dowamynda temperaturany hemişelik diýip kabul etmek bolýar.

Onda:

$$\Delta S = \sum \frac{\delta Q}{T} \text{ ya-da } \Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T}. \quad (4.8)$$

Islendik owrulışikli aýlawlaryň amala aşyrylmagy üçin hökman işçi jisimi 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 prosesleri hemişelik temperaturada bolup geçmelidir.

Şeýlelikde, islendik görnüşli owrulışikli aýlawa Karnonyň elementar aýlawlarynyň toplумы hökmünde seretmek bolar (4.3-nji surat). Elementar aýlawlaryň her haýsyna ýylylyk berliş ýa-da ondan ýylylyk alnyş prosesi olaryň hersiniň özüne degişli izotermalar arkaly amala aşyrylýar.



4.3-nji surat. Karnonyň elementar aýlawlarynyň toplумы

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

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

Soňky deňlemäni ýapyk kontur boýunça integrirläp alarys:

$$\oint \frac{dq_{\text{öwr}}}{T} = 0 \quad (4.9)$$

Bu ýerde  $dq_{\text{öwr}}$  – öwrülüşikli hadysa degişli ýylylyk mukdary.



Bu formula Klauzius tarapyndan getirilip çykarylan. Oňa **Klauziusyň integraly** diýilýär. Ýokarky deňlik entropiýanyň doly differensialdygyny görkezýär, ýagny

$$dS = \frac{dq_{\text{öwr}}}{T} \quad (4.10)$$

ýa-da 1-2 ýol üçin

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dq_{\text{öwr}}}{T} \quad (4.11)$$

Bu deňlikden T absolýut temperaturada S entropiýanyň barlygy we onuň (4.10) formula bilen kesgitlenilýänligi gelip çykýar. (4.11) formula öwrülişikli prosesler üçin termodinamikanyň 2-nji kanunynyň deňlemesi diýilýär. (4.11) deňlikden  $T = \text{const}$  bolanda,  $S_2 - S_1 = q_{1-2}/T$  gelip çykýar. Adiabatik prosesinde  $dq=0$  bolany üçin  $ds=0$ ,  $S_2-S_1=0$ ;  $S_1=S_2=S=\text{const}$  bolýar.

Öwrülişikli adiabatik prosesde entropiýa üýtgemeyär. Ol hemişelik bolup galýar. Şonuň üçin hem öwrülişikli adiabatik prosese **izotropiýa prosessi** diýilýär. Öwrülişikli adiabatik proses diýip nygtalýanlygynyň sebäbi öwrülişiksiz adiabatik prosesleri hem bolup bilýär, ýöne oňa izotropiýa prosessi diýmek bolmaýar.

Entropiýany hem, edil beýleki ýagdaýyň funksiýasy bolan ululyklar ýaly  $p$  we  $v$ ;  $p$  we  $T$ ; ýa-da  $v$  we  $T$  ululyklaryň parametrleriniň üsti bilen aňladyp bolýar, ýagny

$$S = f(p, v); \quad S = \varphi(p, T); \quad S = \Psi(v, T). \quad (4.12)$$

Entropiýanyň ölçeg birligi J/K, udel entropiýanyň birligi bolsa J/(kg·K).

Termodinamiki prosesler derňelende ýa-da atalyýetde düşgelyän başga bir meseleler çözülende entropiýanyň üýtgemesine seredilýär.

Entropiýanyň başlangyç ululygy hökmünde entropiýanyň islendik bahasy saýlanyp bilner.

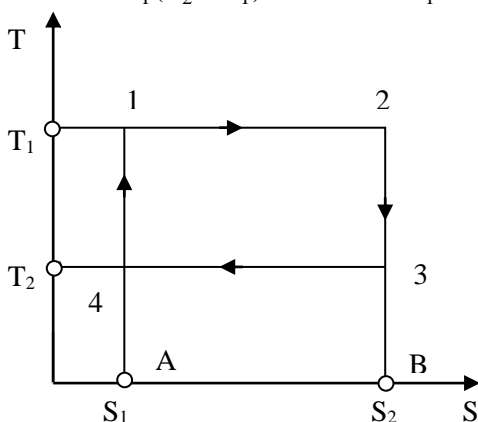
Indi Ts diagrammada şekillendirilen (4.4-nji surat) Karnonyň öwrülişikli aýlawyndan entropiýalaryň üsti bilen  $\eta_t$ -niň formulasyny getirip çykaralyň.

Aýlawda 1-2 we 3-4 – izotermalar, 1-4 we 2-3 öwrülişikli adiabatlardyr. 1 kg işçi jisime  $T_1 = \text{const}$  prosesde  $q_1 = T_1 (S_2 - S_1)$  ýylylyk berilýär. Çyzgyda  $q_1$  udel ýylylyk 1, 2, B, A, 1 nokatlar bilen çäklenen meýdana san taýdan deňdir.

$T_2 = \text{const}$  izotermi prosesde işçi jisimden sowadyjynyň alýan udel ýylylygy  $q_2 = T_2 (S_3 - S_4) = T_2 (S_1 - S_2)$ , sebäbi  $S_3 = S_1$ ,  $S_4 = S_2$  we  $q_2$  çyzgyda 3, A, B, 4, 3 meýdan bilen aňladylýar.

Aýlawyň işi  $l_a = q_1 - q_2$  bolsa 1-2-3-4-1 nokatlar bilen çäklenen meýdana san taýdan deňdir. Onda:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_2 - S_1)}{T_1(S_2 - S_1)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (4.13)$$



4.4-nji surat. Karnonyň öwrülişikli aýlawynyň T-s diagrammasy

Biz entropiýanyň üýtgemeginiň diňe öwrülişikli proseslere degişlilerine seredip geçdik. Indi bolsa, öwrülişiksiz prosesde entropiýanyň nähili üýtgeýändigine seredip geçeliň. Öwrülişiksiz prosesde ön belläp geçişimiz ýaly, ýylylyk öz-özünden diňe bir tarapa, ýagny ýylylygyň köp ýerinden ýylylygyň az ýerine berilýär. Entropiýanyň bu ýagdaýda üýtgemegini kesgitlemek üçin aşakdaky

mysala garap geçelin. Goý, haýsy-da bolsa bir gabyň içinde temperaturalary dürli bolan iki sany jisim bar diýeliň.

Meselem, birinji jisimiň  $T_1$  temperaturasy ikinji jisimiň  $T_2$  temperaturasyndan uly diýeliň  $T_1 > T_2$ . Belli bolşy ýaly, bu iki jisimiň arasynda ýylylyk çalyşma prosesi bolup,  $T_1$  temperaturaly gyzygyn jisimden  $T_2$  temperaturaly sowuk jisime  $dQ$  mukdarda ýylylyk berilýär. Netijede, ýylylyk berýän jisimiň entropiýasy

$dS_1 = -\frac{dQ}{T_1}$  ululyga azalar, ikinjisiniň bolsa entropiýasy

$dS_2 = \frac{dQ}{T_2}$  ululyga artar. Ýylylyk çalyşygy diňe gabyň içindäki

jisimleriň arasynda bolup geçýär, sebäbi gap ýylylyk taýdan daşky sredadan izolirlenen  $dQ_{ulg}=0$ . Onda seredilýän ulgam üçin

entropiýanyň üýtgemesi  $dS_{ulg} = dQ \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ , bu ýerden  $T_2 < T_1$

bolany üçin  $dS_{ulg} > 0$  (4.14)  
gelip çykýar.

Diýmek, öwrülişiksiz proses netijesinde izolirlenen ulgamyň entropiýasy ýokarlanýar. Başga-da şuna meňzeş öwrülişiksiz prosesler derňelende mydama entropiýanyň artýandygynyň üsti açyldy. Bu ýerden  $dS > \frac{dQ}{T}$  (4.15)

deňsizlik, entropiýanyň islendik öwrülişiksiz prosesde artýandygyny görkezýär. Ozal bilşimiz ýaly, öwrülişikli proses üçin

$$dS = \frac{dQ}{T}. \quad (4.16)$$

Eger-de, ulgamda Karnonyň öwrülişikli aýlawy (şeýle hem, islendik öwrülişikli aýlaw) ýerine ýetse, onda ulgamyň entropiýasy üýtgemeyär

$$dS_{ulg}=0. \quad (4.17)$$

Şeýlelikde, umumy görnüşde öwrülişikli we öwrülişiksiz izolirlenen prosesler üçin

$$dS_{\text{ulg}} \geq 0. \quad (4.18)$$

Diýmek, ulgamyň entropiýasy izolirlenen ulgamda azalyp bilmeýär. Ýokarky formuladaky deňlik öwrülişikli, deňsizlik alamaty bolsa öwrülişiksiz prosesi aňladýar.

(4.15) we (4.16) formulalar birleşdirilen görnüşde aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$dS \geq \frac{dQ}{T}. \quad (4.19)$$

Bu gatnaşyk islendik ulgamda öwrülişikli (deňlik alamaty bolanda) we öwrülişiksiz (deňsizlik alamaty bolanda) prosesler üçin dogry bolup, termodinamikanyň 2-nji kanunynyň analitik aňlatmasydyr.

#### **4.4. Termodinamikanyň 2-nji kanunynyň kesgitlemeleri.**

##### **Termodinamikanyň 1-nji we 2-nji kanunynyň birleşdirilen deňlemesi**

Termodinamikanyň 1-nji kanunyna mukdar kanuny diýilýär. Sebäbi ol energiýanyň öwrülmeğini mukdar taýdan häsiýetlendirýär.

Termodinamikanyň 2-nji kanunyna bolsa hil kanuny diýilýär. Sebäbi ýokarda seredilen köp mysallarymyzdan görnüşi ýaly, ol prosesin ugruny görkezýär. Ýagny, ýylylygyň temperaturasy ýokary jisimden temperaturasy pes jisime öz-özünden berilýänligi, tersine tarap ýylylygy geçirmek üçin bolsa daşyndan energiýa sarp edilmelidigini görkezýär. Bu kanunlaryň ikisi hem tejribeleriň üsti bilen açylan kanunlardyr.

Dürli döwürlerde dürli alymlar termodinamikanyň 2-nji kanunyny umumy görnüşde şu aşakdaky ýaly aňladypdyrlar:

“Ýylylyk öz-özünden sowuk jisimden gyzgyn jisime geçip bilmez”- (R.Klauzius, 1850 ý.);

“Haýsy hem bolsa bir jansyz material agent arkaly haýsydyr bir jisimi ony gurşap alýan sredanyň temperaturasyndan pes temperatura

çenli sowatmak arkaly mehaniki iş edip bolmaz” – (B.Tomson, 1851 ý.);

“Ähli işi diňe ýük götermäge we ýylylyk çeşmesini sowatmaga niýetlenen periodik işleýän maşyny döretmek mümkin däl” - (M.Plank). Bu ýerde periodik işleýän maşyn diýlip ýylylygy işe öwürýän, uznuksiz işleýän hereketlendiriji barada gürrüň gidýär.

“Öz-özünden tow alýan, özi çeküw daşyny galdyryan, mehanizmleri hereketlendirýän sagady ýasamak mümkin däl” – D. Kardano (1501-1576 ý.).

“Maşynlar guýji (energiýany) döretmeýärler, olar diňe ony özgerdýärler. Kim oňa başgaça diýip düşunse, onda onuň mehanikadan hiç-hili düşunjesi ýokdur” - G.Galileý (1564-1642 ý.).

“Eger-de, täze maşynlary oýlap tapyjylar, mudumilik hereketlendirijini guramaklyga biderek synanyşyk edýänler, meniň şu gipotezandan, ýagny jisimler ulgamynyň öz merkeziniň ýagdaýyny daşyndan guýç täsir etmese uýtgetmeýänliginden peýdalansalar, onda olar öz ýalňyşlyklaryna, ýagny şeýle hereketlendirijileri ýasamak bolmaýanlygyna özlari düşunerdiler” - Gyúgens (1629-1695 ý.).

Ýokarda aýdylanlardan görnüşi ýaly bu kesgitlemeleriň köpusinde hemişelik hereketlendirijiniň döredilmek mümkinçiligi inkär edilyär. Eger-de, termodinamikanyň 2-nji kanunynyň çäklendirmeleri bolmadyk bolsa, onda diňe bir çeşmäniň hasabynda “işleýän” ýylylyk maşynlaryny gurmak bolardy. Eger, şeýle hereketlendirijini ýasamak mümkinçiligi bolan bolsa, onda adamzat ummanlardaky, deňizlerdäki köp mukdardaky suwlary sowatmagyň hasabyna, mehaniki energiýanyň köp mukdaryny alyp bilerdiler. Emma, ýokarda aýdylanlaryň esasynda bir çeşmäniň hasabyna şeýle maşyny ýasamak mümkin däl. Başgaça aýdylanda, ikinji hilli hemişelik hereketlendirijini ýasamak mümkin däl. Ýylylyk prosesinde bolýan geň zadyn biri mehaniki we beýleki işleriň doly ýylylyga öwrülýänligi, ýylylygyň bolsa diňe bir böleginiň peýdaly işe öwürlip, galan böleginiň ýitgi görnüşinde sowadyja berilýänligindedir. Ine, şu ýagdaý sebäpli hem ikinji hilli hemişelik hereketlendirijini gurmagyň mumkin däl. Geliň çykyar.

Ýokarda getirilen termodinamikanyň 2-nji kanunynyň esasy kesgitlemeleriniň biri Klauziusyň "ýylylyk öz-özünden gyzgyn jisimden sowuk jisime berlip, onuň tersine geçirilmegi üçin bolsa, daşky ulgamyň energiýa harçlamasyny talap edýär" diýen kesgitlemesidir. Bu islendik izolirlenen ulgamda ýylylygyň özara geçiş prosesiniň, ulgamda entropiýanyň bahasynyň maksimum baha eýe bolýança dowam edýändigini aňladýar. Diýmek, islendik deňagramlylyk ýagdaýyndan çykarylan ulgam öz-özünden deňagramlylyk ýagdaýyna, ýagny entropiýanyň maksimal ýagdaýyna dolanyşýar.

Ýokarda belleýşimiz ýaly,  $dS \geq dQ/T$  termodinamikanyň 2-nji kanunynyň analitiki ýazgysydyr.

Bu ýerden  $dQ \leq T dS$  bolany üçin, ony termodinamikanyň

1-nji kanunynyň deňlemesiniň ornuna goýsak, islendik massaly gaz üçin aşakdaky aňlatmany alarys:

$$TdS \geq dU + dL. \quad (4.20)$$

Massasy bir kg jisim üçin bu deňleme aşakdaky ýaly aňladylýar:

$TdS \geq dU + dl$ , başgaça  $TdS \geq dU + pdv$ . Bu deňlemelere termodinamikanyň 1-nji we 2-nji kanunlarynyň birleşdirilen deňlemesi diýilýär. Eger-de, seredilýän ulgam deňagramlylyk ýagdaýynda bolsa, onda ýokarky deňlemeleri aşakdaky görnüşde ýazmak mümkindir:

$$TdS = dU + pdv. \quad (4.21)$$

## **Bäşinji bap. KOMPRESSORLAR**

### **5.1. Kompessorlar hakynda umumy düşünje we kompessorlarda gysylşy prosesi**

Gazy gysmak üçin niýetlenen gurluşlara kompessorlar diýilýär. Kompessorlar durmuşda we tehnikada ýokary basyşly gazy almak üçin ulanylýar. Kompessorlar esasan göwrümleýin we pilçeli görnüşlere bölünýär. Göwrümleýin görnüşli kompessorlar hem öz gezeginde porşenli we rotorly kompessorlara bölünýärler.

Porşenli kompressoryň işleýiş düzgünine seredip geçeliň. 5.1-nji suratda görkezilen porşen (1) tirsekli walyň aýlanmagy bilen kriwoşipiň hem-de şatunyň kömegi bilen öňe we yza hereket etmäge ukyplydyr. Porşen silindriň (2) içinden çepden saga hereket edende aşadaky klapandan (3) howa sorulýar, şol wagt ýokarky howa çykaryjy klapandan (4) ýapyk bolýar. Porşeniň çepden saga silindriň ahyrky nokadyna çenli hereketi netijesinde 3-nji klapanyň üsti bilen howanyň sorulyş prosesi hemişelik  $p_1$  basyşda bolup geçýär. Ol proses 5.2-nji suratda görkezilen indikator diagrammada 4 - 1 çyzyk bilen şekillendirilýär. Soňra iki klapandan hem ýapylýar we porşen sagdan çepde hereket edýär, howa gysylýar. Howanyň gysylşy prosesi 1-2 çyzyk bilen şekillendirilen. Gysylmanyň ahyrynda ýokarky klapandan (4) açylýar we gysylan howa çykarylýar.

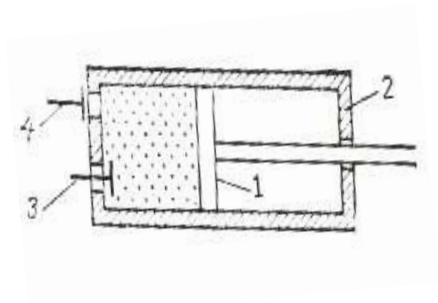
### **5.2. Kompessorlarda gysylma işiniň kesgitlenişi**

Ýokarky (5.1) seredilen kompressoryň gysylma işiniň kesgitlenişine seredeliň.

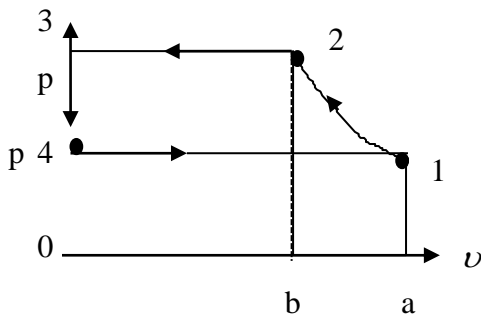
Howanyň çykarylyşy hemişelik  $p_2$  basyşda bolup geçýär. Bu proses 1 kg gaz üçin  $p\nu$  diagrammada 2-3 çyzyk bilen şekillendirilen.  $p\nu$  diagrammada 1-2 çyzyk bilen çäklendirilen meýdan (a, 1, 2, b),  $l_{1-2}$  - gysylma işini şekillendirýär. 1-2 gysylma prosesinde silindriň göwrümi  $\nu_1$ -den  $\nu_2$ -ä çenli kiçelýär we  $l_{1-2}$  gysylma işi aşadaky formula bilen aňladylýar:

$$l_{1-2} = \int_{v_1}^{v_2} p dv \quad (5.1)$$

$v_1 > v_2$  bolany üçin bu iş otrisateldir; 2-3 çyzyk bilen çäklendirilýän  $(b, 2, 3, 0)$  meýdan, ýokarky klapandan howanyň çykarylmagyna sarp edilýän işi şekillendirýär.



5.1-nji surat. Porşenli silindr



5.2 –nji surat. Gazyň ululyklarynyň  $p-v$  diagrammasy

Ony formula arkaly aňladalyň. Howanyň çykarylyş prosesini göz öňünde tutup alarys:

$$\begin{aligned} l_{2-3} &= \int_{v_2}^{v_3} p_2 dv = p_1 \int_{v_2}^{v_3} dv = p_1(v_3 - v_2) = \\ &= p_2(0 - v_2) = -p_2 v_2. \end{aligned}$$

Prosesiň 3-4 geçiş ýagdaýy üçin iş nola deňdir:

$$l_{3-4} = 0, \text{ sebäbi } v_3 - v_4 = 0.$$

Suratdaky 4-1 prosesden ybarat sorulyş prosesini  $l_{4-1}$  položitel iş bilen aňladalyň, ol çyzyklar bilen çäklenen  $(a-1-4-0-a)$  meýdan bilen şekillendirilýär. Onda:



$$l_{4-1} = \int_{v_4}^{v_1} p_1 dv = p_1 \int_{v_4}^{v_3} dv = p_1(v_1 - v_4) =$$

$$= p_1(v_1 - 0) = p_1 v_1.$$

Kompressoryň işlemegi üçin sarp edilýän tehniki iş ýokarda sanalan işleriň jemine deňdir. Ýagny:

$$l = p_1 v_1 - p_2 v_2 - \int_{v_1}^{v_2} p dv \quad (5.1)$$

Kompressorda 1-2 gysylyş prosesi politropik prosesdir. Şonuň üçin  $\int_{v_1}^{v_2} p dv$  integraly  $p^n = p_1 v_1^n$  formuladan  $p$ -ni tapyp hasaplalyň. Bu formuladan:

$$p = p_1 \left( \frac{v_1}{v} \right)^n \text{ aňlatmany } p\text{-niň ýerine goýalyň:}$$

$$\int_{v_2}^{v_1} p dv = \int_{v_1}^{v_2} p_1 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^n dv = p_1 v_1^n \int_{v_2}^{v_1} \frac{dv}{v^n} =$$

$$= -\frac{1}{n-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right].$$

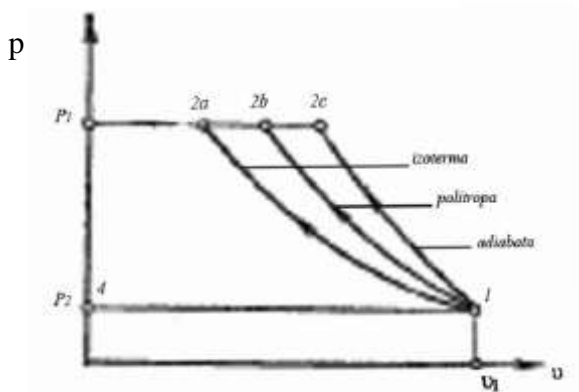
Alnan netijäni (5.1) formulada goýalyň:

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

$$= -p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] -$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{n-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \\
 & = -\frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right].
 \end{aligned}
 \tag{5.2}$$

Howanyň (gazyň) gysylma prosessi izoterma, adiabata we politropa proseslerde bolup bilýär. Bu gysylyş prosesleri 5.3-nji suratda görkezilen. Amalyýetde izotermik ýa-da adiabatik gysylyş amala aşyrylýan däl. Kompressorlarda politropik gysylyş prosesi amala aşyrylýandyr.



5.3-nji surat. Howanyň gysylma prosesleri

Suratdan görnüşi ýaly, izotermik prosesde gysylma işi beýleki proseslere görä iň azydyr. Izotermik gysylyş prosesini amala aşyrmak üçin porşen bilen howa gysylanda howa berilýän ýylylyk hemişe suwuň ýa-da başga bir suwuklygyň üsti bilen prosesin hemişelik temperaturada bolmagy üçin yzygiderli sowadylyp durmalydyr.

Kompressorlarda dürli gysylyş proseslerini grafiki deňeşdirmekden başga-da mukdar taýdan deňeşdirmek üçin aşakdaky izotermik we adiabatik gysylyş proseslerine sarp edilýän tehniki işleriň formulalaryny alalyň.

Izotermik gysylyş prosesinde:

$$l = p_1 v_1 - p_2 v_2 + p_1 v_1 \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right).$$

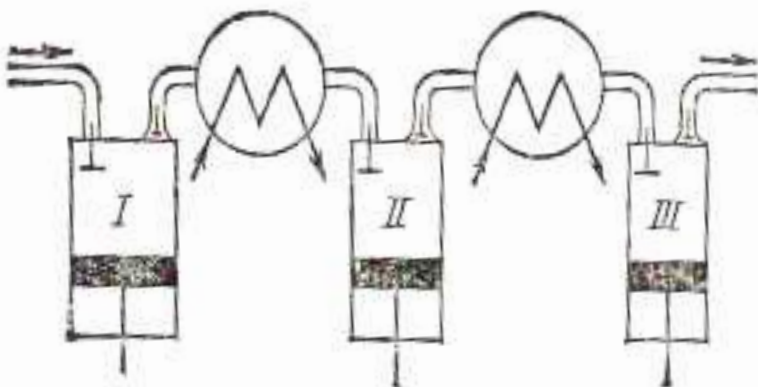
Izotermik prosesde  $p_1 v_1 = p_2 v_2$  bolany üçin adiabatik gysylyş prosesi üçin  $l = p_1 v_1 \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right)$ .

$$\begin{aligned} l &= p_1 v_1 - p_2 v_2 - \frac{1}{k-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \\ &= -\frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]. \end{aligned} \quad (5.3)$$

### 5.3. Kompressorlaryň ulanylyşy

Tehnikada gerek basyşly gysylan gaz almak üçin bir silindrli kompressorlary ulanmak ýeterlik bolmaýar. Munuň esasy sebäbi, birinji tarapdan gazyň gysylmagy netijesinde onuň temperaturasynyň ýokary galmagy we kompressorlaryň ulanyş häsiýetleriniň erbetleşmegi, ikinji tarapdan bolsa silindriň gapagy bilen porşeniň arasynda galýan «zyýanly giňişlik» diýip at alan giňişligiň kompressorlaryň öndürjiligine ýaramaz täsirini ýetirýänligidir. Şonuň üçinem ýeterlik basyşly gaz almak üçin köp basgançakly kompressorlar ulanylýar. Köp basgançakly kompressorlarda kompressoryň her basgançagyndan çykarylýan gysylan gazy sowadyp soňky basgançaga geçirilýär. Köp basgançakly kompressorlaryň yzygider birleşdirilen suw köýnekleri arkaly

sowadylýan silindrlerdäki sowadylyşyň netijesi, olaryň aralygynda ýerleşdirilen sowadyjy üsti has ýokarlandyrylan ýörite ýylylyk çalşyjy enjamlar arkaly sowadylmakdan pesdir. Ýörite ulanylýan sowadyjylar (5.4-nji surat) kompressoryň her basgançagyndan çykýan gysylan howany kompressoryň girişindäki howanyň temperaturasyňa çenli sowatmaga ukyplydyr. Üç basgançakly kompressoryň indikator diagrammasynda kompressoryň birinji basgançakda gaz  $p_I$ -den  $p_{II}$  basgançaga çenli gysylýar (gysylyş 1-a politropa boýunça bolýar).

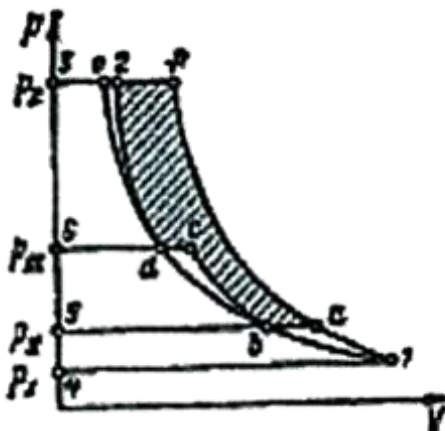


5.4-nji surat. Sowadyjynyň kompressorlary

Soňra gaz  $p_I = \text{const}$  izobara boýunça  $T_I$  temperatura çenli sowadylýar. Bu proses 5.5-nji suratda a-b çyzyk bilen şekillendirilýär we b nokatdan başlap gaz  $p_{II}$  -den  $p_{III}$  basyşa çenli kompressoryň ikinji basgançagynda b-c politropik proses boýunça gysylýar. Edil öňki ýaly, ikinji basgançakdan çykan gysylan gaz c-den d-e çenli  $p_{III} = \text{const}$  hemişelik basyşda  $T_I$  temperatura çenli sowadylýar.

Kompressoryň üçünji basgançagynda gaz  $p_{III}$  basyşdan  $p_2$  -basyşa çenli gysylýar, ol d-2 politropa çyzygy bilen şekillendirilendir. Biziň sereden üç basgançakly kompressorymyzda gazyň  $p_I$  başlangyç basyşdan tä ahyrky  $p_2$  -basyşa çenli gysylmagy 1-a-b-c-d-2 politropik prosesi boýunça bolup geçýär (5.5-nji surat).

Eger-de  $p_1$  basyşdan  $p_2$  basyşa çenli gazyň gysylmasy bir basgançakly kompressorda amala aşyrylan bolsa, ol 1-a-f politropa boýunça geçerdi. Görşümüz ýaly, üç basgançakly kompressorda howany  $p_1$ -den  $p_2$  basyşa çenli gysmak bir basgançakly kompressora garanyňda a, b, c, d, 2, f meýdan bilen şekillendirilen tehnik işi az edýär. Ondan başga-da, ýokarda ýatlaýşymyz ýaly, köp basgançakly kompressory ulanmak gysylýan gazyň temperatura kadasyna baglylykda onuň hyzmat ediş wagtyny ulaldýar.



5.5-nji surat. Kompressordaky politropik prosesiniň  $p - v$  diagrammasy

## **Altynjy bap. IÇINDEN ÝANDYRYLÝAN ÝYLYLYK**

### **HEREKETLENDIRIJILERI**

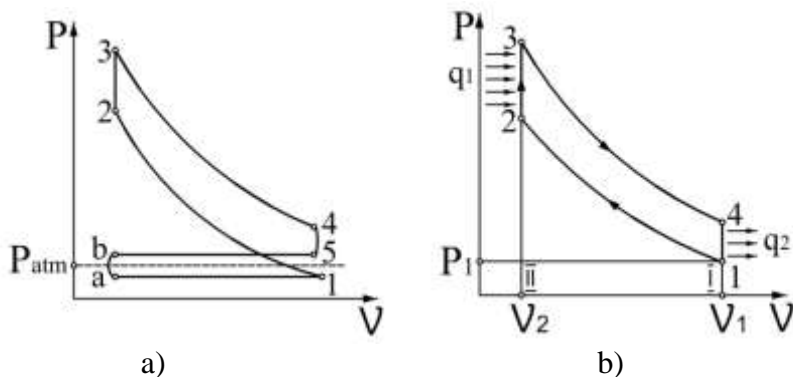
#### **6.1. Içinden ýandyrylýan ýylylyk hereketlendirijileriň**

##### **iş aýlawlary**

Ýylylyk hereketlendirijileri içinden ýandyrylýan we daşyndan ýandyrylýan hereketlendirijilere bölünýärler. Içinden ýandyrylýan hereketlendirijilerde ýangyjyň ýanmagy we işiň edilmegi bir ýerde amala aşýar.

Işçi jisime ýylylyk berlişini dürli şertlerine baglylykda ýylylyk hereketlendirijileri termodinamiki kämilligini häsiýetlendirmäge we olaryň termiki peýdaly täsir koeffisiýentlerini hasaplamaga mümkinçilik berýän birnäçe aýlawlar alymlar tarapyndan işlenip düzüldi. Meselem, I.A.Otto tarapyndan 1876-njy ýylda işlenip düzülen ýylylyk hereketlendirijiniň aýlawy işçi jisimine gyzdryjydan hemişelik göwrümde ýylylyk berilmegine esaslanan.

Nemes alymyň Dizeliň oýlap tapan hereketlendirijisinde işçi jisime ýylylyk hemişelik basyşda berilýär. Işçi jisime ýylylygy ilki başda hemişelik göwrümde, soňra bolsa hemişelik basyşda berilmegine daýanýan, içinden ýandyrylýan porşenli hereketlendirijiniň aýlawy inžener Trinkler (bu aýlawy Sabateniň ady bilen hem baglanyşdyrýarlar) tarapyndan amala aşyryldy. Bu ady agzalan aýlawlaryň hemmesi hem hakyky (hyýaly däl) hereketlendirijilere degişlidirler. Şonuň üçin hem aşakdaky indikator diagrammalarda görkezilen aýlawlar ýapyk dälidirler (6.1-nji a, b suratlar), sebäbi her aýlawdan soň öňki işçi jisimi (howa, gaz) daşaryk çykarylyp, ýerine täze işçi jisimi (howa, gaz) sorulýar.



6.1-nji surat. Aýlawlaryň p-v diagrammasy

Geliň indi 1 kg işçi jisim üçin bu aýlawlara aýry-aýrylykda seredip geçeliň. Onuň üçin ýokarda görkezilen ýapyk däl aýlawlary ýapyk aýlawlar bilen çalşyralyň. Başgaça aýdanyňda, silindriň içindäki işçi jisimiň mukdary hemişelik, üýtgemeýär diýip kabul edeliň. Termodinamiki nukdaýnazardan ýokarky açyk, hakyky aýlawlaryň ýapyk aýlawlar bilen çalşyrylmagynda ullakan tapawut ýokdur.

## 6.2. Hemişelik göwrümde ( $\nu = \text{const}$ ) 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 (6.2-nji surat) silindriň içine sorujy klapanyň (çykaryjy klapanyň ýapyk) üsti bilen howa garlan ýangyç girizilýär. p-v diagrammada (6.3-nji surat) bu proses ( $p_1 - 1$ ) çyzyk bilen görkezilen. Soruş prosesi hemişelik  $p_1$  basyşda (atmosfera basyşda) bolup geçýär diýlip hasap edilýär. Porşen a. b. n.-e ýetende sorujy klapanyň ýapylýar we porşen ýokaryk hereket edýär we howa ýangyç garyndysynyň adiabatik gysylyşy bolup geçýär. Adiabatik

gysylyş prosesi nazary taýdan  $pV$  diagrammada 1-2 çyzyk bilen şekillendirilen.



6.2-nji surat. Silindrde porşeniň hereketi

Gysylyş prosesinde porşeniň “sürtülmesiz” hereketi örän çalt bolup geçip, şol wagtda howanyň ýangyç bilen garyndysy daşky sreda bilen ýylylyk çalyşmaga ýetişmeýär. Gysylyşyň ahyrynda elektrik uçgunyň täsiri astynda garyndynyň ýanma prosesi bolup geçýär. Bu ýanma prosesi örän çalt bolup geçýär we porşen hereket edip ýetişmeýär. Şonuň üçin hem bu ýanma prosesi hemişelik göwrümde bolup geçýär diýlip hasaplanylýar. Ýanma prosesiniň netijesinde  $q_1$  udel ýylylyk alan garyndynyň basyşy ulalýar.  $pV$  diagrammada bu proses 2-3 çyzyk bilen aňladylýar. Gazyň porşene basyş etmeginiň hasabyna porşen (ý.b.n.) -dan (a.b.n.)-e çenli aşak hereket edýär. Gazyň adiabatik giňeliş prosesi gazyň basyşy netijesindeki porşeniň göz açyp ýumması salymynda “sürtülmesiz”-hereketiň hasabyna amala aşyrylýar. Adiabatik giňelme prosesi 3-4 çyzyk bilen aňladylýar. Ýangyjyň ýanmagy netijesinde giňelme prosesindäki porşeniň hereketi položitel iş edýär (ýagny tirsekli waly aýlaýar). Giňeliş prosesiniň 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 sowaýar.

Diagrammada bu proses 4-1 çyzyk bilen şekillendirilýär. 6.3-nji suratda görkezilişi ýaly, bu aýlaw iki sany adiabatdan hem-de



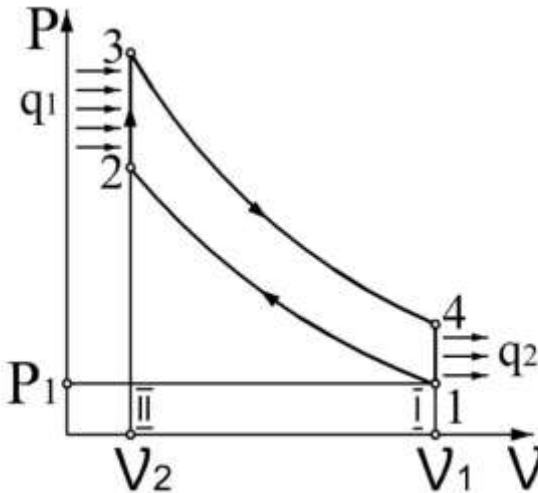
iki sany izohoradan ybarat. Aýlawyň amala aşyrylyş prosesinde howa bilen garlan ýangyjyň buglary hem-de işlän gaz özüni hemişelik sygymly hyýaly gaz ýaly alyp barýar diýlip kabul edilýär.

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

$$l = q_1 - q_2.$$

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

$$\eta_t = \frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}. \quad (6.1)$$



6.3-nji surat. Aýlaw prosesiniň  $p - \nu$  diagrammasy

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

$$q_1 = c_\nu (T_3 - T_2) \quad (6.2)$$

bolar.

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

$$q_1 = c_v(T_4 - T_1) \quad (6.3)$$

bolar.

6.3-nji suratdaky  $p \nu$  diagrammadan görnüşi ýaly, işçi jisimiň gysylmagy netijesinde onuň göwrümi  $\nu_1$ -den  $\nu_2$ -ä çenli kiçelýär.

$\nu_1$  udel göwrümiň  $\nu_2$  udel göwrüme bolan gatnaşygy  $\varepsilon$  bilen bellenilýär. Olňa işçi jisimiň gysylyş derejesi diýilýär:

$$\varepsilon = \frac{\nu_2}{\nu_1} . \quad (6.4)$$

(6.2) we (6.3) formulalary aşakdaky görnüşde az kem özgerdip ýazalyň:

$$q_1 = c_v(T_3 - T_2) = c_v T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right) , \quad (6.5)$$

$$q_2 = c_v(T_4 - T_1) = c_v T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right) . \quad (6.6)$$

(6.5) we (6.6) formulardaky  $q_1$  we  $q_2$  ululyklaryň bahalaryny (6.1) formulada orunlaryna goýalyň:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{\frac{T_4}{T_1} - 1}{\frac{T_3}{T_2} - 1} . \quad (6.7)$$

Indi aýlawyň düwünlerindäki temperaturalaryň gatnaşygyny kesgittläliň. 1-2 adiabatik prosesi üçin:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{\nu_2}{\nu_1} \right)^{k-1}. \quad (6.8)$$

Bu formula başgaça şeýle ýazylýar:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}. \quad (6.9)$$

3-4 adiabatik gysylyş prosesi üçin

$$\frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{\nu_3}{\nu_4} \right)^{k-1}. \quad (6.10)$$

6.3-nji suratdan görnüşi ýaly,  $\nu_2 = \nu_3$  we  $\nu_1 = \nu_4$  bolany üçin (6.8) we (6.10) deňlemeleriň sag taraplary özara deňdir. Diýmek, bu deňlemeleriň çep taraplary hem özara deňdir, ýagny:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4}{T_3} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1}. \quad (6.11)$$

Onda (6.11) formuladan peýdalanyňp (6.7) formulany aşakdaky ýaly ýazmak bolar:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \text{ýa-da} \quad \eta = 1 - \frac{1}{\frac{T_1}{T_2}}.$$

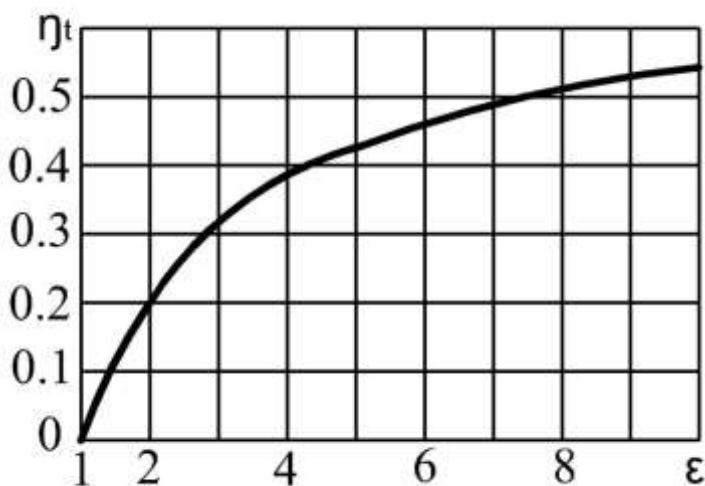
Diýmek:

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}. \quad (6.12)$$

(6.12) formuladan görnüşi ýaly ottonyň aýlawynyň termiki peýdaly täsir koeffisiýenti , diňe işçi jisimiň  $\varepsilon$ -gysylyş derejesine ( $\varepsilon$ ) bagly. Onuň bahasy uly boldugyça,  $\eta_t$ -niň bahasy şonça-da uly bolýar. Diýmek, bu aýlawda  $\eta_t$ -niň bahasyny ulaltmagyň ýeke-täk ýoly  $\varepsilon$ -nyň bahasyny artdyrmakdan ybarat eken.

$\eta_t$  ululygyň  $\varepsilon$ -nyň bahasyna baglylykdaky üýtgeýşi 6.4-nji suratda görkezilen.

Suratdan görüşi ýaly,  $\varepsilon$ -nyň artmagy bilen  $\eta_t$ -niň bahasy çalt ulalýar. Soňra  $\varepsilon$ -nyň bahasy 0,6-dan, 0,7-den ýokary geçende  $\eta_t$ -niň artmasy haýallaýar. Sebäbi  $\varepsilon$ -nyň bahasynyň artmagy bilen şol bir deň şertlerde aşa gysylýan gazyň (işçi jisimiň) basyşy we temperaturasy artýar. Gyzduryjydan işçi jisime berilýän  $q_1$  ýylylyk  $\varepsilon$ -nyň kiçi bahasyna garaňda gitdigiçe azalýar we  $\frac{q_1 - q_2}{q_1}$  gatnaşyk kiçelýär.



6.4-nji surat.  $\eta_t$  ululygyň  $\varepsilon$  – a baglylygy

Şeýle bolsa-da,  $\eta$ -niň bahasy  $\varepsilon$ -nyň artmagy bilen ulalýar. Emma,  $\varepsilon$ -nyň bahasyny çäksiz ulaltmak bolmaýar. Sebäbi  $\varepsilon$ -nyň ulalmagy ýokarda belleýşimiz ýaly, gysylyş döwründe işçi jisimiň temperaturasynyň we basyşynyň aşa ýokarlanmagy we onuň netijesinde porşendäki garyndyň öz-özünden ýanmagy mümkin. Bu bolsa hereketlendirijiniň položitel işine zyýan ýetirýär we onuň çalt sandan çykmagyna getirýär.

Karbýuratorly hereketlendirijilerde gysylyş derejesi ýangyjyň hiline baglylykda ( $\varepsilon$ -nyň bahasy)  $6 \div 10$  aralykda bolýar.

Dizeliň aýlawy boýunça işleýän hereketlendirijilerde ýangyjy örän maýda bölejikler boýunça pürkmek üçin ýörite kompressorlar gerek, bu bolsa ol hereketlendirijileriň gurluşyny çylşyrymlaşdyrýar we onuň umumy bahasyny ýokarlandyrýar. Şonuň üçin hem bu hereketlendirijiler häzir durmuşda peýdalanylmaýar. N.A. Ottonyň we Dizeliň aýlawlaryndan durýan (ýagny ol aýlawlaryň garyndysyndan durýan) Trinkleriň aýlawy barada aýdylanda, onda ol aýlaw beýleki iki aýlawdaky kemçiliklerden halasdyr. Haýsy aýlaw ykdysady taýdan netijeli diýlen soraga ol hereketlendirijileriň haýsy ýagdaýda ulanylanda görkezijilerini hasaba almak we ýörite ykdysady-tehniki hasaplamalary geçirmek arkaly jogap bermek mümkindir.

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

Nemes inženeri R. Dizeliň (1897 ý.) aýlawy  $\varepsilon$ -nyň 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 6.5-nji suratda şekillendirilen.

Bu aýlawyň öňki sereden aýlawlarymyzdan tapawudy «gyzdyryjydan» işçi jisime berilýän  $q_1$  udel ýylylyk hemişelik basyşda berilýär. İşçi jisimi hökmünde ulanylýan howa bilen garlan ýangyjyň udel göwrümi  $\nu_2$ -den  $\nu_3$ -e çenli artýar. Bu proses diagrammada 2-3 çyzyk bilen görkezilen. Hemişelik basyşda

ýangyjyň ýanmak prosesi netijesinde işçi jisimiň göwrüminiň giňelmeginiň ahyryndaky  $v_3$  udel göwrümiň ilki başdaky  $v_2$  göwrüme bolan gatnaşygyny  $\rho$  bilen belläliň. Oňa giňelme derejesi diýilýär:

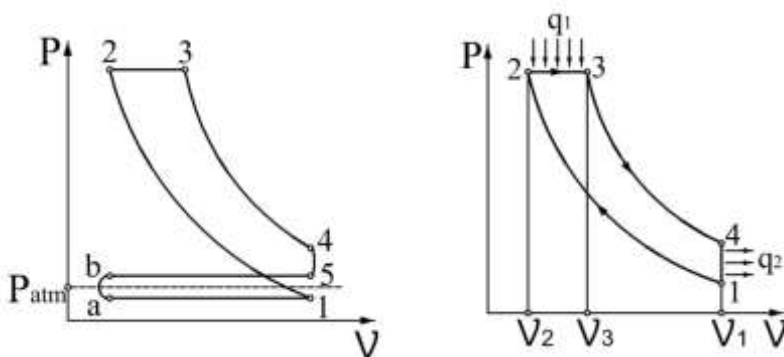
$$\rho = \frac{v_3}{v_2}. \quad (6.13)$$

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

Aýlaw üçin termiki peýdaly täsiz koeffisiýenti

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

formula bilen kesgitlenýär.



6.5-nji surat. Dizeliň nazary aýlawy

Bu ýerde:

$$q_1 = c_\rho (T_3 - T_2) = c_\rho T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right), \quad (6.14)$$

$$q_2 = c_v(T_4 - T_1) = c_v T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right). \quad (6.15)$$

$c_p$  hemişelik basyşdaky udel ýylylyk sygymydyr. (6.14) we (6.15)-deňlemeden  $q_1$ -iň we  $q_2$ -iň formulalaryny ornuna goýup, aşakdaky aňlatmany alarys:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{c_p T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}. \quad (6.16)$$

2-3 izobarik proses boýunça:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho. \quad (6.17)$$

3-4 adiabata proses boýunça:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{v_3}{v_4} \right)^{K-1} = \frac{(v_3 / v_2)^{K-1}}{(v_4 / v_2)^{K-1}}. \quad (6.18)$$

6.5-nji suratdan görnüşi ýaly  $v_4 = v_1$ ,  $v_3 / v_2 = \rho$  we

$$\frac{v_4}{v_2} = \frac{v_1}{v_2} = \varepsilon \text{ bolany üçin,}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{\rho^{K-1}}{\varepsilon^{K-1}}. \quad (6.19)$$

Bu ýerden:

$$T_4 = T_3 \frac{\rho^{K-1}}{\varepsilon^{K-1}}. \quad (6.20)$$

Bu formulada  $T_3$ -iň deregine (6.17)-den  $T_3 = T_2 \rho$ ,  $T_2$ -iň deregine bolsa  $T_2 = T_1 \varepsilon^{K-1}$  ornuna goýsak, aşakdaky formulany alarys:

$$T_4 = T_1 \varepsilon^{k-1} \rho = \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \rho^k. \quad (6.21)$$

Bu ýerde:

$$\frac{T_4}{T_1} = \rho^k. \quad (6.22)$$

Onda (6.17) formula boýunça  $\frac{T_3}{T_2}$  -niň, (6.22) formula boýunça bolsa  $\frac{T_4}{T_3}$  - iň bahalaryny (6.16) formulada ornuna goýalyň.

Onda:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v}{c_p} \cdot \frac{T_1}{T_2} \frac{\rho^k - 1}{\rho - 1}. \quad (6.23)$$

Bu ýerde k-nyň  $\frac{c_p}{c_v}$  gatnaşyga deňligini we

$\frac{T_2}{T_1} = \varepsilon^{k-1}$  deňligi göz öňünde tutup aşakdakyny alýarys:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)}. \quad (6.24)$$

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

$\rho$ -nyň dürli bahalarynda  $\eta_t = f(\varepsilon)$  baglylyk 6.7-nji suratda görkezilen.

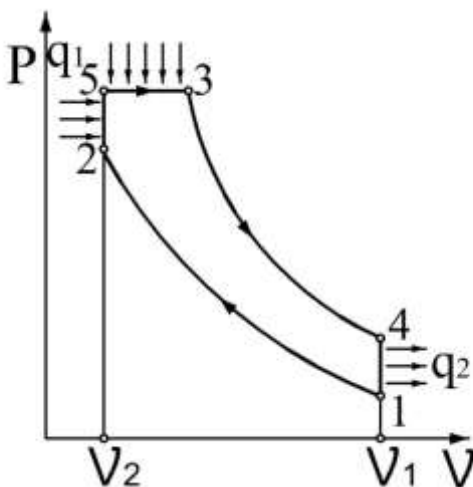


## 6.4. Hemişelik göwrümde we hemişelik basyşda ýylylyk berlendäki aýlaw

Ýokary derejedäki gysylyşyň ulanylyş tejribesi hereketlendirijileriň tygşytlylygyny has ýokarlandyrmak üçin aýlawda gysyşdan soň gaza başda ýylylyk  $\nu = \text{const}$  şertde, soňra bolsa gazyň basyşy belli çäge ýetenden soň ýylylygy  $p = \text{const}$  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  $p$ - $\nu$  diagrammada şekili 6.6-njy 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  $\nu_3$ -den  $\nu_4$ -e çenli artmagyndadyr (3-4 çyzyk).

Hemişelik göwrümde we hemişelik basyşda işçi jisime berilýän udel ýylylyk degişlilikde  $q_1' = c_v (T_3 - T_2)$  we  $q_1'' = c_p (T_4 - T_3)$ .



6.6-njy surat. Birleşdirilen aýlawlaryň  $p$  -  $\nu$  diagrammasy

Ýangyjyň ýanmagy netijesinde işçi jisimiň alýan ýylylygy:

$$q_1 = q_1' + q_1''$$

ýa-da

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2) + c_p (T_4 - T_3). \quad (6.25)$$

Aýlawyň 5-1 prosesinde daşky sreda berilýän ýylylyk:

$$q_2 = c_v (T_5 - T_1) \quad (6.26)$$

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

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v (T_5 - T_1)}{c_v (T_3 - T_2) + c_p (T_4 - T_3)}. \quad (6.27)$$

Bu formula boýunça  $\eta_t$ -niň bahasyny kesgitlemek üçin aýlawyň düwünlerindäki  $T_2, T_3, T_4, T_5$  temperaturalary kesgitleliň.

$T_3$ -iň bahasyny 1-2 adiabatik gysylyş prosesi boýunça tapalyň:

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}. \quad (6.38)$$

$T_3$ -i kesgitlemäge mümkinçilik berýän formulany almazdan öňürti izohorik ýanyş prosesindäki basyşyň ýokarlanma derejesi ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} \quad (6.29)$$

we izobarik ýanyş prosesindäki işçi jisimiň giňelme derejesi ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{v_4}{v_3} \quad (6.30)$$

diýlen düşüňjeleri girizeliň.

Bu ululyklary peýdalanyň 2-3 izohorik prosesi üçin:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda$$

ýa-da

$$T_3 = T_2 \lambda = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda. \quad (6.31)$$

formulany alarys.

3-4 izobarik prosesden:

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{v_4}{v_3} = \rho$$

ýa-da

$$T_4 = T_3 \rho = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda \cdot \rho. \quad (6.32)$$

4-5 adiabatik giňeliş prosessi üçin:

$$\frac{T_5}{T_4} = \left( \frac{v_4}{v_5} \right)^{k-1} = \left( \frac{v_4/v_2}{v_5/v_2} \right)^{k-1}. \quad (6.33)$$

6.6-njy suratdan görnüşi ýaly,

$$v_2 = v_3, \frac{v_4}{v_2} = \frac{v_4}{v_3} = \rho, \quad v_3 = v_1, \frac{v_5}{v_2} = \frac{v_1}{v_2} = \varepsilon$$

bolany üçin

$$\frac{T_5}{T_4} = \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}}; \quad T_5 = T_4 \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda \cdot \rho \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \lambda \rho^k. \quad (6.34)$$

Ýokarky formulalaryndaky  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  we  $T_5$  –iň bahalaryny (6.27) -de ornuna goýalyň:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v(T_1 \lambda \rho^k - T_1)}{c_v(T_1 \varepsilon^{K-1} \cdot \lambda - T_1 \varepsilon^{K-1}) + c_p(T_1 \varepsilon^{K-1} \cdot \lambda \cdot \rho - T_1 \varepsilon^{K-1} \lambda)} =$$

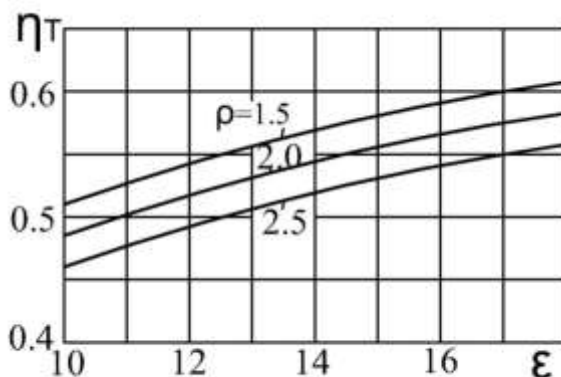
$$= 1 - \frac{c_v T_1 (\lambda \rho^k - 1)}{T_1 \varepsilon^{K-1} [c_v (\lambda - 1) + c_p \lambda (\rho - 1)]} . \quad (6.35)$$

(6.25)-deňlemede deňligiň sag tarapyndaky ikinji deňlemäniň sanawjysyny hem-de maýdalawjysyny  $c_v$ -e bölüp we

$\frac{c_p}{c_v} = k$  deňligi göz öňünde tutup aşakdaky formulany alarys:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{K-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k \lambda (\rho - 1)} . \quad (6.36)$$

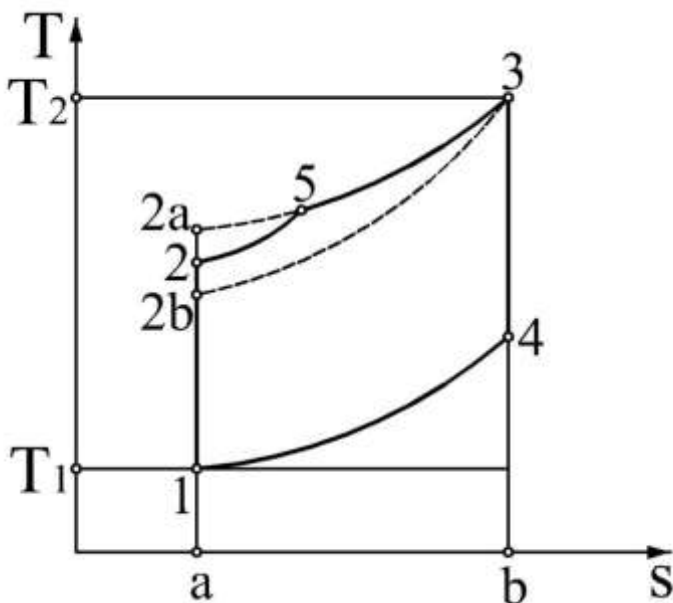
(6.36) formula Trinkleriň aýlawynyň termiki peýdaly täsir koeffisiýentiniň formulasydyr. Bu formuladan  $\lambda=1$  bolanda, (6.24) formulany, ýagny Dizeliň aýlawynyň termiki peýdaly täsir koeffisiýentiniň formulasyny alarys. Eger-de (6.36) deňlemede  $\rho=1$  bolsa, Ottonyň aýlawynyň peýdaly täsir koeffisiýentiniň formulasyny alarys.



6.7-nji surat.  $\eta_t$ ,  $\rho$ ,  $\varepsilon$  ululyklaryň baglanyşygy

## 6.5. İçinden ýandyrylýan porşenli hereketlendirijileriň aýlawlarynyň deňeşdirilişi

Ýokarda garap geçen aýlawlarymyzyň içinde haýsysynyň termiki peýdaly täsir koeffisiýenti uly bolsa, şol aýlaw beýleki aýlawlardan has netijeli diýlip hasap edilýär. Ol aýlawlary deňeşdirmek üçin olaryň termiki peýdaly täsir koeffisiýentini deňeşdirmeli. Elbetde, aýlawlar bir deň şertlerde deňeşdirilmelidir. Onuň üçin ýa-da ähli seredilýän aýlawlar üçin gysylyş derejesi diýlip atlandyrylýan  $\varepsilon$  ululygynyň bahasy deň bolmaly ýa-da işçi jisimiň in uly basyşynyň we temperaturasynyň bahasy seredilýän aýlawlar üçin deň bolmaly. Egerde,  $\varepsilon$ -nyň bahasynyň deňligi boýunça  $\eta_i$ -leriň bahasy deňeşdirilse, onda ýokarky formulalardan aýlawlar üçin  $\eta_i$ -niň bahasynyň Dizeliň aýlawynyň bahasynyň ýokarydygy görünýär. Emma,  $\varepsilon$ -nyň bahasy boýunça peýdaly täsir koeffisiýentiniň deňeşdirilmesi gaty dogry däl. Ottonyň aýlawyna garanynda  $\varepsilon$ -nyň bahasy Dizeliň aýlawlaryndan uly bolmalydyr, sebäbi ýokarda ýatlap geçişimiz ýaly  $\varepsilon$ -nyň bahasynyň çäklendirilmegi Ottonyň aýlawynyň ýetmezçiligidir. Dizeliň aýlawynda hem  $\varepsilon$ -nyň uly bahalarynda gazyň gysylyş prosesiniň amala aşyrylýandygy onuň artykmaçlygy diýilip hasap edilipdir. Şonuň üçin hem bu aýlawlary başlangyç we ahyrky termodinamiki parametriň deň bahalarynda deňeşdirmek amatly bolar. Şeýle şertlerde deňeşdirilýän aýlawlar T-s diagrammada aşakdaky 6.8- nji suratda görkezilen.



6.8- nji surat. Aýlawlaryň T-s diagrammada deňeşdirilişi

1, 2a, 3, 4 aýlaw – Ottonyň aýlawy;

1, 2b, 3, 4 aýlaw – Dizeliň aýlawy;

1, 2, 3, 4 aýlaw bolsa, Trinkleriň aýlawydyr.

Suratdan görnüşi ýaly, 1, 4, B, A meýdan bilen şekillendirilýän sowadyja berilýän udel ýylylyk ähli aýlawlar üçin birmeňzeşdir.

Diýmek,  $\eta_t$ -niň bahasy diňe işçi jisimi gyzdyryjydan alýan udel ýylylygyna ( $q_1$ ) baglydyr.

Suratdan görnüşi ýaly  $q_1$ -iň bahasy:

$$q_{A, 1, 2a, 3, 4, B} < q_{A, 1, 2b, 3, 4, B} < q_{A, 1a, 2b, 3, 4, B}.$$

$$\text{Onda } \eta_{t1} \nu = \text{const} < \eta_{t1} \nu = \text{const}, p = \text{const} < \eta_t, p \leq \text{const}.$$

Suratdan görnüşi ýaly iň ýokary, termiki peýdaly täsir koeffisiýentli aýlaw, bu Dizeliň aýlawydyr. Emma, Dizeliň aýlawynyň işçi kadalarynyň beýleki aýlawlar bilen deňeşdirilende termodinamiki parametrleriň ýokary ululyklarynda bolup geçýänligi üçin, ol aýlaw boýunça işleýän hereketlendirijileriň ygtybarlylygy beýleki aýlawlar boýunça işleýän hereketlendirijilerden pesdir.

## Ýedinji bab. GAZOTURBIN WE REAKTIW HEREKETLENDIRIJILERI

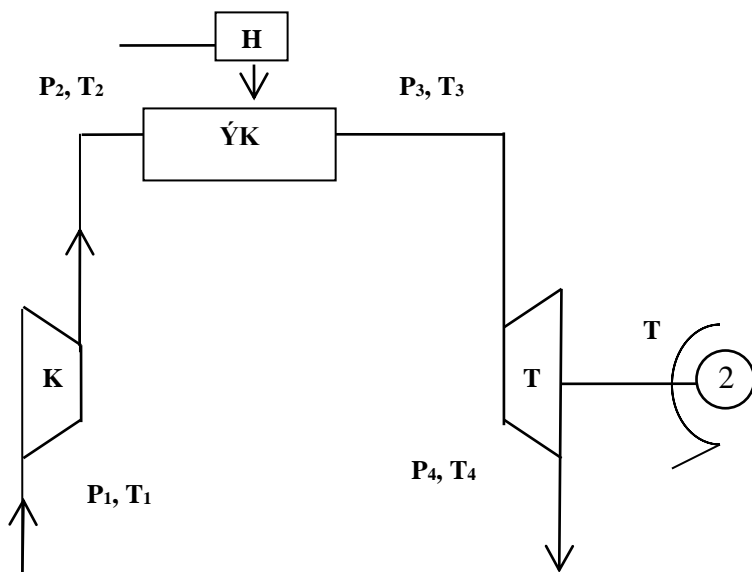
### 7.1. Gazoturbin we reaktiw hereketlendirijileriň aýlawlary

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 prosesleri, ýagny sorulyş, gysylyş, giňeliş we çykarylyş ýapyk göwürimde bolup geçýär. Emma, gazoturbinaly hereketlendirijilerde bu prosesler hereketlendirijiniň aýry-aýry böleklerinde bolup geçýär. Şonuň üçin şeýle hereketlendirijilere **daşyndan ýandyrylýan hereketlendirijiler** hem diýilýär. Munuň şeýleligi üçin gazoturbina enjamlarda abatlaýyş işleri beýleki hereketlendirijilere garanyňda aňsatdyr. Şol bir deň şertlerde porşenli hereketlendirijilerde peýdaly täsir koeffisiýenti gazoturbinaly hereketlendirijilere seredeniňde ýokarydyr. Onuň ululygy takmynan porşenli hereketlendirijiler üçin 0,41-0,43 bolsa, gazoturbinaly hereketlendirijiler üçin 0,34-0,36. 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 kamerasy hem-de ýangyç nasosy girýär (7.1-nji surat).

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 kamerasyn (ÝK) berilýär. Ýanyş kamerasynda gysylan howada kamera pürkülýän ýangyjyň ýanyş prosesi bolup geçýär. Bu proses 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.



7.1-nji 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 deňişlilikde  $p_4$  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 çalşyjy enjamlaryň üsti bilen gaýtadan yzyna berip, kompressordan çykýan howany (ýanyş kamera berilmezden ozal) gyzdyrýarlar. Bu bolsa enjamyň ýa-da hereketlendirijiniň umumy peýdaly täsir

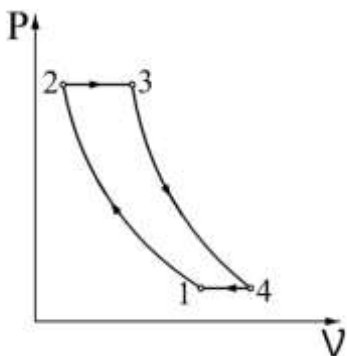


koeffisiýentini artdyrýar, netijede onuň ykdysady tygşytlylygyny ýokarlandyrýar. Gazoturbinaly enjamlardan alynýan energiýanyň hemmesi daşky peýdaly işe gitmeýär. Onuň takmynan 70%-i kompressory işletmäge harçlanýar. Diňe 30%-i peýdaly iş üçin ulanylýar. Gazoturbinaly hereketlendirijiler ýangyjyň ýakylyş 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.

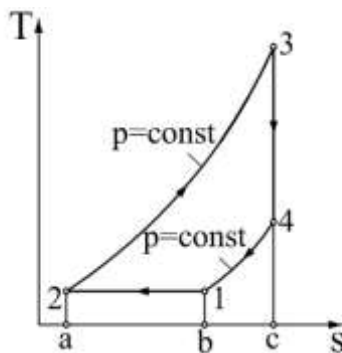
## 7.2. Hemişelik basyşda ýylylyk berýän gazoturbina enjamynyň aýlawy

Hemişelik basyşda ýangyjyň ýanmagyna esaslanyp işleýän gazoturbina enjamynyň işleýiş prosesine gysgaça seredip geçdik. Indi bolsa gazoturbina enjamynyň aýlawlaryna seredeliň. Hemişelik basyşda ýangyjyň ýanyş prosesine degişli aýlawlaryň iki görnüşi bardyr. Birinjisi kompressorda izotermik gysylyşly, beýlekisi bolsa adiabatik gysylyşly aýlawlardyr.

Basyş  $p = \text{const}$  bolanda, izotermik gysylyş prosesine esaslanýan aýlawlar  $p - v$  we  $T - s$  diagrammalarda (işçi jisimleri hyýaly gaz diýilip hasap edilýär) 7.2-nji we 7.3-nji suratlarda görkezilendir.



7.2-nji surat. Aýlawyň  $p - v$  diagrammasy



7.3-nji surat. Aýlawyň  $T - s$  diagrammasy

Değişlilikde  $p-v$  we T-s – diagrammalarda:

1-2 izotermik gysylyş;

2-3 - hemişelik basyşda işçi jisime ýylylyk berliş;

3-4 - adiabatik giňelme;

4-1 - izobarik sowadylyş prosesleridir.

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

$$q_2 = q_2' + q_2'' = c_p(T_4 - T_1) + RT_1 \ln \frac{P_2}{P_1}. \quad (7.1)$$

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

$$q_1 = c_p(T_3 - T_2) = c_p T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right), \quad (7.2)$$

$$q_2 = T_1 c_p \left[ \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right) + R \ln \frac{P_2}{P_1} \right]. \quad (7.3)$$

Bu formulalarda  $p_2/p_1=\pi$ ;  $\pi$ -basyşyň ýokarlandyryş derejesi TS diagrammadaky 2-3 izobarik proses üçin  $T_3/T_2=v_3/v_2=\rho$ . Bu ýerde  $\rho$ -göwrümüne giňeliş ululygy bilen belgilenýänligi üçin we  $R=c_p-c_v$  deňligi göz önünde tutup, hem-de izotermik prosesde  $T_1=T_2$  bolýandygy sebäpli  $q_1$  we  $q_2$  aňlatmalary aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$q_1 = c_p T_2 (\rho - 1) = c_p T_1 (\rho - 1)$$

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

Bu ýerde  $q_1$  we  $q_2$ -niň bahalaryny  $\eta_t = 1 - (q_2/q)_1$  deňlemde ornuna goýup, emele gelen deňligiň sag tarapyndaky ikinji agzanyň sanawjysyny hem-de maýdalawjysyny  $c_p$  bölýäris. Şeýle hem-e  $c_p / c_v = k$  deňligi göz önünde tutup, aşakdaky formulany alarys:

$$\eta_t = 1 - \frac{\left( \frac{T_4}{T_2} - 1 \right) + \frac{k-1}{k} \ln \pi}{\pi - 1}. \quad (7.4)$$

Alnan formuladaky  $T_4/T_2$  gatnaşygy anyklalyň. Çyzgydaky 3-4 adiabatik gysylyş prosesi üçin:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{1}{\left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}.$$

Ýokarda bellenişi ýaly  $T_3 = \rho T_2$ . Ony soňky formulada  $T_3$ -iň bahasyny ornuna goýalyň:

$$\frac{T_4}{T_2} = \frac{f}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}$$

Alnan gatnaşygy  $\eta_t$ -niň formulasynda ornuna goýalyň:

$$\eta_t = 1 - \frac{\left( \frac{f}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} - 1 \right) + \frac{k-1}{k} \ln \pi}{\rho - 1},$$

$$\eta_t = 1 - \frac{\pi^{\frac{k-1}{k}} \left( \frac{k-1}{k} \ln \pi - 1 \right) + \rho}{\pi^{\frac{k-1}{k}} (\rho - 1)}. \quad (7.5)$$

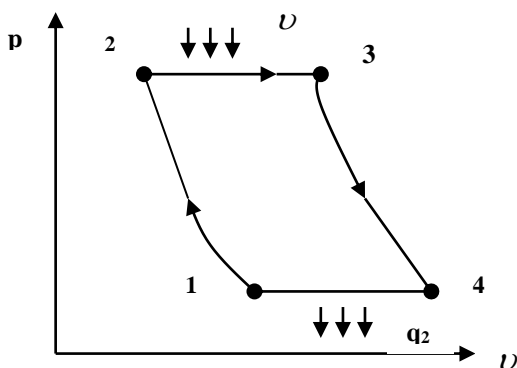
Soňky formuladan görnüşi ýaly,  $\eta_t$  bahasy  $\pi$ -niň bahasyndan başga-da  $\rho$ -nyň bahasyna baglydyr.  $\rho$ -nyň her bahasyna degişli  $\eta_t$ -niň maksimal bahasyny tapmak üçin ýokarky formuladan  $\pi$ -e görä önüm almaly we alnan netijäni nola deňläp, aşakdaky aňlatmany alarys:

$$\pi = \rho^{\frac{k}{k-1}}.$$

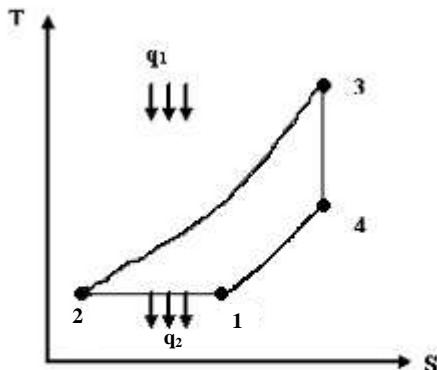
$\pi$ -niň bahasyny ýokarky formulada ornuna goýsak,  $\eta_t$ -niň maksimal bahasynyň formulasyny alarys:

$$\eta_t^{\max} = 1 - \frac{\ln \rho}{\rho - 1}. \quad (7.6)$$

Hemişelik basyşda adiabatik gysylyş prosesiniň aýlawy  $p-v$  we T-s diagrammalarda aşakdaky ýaly şekillendirilýär (7.4-nji we 7.5-nji suratlar).



7.4-nji surat. Aýlawyň  $p-v$  diagrammasy



7-5-nji surat. Aýlawyň T-s diagrammasy

Diagrammalardan görnüşi ýaly gyzydryjydan işçi jisime ýylylyk berlişi hem-de işçi jisimden sowadyja ýylylyk geçiriliş hemişelik basyşda bolup geçýär. Şonuň üçin hem  $q_1$  we  $q_2$  aşadaky formulalar arkaly aňladylýar:

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

$$q_2 = c_p(T_4 - T_1) = c_p T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right).$$

Bu formulalary  $\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$  formulada ornuna goýsak:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_p T_1 (T_4/T_1 - 1)}{c_p T_2 (T_3/T_2 - 1)} = 1 - \frac{T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

formulany alarys.

1-2 adiabatik gysylyş we 3-4 adiabatik giňeliş prosesleri üçin temperaturalaryň gatnaşygy deňişlilikde:

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

$$\frac{T_3}{T_4} = \left( \frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}},$$

$$p_3 = p_2; p_4 = p_1.$$

Bu formulalardan  $\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4}$  ýa-da  $\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$  alynýar. Onda  $\eta_t$  üçin formulany aşakdaky görnüşde ýazmak mümkin:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\frac{T_2}{T_1}} = 1 - \frac{1}{\left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}. \quad (7.7)$$

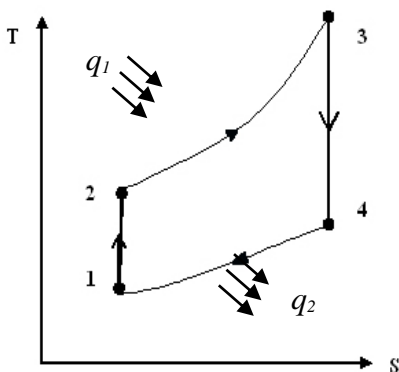
Edebiýatlardan belli bolşy ýaly, deň şertlerde  $\eta_t^{\text{ad}} > \eta_t^{\text{izobara}}$ . Politropik prosesde gysylanda  $\eta_t^{\text{polit}}$  aralyk bahany alýar. Ýagny:

$$\eta_t^{\text{ad}} > \eta_t^{\text{polit}} > \eta_t^{\text{izobara}}. \quad (7.8)$$

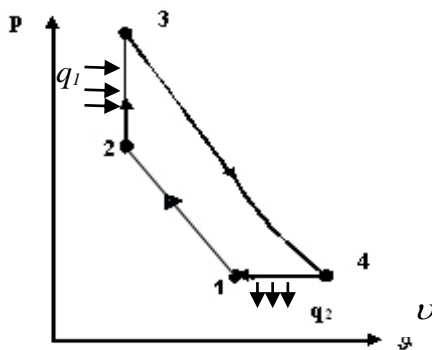
### 7.3. Hemişelik göwrümde ýylylyk berilýän gazoturbina enjamynyň aýlawy

Hemişelik göwrümde işçi jisime ýylylyk berliş prosesine esaslanýan gazoturbina enjamlarynda kompressordan çykýan gysylan howa  $p_2$  basyşda ýanyş kamerasyna berilýär. Kamerada işçi jisimine hemişelik göwrümde ýylylyk berliş prosesi bolup geçýär. Netijede işçi jisimiň temperaturasy hem-de basyşy artýar. Ýanyş kamerasyndan çykýan howa bilen tüssäniň garyndysy  $p_3$  basyşda we

$T_3$  temperaturada soplaly turbina geçirilýär. Turbinada gaz adiabatik giňelip iş etmeginiň hasabyna sowaýar we onuň temperaturasy  $T_3$ -den  $T_4$ -e, basyşy bolsa  $p_3$ -den  $p_4$ -e çenli peselýär. Soňra şol parametrlr bilen gaz atmosfera çykarylýar. Aşakdaky görkeziljek aýlawlarda bu proses hemişelik basyşda sowadylyş prosesi hökmünde görkezilip, ýapyk aýlawyň bir bölegini şekillendirýär. Aýdyp geçen proseslerimizden ybarat aýlawlar  $p-v$  we  $T-s$  diagrammalar 7.6-njy we 7.7-nji suratlarda görkezilendir.



7.6-njy surat. Aýlawyň  $T-s$  diagrammasy



7.7-nji surat. Aýlawyň  $p-v$  diagrammasy

$p-v$  we  $T-s$  diagrammalarda:

1-2 - adiabatik gysylyş prosesi gysylyş kompressorynda bolup geçýär;

2-3 - hemişelik göwrümde işçi jisime (işçi jisimi hyýaly gaz diýilip kabul edilen) ýylylyk berliş prosesi proses ýanyş kamerasynda bolup geçýär;

3-4 - adiabatik giňeliş prosesi turbinada bolup geçýär;

4-1 - işçi jisimden hemişelik basyşda sowadyja (daşky sreda) ýylylyk beriş prosesi.

Işçi jisimiň gyzdyryjydan alýan we sowadyja berýän udel ýylylygy deňşililikde şu aşakdaky formulalar bilen aňladylýar:

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2) = c_v T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right), \quad (7.9)$$

$$q_2 = c_p (T_4 - T_1) = c_p T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right). \quad (7.10)$$

Formulalardaky  $T_2$ -ni,  $T_3/T_2$  hem-de  $T_4/T_1$  gatnaşygy tapmak üçin ýokardaky prosesleriň käbirine seredeliň. 1-2 adiabatik gysylyş prosesinde temperaturalaryň gatnaşygy:

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

Ýanyş kamerasynda basyşyň artmagyny basyşyň ýokarlandyryş derejesi diýlen  $\lambda$  ululyk bilen belläp,  $\frac{T_3}{T_2}$  gatnaşygy aşakdaky ýaly ýazarys:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda.$$

Ýokarda görkezilen 4-1 adiabatik giňeliş prosesi üçin temperaturalaryň gatnaşygy:

$$\begin{aligned} \frac{T_3}{T_4} &= \left( \frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left( \frac{p_3 / p_2}{p_4 / p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \\ &= \frac{\lambda^{\frac{k-1}{k}}}{\left( \frac{1}{\pi} \right)^{\frac{k-1}{k}}} = \lambda^{\frac{k-1}{k}} \cdot \pi^{\frac{k-1}{k}}. \end{aligned}$$



Bu formuladan  $T_4$  tapmak üçin  $T_3$ -i aşakdaky görnüşde aňladalyň:

$$T_3 = T_2 \lambda = T_1 \cdot \pi^{\frac{k-1}{k}} \cdot \lambda.$$

Onda:

$$T_4 = \frac{T_3}{\pi^{\frac{k-1}{k}} \cdot \lambda^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{T_1 \cdot \pi^{\frac{k-1}{k}} \cdot \lambda}{\pi^{\frac{k-1}{k}} \cdot \lambda^{\frac{k-1}{k}}} = T_1 \cdot \lambda^{1/k}$$

ýa-da

$$\frac{T_4}{T_1} = \lambda^{1/k}.$$

$q_1$  we  $q_2$  ululyklar üçin formulalarda:

$$T_2 = T_1 \pi^{\frac{k-1}{k}}; \frac{T_3}{T_2} - iň - \text{deregi} \lambda \text{ we } \frac{T_4}{T_1} - iň - \text{deregi}$$

bolsa  $\lambda^{1/k}$  ululyklary goýsak

$$q_1 = c_v T_1 (\lambda - 1) \pi^{\frac{k-1}{k}} \text{ we } q_2 = c_p T_1 (\lambda^{1/k} - 1)$$

deňlemeleri alarys.

$q_1$  we  $q_2$  bahalaryny  $\eta_t = 1 - (q_2/q_1)$  formulada ornuna goýup hem-de  $\frac{c_p}{c_v} = k$  deňligi göz önünde tutup, aşakdaky formulany alarys:

$$\eta_t = 1 - \frac{k(\lambda^{1/k} - 1)}{\pi^{\frac{k-1}{k}} (\lambda - 1)}. \quad (7.11)$$

Diýmek, kompressorda we ýanyş kamerasynda  $\lambda$  basyşyň ýokarlandyryş derejeleriniň bahalary hem-de  $k$  adiabata görkezijisiniň bahasy belli bolsa, onda biz soňky alnan formula boýunça  $\eta_t$ -niň bahasyny hasaplap bileris.

#### 7.4. Reaktiw hereketlendirijileriň aýlawlary

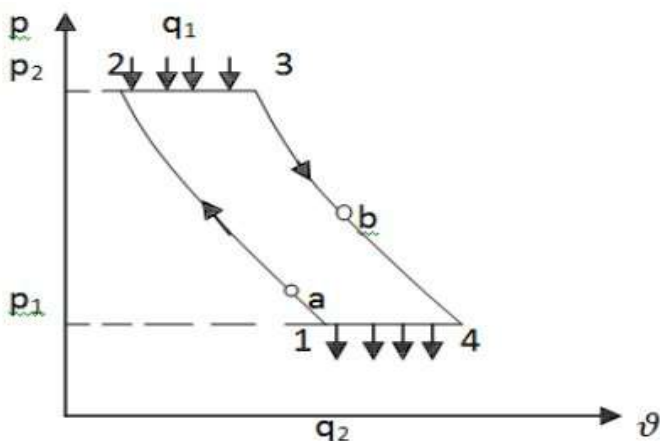
Reaktiw hereketlendirijilerde ýangyjyň himiki energiýasynyň gazyň (işçi jisimiň) akymynyň kinetik energiýasyna öwrülmesi bolup geçýär. Reaktiw apparatyň hereketlendiriji güýji bolup, apparatyň hereketiniň ters tarapyna sopladan atylyp çykýan gazyň (işçi jisimiň)  $\Delta\tau$  wagt aralygyndaky massasynyň onuň apparada otnositellikdäki çykyş tizligine köpeltmek hasyly hyzmat edýär:

$$F = Mg \frac{\omega_g}{\Delta\tau}. \quad (7.12)$$

$\omega_g$  – uçup çykýan gazyň akys tizligi.

Bu hereketlendirijiler esasan hem uçarlarda ulanylýar. Olar iki görnüşden ybarat bolup, olaryň birinjisine raketa hereketlendirijileri diýilýär. Bu hereketlendirijileriň işlemegi üçin zerur bolan, ýagny ýangyjyň ýanmagy üçin gerek bolan suwuk kislorod, ozon, azot kislotasy we ş.m. uçaryň özi bilen äkidilýär. Bu hereketlendirijileriň işleýşi atmosfera bilen bagly däl. Olar esasan hem raketalarda ulanylýar. Hereketlendirijileriň ikinji görnüşinde okisleýji hökmünde atmosfera howasy ulanylýar. Bu hereketlendirijiler atmosfera howasynyň ýok ýerinde işläp bilmezler. Bu hereketlendirijilere howa-reaktiw hereketlendirijileri diýilýär. Öz gezeginde bu hereketlendirijiler hem kompressorly we kompressorsyz görnüşlere bölünýär. Howa-reaktiw hereketlendirijileriň iş aýlawlaryna garalyň. Kompressorly howa-reaktiw hereketlendirijileriň diffuzory tarapyndan sorulýan howa kompressor arkaly gysylýar (1-a-öňünden gysylma) we soňra ýanyş kamerasynda berilýär. Ýanyş kamerasynda

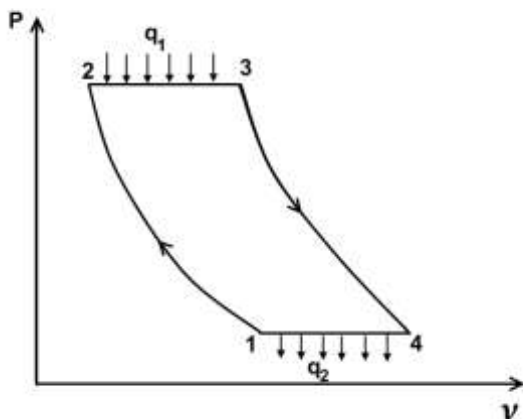
hemişelik basyşda berilýän howa ýangyjyň ýanandaky ýylylygy bilen gyzdyrylyp berilýär we onuň temperaturasy hasam ýokarlanýar. Gyzgyn howa bilen garyşan tüsse turbinanyň soplasynda giňelýär we sowaýar. Kompressor turbinadan alynýan energiýanyň hasabyna işleýär (3-b-gaz turbinada iş edýär we b-4-soplada akymyň tizlenmesi artýar). Soňra işlenen gaz ýokary tizlik bilen daşyna çykarylýar. Howa-reaktiw hereketlendirijiniň aýlawy  $p - v$  diagrammada 7.8-nji suratda görkezilen.



7.8-nji surat. Aýlawyň  $p - v$  diagrammasy

Görşümüz ýaly, bu aýlawyň geçen bölümde sereden  $p = \text{const}$  hemişelik basyşda ýylylyk berilýän gazoturbina enjamyň aýlawyndan tapawudy ýokdur. Kompressorsyz howa-reaktiw hereketlendirijilerde howanyň gysylyşy gelýän akymyň duruzylmagynyň hasabyna bolýar. Raketa hereketlendirijileri özlerinde ýanýan ýangyjyň görnüşine baglylykda suwuk ýangyç ýakýan raketa hereketlendirijilerine we gaty ýangyç ýakýan raketa hereketlendirijilerine bölünýärler. Bu hereketlendirijileriň gaty

ýangyçda işleýän görnüşiniň ýönekeýleşdirilen aýlawy 7.9-njy suratda  $p-v$  diagrammada görkezilen.



7.9-njy suratda. Aýlawyň  $p-v$  diagrammasy

Bu aýlawda 1-2 çyzyk bilen hereketlendirijiniň işe başlan pursatynda gazyň (işçi jisimiň) basyşynyň  $p_1$ -den  $p_2$ -ä çenli ýokarlanyşy şekillendirilen. 2-3 prosessde işçi jisime ýylylyk hemişelik basyşda berilýär; 3-4 prosess işçi jisimiň (gaz görnüşli sredanyň) soplada adiabatik giňelişini görkezýär. Soňra bu aýlaw 4-1 izobara bilen ýapylýar. Prosesiň dowamynda işçi jisimden daşky gurşawa  $q_2$  ýylylyk berilýär. Aýlawdaky 2-3 prosesiniň dowamynda işçi jisimiň alýan udel ýylylygyny  $q_1=i_3-i_2$  formula bilen we işçi jisimden daşky gurşawa berilýän udel ýylylygy bolsa  $q_2=i_4-i_1$  görnüşde hasaplamak mümkindir. Aýlawyň termiki peýdaly täsir koeffisiýenti entalpiýalaryň üsti bilen aşakdaky formula arkaly aňladylýar:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{(i_3 - i_2) - (i_4 - i_1)}{i_3 - i_2}. \quad (7.13)$$

## **Sekizinji bap. KESE – KESIGI BOÝUNÇA ÜÝTGEÝÄN GYSGA KANALLARDAN GAZLARYŇ WE BUGUŇ AKYP GEÇMEGI**

### **8.1. Daralýan sopladan akymyň akysy**

Gazoturbina enjamlarynyň işleýiş düzgüni barada gürrüň edilende soplada gazyň giňelme prosessi barada ýatlap geçipdik. Umuman, soplada ýa-da nasadka diýip atlandyrylýan kese – kesigi boýy boýunça üýtgeýän gysga kanallardan gaz ýa-da bug akyp geçende, akymyň potensial energiýasynyň akymyň kinetik energiýasyna ýa-da tersine akymyň kinetik energiýasynyň onuň potensial energiýasyna öwrülmesi bolup geçýär. Gysga, daralýan ýa-da giňelýän nasadkalarda, soplalarda bu energiýalaryň özara öwürilişi gysga kanallaryň geometrik aýratynlyklaryna baglylykda gidrodinamiki prosessleriň hasabyna ýüze çykýar.

Soplalar ýokarda belläp geçişimiz ýaly, gazoturbina hereketlendirijilerinde, uçarlarda başga-da dürli ýerlerde giňden ulanylýar.

Sopla diýip akymyň ugry boýunça daralýan turbalara, kanala aýdylýar. Şeýle görnüşli soplalar sesiň tizligine çenli tizlikli akymlarda ulanylýar. Geliň indi sopladan gazyň akyp geçişine seredeliň. Goý, haýsy bolsa-da termodinamiki parametrleri  $p_1$ ,  $v_1$ ,  $T_1$  bolan gaz uly göwrümlü gapdan kiçi göwrümlü gaba birleşdirilen daralýan sopladan daşyna çykarylýar diýeliň. Gabyň içindäki  $p_1$  basyşa gysga wagt aralygynda gazyň sopladan daşyna çykarylması ullakan täsir edenok. Şonuň üçin hem ony hemişelik diýip kabul edeliň. Sopladan çykýan gazyň akymy sürtülmesiz, öwürülişikli adiabatik şertlerde bolup geçýär diýip hasap edeliň we ol sopladan çykýan gazyň tizligini we sarp edilişini hasaplamaga mümkinçilik berýän formulany tapalyň. Onda akym üçin termodinamikanyň 1-nji kanunynyň formulasyndan akymy adiabatik proses ( $q_{daş}=0$ ), akymyň akýan kanalyň beýiklik derejesi deň ( $dh=0$ ), şeýle hem akym tehniki iş etmeýär ( $dl_{teh}=0$ ) diýip aşakdaky formulany alýarys:

$$di = \omega d\omega = 0 \quad (8.1)$$

Bu formuladan sopladan çykýan gazyň tizligini tapalyň. Munuň üçin ýokarky deňlemäni integrirläliň:

$$i_2 - i_1 + \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2} = 0$$

ýa-da

$$\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2} = i_1 - i_2. \quad (8.2)$$

Bu ýerden:

$$\omega_2 = \sqrt{2(i_1 - i_2) + \omega_1^2} \quad (8.3)$$

aňlatmany alarys.

Formulada  $\omega_1$ -soplanyň başyndaky tizlik,  $\omega_2$  bolsa soplanyň ahyryndaky tizlikdir. Eger başlangyç tizlik  $\omega_1 = 0$  bolsa, onda:

$$\omega_2 = \sqrt{2(i_1 - i_2)}. \quad (8.4)$$

Indi  $i_1 - i_2$  - entalpiýanyň tapawudynyň formulasyny kesgitläliň:

Ozal belli bolşy ýaly

$$i_1 - i_2 = \int_p^{p_2} v dp. \quad (8.5)$$

Adiabatanyň deňlemesinden  $p v^k = p_1 v_1^k$  ýa-da  $p^{\frac{1}{k}} v = p_1^{\frac{1}{k}} v_1$ ;

bu ýerden  $v = \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{1}{k}} v_1$ . Alnan netijäni ýokarky formulada ornuna goýup alarys:

$$i_1 - i_2 = \int_{p_2}^{p_1} v_1 dp.$$

Soňky formuladaky  $p_1$  we  $\nu_1$  ululyklary gabyň göwrüminiň uly bolany üçin üýtgemeyär diýip kabul edipdik. Şonuň üçin  $p_1^{\frac{1}{k}}\nu_1$  -i integralyň daşyna çykaralyň:

$$\begin{aligned} i_1 - i_2 &= p_1^{\frac{1}{k}}\nu_1 \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{p^{1/k}} = \frac{k}{k-1} \nu_1 \left[ p_1 p_1^{\frac{k-1}{k}} - p_2^{\frac{k-1}{k}} \right] = \\ &= \frac{k}{k-1} p_1 \nu_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]. \end{aligned}$$

Alnan formulany (8.1)-de ornuna goýup, sopladan çykýan akymyň tizliginiň formulasyny alarys:

$$\omega_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p_1 \nu_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}. \quad (8.6)$$

Soňky formuladan görnüşi ýaly, sopladan çykýan akymyň tizligi  $\frac{p_2}{p_1}$  gatnaşyga baglydyr. Bu gatnaşyk ulaldygyça tizlik kiçelýär. Soňky formulanyň iki tarapyňy hem soplanyň  $\frac{f}{\nu}$  keseginiň meýdanynyň udel göwrüme bolan gatnaşygyna köpeldeliň we ýokarky formulany aşaky görnüşde ýazalyň:

$$G = f \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \frac{p_1 \nu_1}{\nu_2^2} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}.$$

$p_1^{\frac{1}{k}} \nu_1 = p_2^{\frac{1}{k}} \nu_2$  deňlikden  $\nu_2$ -niň bahasyny tapyp ýokarky formula goýsak, gazyň sarp edilişi üçin aşakdaky formulany alarys:

$$G = f \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\nu_1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{2/k} - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}. \quad (8.7)$$

Alnan formula boýunça  $G = f \left( \frac{p_2}{p_1} \right)$  funksiýanyň grafigini gursak, onda  $\frac{p_2}{p_1}$  gatnaşygyň belli bir bahasynda gazyň sarp edilişiniň ( $G_{\max}$ ) maksimal baha eýe bolýandygyny göreris.  $G = f \left( \frac{p_2}{p_1} \right)$  funksiýanyň grafigi 8.1-nji suratda şekillendirilen.

Grafikden görnüşi ýaly  $\frac{p_2}{p_1}$  gatnaşygyň kiçelmegi bilen ilki

bada G-niň bahasynyň ulalýandygy, soňra bolsa  $\frac{p_2}{p_1}$  gatnaşygyň

belli bir bahasyndan soň bu gatnaşygyň kiçelmegi bilen tersine G-niň bahasynyň hem kiçelýändigini görünýär. Emma,

$G = f \left( \frac{p_2}{p_1} \right)$  baglylyk tejribe arkaly barlananda, tejribäniň formula

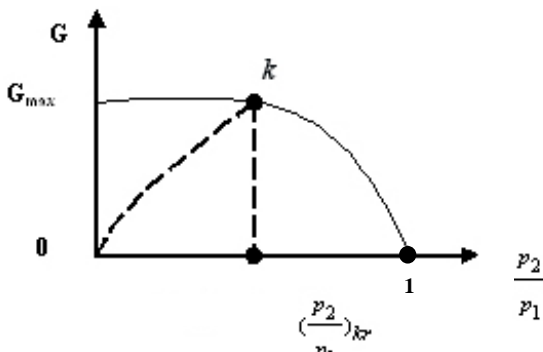
boýunça hasaplanan grafigiň 1-k bölegini tassyklaýandygy anyklandy. Soňra tejribe boýunça  $\frac{p_2}{p_1}$  gatnaşygyň kiçelmegi bilen

hasaplamanýň netijesindeki ýaly G-sarp edilişi k-0 duga boýunça kiçelýändigini görkezmän, onuň hemişelik bolup galýandygyny görkezýär (8.1-nji surata seret).

Munuň sebäbi, alym Sen Wenanyň belleýşi ýaly, daralýan sopladan gaz giňäp çykanda onuň basyşynyň gazyň maksimal sarp



edilişinde gabat gelyän käbir ahyrky basyşdan hiç wagt kiçi bolmaýandygy bilen düşündirilýär. Ýokarky formula boýunça  $\frac{P_2}{P_1}$  bahasyna bagly G-sarp edilişiniň maksimal bahasyny analitik ýol bilen hem almak mümkindir.



8.1-nji surat.  $G = f\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$  funksiýanyň grafigi

Munuň üçin soňky formuladan  $p_2$  boýunça önüm alyp, ony hem nula deňlemek ýeterlikdir. Netijede  $G_{\max}$  üçin aşakdaky formulany alarys:

$$G_{maks} = f \sqrt{2 \frac{k}{k+1} \frac{p_1}{v_1} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}}}. \quad (8.8)$$

## 8.2. Nasadkanyň formasynyň (görnüşiniň) akyma edýän täsiri

Ýokarda belleýşimiz ýaly, suwuklygyň ýa-da gazyň akymynyň sarp edilişi kanalyň islendik kese-kesiginde  $\frac{f\omega}{v} = const$ . Bu deňlige gidrodinamikanyň üznüksizlik deňlemesi diýilýär. Ol deňlemäni

differentensirläp, onuň ähli agzalaryny  $\omega f v$  bölüp aşakdaky deňligi alarys:

$$\frac{df}{f} + \frac{d\omega}{\omega} - \frac{dv}{v} = 0.$$

Bu ýerden:

$$\frac{df}{f} = \frac{dv}{v} - \frac{d\omega}{\omega} \quad (8.9)$$

deňligi alarys.

$dv$  gatnaşygy  $p v^k = \text{const}$  adiabatanyň deňlemesiniň üsti bilen tapalyň. Munuň üçin ol deňlemäni differentensirläliň:

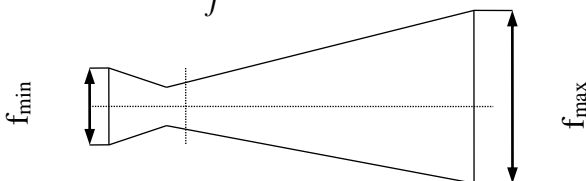
$$dp \cdot v^k + k v^{k-1} dv = 0.$$

Deňligiň iki tarapyňy hem  $p \cdot v = e$  bölsek,  $\frac{dv}{v} = -\frac{dp}{kp}$  gatnaşygy

alarys. Akym üçin termodinamikanyň 1-nji kanunynda seredilýän şert üçin ulanylanda, aşakdaky deňlik alynýar:

$$\omega d\omega = -v dp,$$

$$\frac{df}{f} = 0.$$



8.2-nji surat. Sopla

Formulada giňelýän gazyň ýa-da  $\omega$  buguň tizligi sesiň  $\omega_s$  tizliginden uly bolsa, ýagny  $\omega > \omega_s$ , onda  $df < 0$  soplanyň ýa-da kanalyň kesigi giňelýär.

Eger  $\omega = \omega_s$ , onda  $df = 0$ , bu soplanyň kesiginiň giňelýän we daralýan böleginiň aralygydyr. Başgaça aýdaňda, 8.2-nji suratda görnüşi ýaly, soplanyň kesiginiň daralýan ýerinde  $df < 0$  akymyň tizligi sesiň tizliginden ýokarydyr. Soňra soplanyň daralýan we giňelýän

kesiginiň aralygynda akymyň tizligi sesiň tizligine deňdir. Kanalyň kesiginiň barha giňelýän böleginde akymyň tizligi haýallaýar we onuň tizligi sesiň tizliginden kiçi bolýar. 8.2-nji suratda görkezilen soplа giňelýän we daralýan bölekden ybaratdyr. Bu soplany inžener Lawalýanyň oýlap tapanlygy üçin oňa **Lawalýanyň soplasy** diýilýär.

### 8.3. Gazlaryň we buglaryň drosselirlenmegi

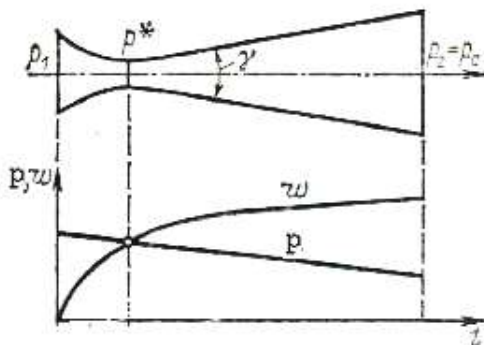
Gaz ýa-da bug turbanyň daralýan ýerinden akyp geçende, onuň tizligi, basyşy we beýleki parametrleri üýtgeýär. Akymyň päsgelçilikden geçiş döwründe kinetik energiýanyň ýylylyk energiýa öwrülişigi bolup geçýär. Drosselirlenme prosesinde akymyň basyşy  $p_1$ -den  $p_2$ -ä çenli kiçelýär, tizligi bolsa  $\omega_1$ -den  $\omega_2$ -ä çenli artýar (8.3-nji surat). Drosselirlenme prosesi gazyň päsgelçilikden geçende basyşynyň peselmegi akymyň, kanalyň (turbanyň) daralýan ýerindäki garşylygy ýeňmäge sarp edýän energiýanyň hasabyna amala aşyrylýar.

Drosselirlenme prosesinde entalpiýanyň üýtgeýşine seredeliň.

Ozal bilşimiz ýaly, akym üçin termodinamikanyň 1-nji kanunynyň deňlemesi integral görnüşde aşakdaky görnüşe eýedir:

$$q = i_2 - i_1 + \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2} + g(h_2 - h_1) + L_{tehn}. \quad (8.10)$$

Formulada 1 indeks bilen akymyň päsgelçiligiň önündäki, 2 indeks bilen bolsa päsgelçilikden soňky parametrlerini belgiläliň. Suratda görkezen drosselirlenme prosesinde turbanyň kese (gorizontal) ýerleşdirilendigi ( $h_1 = h_2$ ) we tehniki iş edilmeyänligi üçin ( $L_{tehn.}=0$ ), akymyň päsgelçilikden geçende tizliginiň üýtgeýşi onçakly uly däl diýip hasap edip ( $\omega_1 = \omega_2$ ), drosselirlenmede gaza ýylylyk berilmeyän we ondan ýylylyk alynmaýan, adiabatik drosselirlenme diýip hasap etsek, onda  $i_2 - i_1 = 0$  deňligi alarys. Bu ýerden  $i_1 = i_2$ . Diýmek, drosseliň önünde we soňunda entalpiýalaryň bahasy deňdir.



8.3-nji surat. Drosselde akymyň üýtgeýşi

Edil drosselirleme prosesiniň özünde entalpiýanyň bahasynyň deň bolmazlygy hem mümkindir, sebäbi  $od\omega = di$ . Bu ýerden görnüşi ýaly tizligiň artmagy entalpiýanyň kiçelmegine ýa-da tersine tizligiň peselmegi entalpiýanyň artmagyna getirýär.

Drosselirlenme prosesinde bolsa, tizlik üýtgeýär. Diýmek, entalpiýa hem üýtgeýär. Soplanyň kesiginiň daralmagy bilen akymyň tizligi ulalýar, entalpiýa bolsa kiçelýär. Akym päsgeçilikden geçenden soň onuň entalpiýasy päsgeçilikden öňki akymyň entalpiýasyna deňleşýär. Drosselirlenme prosesi öwrülišiksiz prosesdir we entropiýanyň bahasy elmydama artýandyr. Diýmek, drosselirlenme prosesi aşakdaky şertler bilen häsiýetlendirilýär:

$$s_2 > s_1 \text{ we } i_1 = i_2. \quad (8.11)$$

Drosselirlenme prosesiniň peýdaly hem-de zyýanly ýerleri köpdür. Meselem, sowadyjy maşynlaryň aglaba köpüsünde işçi jisimiň basyşyny we temperaturasyny peseldiji hökmünde peýdalydyr. Emma, bug ulanýan energetiki enjamlaryň köpüsünde drosselirlenme prosesiniň netijesinde ol enjamlaryň peýdaly täsir koeffisiýenti kiçelýär. Onuň üçin hem bug bilen işleýän energetiki enjamlarda drosselirlenme prosesiniň otrisatel täsirini azaltmak üçin ýörite çäreler işlenip düzülýär.

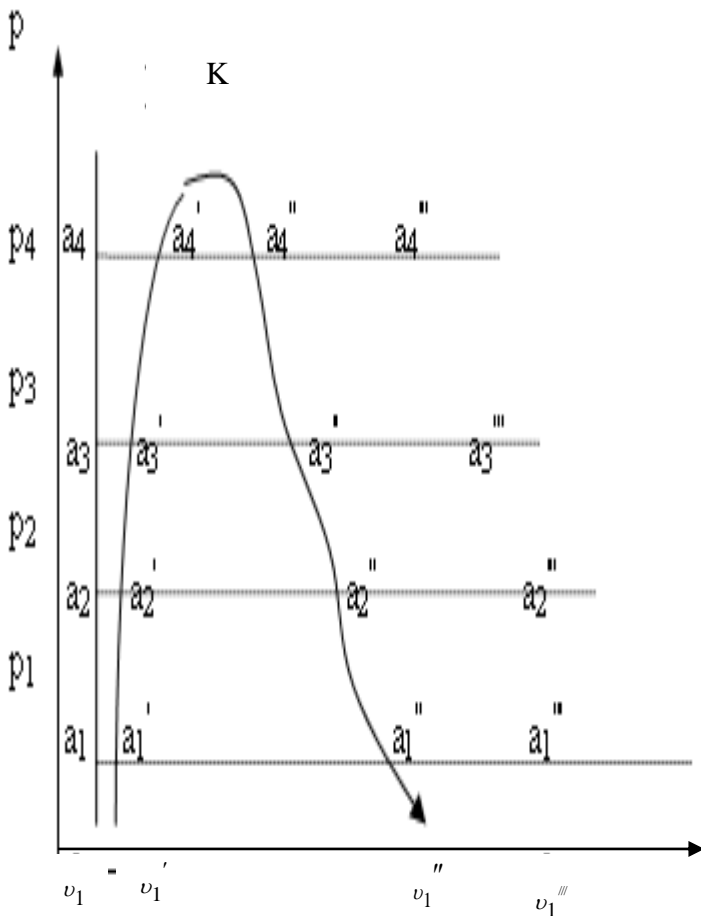
## Dokuzynjy bap. SUW BUGY

### 9.1. Hemişelik basyşda bug emele gelmek prosesi

Suwuklygyň buga, buguň suwuklyga öwrülme prosesleri ýylylyk energetikasynda we senagatda ulanylýan enjamlaryň aglabasynda duş gelýär. Köp ýylylyk enjamlarynda suw bugy-işçi jisim hökmünde, ýylylyk çalşygy, ýylylyk geçiriji hökmünde hyzmat edýär. Suw bugy esasan hem ýyladyş ulgamlarynda, bug hereketlendirijilerinde giňden ulanylýar. Şonuň üçin energiýa özgerdiji senagat enjamlarynyň, ýylylyk ulgamlarydyr, ýylylyk çalşygy enjamlarynyň tehniki taýdan netijeliligini hasaplamak üçin suw bugunyň parametrleri we onuň termodinamiki häsiýetleri barada giň düşünje zerurdyr.

Bilşimiz ýaly, berlen basyşda madda haýsy-da bolsa bir agregat halyndan beýleki agregat halyna geçende bu geçiş kesgitli temperaturada bolýar. Haýsy bolsa-da bir gapdaky suwy gyzdyrýarys diýeliň. Gapdaky suwuň temperaturasy oňa ýylylyk berlişiniň derejesine baglylykda kem-kemden ýokarlanýar we atmosfera basyşynda suwuň gaýnama temperaturasyna ýetenden soň, daşyndan ýylylyk bermegimizi dowam etmegimize garamazdan onuň temperaturasy üýtgemez. Belli bolşy ýaly, bu ýagdaýda daşyndan ýylylyk görnüşinde berilýän energiýa suwdaky molekulalaryň özara dartýşma güýçlerini (özara täsir güýjüni) ýeňmäge harçlanar. Daşky basyşyň garşylygyny ýeňmäge we suwuň başky göwrüminiň üýtgemegine harçlanýar. Elbetde, suwuň gaýnama temperaturasy atmosfera basyşynyň ululygyna bagly. Atmosfera basyşynyň artmagy bilen suwuň gaýnama temperaturasy artýar, tersine basyşyň peselmegi bilen bolsa peselýär. Geliň indi hemişelik basyşda suw bilen onuň bugunyň arasyndaky baglanyşyga seredeliň. Suwdan bug emele geliş prosesini  $p$ - $v$  diagrammada şekillendireliň. Goý  $p$ - $v$  diagrammada (9.1-nji surat)  $a_1$  nokat  $p_1$  basyşda temperaturasy  $0^{\circ}\text{C}$  ýakyn, udel göwrümi  $v_1$  bolan suwuň ýagdaýyna degişli diýeliň.

Gyz  
arta  
tem  
belç  
ond  
öwı  
diaç



lyň.  
li  
v  
ia  
en  
sek,  
uga  
pυ  
nuşi

ýaly,  $a_1$  nokat bilen  $a_1'$  nokadyň arasy  $a_1'$  nokat bilen  $a_1''$  nokadyň aralygyna seredeniňde örän ujypsyzdyr. Sebäbi şol bir basyşda suwuň suwuk ýagdaýyndanda gyzdyrylmagy netijesinde göwrüminiň artmagy onuň buga öwrülendäki göwrüminiň üýtgemeginden 1000 esse kiçidir.  $a''$  nokatdaky buga gurak doýgun bug diýilýär. Bugun gurak doýgun halýndan başlap gyzdyrylmagy onuň gurak buga öwürilmegine sebäp bolýar.  $pυ$  diagrammadaky  $a_1'$   $a_1''$  aralyk bugun çyg doýgun halyny häsiýetlendirýär. Bu ýagdaýda bugun guraklyk

derejesi diýilýän ( $x$ ) ululyk  $0 \leq x \leq 1$  aralykda üýtgeýär. Buguň guraklyk derejesi aşaky formula bilen hasaplanýar:

$$x = \frac{G_{cb}}{G_{gb}} \quad (9.1)$$

Bu ýerde  $G_{gb}$  - gurak buguň massasy;  $G_{cb}$  - çygly buguň massasydyr. Guraklyk derejesi  $x = 0$  bolanda, suwuň gaýnaýan ýagdaýyny,  $x = 1$  bolsa gurak doýgun bug ýagdaýyny aňladýar. Gurak doýgun bug ýagdaýy örän durnuksyzdyr. Buguň sähel gyzdyrylmagy onuň aşa gyzmagyna ýa-da çala sowadylmagy onuň çyg bug ýagdaýyna geçmegine sebäp bolýar. Buguň gurak doýgun ýagdaýyndan beýläk gyzdyrylmagy onuň temperaturasynyň ýokarlanmagyna we onuň aşa gyzan ýagdaýynda bolmagyna getirýär. Ol ýagdaýy diagrammada  $a_1'''$  nokat bilen belläliň. Buguň temperaturasynyň artmagy onuň udel göwrüminiň  $v'''$ -e çenli ulalmagyna getirýär.

Guraklyk derejesi  $0 \leq x \leq 1$  aralykda üýtgände, buguň doýgun ýagdaýynda  $p_1 = \text{const}$  bolanda  $T = \text{const}$  bolýar. Şonuň üçinem izobara we izoterma gabat gelýär. Emma, buguň aşa gyzan ýagdaýynda izobara we izoterma gabat gelmeýär. Sebäbi, ýokarda belleýşimiz ýaly,  $a_1''$  nokatdan soň buguň gyzdyrylmagy onuň temperaturasynyň ýokarlanmagyna getirýär. Basyşyň üýtgemegi bilen suwuň gaýnama temperaturasy, onuň udel göwrümi, şeýle hem suw bugunyň parametrleri üýtgeýär. Şonuň üçin hem dürli  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_4$  basyşlar degişlilikde  $p-v$  diagrammada suwuň  $0^\circ\text{C}$  degişli ýagdaýy  $a_2$ ,  $a_3$  we  $a_4$  nokatlar bilen, gaýnama ýagdaýy  $a_2'$ ,  $a_3'$  we  $a_4'$  nokatlar bilen, gapdaky suwuň hemmesiniň buga öwrülendäki ýagdaýy  $a_2''$ ,  $a_3''$  we  $a_4''$  nokatlar bilen, hem-de aşa gyzan buguň ýagdaýy bolsa  $a_2'''$ ,  $a_3'''$  we  $a_4'''$  nokatlar bilen belgilenilýär.  $p-v$  diagrammadan görnüşi ýaly, basyşyň ulalmagy zerarly gaýnama temperaturasynyň artmagy netijesinde suwuklygyň gaýnama ýagdaýynda göwrüminiň az-kemden artýanlygy sebäpli  $a_1'$ ,  $a_2'$ ,  $a_3'$  we  $a_4'$  nokatlar gitdigiçe saga,

suwuklygyň doly buga öwrülme ýagdaýyny görkezýän  $a_1''$ ,  $a_2''$ ,  $a_3''$  we  $a_4''$  nokatlar bolsa basyşyň ulalmagy bilen buguň göwrüminiň kiçelýändigini üçin çepi süýşýärler. Eger-de,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  we  $a_1'$ ,  $a_2'$ ,  $a_3'$ ,  $a_4'$  hem-de  $a_1''$ ,  $a_2''$ ,  $a_3''$ ,  $a_4''$  nokatlary özara birleşdirsek, onda 3 sany aýry-aýry çyzyklary alarys. Netijede  $a_1'$ ,  $a_2'$ ,  $a_3'$  we  $a_4'$  nokatlardan emele gelen çyzyk we  $a_1''$ ,  $a_2''$ ,  $a_3''$  we  $a_4''$  nokatlardan emele gelen çyzyk dowam etdirilende, olar haýsy hem bolsa bir nokatda kesişýärler. Iki egri çyzygyň kesişme nokadyny K harpy bilen belgileýärler. Oňa kritiki nokat diýilýär. Kritiki nokatda suw we gurak doýgun bug şol bir parametrler bilen häsiýetlendirilýär. Bu nokatda suw bugunyň basyşy  $p_k = 22,129 \text{ mPa}$ , temperaturasy  $T_k = 647,266^\circ\text{K}$  ( $374,116^\circ\text{C}$ ) we udel göwrümi  $v_k = 0,00326 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

9.1-nji suratda görnüşi ýaly, suw we suw bugy  $a_1'$  k egri çyzykdan çep tarapda suw halynda,  $a_1' k a_4''$  egri çyzygyň içinde doýgun bug ýa-da çyg bug halynda  $a_1'' k$  egri çyzykdan sag tarapda bolsa aşa gyzan bug halyna eýedir. Başlangyç temperaturasy  $t_0$  C bolan G massaly suwy gaýnamak temperaturasyna  $t_1$  çenli gyzdyrmak üçin sarp edilýän ýylylyk:

$$Q_i = c_{pm}G (t_1 - t_0). \quad (9.2)$$

Massasy 1 kg bolan suwy gaýnamak temperaturasyna çenli gyzdyrmak üçin zerur udel ýylylyk:

$$q = c_{pm}(t_1 - t_0). \quad (9.3)$$

Bu ýerde  $c_{pm}$ -hemişelik basyşda suwuň ortaça ýylylyk sygymy.

9.1-nji suratdaky  $a_1' k a_4''$  egri çyzyk bilen çäklenen ýagdaý üçin (çyg bug zolakda) sarp edilýän ýylylyk

$$Q_2 = G \cdot r \quad (9.4)$$

ýa-da 1 kg bugaran suw üçin



$$q_2 = r. \quad (9.5)$$

r-bug emele gelme ýylylygy.

Suw bugunyň aşa gyzmagy üçin harçlanýan ýylylyk G kg üçin

$$Q_3 = c_{pm}^b \cdot G (t_b - t_1). \quad (9.6)$$

$c_{pm}^b$  - buguň hemişelik basyşdaky ortaça ýylylyk sygymy;  $t_b$ -aşa gyzan buguň ahyrky temperaturasy, 1 kg suw buguny aşa gyzdyrmak üçin zerur bolan udel ýylylyk  $q_3 = c_{pm}^b (t_b - t_1)^\circ\text{C}$ .

Basyşyň artmagy bilen egri çyzygyň daşyndaky suwuň we aşa gyzan buguň tutýan meýdanynyň giňelýändigini, çyg buguň tutýan meýdanynyň bolsa kiçelýändigini 9.1-nji suratan görýäris. Bu ýagdaý basyşyň ýokarlanmagy bilen suwy  $t_0$ -dan  $t_1$  - gaýnama temperatura çenli gyzdyrmak üçin gerek bolan  $Q_1$  ýylylygyň öňküden artýandygyny (bu ýagdaý aşa gyzdyrylýan bug üçin hem şeýle), tersine bug emele gelmäge harçlanýan r ýylylygyň bolsa gitdigiçe kemelýändigini görkezýär. Dogrudan hem basyşyň artmagy bilen r barha kiçelýär we r-ň bahasy kritiki nokatda nola deň bolýar,  $r_k=0$ .

## 9.2. Suw bugunyň entropiýasy we entalpiýasy

Ýokarda seredilen suw bugunyň suw halyna, çyg bug halyna hem-de aşa gyzan bug halyna harçlanýan ýylylygy hasaplamaga mümkinçilik berýän formulalary  $t_0=0$  üçin hem-de 1 kg suw üçin aşadaky differensial görnüşde ýazalyň:

- 1)  $dq_1 = c_{pm}dT$  - suwy 273,15 K-dan  $T_g$ -gaýnamak temperaturasyna çenli gyzdyrylmaga gerek bolan udel ýylylygyň differensialy;
- 2)  $dq_2 = r \cdot dx$  -  $T_g$ -gaýnamak temperaturadan suw doly bugaryp gutarýança, ýagny gurak bug alynýança harçlanýan udel ýylylygyň differensialy;
- 3)  $dq_3 = c_{pm}^b dT$  -aşa gyzan suw bugunyň temperaturasyny  $T_g$  temperaturadan haýsy bolsa-da T temperatura çenli gyzdyrmak üçin zerur bolan udel ýylylygyň

differentiálly.

Ýokarda görkezilen  $dq_1$ ,  $dq_2$ ,  $dq_3$  ululyklar öz gezeginde entropiýanyň üsti bilen, deňişlilikde,  $dq_1 = T ds'$ ;  $dq_2 = T_g ds'$  we  $dq_3 = T_b ds''$  formulalar bilen aňladalyň. Başgaça, bularyň bahalaryny ýokarky formulalarda ornuna goýup hem-de ahyrky 1-2 prosessler üçin integrirläp aşakdaky formulalary alarys:

$$\int_{s_1=0}^{s_2=s'} c_{pm} \frac{dT}{T} \quad \text{ýa-da} \quad s' = c_{pm} \ln \frac{T_g}{273,16} \quad (9.7)$$

$$\int_{s'}^{s''} ds'' = \int_{x_1=0}^{x_2=1} \frac{r dx}{T_g} \quad \text{ýa-da} \quad s'' - s' = r / T_g \quad (9.8)$$

$$\int_{s'}^{s'''} c_{pm}^b dT \quad \text{ýa-da} \quad s''' - s'' = c_{pm}^b \ln \frac{T}{T_g} \quad (9.9)$$

Netijede aşa gyzan buguň entropiýasynyň ähli entropiýalaryň üýtgemeginiň jemine deňligi üçin aşakdaky deňlemäni alarys:

$$s' + s'' - s' + s''' - s'' = c_{pm} \ln \frac{T_g}{273,16} + \frac{r}{T_g} + c_{pm}^b \ln \frac{T}{T_g}$$

ýa-da

$$s''' = c_{pm} \ln \frac{T_g}{273,16} + \frac{r}{T_g} + c_{pm}^b \ln \frac{T}{T_g} \quad (9.10)$$

Termodinamikanyň 1-nji kanunynyň deňlemesinden hemişelik basyşda ( $dp=0$ )  $dq=di$  gelip çykýandygyny biz bilýäris. Bu ýerde  $q = i_2 - i_1$ . Gaýnaýan suwa berilýän ähli ýylylygyň bug emele gelmek prosesi üçin harçlanýandygy üçin  $q = r$ , onda  $r = i_2 - i_1$ . Bu ýerde  $i_1$  - gaýnaýan suwuň entalpiýasy,  $i_2$  - gurak doýgun buguň entalpiýasydyr.

Ýokarda görkezilişi ýaly, 1 kg suw gyzdyrylanda, onuň buga öwrüliş prosesinde we aşa gyzan ýagdaýyndaky onuň entalpiýasynyň üýtgeýşini edil şol ýagdaýlar üçin udel ýylylygyň üýtgeýşi ýaly aşakdakylary ýazmak bolar. Ýagny:

$i' = i_o + c_{pm} (T_g - T_o)$  - gaýnaýan suwuň udel entalpiýasy,

$i'' = i' + r$  - gurak doýgun buguň udel entalpiýasy;

$i''' = i'' + c_{pm} (T - T_g)$  - aşa gyzan buguň udel entalpiýasy.

Ýokarky formulalardan  $i_o = 0$  bolanda,

$$i''' = c_{pm} (T_g - T_o) + r + c'_{pm} (T - T_g) \quad (9.11)$$

bolar.

## Onunjy bap. ÇYGLY HOWA

### 10.1. Çygly howa barada umumy düşünje

Guratmak prosessinde, ýylylyk elektrostansiýalarynda we beýleki ýylylyk tehniki prosesslerinde çygly howa bilen iş salşylýar. Çygly howanyň parametrlerini bilmezden jaýlaryň sowadylyş we ýyladylyş ulgamlaryny, ýylylyk tehniki abzallary, maşynlary we beýleki energiýa enjamlaryny taslamak we ýasamak mümkin däldir.

Çygly howa gurak howadan hem-de suw bugundan ybarat bolup, ol gaz garyndysynyň hususy bir ýagdaýydyr. Çygly howanyň gaz garyndysyndan esasy tapawudy - atmosfera basyşynyň çäklerinde pes temperaturalarda ( $-50^{\circ}\text{C}$  töwereginde) onuň gurak howa bölegi gaz görnüşinde bolýar, emma suw bugy bolsa doňup ýa-da kondensirlenip garyndydan düşýär.

Çygly howa atmosfera basyşlarynyň çäginde özüni hyýaly gaz ýaly alyp barýar. Şonuň üçin hem çygly howa üçin Daltonyň kanunyny ulanyp aşakdaky formulany ýazmak bolar:

$$B = p_{gh} + p_b. \quad (10.1)$$

Bu ýerde  $B$  - çygly howanyň basyşy. Ol atmosfera basyşa deňdir diýilip kabul edilen.

$p_{gh}$ -gurak howanyň parsial basyşy;  $p_b$ -suw bugunyň parsial basyşy.

Çygly howanyň düzümindäki suw bugunyň parsial basyşy çygly howanyň berlen temperaturadaky doýgun basyşyndan uly bolup bilmeýär, ýagny  $p_b \leq p_s$ .

Başgaça aýdylanda, howanyň düzümindäki suw bugunyň temperaturasy garyndydaky buguň parsial basyşynda, degişlilikde, doýgun temperaturadan ýokary ýa-da deň bolup biler. Emma, ondan kiçi bolup bilmez, sebäbi kiçi bolsa suw bugy kondensirlenip ýa-da doňup garyndynyň (howanyň) düzüminden düşüp galar.

Eger-de  $p_b < p_s$  bolsa çygly howa doýgun däl,  $p_b = p_s$  bolsa onda çygly howa **doýgun çygly howa** diýilýär. Doýgun däl çygly howany

sowatmak arkaly ony doýgun çygly howa ýagdaýyna getirmek mümkindir.

Çygly howanyň düzümindäki bug doýgun ýagdaýynda bolsa, onda çygly howanyň temperaturasyna gyraw nokadynyň temperaturasy diýilýär. Eger-de, garyndynyň (çygly howanyň) temperaturasy gyraw nokadyň temperaturasyndan peselse, onda bug kondensirlenýär.

## 10.2. Çygly howanyň parametrleri

Çygly howanyň parametrleriniň hasaplamalarda giňden ulanylýandygy sebäpli aşakdaky ululyklar barada durup geçeliň.

Ilki bilen bize fizika dersinden belli bolan absolýut we otnositel çyglylyk düşünjelerini ýatlalyň.

**Absolýut çyglylyk** diýlip  $1 \text{ m}^3$  çygly howadaky suw bugunyň massasyna aýdylýar.

Absolýut çyglylygyň berlen temperaturadaky bahasynyň absolýut çyglylygyň maksimal bahasyna bolan gatnaşygyna **otnositel çyglylyk** diýilýär. Başgaça, otnositel çyglylyk diýlip  $1 \text{ m}^3$  çygly howadaky suw bugunyň massanyň (dykzlygynyň,  $\rho_b$ ) berlen temperaturadaky we basyşdaky onuň mümkin bolan maksimal massasyna (dykzlygyna,  $\rho_{b,\max}$ ) bolan gatnaşygyna aýdylýar:

$$\varphi = \frac{\rho_b}{\rho_{b \max}}. \quad (10.2)$$

Otnositel çyglylyk parsial basyşlaryň üsti bilen aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$\varphi = \frac{p_b}{p_{b \max}}. \quad (10.3)$$

Indi çyglylyk saklaýjylyk diýilýän düşünje bilen tanşalyň.

Massa hasabyndaky we mol hasabyndaky çyglylyk saklaýjylyk düşüňjeleri bardyr. Atmosfera basyşynda çyglylyk saklaýjylyk  $1 \text{ kg}$

gurak howa düşýän gram (kilogram) hasabyndaky çygyň massasyny aňladýar:

$$d = \frac{G_b}{G_{gh}} = 662 \frac{P_b}{B - p_b}. \quad (10.4)$$

Mol hasabyndaky çyglylyk saklaýjylyk diýilýän ululyk aşakdaky formula bilen aňladylýar:

$$x = \frac{G_b / M_b}{G_{gh} / M_{gh}} = \frac{G_b \cdot M_{gh}}{G_{gh} \cdot M_b}. \quad (10.5)$$

Bu formula, edil ýokardaky ýaly, çygly howadaky suw bugunyň mol hasabyndaky mukdarynyň ol howadaky mol hasabyndaky gurak howanyň mukdaryna bolan gatnaşygy görkezýär.

Ýokardaky formulada  $\frac{G_b}{G_{gh}} = d$  bolany üçin, ol formulany aşakdaky görnüşde hem ýazyp bileris:

$$x = d \frac{\mu_{ch}}{\mu_b}. \quad (10.6)$$

Bu ýerde  $\mu_{ch}$ ,  $\mu_b$  - degişlilikde howanyň we suwuň molekulýar massalarydyr.  $\mu_{gx} = 28,96$  we  $\mu_b = 18,016$  bolany üçin  $x = 1,61d$  ýa-da  $d = 0,622x$  bolar. Çygly howanyň dykzlygy hem hasaplamalarda giňden ulanylýar. Çygly howanyň dykzlygy onuň düzümindäki gurak howanyň hem-de suw bugunyň dykzlyklarynyň jeminden ybaratdyr:

$$\rho = \frac{G_{gh}}{v} + \frac{G_b}{v} = \frac{G_{gh}}{v} \left( 1 + \frac{G_b}{G_{gh}} \right). \quad (10.7)$$

Bu ýerde  $\frac{G_b}{G_{gh}} = d$  bolany üçin hem-de  $G_{gh} = 1 \text{ kg}$  diýip

hasap etsek, onda:

$$p = \frac{1}{v}(1 + d) \quad (10.8)$$

bolar.

Soňky formulada çygly howanyň düzümindäki suw bugy gramm hasabynda alnandyr. Eger-de 1 kg gurak howa degişli suw bugunyň massasy kg hasabynda bolsa, onda bu formula aşadaky görnüşe eýe bolar:

$$p = \frac{1}{v}(1 + 0,001d). \quad (10.9)$$

Çygly howanyň ýylylyk sygymy çyglylyk saklaýjynyň üsti bilen aşadaky formulada aňladylýar:

$$c_{gh} = G_{gh} + G_b \cdot d \cdot 10^{-3}. \quad (10.10)$$

Belli boluşy ýaly, gurak howanyň ýylylyk sygymy

$$c_{gh} = 0,01 \frac{kJ}{kg \cdot grad}.$$

Suw bugunyň ýylylyk sygymy:

$$c_b = 1,93 \frac{kJ}{kg \cdot grad} \quad \text{bolany üçin } G_{gh} = 1,01 + 1,93d \cdot 10^{-3} \text{ bolar.}$$

Çygly howanyň entalpiýasy  $i_{ch} = i_{gh} + i_b \cdot 0,01d$ . Formulada  $i_{gh}$  - gurak howanyň entalpiýasydyr. Gurak howanyň entalpiýasy bolsa öz gezeginde  $i_{gh} = c_p^h \cdot t$  formula bilen kesgitlenip bilner. Bu ýerde  $c_p^h$  - hemişelik basyşda howanyň udel ýylylyk sygymy:

$$c_p^h = 1 \frac{kJ}{kg \cdot grad}.$$

Onda  $i_{gh} = t$ .

Suw bugunyň entalpiýasy bolsa  $i_b = r(0^\circ\text{C}) + c_p^b \cdot t$  formula boýunça hasaplanyp bilner. Çygly howanyň entalpiýasynyň formulasynda  $i_{gh}$  we  $i_b$  entalpiýalaryň bahasyny ornuna goýup aşakdaky formulany alarys:

$$J = t + 0,001d_b(r + c_p^b t). \quad (10.11)$$

Belli bolşy ýaly,  $r = 2501 \frac{kJ}{kg}$  hem-de  $c_p^b = 1,93 \frac{kJ}{kg \cdot K}$  bolany üçin:

$$J = t + 0,001d_b(2501 + 1,93t). \quad (10.12)$$

### 10.3. Çygly howanyň i-d diagrammasy

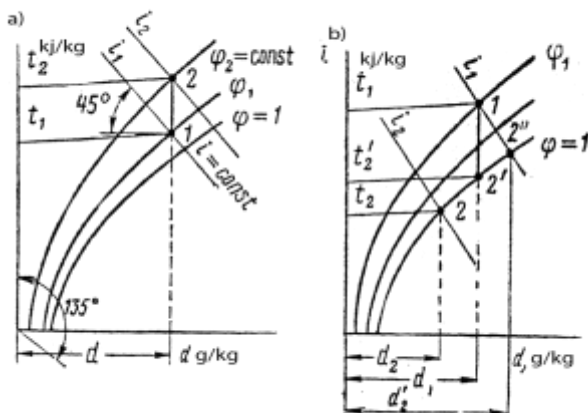
Senagatda, himiýanyň dürli pudaklarynda ýylylyk çalşyýj enjamlar hasaplananda, çygly howany häsiýetlendirýän birnäçe ululyklardan peýdalanmaly bolýar. Şol ululyklary, meselem, howanyň otnositel çyglylygyny, çyglylyk saklaýjylygyny, entalpiýasyny we ş.m-leri ýokarda berlen formulalar bilen hasaplamak bolar. Emma ol hasaplamalaryň köp wagty talap etmegi mümkin. Şonuň üçin hem alymlar tarapyndan ol ululyklary kesgitlemäge mümkinçilik berýän has amatly usul bolan i-d diagramma işlenip düzüldi. Çygly howanyň i-d diagrammasy professor L.K. Ramzin tarapyndan hödürlenildi. Ol diagrammada wertikal okda udel entalpiýa, gorizonta okda bolsa çyglylyk saklaýjylyk ýerleşdirilen. Meýdany rejeli peýdalanmak üçin i-d diagramma koordinatalar ulgamynda gurlan.  $I = \text{const}$  çyzyklar  $45^\circ$  burç bilen ugrukdyrylan. Başgaça koordinata oklarynyň arasyndaky burçuň ululygy  $135^\circ$ . Diagrammada  $d = \text{const}$  çyzyklar wertikal ýerleşdirilendir. Diagrammada başga-da birnäçe hemişelek parametrleri aňladýan çyzyklar şekillendirilendir.

Meselem, hemişelik temperatura ( $t = \text{const}$ ) çyzygy, otnositel çyglylygyň ( $\varphi = \text{const}$ ) çyzygy we başgalar.

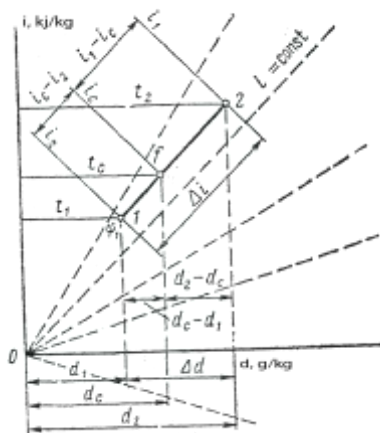


Diagramma 0,0991 mPa (orta atmosfera) basyşy üçin gurulyp, inženerçilik nukdaýnazardan ýeterlik takyklykda beýleki atmosfera basyşlarynda hem ulanylyp bilner.

i-d diagrammanyň çygly howanyň ýagdaýynyň üýtgemesini kesgitlemekde ulanylyşy 10.1 we 10.2 suratlarda görkezilendir.



10.1-nji surat. Çygly howanyň i-d diagrammasy



10.2-nji surat. Çygly howanyň i-d diagrammasy

Goý temperaturasy  $t_1$  we otnositel çyglylygy  $\varphi_1$  bolan howa  $t_2$  temperatura çenli gyzdyrylan bolsun (10.1-nji surat). Belli bolşy ýaly, howanyň çyglylyk saklaýjylygy üýtgemeyär. Şeýlelikde gyzdurma prosesi 1-2 dik çyzyk bilen aňladylýar. Suratda görkezilişi ýaly, 2 nokatda howanyň çyglylygy  $\varphi_2$  -ä çenli azalýar. Howanyň  $t_1$  temperaturadan  $t_2$  temperatura çenli gyzdyrylmagy üçin sarp edilýän udel ýylylyk  $i_2-i_1$  tapawuda deňdir.

Indi howanyň sowadylyş ýagdaýyny i-d diagrammada seredip geçeliň. Bu proses 10.2-nji suratda görkezilendir.

Temperaturasy  $t_1$  we otnositel çyglylygy  $\varphi_1$  bolan howa  $d=\text{const}$  ýagdaýda 1-den 2' ýagdaýa çenli sowayar. Howa 2' nokada baranda (gyraw nokady) çyg howadaky suw buglary doýgun ýagdaýda bolýarlar ( $\varphi=1$ ). Howanyň mundan beýläk sowadylmagy howadaky suw buglarynyň düşmegine, ýagny kondensirlenmegine getirýär. Bugun kondensirlenmgi howanyň çyglylyk saklaýjylygynyň azalmagyna getirýär (2' - 2 çyzyk).  $t_2'$  -den  $t_2$  -ä çenli howa sowadylanda kondensirlenen çygyň mukdaryny  $d_1-d_2$  tapawut bilen kesgitleýärler. i-d diagramma başga-da çygly howadaky suwuň bugarmagyna, howanyň bug ýa-da suw bilen çyglanmagyna degişli we beýleki meseleler çözülende giňden ulanylýar.

## Onbirinji bap. SOWADYJY MAŞYNLARYŇ AÝLAWLARY

### 11.1. Sowadyjy maşynlaryň häsiýetleri we görnüşleri

Sowadyjy enjamlar adamzadyň durmuşynda, senagatda, himiýada, ulagda, oba hojalygynda we halk hojalygynyň beýleki pudaklarynda giňden ulanylýar. Häzirki durmuşda ol maşynlarsyz ýaşaýşy göz önüne getirmek kyndyr. Sowadyjy maşynlar gurşawy, jisimleri kesgitli wagtyň dowamynda olaryň daş töweregindäki gurşap alýan gurşawyň temperaturasyndan has pes temperatura çenli sowatmak üçin niýetlenendir. Sowadyjy maşynlaryň ählisinde ýylylyk pes temperaturaly jisimden ýokary temperaturaly gurşawa geçirilýär. Bilşimiz ýaly, termodinamikanyň 2-nji kanunynyň esasynda bu ýylylyk geçiriliş öz-özünden bolup geçmän, daşyndan energiýanyň sarp edilmeginiň hasabyna bolup geçýär.

Daşyndan berilýän energiýa hökmünde elektrik, ýylylyk ýa-da mehaniki energiýanyň dürli görnüşleri ulanylyp bilner. Umumy görnüşde sowadyjy maşynlaryň aglaba köpüsinde pes temperatura işçi jisimiň adiabata giňelmeginiň hasabyna alynýar. Eger-de 1 kg işçi jisimiň sowadylýan gurşawdan alýan ýylylygy  $q_2$  bolsa, gyzgyn çeşmä berilýän  $q_1$  udel ýylylygy göz önünde tutup ony aşadaky görnüşde ýazalyň, ýagny:

$$q_1 = q_2 + l_a. \quad (11.1)$$

Sowadyjy maşynlaryň aýlawlarynyň netijeliligini häsiýetlendirmek üçin sowadylyş koeffisiýent diýilýän ululyk girizilýär. Ol koeffisiýent 1 kg işçi jisiminiň sowadyjydan alýan ýylylygynyň ( $q_2$ ) aýlawyň amala aşmagyna sarp edilýän işiň ululygyna bolan gatnaşyk bilen kesgitlenilýär:

$$E = \frac{q_2}{l_a}. \quad (11.2)$$

Basgaca,  $l_a = q_1 - q_2$  formulany göz önünde tutup ýokarky formulany

$$E = \frac{q_2}{q_1 - q_2} \quad (11.3)$$

görnüşinde ýazmak bolar.

Sowadyjy maşynyň nazary aýlawy Karnonyň aýlawynyň tersidir (ol barada geçen baplarda aýdypdyk). Sowadylyş koeffisiýent bilen termiki koeffisiýentiň arasyndaky baglanyşygy tapalyň.

Ýokarky formulany:

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

görnüşde ýazalyň.

Karnonyň aýlawy boýunça:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{q_2}{q_1} = 1 - \eta_t \quad \text{ýa-da} \quad \frac{q_1}{q_2} = \frac{1}{1 - \eta_t}$$

Alnan netijäni  $E$ -niň formulasynda goýalyň:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{1 - \eta_t} - 1} = \frac{1 - \eta_t}{1 - 1 + \eta_t} = \frac{1}{\eta_t} - 1. \quad (11.4)$$

Ýokarky formulany  $\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$  deňligi göz önünde tutup,

aşakdaky görnüşde ýazyp bileris:

$$E = \frac{T_1}{T_1 - T_2} - 1 = \frac{T_1 - T_1 + T_2}{T_1 - T_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}.$$

Diýmek,

$$E = \frac{T_2}{T_1 - T_2}. \quad (11.5)$$

Elbetde, Karnonyň owrülüşikli sowadyjy aýlawy berilen temperatura aralygynda ähli bar bolan sowadyjy aýlawlaryň içinde iň netijeli aýlawdyr.

Sowadyjy maşynlar üçin enjamlar temperatura derejelerine baglylykda pes temperaturaly ( $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -den pes), aram temperaturaly ( $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -den  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -a çenli) hem-de ýokary temperaturaly görnüşlere bölünýärler. Bu enjamlary sowuk öndürijiligi boýunça-da tapawutlandyryrlar. Meselem, 15 kwt-a çenli kiçi, 15-125 kwt- ortaça (aram) we 125 kwt-dan ýokary bolsa uly sowadyjy maşynlar diýilýär. Ulanylýan ýerine baglylykda durnukly ulgamlarda ulanylýan we ýöriteleşdirilen sowadyjy maşynlary tapawutlandyryrlar.

Sowadyjy enjamlaryň şu aşakdaky görnüşleri bar:

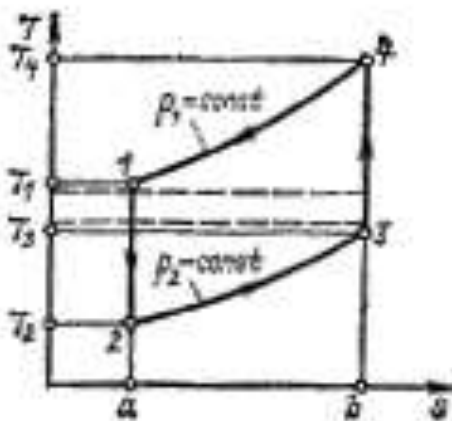
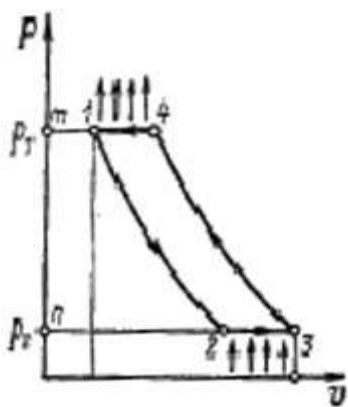
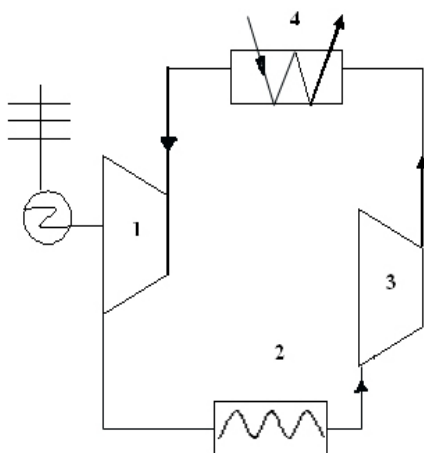
- işçi jisimi howa bolan sowadyjy maşynlar;
- kompressorly sowadyjy maşynlar;
- ežektorly sowadyjy maşynlar;
- gün energiýasyny ulanýan sowadyjy maşynlar.

Geliň, indi ýokarda agzalan sowadyjy maşynlaryň käbirleriniň aýlawlaryna seredip geçeliň.

## **11.2. İşçi jisimi howa bolan sowadyjy maşynlar**

Işçi jisimi howa bolan sowadyjy maşynlar has irki sowadyjy maşynlardyr. Bu sowadyjy enjamlaryň oýlanyp tapylmagy birnäçe fiziki hadysalaryň anyklanmagyna getirdi. Ilkinji işçi jisimi howa bolan sowadyjy maşyn Kammerling Onnes tarapyndan oýlanyp tapyldy. Bu maşynyň işleýiş düzgünine gysgaça seredip geçeliň.

Sowadyjy maşynyň shemasy we oňa degişli aýlawlary ( $p - v$  we  $T - s$  diagrammalarda) 11.1-nji suratda görkezilen.



11.1-nji surat. Sowadyjy maşynyň shemasy we oňa degişli aýlawlaryň  $p-v$  we  $T-s$  diagrammasy

Sowadylýan kameradan (2) çykýan howa kompressorda (3) adiabatik gysylýar (11.1-nji suratda). Bu proses  $p\nu$  we  $Ts$  diagrammalarda 3-4 çyzyk bilen aňladylýar. Soňra gysylan howa ýokary basyşda we degişli temperaturada kompressordan çykyp, sowadyja (4) berilýär. Ol ýerde gyzgyn howa daşky howa ýa-da sowuk suw arkaly sowadylýar. Sowama prosesi hemişelik basyşda bolup geçýär. Bu proses diagrammalarda 4-1 çyzyk bilen häsiýetlendirilýär. Sowadyjydan çykan sowan we gysylan howa detonatora (1) baryar. Howa ol ýerde adiabatik giňelýär we iş edýär. Howanyň basyşy hem-de temperaturasy birnäçe esse peselýär. Adiabatik giňelme prosesi diagrammalarda 1-2 çyzyklar bilen aňladylýar. Soňra sowan howa sowadylýan kamera berilýär we ol ýerde daşky gurşawdan ýylylyk alyp (2-3 çyzyk), işçi jisim ýene-de kompressora berilýär. Aýlaw gaýtalanýar.

Eger-de howany hyýaly gaz ýaly diýip kabul etsek, onda 1 kg işçi jisimi bolan howa sowadylýan gurşawdan  $q_2 = C_p (T_3 - T_2)$  ýylylygy kabul eder. Soňra işçi jisimi sowanda onuň sowadyja berýän ýylylygyny bolsa  $q_1 = C_p (T_4 - T_1)$  ululyga deňdir.

$$E = \frac{q_2}{q_1 - q_2} \text{ formulada } q_1 \text{ we } q_2 \text{ udel ýylylyklary ornuna goýup:}$$

$$T = \frac{T_3 - T_2}{(T_4 - T_1) - (T_3 - T_2)}$$

formulany alarys.

$$3-4 \text{ we } 1-2 \text{ adiabatik gysylma prosesler üçin } \frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad \text{we}$$

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

$p\nu$  diagramma boýunça  $p_1 = p_4$  we  $p_2 = p_3$  deňlikleri göz önünde tutup,  $\frac{T_4}{T_2} = \frac{T_1}{T_2}$  deňligi alarys.

Ýokarky formulada  $E$ -niň bahasyny aşakdaky görnüşde ýazalyň:

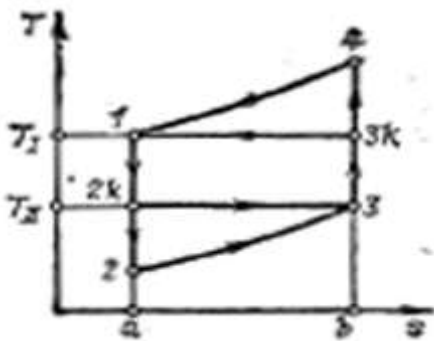
$$E = \frac{1}{\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} - 1}$$

$$\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{deňligiň ýerine ýetýänligi üçin ýokarky}$$

formuladan  $E = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$  formulany ya-da  $E = \frac{1}{\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}$

formulany alarys.

Formula ýokarda görkezilen Karnonyň öwrülişikli ters (sowadyjy aýlawyň) aýlawynyň formulasyna meňzeşdir. Emma olar diňe daşky görnüşi boýunça meňzeşdir. Ýöne formulalardaky görkezilen temperaturalaryň arasynda ullakan tapawut bardyr. Ol tapawut 11.2-nji suratda görkezilen aýlawlaryň deňeşdirmesinde has oňat görünýär.



11.2-nji surat. Aýlawlaryň deňeşdirmesi

Suratda görüňýän *1a3b* gönüburçlyk Karnonyň ters aýlawyny *1234* çyzyk bilen çäklenen meýdan bolsa, işçi jisimi howa bolan maşynyň aýlawyny häsiýetlendirýändir.

Diýmek, işçi jisimi howa bolan maşynyň aýlawy üçin harçlanýan iş Karnonyň ters aýlawy üçin harçlanýan işden ep-esli

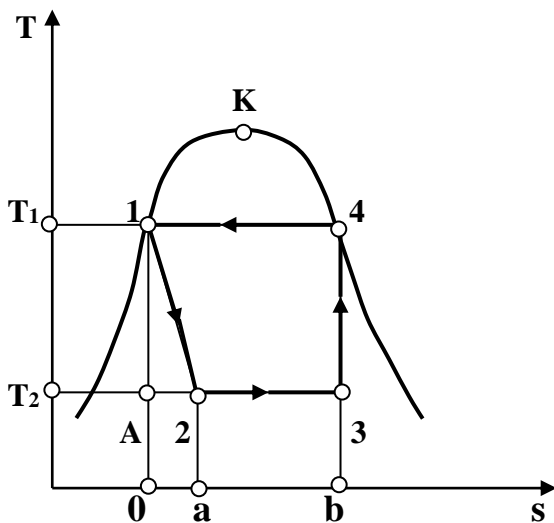
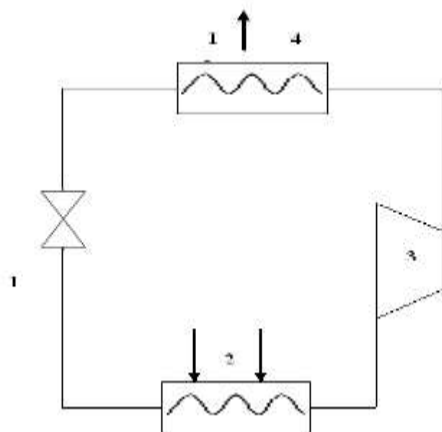


uludyr. Diagrammadan görnüşi ýaly, sowadyjy maşyny işlände sowadylýan gurşawdan alynýan ýylylyk  $a_1 23 b_1$  meýdan bilen, Karnonyň ters öwrülişikli aýlawynda sowadylýan gurşawdan alynýan ýylylyk bolsa  $a_1 a 3 b_1$  meýdan bilen şekillendirilýär. Bu bolsa işçi jisimi howa bolan maşynlaryň sowadyjy koeffisiýentiniň Karnonyň ters aýlawynyň sowadyjy koeffisiýentine seredeninde birnäçe esse kiçidigini görkezýär. Howa maşynlarynyň sowadyjy koeffisiýentiniň kiçiligi üçin olar häzir durmuşda ulanylmaýar.

### **11.3. İşçi jisimi bug bolan kompressorly sowadyjy maşynlaryň aýlawy**

Bu maşynlaryň howa bilen işleýän maşynlardan esasy tapawutlarynyň biri, birinjiden işçi jisim hökmünde howanyň deregine buguň ulanylýanlygynda, ikinjiden bolsa detonatoryň deregine drosselirleýji ventiliň ulanylýanlygyndadyr. Bu ventilde işçi jisimiň sowamagy onuň adiabatik giňelmeginiň hasabyna iş etmeklikde bolman, eýsem geçen baplarda seredilen drosselirlenme effektiniň netijesinde işçi jisimiň sowamasynyň bolup geçmegine esaslanýar. Bu görnüşli sowadyjy maşynlarda köplenç işçi jisim hökmünde ammiak ya-da freon ulanylýar. Bug kompressorly sowadyjy maşynyň iş düzgüni bilen tanyşmak üçin onuň shemasyna we aýlawyna seredip geçeliň (11.3-nji surat).

Shemadan görnüşi ýaly, sowadylýan kameradaky bugardyjydan ýeňil bugarýan suwuklykdan bugaran, guraklyk derejesi ýokary bolan bug kompressora berilýär. Kompressorda bu bug adiabatik gysylýar we aşy gyzan ýagdaýa getirilýär. Aşy gyzan buguň basyşy we temperaturasy ýokarlanýar. Bu proses suratda 3-4 çyzyk bilen şekillendirilýär. Soňra sowadyjyda (4) ilki bada aşy gyzan bug



11.3-nji surat. Bug kompressorly sowadyjy maşynyň shemasy we onuň aýlawy

sowaýar, soňra bolsa hemişelik basyşda kondensirlenýär (suwuklyga öwrülýär). Suratda bu proses 4-1 çyzyk bilen aňladylýar.  $p_1$  basyşy we  $T_1$  temperaturasy bolan suwuklyk ventile geçirilýär we ol ýerde drosselirlenme prosesiniň netijesinde basyşy  $p_2$ -ä hem-de

temperaturasy  $T_2$ -ä çenli birnäçe esse peselen ýagdaýda çyg bug we suw görnüşde çykarylýar (1-2 çyzyk). Drosselirlenmede öwrülişiksiz proses bolup geçýär. Şonuň üçinem işçi jisimiň giňelmesi 1-2 adiabatik çyzyk boýunça bolman,  $1-2'$  çyzyk boýunça bolup geçýär. Şeýlelikde aýlaw ýene gaýtalanýar.

Bug bilen işleýän kompressorly sowadyjy maşynyň sowadyjy koeffisiýenti  $E = \frac{i_3 - i_2}{i_4 - i_3}$  formula bilen kesgitlenilýär.

Bu formula  $l_a = i_4 - i_3$  we  $q_2 = i_3 - i_2$  bolany üçin ýokarky formulany aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

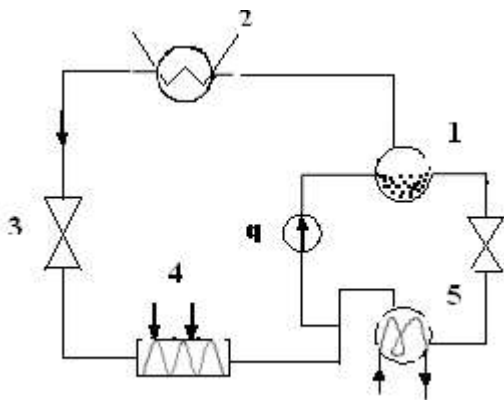
$$E = \frac{q_2}{l_a}. \quad (11.6)$$

Bug kompressorly sowadyjy enjamlar beýleki sowadyjy maşynlara, esasan hem işçi jisimi howa bolan sowadyjy maşynlara garanyňda has kämil maşynlardyr. Şonuň üçin hem bu maşynlar durmuşda we tehnikada has köp ulanylýarlar.

#### 11.4. Absorbsion sowadyjy maşynlar

Absorbsion sowadyjy maşynlarda işçi jisim hökmünde çyg bug ulanylýar. Absorbsiýa diýlip bugy garyndynyň ýa-da suwuklygyň ähli göwrümi boýunça siňdirilme prosessine aýdylýar. Sowadyjy maşynlaryň bu görnüşlerinde suwuklygyň bugynyň siňdirilmek hadysasy ulanylýar. Belli boluşy ýaly, arassa jisimlere garanyňda garyndylar öz düzümindäki maddanyň buguny absorbsirlemäge (siňdirmäge) has ukyplydyr. Sowadyjy maşynlarda ulanylýan suwuk garyndyny düzýän suwuklyklaryň gaýnama temperaturasy biri-birinden näçe köp tapawutlansa şonça-da amatlydyr. Şeýle hem bu garyndylarda suwuk garyndynyň temperaturasy ony düzýän suwuklygyň bugunyň temperaturasyndan ýokary bolsa-da, ol bugy siňdirmäge ukyply bolmalydyr. Köplenç absorbsion sowadyjy maşynlarda suw-ammiak garyndysy, LiBr, CaCl we ş.m. garyndylar ulanylýar.

Absorbsion sowadyjy maşynlar kompressorly sowadyjy maşynlardan buguň gysylyş usuly boýunça tapawutlanýarlar. Sowadyjy maşynlaryň esasy bölekleri hökmünde bug öndüriji, sowadyjy, bugardyjy, işçi wentil, absorber hem-de sorujy peýdalanylýar. Absorbsion sowadyjy maşynyň shemasy 11.4-nji suratda görkezilendir.



11.4-nji surat. Absorbsion sowadyjy maşynyň shemasy

Bug öndürijide daşyndan berilýän ýylylygyň (gyzdyrylmanyň) hasabyna garyndydaky, meselem, suw-ammiak garyndydaky ýeňil bugarýan ammiak suwdan oňň bugarýar we sowadyja berilýär. Sowadyjyda ammiagyň bugy kondensirlenýär, sowamagyň netijesinde gysylýar we doýgun suwuk ammiak drosselirleýji wentile (3) geçirilýär. Ol ýerde drosselirlenme effekti netijesinde sowayar. Soňra bolsa wentilden çykýan ammiagyň çyg bugy bugardyja (4) berilýär. Bugardyja gelen pes basyşly, pes temperaturaly çyg bug we suwuklyk daşky gurşawyň ýylylygyny kabul edýär we netijede suwuklyk bugarýar. Bugarma hemişelik temperaturada bolup geçýär. Buguň bugardyjyda guraklyk derejesi ýokarlanýar we  $x=1$  bolýar. Bugardyjydan çykan gurak ammiagyň bugy absorbere (5) berilýär we garyndy tarapyndan siňdirilýär. Ammiagyň garyndyda siňdirilme proses netijesinde ýylylyk bölünip çykýar we garyndynyň umumy temperaturasy ýokarlanýar. Suw-ammiak garyndysynyň temperaturasyň barha ýokarlanmagy absorbsiýa prosesiniň

haýallamagyna alyp barýar. Şonuň üçin hem absorbsiýa prosesiniň temperaturasyny peseltmek üçin ony ýörite sowadýarlar. Soňra bolsa ammiaga baý suw-ammiak garyndysy nasos (7) arkaly bug öndürijä (1), bugaran ammiagyň öwezini doldurmak üçin berilýär. Nasos bilen garyndy geçirilende garyndynyň basyşy ýokarlanýar we ol bug öndürijidäki garyndynyň basyşyna ýakynlaşýar. Absorberde ammiagyň yzygider siňdirilmegi netijesinde garyndynyň konsentrasiýasy ýokarlanýar. Şonuň üçin hem onuň konsentrasiýasyny azaltmak üçin bug öndürüjiden ammiaga garyp, köpüsi suw bolan garyndyny reduksion wentilin (6) üsti bilen absorbere berilýär. Işçi wentilde (6) garyndynyň basyşy peselýär, emma onuň temperaturasy üýtgemän galýar. Sebäbi ammiagy az bolan garyndy özünü edil suw ýaly alyp barýar. Onuň temperaturasynyň üýtgemesi bolsa örän azajykdyr. Bug öndürijide ammiak ýene bugarýar we şeýdip aýlaw gaýtalanýar.

Absorbsion sowadyjy maşynlarynyň ýylylyk-tehniki kämilligini derňemek üçin ýylylyk ulanylyş diýlip atlandyrylýan koeffisiýentden peýdalanýarlar. Bu koeffisiýent aşakdaky formula bilen aňladylýar:

$$E = \frac{q_2}{q_{b,\delta} + q_n} \quad (11.7)$$

Bu ýerde  $q_2$  - sowadylýan jisimden, daşky gurşawdan alynýan udel ýylylyk;  $q_{b,\delta}$  - bug öndürijide ammiagy bugartmak üçin sarp edilýän udel ýylylyk;  $q_n$  - sorujynyň işlemegi üçin sarp edilýän energiýanyň netijesinde ýüze çykýan ýylylyk. Adatça  $q_{b,\delta} \gg q_n$ , şonuň üçin  $q_n$  hasaba alynmaýar.

Onda ýokarky formula aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$E = \frac{q_2}{q_{b,\delta}}. \quad (11.8)$$

Absorbsion sowadyjy maşynlar bug kompressorly sowadyjy maşynlara garanda az ulanylýar. Onun esasy sebäbiniň biri bug öndürilmegi üçin köp ýylylygyň sarp edilmegi bolsa, ikinjisi bu maşynlaryň köpüsiniň ammiak bilen işleýänligidir (ammiak suw garyndysy sowadyjy maşynlarda işçi jisim hökmünde

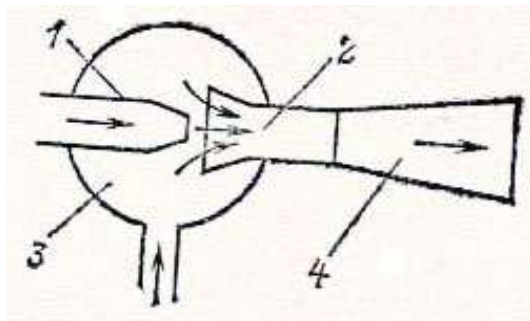
ulanylmagynyň sebäbi onuň ýylylyk fiziki häsiýetleriniň beýleki garyndylara görä amatlylygyndadyr). Ammiak bolsa, belli bolşy ýaly, howply gaz, onuň howada toplanmagy partlama howpyny döredýär. Galyberse-de, ammiak reňkli metallar bilen reaksiýa geçip ony posladýar. Emma, absorbsion maşynlarda kompressoryň ýoklugy üçin bu maşynlar ulanyşda kompressorly maşynlar bilen deneşdirilende has ygtybarlydyr. Eger-de, ýokarda agzalan kemçilikler göz önünde tutulsa, onda absorbsion maşynlaryň kompressorly maşynlardan hem öňe düşmegi mümkindir. Onuň şeýle bomagy üçin bug öndürilmegine sarp edilýän ýylylygyň mukdary azaldylmaly hem-de ammiaga gerek freon ýa-da başga amatly işçi jisimleri ulanmagyň inženerçilik çözümleri işläp düzmeli.

Bugarmaga sarp edilýän ýylylyk kiçi potensially käbir energetik enjamlardan çykarylyp göýberilýän suwdan, howadan we tüsseden alynsa ýa-da ammiagy bugartmak üçin gun energiýasy ulanylsa, onda bu sowadyjy enjamlaryň ykdysady-tehniki netijeliligi ýokarlanýar. Biziň ýurdymyzda gün energiýasy institutynyň alymlarynyň tagallasy bilen jaýlary tomusda salkynlatmak üçin gün energiýasyny ulanýan absorbsion sowadyjy enjam işlenip düzüldi we synag edildi. Gün energiýasyny ulanýan bu sowadyjy enjamda suw bilen  $L_i$   $B_r$  garyndysy ulanylýar.

### **11.5. Bug ežektorly sowadyjy enjam**

Işçi jisim hökmünde çyg bug ulanýan sowadyjy maşynlaryň ýene bir görnüşine bug ežektorly sowadyjy maşynlar diýilýär. Bug kompressorly maşynlarda çyg bug kompressorlarda gysylsa, bu kysymly maşynlarda bug ežektor diýilýän abzal arkaly gysylýar. Ilki bilen ežektor ýa-da çüwdürimli kompressorlar diýlip atlandyrylýan abzallar we olaryň işleýiş düzgüni bilen gysgaça tanşalyň. Ežektor ýokary tizlikde hereket edýän gurşawdaky işçi jisiminden (suwuklyk, bug, gaz) beýleki gurşawa energiýa geçirilmegine esaslanyp, işçi jisimiň gysylmagyny we geçirilmegini üpjün edýän abzaldyr. Abzalyň işleýiş düzgünine düşünmek üçin onun shemasyna seredeliň (11.5-nji surat).

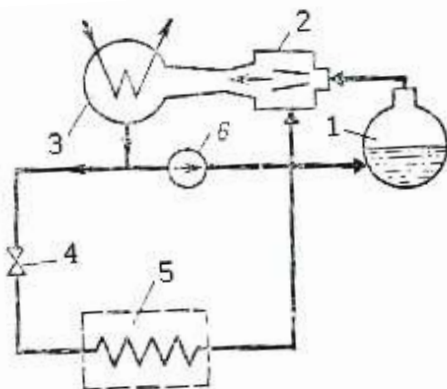
Suratdan görnüş i ýaly, işçi jisim soplada giňäp, uly tizlik bilen garyjy kamera (2) berilýär. Şu kamera sorujy kameradan (3) gysyljak gaz ýa-da bug berilýär. Soňra garyndy diffuzora (4) berilýär. Bu ýerde bolsa çüwdürimiň kinetik energiýasy potensial energiýa öwrülýär.



11.5-nji surat. Ežektor abzalynyň shemasy

Bug ežektorly maşynlar hem örän gadymky sowadyjy maşynlaryň biridir. Bug öndürijiden (1), ežektoryň garyjy kamerasyndan (2), sowadyjydan (3), drosselirleýji wentilden (4), bugardyjydan (5) hem-de sorujydan ybarat bug ežektorly enjamyň shemasy 11.6-njy suratda görkezilendir. Sowadyjy maşynyň işleýiş düzgüni aşakdaky ýalydyr.

Bug öndürijiden (gazandan) suw bugy soplanyň üsti bilen giňäp, uly tizlik bilen garyjy kamera berilýär. Sopladan giňäp gelýän bug hem-de aşakdaky bugardyjydan kamera sorulan bug kamerada garylyp,  $p$  basyşda sowadyja geçirilýär. Sowadyjyda bug öz ýylylygyny berýär we suwuklyga öwrülýär. Sowadyjyda bugun basyşy üýtgemeyär. Soňra kondensat sowadyjydan çykarylýar we onun bir bölegi sorujynyň (6) kömegi bilen yzyna, bug öndürijä berilýär. Galan köp bölegi bolsa drosselirleýji wentile berilýär.



### 11.6-njy surat. Bug ežektorly enjamyň shemasy

Doýgun suwuň giňelmegi netijesinde emele gelýän suw bugunyň basyşy drosselirleýji wentilden geçende peselýär we bugardyja geçirilýär. Bugardyjydan bolsa suw bugy sowadylýan gurşawdan alynýan ýylylygyň hasabyna ýokary guraklyk derejesinde ežektora (garyjy kamera) sorulýar. Bug ežektorly sowadyjy maşynlaryň ýylylyk ulanylyjylyk koeffisiýenti ýokarda sereden absorpsion maşynyň formulasy bilen kesgitlenýär.

Ežektorly maşynlarda kompressorly maşynlardan tapawutlylykda işçi jisimini gysmak üçin daşyndan berilýän mehaniki energiýa sarp edilmän, bug öndürijidäki emele gelýän buguň kinetik energiýasy harçlanýar. Emma oňa garamazdan bug ežektorly sowadyjy maşynlarda öwrülişiksiz prosesi netijesinde sopladan giňäp çykýan akymyň kinetik energiýasynyň käbir bölegi ýitgä harçlanylýar. Bu görnüşli sowadyjy maşynlar ykdysady taýdan bug kompressorly maşynlardan örän pesdir. Galyberse-de bu maşynlarda suw bugy işçi jisim hökmünde ulanylýanlygy üçin has pes temperaturany almak mümkin däl. Bu maşynlar arkaly sowadylýan gurşawyň temperaturasyny takmynan  $3-10^0\text{C}$  aralyklarda saklamak bolýar.

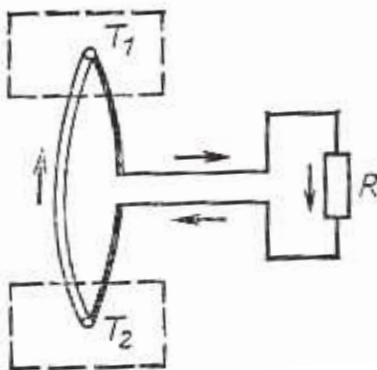
Indi bolsa beýleki sowadyjy enjamlar bilen gysgaça tanyşalyň.

Heniz durmuşda giňden ýaýramadygam bolsa geljegi uly bolan termoelektrik sowadyjy enjam Peltýeniň effekteine esaslanandyr.



Peltýeniň effekte göre materiallary dürli bolan iki geçirijiden ýasalan zynjyrdan tok göýberilse, onda onuň bir siminden ýylylyk bölünip çykýar, beýleki simi ýylylygy kabul edýär. Onda 11.7-nji suratda görkezilişi ýaly, iki dürli materialdan düzülen zynjyryň, iki geçirijiniň birleşýän ýylylygy kabul edýän düwünini sowadylýan gurşawda, ýylylygy bölüp çykarýan düwünini bolsa daşky gurşawda ýerleşdirsek, onda biz termoelektrik sowadyjy maşynynyň ýönekeý bir görnüşini alarys.

Görnüşini ýaly, termoelektrik sowadyjy eniämyň gurluşy örän ýönekeýdir.



11.7-nji surat. Termoelektrik sowadyjy maşynynyň ýönekeý shemasy

Bu enjamlarda hereket edýän agregat, sorujy we beýleki energiýalary talap edýän serişdeler ýok. Emma şeýle-de bolsa, bu enjamlar termodinamiki jähtden onçakly kämil dälligi sebäpli entek kän ulanylmaýarlar. Geljekde ol enjamlaryň termodinamiki netijeliligi ýokarlandyrylsa, onda gurluşynyň ýönekeýligi hem-de ygtybarlylygy üçin olar durmuşda we tehnikada ginden peýdalanylýar.

Şeýle sowadyjy enjamlaryň ulaglaryda has hem köp ulanylmak mümkinçiligi bardyr. Indi soňky döwürde gysg aýlary otaglary ýylatmak, tomus aýlary hem sowatmak üçin amatly bolan we ýüze çykyp başlan, ýylylyk nasoslary diýlip at berilýän gurluş bilen gysgaça tanyş bolalyň. Ýylylyk nasoslary hem adaty sowadyjy maşynlar ýaly daşyndan energiýa sarp etmek arkaly ýylylygy pes

temperaturaly gurşawdan ýokary temperaturaly gurşawa geçirmegi amala aşyrýar. Aslynda ýylylyk nasoslary siziň öýňüzdäki ulanylan adaty kondisioneriňizden hiç hili tapawudy ýokdur. Tomsuna (kondisioner) ýylylyk nasosy öýdäki howadan ýylylyk alyp, ony has ýokary temperaturaly daşarky sreda zyňýar. Eger-de kondisioneriň öý tarapynda bakdyrylan bugardyjysyny daşaryk bakdyryp goýsaň, sowadyjysyny bolsa öýe tarap bakdyryp ýerleşdirseň, onda ol, meselem, gyş aýlary daşky has sowuk sredadan ýylylyk alyp, ol ýylylygy oňa görä has gyzgyn öýüň howasyna berer. Ýylylyk nasosynyň hyýaly aýlawy edil sowadyjy maşynyň aýlawy ýalydyr.

Ýylylyk nasoslarynyň netijeliligi ýyladyş koeffisiýenti arkaly häsiýetlendirilýär. Ol koeffisiýent gyzdrylýan gurşawa berilýän ýylylygyň aýlaw sarp bolan işe bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýär:

$$E_{\text{yyl}} = \frac{q_1}{l_a}.$$

Ýyladyş koeffisiýenti bilen sowadylyş koeffisiýentiniň arasynda aşakdaky ýaly baglanyşyk bar:

$$q_1 = q_2 + l_a \text{ bolany üçin}$$

$$E_{\text{yyl}} = \frac{q_1}{l_a} = \frac{q_2 + l_a}{l_a} = \frac{q_2}{l_a} + 1 = E + 1.$$

Ýagny  $E_{\text{yyl}} = E + 1$ . Diýmek,  $E_{\text{yyl}}$ -yň bahasy sowadylyş koeffisiýentiniň bahasyndan 1 birlik köp eken. Atalyýetde ulanylyan ýylylyk nasoslarynyň ýyladyş koeffisiýenti 2,5-3, atalykda. Bu ululygyň bahasy näçe ýokary bolsa, şonça-da ýylylyk nasosy termodinamiki taýdan kämil diýlip hasap edilýär. Elbetde bu koeffisiýentiň ululygy ýokarky temperaturanyň derejesine baglylykda onlarça we ýüzlerçe baha çenli hem artyp biler. Ýöne şol ýylylyk nasosynyň berýän ýylylygynyň iş başarjaňlygy gaty pesdir. Emma ýyladyş koeffisiýenti 3-3,5 we ondan hem ýokary ýylylyk nasosy ýyladylyş ulgamynda ulanylsa, ykdysady taýdan örän amatlydyr. Her bir sarp edilen 1 kWt energiýa derek 3,5-4 kWt

energiýa almaklyk örän kyndyr. Bu enjamlar ýeke jaýlar ýyladylanda däl-de, olar sowadyladanda-da ulanylsa, onda olaryň özüne düşýän gymmaty hasam peselýär. Şeýle ýylylyk sorujylary daşary ýurt kompaniýalary tarapyndan ýasalyp, olar ýaşaýyş önümçilik we beýleki jaýlary ýylatmakda we sowatmakda giňden ulanylýar.

## **II BÖLÜM**

### **ÝYLYLYK GEÇIRIJILIK**

#### **On ikinji bab. ÝYLYLYK GEÇIRIJILIGIŇ ESASY**

#### **KANUNLARY. ÝYLYLYK GEÇIRIJILIK**

##### **12.1 Umumy maglumat**

Geçen baplarda termodinamikanyň kanunlary bilen tanyş bolanymyzda ýylylygyň öz-özünden gyzgyn sredadan sowuk sreda geçýänligi barada aýdypdyk. Şeýle ýylylyk geçiriş islendik jisimiň göwrümi boýunça temperatura birmeňzeş bolmasa amala aşyrylyp bilner.

Sredalaryň arasyndaky temperaturanyň ýa-da jisimleri düzýän bölekleriň temperaturasynyň dürlüligi sebäpli ýylylyk geçirilişde jisimiň ýa-da bölekleriň arasynda içki energiýanyň çalyşmasy bolup geçýär. Ýylylyk geçirijiligiň içki mehanizmi molekulýar-kinetik nazaryýetiň esasynda düşündirilýär. Bu nazaryýetiň esasynda energiýa geçirilişi jisimi düzýän in kiçi bölejikleriň (molekulalaryň, atomlaryň we elektronlaryň) ýylylyk we özara energiýa täsirleri arkaly amala aşyrylýar. Diýmek, jisimlerde ýylylyk geçirijilik jisimleriň gyzgyn böleginden sowuk bölegine molekulalaryň ýylylyk geçirmesi arkaly bolup geçýän eken. Jisimleriň temperaturasynyň göwrüm boýunça dürli paýlanmagy netijesindeki ýylylyk geçirijilik derňelende jisimleriň molekulýar gurluşyna seredilmeýär we jisim ýa-da madda tutuş sreda hökmünde kabul edilýar. Başgaça aýdylanda ýylylyk geçirijilik nazaryýetinde jisimleriň ýa-da seredilýän sredanyň molekulýar gurluşy hasaba alynmaýar.

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

## 12.2. Temperatura meýdany

Ýokarda aýdylyşy ýaly ýylylyk geçirijilik hadysasy aýry-aýry bölejikleriň ýa-da jisimleriň dürli temperaturaly biri-birlerine galtaşmasy bolanda ýüze çykýar. Maddanyň agregat halyna baglylykda mikrobölejikleriň energiýasy dürli usullar boýunça geçirilýär. Meselem, hereketsiz gazlarda energiýa molekulalaryň we atomlaryň diffuziýasy arkaly geçirilýär. Suwuklyklarda we gaty jisimlerde energiýa maýyşgak tolkun görnüşinde ýaýraýar. Metallarda bolsa energiýa esasan erkin elektronlaryň hereketi arkaly geçirilýär.

Islendik ýylylyk geçirijilik ýa-da ýylylyk çalyşyk jisimlerdäki 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 aňladylýar:

$$t = f(x, y, z, \tau). \quad (12.1)$$

Bu deňlemä temperatura meýdanynyň matematiki aňladylyşy diýilýär.

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

$$t = f(x, y, z) \quad (12.2)$$

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 matematiki taýdan aşakdaky görnüşde ýazylýar:

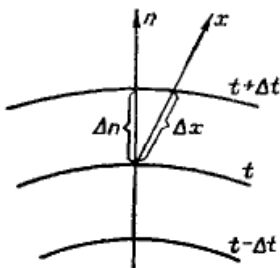
$$t = f(x, y, z, \tau); \quad t = f(x, y, \tau) \text{ we } t = f(x, \tau).$$

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

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

### 12.3. 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 **izotermiki üsti** diýilýär. Izotermiki üstler kesişip bilmeýärler, sebäbi şol bir wagtda şol bir nokat dürli temperatura eýe bolup bilmeýär. Izotermiki üstleriň tekizlik bilen kesişmegi izotermiki çyzyklary emele getirýär. Olara izotermalar, ýagny birmeňzeş temperaturaly çyzyklar diýilýär. Izotermalar edil izotermiki üstleri ýaly kesişmeýärler we jisimiň çäginde üzülmeýärler. Olar tutuşlygyna jisimiň içinde ýerleşýärler ýa-da jisimiň üstlerinde gutarýarlar. 12.1-nji suratda biri-birleri bilen  $\Delta t$  ululyga tapawutlanýan izotermalar görkezilen. Suratdan görnüşi ýaly, jisimiň temperaturasy izotermiki üstleri kesýän ugur boýunça ýaýraýar. Ölçeg birligindäki temperatura gradiýenti izotermiki üste geçirilen normal boýunça bolýar.



12.1-nji surat. Izotermalar.

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

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta n} = \frac{\partial t}{\partial n} = \overrightarrow{grad} \cdot \vec{t}. \quad (12.3)$$

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

$$\begin{cases} (grad\ t)_x = \frac{\partial t}{\partial n} \cos(n, x) = \frac{\partial t}{\partial x} \\ (grad\ t)_y = \frac{\partial t}{\partial n} \cos(n, y) = \frac{\partial t}{\partial y} \\ (grad\ t)_z = \frac{\partial t}{\partial n} \cos(n, z) = \frac{\partial t}{\partial z} \end{cases} \quad (12.4)$$

#### 12.4. Ýylylyk akymy. Furýeniň kanuny.

Tekizlik boýunça ýylylygyň ýaýramagynyň şerti jisimleriň islendik nokatlarynda temperatura gradiýentiniň nola deň bolmazlygydyr. Jisimlerde ýylylyk geçirilişi tejribe üsti bilen öwrenen belli alym Furýe izotermiki üstden kesgitli wagt aralygynda geçýän ýylylygyň temperatura gradiýentine proporsionaldygyny bilipdir. Furýe  $dF$  üstden  $d\tau$  wagt aralygynda geçýän  $dQ$  ýylylygy aşakdaky formula bilen aňladypdyr:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau. \quad (12.5)$$

Bu formuladaky  $\lambda$  – proporsionallyk koeffisiýenti tejribe üsti bilen kesgitlenip, oňa ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti diýilýär. Bu koeffisiýent jisimiň (maddanyň) ýylylyk geçirijilik ukybyny häsiýetlendirip, onuň ölçeg birligi  $Wt/(m^0C)$ .

Wagt birliginde meýdany bir birlige deň bolan izotermiki üstünden geçýän ýylylyk mukdaryna ýylylyk akymynyň dykzlygy diýilýär. Ýylylyk akymynyň dykzlygy (1.5) formulanyň esasynda skalýar görnüşinde aşadaky ýaly ýazylyar:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}. \quad (12.6)$$

Formuladaky “–”-minus alamaty ýylylyk akymynyň temperatura gradiýentiniň tersine ugrukdyrylandygy üçündür. 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 dykzlygynyň (udel ýylylyk akymynyň) birligi bolsa  $\frac{Wt}{m^2}$ .

## 12.5. Ýylylyk geçirijiligiň deňlemesi

Ylymda we tehnikada ýylylyk hadysalary bilen baglanyşykly meseleler çözülende sredanyň (jisimiň) temperatura meýdanyny kesgitlemeli, temperatura meýdanyny kesgitlemek üçin hem ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesini ulanmaly bolýar.

Ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesini getirip çykarmak üçin öwrenilýän giňişlikden tükeniksiz kiçi  $dv$  göwrümi alalyň. Şol  $dv$  göwrümde  $d\tau$  wagtyň dowamynda ýylylyk geçirilişine seredeliň. Meseläniň çözüwini sadalaşdyrmak üçin şu aşadaky ýönekeýleşdirmeleri girizeliň:

- öwrenilýän jisim birjynsly we izotrop;
- fiziki parametrleri hemişelik;



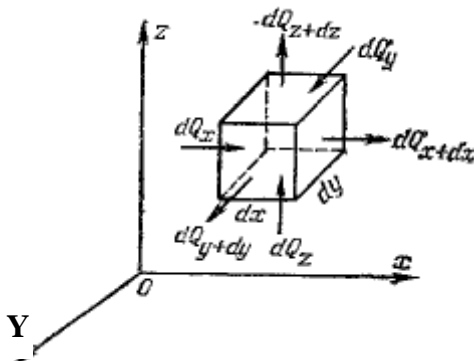
- temperaturanyň dürlüligi bilen döräp biljek deformasiýa seredilýän göwrümiň çäginde hasaba alardan az;

- jisimiň içindäki bolup biljek içki çeşme jisimiň göwrümi boýunça deňölçegli paýlanan.

Ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesiniň getirilip çykarylyşy energiýanyň saklanma kanunyna esaslanýar. Ýagny  $dv$  elementar göwrüme  $d\tau$  wagtyň dowamynda daşyndan berilýän  $dQ_1$  we içki çeşmäniň berýän  $dQ_2$  ýylylyk mukdarlary bilelikde  $dv$  göwrümli jisimiň içki energiýasyny ýa-da entalpiýasyny (hemişelik basysdaky ýa-da hemişelik göwrümdäki prosesslere baglylykda)  $dQ$  ululyga üýtgedýär.

$$dQ = dQ_1 + dQ_2 \quad (12.7)$$

$dQ_1$  kesgitlemek üçin jisimde taraplary  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$  bolan  $dv$  göwrümli parallelepipedini bölüp çykaralyň (12.2-nji surat)



12.2-nji surat. Ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesiniň getirilip çykarylyşy.

Suratda görkezilen  $Ox$ ,  $Oy$  we  $Oz$  oklaryň ugry boýunça ugrukdyrylan  $dQ_x$ ,  $dQ_y$ ,  $dQ_z$  we  $dQ_{x+dx}$ ,  $dQ_{y+dy}$ ,  $dQ_{z+dz}$  ýylylyk

akymalary udel ýylylyk akymalary arkaly aňladylýar. Meselem, ( $dy dz$ ) üstde  $d\tau$  wagtda berilýän ýylylyk

$$dQ_x = q_x dy \cdot dz \cdot d\tau \quad (12.8)$$

parallelepipedinň gapma – garşylykly üstlerinden çykýan  $Ox$  okuň ugruna ugrukdyrylan ýylylyk akymy

$$dQ_{x+dx} = q_{x+dx} dy \cdot dz \cdot d\tau. \quad (12.9)$$

Parallelepipedinň  $Ox$  okunyň ugry boýunça berilýän ýylylyk

$$dQ_{x_1} = dQ_x - dQ_{x+dx} = q_x dydzd\tau - q_{x+dx} dydzd\tau. \quad (12.10)$$

$q_{x+dx}$  funksiýa  $dx$  aralykda üznüksiz bolany üçin ony Teyloryň hataryna dargadylýar. Hataryň has kiçi agzalaryny taşlap, aşakdaky ululygy alarys:

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx. \quad (12.11)$$

Bu aňlatmany ýokarky formulada ornuna goýup

$$dQ_{x_1} = -\frac{\partial q_x}{\partial x} dx dy dz d\tau \quad (12.12)$$

formulany alarys.

Edil şoňa meňzeşlikde beýleki  $Oy$  we  $Oz$  oklar üçin hem  $dV$  göwrüme berilýän ýylylyklary goşup, ýylylyk geçirijilik arkaly  $dV$  göwrümlü parallelepipedde berilýän  $dQ_1$  ýylylygy aşakdaky ýaly ýazalyň:

$$dQ_1 = -\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}\right) dx dy dz d\tau. \quad (12.13)$$

Wagt birliginde we göwrüm birliginde içki çeşmeden bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny  $q_v$  bilen belläp,  $dQ_2$  bahasyny aşakdaky görnüşde aňladalyň:

$$dQ_2 = q_v d\nu d\tau \quad (12.14)$$

$dQ$ - bahasy termodinamiki proses baglylykda kesgitlenilýär. Eger-de izohorik proses seredilýän bolsa, onda  $d\nu$  göwrümlü parallelepiped berilýän ähli ýylylyk içki energiýany üýtgetmäge sarp edilýär.  $dQ = dU$ . Onda

$$dQ = dU = c_v \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau d\nu \quad (12.15)$$

Bu ýerde:  $c_v$  - massa birligindäki izohorik ýylylyk sygymy,  $J/(kg \cdot K)$ ;  $\rho$  - jisimiň dykyzlygy,  $\frac{kg}{m^3}$ .

(12.13), (12.14) we (12.15) formulalary (12.7) – formulada ornuna goýup alarys:

$$c_v \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = - \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + q_v \quad (12.16)$$

Eger, izobarik prosesde ýylylyk berilýän bolsa, onda ol jisimiň entalpiýasyny üýtgetmäge harçlanýar:

$$dQ = dH = c_p \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau d\nu = \frac{\partial i}{\partial \tau} d\nu \quad (12.17)$$

$c_p$  - massa birliginde izobarik ýylylyk sygymy,  $J/kg \cdot K$ ;

$i$  – udel entalpiýa,  $\frac{kJ}{kg}$ ;

Entalpiýanyň üsti bilen ýokarky (12.16) formula aşakdaky ýaly ýazylýar:

$$\rho \frac{\partial i}{\partial \tau} = - \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + q_v. \quad (12.18)$$

(12.16) we (12.18) formulalara degişlilikde ýylylyk geçirilişiniň izohorik we izobarik proseslerde energiýanyň differensial deňlemeleri diýilýär.

Ýokarky formulalary

$$q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}, \quad q_y = -\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \quad \text{we} \quad q_z = -\lambda \frac{\partial t}{\partial z}.$$

(12.16) formulada ornuna goýup we  $c_p \approx c_v \approx c$  aňladyp, ony aşakdaky görnüşde ýazalyň.

Eger-de  $\lambda$  üýtgeýän ululyk bolsa

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{c\rho} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) \right] + \frac{q_v}{c\rho} \quad (12.19)$$

ýa-da

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{c\rho} \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} t) + \frac{q_v}{c\rho}. \quad (12.20)$$

Eger  $\lambda = \text{const}$  bolsa, onda  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ , (a-temperatura

geçirijiligi) we  $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = \nabla^2 t$  bilen belläp indiki formulany alarys:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c\rho}.$$

(12.21)

Eger  $q_v=0$  bolsa, onda

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t. \quad (12.22)$$

Bu ýerde  $\nabla^2$  - Laplasyň operatory.

Silindrik koordinatalar ulgamynda

$$\nabla^2 t = \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}. \quad (12.23)$$

Bu ýerde  $r$  – radius wektor;  $\varphi$  - polýar burç;  $z$  – applikata.

Sferiki koordinatalary ulgamynda :

$$\nabla^2 t = \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \mu} \left[ (1 - \mu^2) \frac{\partial t}{\partial \mu} \right] + \frac{1}{r^2 (1 - \mu^2)} \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} \quad (12.24)$$

Bu ýerde  $\mu = \cos \theta$ ;  $\theta$  we  $\varphi$  polýar aralyk we uzaklyk;  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$  -

jisimiň fizika parametri bolup, ol temperaturanyň üýtgeýiş tizligini häsiýetlendirýär. Temperatura geçirijilik koeffisiýenti jisimiň ýylylyk inertililigini kesgitleýär.

Ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesini anyk ýylylyk proseslerinde ulanmak üçin, bu umumy prosesi beýan edýän deňlemä öwrenilýän prosesiň hususy ýagdaýyny häsiýetlendirýän matematiki ýazgylary goşmaly. Ýokarky deňleme bilen jisimi hususy ýagdaýyny häsiýetlendirýän goşmaça matematiki ýazgy bilelikde ýylylyk geçirijilik prosesini doly häsiýetlendirer.

Hususy ýagdaýy häsiýetlendirýän matematiki ýazgylara gyra şertler diýilýär.

Bu şertler aşakdakylardan ybaratdyr:

- jisimiň ölçegini we görnüşini häsiýetlendirýän geometriki şert;
- sredanyň ýa-da jisimiň fiziki häsiýetlerini öz içine alýan fiziki şert;
- başlangyç şert. Başlangyç wagtda jisimdäki temperaturanyň paýlanyşy;
- çäk şerti.

Çäk şertleri aşaky görnüşlerde berip bolýar.

Birinji görnüşli çäk şertde jisimiň üstünde temperaturanyň ululygy berilýär.

$$t_c = f(x, y, z, \tau), \text{ ýönekeý görnüşde } t_c = \text{const}.$$

Ikinji görnüşli çäk şertde jisimiň üstüniň islendik nokadynda we islendik wagtda ýylylyk akymynyň dykzyzlygy berilýär:  $q_n = f(x, y, z, \tau)$ . Ýönekeý görnüşde  $q_n = \text{const}$ .

Üçünji çäk şertde daşky sredanyň temperaturasy we jisimiň üsti bilen ony gurşap alýan sredanyň arasyndaky ýylylyk çalşyk kanuny berilýär:

$$\left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)_c = -\frac{\alpha}{\lambda} (t_c - t_j). \quad (12.25)$$

Anyk meselelerde, köplenç çäk şerti hökmünde jisimiň iki tarapynda ony çäklendirýän gyrada (jisim-sreda) temperaturanyň we ýylylyk akymynyň deňlik şerti ulanylýar:

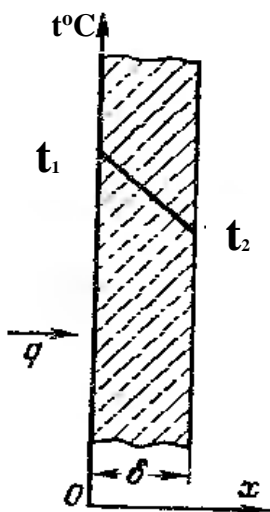
$$\begin{cases} \lambda_1 \left( \frac{\partial t_1}{\partial n} \right)_{c_1} = \lambda_2 \left( \frac{\partial t_2}{\partial n} \right)_{c_1} \\ t_1(x_1, y_1, z_1, \tau) = t_2(x_2, y_2, z_2, \tau) \end{cases} \quad (12.26)$$

## On üçünji bap. DURNUKLY ÝYLYLYK KADADA ÝYLYLYK GEÇIRIJILIK

### 13.1 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, iki tarapy vertikal izotermik üstler bilen çäklenen diwaryň ýylylyk geçirijiligine seredeliň (13.1-nji surat ).



13.1-nji surat.  
Bir jynsly tekiz  
diwardaky ýylylyk

Goý bu diwaryň bir üstüniň temperaturasy beýleki üstüniň temperaturasyndan ýokary bolsun, ýagny  $t_1 > t_2$ . Şeýle ýagdaýda Furýeniň kanuny boyunca udel ýylylyk akym

$$q = -\lambda \text{ grad } t = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}, \quad (13.1)$$

bu ýerden

$$dt = -\frac{q}{\lambda} dx.$$

Integrirläp indiki aňlatmany alarys:

$$t = -\frac{q}{\lambda} x + C$$

C- integrirlemek hemişeligi.

Ýokarky formuladan  $x=0$  bolanda  $t=t_1=C$  gelip çykýar,  $x=\delta$  bolanda bolsa aşakdaky alynýar:

$$t = t_2 = -q \frac{\delta}{\lambda} + C.$$

Soňky iki formulalary biri-birinden aýryp

$$t_1 - t_2 = C - \left( -q \frac{\delta}{\lambda} + C \right) = q \frac{\delta}{\lambda}$$

formulany alarys.

Bu ýerden ýylylyk akymy üçin aşakdaky formulasyny alarys:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2). \quad (13.2)$$

Bu formula temperaturanyň birjynsly diwaryň galyňlygyna baglylykda çyzykly kanun boýunça üýtgeýändigini görkezýär (surata seret).

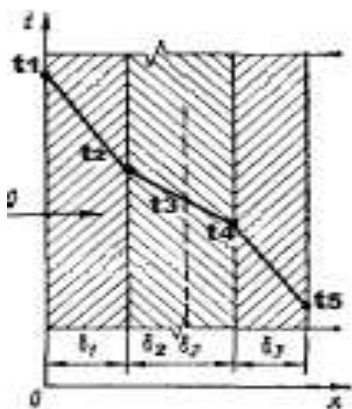
$\frac{\lambda}{\delta}$  - ululyga diwaryň ýylylyk geçirijiligi,  $\frac{\delta}{\lambda}$  ululyga bolsa

diwaryň **ýylylyk garşylygy ýa-da termiki garşylyk** diýilýär.

Hasaplamalar geçirlende ýokarky deňleme indiki görnüşde hem ulanylýar:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda}}.$$





13.2-nji surat Köp  
gatlakly tekiz  
diwaryň ýylylyk  
geçirijiligi

Eger diwar dürli galyňlykly  
dürli materiallardan ýasalan  
gatlaklardan durýan bolsa, (13.2-nji  
surat) onda ýylylyk geçirijiligiň  
durnuklygy sebäpli her gatlak üçin  
 $q$ - ululygyň bahasy birmeňzeşdir.  
Meselem, dört gatlakly diwar üçin

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_1 - t_2) \quad q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_2 - t_3)$$

$$q = \frac{\lambda_3}{\delta_3} (t_3 - t_4); \quad q = \frac{\lambda_4}{\delta_4} (t_4 - t_5).$$

Bu fomulalardan:

$$t_1 - t_2 = q \frac{\delta_1}{\lambda_1},$$

$$t_2 - t_3 = q \frac{\delta_2}{\lambda_2},$$

$$t_3 - t_4 = q \frac{\delta_3}{\lambda_3},$$

$$t_4 - t_5 = q \frac{\delta_4}{\lambda_4}.$$

Bu deňlikleri goşup, alarys:

$$t_1 - t_5 = q \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right).$$

bu ýerden

$$q = \frac{t_1 - t_5}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}}. \quad (13.3)$$

Bu formula dört gatlakly diwaryň umumy ýylylyk garşylygynyň aýratynlykdaky gatlaklaryň ýylylyk garşylyklarynyň jemine deňdigini görkezýär.

Soňky formulany islendik  $n$ -gatlakly diwar üçin hem ýazmak bolar:

$$t_{baş} - t_{ahyr} = q \sum_{i=1}^n \left( \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right)$$

ýa-da

$$q = \frac{t_{baş} - t_{ahyr}}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right)}. \quad (13.4)$$

### 13.2 Silindr görnüşli diwarlaryň ýylylyk geçirijiligi

Içki we daşky diametrleri deňişlilikde  $d_1$  we  $d_2$  bolan  $\ell$  uzynlykly turbanyň ýylylyk geçirijiligine seredeliň. Onuň içki we daşky üstleriniň  $t_1$  we  $t_2$  temperaturalary hemişelik bolanda ýylylyk akymynyň formulasyny kesgitläliň.

Gapdal üstüniň meýdany  $F = 2\pi l$  bolan silindr üçin Furýeniň kanuny

$$Q = -\lambda F \operatorname{grad} t = -\lambda 2\pi r l \frac{dt}{dr}, \quad (13.5)$$

bu ýerden

$$dt = -\frac{Q}{\lambda 2\pi r l} \cdot \frac{dr}{r}.$$

Bu deňligi  $r=r_1$  bolanda  $t = t_1$  we  $r=r_2$  bolanda  $t = t_2$  şertlerde integrirläliň:

$$t_1 = -\frac{Q}{\lambda 2\pi r l} \ln r_1 + C \quad \text{we} \quad t_2 = -\frac{Q}{\lambda 2\pi r l} \ln r_2 + C,$$

bu ýerde

$$t_1 - t_2 = -\frac{Q}{\lambda 2\pi l} (\ln r_1 - \ln r_2) = \frac{Q}{\lambda 2\pi l} (\ln r_2 - \ln r_1) = \frac{Q}{\lambda 2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

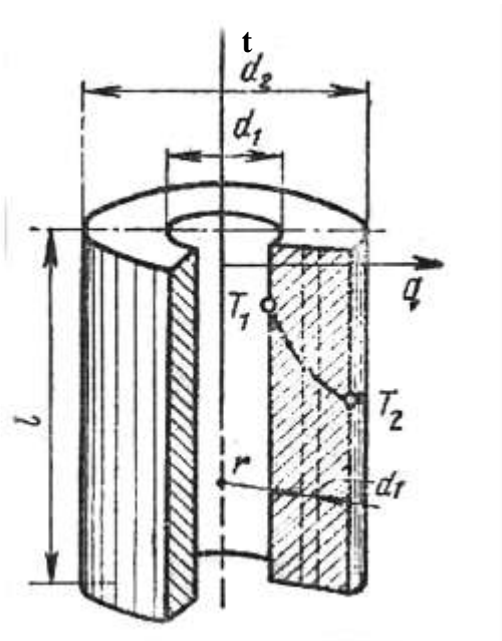
Bu formula turbalaryň diametrleri arkaly aňladylanda indiki görnüşe eýe bolýar:

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{\lambda 2\pi l} \ln \frac{d_2}{d_1}. \quad (13.6)$$

Bu ýerden ýylylyk akymy üçin indiki formulany alarys:

$$Q = \frac{\lambda 2\pi l (t_1 - t_2)}{\ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (13.7)$$

Bu formula boýunça geçirilen hasaplamalar  $\Delta t = f\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$  baglylygyň egri çyzyklydygyny görkezýär.



13.3-nji surat. Silindr görnüşli diwar

Silindr görnüşli turbadan çykýan udel ýylylyk akymy indiki formula bilen kesgitlenýär:

$$q_{\ell} = \frac{Q}{l} = \frac{2\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (13.8)$$

Takmynan hasaplamalarda  $\frac{d_2}{d_1} < 2$  bolanda silindr görnüşli turbanyň 1 metrindäki udel ýylylyk akymy

$$q_e = \frac{\lambda}{\delta} \pi d_{ort} (t_1 - t_2). \quad (13.9)$$

formula arkaly kesgitlenip bilner:

bu ýerde  $\delta = \frac{d_1 - d_2}{2}$  - diwaryň ortaça galyňlygy; silindiriň ortaça

diametri  $d_{ort} = \frac{d_1 + d_2}{2}$ .

Durnukly ýylylyk kadada  $\ell$  uzynlykly dört gatlakly turba üçin  $t_1 > t_2 > t_3 > t_4 > t_5$  şertde

$$q_e = \frac{2\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{2\pi(t_2 - t_3)}{\frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}} = \frac{2\pi(t_3 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}} = \frac{2\pi(t_4 - t_5)}{\frac{1}{\lambda_4} \ln \frac{d_5}{d_4}}$$

bu ýerde

$$\left. \begin{aligned} t_1 - t_2 &= \frac{q_e}{2\pi} \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \\ t_2 - t_3 &= \frac{q_e}{2\pi} \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \\ t_3 - t_4 &= \frac{q_e}{2\pi} \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} \\ t_4 - t_5 &= \frac{q_e}{2\pi} \frac{1}{\lambda_4} \ln \frac{d_5}{d_4} \end{aligned} \right\}$$

Deňlemeler ulgamyndaky deňligiň sag we çep böleginiň agzalaryny goşup

$$t_1 - t_5 = \frac{q_e}{2\pi} \left( \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{\lambda_4} \ln \frac{d_5}{d_4} \right)$$

formulany alarys.

Bu ýerden

$$q_e = \frac{2\pi(t_1 - t_5)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{\lambda_4} \ln \frac{d_5}{d_4}} \quad (13.10)$$

ýa-da

$$q_e = \frac{2\pi \cdot (t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{n+1}}{d_n}}.$$

Bu formulalar islendik sanly gatlagy bolan diwarlar üçin ulanarlyklydyr.

### 13.3 Şar görnüşli diwarlaryň ýylylyk geçirijiligi

Radiuslary  $r_1$  we  $r_2$  bolan boş şar bar bolsun. Onuň içki we daşky üstleriniň temperaturalaryny  $t_{c_1}$  we  $t_{c_2}$  bilen belgiläliň. Seredilýän ýagdaý üçin temperaturanyň şaryň radiusy boýunça üýtgemesi göz önünde tutulyp, sferiki koordinatalarynda ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesi aşakdaky ýaly ýazylýar:

$$\nabla^2 t = \frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dt}{dr} = 0. \quad (13.11)$$

Çäk şerti:

$$\begin{cases} r = r_1 \text{ bolanda } t = t_{c1} \\ r = r_2 \text{ bolanda } t = t_{c2} \end{cases}$$

(13.11) deňlemäni birinji sapar bir gezeg integrirläp we käbir özgertmeleri geçirip

$$\frac{d^2 t}{dr^2} = \frac{d}{dr} \left( \frac{dt}{dr} \right),$$

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{dt}{dr} \right) = -\frac{2}{r} \frac{dt}{dr},$$

$$d \left( \frac{dt}{dr} \right) = -\frac{2}{r} dr \frac{dt}{dr},$$

$$\int \frac{d \left( \frac{dt}{dr} \right)}{\frac{dt}{dr}} = -\int 2 \frac{dr}{r} + \ln C_1,$$

$$\ln \left( \frac{dt}{dr} \right) = -2 \ln r + \ln C_1,$$

$$\ln \frac{dt}{dr} + \ln r^2 = \ln C_1,$$

$$\ln \frac{dt}{dr} + \ln C_1 - \ln r^2,$$

$$\ln \frac{dt}{dr} = \ln \frac{C_1}{r^2},$$

$$\frac{dt}{dr} = \frac{C_1}{r^2}.$$

deñligi alarys.

İkinji gezek integrirleme

$$t = C_2 - \frac{C_1}{r} \quad \text{deñligi berýär.}$$

Bu formulalardan çäk şerti peýdalanyň, integral hemişelikleri tapalyň:

$$C_1 = -\frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}},$$

$$C_2 = t_{c_1} - \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)} \frac{1}{r_1}.$$

$C_1$  we  $C_2$  – ululyklaryň bahalaryny  $t = C_2 - \frac{C_1}{r}$  deňlemede goýup, şar görnüşli diwaryň temperatura meýdany üçin aşakdaky aňlatmany alarys:

$$t = t_{c_1} - \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r}\right). \quad (13.12)$$

$F$  şar üstünden wagt birliginde geçýän ýylylyk mukdaryny kesgitlemek üçin Furýeniň kanunyndan peýdalanmak bolar:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dr} F = -\lambda 4\pi r^2 \frac{dt}{dr}.$$

Bu aňlatma  $\frac{dt}{dr}$  temperatura gradiýentiň bahasyny goýup we

$\delta = \frac{d_1 - d_2}{2}$  deňligi göz önünde tutup:

$$Q = \frac{4\pi\lambda(t_{c_1} - t_{c_2})}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)} = \frac{2\pi\lambda\Delta t}{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}} = \pi\lambda \frac{d_1 d_2}{\delta} \Delta t \quad (13.13)$$

formulany alarys.

Bu formula şar görnüşli diwarlar üçin ýylylyk geçirijiligi hasaplamaga mümkinçilik berýär.



## On dördünji bab. DURNUKSYZ ÝYLYLYK GEÇIRIJILIK PROSESSLERI

### 14.1. Umumy düşüňjeler

Ýylylyk geçirijilik prosesi köplenç ýagdaýda durnuksyz kadada bolup geçýär. Bu ýagdaýda ulgamyň ýa-da jisimleriniň temperatura meýdany giňişlik we wagt boýunça üýtgeýär. Şeýle ýylylyk geçirijiligde wagt boýunça **durnuksyz ýylylyk geçirijilik** diýilýär.

Jisimleriniň gyzdrylmany we sowadylmany durnuksyz ýylylyk kadasynda bolup geçýär. Gyzdrylýan ýa-da sowadylýan jisimler hemişe deňagramlylyk ýagdaýyna ymtylýar. Ýylyk berýän we gyzdrylýan jisim ýylylyk we mehaniki taýdan daşky täsirlerden izolirlenen göwrümde ýerleşdirilen bolsa, wagtyň geçmegi bilen jisimleriniň temperaturalary özara deňleşýär. Sebäbi temperaturasy has ýokary jisim ýylylygyny berdigiče sowar. Ýylylygy kabul edýän jisimiň bolsa temperaturasy kem-kemden ýokarlanar. Netijede, käbir wagtdan soň jisimleriniň arasynda ýylylyk deňagramlylygy emele geler. Soňra wagtyň üýtgemegi bilen jisimleriniň temperaturasy üýtgemez. Başgaça aýdylanda proses durnukly ýagdaýa geçer.

Tebigy şertlerde daşky gurşawyň temperaturasynyň, gün radiasiýasynyň, ýeliň tizliginiň üýtgemegi jaýlaryň diwarlaryndan ýylylyk geçirijiligiň durnuksyz bolmagyna sebäp bolýar.

Jaýlaryň içinde durnukly temperatura kadasyň almak üçin, jaýlaryň diwarlaryndan durnuksyz kadada geçirilýän ýylylyk proseslerini öwrenmeli bolýar. Diňe jaýlaryň diwarlary däl, eýsem gün energiýasy arkaly sowadylýan we gyzdrylýan jisimlerde, ýylylyk we energetik desgalarda, ýylylyk çalşygy enjamlarda, zawodlardaky we fabriklerde işledilýän islendik enjamlarda, başga-da islendik üýtgeýän ýylylyk we mehaniki täsirlere sezewar bolýan jisimlerde ýylylygyň durnuksyz kadada geçirilişi bolup geçýär.

Durnuksyz ýylylyk geçirijilikde, meselem, jaýyň diwaryndan ýylylyk geçirilende diwara berilýän ýylylygyň hemmesi diwardan geçirilmän, onuň aglaba bölegi diwaryň içki energiýasyny üýtgetmäge harçlanýar. Diňe durnukly kada ýetende diwara berilýän ýylylygyň hemmesi daşardan içine ýa-da içinden daşyna berilýär.

Ýylylygyň durnuksyz geçirijiligine degişli amaly meseleleri iki topara bölýärler. Olaryň birinjisi temperaturasy üýtgemeyän sredadaky gyzdyrylýan ýa-da sowadylýan jisimler. Ikinjisi bolsa, temperaturasy periodiki üýtgeýän jisimler.

Durnuksyz ýylylyk geçirijilikde degişli meseleleri analitik usul boýunça çözmek şeýle geçirijiligiň ýönekeý ýagdaýlarynda başardýar.

Ýylylyk tehnikaşynda, energetikada we durmuşda duş gelýän ýönekeýleşdirilen meseleleri çözmegiň analitik usuly inženerçilik taýdan has amatly bolup, degişli ugurlar boýunça wajyp netijeleri seljermeklige kömek berýär. Emma, has çylşyrymly, düzüminde çyzykly däl çäk şertlerini saklaýan deňlemeler we deňlemeleriň ulgamy bilen häsiýetlendirilýän meseleleri analitik usul bilen çözmek häzire çenli mümkin bolmady. Şeýle ýagdaýda bu meseleler kompýuterleriň “san” usuly bilen çözülýär. Bu usul boýunça meseleleriň takmynan çözgüdi alynýar.

## 14.2. Durnuksyz ýylylyk geçirijilik prosesiniň analitiki ýazgysy

Gaty jisimler üçin ýylylyk geçirilişiniň differensial deňlemesi:

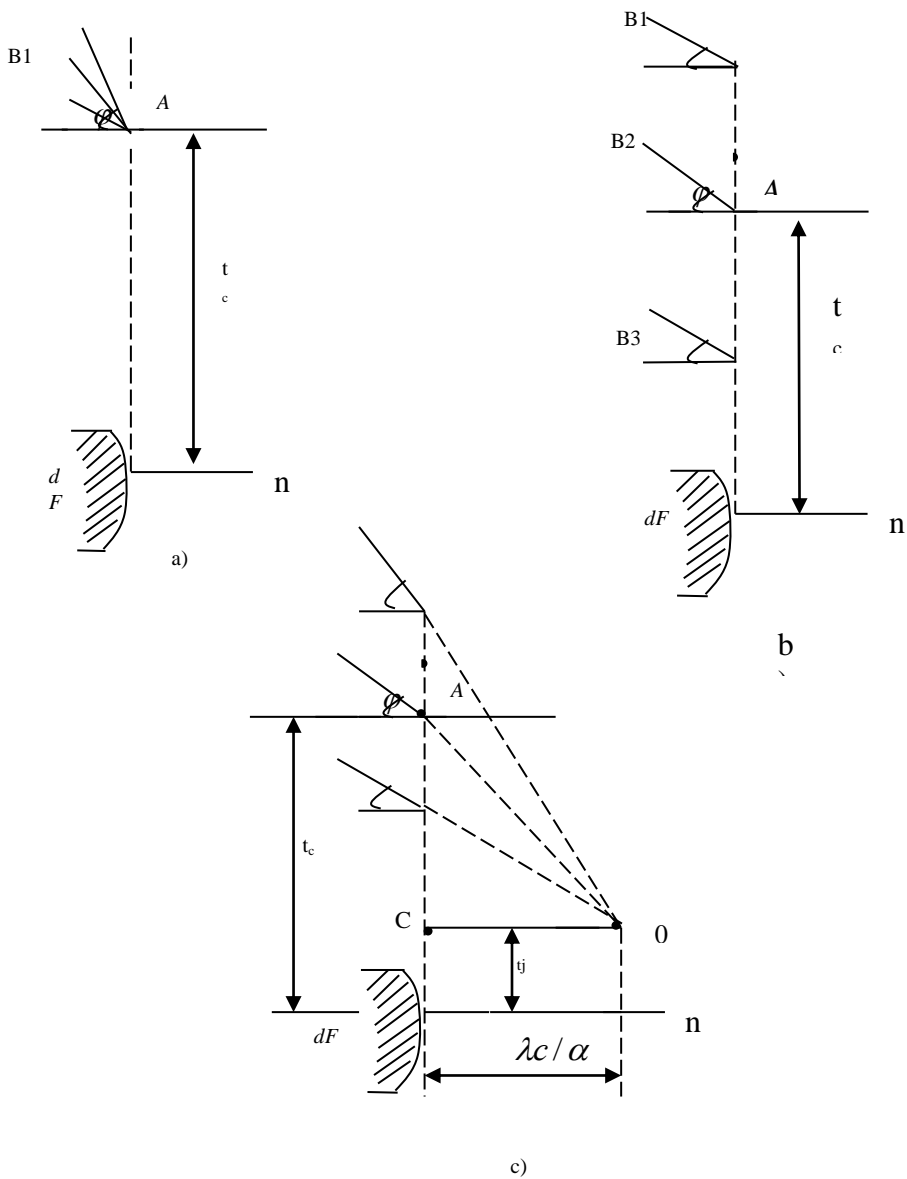
$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right).$$

(14.1)

Bu deňlemäni analitiki çözmek üçin aşakdaky gyra şertler gerek:

- a) jisimde temperaturanyň başlangyç paýlanylyşy;
- b) daşky sredanyň üste täsiri.

Soňky şert üç usul bilen berilýär. Birinji usulda üstüň  $t_c$  temperaturasy berilýär. Grafikde aňladylanda bu şert  $A$  nokat berlen diýiligidir (14.1-nji a surat). Üstüň  $dF$  meýdanynyň üstünden geçýän  $dQ$  ýylylyk mukdary belli däl. Grafikde



14.1-nji surat. Usullaryň görnüşleri

aňladylanda bu şert jisimiň üstüniň töwereginde temperatura egrisiniň eňňitligi belli däl diýildigidir. Ýagny,  $\varphi$  ( $tg \varphi = -dt / dn$ ) belli däl. Onuň  $dQ$  bilen baglanyşygy Furýeniň kanuny bilen aňladylýar:

$$dQ = -\lambda_c \frac{\partial t}{\partial n} dF. \quad (14.2)$$

Ikinji usulda, tersine, üstden geçýän ýylylyk mukdary berilýär, ýagny  $\varphi$  berilýär. Ýöne  $t_c$  temperatura, ýagny  $A$  nokadyň ýagdaýy belli däl (14.1-nji b surat).

Üçünji usulda gurşap alan sredanyň  $t_j$  temperaturasy we sreda bilen üstün arasyndaky  $\alpha$  ýylylyk berijilik koeffisiýenti belli hasaplanýar. Jisimiň içinden çykyp, üstden gurşaw sredasyna berilýän  $dQ$  ýylylyk mukdary (14.2) formuladan başga-da Nýutonyň-Rihmanyň deňlemesi adyny göterýän

$$dQ = \alpha(t_c - t_j)dF \quad (14.3)$$

deňlik bilen kesgitlenilýär. (14.2) we (14.3) deňlikleri deňeşdirip alarys:

$$-\frac{\partial t}{\partial n} = \frac{\alpha}{\lambda_c} (t_c - t_j). \quad (14.4)$$

(14.4) deňleme üçünji jynsly gyra şertiniň matematiki ýazylyşydyr. 14.1-nji suratdan alarys:

$$tg \varphi = \frac{AC}{CO} = -\frac{\partial t}{\partial n} = \frac{t_c - t_j}{\frac{\lambda_c}{\alpha}} = \frac{t_c - t_j}{s}.$$

Diýmek, üçünji jynsly gyra şertden  $O$  nokat kesgitlenýär. Ol nokatdan bolsa jisimiň üstünde ýatan nokatdaky temperatura

egrilerine galtaşmalar geçýär. **O nokada gönükdiriji** diýilýär. Ol üstden  $s = \lambda_c / \alpha$  aralykda ýatýar we üstüň formasyna bagly dälendir.

Goýlan meseläni çözmek üçin (14.1) deňlemäniň çözgüdini gyra şertleri kanagatlandyran funksiýa görnüşinde tapmaly. Deňleme Furýeniň hatarlaryny ulanmak bilen çözülýär. Dürli gyra şertleri üçin dürli netijeler alynýar. Ýöne, çözüwiň usuly meňzeşdir. Tehniki maksatlar üçin, köplenç, akymyň, diňe bir  $x$  ugruny öwrenmek ýeterlik bolýar. Bu şert üçin umumy çözüwler aşakdaky görnüşde bolýar:

a) tekiz diwar üçin

$$t = bx + c + \sum_{n=1}^{\infty} A_n (\cos m_n x + p_n \sin m_n x) e^{-am_n^2 \tau}. \quad (14.5)$$

b) silindrik diwar üçin

$$t = b \ln r + c + \sum_{n=0}^{\infty} A_n [J_o(m_n r) + p_n Y_o(m_n r)] \cdot e^{-am_n^2 \tau}, \quad (14.6)$$

bu ýerde

$J_o$  we  $Y_o$  – nolunjy tertipli, birinji we ikinji jynsly Besseliň funksiýalary;

$b$  we  $c$  – kadanyň durnuklylyk şertinden ( $\tau = \infty$  bolanda) kesgitlenýän hemişelikler;

$P_m$  we  $m_n$  – gyra şertlerinden,  $A_n$ -başlangyç şertden ( $\tau = 0$ ) kesgitlenýän ululykdyr.

Bu ýerde sredanyň temperaturasynyň duýdansyz üýtgeýän şerti üçin meseläniň plita, silindr we şar üçin çözüwleriniň gutarnykly netijelerine serederis. Meseläniň çözüwiniň doly matematiki ýazgysy [1] edebiyatda getirilýär. (14.5) we (14.6) deňlemelerden görnüş ýaly, gözlenýän funksiýa köp parametrlere bagly. Ýöne, çözüwler çuňňur derňelende ol ululyklary iki ölçegsiz ululyklar görnüşinde ( $\alpha \ell / \lambda_s > a \tau / t^2$ ) toparlap bolýar. Olar (14.1) we (14.4) deňlemelerden alynýar we aşakdaky ýaly bellenýär:

$$\frac{\alpha \ell}{\lambda_s} = \text{Bi} - \text{Bio sany};$$

$$\frac{a\tau}{t^2} = \text{Fo} - \text{Furýe sany}.$$

Meñzeşlik nazaryýetiniň ikinji teoremasyndan gözlenýän funksiýa dürli  $x/\ell = L$  meñzeş häsiýetli nokatlar üçin ölçegsiz temperatura ( $v/v'$ ) görnüşinde aşakdaky baglanyşyk ýaly ýazylýar:

$$\frac{v}{v'} = \Phi(\text{Bi}, \text{Fo}, L). \quad (14.7)$$

### 14.3. Tekiz diwaryň gyzmasy we sowamasy

Tükeniksiz uly tekiz diwara seredeliň. Onuň galyňlygyny  $2\delta(\ell = \delta)$  bilen belgiläliň.

Temperaturanyň başlangyjy üçin sredanyň  $t_j$  temperaturasy alynsa, temperaturanyň artymy  $\mathcal{G} = t_j - t$  bilen belgilense (14.1) deňleme:

$$\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial x^2} \quad (14.8)$$

görnüşe gelir.

Gyra şertleri:  $x = \pm \delta$  bolanda

$$-\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial x} = \frac{\alpha}{\lambda_0} \mathcal{G} \quad (14.9)$$

bolar.

Başlangyç şert:  $\tau = 0$  bolanda

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}' \quad (14.10)$$

bolar.

Tehnika degişli meseleler çözülende, köplenç, üstüň we  $\vartheta_c$  temperaturasyny we diwaryň orta tekizliginiň  $\vartheta_o$  temperaturasyny bilmek ýeterlik bolýar. Bu şert üçin (14.7) deňleme ýönekeýleşýär.  $L$  argument hemişelik sana öwrülýär.  $X=0$  bolanda  $L=0$  bolýar we  $x=\delta$  bolanda  $L=l$  bolýar.

Onda

$$\frac{\vartheta_o}{\vartheta'} = \Phi_c(Bi, Fo) \quad (14.11)$$

we

$$\frac{\vartheta_o}{\vartheta'} = \Phi_o(Bi, Fo) \quad (14.12)$$

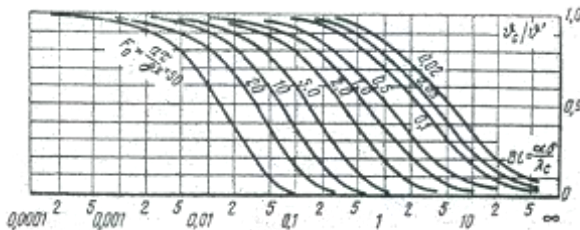
bolar.

Temperaturanyň paýlanyşyny bilmekden başga-da  $\tau$  wagtda berilýän  $Q_\tau$  ýylylyk mukdaryny bilmek gerek bolýar.

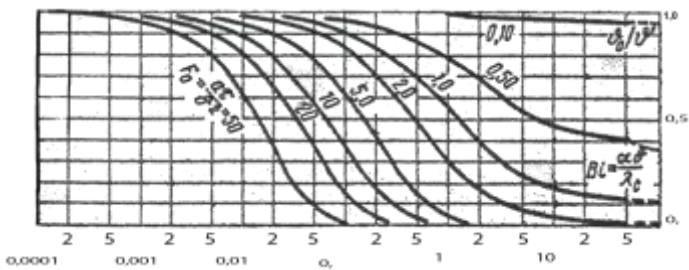
Doly sowama (gyzma) wagtynda jisimiň berip (alyp) biljek ýylylyk mukdaryny  $Q'$  bilen belgiläp,  $Q_\tau / Q'$  gatnaşygy alyň. Ol iki  $Bi$  we  $Fo$  meňzeşlik sanlaryň funksiýasydyr:

$$\frac{Q_\tau}{Q'} = \Phi_Q(Bi, Fo). \quad (14.13)$$

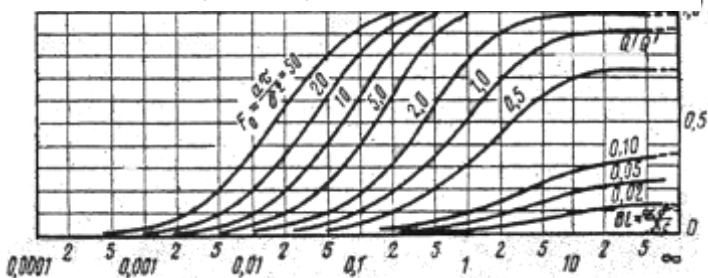
(14.11), (14.12) we (14.13) baglanyşyklaryň grafikleri 14.2, 14.3, 14.4-nji suratlarda getirilýär.



14.2-nji surat. Tekiz çäksiz diwar üçin  
 $\vartheta_c / \vartheta' = \Phi_c(Bi, Fo)$  baglylyk



14.3-nji surat. Tekiz çäksiz diwar üçin  
 $\theta_0 / \theta' = \Phi_0(Bi, Fo)$  baglylyk



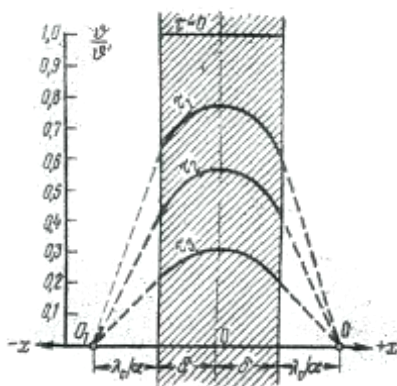
14.4-nji surat. Tekiz çäksiz diwar üçin  
 $Q / Q' = \Phi_Q(Bi, Fo)$  baglylyk

Gözlenilýän ululygy tapmak üçin ilki meňzeşlik sanlaryň bahalaryny hasaplamaly:  $Bi = \alpha\delta / \lambda_c$  we  $Fo = a\tau / \delta^2$ . Bu ululyklar boýunça grafiklerden  $\theta / \theta'$  we  $Q\tau / Q'$  bahalary tapmaly.  $\theta'$  we  $Q'$  belli bolany üçin  $\theta'_c$ ,  $\theta_0$  we  $Q$  bahalary aňsat hasaplap bolýar.  $Q' = c\rho\theta'_c\delta F$ , bu ýerde  $F$ -diwaryň gapdal üstüniň meýdany.

14.5-nji suratda tekiz tükeniksiz diwar sowadylanda temperatura meýdanynyň üýtgeýşi görkezilen (14.5-nji surat).

Jisimiň temperasynyň paýlanylyşynyň tutuş egrisini gurmak üçin 14.5-nji suratdan üç nokat üçin ( $x = \pm\delta$  we  $x = 0$ ) galtaşmanyň ugruny kesgitläp bolýar.  $x = \pm\delta$  bolanda galtaşma  $O$  we  $O_1$  nokatlardan geçýär. Ol nokatlar bolsa diwardan  $\pm\lambda_c / \alpha$  aralyklarda ýerleşýär.  $x = 0$  bolanda galtaşma gorizontaldyr. Sebäbi temperatura egrisiniň simmetrikligi üçin  $\partial\theta / \partial x = 0$  bolýar.





14.5-nji surat. Tekiz tükeniksiz diwar  
sowadylanda temperatura meýdanynyň üýtgeýşi

Şeýlelikde, wagtyň islendik  $\tau$  pursaty üçin jisimde temperaturanyň paýlanylşynyň takmynan egrisini gurup bolýar.

Islendik wagt pursaty üçin jisimiň üstüniň we simmetriýa tekizliginiň temperaturasynyň absolýut bahalary:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\vartheta_c}{\vartheta'} &= \frac{t_j - t_c}{t_j - t'} \\ \frac{\vartheta_0}{\vartheta'} &= \frac{t_j - t_0}{t_j - t'} \end{aligned} \right\} \quad (14.14)$$

gatnaşyklar bilen kesgitlenýär.

Bu ýerde

$t_j$  – gurşaw sredasynyň temperaturasy,

$t'$  – jisimiň başlangyç temperaturasy,

$t_c$  – üstüň temperaturasy,

$t_0$  – jisimiň ortaky tekizliginiň temperaturasy.

Bu maglumatlar gyzma we sowama üçin, şeýle-de ýylylyk berşiň (sowadyşyň) ikitaraplaýyn we birtaraplaýyn prosesleri üçin dogrudyr. Soňkular üçin hasaplamalarda  $\delta$  –nyň ornunda diwaryň doly galyňlygy alynýar.

#### 14.4. Tükeniksiz uzyn silindriň gyzmasy we sowamasy

$R$  radiusly, tükeniksiz uzyn silindr üçin ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesi:

$$\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial r} \right). \quad (14.15)$$

Gyra şerti:

$$r = R \text{ bolanda}$$

$$-\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial r} = \frac{\alpha}{\lambda_c} \mathcal{G};$$

başlangyç şerti:

$$\tau = 0 \text{ bolanda}$$

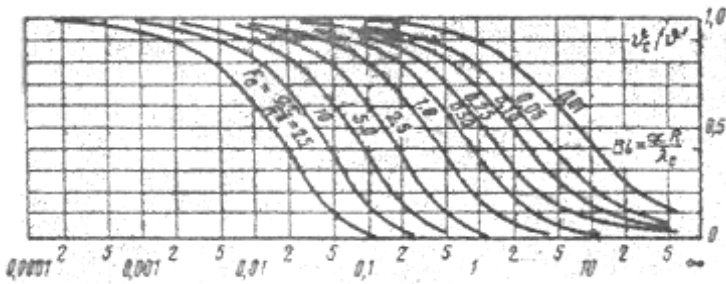
$$\mathcal{G} = \mathcal{G}'.$$

Deňlemäniň  $\mathcal{G}_c = \mathcal{G}'$ ,  $\mathcal{G}_0 = \mathcal{G}'$  we  $Q = Q'$  gatnaşyklara görä çözüwi diňe iki meňzeşlik sanlara,  $Bi = \alpha R / \lambda_c$  we  $Fo = a\tau / R^2$  bagly funksiýa bolýar. Bu baglanyşyklar grafikler görnüşinde 14.6, 14.7, 14.8-nji suratlarda berilýär.

Silindriň  $\ell$  uzynlykly bölegi üçin:

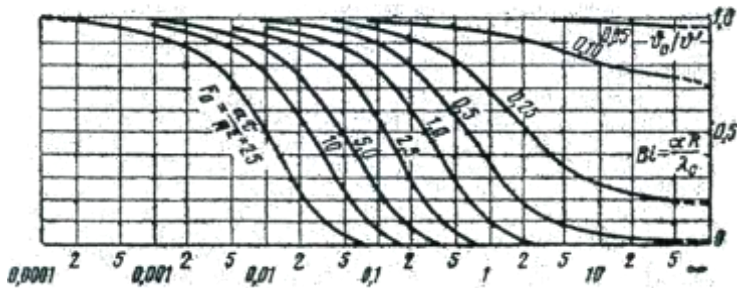
$$Q' = \pi R^2 c \rho \ell \mathcal{G}'$$

deňlik ulanylýar.



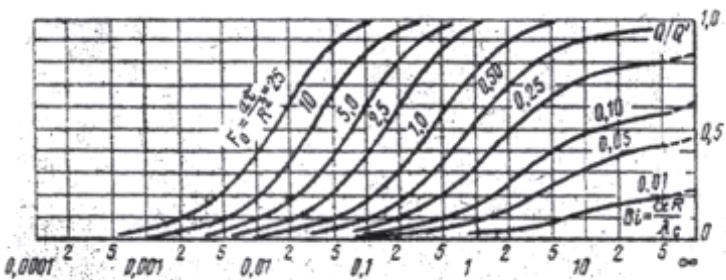
14.6-njy surat. Uzynlygy tükeniksiz silindr üçin

$$\theta_c / \theta'_c = \Phi_c(Bi, Fo) \text{ baglylyk}$$



14.7-nji surat. Uzynlygy tükeniksiz silindr üçin

$$\theta_0 / \theta'_0 = \Phi_0(Bi, Fo) \text{ baglylyk}$$



14.8-nji surat. Uzynlygy tükeniksiz silindr üçin

$$Q / Q' = \Phi_Q(Bi, Fo) \text{ baglylyk}$$

## 14.5. Şaryň gyzmasy we sowamasy

$R$  radiusly şaryň ýylylyk geçirijiligi üçin differensial deňleme:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \vartheta}{\partial r} \right) \quad (14.16)$$

görnüşde bolýar.

Gyra şerti:

$$r=R \text{ bolanda}$$

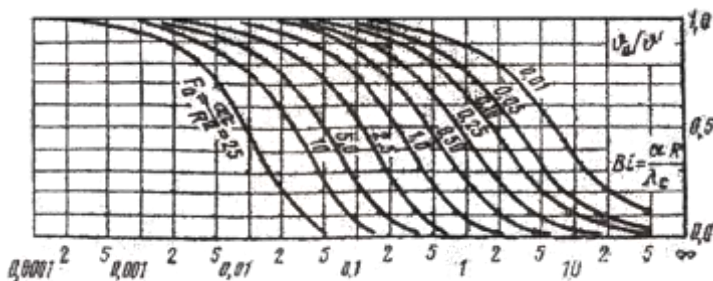
$$-\frac{\partial \vartheta}{\partial r} = \frac{\alpha}{\lambda_c} \vartheta$$

Başlangyç şerti:

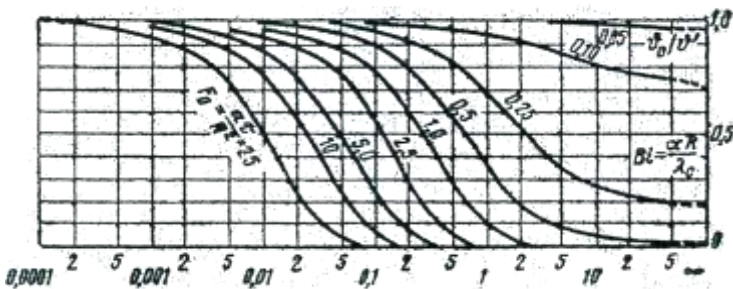
$$\tau = 0 \text{ bolanda}$$

$$\vartheta = \vartheta'$$

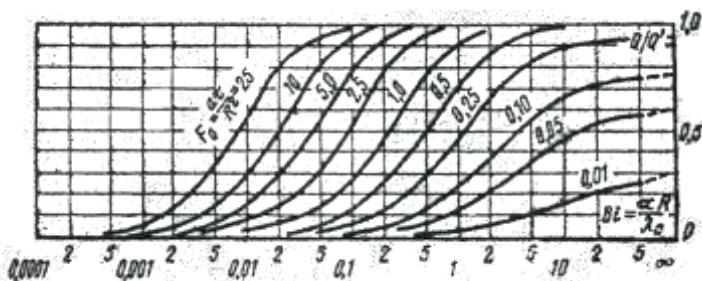
Bu ýagdaý üçin  $\vartheta_c / \vartheta'$ ,  $\vartheta_0 / \vartheta'$  we  $Q / Q'$  gatnaşyklara görä çözüwler diňe iki meňzeşlik sanlara ( $Bi$  we  $Fo$ ) göre funksiýalar bolýar. Bu baglanyşyklar grafikler görnüşinde 14.9-njy, 14.10-njy 14.11-nji suratlarda berilýär.



14.9-nji surat. Şar üçin  $\vartheta_c / \vartheta' = \Phi_c(Bi, Fo)$  baglylyk



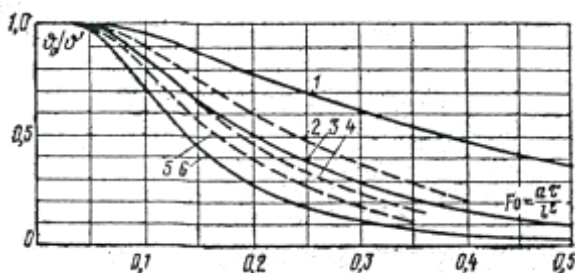
14.10-nji surat. Şar üçin  $\vartheta_0 / \vartheta' = \Phi_0(Bi, Fo)$   
baglylyk



14.11-nji surat. Şar üçin  $Q / Q' = \Phi_Q(Bi, Fo)$   
baglylyk

#### 14.6. Ýylylygyň ýaýrama prosesiniň jisimiň formasyna we ölçeglerine baglylygy

Islendik jisim üçin prosesiniň geçiş tizligi jisimiň üstüniň göwrümüne gatnaşygyna gönümel baglydyr. Munuň şeýledigine göz ýetirmek üçin dürli formaly jisimlerde  $Fo$ -nyň deň bahalary üçin  $\vartheta_0$ -yň bahalaryny deňeşdirmek ýeterlikdir. 14.12-nji suratda dürli jisimler üçin  $Bi \rightarrow \infty$  bolanda  $\vartheta_0 / \vartheta' = f(Fo)$  baglanyşyk görkezilen. Suratdan görnüşi ýaly, şar görnüşli jisimler üçin prosesiniň tizligi beýleki görnüşdäki jisimlerden ýokary.



- 14.12-nji surat. Dürli jisimler üçin  $Bi \rightarrow \infty$  bolanda  $g_0 / g' = \Phi_0(Bi, Fo)$  baglylygy. 1 – plastina;  
2 – tükeniksiz uzynlykly kwadrat balka; 3 – tükeniksiz uzynlykly silindr; 5 – uzynlygy diametrine deň bolan silindr; 6 – şar

Silindr we prizma görnüşli jisimler üçin prosesin tizligi uzynlyga bagly çalt üýtgeýär. Jisim kelte boldugyça tizlik ýokary bolýar.

Gysga silindre, gönüburçly prizma we parallelipede deňişlilikde silindr bilen perpendikulýar plastinanyň kesişigi ýaly, iki we üç plastinalaryň kesişigi ýaly seretmek bolar. Plastinalary çäkli galyňlykda, ýöne çäklendirilmedik ölçeglerde göz önüne getirmeli. Gutarnykly uzynlygy bolan silindr üçin plastinanyň  $2\delta$  galyňlygy silindriň  $\ell$  uzynlygyna deň alynýar. Silindriň haýsydyr bir nokadyndaky  $g/g'$  otnositel temperaturasy tükeniksiz uzyn silindr üçin alnan bu nokadyň temperaturasy bilen tükeniksiz giňişlikli tekizlik üçin alnan bu nokadyň temperaturasynyň köpeltmek hasylyna deňdir.

Otnositel temperaturalary köpeltmek usuly gönüburçly prizmalar we parallelepipedler üçin hem ulanylýar. Meselem, silindriň uzynlygynyň ortasyndaky üstüň temperaturasyny tapmak üçin tükeniksiz uzyn silindriň üstüniň otnositel temperaturasyny

$(g_c / g')$  çäklendirilmedik plastinanyň ortasynyň otnositel temperaturasyna köpeldilmelidir.

## On bäşinji bab. KONWEKTIW ÝYLYLYK ÇALŞYGY

### 15.1 Konwektiw ýylylyk çalşygy barada düşinje

Grawitasiýa meýdanyň täsiri bilen suwuklyklar we gazlar hereket edenlerinde olaryň bölejikleriniň bir-birine görä ýa-da gaty jisimleriň üstüne görä otnositellikde hereketleri netijesinde olaryň arasynda konweksiýa boýunça ýylylyk geçirmesi (çalyşmasy) bolýar. Konweksiýa boýunça ýylylyk çalyşmasy ýylylyk geçirijilik bilen bilelikde bolup geçýär. Bilelikde bolup geçýän bu prosese konwektiw ýylylyk çalyşmasy diýilýär. Akýan sreda bilen gaty jisimiň galtaşmasynda bolýan ýylylyk çalyşma prosesinde ýylylyk akymyň ugry sredanyň we gaty üstiň temperaturasyna baglydyr.

Konweksiýa boýunça berilýan ýylylyk akym Nýutonyň formulasy boýunça kesgitlenilýär:

$$Q = \alpha(t_1 - t_2)F, \quad (15.1)$$

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

$F$  - konweksiýa prosesine 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 üstden sreda berilýär:

$$Q = \alpha(t_2 - t_1)F. \quad (15.2)$$

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

Ýylylyk tehnikasynyň meselelerinde esasy meselleriniň  $\alpha$  ululugy takyk kesgitlemeklige syrygýar. Ol ululyk akymyň häsiýetine bagly. Laminar kadaly akymmy, turbulent kadaly akymmy ýa-da akymyň geçişi 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 gyzdrylanda ýa-da sowadylanda onuň bölejikleriniň dykzylygynyň üýtgemesi bilen baglanyşykly konweksiýada bir ululyga, mejbury konweksiýada bolsa başga ululyga deňdir. Bu koeffisiýentiň ululygyna ýene-de suwuklygyň fiziki häsiýeti (dykzylyk, ýylylyk geçirijilik, ýylylyk sygym, şepbeşiklik), gaty üste degişlilikde (onuň içki ýa-da daşky üstüne degişlikde) ýylylyk akymyň ugry, üstüň formasy, üstüň bütür-südürlük derejesi we temperatura interwaly täsir edýär.

Şeýle köp ýagdaýlaryň  $\alpha$  ululuga täsir edýändigini sebäpli, onuň takyk bahasyny kesgitlemäge mümkinçilik berýän uniwersal hasaplama usulyny işläp düzmek örän kyn meseledir. Şonuň üçin hem bu koeffisiýentiň bahasy tejribeler geçirmeklik arkaly kesgitlenilýär. Bu ýerde bellemeli zat, tejribe arkaly kesgitlenen ýylylyk berijilik koeffisiýenti diňe tejribe geçirilendäki şerte gabat gelen ýagdaýlar üçin ulanarlyklydyr. Şonuň üçin bu koeffisiýentiň tejribe arkaly kesgitlenen bahasy aýratyn bir hususy ýagdaý üçin dogrudyr.

Konwektiw ýylylyk çalşygy öwrenilende we oňa degişli hasaplamalar geçirilende ýüze çykýan ýetmezçilikleri aradan aýyrmar üçin meňzeşlik nazaryýetinden peýdalanylýar. Onuň kömegi bilen anyk meselelere degişli hususy baglanyşyklar seljerilýär we hasaplamak üçin amatly deňlemeler işlenilip düzülýär.

Meňzeşlik düşüňjesi biziň bilşimiz ýaly ilki bilen geometrik figuralar öwrenilende peýdalanyldy. Meselem, üçburçlyklaryň we beýleki figuralaryň meňzeşlikleri, soňra meňzeşlik nazary fiziki prosesleri düşündirmek üçin giňden ulanyldy. Fiziki prosesler öwrenilende geometriki meňzeşlik giňden peýdalanylýar.



Konweksiýa prosesi öwrenilende fiziki we geometriki ululyklary saklaýan kriteriýalar diýlip atlandyrylýan ölçegsiz gatnaşyklardan peýdalanylýar.

Ölçegsiz gatnaşyklar ýa-da kriteriýalar ýylylyk geçiriliş prosesini beýan edýän deňlemeler (ýylylyk geçirijiligiň deňlemesi, konwektiw ýylylyk geçirijiligiň deňlemesi) ölçegsiz görnüşe geçirilip alynýar.

Kriterial formulalary peýdalanmak üçin degişli suwuklygyň we suwuklygyň galtaşýan gaty üstüniň ýylylyk, fiziki we geometriki parametrlerini bilmeli. Olardan başga-da konwektiw ýylylyk çalşygy 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 çalşygy üçin umumy kriterial deňleme bolup

$$Nu = f(Re, Gr, Pr) \quad (15.3)$$

deňleme hyzmat edýär.

Deňlemedäki kriteriýalar (Re-Reýnoldsyň, Gr-Grasgofyň, Pr-Prandtyň) ýylylyk çalşymasy nazaryýetine uly goşant goşan alymlaryň familiýalarynyň başky iki harpy bilen aňladylýar.

Ýokarky funksiýada:

gidrodinamika degişli meňzeşligiň kesgitleýji kriteriýasy, Reýnoldsyň kriteriýasy bar. Ol kriteriýa turbalar we plastina üçin

$$Re = \frac{\omega \ell}{\nu} \text{ görnüşe eýedir.}$$

Bu ýerde  $\omega$  - suwuklygyň ortaça tizligi,  $\frac{m}{s}$ ;

$\nu$  – 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 akym** ýüze çykýar. Ýokarky formula mejbury konwektiw ýylylyk çalşygy prosesinde ulanylýar. Erkin konwektiw ýylylyk çalşygynda ýokarky deňleme aşakdaky görnüşe geçýär:

$$Nu = f(Gr, Pr). \quad (15.4)$$

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

$$Gr = \frac{\beta \cdot g l^3 \Delta t}{\nu^2}. \quad (15.5)$$

Bu ýerde  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  – ýokardan erkin gaçmanyň tizlenmesi ;

$\beta$  – göwrümüne giňelme temperatura koeffisiýenti,  $1/\text{grad}$ ;

$\Delta t$  – temperatura tapawudy, grad.

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

$$Nu = f(Re, Pr). \quad (15.6)$$

Formuladaky Pr kriteriýa konwektiw ýylylyk çalşmada suwuklygyň fiziki häsiýetini hasaba alýar. Bu kriteriýa Prandtyň kriteriýasy diýilýär:

$$Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda}. \quad (15.7)$$

Gazlarda Pr basyşa we temperatura az bagly. Iki atomly gazlar, howa üçin  $Pr = 0,7$ .

Kriterial deňlemeleriň çep tarapyndaky kriteriýa Nusseltiň kriteriýasy, oňa **ýylylyk berijiligiň ölçegsiz koeffisiýenti** diýilýär:

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}, \quad (15.8)$$

formulalarda:  $\lambda$  - ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti,  $\frac{Wt}{m \cdot grad}$  :

$\mu$  -absolýut şepbeşiklik koeffisiýenti,  $\frac{N \cdot S}{m^2}$  ;

$c_p$ -ýylylyk sygymy,  $\frac{kJ}{kg \cdot grad}$ .

Nusseltiň kriteriýasy, adatça  $Re$ ,  $Cr$  we  $Pr$  kriteriýalaryň funksiýasy hökmünde ulanylýar we oňa kesgitlenilmeýän kriteriýa diýilýär.

Nusseltiň kriteriýasynyň bahasy boýunça ýylylyk berijilik koeffisiýenti kesgitlenilýär:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{d}, \quad \frac{Wt}{m^2 grad}. \quad (15.9)$$

## 15.2 Suwuklygyň erkin hereketinde ýylylyk berijilik

Suwuklygyň erkin hereketi diýlip, onuň gyzgyn we sowuk bölekleriniň dykzlyklarynyň tapawudynyň hasabyna döreýän hereketine düşünilýär. Şeýle ýagdaýda hereket ýylylyk prosesiniň netijesinde döräp, oňa grawitasiýa güýjünden başga daşky güýç täsir etmeýär.

Erkin hereket ýa-da köplenç atlandyrylyşy ýaly, tebigy konweksiýa gyzgyn pejiň diwarlarynyň, ýyladyjy enjamlaryň howa bilen galtaşýan üstlerinde, uly göwrümde gaýnama we beýleki proseslerde bolup geçýär.

Tebigy konweksiýa arkaly berilýän ýa-da alynýan ýylylyk akymynyň ugruna ugrukdyrylan gyzdyrylýan ýa-da sowaýan üstüň

ölçeğine, ol üstün ýagdaýyna, temperatura kadasyna we suwuklygyň fizika parametrlerine bagly.

Rus alymy Miheýew M.A. tarapyndan gorizonta we wertikal ýerleşdirilen islendik formaly we ölçegli jisimler üçin çäklendirilmedik giňişlikde ýylylyk berijilik koeffisiýentini hasaplamaga mümkinçilik berýän kriterial deňleme hödürlenildi:

$$Nu_m = c(Gr \cdot Pr)_m^n. \quad (15.10)$$

$c$  koeffisiýentiň we  $n$  görkezijiniň bahasy  $Gr \cdot Pr$  köpeltmek hasylynyň ululygyna bagly

$Gr \cdot Pr \dots 1 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10 \dots 1 \cdot 10^3$
$c \dots 1,18$	$0,54$	$0,135$
$n \dots 1/8$	$1/4$	$1/3$

Fiziki hemişelikler gatlagyň araçäginde temperaturasynda kesgitlenilýär:

$$T_m = \frac{T_{suw} + T_s}{2}$$

Ýokarky umumylaşdyrylan formuladan başga-da ýylylyk berijilik koeffisiýentini kesgitlemek üçin aşakdaky formulalar ulanylýar:

gorizonta ýerleşdirilen turbalar üçin  $10^3 < Gr \cdot Pr < 10^8$  aralykda:

$$Nu_{suwk} = 0,50(Gr \cdot Pr)^{0,25} (Pr_{suwk} / Pr_s)^{0,25} \quad (15.11)$$

Wertikal ýerleşdirilen üstler (plastinalar, turbalar) üçin  $10^3 < Gr \cdot Pr < 10^9$  aralykda, laminar kadada

$$Nu_{suwk} = 0,76(Gr \cdot Pr)^{0,25} (Pr_{suwk} / Pr_s)^{0,25}. \quad (15.12)$$

Eger  $Gr_{suwk} \cdot Pr_{suwk} > 10^6$  bolsa turbulent kadada

$$Nu_{suwk} = 0,15(Gr \cdot Pr)^{0,33} (Pr_{suwk} / Pr_s). \quad (15.13)$$

Ýokarky formulalar erkin konweksiýany öwrenmek maksady bilen geçirilen köp tejribeleriň we synaglaryň esasynda alyndy.

### 15.3 Suwuklygyň mejbury hereketinde ýylylyk berijilik

Suwuklygyň mejbury hereketi esasyndaky ýylylyk berliş durmuşda we tehnikada peýdalanylýan ýylylyk çalşyýjy enjamlaryň örän köp görnüşinde ulanylýar. Şeýle enjamlarda ýylylyk çalşmanyň (ýylylyk berlişiniň) netijeliligi suwuklygyň hereket çaltlygyna, onuň we ýylylyk çalşyýjy enjamyň ýylylyk, fiziki we geometrik parametrlerine bagly.

Suwuklygyň mejbury hereketinde ýylylyk berlişiniň iň ýönekeý görnüşü  $Re$ ,  $Pr$  we  $Nu$  meňzeşlik kriteriýalary bilen häsiýetlendirilýän suwuklygyň plastinalaryň üstünden akmasıdyr. Şeýle ýagdaýda plastinanyň üstünden geçýän birmeňzeş däl termiki akymda laminar kadadan turbulent kada geçiş  $Re \approx 4 \cdot 10^4$  şertde bolup geçýär. Laminar kadada ( $Re \approx 4 \cdot 10^4$ ) plastinanyň ýylylyk berijilik koeffisiýenti indiki formula arkaly hasaplanylýar:

$$Nu_s = 0,66 Re_{suwk}^{0,5} \cdot Pr_{suwk}^{0,43} \left( \frac{Pr_{suwk}}{Pr_s} \right)^{0,25}. \quad (15.14)$$

Howa üçin  $Pr = 0,71$ ;  $Pr_{suwk} = Pr_s$  bolanda ýokarky formula ýönekeýleşýär we indiki görnüşe gelýär.

$$Nu = 0,57 Re_{suwk}^{0,5} \quad (15.15)$$

Turbulent kadada ( $Re > 4 \cdot 10^4$ ) plastinanyň ýylylyk berijilik koeffisiýenti indiki formula boýunça hasaplanylýar:

$$Nu_{suwk} = 0,037 Re_{suwk}^{0,8} \cdot Pr_{suwk}^{0,43} \left( \frac{Pr_{suwk}}{Pr_s} \right)^{0,25}. \quad (15.16)$$

Howa üçin bu formula aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

$$Nu_{suwk} = 0,032 Re_{suwk}^{0,8}. \quad (15.17)$$

Turbalarda mejbury hereket kadasy esasan akymyň tizligine bagly. Laminar kadadan turbulent kada geçiş  $Re \approx 2 \cdot 10^3$  bahada bolýar. Eger-de  $Re < 2 \cdot 10^3$  bolsa, onda

$$Nu_{suwk} = 0,15 Re_{suwk}^{0,33} \cdot Pr_{suwk}^{0,43} \cdot Gr_{suwk}^{0,1} \left( \frac{Pr_{suwk}}{Pr_s} \right)^{0,25}. \quad (15.18)$$

Howa üçin bu formulany indiki görnüşde ýazmak bolar:

$$Nu = 0,13 Re_{suwk}^{0,33} \cdot Gr_{suwk}^{0,1}. \quad (15.19)$$

$Re_{suwk} = 2 \cdot 10^3 \div 10^4$  aralykda turbada turbulent kada durnuksyz bolýar.

$Re_{suwk} > 10^4$  bolanda turbulent kada ýaybaňlanýar we ýylylyk berijilik koeffisiýenti indiki formula boýunça hasaplanylýar:

$$Nu_{suwk} = 0,021 Re_{suwk}^{0,8} \cdot Pr_{suwk}^{0,43} \left( \frac{Pr_{suwk}}{Pr_s} \right)^{0,25}. \quad (15.20)$$

Howa üçin bu formula

$$Nu_{suwk} = 0,01 Re_{suwk}^{0,8}. \quad (15.21)$$

(3.17)–(3.20) formulalar turbanyň uzynlygynyň onuň diametrine bolan gatnaşygy  $\frac{l}{d} > 50$  bolanda ulanarlyklydyr. Eger-de  $\frac{l}{d} > 50$  bolsa, alnan ýylylyk berijilik koeffisiýentiň bahasy düzediş koeffisiýente  $\varepsilon_e > 1$  köpeldilmelidir.

Egri turbalaryň ýylylyk berijilik koeffisiýenti göni turbalara garanyňda birnäçe gezek ýokarydyr. Şonuň üçin bu turbalar üçin goşmaça düzediliş koeffisiýenti girizilýär:

$$\varepsilon_R = 1 + 1.77 \frac{d}{R}. \quad (15.22)$$

$R$ - ýylan yzy görnüşli turbanyň (zmeýewigiň) radiusy;  $d$ -turbanyň daşky diametri.

Ýylylyk berijilik koeffisiýentiniň bahasy akymyň turbany keseliline ýa-da dikligine ýuwýanlygyna baglylykda tapawutlanýar.

Akymyň akyp geçiş şerti jisimiň formasyna we onuň suwuklykda ýerleşişine bagly. Aşakdaky 15.1-nji suratda  $Re_{suwk} = 1 \cdot 10^4$  bolanda silindriň töweregi boýunça ýylylyk berliş

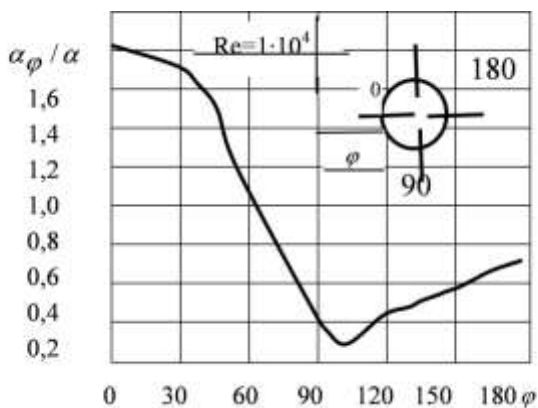
koeffisiýentiniň otnositel üýtgemesi  $\left( \frac{\alpha_\varphi}{\alpha} \right)$  görkezilýär.

Bu ýerde

$\alpha_\varphi$  – ýylylyk berijilik koeffisiýentiniň ýerli bahasy;

$\alpha$  -silindriň parametri boýunça ortalaşdyrylan ýylylyk berijilik koeffisiýenti.

Ýylylyk berlişiniň intensiw bahasy maňlaý üstde bolup,  $\varphi \approx 100^\circ$  töwereginde ol pese gaçýar.



15.1-nji surat. Silindriň töwregi boýunça ýylylygyň berliş koeffisiýetiniň otnositel üýtgemesi

Bir silindr görnüşli turbada  $Re_f < 10^3$  bolanda

$$Nu = 0,56 Re_{suvw}^{0,50} \cdot Pr_{suvw}^{0,36} \left( \frac{Pr_{suvw}}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (15.23)$$

ýa-da howa üçin

$$Nu = 0,49 Re_{suvw}^{0,50} \cdot \quad (15.24)$$

$Re_{suvw} = 1 \cdot 10^3 \div 2 \cdot 10^5$  bolanda

$$Nu_{suvw} = 0,28 Re_{suvw}^{0,6} \cdot Pr_f^{0,36} \left( \frac{Pr_{suvw}}{Pr_s} \right)^{0,25}$$

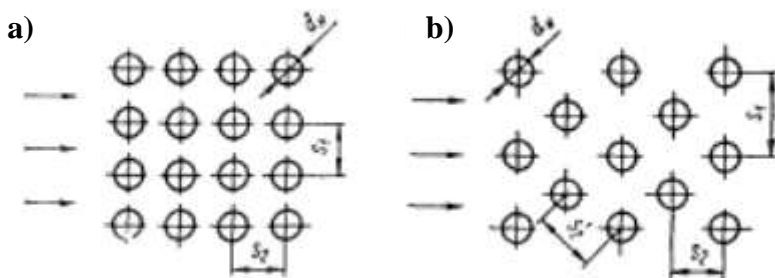
ýa-da howa üçin

$$Nu_{suvw} = 0,245 Re_f^{0,60} \cdot \quad (15.25)$$



Ýokarky formulalar arkaly hasaplanylýan ýylylyk berijilik koeffisiýentiniň bahasy turbanyň parametri boýunça ortalaşdyrylandyr.

Adatça ulanylýan ýylylyk çalşygy enjamlar birnäçe turbalar dessesinden ybaratdyr. Turbalar ýylylyk çalşygy enjamlarda ýoda we atanak görnüşinde ýerleşdirilýär (15.2-nji a we b surata seret).



15.2-nji surat. Turbalaryň a) - ýoda ;  
b) - atanaklaýyn görnüşinde  
ýerleşdirilişi.

Turbalar ýoda we atanak görnüşinde ýerleşdirilende,  $Re_{sawk} < 1 \cdot 10^3$  bolanda aşakdaky formulalar hödürlenýär:

$$Nu_{sawk} = 0,56 Re_{sawk} \cdot Pr_{sawk}^{0,36} \left( \frac{Pr_{sawk}}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (15.26)$$

Howa üçin

$$Nu_{sawk} = 0,49 Re_{sawk}^{0,5} \quad (15.27)$$

Turbalar ýoda görnüşinde ýerleşdirilende  $Re_{suwk} > 1 \cdot 10^3$  we

$$Nu_{suwk} = 0,22 Re_{suwk}^{0,65} \cdot Pr_{suwk}^{0,36} \left( \frac{Pr_{suwk}}{Pr_s} \right)^{0,25} . \quad (15.28)$$

Howa üçin

$$Nu_{suwk} = 0,194 Re_{suwk}^{0,65} . \quad (15.29)$$

Turbalar atanak görnüşinde ýerleşdirilende  $Re_{suwk} > 1 \cdot 10^3$  we

$$Nu_{suwk} = 0,40 Re_{suwk}^{0,6} \cdot Pr_{suwk}^{0,36} \left( \frac{Pr_{suwk}}{Pr_s} \right)^{0,25} . \quad (15.30)$$

Howa üçin

$$Nu_{suwk} = 0,35 Re_{suwk}^{0,6} . \quad (15.31)$$

Ýokardaky kriteriýal deňlemeler netijeli ýylylyk çalşygy enjamlary işläp düzmek üçin peýdalanylýar.

## On altynjy bap. ŞÖHLELENME ARKALY ÝYLYLYK ÇALŞYGY

### 16.1 Ýylylyk şöhlenenmesi barada düşünje

Islendik jisim şöhlenenme energiýasyny siňdirýär we goýberýär. Ýylylyk taýdan şöhlenenme, şöhlenenýän jisimiň içki energiýasynyň elektromagnit tolkunlary arkaly ýaýrama prosesidir.

Tolkun uzynlygyna baglylykda kosmiki, rentgen, ultra melewşe, ýagtylyk, infragyzyl şöhleleri we radiotolkunlary tapawutlandyrylýarlar.

Jisimler tarapyndan elektromagnit tolkunlarynyň siňdirilmegi netijesinde onuň energiýasy jisimiň molekulalarynyň ýylylyk hereketiniň energiýasyna öwrülýär.

Elektromagnit tolkunlary oýandyryjy bolup, jisimiň düzümindäki hereket edýän elektronlar, ionlar we beýleki zarýadly bölejikler hyzmat edýär.

Umumy jisim tarapyndan goýberilýän şöhlenenmäniň esasy bölegini infragyzyl şöhlenenme tutýar. Infragyzyl we ýagtylyk şöhlenenmesiniň ýaýraýyş prosesine ýylylyk şöhlenenmesi ýa-da radiasiýa diýilýär.

Ýagtylyk şöhlesine degişli ýaýrama, serpikme we döwürleme kanunlary ýylylyk şöhlenenmesi üçin hem dogrudyr. Haýsy hem bolsa bir jisim tarapyndan şöhlenenýän energiýa ýa-da şöhlenenme akymy  $Q$  beýleki bir jisimiň üstüne düşende ol energiýanyň bir bölegi jisim tarapyndan siňdirilýär, bir bölegi serpikdirilýär, galan bölegi bolsa jisimiň durulylyk ýagdaýyna baglylykda onuň içindengeçýär.

Eger, jisim tarapyndan siňdirilýän energiýany  $Q_A$ , serpikdirilýän energiýany  $Q_R$  we galyňlygyndan geçýän energiýany  $Q_D$  bilen belgilesek, onda jisimiň üstüne düşýän umumy energiýa

$$Q = Q_A + Q_R + Q_D. \quad (16.1)$$

Bu deňligiň iki tarapyny hem  $Q$ -a böleliň we degişli belgileme geçireliň:

$$\frac{Q_A}{Q} = A, \quad \frac{Q_R}{Q} = R, \quad \frac{Q_D}{Q} = D.$$

Onda ýokardaky formulany aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$A + R + D = 1. \quad (16.2)$$

Bu ýerde:

$A$ -siňdirme koeffisiýenti,

$R$ -serpilme koeffisiýenti,

$D$ -geçirilme koeffisiýenti.

Eger,  $A=1$ ;  $R=D=0$  bolsa, onda jisime düşýän şöhlelenme energiýanyň hemmesi jisim tarapyndan siňdirilýär. Şeýle jisime **absolýut gara jisim** diýilýär. Elbetde tebigatda absolýut gara jisim ýok. Emma, kä ýagdaýlarda düşýän şöhlelenme energiýanyň maksimal siňdirilmegini üpjün etmek maksady bilen jisimiň, meselem gün energiýasy peýdalanylanda gün şöhleleri düşýän diwaryň üsti emeli usulda garaldylýar we siňdirme koeffisiýenti has ýokary bolar ýaly edilýär. Netijede, siňdirme koeffisiýenti  $A=0,97$  we ondanam ýokary bolup, gün şöhlelerini siňdirýän üst absolýut gara jisime ýakynlaşdyrylýar.

Eger  $R=1$  we  $A=D=0$  bolsa jisime düşýän şöhlelenme energiýasynyň hemmesi jisim tarapyndan serpikdirilýär we bu jisime **absolýut ak jisim** diýilýär. Geometriki optikanyň kanunyna degişlikde jisimiň şöhle serpikdiriji üstüne **aýnaly üst** diýilýär. Eger  $D=1$ ,  $A=R=0$  bolsa jisim öz üstünden ähli şöhläni geçirýär. Şeýle jisime **absolýut dury jisim** diýilýär. Elbetde, tebigatda absolýut dury jisim hem ýokdur.

Gaty jisimleriň köp görnüşi we damjaly suwuklyklar ýylylyk şöhleleri üçin esasan dury däldirler. Olar üçin  $A+R=1$ . Ol jisimler üçin siňdirilme koeffisiýenti näçe uly bolsa şonça-da serpikme koeffisiýenti kiçi bolýar.

Bir we iki atomly gazlar ýagtylyk we ýylylyk şöhleleri üçin durudyr. Üç atomly gazlar bolsa şöhlelenme (ýylylyk) energiýasyny göýberýärler we siňdirýärler.

## 16.2 Ýylylyk şöhlelenme kanunlary

Ýylylyk şöhlelenmesini mukdar taýdan kesgitlemäge, ýylylyk şöhlelenmesinde bolup geýýän fiziki proseslere düşünmäge mümkinçilik berýän Plankyň, Releý-Jinsiň, Winiň, Stefan-Bolsmanyň, Kirhgofyň we Lambertiň ady bilen atlandyrylýan ýylylyk şöhlelenme kanunlary bardyr.

Jisimler islendik temperaturada şöhlelenmäge ukyplydyrlar. Temperaturanyň artmagy bilen jisimleriň şöhlelenmesi ýokarlanýar. Absolyut gara jisimiň goýberýän doly energiýasy onuň temperaturasy bilen kesgitlenip, bu energiýa  $\lambda = 0 - \text{dan } \lambda = \infty - e$  çenli tolkun uzynlygy boýunça paýlanandyr.

Şöhlelenme akymyň spektral dykzylygynyň tolkun uzynlygyna we temperatura baglylygy Plankyň kanuny bilen kesgitlenilýär:

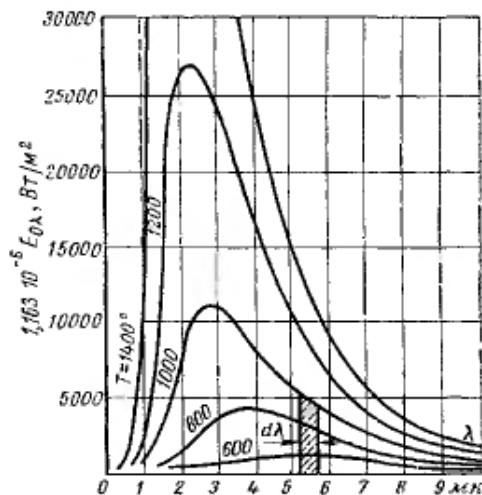
$$E_{0\lambda} = \frac{2\pi c_1}{\lambda^5} \left( e^{-\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1}. \quad (16.3)$$

Bu ýerde  $\lambda$  -tolkun uzynlygy, m;  $c_1 = 5,944 \cdot 10^{-17}$  -şöhlelenmäniň birinji hemişeligi,  $Wt \cdot m^2$ ;  $c_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$  -şöhlelenmäniň ikinji hemişeligi,  $m \cdot K$ ;

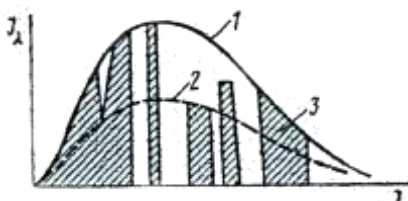
$T$  -şöhlelenýän jisimiň temperaturasy,  $K$ .

Plankyň kanuny 16.1-nji suratda grafiki görkezilen. Bu kanuna laýyklykda her tolkun uzynlygyna  $E_{0\lambda}$  -niň öz bahasy degişli. 16.2-nji suratdan görnüşi ýaly,  $\lambda$  -niň ulalmagy bilen şöhlelenme energiýasy 0-dan ( $\lambda = 0$  bolanda) iň uly ( $\lambda = \lambda_{\max}$ ) baha çenli artýar. Soňra bolsa ( $\lambda = \infty$ ) nola çenli azalýar.

Plankyň kanuny (16.3)  $\lambda T \gg c_2$  bolanda Releý-Jinsiň kanunyna öwrülýär.



16.1-nji surat. Plankyn kanunynyň grafiki  
aňladylyşy



16.2-nji surat. Şöhlelenmäniň spektral  
intensiwliliginiň tolkun uzynlygyna  
baglylygy  
1 - gara jisim;  
2- çal jisim;  
3-gaz

Onda şöhlelenme akymynyň spektral dykzlygy:

$$E_{o\lambda} = 2\pi c_1 T / (c_2 \lambda^4). \quad (16.4)$$

Eger-de  $\lambda T \ll c_2$  bolsa, onda (16.3) formulany aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$E_{o\lambda} = \left( \frac{2\pi c_1}{\lambda^5} \right) e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}. \quad (16.5)$$

Muňa Winiň süýşme kanuny diýilýär.

Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen maksimal şöhlemenme spektri gysga tolkunlaryň tarapyna süýşýär we temperatura (T) bilen tolkun uzynlygyň maksimal bahasynyň ( $\lambda_{\max}$ ) baglanyşygy Winiň kanuny arkaly şeýle aňladylýar:

$$\lambda_{\max} \cdot T \cong 2.9 \text{ mm} \cdot K = \text{const}. \quad (16.6)$$

Gara jisimiň şöhlemenme akymynyň maksimal dykzlygynyň bahasyny (16.3)-den  $\lambda = \lambda_{\max}$  we (16.6) deňligi hasaba alyp, aşakdaky ýaly kesgitlemek bolar:

$$(E_{o\lambda})_{\max} = c_3 T^5, \quad c_3 = 1,307 \text{ Wt} / (\text{m}^3 \cdot \text{K}^5).$$

Winiň süýşme kanuny Plankyň kanunyny ölçegsiz görnüşe geçirmäge mümkinçilik berýär:

$$\frac{E_{o\lambda}}{(E_{o\lambda})_{\max}} = \frac{2\pi c_1}{c_3 (\lambda T)^5} \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1} = \varphi(\lambda T) \quad \text{ýa-da}$$

(4.6) deňlikden peýdalanyp, alarys:

$$\frac{E_{o\lambda}}{(E_{o\lambda})_{\max}} = f\left(\frac{\lambda}{\lambda_{\max}}\right). \quad (16.7)$$

Aýratyn ýagdaýlarda ýylylyk şöhlenmesini takyk hasaplamaga mümkinçilik berýän, hasaplamalarda has köp ulanylýan kanunlaryň ýene biri Stefan-Bolsmanyň kanunydyr. Ol kanun integral ýarym sfera şöhlenme akymynyň şöhlenme temperaturasyna baglylygyny görkezýär. Stefan-Bolsmanyň kanuny matematika görnüşinde aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$E_0 = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda = \sigma_0 T^4$$

(16.8)

bu ýerde  $\sigma_0$  - Stefan - Bolsmanyň hemişeligi.

Amalyrýetde duş gelýän hasaplamalarda ýokarky formula aşakdaky görnüşde ýazylsa has amatly bolýar:

$$E_0 = c_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4 \quad (16.9)$$

bu ýerde  $c_0 = 5.6703 \approx 5.67 \frac{Wt}{m^2 K^4}$  - absolýut gara jisimiň şöhlenme koeffisiýenti.

Ýokarky formula absolýut gara jisim üçin dogrudyr. Ol formula adaty jisimleriň şöhlenmesi üçin aşakdaky görnüşe eýedir. Adaty jisim diýlip siňdirme koeffisiýenti şöhlenmäniň tolkun uzynlygyna bagly bolmadyk jisimlere aýdylýar:

$$E = \varepsilon E_0 = \varepsilon c_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4 = c \left( \frac{T}{100} \right)^4 \quad (16.10)$$

bu ýerde  $\varepsilon = E / E_0 = c / c_0$  - ýylylyk şöhlenme koeffisiýenti,  $c$  - adaty jisimuň şöhlenme ukyby. Kirhgofyň kanuny boýunça şöhlenme energiýasynyň ölçegsiz  $A$  siňdirme koeffisiýentine bolan gatnaşygy ähli jisimler üçin şol bir ululyga deň bolup, ol diňe temperatura baglydyr:



$$\frac{E}{A} = \frac{E_0}{A_0} = E_0. \quad (16.11)$$

Eger absolýut gara jisim üçin  $E_0$  we  $A_0 = 1$  bolsa, onda ýokarky formula

$$\frac{E}{E_0} = A. \quad (16.12)$$

(16.10) we (16.12) formulalardan  $A = \varepsilon$  gelip çykýar. Diýmek, siňdirme koeffisiýenti garalyk koeffisiýentine deňdir. Ýokarky formuladan

$$c = \varepsilon c_0 = A c_0 = A \cdot 5,7; \quad c = 5,7 \cdot A.$$

deňligi alarys. Bu ýerden adaty jisimiň şöhlelenme koeffisiýentiniň siňdirme koeffisiýentine göni proporsionallygy gelip çykýar.

Stefan-Bolsmanyň kanuny ýarym giňişligiň ähli ugry boýunça jisimiň üsti boýunça berilýän umumy şöhlelenmäni kesgitleýär.

Aýry ugurlar boýunça goýberýän şöhlelenme energiýasy Lambertiň kanuny arkaly kesgitlenilýär. Lambertiň kanunyna laýyklykda absolýut gara jisimiň berlen ugur boýunça şöhlelenme akymy üste goýlan normalyň ugry boýunça bolýan şöhlelenme akymyna we bu akym bilen normalyň arasyndaky burçuň kosinusyna proporsionaldyr.

Lambertiň kanuny aşakdaky aňlatma görnüşinde aňladylýar:

$$\mathfrak{I}_{\psi} = \mathfrak{I}_n \cos \psi. \quad (16.13)$$

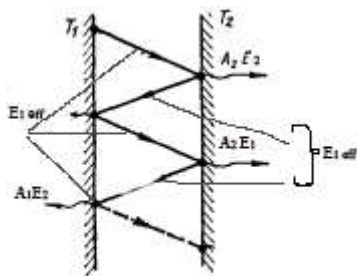
Bu ýerde  $\mathfrak{I}_{\psi}$  we  $\mathfrak{I}_n$  -  $\psi$  burç bilen kesgitlenýän degişli ugur boýunça burçlaýyn integral şöhlelenme akymyň dykzyzlygy.

Lambertiň kanuny absolýut gara jisimler üçin we  $\psi' = 0 \dots 60^\circ$  burçda adaty бүдүр-сүдүр üstli jisimler üçin dogrudyr.

### 16.3 Jisimleriň arasyndaky şöhlenenme boýunça ýylylyk çalşygy

Jisimleriň arasyndaky şöhlenenme boýunça ýylylyk çalyşmasynda degişli meseleler tehnikada we durmuşda köp gabat gelýär. Jisimleriň özara şöhlenenme energiýalary her sapar ol jisimler tarapyndan bölekleyin siňdirilýär we bölekleyin serpikdirilýär.

Özara ýakyn ýerleşdirilen, ýagny ölçegleri aralyklary bilen deňeşdirilende örän uly bolan parallel tekizlikleriň özara şöhlenenmesine seredeliň (16.3-nji surat).



16.3-nji surat. Parallel tekizlikleriň özara şöhlenenmesiniň shemasy

Parallel ýerleşdirilen jisimiň biriniň, meselem çepkisiniň, temperaturasy ikinjisiniň temperaturasyndan ýokary diýeliň ( $T_1 > T_2$ ). Temperaturasy ýokary bolan tekizligiň garalyk derejesi  $\varepsilon_1$ , pes temperaturaly tekizligiň garalyk derejesi bolsa  $\varepsilon_2$  bolanda çepki tekizligiň sagky tekizlige şöhlenenme 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 şöhlenenmesi  $E_1$  we oňa pes temperaturaly tekizlikden  $E_{2eff}$  şöhlenenme düşýär. Şeýle hem, birinji tekizlik  $\varepsilon_1 \cdot E_{2eff}$  şöhlenenme energiýany kabul edýär we  $(1 - \varepsilon_1) E_{2eff}$  energiýany bolsa serpikdirýär. Netijede, temperaturasy ýokary bolan tekizlikden beýleki tekizlige berilýän effektiv şöhlenenme:

$$E_{1\text{eff}} = E_1 + (1 - \varepsilon_1) E_{2\text{eff}} . \quad (16.14)$$

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

$$E_{2\text{eff}} = E_2 + (1 - \varepsilon_2) E_{1\text{eff}} . \quad (16.15)$$

bu ýerde  $E_2$  - ol tekizligiň hususy şöhlelenmesi.  
(16.15) we (16.14) deňlemelerden alarys:

$$\begin{aligned} E_{1\text{eff}} &= E_1 + (1 - \varepsilon_1) [E_2 + (1 - \varepsilon_2) E_{1\text{eff}}] = \\ &= E_1 + (1 - \varepsilon_1) E_2 + (1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2) E_{1\text{eff}} . \end{aligned}$$

Bu ýerde

$$E_{1\text{eff}} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2) = E_1 + (1 - \varepsilon_1) E_2 . \quad \text{ýa-da}$$

$$E_{1\text{eff}} = \frac{E_1 + E_2 - \varepsilon_1 E_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2} . \quad (16.16)$$

(16.14) we (16.15) deňlemelerden ýokarky ýaly öwürmeleri geçirip,  $E_{2\text{eff}}$  üçin aşakdaky deňligi alarys:

$$E_{2\text{eff}} = \frac{E_1 + E_2 - \varepsilon_2 E_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2} . \quad (16.17)$$

Iki tekizligiň arasyndaky şöhlelenme netijesindeki gözlenilýän udel şöhlelenme ýylylyk akymy:

$$q_{1-2} = E_{1\text{eff}} - E_{2\text{eff}} = \frac{\varepsilon_2 E_1 - \varepsilon_1 E_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2} .$$

Bu formula

$$E_1 = \varepsilon_1 c_0 \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \quad \text{we} \quad E_2 = \varepsilon_2 c_0 \left( \frac{T_2}{100} \right)^4$$

Formulalardan bahalaryny goýup aşakdaky formulany alarys:

$$q_{1-2} = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 c_0 \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \varepsilon_1 \varepsilon_2 c_0 \left( \frac{T_1}{100} \right)^4}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2}. \quad (16.18)$$

Formulanyň sanawjysyny we maýdalawjysyny  $\varepsilon_1 \varepsilon_2$  böleliň :

$$q_{1-2} = \frac{c_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \varepsilon_{get} \cdot c_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

bu ýerden

$$\varepsilon_{get} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}. \quad (16.19)$$

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

Parallel ýerleşdirilýän tekizlikleriň arasynda gury howa bolman, eýsem üç atomly we köp atomly gazlar bolan ýagdaýynda tekizlikleriň arasyndaky ýylylyk akymy hasaplanylanda olaryň ýylylyk energiýasyny siňdirýändigini we şöhlelendirýändigini hasaba almaly. Hasaplamalarda bu gazlaryň garalyk derejesini hem göz önünde tutmaly.

## **On ýedinji bap. GAÝNAMADA WE KONDENSASIÝADA ÝYLYLYK ÇALŞYGY. MASSA ÇALŞYGY**

### **17.1. Suwuklyklar gaýnandaky ýylylyk çalşygy**

Suwuklyklar gaýnanda ýa-da buguň kondensirlenme prosesinde işçi jisimiň bir agregat haldan başga hala geçmesi bolup geçýär. Şol wagtdaky bolup geçýän ýylylyk çalşygyň mehanizmi bir fazaly suwuklygyň konweksiýa netijesinde ýylylyk berliş mehanizminden tapawutlanýar.

Suwuklygyň, meselem suwuň, gaýnamasy bilen häli– şindi iş salyşýarys. Gaýnama diýlip suwuklygyň ähli göwrümünde intensiw bug emele gelmek prosesine aýdylýar. Bug köpürjikleri arkaly intensiw bug emele gelmek prosesi suwuklyk doýgun temperatura otnositellikde aşa gyzan ýagdaýynda bolýar. Suwuklygyň görnüşlerine, onuň fiziki häsiýetlerine baglylykda gaýnama dürli temperaturalarda bolup biler. Suwuklygyň gaýnamasy ýylylyk çalşygy üstde (eger-de oňa daşyndan ýylylyk berilse) we suwuklygyň göwrümünde bolup bilýär.

Üstde gaýnama prosesinde bug fazasynyň emele gelmesi bu üstüň aýry-aýry ýerlerinde bolup geçýär. Suwuklygyň göwrümünde bolýan gaýnamada bug fazasy öz –özünden (spontan) döreýär.

Gaýnama prosesiniň bolup geçmegi üçin, birinjiden, doýgun temperatura otnositellikde suwuklygyň aşa gyzmagy, ikinjiden bolsa, bug emele gelmek merkezleriniň bolmagy zerurdyr.

Gaty jisimiň üstünde bolup geçýän gaýnamada bug emele gelmek merkezi bolup, üstüň endigan dældigi, ondaky mikrojaýryklar hyzmat edýär.

Göwrümde bug emele gelmek merkezleri bolup, suwuklykdaky howa köpürjikleri, tozanjyklar we başgalar hyzmat edýär.

Köpürjikleýin we plýonkaly gaýnama kadalary tapawutlandyrylýarlar.

Köpürjikleýin gaýnamada bug köpürjekleriniň yzygiderli emele gelmegi, onuň ulalmagy we üstden goparylmagy bolup geçýär. Suwuklyga berilýän ýylylyk akymynyň artmagy bilen onuň belli bir ululygynda üstde emele gelýän aýry-aýry bug köpürjekleriniň

birleşmesi bolup geçýär. Netijede ýylylyk çalşygy üstde tutuş bug gatlagy, ýagny bug plýonkasy emele gelýär. Üstde bug plýonkasynyň emele gelmegi bilen bolup geçýän gaýnama plýonkaly gaýnama diýilýär.

Plýonkaly gaýnamada ýylylyk berliş intensiwligi köpürjikleýin gaýnama bilen deňeşdirlende has kiçidir.

Gaýnama prosesi ýylylyk energetikasynda, himiýa tehnologiýasynda, atom energetikasynda we beýleki häzirkizaman tehnikalarda giňden ulanylýar. Gaýnama ýagdaýynda ýylylyk berliş intensiwligini kesgitlemek üçin şol ýagdaýdaky ýylylyk berijilik koeffisiýentini bilmek gerek.

Köpürjikleýin gaýnamada ýylylyk berijilik koeffisiýentini hasaplamak üçin aşadaky formuladan peýdalanylýar:

$$\alpha = b \left( \frac{\lambda^2}{\nu \sigma T_s} \right)^{1/3} q^{2/3}. \quad (17.1)$$

bu ýerde b-koeffisiýent we ol

$$b = 0,075 \left[ 1 + 10 \left( \frac{\rho''}{\rho' - \rho''} \right)^{2/3} \right]$$

formula bilen kesgitlenýär.

$T_s$ - doýma temperaturasy,  $\rho'$  we  $\rho''$  suwuklygyň we buguň dykzlygy.

Deňlemä girýän suwuklygyň fiziki parametrleri  $T_s$  –doýma temperaturasynda alynýar. Ýokarky formula suwuklygyň özüne degişli fiziki parametrlerini goýmak arkaly işçi jisimi edilip alynýan şol suwuklyk üçin ýylylyk berijilik koeffisiýentiniň formulasyny almak bolar. Ol formula suw üçin basyş  $10^{-1}$ – $20$  MPa aralykda aşadaky görnüşde ýazylýar:

$$\alpha = \frac{3.4 \rho_{suw}^{0.18}}{1 - 0,0045 \rho_{suw}} q^{2/3}. \quad (17.2)$$

bu ýerde  $P_{suw}$ ,  $Pa$ ,  $q$  bolsa  $\frac{Wt}{m^2}$  -da aňladylýar.

Basyş 4 MPa-a çenli ýokarlananda aşakdaky formuladan peýdalanmak bolar:

$$\alpha = 3,14q^{0,7} p^{0,15}; \quad \alpha = 33,4\Delta T^{2,33} \rho^{0,5}$$

Plýonkaly gaýnama kadada:

uly göwrümlü gorizonta turbalarda

$$\alpha = 0,62^4 \sqrt{\lambda^{1/3} (\rho' - \rho'') gr^* / [v'' D (T_d - T_{suw})]}, \quad (17.3)$$

vertikal turbalar we plastinalar üçin

$$\alpha = 0,25^3 \sqrt{\lambda^{1/3} c_p \cdot g (\rho' - \rho'') / v''}, \quad (17.4)$$

bu ýerde

$r^* = r + 0.5 c_p (T_d - T_{suw})$ - plýonkadaky buguň aş gyzmasyny hasaba alýan bug emele gelmegiň effektiw ýylylygy, g-erkin gaçmanyň tizlenmesi.

Suwuklygyň dykzlygyndan ( $\rho'$ ) beýleki fiziki parametrleri buguň ortaça temperaturasynda alynýar:

$$T_{or} = 0,5(T_d - T_s)$$

Bu ýerde  $T_s$  -berlen basyşda doýma temperaturasy.

## 17.2 Buguň kondensasiýasynda ýylylyk çalyşma

Kondensasiýa diýlip, buguň (gazyň) suwuklyk ýa-da gaty ýagdaýa geçmesine aýdylýar.

Buguň üst bilen galtaşmasynda üstüň temperaturasy doýgun temperaturadan pes bolsa, bug suwuklyga öwrülýär. Buguň suwuklyga öwrülmesi bilen bugdan onuň galtaşýan gaty üste ýylylyk berilmesi bolup geçýär.

Eger-de kondensat üsti ölleýän bolsa, onda ol üste çökýär we tutuş plýonkany emele getirýär. Şeýle kondensirlenmä plýonkaly kondensirlenme diýilýär. Eger-de kondensat üsti öllemeyän bolsa, onda damjalaýyn kondensasiýa bolup geçýär.

Plýonkaly kondensasiýada emele gelýän plýonkanyň termiki garşylygynyň barlygy sebäpli plýonkaly kondensasiýadaky ýylylyk berijilik koeffisiýenti damjalaýyn kondensasiýadaky ýylylyk berijilik koeffisiýentinden pes bolýar. Tejribeleriň görkezmegine görä damjalaýyn kondensasiýanyň intensiwligi plýonkaly kondensasiýa bilen deňeşdirilende 5–10 gezek ýokarydyr. Emma, häzirki peýdalanylýan ýylylyk çalyşy enjamlarda, köplenç plýonkaly kondensasiýa bolup geçýär. Plýonkaly kondensasiýada ýylylyk çalyşygyň intensiwligi üstüň ýagdaýyna we onuň ýerleşişine bagly.

Plýonkaly kondensasiýada berilýän ýylylyk akymyň dykzylygy aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$q = (T_s - T_d) \lambda / \delta. \quad (17.5)$$

Nýutonyň-Rihmanyň kanunyna görä

$$q = \alpha (T_s - T_d), \quad \text{formulalar deňeşdirilende}$$

$\alpha = \frac{\lambda}{\delta}$  deňlik emele gelýär. Bu ýerde  $\lambda$  - kondensatyň ýylylyk

geçirijiligi,  $\frac{Wt}{M.K}$ ;  $\delta$  - kondensat plýonkasynyň galyňlygy, m.

X kesikde plýonkanyň galyňlygy:



$$\delta = \sqrt[4]{\frac{4\lambda(T_s - T_d)\nu_x}{rg(\rho' - \rho'')}}. \quad (17.6)$$

Onda ýerli ýylylyk berijilik koeffisiýenti aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta} = \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 rg(\rho' - \rho'')}{4(T_s - T_d)\nu_x}}. \quad (17.7)$$

Wertikal diwarlar ýa-da beýikligi  $h$  bolan turbalar üçin  $\alpha$ -nyň orta bahasy

$$\bar{\alpha} = 0,943A \sqrt[4]{h\Delta T}, \quad (17.8)$$

bu ýerde

$$\Delta T = T_s - T_d,$$

(17.7) deňlemede

$$A = \sqrt[4]{\lambda^3 rg(\rho' - \rho'')/\nu}$$

diýip belläliň.

Bu ýerde  $r$ -buguň kondensirlenmegindäki udel ýylylyk,  $\nu$  - kinematiki şepbeşiklik.

Formulada  $\lambda, \rho, \nu$  parametrleriň bahasy aşakdaky ortaça temperatura laýyklykda alynýar:

$$T_{or} = 0,5(T_s + T_d).$$

Ýylylyk berijilik koeffisiýentiniň ortaça bahasy gorizonta diwar üçin aşakdaky görnüşe eýedir:

$$\bar{\alpha} = 0,728A \sqrt[4]{d \cdot \Delta T} \quad (17.9)$$

$d$ -turbalaryň diametri, m.

### 17.3 Massa çalşygy

Ýylylyk çalyşma, köplenç maddanyň bir komponentinden beýlekisine massa geçirilmesi bilen bilelikde bolup geçýär. Bu ýagdaý, durmuşda we tehnikada esasan himiýa senagatynda, nebiti gaýtadan işleýän kärhanalarda duş gelýär.

Massa çalşyk prosesi ýönekeý we çylşyrymly görnüşde bolup bilýär. Ýönekeý massa çalşygy prosesinde bir fazanyň çäginde ony düzýän bölejikleriň geçirilmesi fazalary çäklendirilýän üste tarap ýa-da tersine, ondan fazanyň ýadrosyna tarap ugrukdyrylýar. Bu hadysa ýylylyk berlişe meňzeşlikde **massa berliş** diýilýär.

Massa berlişe mysal bolup, suwuklygyň bugarmysyny getirmek bolar. Suwuklygyň üstünden bugaryan suw buglary ony gurşap alýan bug gaz sreda berilýär.

Massa geçirilmesiniň çylşyrymly prosesinde massa iki fazany çäklendirýän üstün üstünden geçirilýär - oňa massa geçiriliş diýilýär.

Massa çalşyk diffuziýa arkaly bolup geçýär. Diffuziýa diýlip, fazanyň içinde konsentrasiýanyň deň paýlanmasyna ymtylýan, öz-özünden bolup geçýän prosese aýdylýar.

Diffuziýa molekulýar ya-da konweksiýa ýoly bilen bolup geçýär. Molekulalaryň ýylylyk hereketi arkaly bolup geçýän diffuziýa makroskopik molekulýar diffuziýa diýilýär. Konwektiw (makroskopik) diffuziýa fazalaryň giňişlikde biri-birine otnositellikdäki hereketleri netijesinde bolýar.

Maddalaryň geçirilmesi konwektiw diffuziýanyň we molekulýar diffuziýanyň bilelikdäki täsiri bilen bolýan massa çalşyga konwektiw massa çalşygy diýilýär.

Ýylylyk akymynyň kuwwatynyň Furýeniň kanuny arkaly ýazylyşy ýaly molekulýar ýa-da konsentrasion diffuziýa kanuny Fikiň kanuny arkaly ýazylýar:

$$dM_D = -D \frac{dc_i}{dX} dF. \quad (17.10)$$

bu ýerde  $dM_D$  - molekulýar diffuziýa arkaly sekuntda geçýän massanyň mukdary ýa-da akymy,  $D$ - molekulýar diffuziýa koeffisiýent,  $m^2/s$ ,  $C_i$ - komponentiň massasynyň onuň göwrümine bolan gatnaşygy ýa-da maddanyň konsentrasiýasy,  $kg/m^3$ ,  $\frac{dc_i}{dx}$  - konsentratsiýa gradiýenti,  $\frac{kg}{m^4}$  .

Deňlemedäki minus alamaty maddanyň süýşmesiniň konsentratsiýanyň gradiýentiniň kemelýän tarapyna ugrukdurylandygy görkezýär.

Diffuziýa koeffisiýenti temperaturanyň artmagy bilen artyp, basyşyň artmagy bilen bolsa kiçelýändir. Eger garyndynyň temperaturasy üýtgeýän bolsa, termodiffuziýa ýüze çykýar. Bu ýagdaýda komponentleriň massalarynyň dürlüligi bolsa has agyr molekulalar sowuk göwrüme ymtyl magyna getirýär. Molekulalaryň massalary birmeňzeş bolanda ölçegleri has uly molekulalar sowuk göwrüme geçmäge ymtylýarlar. Termodiffuziýa konsentrasiýasynyň gradiýentini döretmäge ymtylýar. Emma, oňa konsentrasiýa diffuziýasy zyýan berýär. Diffuziýanyň ýene bir görnüşine barodiffuziýa diýilýär. Barodiffuziýa garyndyň komponentleriniň basyşynyň deň dældigi netijesinde ýüze çykýar. Bu ýagdaýda agyr molekulalar ýokary basyşly göwrüme ymtylýarlar, ýeňil molekulalar bolsa pes basyşly göwrüme ymtylýarlar.

Diffuziýanyň beýleki görnüşleri ýaly barodiffuziýa hem maddanyň konsentrasiýasynyň tapawudynyň emele gelmegi netijesinde massa göçürilmesi bilen bolup geçýär.

Fikiň kanuny konsentrasiýanyň tapawudynyň üsti bilen aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$M_D = D \frac{c_1 - c_2}{\delta} F. \quad (17.11)$$

Bu ýerde  $\delta$  -maddanyň hereketiniň ugruna perpendikulýar ugrukdyrylan komponentleriň gatlaklarynyň arasynyň uzaklygy,

$c_1$  we  $c_2$  – birinji we ikinji gatlaklaryň maddalarynyň konsentrasiýasy.

Ýylylyk berlişe meňzeşlikde konwektiw massa çalşyga massa berliş diýilýär.

Massa berliş konwektiw ýylylyk berlişe meňzeşlikde aşakdaky ýaly ýazylýar:

$$dM_k = \beta \Delta c_{or} dF. \quad (17.12)$$

$\beta$  -massa berliş koeffisiýenti, m/s;

$\Delta c_{or}$  -faza bölünme çäginde konsentraciýalaryň orta tapawudy, kg/m<sup>3</sup>.

Massa berliş koeffisiýenti aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$\beta = -\left(D / \Delta c_{or}\right) \left(\frac{\partial c}{\partial X}\right). \quad (17.13)$$

Bu aňlatma ýylylyk beriliş koeffisientiniň formulasyna meňzeşdir

$$\alpha = -\left(\lambda_{pl} / \Delta t_{or}\right) \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right). \quad (17.14)$$

## On sekizinji bap. ÇYLŞYRYMLY ÝYLYLYK ÇALYŞMA. ÝYLYLYK ÇALŞYJY ENJAMLAR

### 18.1 Çylşyrymly ýylylyk çalyşma

Ýylylyk çalyşman ýokarda seredilen üç görnüşü: ýylylyk geçirijilik, konweksiýa we şöhlemenme tebigatda hem-de durmuşda köplenç bilelikde bolup geçýär. Üç görnüşü bir wagtda bilelikde bolup geçýän ýylylyk çalyşma prosesine çylşyrymly ýylylyk çalyşmasy diýilýär.

Çylşyrymly ýylylyk çalyşmada umumy ýylylyk akymynyň dykzlygyny konwektiw ýylylyk çalyşmasynyň hem-de şöhlemenme boýunça ýylylyk çalyşmasynyň üsti bilen aşakdaky ýaly aňladýarlar:

$$q = q_k + q_s. \quad (18.1)$$

Bu ýerde  $q_k$ -konwektiw ýylylyk çalyşmasynda ýylylyk akymynyň dykzlygy öz içine ýylylyk geçirijilik we konweksiýa boýunça ýylylyk geçirilişi alýar.

$$q_k = \alpha_k (t_s - t_d). \quad (18.2)$$

bu ýerde  $\alpha_k$  - 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) tempraturasy.

$q_s = \alpha_s (t_s - t_d)$  - şöhlemenme arkaly berilýän (ýa-da alynýan) ýylylyk akymynyň dykzlygy,  $\alpha_s$  - şöhlemenme boýunça ýylylyk berliş koýefisiýenti,  $Wt / (m^2 \cdot K)$  .

Ýokarky formulalary göz önünde tutup, (18.1)-i aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$q = (\alpha_k + \alpha_s)(t_s - t_d) = \alpha(t_s - t_d),$$

$\alpha = \alpha_k + \alpha_s$  - umumy ýylylyk berliş koeffisiýenti. Bu ýerde şohlelenme boýunça ýylylyk berliş koeffisienti aşakdaky inženerçilik formulasy arkaly kesgitlenilýär.

$$\alpha_s = \varepsilon c_0 \cdot 10^{-8} (T_s^4 - T_d^4) / (T_s - T_d). \quad (18.3)$$

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:

$$Q = k(t_1 - t_2)F, \quad (18.4)$$

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

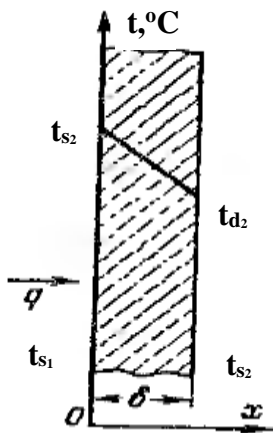
$F$  – ýylylyk çalşylýan üstüň meýdany,  $m^2$ ,

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

## 18.2 Tekiz we gapyrgaly diwarlardan ýylylygyň geçirilişi

Gyzgyn suwuklykdan ýa-da gazdan oňa görä pes temperaturaly suwuklyga ýa-da gaza olaryň arasyndaky ýuka diwaryň üsti bilen ýylylyk geçirilşine seredeliň.

Goý, tekiz diwaryň çep tarapyndaky suwuklygyň temperaturasy  $t_{s_1}$ , diwaryň sag gapdalyndaky suwuklygyň  $t_{s_2}$  - temperaturasyndan ýokary diýeliň (18.1-nji surata serediň)



18.1-nji surat. Diwaryň galyňlygy boýunça temperaturanyň üýtgeşi

Diwaryň galyňlygy  $\delta$ , onuň çep we sag gapdal üstleriniň temperaturasy  $t_{d_1}$  we  $t_{d_2}$  bilen belgiläliň.

Gyzgyn suwuklykdan diwara konweksiýa boýunça berilýän ýylylyk akymynyň dykzlygyny, diwardan ýylylyk geçirijilik arkaly geçýän ýylylyk akymynyň dykzlygyny hem-de diwaryň daşky üstünden ony ýuwýan suwuklyga berilýän konwektiv ýylylyk akymynyň dykzlygyny deňşililikde aşakdaky ýaly aňladalyň:

$$\left. \begin{aligned} q &= \alpha_1 (t_{s_1} - t_{d_1}) \\ q &= \frac{\lambda}{\delta} (t_{d_1} - t_{d_2}) \\ q &= \alpha_2 (t_{d_2} - t_{s_2}) \end{aligned} \right\} \quad (18.5)$$

Bu formulalardan temperaturalarynyň tapawudyny tapyp, alnan deňlemeleri biri-birine goşup, aşakdaky ahyrky aňlatmany alarys:

$$t_{s_1} - t_{s_2} = q \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right).$$

Bu ýerden

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} (t_{s_1} - t_{s_2}). \quad (18.6)$$

Soňky deňlemede

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

diýip belgiläp, bir gat diwardan ýylylyk geçendäki ýylylyk akymyň dykzlygynyň ýylylyk geçiriliş koeffisientiniň ( $k$ ) üsti bilen aňladylan formulasyny alarys:

$$q = k(t_{s_1} - t_{s_2}). \quad (18.7)$$

Diwaryň ähli  $F$  üstünden geçýän ýylylyk üçin aşakdaky formulany ýazmak bolar:

$$Q = qF = k(t_{s_1} - t_{s_2})F. \quad (18.8)$$

Eger ýylylyk alyşýan suwuklyklaryň arasyndaky diwar ýukajyk bolsa hem-de onuň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti ýokary bolsa, meselem ol diwar galyň bolmadyk metaldan edilen bolsa, ýylylyk geçirijilik koeffisiýentini aşakdaky ýaly ýazmak bolar:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}. \quad (18.9)$$

Bu ýerden görnüşi ýaly,  $k$  – nyň bahasy  $\alpha_1$  we  $\alpha_2$  koeffisiýentleriň in kiçisinden hem kiçidir.

Eger-de ýylylyk akymynyň dykzlygynyň ululygy belli bolsa diwaryň üstleriniň temperaturasyny (18.5) deňlemeden peýdalanyp



kesgitlemek bolar. Meselem, ýokarky sereden mysalymyzda diwaryň gyzgyn üstüniň temperaturasy aşakdaky ýaly kesgitlenilýär:

$$q = \alpha_1 (t_{s_1} - t_{d_1}) \text{ ýa-da}$$

$$t_{s_1} - t_{d_1} = q / \alpha_1.$$

Bu ýerden bolsa

$$t_{d_1} = t_{s_1} - \frac{q}{\alpha_1}$$

gelip çykýar. Diwaryň beýleki üstüniň tempraturasy hem şeýle kesgitlenilýär. Ýagny

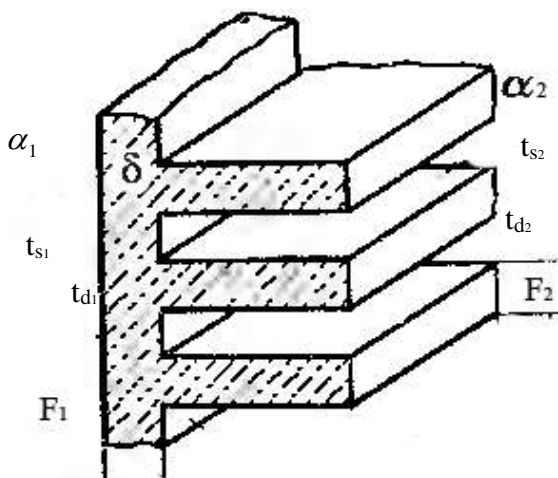
$$t_{d_2} = t_{s_2} + \frac{q}{\alpha_2}.$$

Ýylylyk çalşylýan suwuklyklaryň arasyndaky diwar köp gatlakly bolsa, onda ýylylyk geçiriliş koeffisiýenti aşakdaky formula esasynda hasaplanylýar:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n (\delta_i / \lambda_i) + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (18.10)$$

Ýylylyk çalşylma prosesini has çaltlaşdyrmak üçin suwuklygyň galtaşýan diwarlaryny emeli usulda gapyrgalandyrýarlar. Ýagny ýylylyk çalşyýy üsti emeli usul arkaly gapyrgalar oturdyp ulaldýarlar. Şeýle gapyrgаланan diwar 18.2-nji suratda görkezilendir.

Bu diwaryň bir tarapynyň meýdany  $F_1$ , beýleki tarapynyň meýdany bolsa gapyrgalar bilen bilelikde  $F_2$  - bolsun we  $F_2 > F_1$ . Diwaryň galyňlygy  $\delta$  we onuň iki tarapynyň temperaturalary  $t_{s_1}$  we  $t_{s_2}$  suwuklyk bilen gurşalan.  $t_{s_1} > t_{s_2}$  bolup, ýylylyk diwaryň üsti bilen çepden saga tarap geçirilýär.



18.2-nji surat. Gapyrgalanan üst

Durnuguşan ýylylyk kadasy üçin diwara berilýän, ondan alynýan we diwaryň üstünden geçirilýän ýylylyk akymyny aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \alpha_1 (t_{s1} - t_{d1}) F_1 \\ Q &= \frac{\lambda}{\delta} (t_{d1} - t_{d2}) F_1 \\ Q &= \alpha_2 (t_{d2} - t_{s2}) F_2 \end{aligned} \right\} \quad (18.11)$$

bu ýerden

$$\left. \begin{aligned} t_{s1} - t_{d1} &= \frac{Q}{\alpha_1 F_1} \\ t_{d1} - t_{d2} &= \frac{Q \delta}{\lambda F_1} \\ t_{d2} - t_{s2} &= Q / \alpha_2 F_2 \end{aligned} \right\}$$

Bu deňlikleri goşup, ondan  $Q$  üçin aşakdaky deňligi alarys:

$$Q = \frac{t_{d_1} - t_{d_2}}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2}} \quad (18.12)$$

diwaryň çep üsti boýunça ýylylyk akymynyň dykyzlygy üçin

$$q = \frac{Q}{F_1} = \frac{t_{d_1} - t_{d_2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \frac{1}{\xi}} = k_p (t_{d_1} - t_{d_2}).$$

Bu ýerde

$$\xi = \frac{F_2}{F_1} - \text{gapyrgalanma derejesi we}$$

$$k_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1} \frac{1}{\xi}} \quad (18.13)$$

gapyrgalanan diwardan ýylylyk geçiriliş koeffisiýenti.

Formuladan görnüşi ýaly,  $\xi$  - näçe uly bolsa  $k_p$  hem ulalýar.

Bu bolsa ýylylyk geçirilişiniň çaltlaşandygyny aňladýar. Bu formulalar alnanda gapyrgalanan diwaryň ähli üsti boýunça temperatura birmeňzeş diýip hasap etdik. Emma, hakykatda bolsa, gapyrgalaryň depesiniň temperaturasy onuň diwara galtaşýan üstüniň temperaturasyndan tapawutlydyr (kiçidir). Oňa baglylykda ýylylyk berliş koeffisiýentiniň bahasy hem üst boýunça birmeňzeş baha eýe bolmaýar. Şonuň üçin hem gapyrgalanan üstüň ýylylyk geçiriliş koeffisiýentiniň has takyk ululygy tejribeleriň ýa-da takyk hasaplamalaryň üsti bilen kesgitlenilýär.

### 18.3 Silindr görnüşli diwardan ýylylyk geçiriliş

Daşky we içki radiuslary  $r_1$  we  $r_2$ , ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\lambda$  bolan materialdan ýasalan silindr görnüşli diwardan ýylylyk geçirilişe seredeliň. Turbanyň içinden  $t_1$  temperaturaly gyzgyn suw akýan bolsun, onuň daşky üstüni bolsa howa gurşap alsyn. Howanyň temperaturasyny  $t_2$  bilen belgiläliň. Ýylylyk silindriň diwarynyň üsti bilen suwdan turbanyň daşyndaky howa geçirilýär. Turbanyň içki diwarynyň temperaturasyny  $t_{d_1}$  daşky üstüniň temperaturasyny bolsa  $t_{d_2}$  bilen belgiläliň.

Durnugyşan ýylylyk kadada bir gat diwarly turbanyň 1 pogon metr uzynlygyndan berilýän udel ýylylyk akymy aşakdaky formulalar arkaly ýazylýar:

$$\left. \begin{aligned} q_e &= \alpha_1 F_1 (t_{s_1} - t_{d_1}) = \alpha_1 \pi d_1 (t_{s_1} - t_{d_1}) \\ q_e &= \frac{2\pi}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}} (t_{d_1} - t_{d_2}) \\ q_e &= \alpha_2 F_2 (t_{d_2} - t_{s_2}) = \alpha_2 \pi d_2 (t_{d_2} - t_{s_2}) \end{aligned} \right\} \quad (18.14)$$

Bu formulalardan:

$$t_{s_1} - t_{s_2} = \frac{q_e}{\pi} \left( \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2} \right)$$

deňligi alarys.

Bu ýerden

$$q_e = \frac{\pi(t_{s_1} - t_{s_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} = \pi k_\ell (t_{s_1} - t_{s_2}) \quad (18.15)$$

deňlemäni alarys.

Bu formulada

$$k_{\ell} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}$$

turbanyň 1m uzynlygynyň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti.

Köp gatlakly diwarly turba üçin bu koeffisiýent aşakdaky ýaly ýazylyar:

$$k_{\ell} = \frac{1}{\frac{1}{d_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_n \cdot d_n}}. \quad (18.16)$$

## 18.4 Ýylylyk çalşygy enjamlar

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

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

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

Seredilen iki usulda-da ýylylyk çalşygy gaty üstüň gatnaşmagy bilen amala aşyrylýar. Ýylylyk çalşygy enjamlaryň üçünji sanalan usulynda suwuklyklaryň arasyndaky ýylylygy çalyşmada gaty üstüň bolmagy hökman däl. Bu ýylylyk çalşygy enjamlarda gyzgyn suwuklygyň ýylylygy sowuk suwuklyga iki suwuklygyň gabyň içinde garylmany bilen berilýär.

Demir ýol pudagynda köplenç rekuperatiw ýylylyk çalşyýjy enjamlar ulanylýar. Bu görnüşli ýylylyk çalşyýjy enjamlar jaýlaryň ýyladyş ulgamlarynda, durmuşda we tehnikada giňden ulanylýar.

Ýylylyk çalşyýjy enjamlaryň taslamasy taýýarlananda ýylylyk hasaplamalaryň esasy maksady enjamyň ýylylyk çalşyýjy üstüni hasaplamakdan, bar bolan ýylylyk çalşyýjy enjamlar ulanylanda bolsa, ýylylyk äkidijiniň temperaturasyny kesgitlemekden ybaratdyr.

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

$$Q = kF\Delta t_{or}. \quad (18.17)$$

Bu ýerde  $k$ - ýylylyk geçiriliş koeffisiýenti,  $\Delta t_{or}$ - ortaça tempratura tapawudy.

$\Delta t_{or}$ - kesgitlemek üçin ýönekeýje ugurdaş akym shemada işleýän ýylylyk çalşyýjy enjamy peýdalanalyň (18.3-nji surat).

Suratda görkezlen  $dF$ -elementar üst boýunça ýylylyk geçiriliş deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$dQ = k(t_1 - t_2)dF = k\Delta t dF. \quad (18.18)$$

Şeýle hem, sowaýan ýylylyk äkidiji  $dQ = -c_1 dt_1$  ýylylygy, gyzdyrylýan ýylylyk äkidiji  $dQ = c_2 dt_2$  ýylylygy kabul edýär.

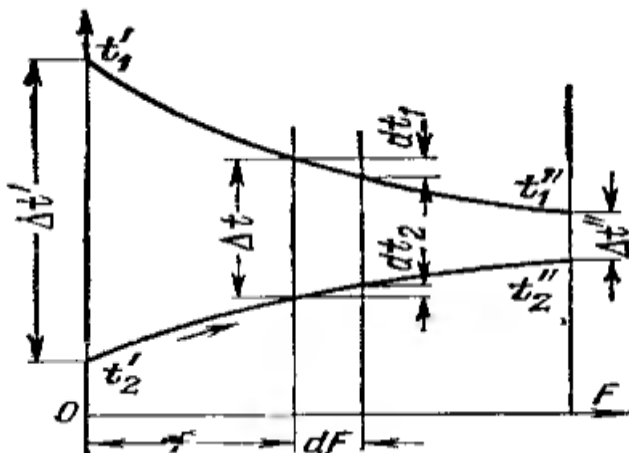
Ýagny  $dQ = -c_1 dt_1 = c_2 dt_2$ . Bu ýerden  $dt_1 = -\frac{dQ}{c_1}$  we

$dt_2 = \frac{dQ}{c_2}$ . Temperatura tapawudynyň tükeniksiz kiçi ululyga

üýtgemesi  $d(t_1 - t_2) = dt_1 - dt_2 = -(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2})dQ = -mdQ$ . Bu ýerde

$m = (\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2})$ . Soňky deňlemä  $dQ$ -nyň bahasyny goýup we

$t_1 - t_2 = \Delta t$  bilen belgiläp, aşakdakyny ýazalyň:



18.3-nji surat. Üstüň meýdany boýunça  $\Delta t$  -niň üýtgemesi .

$$d(\Delta t) = -mk\Delta t dF$$

ýa-da

$$\frac{d(\Delta t)}{\Delta t} = -mk dF.$$

$m$  we  $k$  ululyklary hemişelik diýip hasap edip, bu deňlemäni  $\Delta t'$  -den  $\Delta t$  -e çenli we  $0$ -dan  $F$ -e çenli çäkke integrirläliň:

$$\int_{\Delta t'}^{\Delta t} \frac{d(\Delta t)}{\Delta t} = -mk.$$

Bu ýerden

$$\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'} = -mkF$$

ýa-da

$$\Delta t = \Delta t' e^{-mkF}. \quad (18.19)$$

Deňlemeden görnüşi ýaly, ýylylyk çalşyjynyň boýuna  $\Delta t$  eksponensial kanun boýunça üýtgeýär.

Ýylylyk çalşyýy üstüň ähli meýdanyna degişli temperatura tapawudynyň ortaça ululygy aşakdaky usul boýunça kesgitlenýär:

$$\overline{\Delta t} = \frac{1}{F} \int_0^F \Delta t dF. \quad (18.20)$$

Formuladaky  $\Delta t$  ýylylyk çalşyýy üstüň  $dF$  elementine degişli temperatura tapawudy. (18.20) deňlemä (18.19) deňlemeden  $\Delta t$  bahasyny goýup alarys:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t'}{F} \int_0^F e^{-mkF} dF = -\frac{\Delta t'}{-mkF} (e^{-mkF} - 1).$$

$$-mkF = \ln \frac{\Delta t}{\Delta t'} \quad \text{we} \quad e^{-mkF} = \frac{\Delta t}{\Delta t'}$$

Bolýandygyny göz önünde tutup ýokarky formulany aşakdaky görnüşde ýazarys:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t' \left( \frac{\Delta t}{\Delta t'} - 1 \right)}{\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'}} = \frac{\Delta t - \Delta t'}{\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'}}. \quad (18.21)$$

Bu ýerde  $\overline{\Delta t}$ -ni ähli üste degişli edilýänligi üçin  $\Delta t = \Delta t''$ . Onda



$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t'' - \Delta t'}{\ln \frac{\Delta t''}{\Delta t'}} \quad (18.22)$$

Bu formula edebiýatlarda köplenç aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_u - \Delta t_K}{\ln \frac{\Delta t_u}{\Delta t_K}} \quad (18.23)$$

$\Delta t_u$  – uly temperatura tapawudy ;

$\Delta t_K$  -kiçi tempratura tapawudy.

Bu formula ugurdaş we garşylykly akym üçin ulanylyp bilner. Bu formuladaky  $\overline{\Delta t}$  - orta logarifmiki temperatura **badý** diýilýär.

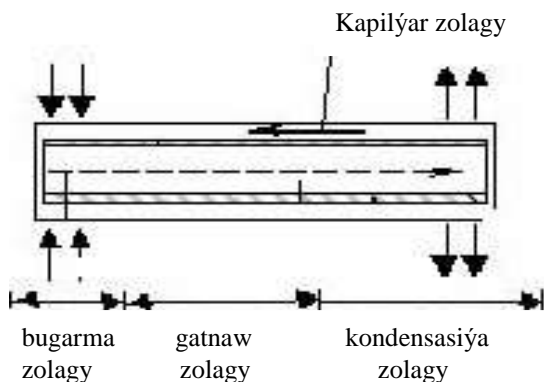
Indi ugurdaş we garşylykly akym düşünjeleri barada durup geçeliň. Ýylylyk çalyşýan suwuklygyň ýa-da gazyň biri-birine görä hereket ediş ugruna baglylykda ugurdaş, garşylykly we keseleýin akymlar düşünjeleri girizilýär. Ugurdaş bolanda suwuklyklar özara parallel bir tarapa ugrukdyrlyp hereket edýärler.

Garşylykly akymda suwuklyklar özara parallel, ýöne biri-birlerine gapma-garşy tarapa hereket edýärler. Keseleýin akym, biri-birine perpendikulýar ugurlar boýunça hereket edýän ýylylyk äkidijiler hem ýylylyk çalşygy enjamlarda köp ulanylýar.

Seredilen ýylylyk çalşygy enjamlarda ýylylyk bir sredadan beýleki sreda esasan konweksiýa we ýylylyk geçirijilik arkaly berilýär. Emma, tehnikada ýylylyk çalşygy prosesinde suwuklygyň öz agregat halyny üýtgetmegi (bugarma we kondensasiýa) bilen bagly bolan ýylylyk geçiriji enjamlar hem ulanylýar. Şu enjamlaryň biri hökmünde ýylylyk turbajyklary diýen ady alan ýylylyk geçiriji enjamy mysal getirmek bolar. Ýylylyk turbajyklaryň häzirki döwürde ylymda, tehnikada we durmyşda has giňden ulanylýandygyny göz önünde tutyp bu gurluş barada giňräk durup geçeliň.

Bu gurluşy ilkinji gezek XIX asyrda angliýaly I.Pekins diýen alym oýlap tapypdyr. Emma, bu gurluşyň ir döwürde oýlanyp tapylýanlygyna garamazdan, ýaňy ýakynlara çenli ulanylmadyr. XX asyryň ikinji ýarymynda ýylylyk turbajyklary harby maksatlar üçin, kosmosda we radioelektron enjamlarynda giňden ulanylyp başlandy.

Ýylylyk turbajygy näme? Bu turbajygyň iň ýönekeý görnüşine termosifon diýilýär. Termosifon diametri 1-1,5 sm, uzynlygy 40-120 sm çenli bolan, göwrüminiň üçden bir bölegi ýeňil bugarýan sowuklyk bilen doldurylan, içiniň howasy çykarylan, iki tarapy bolsa sybyzgy ýapylan misden, latundan ýa-da ýylylygy oňat geçirýän başga materialdan ýasalan turbajykdyr. Termosifon wertikal ýagdaýda ýa-da gorizonttal ýatyrylanda işleýär. Eger bu turbajygyň aşaky ujuny gyzdysak, onda suwuklyk bugarýar we buglar turbanyň içi boýunça ýokary galyp, onuň ýokarky başynda kondensirlenýär. Şeýlelikde gyzdyrylýan zolagyň ýylylygy turbanyň beýleki ujuna bug arkaly geçirilýär. Soňra kondensirlenen bug suw damjasy görnüşinde ýeriň dartýş güýjüniň täsiri bilen turbanyň içki diwaryndan syrygyp aşak gelýär we bu proses üznüksiz gaýtalanyp durýar. Suwuklygyň turba boýunça yzyna gaýdyş prosesini çaltlandyrmak üçin turbanyň içki diwaryny kapilýar gurluşly material bilen örtýärler.



18.4-nji surat. Yylylyk turbajygynyň

Kapilýar gurluşly material hökmünde örän kiçi gözenekli birnäçe gat metaldan ýasalan tor ýa-da başga material ulanylýar. Kā ýylylyk turbajyklaryň içki üstünden kesijileriň kömegi bilen örän inçejik kapilýarlar geçirilýär. Içi tor gözeneklerinden örtülen ýylylyk turbajygyň shemasy suratda görkezilendir.

Ýylylyk turbajygynda kapilýar gurluşyň ulanylmagy kapilýar güýjiň hasabyna kondensasiýa zolagynda buguň suwuklyga öwürülenleriniň bugardyjy zolaga gelmegini çaltlandyrýar we netijede gyzdýrylýan zolakdan sowadylýan zolaga ýylylygyň çalt geçmegini üpjün edýär. Bu ýylylyk turbajyklaryň massasynyň kiçiligi, gurluşynyň ýönekeýligi hem-de işlände sessizligi onuň tehnikanyň köp ýerlerinde ulanylmagyna sebäp bolýar. Ýylylyk turbajyklaryň peýdaly täsir koeffisiýenti örän ýokary bolup, ol özüniň ölçegine deň bolan kümüşden ýasalan turbajygyň ýylylyk geçirijiliginden 50-esseden gowrak ýylylygy çalt geçirýär. Bu enjamlar aşa gyzýan üsti çalt sowatmakda, dürli temperaturaly üstleriň temperaturasyny deňleşdirmekde, ýylylyk akymyny transformirmekde giňden ulanylýar.

### **18.5. Ýylylyk çalşyjy enjamlaryň gidromehaniki hasapnamalary**

Ýylylyk geçirijilik bilen basyşyň üýtgemesiniň arasynda berk fiziki baglanşyk bardyr. Ýylylyk geçirijileriň tizligi uly boldugyça ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti hem şonça ýokarydyr. Ýöne bu ýagdaýda akyma garşylyk köpeliýär. Ýylylyk çalşyjy bilen gidrawliki garşylygyň meselelerini bilelikde çözmeli we iň amatly häsiýetnamalary tapmaly.

Ýylylyk geçiriji enjamlaryň gidromehaniki hasaby amala aşyrylanda esasy mesele bolup enjamdan ýylylyk göçüriji geçende onuň basyşynyň ýitgisi bolup durýar. Ýylylyk çalyşygy we gidrawliki garşylyk ýylylyk göçürijileriň hereketiniň tizligi bilen bagly bolany üçin bu tizligi amatly çäklerde saýlap almaly bolýar. Amatly çäkler bolsa bir tarapdan berlen konstuksiýaly ýylylyk

çalyşygy enjamyň üstüniň gymmaty bilen, beýleki tarapdan enjam ulanylanda sarp edilýän energiýanyň gymmaty bilen kesgitlenýär.

Ýylylyk çalyşygy enjamlaryň gidrawliki garşylygy ýylylyk geçirijileriň hereket ediş şerti bilen we enjamyň konstuksiyasynyň aýratynlyklary bilen kesgitlenýär.

## 18.6. Ýylylyk çalyşygy enjam elementleriniň gidrawliki garşylygy

Ýylylyk çalyşygy enjamlaryň gidrawliki garşylygyny hasaplamak örän çylşyrymlydyr. Şeýle bolany üçin, köplenç ýylylyk çalyşygy enjamlaryň gidrawliki garşylygynyň diňe golaýlaşan bahalaryny hasaplap bolýar.

Hereketiň ýüze çykyşynyň tebigaty bilen baglanyşykly ýylylyk geçirijileriň hereketiniň gidrawliki garşylygyň iki görnüşü bardyr. Birinji görnüşe **sürtülme garşylygy** diýilýär. Ol suwuklygyň şepbeşikligi bilen baglanyşyklydyr we üznüksiz akym bolan ýerlerde ýüze çykýar. Ikinji görnüşe **ýerli garşylyk** diýilýär. Bu garşylyk akymyň hereketine ýerli päsgelçilikleriň täsiri bilen ýüze çykýar. Meselem, öl päsgelçiliklere kanalyň daralýan we gysylýan ýerleri, egri ýerleri, kanaldaky бүдүр-сүдүрликler we ş.m. degişlidir. Bu aýdylanlar izotermik akymik üçin dogrudyr. Eger, ýylylyk geçirijileriň hereketi netijesinde ýylylyk çalyşygy bolýan bolsa we enjam daşky sreda bilen ýylylyk alşygyna gatnaşýan bolsa ýene-de goşmaça garşylyk ýüze çykýar. Goşmaça garşylyk izotermik däldigi sebäpli döreýän akymynyň tizlenmesi we **öz-özünü çekiş** garşylygy bilen baglanyşyklydyr. Gyzgyn suwuklygyň mejbury hereketi bolanda kanalyň peselýän ýerlerinde ýokaryk ugrukdyrylan göteriji güýç ýüze çykýar. Şol güýjüň hasabyna-da öz-özünde çekiş garşylygy ýüze çykýar.

Şeýlelikde, suwuklyk ýa-da gaz ýylylyk çalşygydan akanda basyşyň doly üýtgemesi aşakdaky formula bilen kesgitlenýär:

$$\Delta p = \sum \Delta p_s + \sum \Delta p_y + \sum \Delta p_t + \sum \Delta p_\theta. \quad (18.24)$$

Bu ýerde

$\sum \Delta p_s$  - ýylylyk çalşygyň üstüniň ähli böleklerindäki sürtülme garşylyklaryň jemi,

$\sum \Delta p_y$  -ýerli garşylyklardaky basyşyň ýitgileriniň jemi,

$\sum \Delta p_t$  - akymyň tizlenmesi sebäpli basyşyň ýitgisiniň jemi,

$\sum \Delta p_\theta$  - öz-özünde çekişi ýeňip geçmek üçin basyşyň ýitgileriniň jemi.

Ýokarky (18.24) formuladaky garşylygyň düzüjileriniň tebigaty dürli bolany üçin olaryň hasabyny aýry-aýrylykda ýerine ýetirmeli bolýar. Gysylmaýan suwuklyk kanalda üznüksiz akym emele getirende sürtülme güýçlerini ýeňip geçmek üçin basyşyň ýitgisi aşakdaky formula bilen hasaplanylýar.

$$\Delta p_s = \xi \frac{\ell}{d} \frac{\rho \omega^2}{2}. \quad (18.25)$$

Bu ýerde  $\ell$  - kanalyň doly uzynlygy,  $d$  - gidrawliki diametr (bu ululyk  $d = \frac{4f}{u}$  görnüşinde alynýar),  $f$  - kanalyň kese - kesiginiň meýdany,  $u$  - kese - kesigiň perimetri,  $\rho$  we  $\omega$  - kanaldaky suwuň ýa-da gazyň orta dykzlygy we orta tizligi,  $\xi$  - sürtülme garşylygyň koeffisiýenti.

Bu koeffisiýent ölçegsiz ululykdyr. Ol akymyň sürtülme güýçleriniň onuň inersion güýçlerine gatnaşygyny häsiýetlendirýär we  $\ell > 30d$  bolan kanallar üçin hemişelikdir. Eger  $\ell > 30d$  bolsa

onda bu koeffisientiň kanalyň giriş böleginde üýtgemesini hasaba almaly:  $\Delta p_s$  Paskalda ölçenilýär.

Sürtülme garşylygynyň koeffisiýenti akymyň hereketiniň kadasyna baglydyr we şeýle bolany üçin laminar we turbulent akymlarda dürli bahalara eýe bolýar. Akymyň hereketiniň kanunlary gidrawlika we gidroaerodinamika derslerinde öwrenilýär.

Bu bapda sürtülme garşylygynyň hasaplanyşyna degişli gysgaça maglumatlara seredeliň.

Ýokarky (18.25) formuladaky sürtülme garşylygynyň koeffisiýenti  $\xi$  -ni hasaplamak üçin

$$\xi = \frac{64\varphi}{\text{Re}_1} \left( \frac{\mu_c}{\mu_1} \right)^n$$

formula ulanylýar. Bu ýerde  $\varphi$  -kanalyň geometrik formasyna bagly koeffisiýent. Tegelek turba üçin  $\varphi = 1,0$ , tekiz kanal üçin  $\varphi = 1,5$ ,  $n$  derejäniň we  $\text{Re}_1$  sanyň bahalary ýörüte tablisadan alynýar,  $\mu_c$  we  $\mu_1$  - kanalyň diwaryna we girelgesine degişli, temperatura bagly şepbeşiklik koeffisiýentleri.

Ýerli garşylyklardaky basyşyň üýtgemegi:

$$\Delta p_y = \xi_1 \frac{\rho \omega^2}{2} \quad (18.26)$$

formula bilen kesgitlenýär. Bu ýerde  $\xi_1$  - ýerli garşylygyň koeffisiýenti. Ol бүдүр-сүдүрлігіň häsiýetine bagly ululykdyr. Onuň hasaplanyş formulasy we san bahalaryny degişli edebiýatlardan tapmak bolar.

Akymyň tizlenmesi sebäpli basyşyň üýtgemesi:

$$\Delta p_t = 2 \left( \frac{\rho_2 \omega_2^2}{2} - \frac{\rho_1 \omega_1^2}{2} \right) = \rho_2 \omega_2^2 - \rho_1 \omega_1^2 \quad (18.27)$$

deňleme boýunça kesgitlenilýär.

Bu ýerde başlangyç temperatura degişli ululyklar 1 indeks bilen, soňundakylar – 2 indeks bilen belgilenilen. Gaz gyzdýrylanda  $\Delta p_t > 0$ , sowadylanda -  $\Delta p_t < 0$ .

Öz-özünde çekişi ýeňip geçmek üçin basyşyň üýtgemesi:

$$\Delta p_\theta = \pm g(\rho - \rho_0)h_0. \quad (18.28)$$

Bu ýerde  $\rho_0$  - suwuň (meselem howanyň) orta dykyzlygy;  $\rho$  - gyzdýrylan suwuklygyň (meselem, tüsse gazlaryň) orta dykyzlygy;  $h_0$ -wertikal kanalyň beýikligi.

Ýylylyk geçirijiniň hereketi ýokardan aşak bolanda plýus alamat alynýar, aşakdan ýokary bolanda – minus alamat alynýar.

Haýsydyr bir enjam üçin tehniki hasaplamalar geçirilende basyşyň doly üýtgeýşini tapmak üçin basyşyň aýry-aýry üýtgemeleriniň jemi alynýar.

Garşylygyň hasaplanyşynyň bu usulynda yzygider birikdirilen elementlerdäki suwuklyklaryň akymalarynyň häsiyetleriniň mundan öňki bölekdäki herekete baglylygy hasaba alynmaýar. Meselem, öwrümden öňdäki göni bölegiň garşylygy köpdür. Bu faktorlaryň has takyk täsirlerini eksperimentde anyklap bolýar.

### III BÖLÜM

## ÝANGYÇ WE ÝANMA HADYSASYNYŇ ESASLARY

### On dokuzynjy bap. ÝANGYÇ

#### 19.1. Ýangyç hakynda düşünje we ýangyjyň topara bölünişi

Mendeleyewiň kesgitlemesine görä, ýylylyk almak maksady bilen ýörite ýakylýan ýanyjy maddalara ýangyç diýilýär.

Kislorod bilen himiki birleşmede ýylylyk bölüp çykarýan hemme maddalara ýangyç diýmek bolmaz. Meselem, birnäçe metallurgiýa proseslerinde kremniý ýakylanda ýylylyk bölünip çykýar we ol ýylylyk çeşmesi bolup durýar. Emma kremnä ýangyç diýip bolmaz.

Ýangyç organiki madda bolup, esasan ösümlikleriň galyndysydyr. Ýangyçdaky himiki elementleriň okislenmegi bilen ýylylyk energiýasy we gaz şekilli önüm bölünip çykýar. Ýangyjyň şol himiki energiýasynyň çeşmesi bolsa günün akkumulirlenen energiýasy bolup durýar.

Ýangyçlar öz fiziki ýagdaýlaryna görä **gaty, suwuk we gaz şekilli** görnüşlere bölünýärler. Organiki ýangyçlar alnys usullary boýunça **tebigy we emeli** ýangyçlara bölünýär.

**Gaty ýangyçlara** – antrasit, daş we goňur kömür, torf, odun, slanes, ağaç kesýän zawodlaryň, sehleriň galyndylary we ş.m. degişlidir.

**Suwuk ýangyçlara** – nebit we nebiti gaýtadan işlenilende alynýan dürli görnüşdäki önümler bolan: benzin, kerosin, ligroin, dürli görnüşli ýaglar we nebiti täzeden işlenilende galyndysy bolan – mazut degişlidir. Nebitiň özi ýangyç hökmünde gazan desgalarynda ulanylmaýar. Gazan desgalarynyň ojaklarynda suwuk ýangyç hökmünde mazut ýakylýar.

Gaty ýangyçlary gaýtadan işlenilende emeli suwuk ýangyçlar we ýanyjy smola, şeýle hem ýaglar alynýar.

**Gaz şekilli ýangyçlara** – ýerastyndan gazylyp alynýan tebigy gaz, ugurdaş nebit gazy, metallurgiýa önümçiliginiň gaz görnüşli



galyndylary (koks gazy), kreking gazy, şeýle hem ýörite gazgenerator desgalarynda gaty ýangyçdan emeli ýol bilen alynýan generator gazy degişlidir.

Senagat pudaklarynyň ulanyş talaplaryna görä organiki ýangyçlar esasy iki: **energetiki** we **tehnologiki** topara bölünýär.

**Energetiki ýangyçlar** – ýylylyk energetiki desgalarda ýylylyk we elektrik energiýasyny almak üçin ulanylýar.

**Tehnologiki ýangyçlar** – erediji we gyzdyryjy peçlerde, ojaklarda, guradyjylarda, şeýle hem, dürli emeli ýangyçlary himiki taýdan gaýtadan işlemek üçin ulanylýar.

Organiki ýangyçlaryň alnyş usullary we görnüşleri (19.1-nji tablisada görkezilýär).

### 19.1-nji tablisa

Ýangyjyň agregat haly	Emele gelşi boýunça ýangyçlaryň görnüşleri	
	tebigy	emeli
1. Gaty	Odun, torf, daş we goňur kömür, antrasit, ýanyjy slanesler	Agaç, kömür, ýarym koks, koks, termoantrasit, briketler we beýlekiler
2. Suwuk	Nebit	Mazut, salýarka, dizel we motor ýangyjy, benzin, kerosin, benzol, spirt we ş.m.
3. Gaz	Tebigy gazlar, nebit bilen ugurdaş gazlar	Domen, koks, generator, kreking, koks, ýşyklandyryş gazlary

## 19.2. Ýangyjyň düzümi

Islendik organiki ýangyçlary düzýän elementler (komponentler) **ýanyjy** elementlerden we **ýanmaýan** garyndylardan ýa-da **ballastdan** ybarat bolýar.

Ýangyjyň ýakylmagy üçin gazan desgasynyň ojaklaryna ýa-da içinden ýandyrylýan hereketlendirijilere, şeýle hem ýörite apparatlara berilýän görnüşine **işçi ýangyç** diýilýär.

Işçi ýangyjyň (gaty ýa-da suwuk ýangyjyň) düzümi umumy ýagdaý üçin uglerod C, wodorod H we  $S_u$  uçujy kükürtden durýar. Uçujy kükürt bolsa  $S_{or}$  organiki kükürt, şeýle hem O kislorod we N azot bilen çylşyrymly himiki birleşmäni emele getirýän ýanyjy kükürt kolçedany  $S_k$  ýaly ýanyjy elementleriň birleşmesidir:  $S_u = S_{op} + S_k$  ( $S_k$  düzüminde kükürt, myşşak we sürme bolan nikel, mis ýaly metal birleşmeler). Ondan başgada bu düzüme ballast diýlip hasap edilýän çäge A, çyglylyk W ýaly ýanmaýan mineral galyndylary girýär.

Ýangyjyň düzümi göterimlerde aňladylýar. Ýangyjyň ulanyjlara (sarp ediljilere) berilýän görnüşi ýangyjyň **işçi massasydyr**.

Ýangyçda bar bolan elementleriň ýangyjyň işçi massasyna degişlidigini aňlatmak maksady bilen her bir elementi “ i ” (işçi massa) indeksi bilen belgilenýär.

Şeýlelikde, ýangyjyň işçi massasy üçin onuň elementleri boýunça deňleme görnüşinde aşakdaky ýaly aňladyp bolar.

$$C^i + H^i + O^i + N^i + S_u^i + A^i + W^i = 100 \%, \quad (19.1.)$$

bu ýerde  $C^i$ ,  $H^i$ ,  $O^i$ ,  $N^i$ ,  $S_u^i = S_{ot}^i + S_k^i$ ,  $A^i$ ,  $W^i$  - işçi ýangyjyň umumy massasyndan % hasabyndaky elementler.

Ýangyjyň işçi massasynyň düzümi esasan gazan agregatlarynyň, senagat peçleriniň we beýleki ýylylyk çeşmesi bolan enjamlaryň ýylylyk hasaplamalarynda peýdalanylýar.

Ýangyjyň umumy häsiýetini öwrenmek we toparlara bölmek üçin ýangyjyň **gurak** we **ýanyjy** massasy diýen düşünjeden peýdalanylýar. Ýangyjyň bu şertli massasy deňşililikde gurak - “ g ”, ýanyjy – “ ý ” indeksleri bilen belgilenýär. Ýangyjyň massasyndan çyglylygyň doly aýrylmagy ýangyjyň **gury massasyny** emele getirýär we aşaky deňleme görnüşinde aňladylýar:

$$C^g + H^g + S_u^g + O^g + N^g + A^g = 100\% , \quad (19.2)$$

Ýangyjyň gury massasy diýen düşünjäni girizmek özünde käbir çyglylygy köp mukdarda saklaýan ýangyçlar üçin amatlydyr. (meselem, torf, odun, käbir garyndylar).

Ýangyjyň düzüminden W çyglylygy, A çägäni aýrylyp, diňe ýanyjy düzümi bolan, ýagny, C uglerotdan, H wodorotdan we S<sub>u</sub> ýanyjy kükürtden başga N azotdan, O kislorotdan ybarat bolan ýangyjyň massasyna ýangyjyň **ýanyjy massasy** diýilýär we aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$C^y + H^y + S_u^y + O^y + N^y = 100\% , \quad (19.3)$$

Ýanyjy massany çägäni özünde saklamaýan hem-de absolyt gury ýagdaýda häsiýetlendirmek bolar. Ýangyjyň ýanyjy massasy onuň iň durnukly düzümi hasaplanýar. Eger-de ýangyjyň ýanyjy massasynyň düzüminden kükürt kolçedasyny (S<sub>K</sub><sup>y</sup>) bölüp aýyrsak, onda ýangyjyň **organiki massasyny** alarys:

$$C^o + H^o + O^o + N^o + S^o = 100\% , \quad (19.4)$$

Çyglylyk bilen çägäniň bilelikde gatnaşmagyna ýangyjyň **ballasty** diýilýär we A<sup>i</sup>+W<sup>i</sup>=B<sup>i</sup> bilen belgilenýär.

Ýangyjyň haýsy hem bolsa bir massasyndaky düzüminden beýleki massasyndaky düzümini kesgitlemek aşakda görkezilen gatnaşygyň mysalynda amala aşyrylýar:

$$\left. \begin{aligned} C^i &= C^y \cdot \frac{100 - (A^i + W^i)}{100} \\ C^g &= C^i \cdot \frac{100}{100 - W^i} \end{aligned} \right\} \quad (19.5)$$

ýa-da

Gatnaşykdaýy (19.5) köpeldijileri tablisa ýerleşdirip, ýangyjyň dürli görnüşli massalaryndaky elementlerini deňişli köpeldijileriň üsti bilen kesgitläp bolýar (19.2-nji tablisa).

19.2-nji tablisa

Berlen massasy	Gözlenýän massa			
	işçi	gury	ýanyjy	organiki
işçi	1	$\frac{100}{100 - W^i}$	$\frac{100}{100 - (W^i + A^i)}$	$\frac{100}{100 - (S_u^y + A^i + W^i)}$
gury	$\frac{100 - W^i}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^g}$	$\frac{100}{100 - (S_u^g + A^g)}$
ýanyjy	$\frac{100 - (W^i + A^i)}{100}$	$\frac{100 - A^g}{100}$	1	$\frac{100}{100 - S_u^y}$
organiki	$\frac{100 - (S_u^y + A^i + W^i)}{100}$	$\frac{100 - (S_u^y + A^g)}{100}$	$\frac{100 - S_u^y}{100}$	1

Ýangyjyň düzümine girýän her bir element, şol sanda birleşen çylşyrymly elementler şol ýangyjyň ýylylyk – tehniki häsiýetnamasyny görkezýär.

Gaz şekilli ýangyçlar adaty göwrüm gatnaşykda gury massa boýunça berilýär:

$$CH_4 + C_2H_6 + C_3H_8 + C_mH_n + CO + CO_2 + H_2 + N_2 + \dots + H_2S = 100\%. \quad (19.6)$$

Gaz şekilli ýangyjyň esasy tehniki häsiýetnamasy onuň ýanandaky bölüp çykarýan ýylylygy, özünde saklaýan çägesi (A) we çyglylygy (W), uçujy maddalaryň çykyşy, koksýň häsiýetleri (uçmaýan galyndylar) hasaplanýar.

### 19.3. Ýangyjyň ýylylyk – tehniki häsiýetnamasy

Ýangyjyň ýylylyk – tehniki häsiýetnamasy ýangyjyň düzümindäki ýanyjy elementleriniň ýylylyk – tehniki häsiýetnamasyna baglydyr. Şonuň üçin ýangyjyň esasy elementleriniň ýylylyk – tehniki häsiýetnamasyna seredeliň.

**Uglerod** - ýangyjyň ýanyjy elementleriniň iň esasy bölegini düzýär. Uglerodyň ýananda bölüp çykarýan udel ýylylygy 33,65 MJ/kg-a barabardyr. Ýangyjyň ýanyjy massasynda uglerod 50÷95% aralygy möçberde bolýar. Meselem: odunda we torfda - 50÷58%; daş we goňur kömürde - 65÷80%; antrasitde - 88÷93%; slanesde - 60÷75%; mazutda - 86÷88%.

Ýangyçda uglerodyň mukdarynyň köp bolmagy ony ýakmakda otlamagy kynlaşdyrýar we örän gysga wagtda ýanmak bilen göze görünmeýän ýalyny emele getirýär.

**Wodorod** - ýangyjyň iň wajyp ýanyjy düzümi bolup durýar. Onuň ýananda bölüp çykarýan udel ýylylygy (~142 MJ/kg, ýa-da 10.8 MJ/m<sup>3</sup>) uglerodyň ýanandaky udel ýylylygyndan 4,2 esse ýokarydyr. Gaty ýangyjyň ömrüniň artmagy bilen onuň düzümindäki wodorodyň mukdary kemelýär. Ýangyjyň ýanyjy massasyndaky wodorodyň mukdary 1÷11% aralygynda bolup: mazutda – 10,0÷10,5%, odunda we torfda - 6÷6,2%, daş we goňur kömürde 4÷6%, antrasitlerde – 2.0÷2,4%.

**Kükürt** - gaty ýangyjyň düzümi bolmak bilen 0÷8% möçberinde bolýar. Ol  $S_{or}$  organiki,  $S_k$  kolçedanly we  $S_s$  sulfatly görnüşinden ybarat:  $S = S_{or} + S_k + S_s$ . Organiki we kolçedanly kükürt ýangyç ýananda okislenýär we  $SO_2$ ,  $SO_3$  gazlary emele getirýär. Organiki we kolçedanly kükürt ýanyjy ýa-da uçujy kükürdi emele getirýär:  $S_{or} + S_k = S_u$ .

Kükürt sulfady ýanmaga gatnaşmaýar we çägäniň düzümine goşulýar.  $\text{SO}_2$ -de kükürt ýananda bölüp çykarýan udel ýylylygy 9,05 MJ/kg. Suwuk ýangyçda (mazutda) kükürt erkin ýagdaýda we organiki birikme görnüşinde 3% möçberinde duşdelyär. Tebigy gazlarda kükürt duşdelmeýär. Kükürdiň garyndysy Orenburg gazynda gabat gelýär.

Kükürt ýangyjyň zyýanly garyndysy hasaplanýar. Sebäbi ol ýananda emele gelýän  $\text{SO}_2$  we  $\text{SO}_3$  gazan agregatlarynyň we beýleki apparatlaryň metal gyzdyryjy üstlerinde korroziýa emele getirýär. Ondan başga-da ol tüsse gazy bilen atmosfera düşüp, howa gurşawyny hapalaýar.

**Kislorod** - ýangyynyň ýanmaýan massasyna degişlidir. Ol ýangyjyň birnäçe ýanyjy komponentleri bilen himiki birikmede gabat gelýär. Şonuň üçin onuň bolmagy ýangyjyň ýanyjy massasyny kemeldýär we ýangyjyň gymmatyny peseldýär.

**Azot** - ýangyjyň ýanmagyna gatnaşmaýar we ol ýangyjyň inert bölegi bolup durýar. Azot kislorod bilen bilelikde ýangyjyň içki ballastyny emele getirýär.

**Çäge** - ýangyjyň atmosfera howasynda ýakylandan soň galýan gaty görnüşli ýanmaýan galyndysydyr. Çäge dykzlygy boýunça ortaça  $600 \text{ kg/m}^3$ , bolan dökülýän görnüşinde we şlak diýlip atlandyrylýan  $800 \text{ kg/m}^3$ -a çenli dykzlygy bolan ergin plastina we bölekler görnüşinde bolup bilýär.

Birnäçe gaty ýangyçlardaky çägäniň düzümine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – glinozem;  $\text{SiO}_2$  – kremniý kislotasy;  $\text{CaO}$  – hek;  $\text{MgO}$ -magneziýa;  $\text{Na}_2\text{O}$  we  $\text{K}_2\text{O}$  – aşgarlary;  $\text{FeO}$  we  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – demir okisleri girýär.

Çäge ýangyjyň ýanýan ojagynyň örtüginini, ýanyş kamerasynyň üstüniň, ýandyryjy gurallaryň dargamagyna getirýär. Ýangyç ýananda bölünip çykýan tüsse gazynyň gidýän ýolundaky ýylylyk çalşyjy apparatlaryň üstüne çökýär we üstüniň zaýаланmagyny çaltlaşdyrýar, şeýle hem, gurşap alýan töweregi hapalaýar. Ýangyjy çägeliligi boýunça häsiýetlendirmek üçin ýangyjyň **getirme çägeliligi** ( $\% \cdot \text{kg/MJ}$ ) diýen düşünje girizilýär ( $A^g$ ). Getirme çägelilik ýangyjyň düzümindäki ( $A^i$ ) çägeliligiň ýangyjyň ýanandaky aşaky ýylylyk mukdaryna ( $Q_a^i$ ) bolan gatnaşygydyr:

$$A^g = \frac{A^i}{Q_a^i}. \quad (19.7)$$

Eger  $A^g \leq 1\% \cdot \text{kg/MJ}$  bolsa, onda ýangyş az çägeli ýangyç hasaplanýar (antrasit, kömürler degişli).

Eger  $A^g = 1.89 \div 2.4\% \cdot \text{kg/MJ}$  bolsa, onda ýangyş orta çägeli ýangyçdyr (goňur kömür degişli).

Eger  $A^g = 5 \div 10\% \cdot \text{kg/MJ}$  bolsa, onda ýangyş köp çägeli ýangyç hasaplanýar (slanesler degişli).

**Çyglylyk**- ýangyjyň umumy çyglylygy  $W^i$  daşky durnuksyz  $W_d$  we içki – gigroskopik durnukly  $W_g$  çyglylykdan emele gelýär.

Daşky durnuksyz çyglylyga ýangyç gazylyp alnanda, saklananda, daşalanda, şeýle hem, ýangyjyň öýjüklerine düşýän çygdan bolup biler. Bu çyglylyk ýangyç guradylanda aňsatlyk bilen aýrylýar.

Içki – gigroskopik çyglylyk ýangyjyň organiki maddalaryna we mineral garyndylaryna baglydyr. Suwuk ýangyçlarda diňe emulsiýa görnüşinde suwuk-damja ýagdaýda daşky durnuksyz çyglylyk bolýar. Tehnikada gaty ýangyçlar üçin ýangyjyň **getirme çyglylygy** diýen düşünje ulanylýar ( $\% \cdot \text{kg/Mj}$ ). Ýangyjyň çyglylygynyň ( $W^i$ ) ýangyjyň ýanandaky aşaky ýylylyk mukdaryna ( $Q_a^i$ ) bolan gatnaşygyna şol ýangyjyň **getirme çyglylygy** diýilýär:

$$W^g = \frac{W^i}{Q_a^i}. \quad (19.8)$$

Eger  $W^g < 3\%$  bolsa, onda ýangyç pes çygly ýangyç hasaplanýar (antrasit, daş kömür degişli).

Eger  $W^g = 3.89 \div 8\%$  bolsa, onda ýangyç ýokary çygly hasaplanýar (torf, goňur kömür degişli);

Eger  $W^g = 3 \div 3.89\%$  bolsa, onda ýangyç orta çygly ýangyçlaryň toparyna girýär.

Ýangyç otag temperaturasynda guradylan wagtynda daşky çyglylygy bölünip aýrylýar. Gigroskopik – içki çyglylyk ýangyç

uzak wagtlap gurak jaýlarda ýerleşdirilende-de ýangyçda saklanýar. Şeýle ýagdaýdaky ýangyja **howada guran ýangyç** diýilýär.

Ýangyjyň gigroskopik – içki çyglylygy  $105 \div 110$  °C temperaturaly ýörite şkafta şol ýangyç hemişelik massa eýe bolýança guratmak ýoly bilen aýrylýar. Şeýle ýangyja **absolýut gury ýangyç** diýilýär.

Ýangyjyň W çyglylygynyň ýangyjyň hiline otrisatel täsiri bardyr. Çyglylygyň bolmagy ýangyjyň ýananda bölüp çykarýan ýylylygyny peseldýär, ýangyjyň ýanmak prosesini ýaramazlaşdyrýar, emele gelýän tüsse gazynyň göwrümini ulaldýar, şeýle hem, gidýän gaz bilen ýylylyk ýitgisini ýokarlandyrýar. Şonuň üçin çyglylyk ýangyjyň hakyky ýylylyk gymmatyny gaçyrýanlygy sebäpli, ol ýangyjyň ballasty bolýar.

**Gaz şekilli** ýangyjyň elementleriniň düzümi gaty we suwuk ýangyjyň düzüminden has tapawutlydyr.

Gaz şekilli ýangyçlar  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  düzümleriň we beýleki ýanyjy birleşmeleriň ( $\text{C}_m\text{H}_n$ ), şeýle hem  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  we  $\text{H}_2\text{O}$  ýaly ýanmaýan gazlaryň mehaniki garyndysyndan ybaratdyr. Gaz şekilli ýangyçdaky suw bugunyň mukdary onuň berlen parsial basyşyndaky temperaturasy boýunça kesgitlenýär. Gaz şekilli ýangyjyň düzümi göwrüm birligindäki göterimde berilýär we hemme hasaplamalar  $1 \text{ m}^3$ -da ýerine ýetirilýär.

## 19.4. Ýangyç ýananda bölünip çykýan ýylylyk

Ýangyjyň esasy häsiýetnamasy onuň **ýanandaky ýylylygy** diýilýän, ýananda bölüp çykarýan ýylylyk mukdarydyr. Şonuň üçin ýangyçlar özleriniň ýanandaky ýylylygy bilen hem häsiýetlendirilýär. Gaty we suwuk ýangyçlaryň ýanandaky ýylylygy diýlip  $1 \text{ kg}$  ýangyç doly ýananda bölünip çykýan ýylylygyň mukdaryna ( $\text{kJ}$ ) aýdylýar. Ýangyjyň ýanandaky ýylylygy  $Q$  harpy bilen belgilenýär we  $\text{kcal/kg}$  ýa-da  $\text{kWt}$ -da ölçenýär.

Gaz şekilli ýangyjyň ýanandaky ýylylygy diýlip, adatça normal şertlerde ( $0$  °C temperaturada we  $760 \text{ mm.sim.süt.}$  basyşda),  $1 \text{ m}^3$  gazyň ýananda bölüp çykarýan ýylylygyna aýdylýar we  $\text{kJ/m}^3$ -da ölçelýär.



Ýangyjyň ýanandaky ýylylygy esasan şol ýangyjyň himiki düzümine we onuň ýakylyş şertine baglydyr.

Ýangyjyň berlen massasyna görä (organiki, ýanyjy we beýlekiler), ýanandaky ýylylygy hem şoňa görä aňladylýar, meselem  $Q^i$ ,  $Q^y$ , ş.m. Praktikada esasan ýangyjyň işçi massasynyň ýanandaky ýylylygy  $Q^i$  gyzyklandyrylar.

Ýangyç ýakylanda emele gelýän tüsse gazynyň düzüminde wodorodyň we çyglylygyň barlygy sebäpli suw bugy ( $H_2O$ ) emele gelýär. Suw bugunyň entalpiýasy 2512,1 kJ/kg töwerege barabardyr. Ýangyç ýananda emele gelýän önümi bolan tüsse gazynyň düzüminde suw bugunyň bolmagy ýangyjyň **ýanandaky ýokarky ýylylygy**  $Q_y^i$  we ýangyjyň **ýanandaky aşaky ýylylygy**  $Q_a^i$  diýen düşüňjani girizmeklige mejbur edýär.

Işçi ýangyjyň ýanandaky **ýokarky ýylylygy** diýlip 1 kg ýangyç doly ýananda ýanma prosesinde bug emele gelmeginde ýitirilýän ýylylygy hasaba alnandaky bölünip çykýan ýylylyga aýdylýar.

Işçi ýangyjyň ýanandaky **aşaky ýylylygy** diýlip 1 kg ýangyç doly ýananda şol ýangyjyň düzümindäki çyglylygy, şeýle hem, wodorod ýananda emele gelýän çyglylygy buga öwürmek üçin harçlanýan ýylylyk ýitgisini aýrylanda bölünip çykýan ýylylyga aýdylýar.

Ýangyjyň ýananda aşaky ýylylygy  $Q_a^i$  ýokarky ýylylygyndan  $Q_y^i$  kiçidir. Olaryň ara tapawudy ýangyjyň düzümindäki  $W^i$  çyglylygy we ýangyçdaky wodorod ýananda emele gelýän 9  $H^i$  çyglylygy buga öwürmek üçin harçlanýan ýylylygyň ululygyna deňdir.

Işçi ýangyjyň ýanandaky ýylylygy esasan iki usul bilen kesgitlenýär.

Kalorimetriki – ýangyjy asma görnüşde ýörite suwda saklanan gapda gysylan kislorotda ýakýarlar we suwa berlen ýylylyk takyk ölçenilýär (bu usula kalorimetrik bomba usuly hem diýilýär).

Analitiki – ýangyjyň himiki düzümini göz önünde tutup, formula boýunça hasaplanylýar.

Ýangyjyň ýanandaky ýylylygyny kesgitlemegiň kalorimetriki usuly ýörite enjamlary talap edýär, ondan başgada, bu usul örän çylşyrymly bolmagy bilen tapawutlanýar.

Köp halatda ýangyjyň ýanandaky ýylylygy ýangyjyň ýanma reaksiýasyna gatnaşýan we belli mukdarda ýylylyk çykarýan (uglerod C, wodorod H we kükürt S) elementleri üsti bilen kesgitlenýär.

Islendik dürli görnüşli ýangyçlar üçin ýeterlik takyklykda netije berýän, giňden ulanylýan formula D.I.Mendeleyewiň formulasydyr. Bu formula ýangyjyň ýanandaky ýokarky ýylylygyny kesgitlemek üçin şeýle görnüşde ýazylýar:

$$Q_y^i = 338 C^i + 1249 H^i - 108.5 (O^i - S^i). \quad (19.9)$$

Gazan agregatlarynyň ojagynda ýangyç ýakylanda emele gelýän tüsse gazynyň düzümindäki suw buguny kondensirläp bolmaýar. Şonuň üçin ýylylygyň bir bölegi ulanylman ýitirilýär. Şol sebäpli gazan agregatlary üçin geçirilýän ýylylyk hasaplamalarynda ýangyjyň ýanandaky ýokarky ýylylygyndan ( $Q^i$ ) pes bolan ýangyjyň aşaky ýylylygy ( $Q_a^i$ ) ulanylýar.

Gaty we suwuk ýangyçlar üçin ýangyç ýakylandaky ýokarky we aşaky ýylylyklaryň ara baglanyşygy aşaky gatnaşyk bilen kesgitlenýär:

$$Q_a^i = Q_y^i - r(9H^i + W^i) = Q_{yy}^i - 226 H^i - 25W^i. \quad (19.10)$$

Bu ýerde  $r(9H^i + W^i)$  - ýangyçdaky çyglylygy ( $W^i$ , %) we wodorod ýananda emele gelýän çyglylygy (%) buga öwürmäge harçlanan ýylylyk mukdary.

$r = 25.11 \text{ kJ/kg}$  – energetiki desgalaryň tüssesindeki suw bugunyň ortaça 10 kPa parsial basyşynda suwy buga öwürmäne harçlanýan gizlin ýylylyk.

Gaty we suwuk ýangyjyň ýanandaky aşaky ýylylygy D.I.Mendeleyewiň formulasy boýunça kesgitlenilýär.

$$Q_a^i = 338 C^p + 1025 H^i + 108.5 (O^i + S^i) - 25 W^i \quad (19.11)$$

Gaz şekilli ýangyçlaryň ýanandaky ýylylygy 1 m<sup>3</sup> ýangyjyň düzüminiň göwrüm üleşüniň üsti bilen %-de aňladylýar (kJ/m<sup>3</sup>).

$$Q_a^i = 108 H_2 + 126 CO + 350 CH_4 + 590 C_2H_4 + 640 C_2H_6 + \\ + 910 C_3H_8 + 1190 C_4H_{10} + 230 H_2S. \quad (19.12)$$

C<sup>i</sup>, H<sup>i</sup>, O<sup>i</sup>, S<sup>i</sup>, W<sup>i</sup>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> we ş.m. – ýangyjyň düzümindäki her bir elementleriň % hasabyndaky massalaýyn ýa-da göwrümleýin möçberi. Elementleriň möçberi ýangyçlaryň tehniki häsiýetlerine görä edebiýatlarda tablisalaryň üsti bilen berilýär.

### 19.5. Şertli ýangyç

Gazylyp alynýan dürli görnüşli ýangyçlar ýakylanda bölüp çykarýan ýylylygynyň dürli bolmagy bilen tapawutlanýarlar. Ol bolsa energetiki ulgamlarda hasaplamalar geçirilende kynçylyk döredýär. Meselem, ýangyjyň gorkary tapylanda, ätiýaçlyk ýangyjy mälim edilende, ýangyjyň dürli görnüşini ulanmakda maksadalaýyklygyna baha bermekde we ş.m. Şonuň üçin dürli görnüşdäki ýangyçlary umumy häsiýetlendirmek maksady bilen **şertli ýangyç** diýlen düşünje kabul edilen.

Şertli ýangyç diýlip 1 kg (gaty, suwuk) ýa-da 1 m<sup>3</sup> (gaz şekilli) ýangyç ýananda bölüp çykarýan ýylylygy 29 300 kJ-a deň bolan ýangyja aýdylýar.

Islendik hakyky ýangyjy şertli ýangyja öwürmek üçin aşaky gatnaşykdan peýdalanylýar:

$$E_k = \frac{Q_a^i}{29300}. \quad (19.13)$$

Bu ýerde E<sub>k</sub>-kaloriýylyk ekwiwalenti.

Ek-ululyk-şertli ýangyç ýakylandaky ýylylygynyň näçe bölegi öwrenilýän ýangyç ýakylandaky aşaky ýylylygyna  $Q_a^i$  gabat gelýändigini görkezýär, ýa-da tersine, öwrenilýän ýangyjyň ýanandaky  $Q_a^i$  aşaky ýylylygy şertli ýangyjyň ýakylandaky ýylylygynyň näçe bölegini tutýandygyny görkezýär.

Dürli ýangyçlaryň sarp edilýän mukdaryny biri-biriniň üsti bilen aňlatmak üçin “şertli ýangyç” düşüňjesinden peýdalanylýar. Berlen ýangyjyň mukdaryny  $B$  şertli ýangyjyň mukdarynda hasaplap geçirmek üçin ony ölçeg birligi bolmadyk koeffisiýente köpeltmelidir:

$$B_{\text{şert}} = \frac{BQ_a^i}{Q_{\text{şert}}} \quad (19.14)$$

Bu ýerde

$B$  – hakyky ýangyjyň sarp edilýän mukdary;

$Q_a^i$  - hakyky ýangyjyň ýanandaky ýylylygy;

$Q_{\text{şert}}$  – şertli ýangyjyň ýanandaky ýylylygy.

## 19.6. Organiki ýangyçlaryň görnüşleri we häsiýetnamalary

Dürli ýangyçlar fiziki we himiki häsiýetleri boýunça biri-birinden tapawutlanmagy bilen olar umumy häsiýetleri boýunçada toparlara bölünýärler.

**Gaty ýangyç.** Energetiki gaty ýangyçlaryň tebigy görnüşlerine torf, goňur kömür, antrasit we ýanyjy slanesler, odun degişli.

**Torf**-gazylyp alynýan ýangyçlaryň iň ýaşy bolup durýar. Torf goňur ýa-da reňkli ýanyjy madda bolup, ol suwuň aşagynda howa barmaýan gatlakda ösümlik galyndylarynyň toplumynyň çüýremegi netijesinde emele gelýär.

Torf uçujy maddalary çykaryjylygy ýokary –  $V^g=70\%$ , içki ballasty saklaýjylygy ýokary ( $O^g+N^g$ ), çyglylygy ýokary ( $W^i=30\div50\%$ ), çäğäni saklaýjylygy pes ( $A^i=5\div10\%$ ) we ýanandaky ýylylygy pes ( $Q_a^i = 10 \div 13 \text{ MJ} / \text{kg}$ ) häsiýetleri bilen tapawutlanýar.

Torf gazylyp alnyş usulyňa baglylykda ulanyjylara bölek-bölek we kesilen gyryndy görnüşinde ugradylýar. Torf gazylyp alynýan ýeriniň golaýynda ýerleşýän elektrik stansiýalarynda we senagat gazan desgalarynda ol ýangyç hökmünde ulanylýar.

**Goňur kömür (G).** Gazylyp alynýan kömürleriň kabul edilen toparyna laýyklykda goňur kömürlere çägesiz kömrüň işçi massasy ýanandaky ýokary udel ýylylygy  $22,57 \text{ MJ/kg}$ -dan kiçi bolan kömürler degişlidir.

Goňur kömürler uçujy maddalary çykaryjylygy ýokary ( $V^g=40\div60\%$ ), çägeliligi ( $A^i=15\div30\%$ ), çyglylygy ( $W^i=30\div40\%$ ) ýokary we ýanandaky ýylylygy uly bomadyk ( $Q_a^i = 10 \div 17 \text{ MJ/kg}$ ) ýangyçlar bolup, öz-özünden otlanmak häsiýeti bilen tapawutlanýar. Goňur kömür özünde çyglylygy saklaýjylygy boýunça üç topara bölünýär: G1  $W^i=40\%$  bilen; G2  $W^i=30\div40\%$  bilen; G3  $W^i=30\%$ -den pes toparlara bölünýär.

Daşky ballastyny köp mukdarda saklaýanlygy sebäpli ( $A^i+W^i$ ) goňur kömrüň ýanandaky ýylylygy daş kömrüňkiden ýokary dälidir.

**Daş kömür** – çägesiz işçi massasynyň ýanandaky ýokarky udel ýylylygy  $22,57 \text{ MJ/kg}$ -dan ýokary we uçujy maddalarynyň çykyşy ( $V^g=10\div40\%$ ) ýokary bolan gazylyp alynýan kömürdir. Bu kömürleriň çyglylygy uly dälidir:  $W^i=7\div10\%$ . Çägeliligi  $A^i=5\div25\%$  ýanandaky ýylylygy  $Q_a^i=23\div27 \text{ MJ/kg}$ .

Daş kömürler özünden uçujy gazlaryň çykyşy we koks galyndysy boýunça birnäçe görnüşe bölünýär (uzyn ýalynly-U; gazly-G; ýagly-Ý; koksly-K; ýelmeşýän-Ýe), şeýle hem, böleginiň ululygy boýunça (uly-U; hoz-H; maýda-M we ş.m.).

**Antrositler** – düzümi boýunça arassa ugleroda has golaý bolan beýleki gaty ýangyçlardan dykyzlygy we çeýeligi bilen tapawutlanýan, daşalanda durkuny oňat saklaýan ýangyçdyr. Emma, antrositlerden uçujy gazlaryň öz-özünden aňsat çykýanlygy we ondan alynýan koksnyň hiliniň pesligi sebäpli ol hökmünde ýangyç köp ulanylmaýar. Antrosidiň düzüminde uglerodyň mukdary köp saklanýar ( $C^g=93\div96\%$ ), uçujy maddalaryň çykyşy azdyr ( $V^g=3\div5\%$ ), çägeliligi ( $A^i=13\div17\%$ ) we çyglylygy ( $W^i=5\div7\%$ )

kiçidir, ýanandaky ýylylygy bolsa ýokarydyr ( $Q_a^i = 30 \div 35 \text{ MJ} / \text{kg}$ ).

**Slanesler** – suw astynda howanyň barmaýan ýerinde ösümlik we haýwan organizmleriniň çüýremeginden emele gelýän önümlerdir. Ýanyjy slanesleriň mineral maýasy hek, palçyk we çäge bolup durýar. Slanesler we olaryň dürli görnüşleri gelip çykyşy we düzümi boýunça tebigy gaty ýangyçlaryň beýleki görnüşleriniň hemmesinden çürt – kesik tapawutlanýar. Himiki düzümi boýunça slanesler nebit bilen çalymdaş. Slanesde wodorodyň mukdarynyň uly ( $H=7 \div 9.5\%$ ) we işçi massadaky uçujy maddalaryň çykyşynyň ýokary ( $V^g=70 \div 80\%$ ) bolmagy islendik slanesleri gazifikasiýa üçin, himiýa senagatynda dürli hilli ýaglary almak üçin, içinden ýandyrylýan hereketlendirijilere ýangyç üçin, himiki önümleri we ýanyjy gazy almak üçin çig mal hökmünde ulanmaga mümkinçilik berýär.





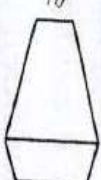
Slanesleriň ýanyjy massasynyň ýanandaky ýylylygynyň bahasynyň ýokary bolmagyna garamazdan, slanesleriň işçi massasynyň ýanandaky aşaky ýylylygy pesdir. Sebäbi slanesleriň düzümindäki çyglylyk ( $W^i=11 \div 22$ ), çägelilik ( $A^i=40 \div 60\%$ ) we kükürt (4%-e çenli) has ýokarydyr. Ýangyç hökmünde ulanylýan slanesleriň ýanandaky ýylylygy gaty ýangyçlar üçin iň pes baha eýedir ( $Q_a^i=5.7 \div 10 \text{ MJ/kg}$ ).

Slanesleri ýylylyk emele getiriji desgalarda ýakmak üçin ulanylanda olary otlamaklyk uly kynçylyk döredýär.

**Odun** - çägeliliginiň örän pesligi ( $A^i<1\%$ ) we uçujy maddalarynyň çykyşy boýunça ( $V^u=85\%$ ) ululygy bilen tapawutlanýar. Çyglylygynyň ýokary bolmagy ( $W^i=40 \div 60\%$ ) onuň ýanandaky ýylylygynyň has pes bolmagyna getirýär ( $Q_a^i=10 \div 12 \text{ MJ/kg}$ ).

Gaty ýangyçlaryň giňden ýaýran görnüşleriniň häsiýetnamasy 19.3-nji tablisada görkezilýär.

**Suwuk ýangyçlar.** Nebit-tebigy ýangyç bolmak bilen bir hatarda suwuk ýangyçlary almagyň esasy çeşmesi bolup durýar. Nebit-dürli uglewodorodlar bilen kislorodlaryň, azotlaryň, kükürtli birikmeleriniň garyndysyndan ybaratdyr.

Gaty ýangyç	Düzümi, %				Ýanandaky ýylylygy, Q <sup>y</sup> , MJ/kg
	C <sup>y</sup>	O <sup>y</sup>	H <sup>y</sup>	V <sup>y</sup>	
Odun (agaç önümleri)	50 	42 	6 	85 	10 
Torf	93	2	2	4	35
Goňur kömür					
Daş kömür					
Antrasit					

Nebit dürli ösümlikleriň we haýwanlaryň organizmleriniň çüýremeginiň bakteriýalaryň, şeýle hem, ýylylygyň, basyşyň we beýleki prosesleriň täsirinde emele gelen önümi hasaplanýar. Nebitiň görnüşleriniň köplüğine garamazdan, onuň düzümini tutýan esasy himiki elementleri örän kiçi çäkde üýtgeýär: C<sup>o</sup>=84÷86%; H<sup>o</sup>=13÷14%; O<sup>o</sup>+N<sup>o</sup>=1÷2%. Nebitde çäganiniň we çyglylygyň tutýan orny 1%-den ýokary geçmeýär. Düzgün boýunça tebigy nebit ýangyç hökmünde ulanylmaýar. Çig nebit ilki bilen täzeden işlenýär we ondan içinden ýandyrylýan hereketlendirijiler üçin dürli görnüşli ýangyçlar, çalgy materiallary we birnäçe gymmat bahaly himiki birleşmeler alynýar.

Nebit täzeden işlenende ilki bilen onuň iň ýeňil bölekleri – benzin, ligroin, kerosin, awiasion, awtotraktor we dizel ýangyçlary bölünip alynýar. Nebidiň agyr fraksiýalary bolan mazut görnüşindäki galyndysy çalgy ýaglaryny almak üçin ýene-de täzeden işlenmäge ugradylýar ýa-da gazan desgalarynyň ojaklarynda ýakmak üçin peýdalanylýar.

Nebitden alynýan önümleriň – suwuk ýangyçlaryň häsiýetnamasy we olary ýakmak üçin gerek bolan howanyň, şeýle hem, ýananda emele gelýän gazlaryň nazary mukdary 19.4-nji tablisada görkezilýär.

19.4-nji tablisa

Ýangyç	Ýanyjy massaň düzümi, %				Gurak ýangyjyň çägeliligi, %	Işçi ýangyjyň çyglylygy, %	Işçi ýangyjyň ýanandaky aşaky ýylylygy $Q_a^i$ , MJ/kg	Nazary mukdar, $m^3/kg$	
	Uglerod, C <sup>y</sup>	Wodorod, H <sup>y</sup>	Kükürt, S <sup>y</sup>	Kislorod we azot $O^y+N^y$				Ýakmak üçin howa, $V_h$	Ýananda emele gelyän gaz, $V_g$
Benzin	85	14.9	0.05	0.05	0	0	43.8	11.54	12.56
Kerosin	86	13.7	0.2	0.1	0	0	43.01	11.28	12.22
Dizel	86.3	13.3	0.3	0.1	0	0	42.68	11.05	11.92
Solýarka	86.5	12.8	0.3	0.4	0.02	0	42.39	11.23	12.18
Motor	86.5	12.6	0.4	0.5	0.05	1.5	41.43	11.18	12.15
Mazut az kükürtli	86.5	12.5	0.5	0.5	0.1	1.0	39.8	10.62	11.41
Mazut kükürtli	85	11.8	2.5	0.7	0.15	1.0	39.8	10.54	11.30

Benzinleriň has ýeňil görnüşleri awiasiýada ulanylýar, oňa awiasiýa benzini diýilýär. Agyr görnüşleri – awtomobillerde ulanylýar we awtomobil benzini diýilýär. Ligroin we kerosin traktorlaryň, turbareaktiw we beýleki hereketlendirijilerde üçin ulanylýar. Solýarka ýagy we dizel ýangyjy içinden ýandyrylýan hereketlendirijilerde (dizellerde) ulanylýar.

Gazan desgalarynda suwuk ýangyçlardan diňe ýanyjy mazut ulanylýar. Mazut özüniň şepbeşikligi boýunça birnäçe topara bölünýär. Şepbeşikligi ýokary bolan mazudy ýakylmazýndan ozal gyzdýrmak zerurdyr.

Nebitiň galyndy ýangyjy bolan mazut bug gazanlarynyň ojaklarynda we peçlerde ýakylýar. Mazut özüniň ýanandaky ýylylygynyň ýokarylygy bilen häsiýetlendirilýär ( $Q_a^i = 38.8 \div 41 MJ/kg$ ). Mazut şepbeşik suwuk bolany sebäpli ony



turbadan akdyrmak üçin  $37\div 47\text{ }^{\circ}\text{C}$ -a, ýakmak üçin bolsa  $77\div 87\text{ }^{\circ}\text{C}$ -a çenli gyzdýrylýar.

**Gaz şekilli ýangyçlar.** Gaz şekilli ýangyçlar beýleki görnüşdäki ýangyçlar bilen deňeşdirilende birnäçe artykmaçlyklara eýedir. Gaz şekilli ýangyçlar berilmeli howanyň nazary mukdaryndan artyk berilýän howanyň az mukdarynda ýanýar, ýananda doly we tüssesiz, gaty galyndysyz ýanýar, uzak aralyga gazgeçirijiler boýunça ugratmak (transportirlemek) üçin amatly we islendik dürli görnüşli konstruksiýaly we kuwwatly desgalarda ýönekeý serişdeler bilen ýakmaklygy amala aşyrmaga mümkinçilik berýär. Gaz şekilli ýangyçlar gelip çykyşy boýunça **adaty** we **emeli** diýen topara bölünýär. Adaty hem öz gezeginde **tebigy** we **nebitpromysl** – nebit ýataklaryndan alynýan **ugurdaş** (poput) gazlara bölünýär.

Tebigy gazlar ýerden togalagyndan 100 atm. we ondan hem ýokary basyşda zyňylýp çykyan arassa gaz ýataklaryndan alynýar.

Ugurdaş gazlar esasan nebit skwažniýalarynyň ulanylýan sebitlerinden we nebit çykyan nebit ýataklarynyň sebitlerinden nebit bilen bile uly mukdarda bölünip çykyar.

Tebigy gaz öz düzümi boýunça dürli uglewodorodlaryň garyndysy bolup, metanyň ( $\text{CH}_4=90\div 98\%$ ) köp mukdaryny,  $\text{CO}_2$ -niň ( $\text{CO}_2=0.1\div 0.2\%$ ),  $\text{N}_2$ -niň ( $\text{N}_2=1.2\div 5\%$ ) we başgalaryň az mukdaryny saklaýandygy bilen tapawutlanýar. Tebigy gazlaryň ýanandaky ýylylygy–  $Q_a^i=35\div 37\text{ MJ/m}^3$ .

Nebit ýataklaryndan alynýan gazlarda (ugurdaş gaz) metanyň mukdary ( $\text{CH}_4=50\div 85\%$ ) birnäçe azdyr, emma,  $\text{C}_m\text{H}_n$  ýokarky uglewodorodlaryň mukdary köpdür.

**Emeli gazlar** diýlip gaty we suwuk ýangyçlardan gurak, üstünden howa goýberip gysyp çykarmak ýoly bilen, şeýle hem, önümçiligiň galyndylary görnüşinde alynýan gaz şekilli ýangyçlara aýdylýar.

Emeli gazlara: domen gazy – metallurgiýa zawotlarynda çöýün eredilende gapdalyndan çykyan önüm; koks gazy – koks alynanda emele gelen; yşyklandyryjy gazlar – kömüri gurak gyzdýrylanda emele gelýän; generator – gaz generatorlarynda alynýan gazlar degişlidir.

Generator gazynyň ýanandaky ýylylygy  $Q_a^i=5\div7$  MJ/m<sup>3</sup>.  
 Domen gazynyň ýanandaky ýylylygy ýokary däldir ( $Q_a^i=3\div4$  MJ/m<sup>3</sup>).

Emeli gaz şekilli ýangyçlar ýanandaky ýylylygy boýunça pes kaloriýaly ( $Q_a^i\leq 10.5$  MJ/m<sup>3</sup>), orta kaloriýaly ( $Q_a^i=10.5\div 21$  MJ/m<sup>3</sup>) we ýokary kaloriýaly ( $Q_a^i\geq 21$  MJ/m<sup>3</sup>) böleklere bölünýär.

19.5-nji tablisa

Gazyň ady	Himiki formulasy	Ýanandaky aşaky ýylylygy $Q_a^i$		Nazary mukdary	
		MJ/m <sup>3</sup>	kkal/m <sup>3</sup>	Ýakmak üçin howa $V_h$ , m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Ýananda emele gelýän gaz $V_g$ , m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Metan					
Etan	CH <sub>4</sub>	35.9	8558	9.52	10.52
Propan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	64.0	15 230	16.66	18.16
Butan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	81.3	21 800	23.80	25.80
Pentan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	118.8	28 345	30.94	33.44
Etilen	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	146.0	34 900	30.08	41.08
Assetilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	59.0	14 110	14.28	15.28
Wodorod	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	58.0	13 385	11.90	12.40
Okis	H <sub>2</sub>	10.8	2576	2.38	2.88
uglerody	CO	12.6	3016	2.38	2.88
Serowodo rod	H <sub>2</sub> S	24.5	5585	7.14	7.64

**Suwuk uglewodorod gazlary** uglewodorodlaryň garyndysy bolup (butan C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, propan C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, etan C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, propilen C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>), normal şertlerde (t=0÷20 °C temperaturada we P=1÷1.5 MPa basyşda) suwuk halda saklanýar. Suwuk gazlaryň ýanandaky ýylylygy  $Q_a^i=95$  MJ/m<sup>3</sup>.

Adaty gazlaryň içinde ýangyç hökmünde iň köp ulanylýany tebigy gazdyr. Emeli gazlary bug gazanlarynyň ojaklarynda ýakmak

üçin ulanylmaýar. Gaz şekilli ýangyçlaryň ýanandaky ýylylygy gazyň gury massasy boýunça hasaplanýar.

Ýanyjy gazlaryň ýylylyk tehniki häsiýetnamasy, ýakmak üçin gerek bolýan howanyň we ýanandan soň emele gelýän gazyň nazary mukdary 19.5-nji tablisada berilýär.

Umumy dünýä ätiýaçlygyndaky dürli görnüşdäki organiki ýangyçlaryň takmynan 92%-i kömür, 1,5%-i torf, nebit we tebigy gaz, bolsa 6% töweregini, ýangyçlaryň beýleki görnüşleri bolsa – 0,5% töweregini tutýar.

## Ýigriminji bap. ÝANMA PROSESI

### 20.1. Ýanma prosesi hakynda düşünje

Ýangyjyň ýanma prosesi tehnikanyň ähli ugurlaryndaky dürli agregatlarda giňden ulanylýan proses bolup, içinden ýandyrylýan hereketlendirijilerde, gaz turbinalarynda, reaktiw we raketa hereketlendirijilerde, gazan agregatlarynda we beýleki enjamlarda bolup geçýär.

Ýangyjyň düzümindäki maddalaryň okislenmeginde bolup geçýän fiziki-himiki prosesiň netijesinde, yzygiderli ýylylygyň bölünip çykmagy bilen, ýanýan ýangyjyň we ýanmada emele gelýän gazlaryň temperaturasynyň ýeterlik derejede ýokarlanmagy bilen bolup geçýän prosese ýanma prosesi diýilýär. Şonuň üçin ýanma prosesiniň geçmegine ýangyç bilen bile okislendirijiniň bolmagy hökmändyr. Okislendiriji hökmünde arassa kislorody (gaz şekilli ýa-da suwuk halnda), ýa-da göwrümünde 21% kislorody saklaýan atmosfera howasyny ulanmak bolar.

Ýanma prosesiniň başlanmagy üçin ýangyjy otlanma temperaturasyna çenli gyzdurylýar. Yangyçlaryň dürli görnüşleri üçin otlanma temperaturasynyň derejesi örän tapawutlydyr. Eger ýangyç bilen okislendiriji maddanyň berilmek gatnaşygy bozulsa, ýa-da ýylylygyň äkidilişi çürt-kesik ýokarlansa, onda ýanma prosesinde temperatura peselýär we prosesiň togtamagy mümkin.

Uglerodyň doly ýanmagynda  $\text{CO}_2$  kömürturşy gazy emele gelýär, doly ýanmadyk şertinde – uglerodyň okisi (CO) emele gelýär.

Wodorodyň ýanmagyndan suw bugy ( $\text{H}_2\text{O}$ ), kükürdiň ýanmagyndan bolsa kükürtli gaz (kükürt angridi) ( $\text{SO}_2$ ) emele gelýär.

Ýanma prosesiniň tizligini kesgitleýän esasy alamatlar:

- ýanma prosesinde ýangyç bilen okislendirijiniň gatnaşygynyň laýyklygy;

- ýanmada emele gelýän tüsse gazynyň äkidiliş yzygiderliligi;

- prosesiň temperaturasynyň kadaly saklanmagy;

- molekulalaryň prosese gatnaşygyny sazlaýjy üstler. Şu alamatlar ýanmak prosesiniň tizligini kesgitleýän esasy alamatlar hasaplanýar.

Ýanyjy elementleriň okisleýji bilen garyşyp, garyndy (ýangyç garyndysy ýa-da garyndy diýip atlandyrylýan) emele getirme şerti ýanma prosesine uly täsir edýär. Şonuň üçin ýanma prosesi **kinetiki**, haçan-da garyndynyň ýanma prosesinden öň bolup geçmegi bilen we **diffuziýa**, haçan-da garyndy ýanma prosesi bilen bir wagtda bolup geçýänligi bilen tapawutlanýar. Kinetiki ýagdaýda ýangyjyň howa bilen okislenme tizligi garyndynyň emele gelmek prosesine bagly bolmaýar we himiki reaksiýanyň kinetikasy bilen kesgitlenýär, diffuziýa ýagdaýda bolsa ähli prosesler garyndy emele gelmede bolup geçýär.

Gaz şekilli ýangyjyň ýanma prosesi iki işçi maddanyň hem–ýangyjyň we okislendirijiniň birmeňzeş agregat halyna bolmagy bilen tapawutlanýar. Gaz şekilli ýangyçlaryň garyndysynyň emele gelmek usulyna baglylykda ýanma prosesi kinetiki ýagdaýda-da we edil şonuň ýaly diffuziýa ýagdaýda-da bolup bilýär.

Gaty ýangyçlar ýakylanda ilki bilen ony gyzdymak zerurdyr. Ýangyç uçujy maddalary emele getirýän temperatura çenli gyzdrylýar, ondan soň bolsa ýangyçdan emele gelen uçujy maddalar howa bilen garyndy emele getirýär we ýanma bolup geçýär. Şol ýanma prosesinden soň uglerodyň ýanma prosesi başlanýar. Şeýlelikde gaty ýangyjyň ýanma prosesi diffuziýa ýagdaýynda amala aşýar.

Suwuk ýangyjyň ýanma prosesi kinetiki ýagdaýda-da (meselem, garyndyny daşynda emele getirýän hereketlendirijilerde), diffuziýa ýagdaýda-da geçip bilýär (garyndyny içinde emele getirýän hereketlendirijilerde).

Gaty, suwuk we gaz halyndaky ýangyçlaryň ýanma prosesini birnäçe döwürlere bölüp bolýar (20.1-nji tablisa).

20.1-nji tablisa

Ýangyjyň görnüşi		
Gaty	Suwuk	Gaz şekilli
Gyzdymak Çygyň bugarmagy Uçujy gazlaryň	Gyzdymak Çygyň bugarmagy Uçujy gazlaryň	Gyzdymak

çykmagy Koksyň emele gelmegi Uçujy gazlaryň ýanmagy Şlagyň emele gelmegi	çykmagy Uçujy gazlaryň ýanmagy Koksyň ýanmagy	Uçujy gazlaryň ýanmagy
--	--	---------------------------

Ýangyçlaryň görnüşlerine, häsiýetlerine ýylylygyň äkidilişine we beýleki faktorlara baglylykda olaryň otlanma temperaturasy dürli-dürlidir. Olaryň käbirleri hakynda 20.2-nji tablisada (maglumat) berilýär.

20.2-nji tablisa

Ýangyjyň ady	Temperatura, °C	Ýangyjyň ady	Temperatura, °C
Wodorod H <sub>2</sub> howa bilen garyşmada	550÷625	Mazut flotly Φ-5 Φ-12	80 90
Uglerod okisi CO howa bilen garyşmada	630÷672	Az kükürtli 40 Az kükürtli 140	90 110 140
Metan CH <sub>4</sub>	800÷850	100	300
Etan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	540÷594	Köp kükürtli 230	230
Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	525-588	200	250-400
Butan C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	490-570	Odun	400-500
Benzin	400	Torf	500-600
Kerosin	380	Goňur kömür	600-700
Dizel ýangyjy	30÷90	Daş kömür	700-750
Solýarka ýangyjy	125	Ýarym antrosit Antrosit Koks	

## 20.2. Ýangyjyň ýanmagy üçin berilmeli howanyň nazary we amaly mukdary

Ýangyjyň işçi massasynyň düzümi belli bolan şertlerde ýanma kanunynyň esasynda şol ýangyjyň doly ýanmagy üçin zerur bolan howanyň nazary mukdaryny kesgitlemek bolar. Şol howanyň kesgitlenen mukdaryna 1 kg gaty ýa-da suwuk, şeýle hem 1 m<sup>3</sup> gaz halyndaky ýangyjy doly ýakmak üçin gerek bolan howanyň nominal (takyklanan ýa-da bellenen) ýa-da nazary mukdary diýilýär. Bu nominal mukdardaky howanyň düzümindäki kislorod ýanma prosesinde doly ulanylýar we howanyň şol nominal mukdary 1 kg ýa-da 1 m<sup>3</sup> ýangyjyň doly ýanmagyna ýeterlik bolmalydyr. Howanyň nominal mukdary m<sup>3</sup>-da ölçenilýär.

Ýanma prosesinde ýangyjyň garyndysynda okislendirijiniň ýetmezçilik etmegi zerarly ýanyjy elementler ýanman tüsse gazy bilen çykarylyp zyňylýar. Şol sebäpli ýanma prosesinde ýangyjyň doly ýanmagy üçin okislendirijiniň mukdary ýeterlik bolar ýaly howany kesgitlenen nazary mukdardan artykmaç mukdarda bermek talap edilýär. Bu artykmaçlygy hasaba alnyp berilýän howanyň mukdaryna howanyň **amaly mukdary** ýa-da sarp edilýän **hakyky mukdary** diýilýär.

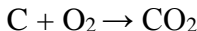
Ýangyjyň görnüşine, ýakylyş usulyna we ýakylýan kameranyň görnüşine ýa-da ojagyň enjamyna baglylykda howanyň hakyky mukdary nazary mukdaryndan 10÷60%-e çenli artdyrylyp berilýär. Ýangyjy ýakmak üçin berilýän howanyň nazary mukdary  $V_n$ , howanyň hakyky mukdary  $V_h$  bilen belgilenýär we m<sup>3</sup>-da ölçenilýär. Ýakmak üçin ojaga berilýän howanyň  $V_h$  hakyky mukdarynyň, howanyň zerur bolan  $V_n$  nazary mukdaryna bolan gatnaşygyna **howanyň artykmaçlyk koeffisiýenti** diýilýär we  $\alpha$  bilen belgilenýär:

$$\alpha = \frac{V_h}{V_n}. \quad (20.1)$$

Howanyň hakyky berilýän mukdaryny kesgitlemek üçin ( $V_h$ ) ilki howanyň nazary mukdaryny kesgitlemek zerurdyr.

Howanyň nazary mukdaryny  $V_n$  kesgitlemek üçin bolsa  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  gazlaryny we  $\text{H}_2\text{O}$  – suw bugunyň molekulýar massalaryny göz önünde tutup, ýangyjyň doly ýanma reaksiýasynyň shemasyna seredeliň.

Kömürturşy gazy üçin:



ýa-da

$$12 \text{ kg C} + 32 \text{ kg O}_2 = 44 \text{ kg CO}_2$$

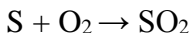
onda

$$1 \text{ kg C} + \frac{32}{12} \text{ kg O}_2 = \frac{44}{12} \text{ kg CO}_2$$

ýa-da

$$1 \text{ kg C} + \frac{8}{3} \text{ kg O}_2 = \frac{11}{3} \text{ kg CO}_2.$$

Kükürt angidridi üçin:



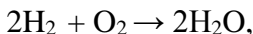
ýa-da

$$32 \text{ kg S} + 32 \text{ kg O}_2 = 64 \text{ kg SO}_2,$$

onda

$$1 \text{ kg S} + 1 \text{ kg O}_2 = 2 \text{ kg SO}_2.$$

Suw bugy üçin:



onda

$$4 \text{ kg H}_2 + 32 \text{ kg O}_2 = 36 \text{ kg H}_2\text{O}$$

ýa-da

$$1 \text{ kg H}_2 + 8 \text{ kg O}_2 = 9 \text{ kg H}_2\text{O}.$$



Ýanma reaksiýasyndan görnüşi ýaly,  $\text{CO}_2$  – kömürturşy gazyndaky 1 kg uglerodyň ýanmagy üçin  $8/3$  kg kislorod;  $\text{SO}_2$  – kükürt angidridindäki 1 kg kükürdiň ýanmagy üçin 1 kg kislorod we 1 kg wodorodyň ýanmagy üçin 8 kg kislorod zerur bolýar.

Şeýle ýagdaýda 1 kg ýangyjyň ýanmagy üçin kislorodyň zerur bolan nazary mukdary şeýle bolýar:

$$\frac{\frac{8}{3} C^i + 8 H^i + S_u^i - O^i}{100},$$

bu ýerde  $C^i$ ,  $H^i$ ,  $S_u^i$  we  $O^i$  – massasy boýunça göterimde (%) berilýär.

$O^i$  – ululyk formulada otrisatel belgi bilen berilýär. Sebäbi ýangyjyň düzümindäki kislorod edil ýangyjy ýakmak üçin daşyndan berilýän howa bilen baryan kislorod ýaly ýangyjyň ýanma prosesinde ulanylýar.

Şeýlelikde howanyň nazary mukdary aşaky görkezilen formula boýunça aňladylýar:

$$L_n^i = \frac{100}{23,2} \cdot \frac{\frac{8}{3} C^i + 8 H^i + S^i - O^i}{100}. \quad (20.2)$$

Bu ýerde 23,2 – howanyň düzümindäki kislorodyň massasy boýunça göterimde berlen mukdary.

Formulany ýönekeýleşdirip alarys:

$$L_n^i = 0,115 C^i + 0,345 H^i + 0,043 (S^i - O^i). \quad (20.3)$$

Howanyň  $\rho_h = 1.293 \text{ kg/m}^3$  dykyzlygyny göz önünde tutup, onuň zerur nazary mukdaryny indiki formulada aňladarys ( $\text{m}^3 / \text{kg}$ ):

$$V_n^i = \frac{L_n^i}{\rho_h} = \frac{L_n^i}{1.293}$$

ýa-da

$$V_n^i = 0.089 C^i + 0.266 H^i + 0.033 (S_u^i - O^i). \quad (20.4)$$

Ýanma prosesini gurnamakda goýberilýän näsazlyklar zerarly ojaga ýa-da ýanma kamerasyna berilýän ýangyçlaryň doly ýanmagyny üpjün etmek başartmaýar. Ojakdaky ýangyjyň käbir bölegi kolosnikow gözenegiň üstünden gaçýar, has kiçi, ýeňil kiçi bölekleri ýanan gazlaryň tiz hereketi netijesinde gazan agregadynyň gaz çykaryjy kanaly bilen zyňylýar, ýangyjyň çäge we şlak bilen gurşalyp ýanmadyk bölegi ojakdaky galyndylar bilen bile alnyp zyňylýar. Şeýle ýagdaýda birnäçe mehaniki sebäplere görä ýanyp bilmeýän ýitgiler ýüze çykýar. Şonuň ýaly sebäplere görä ýangyjyň ýitirilmegine ýangyjyň **mehaniki doly ýanmazlygynyň** ýitgisi diýilýär we  $q_m$  bilen belgilenýär. Ony bolsa ýangyjyň ýanandaky aşaky ýylylygynyň üsti bilen % hasabynda şeýle aňlatmak bolar:

$$q_m = \frac{Q_m}{Q_a^i} \cdot 100.$$

$Q_m$  – mehaniki ýanmazlykdan ýitýän ýangyjyň netijesinde ýitirilýän ýylylyk mukdary. Mehaniki doly ýanmazlygyň ýitgisini göz önünde tutup, howanyň  $V_n$  zerur mukdaryny kesgitläris:

$$V_n = (1 - \frac{q_m}{100}) V_n^i, \quad (20.5)$$

onda

$$V_h = \alpha V_n = (1 \div 1.6) V_n. \quad (20.6)$$

Ýangyjyň görnüşine we onuň düzümine görä 1 kg ýa-da 1 m<sup>3</sup> ýangyjy ýakmak üçin gerek bolan howanyň nazary mukdary hasaplamalaryň üsti bilen kesgitlenip edebiýatlarda tablisalaryň üsti bilen berilýär (suwuk, gaz şekilli ýangyçlar üçin 19.4-19.5-nji tablisalarda görkezilýär).

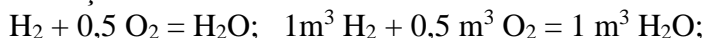
Gaz şekilli ýangyçlar ýakylan ýagdaýynda gerek howanyň nazary mukdary kesgitlenende gaz şekilli ýangyjyň

komponentleriniň ýanma reaksiýasynyň stehiometrik deňlemesiniň esasynda alynýar. Şeýle ýagdaýda komponentleriniň bir molunyň göwrümi edil hyýaly gazlaryňky bilen birmeňzeş ýaly kabul edilýär. Onda ýanma prosesinde:

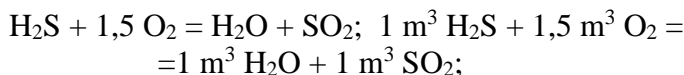
uglerodyň okisi üçin



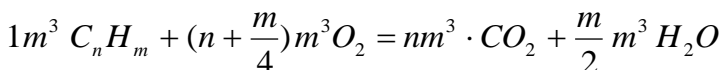
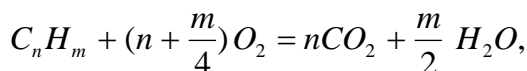
wodorod üçin



kükürt wodorody üçin



uglewodordlar üçin



we ş.m.

Başgaça aýdylanda gaz şekilli ýangyjy düzüjileriň doly ýanma reaksiýasyndan görnüşi ýaly her bir  $1 \text{ m}^3 \text{CO}$ -nyň ýanmagy üçin  $0,5 \text{ m}^3 \text{O}_2$  talap edilýär we reaksiýadan soň  $1 \text{ m}^3 \text{CO}_2$  emele gelýär.

Gaz şekilli ýangyjyň beýleki komponentleriniň ýanmagy üçin gerek bolan kislorody we degişlilikde howany kesgitläp bolýar. Eger gaz şekilli ýangyjy düzýän komponentleriň mukdaryny göterimde aňlatsak, gerek bolan kislorodyň mukdaryny  $\text{m}^3/\text{m}^3$ -da taparys:

$$\text{O}_2'' = 0,01(0,5\text{CO} + 0,5\text{H}_2 + 1,5\text{H}_2\text{S} + \Sigma(n + \frac{m}{4})\text{C}_n\text{H}_m - \text{O}_2 \quad (20.7)$$

howanyň mukdary,  $\text{m}^3/\text{m}^3$ :

$$V_n = 0,0476(0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \Sigma(n + \frac{m}{4})C_nH_m - O_2) \quad (20.8)$$

onda

$$V_h = \alpha \cdot V_n. \quad (20.9)$$

Bu ýerde  $\alpha$  – howanyň artykmaçlyk koeffisiýentiniň ululygy ýokary derejeli enjamlar bilen ornaşdyrylan ojaklarda ýakylýan gaz şekilli ýangyç üçin 1,02 – den 1,4 aralygynda kabul edilýär ( $\alpha = 1,02 \div 1,4$ ).

### 20.3. Ýangyç ýananda emele gelyän gazlaryň göwrümi

Ýangyjyň 1 kg ýa-da 1  $\text{m}^3$  mukdary normal şertde ( $0 \div 20^\circ\text{C}$  temperaturada we 760 mm.sim.süt. basyşda) doly ýananda bölünip çykýan gaz şekilli önüminiň, ýagny tüsse gazynyň göwrümini kesgitlemek zerurdyr. Ýangyjyň doly ýanmagynda ondan bölünip çykýan tüsse gazy aşaky düzümden ybarat:

- $\text{CO}_2$  kömürturşy gazyndan,  $\text{H}_2\text{O}$  suw bugundan (ýangyjyň düzümindäki wodorodyň ýanmagyndan emele gelyän) we  $\text{SO}_2$  kükürtli ангидритden;

- ýangyçdaky çygyň bugarmasyndan, ojaga berilýän çygly howanyň getirýän çygyndan we kä halatda berilýän gyzgyn bugdan emele gelyän suw bugundan;

- ýangyçdan gelyän azotdan we howadan gelyän azotdan;

- howadan berilýän kislorodyň ýangyç ýananda ulanylmadyk böleginden ybaratdyr.

Ýangyç ýananda emele gelyän gazlar **gury gazlara** we **suw buguna** bölünýär. Emele gelyän gazlar ýörite gazoanalizatorlaryň kömegi bilen (ГХП-2 we ГХП-3 Orsa-Fişera) analiz edilende diňe gury gazlaryň oňnositel düzümi kesgitlenýär. Suw buguny bolsa enjama çenli kondensirlenýänligi sebäpli kesgitläp bolmaýar.

Gury gazlardaky her bir gazyň göwrüm gatnaşyklaryny  $\text{m}^3/\text{kg}$  – da kabul edip, kömürturşy gazyň göwrümünü  $V_{\text{CO}_2}$ , kükürtli angridiniňkini –  $V_{\text{SO}_2}$ , azodyňkyny –  $V_{\text{N}_2}$ , kislorodyňkyny –  $V_{\text{O}_2}$  we deňişlilikde şol gazlaryň göwrümi boýunça % gatnaşygy  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2$  we  $\text{O}_2$  belgiläp aşaky aňlatmany ýazarys:

$$V_{g.g.} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} \quad (20.10)$$

ýa-da % - de

$$100 = \text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{N}_2 + \text{O}_2 \quad (20.11)$$

Tüsse gazynyň doly göwrümi

$$V_g = V_{g.g.} + V_{s.b.}, \quad (20.12)$$

bu ýerde  $V_{s.b.}$  – suw bugunyň göwrümi,  $\text{m}^3/\text{kg}$ .

Öz gezeginde, gury gazlaryň göwrümünü üç we iki atomly gazlaryň göwrümleriniň jemi görnüşinde kabul edeliň.

Onda:

$$V_{g.g.} = V_3 + V_2. \quad (20.13)$$

Üç atomly gazlaryň görümi

$$V_3 = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2}, \quad (20.14)$$

$$\text{RO}_2 = \text{CO}_2 + \text{SO}_2 \quad (20.15)$$

Professor L.K. Ramziniň teklibi boýunça kömürturşy gazynyň we kükürtli angrididiň jemleri üçin  $\text{RO}_2$  alamaty girizilen. Hasaplamalarda görkezilen gazlaryň ikisi bilelikde hasaba alynýar. Üç atomly gazlaryň jemlenen mukdarynyň kabul edilmegi amatlydyr, sebäbi  $\text{GXII-2}$  we  $\text{GXII-3}$  gazoanalizatory hemişe  $\text{CO}_2 + \text{SO}_2 = \text{RO}_2$  % - hasabyndaky mukdarynyň jemini berýär, şeýle hem

CO<sub>2</sub> we SO<sub>2</sub> gazlaryň ýylylyk sygymynyň aratapawudy juda kiçi bolany sebäpli hasaplamalarda olar birmeňzeş kabul edilýär.

Iki atomly gazlaryň göwrümi

$$V_2 = V_N + V_o \quad (20.16)$$

ýa-da % - de

$$N_2 + O_2. \quad (20.17)$$

Ýanma reaksiýasyndan belli bolşy ýaly 1 kg uglerod ýananda 11/3 kg kömürturşy gazy bölünip çykýar, 1 kg kükürt ýananda – 2 kg kükürtli angidrit we 1 kg wodorod ýananda bolsa – 9 kg suw bugy emele gelýär.

Şeýlelikde, 1 m<sup>3</sup> kömürturşy gazy özünde

$$\frac{3 \cdot 1,977}{11} = 0,54 \quad \text{uglerod saklýar,}$$

1 m<sup>3</sup> kükürtli angidrit –

$$\frac{1 \cdot 2,927}{2} = 1,464 \text{ kg kükürdi özünde saklýar,}$$

bu ýerde 1,977 kg/m<sup>3</sup> – kömürturşy gazynyň normal şertdäki dykzlygy;

2,927 kg/m<sup>3</sup> – şol şertde kükürtli angidridiň dykzlygy.

Şu görkezmeleriň esasynda massa boýunça özünde uglerod C<sup>i</sup>, % we kükürt S<sub>u</sub><sup>i</sup>, % saklaýjy 1 kg ýangyç ýananda (howanyň artykmaçlygyna bagly bolman) emele gelýän göwrüm:

kömürturşy gazy

$$V_{CO_2} = \frac{C^i}{100 \cdot 0,54} = \frac{C^i}{54} ,$$

kükürtli angidridi

$$V_{SO_2} = \frac{S_u^i}{100 \cdot 1,464} = \frac{S_u^i}{146,4} \quad .$$

Şu gatnaşyklary göz önünde tutup üç atomly gazlaryň emele getirýän göwrümi

$$V_3 = V_{CO_2} + V_{SO_2} = \frac{C^i}{54} + \frac{S^i}{146,4} = \frac{C^i + 0,375 S_u^i}{54} = \frac{K^i}{54}, \quad (20.18)$$

bu ýerde  $K^i = C^i + 0,375 S_u^i$  % - ýangyçdaky uglerodyň getirme mukdary.

Şeýlelikde, ýangyç doly ýanan şertinde üç atomly gazlaryň göwrümi şeýle bolýar:

$$V_3' = 0,0185 K^i \quad (20.19)$$

ýa-da ýangyjyň mehaniki doly däl ýanmagyny hasaba alnanda

$$V_3'' = 0,0185 K^i \left(1 - \frac{q_m}{100}\right). \quad (20.20)$$

Bu ululyk berlen ýangyç üçin hemişelik bolup,  $RO_2$ -ä we howanyň artykmaçlygyna bagly däldir.

Ýangyç doly ýanan şertinde ( $\alpha = 1$ ) iki atomly gazlaryň nazary göwrümi

$$V_2' = 0,79 V_n' + \frac{N^i}{100 \cdot \rho_{N_2}} = 0,79 V_n' + \frac{N^i}{100 \cdot 1,257} = 0,79 V_n' + 0,008 N. \quad (20.21)$$

Ýangyjyň mehaniki doly däl ýanmagyny hasaba alnanda

$$V_2'' = 0,79 V_n + 0,008 N^i \left(1 - \frac{q_m}{100}\right). \quad (20.22)$$

Bu ýerde 0,79 – howada azodyň göwrümleýin mukdary;

0,008  $N^i$  – ýangyçdan azodyň bölünip çykmagy netijesinde emele gelýän gury gazlaryň tutýan göwrümi.

Iki atomly gazlaryň  $\alpha > 1$  mehaniki doly däl ýanmagy hasaba alnanda tutýan göwrümini şeýle aňladyp bolar:

$$\begin{aligned} V_2 &= V_2'' + (\alpha - 1)V_n = 0,79V_n + 0,008N^i(1 - \frac{q_m}{100}) + (\alpha - 1)V_n = \\ &= (\alpha - 0,21)V_n + 0,008N^i(1 - \frac{q_m}{100}). \end{aligned} \quad (20.23)$$

Şeýlelikde,

$$V_2 = (\alpha - 0,21)V_n + 0,008N^i(1 - \frac{q_m}{100}). \quad (20.24)$$

Ýangyjyň 1 kg ýananda emele gelýän gazlaryň düzümindäki suw bugunyň göwrümi (20.24) formula bilen kesgitlenýär.

Öň belläp geçilişi ýaly, ýangyjyň düzümindäki wodorodyň  $H^i$  ýanmagy netijesinde emele gelýän we ýangyçda bar bolan çygyň  $W^i$  bugarmagyndan, şeýle hem, ýanyş kamerasyna ýa-da ojaga berilýän howadaky çygyň bugarmasyndan, forsunkadan berilýän bugdan ýa-da ýangyjy bug bilen pürküp berlende gelýän buguň netijesinde tüsse gazlarynyň düzüminde suw bugy emele gelýär.

Suw bugunyň jemi göwrümi

$$V_{s.b} = \frac{9H^i + W^i + 100W_f}{100 \cdot 0,805} (1 - \frac{q_m}{100}) + \frac{V_n \alpha d_h}{100 \cdot 0,805},$$

bu ýerde  $H^i$  we  $W^i$  – ýangyçdaky wodorodyň we çyglylygyň massa boýunça % - däki mukdary;  $W_f$  – ýangyjy pürküp bermek üçin sarp edilýän buguň mukdary bolup, ol 1 kg mazut ýangyjy üçin 0,3 kg-e barabardyr.

0,805 – normal şertlerde suw bugunyň dykzlygy,  $\text{kg/m}^3$ ;

$d_h$  – howanyň çyglylyk saklaýjylygy, ol 8  $\text{g/m}^3$  diýip kabul edilýär.

Ýokarky formulalardan alarys:



$$V_{s.b} = 0,0124(9H^i + W^i + 100W_f)(1 - \frac{q_m}{100}) + \\ + 0,00124V_n \alpha d_h. \quad (20.25)$$

Ýokarda görkezilen (20.12) we (20.13) formulalary hasaba alyp ýangyç ýananda emele gelýän gazlaryň jemi göwrümi

$$V_g = V_{g,g} + V_{s,b} = V_3 + V_2 + V_{s,b}$$

ýa-da

$$V_g = 0,0185 K^i (1 - \frac{q_m}{100}) + (\alpha - 0,21)V_n + 0,008 N^i (1 - \frac{q_m}{100}) + \\ + 0,0124(9H^i + W^i + 100W_f) \times \\ \times (1 - \frac{q_m}{100}) + 0,00124V_n \alpha d_h. \quad (20.26)$$

Ýokarky hasaplama formulalar gazan agregatlarynyň taslamasy düzülende ulanylýar, şeýle hem, olary gazan agregatlaryny işledip barlag geçirilende tüsse gazynyň analiziniň netijesini seljermek üçin peýdalanylýar.

Gaz şekilli ýangyç ýananda emele gelýän tüsse gazynyň düzümini edil ýokardaky  $V_n$ -iň kesgitlenişi ýaly aňlatmalaryň esasynda kesgitläp bolar. Gaz şekilli ýangyçlaryň düzümi üçin ýanma reaksiýasynyň deňlemelerini peýdalanylýp, üç atomly gazlaryň göwrümini,  $m^3/m^3$ , alarys:

$$V_{RO_2} = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + CH_4).$$

Bu bolsa ýangyjyň göwrüminiň etan, propan we butan gazlarynyň jemi mukdarynyň 3%-den kiçi we gaz şekilli ýangyjyň esasy metandan düzülen şertine dogry gelýär.

Tüsse gazynda azodyň göwrümi

$$V_{N_2}^n = 0,79V^n + 0,01N^i$$

gury gazlar

$$V_{g.g}^n = V_{RO_2} + V_{N_2}^n. \quad (20.27)$$

Gaz şekilli ýangyç ýananda emele gelýän gazlardaky suw bugunyň nazary göwrümi

$$V_{H_2O}^n = 0,01(H_2 + H_2S + \Sigma \frac{n}{2} C_n H_m + 0,124 d_{g.y}) + 0,0161 \cdot V^n, \quad (20.28)$$

bu ýerde  $d_{g.y}$  – gaz şekilli ýangyjyň çyglylygy,  $g/m^3$ .

Ýangyç ýananda bölünip çykýan gazyň jemi nazary göwrümi,  $m^3/m^3$ :

$$V_g^n = V_{g.g} + V_{H_2O} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}. \quad (20.29)$$

Eger, tüsse gazynyň analizinden ýangyç ýananda emele gelýän gazyň düzüminde  $CO_2$ ,  $CO$  we  $CH_4$  gazlaryň mukdary belli bolsa, onda gury gazlaryň göwrümi,  $m^3/m^3$ , aşaky formulanyň kömegi bilen kesgitlener:

$$V_{g.g} = \frac{CO_2 + CO + 2CH_4 + \Sigma C_n H_m}{CO_2 + CO + CH_4},$$

bu ýerde “ý” indeksi ýangyçdaky ol ýa-da beýleki gazyň mukdaryna degişli bolup durýar.

Gury gazlaryň doly (hakyky) göwrümini, aşaky aňlatmadan kesgitläp bolýar:

$$V_{g.g} = V_{g.g}^n + (\alpha - 1)V^n. \quad (20.30)$$

Şeýle hem, suw bugunyň doly göwrümini, indiki görnüşde kesgitläp bolýar:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^n + 0,0161(\alpha - 1)V^n.$$

Gaz şekilli ýangyç ýananda emele gelýän tüsse gazynyň hakyky göwrümi,  $m^3/m^3$ :

$$V_g = V_{RO_2} + V_{N_2}^n + V_{H_2O} + (\alpha - 1)V^n. \quad (20.31)$$

Getirilen formulalar howanyň artykmaçlyk koeffisiýenti belli bolan şertinde tüsse gazynyň göwrümini kesgitlemäge ýardam berýär. Howanyň artykmaçlyk koeffisiýenti bolsa hasaplamalar üçin garelkalaryň we ojak enjamlarynyň görnüşine, gazan agregatynyň we desgasynyň elementlerine baglylykda tejribeleriň esasynda saýlanyp alynýar we edebiýatlarda tablisada görnüşinde berilýär.

Gaty we suwuk halyndaky ýangyçlaryň ýanma görkezijileriniň hasaplamasy esasynda zerur bolan kislorodyň we emele gelýän önümiň mukdary 20.4-nji tablisada berilýär.

20.4-nji tablisada

Element (işçi massa)	Okislenme reaksiýasynyň himiki formulasy; okislenme önümi; reaksiýalaryň massa gatnaşygy (1 kmol hasaplamaly)	1 kg ýanyjy elementi ýakmak üçin kislorodyň zerur mukdary, kg	1 kg ýanyjy elementiň ýanmagyndan alynýan ýangyn önüminiň mukdary, kg
Uglerod	$C + O_2 = CO_2$ 12 kg C + 32 kg $O_2 = 44$ kg $CO_2$	$32/12 = 8/3$	$44/12 = 11/3$
Uglerod	$2C + O_2 = 2CO$ 24 kg C + 32 kg $O_2 = 56$ kg CO	$32/24 = 4/3$	$56/24 = 7/3$
Wodorod	$2H + O_2 = 2H_2O$ 4 kg H + 32 kg $O_2 = 36$ kg $H_2O$	$32/4 = 8$	$36/4 = 9$
Yanyjy kükürt	$S_{op+k} + O_2 = SO_2$ 32 kg S + 32 kg $O_2 = 64$ kg $SO_2$	$32/32 = 1$	$64/32 = 2$

## 20.4. Ýangyç ýananda emele gelýän gazyň entalpiýasy

Tehniki termodinamikadan belli bolşy ýaly gazlaryň ýylylyk sygymynyň ululygy olaryň düzümine we temperaturasyna baglydyr.

Ýangyjy ýakmak üçin peýdalanylýan howanyň entalpiýasyny kJ/kg ýa-da kJ/m<sup>3</sup>, şeýle kesgitlemek bolar:

$$I_n = V_n \cdot c_{\varphi} \cdot \theta, \quad (20.32)$$

Bu formuladan:

$c_{\varphi}$  – hemişelik basyşda we 0 °C-dan  $\theta$  °C-a çenli temperatura aralykda çygly howanyň orta göwrümleýin ýylylyk sygymy, kJ/(m<sup>3</sup> · K) ;

$\theta$  - ýangyç ýananada emele gelýän tüsse gazynyň temperaturasy, °C.

Ýangyç ýananda emele gelýän gazlarda uglerodyň iki okisi, kükürtli gaz, azot we suw bugy, olaryň hemmesi bilelikde tüsse gazynyň 95-den gowrak göterimini tutýar.

Azodyň mukdary tüssäniň düzümindäki iki atomly gazlaryň umumy göwrüminiň 75%-den gowragyny tutýar. Hasaplamalarda gazyň hemişelik temperaturadaky entalpiýasy ondaky RO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ýa-da gurak howanyň we H<sub>2</sub>O suw bugunyň mukdaryna baglylykda kabul edilýär.

Haçanda,  $\alpha = 1$  bolanda tüsse gazynyň göwrüminiň entalpiýasy, kJ/kg ýa-da kJ/m<sup>3</sup>, aşaky formula boýunça hasaplanýar:

$$I_g^n = V_{RO_2} \cdot c_{RO_2} \theta + V_{N_2} \cdot c_{N_2} \cdot \theta + V_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \theta \quad (20.33)$$

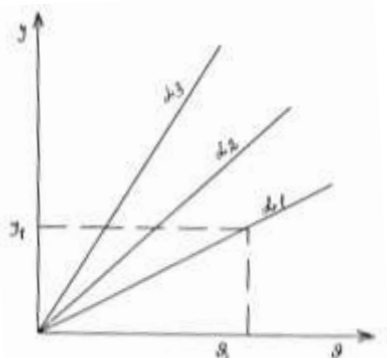
Her bir gazyň we howanyň aýratyn ýylylyk sygymynyň bahasy 0 °C-dan  $\theta$  °C-a çenli temperatura aralygynda tablisalarda berilýär.

Howanyň hakyky mukdarynyň berlen ýagdaýy üçin tüsse gazynyň entalpiýasy kJ/kg ýa-da kJ/m<sup>3</sup> :

$$I_g = I_g^n + (\alpha - 1) I_h^n. \quad (20.34)$$

Ýangyç ýananda emele gelýän gazlaryň entalpiýasy ýangyjyň ýakylyş usulyna, düzümine, temperaturasyna we howanyň

artykmaçlyk koeffisiýentine baglydyr. Şoňa laýyklykda hasaplamalaryň esasynda howanyň dürli artykmaçlyk koeffisiýenti ( $\alpha$ ) üçin tüsse gazynyň temperaturasyna baglylykda entalpiýasyny görkezýän grafigi gurulýar. Şol grafigiň üsti bilen  $\alpha$ -ň we  $\theta$ -niň islendik bahasynda tüsse gazynyň entalpiýasyny kesgitlemek bolar (20.1-nji surat).



20.1-nji surat. Tüsse gazynyň temperaturasyna we howanyň artykmaçlyk koeffisiýentine baglylykda entalpiýasyny

Tüsse gazyny düzýän her bir gazyň we howanyň temperatura baglylykda orta ýylylyk sygymy boýunça gazlaryň entalpiýasyny kesgitlemek üçin (temperaturasy 100-den 1400 °C- çenli) 20.3-nji tablisadan peýdalanyp bolar:

20.3-nji tablisa

$\theta, K$	Gazlaryň göwrüm entalpiýasy, $kJ/m^3$				$\theta, K$	Gazlaryň göwrüm entalpiýasy, $kJ/m^3$			
	$(C\theta)_{RO_2}$	$(C\theta)_{N_2}$	$(C\theta)_{H_2O}$	$(C\theta)_h$		$(C\theta)_{RO_2}$	$(C\theta)_{N_2}$	$(C\theta)_{H_2O}$	$(C\theta)_h$
100	169	130	151	132	700	1461	946	1147	979
200	357	260	304	266	800	1704	1093	1335	1130
300	559	392	463	403	900	1951	1243	1524	1281
400	772	527	626	542	1000	2202	1394	1725	1436
500	996	664	794	684	1200	2717	1695	2131	1754
600	1222	804	967	830	1400	3240	2009	2558	2676

## IV BÖLÜM

### GAZAN DESGALARY

#### Ýigrimi birinji bap. GAZAN DESGALARY, OLARYŇ MAKSATLARY WE ELEMENTLERI

##### 21.1. Gazan desgalary we olaryň görnüşleri

Gazan desgasy bug hereketlendirijileri (turbina, porşenli maşynlar) we önümçilik ýa-da ýyladyş maksatlary üçin edilýän talaplara görä degişlilikde bug ýa-da gyzgyn suw öndürmäne hyzmat edýär. Gazan desgasy ulanyş maksadyna baglylykda energetiki (elektrik stansiýalaryna hyzmat edýän), önümçilik, önümçilik-ýyladyjy we ýyladyjy topara bölünýär. Gazan desgalarynyň maksadyna laýyklykda olaryň öndürjiligi we öndürýän önüminiň (bug, gyzgyn suw) parametrleri ( $D$ ,  $t/sag$ ;  $Q$ ,  $MWt/sag$ ;  $t$ ,  $^{\circ}C$ ;  $p$ ,  $MPa$ ) kesgitlenýär.

Gazan desgalarynda energiýa göteriji serişde hökmünde başlangyç çeşme-ýangyçdyr. Gazanlarda gyzgyn suw ýa-da suw buguny almak üçin başlangyç işçi jisim hökmünde bolsa suw hyzmat edýär. Ýangyç ýananda bölünip çykýan önümi bolan ýylylyk energiýasy ýylylyk çalşyjy apparatlaryň metal üstünden geçip, hereket edýän suwa we suw buguna berilýär. Gazan desgalarynda bug öndürmek üçin bolup geçýän prosesiň esasy elementleri ýangyjyň ýanmak prosesi, ýangyç ýananda bölünip çykýan önüm bilen işçi jisimiň arasyndaky ýylylyk çalyşma prosesi we bug emele gelme prosesi bolup durýar.

Gazan desgasyň esasy iki bölege bölüp öwrenilýär—gazan agregatlary we kömekçi enjamlary.

Bug ýa-da gyzgyn suw öndürmek üçin zerur bolan gazan agregadynyň, kömekçi enjamlaryň we mehanizmleriň jemlenen toplumyna **gazan desgasy** diýilýär.

Gazan desgasy maksady boýunça—energetiki (elektrik energiýasyny öndürmek maksady bilen bug öndürýän), önümçilik (senagata gerek bolan bagy öndürýän), önümçilik—ýyladyş (senagatda we ýaşaýyş, jemgyýetçilik jaýlary ýylatmak üçin bug ýa-

da gyzgyn suw öndürýän), ýyladyş (ýaşayyş we jemgyýetçilik jaýlaryny ýylatmak üçin gyzgyn suw öndürýän) böleklere bölünýär.

Gazan desgasy ulanýan ýangyjyň görnüşi boýunça gaty (kömürde), suwuk (mazutda) we gaz şekilli (tebigy gazy) ýangyçlarda işleýän desgalara bölünýär.

Öndürýän işçi jisiminiň görnüşi boýunça suw gyzdyryjy we bug öndüriji desgalara bölünýär.

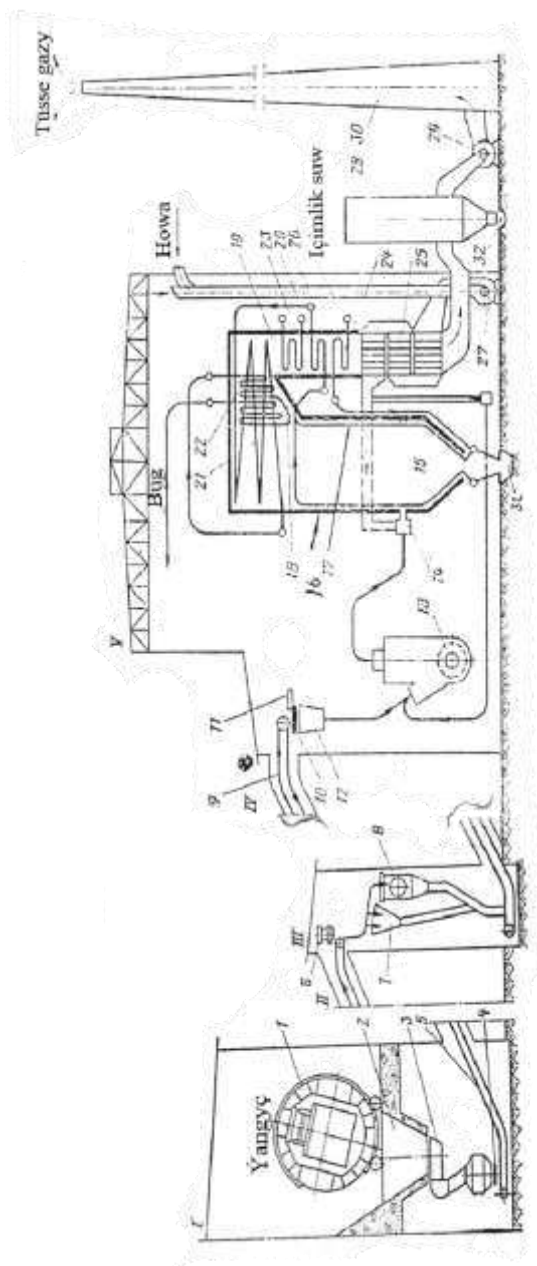
Ýylylyk öndürjilik we bug öndürjilik kuwwaty boýunça desgalar kuwwatly, orta kuwwatly, pes kuwwatly toparlara bölünýär.

Gazan desgasyňyň agregatlary, goşmaça enjamlary, olaryň yzygiderliligi we gurluşy 21.1-nji suratda görkezilýär.

Gazan desgasyňyň toplumynda ýangyç hojalygyndan başga dürli maksatly suw nasoslardan, turbalardan, arassalaýjy enjamlardan (suwy himiki arassalaýjy we deaerator), gyzdyryjy apparatlardan ybarat bolan suw taýýarlaýjy hojalygy, şeýle hem, hyzmat edýän birnäçe kömekçi hojalygy bardyr.

Gazan desgasyňyň gurluşy barada umumy düşüňjani 21.1-nji suratdan alyp bolar.

Gazan desgasy gaty ýangyç ýakmak üçin ojagy bolan bug gazany (16) bilen enjamlaşdyrylan. Ýangyç ojak enjamyna degişli mehanizmleriň üsti bilen berilýär. (21.1-nji suratda 1-den 14-e çenli).



21.1-nji surat. Bug öndürmegiň tehnologiýasynyň shemasy



I-ýangyç kabul edilýän-düşürilýän jaý; II-ýangyjy birinji göteriji konweýerleriň galareýasy; III-ýangyjyň owradylýan jaýy; IV-ýangyjy ikinji göteriji konweýerleriň galareýasy; V-baş bina; 1-wagonlardan kabul ediji; 2-ýangyç bunkeri; 3-ýangyç sorujy; 4 we 10-gorizonta konweýerler; 5-birinji göteriji konweýer; 6-demriň elektromagnit seperatory; 7-grohotlar-ýaňlandyryjy; 8-owradyjy; 9-ikkinji göteriji konweýer; 11-oklaýjy; 12-owradylan ýangyjyň bunkeri; 13-kömür üweýji haraz; 14-gorelkalar; 15-ojak kamerasy; 16-gazan (ugurdaş akymly); 17-ojakdaky ekran turbalary; 18-gorizonta gaz ýoly; 19-konweksiýa şahtasy (wertika gaz ýoly); 20-geçiş zolagy; 21-radiasiýa buguny aşa gyzdyryjy; 22-konweksion bugy aşagyzydyryjy; 23-bugy aralykda gyzdyrýan aşagyzydyryjy; 24-ekonomaýzer; 25-howa gyzdyryjy; 26-sowuk howa üçin korob; 27-üfleýji wentilýator; 28-tozany-çägäni tutujy; 29-tüsse sorujy; 30-tüsse turbasy; 31-şlagý äkidiji enjam; 32-çägäni ekidiji enjam.

Ýangyç ýananda emele gelýän түsse gazy түsse sorujynyň (29) kömegi bilen ojakdan sorulyp radiasion we konwektiw gyzydyryjy üstleriň üstünden geçýär. Bugy aşa gyzydyryjylaryň (21) , (22) we suw ekonomaýzeriň (24) hem-de howa gyzydyryjynyň (25) üstünden geçýär, öz ýylylygyny işçi jisime berip, temperaturasyny peseldýär. Soňra түsse arassalaýjynyň (28) üstünden geçip, түsse turbasynyň (30) içi bilen desganyň çäginde ýokary çykarylýp atmosfera zyňylýar.

Içimlik suw iýmitlendiriji nasosyň kömegi bilen turbageçiriji boýunça ilki suw ekonomaýzerine (24) berilýär we gyzydyrylýar. Soňra bolsa gazanyň ýokarky barabanyna berilýär. Gazanda emele gelýän çygly doýgun bug  $x=0,95\div 0,98$  guraklyk derejesi bilen bugy aşagyzydyryjynyň bug geçirijisine barýar, aşagyzyýar we bug geçiriji boýunça önümçilige ugradylýar.

Ýangyjyň ýanmagy üçin zerur bolan howa wentilýatoryň (27) kömegi bilen gazan desgasynyň binasynyň içinden (sowuk döwürde) ýa-da daşyndan (tomus döwürde) sorup alnyp, howa gyzydyryjynyň üstünden geçirip, ojaгыň aşak eteginde berilýär.

Ýangyç ýananda emele gelýän gazyň düzümindäki ýangyjyň maýda bölejiklerini, çägäni we şlagý tutup alyp galmak tozan-çäge tutujynyň (28) kömegi bilen amala aşyrylýar. Tozan-çäge tututyjyny

(28) köp halatda gazan agregatynyň yzynda ýerleşdirilýär (21.1-nji surat). Gazan agregatynyň gyzdryjy üstüne çökyän ýangyjyň maýda bölejikleri, çäge we şlak gysylan howanyň ýa-da buguň kömegi bilen üfledip arassalanýar, ýuwulýar.

## 21.2. Gazan agregaty

Gazan agregady diýlip, berlen basyşda we temperaturada, şeýle hem berlen mukdarda ( $p$ , MPa;  $t$  °C;  $D$ , t/sag) bug almak üçin niýetlenen energetiki enjama aýdylýar. Köp halatda şu enjamda buguň öndürilýändigini sebäpli oňa bug generatory ýa-da ýöne bug gazany hem diýilýär. Eger ahyrky önümi senagatyň tehnologiýa proseslerinde peýdalanylýan we senagat, jemgyýetçilik we ýaşaýyş jaýlarynyň ýyladyş ulgamyna niýetlenen bolup, talap edilýän parametrleri (basyş we temperatura) kanagatlandyryýan gyzgyn suwy öndürýän bolsa, onda ol enjama suw gyzdryjy gazan diýilýär. Şonuň üçin ähli gazan agregatlaryny iki esasy synpa bölmek bolar: bug we suw gyzdryjy gazan agregatlary.

Gazan agregatlary pes, orta we ýokary kuwwatly bug öndüriji we ýylylyk öndüriji gazanlar toparyna bölünýär.

Birinji topara – pes kuwwatly ýylylyk ýa-da bug öndüriji gazanlara – ýylylyk öndürijiligi  $4,6 \div 7,6$  MWt-a deň ýa-da pes bolan, bug öndürijiligi – 2,78 kg/sek (ýa-da 10 t/sag çenli); orta kuwwatly topara –  $11 \div 58$  MWt, ýa-da 4,45-den 20,85 kg/sek çenli (ýa-da 16-dan 75 t/sag çenli); ýokary kuwwatly gazanlara – 58 MWt ýa-da 75 t/sag-dan ýokary mukdarda bug öndürýän gazanlar degişlidir.

Pes we orta kuwwatly gazanlar ýörite gurulýan gazan desgalarynda peýdalanylýar, ýokary kuwwatly bolsa – Ýylylyk elektrik merkezlerinde oturdylýar. Ýyladyş gazanlarynyň kuwwatlarynyň ösmegi bilen öndürijiligi 100 t/sag (27,8 kg/sek) we ondan hem ýokary kuwwatly gazanlar taslanýlar we gurulýar.

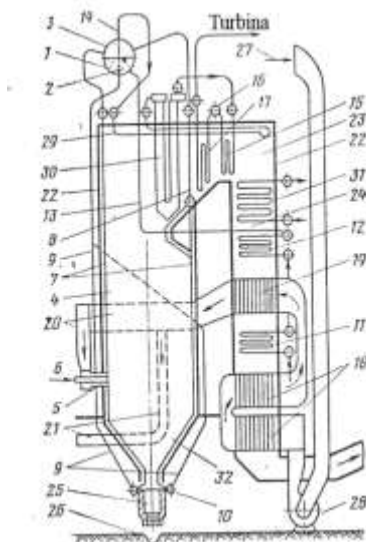
Bug öndürijiligi pes bolan gazan agregatlary ýyladyş gazan desgalarynda ulanylýar; bug öndürijiligi orta bolanlar – senagat gazan desgalarynda; bug öndürijiligi ýokary bolanlar – elektrostansiýalarynda (KES we ÝEM) ulanylýar.

Suw gyzdyryjy gazanlarda suwuň basyşy  $1,6 \div 2,5$  MPa, temperaturasy (gazandan çykanda) – degişlilikde 150 we 260 °C-e deňdir.

Bug öndürjiligi pes bolan gazan agregatlarynda buguň basyşy 0.9-dan 1,4 MPa, bug öndürjiligi orta bolan gazan agregatlarynda 4,0 MPa-a çenli; bug öndürjiligi ýokary bolan, suwy we bug-suw garyndysy, tebigy aýlanyşyk edýän agregatlarda – 14 MPa – a çenli we ugurdaş akymly bug generatorlarynda 25,5 MPa-a çenli bolýar.

Suw gyzdyryjy gazanlarda gyzgyn suwuň görkezilýän temperatura çenli gyzdyrylyp taýýarlanmagy, doýgun ýa-da aşagyzan buguň bug gazan agregadynda generirlenmegi esasan gazan agregadynyň ojagynda ýangyç ýakylanda emele gelýän ýylylygyň hasabyna amala aşyrylýar.

Gazan agregaty özünde hususy gazany, bugy aşagyzydyryjyny, suw ekonomazy, howa gyzdyryjyny, ojak enjamyny, şeýle hem, obmurowka, gaz ýoly, karkas, armaturalary we garnituralary jemleýär (21.2-nji surat).



21.2-nji surat. Tebigy aýlanyşykly bug gazanyň gurlusynyň shemasy

1-baraban; 2-suw giňişligi; 3-bug giňişligi; 4-ojak kamerasy; 5-garelka; 6-ilkinji howa berliş; 7-diwardaky turbadan ekran; 8-bug aşagy

gyzdyryjynyň önünde gurlan feston; 9-suwý aşak goýberiji turbalar; 10-aşaky kollektorlar; 11,12-ekonomazyerler; 13-ekonomazyerden barabana barýan suw geçiriji turba; 14-barabandan bugy aşagyzyrja bug geçiriji turba; 15, 17-konwektiw aşagyzyrja gyzdyryjynyň birinji we ikinji kontury; 16-bug sowadyjy; 18,19-birinji we ikinji howa gyzdyryjylar; 20-ikinji gyzgyn howa berliş; 21-ilkinji howa berlişniň ýoly; 22-gazanyň daş tarapyndaky daşky gurşawy (obmurowkasy); 23-öwrümlü gorizontall gaz ýoly; 24-konwektiw gaz ýoly; 25-şlak şahtasy; 26-gidro şlak zyňylýan kanal; 27-desganyň ýokarky örtügininiň aşagyndan ýyly howanyň sorulýan ýeri; 28-ýyly howany howa gyzdyryjynyň üsti bilen ojaga üfleýji wentilýator; 29-potolokdaky aşagyzyrja; 30-turbadan tekiz, ýarymradiasion üst (şirmalar); 31-ikinji gezekki aralyk bugy aşagyzyrja; 32-ojagyň aşagy bölegindäki gaty şlagy äkidiji ulgamyň sowuk woronkasy.

**Bug gazany** – gaza agregatynyň esasy elementi bolmak bilen, ýangyç ýananda bölünip çykýan ýylylygy metall üst arkaly suwa geçirip, doýgun bug almak üçin niýetlenen ýylylyk çalşyjy gurluş bolup durýar. Gaza desgasynda gazaalaryň birnäçesi gurnalýar we olaryň sany ikiden az bolmaly däl. Şonuň üçin gaza desgasyň öndürjiligi ýa-da onuň kuwwaty desgada guralan gazaalaryň her biriniň öndürjiliginiň goşulmagyna deňdir.

Bug gazany – barabandan; kollektorlardan; baraban bilen kollektory birikdirýän, diwaryň ýüzünde ýerleşýän, gaýnadyjy ekran turbalar ulgamyndan; suwuň ýokarky barabandan aşakda ýerleşýän kollektora düşmegi üçin niýetlenen aşak goýberiji turbalardan; ýangyjyň himiki energiýasyny ýylylyk energiýa öwürmek bilen baglanyşykly – ojakdan ybaratdyr.

Gazanyň bug öndürjiligi sagatda öndürilen buguň kilogramdaky ýa-da tonnadaky mukdary bilen kesgitlenýär we D harpy bilen belgilenip kg/sag (t/sag) ýa-da kg/sek-de ölçenilýär.

Gazanyň ululygy köp halatda onuň metr kwadratdaky ( $m^2$ ) gyzdyryjy üstüniň (H) ölçegleri bilen häsiýetlendirilýär. Gazanyň **gyzdyryjy üsti** diýlip – bir tarapdan gyzgyn gazlar, beýleki tarapyndan bolsa işçi jisimiň (suw ýa-da bugsuw garyndysy) ýuýýan

metal diwarlarynyň üstleriniň ählisiniň meýdanyna aýdylýar. Gyzdyryjy üst adatça gyzdyryjy gaz tarapdan hasaplanýar.

Ýangyjyň ýanyan gatlagyndan ýa-da ýalynyndan gyzgynlyk alýan gyzdyryjy üste **radiasion gyzdyryjy üst** diýilýär. Ojakda diňe şöhlelenme boýunça ýylylygy kabul edýän radiasion gyzdyryjy üste **ojagyň ekrany** diýilýär. Ýylylygyň köp mukdary gyzgyn hereket edýän tüsse gazlarynyň gatnaşmagy netijesinde berilýän gyzdyryjy üstlere **konwektiw gyzdyryjy üst** diýilýär. Bug agregatynyň esasy elementleriniň biri bugy aşa gyzdyryjydyr.

**Bugaşgyzdyryjy** – gazanda öndürilen doýgun buguň temperaturasyny gerek temperatura çenli aşa gyzdyrmaga niýetlenen ýylylyk çalşygy enjamdyr. Gazanyň barabanyndan çykýan doýgun buguň täzedan gazana ýa-da gyzgyn gaz akymyna aşa gyzdyryjy arkaly berlip aşa gyzdyrylmagy gazan desgasyň umumy ykdysady tarapdan ýokarlanmagyna getirýär. Suw gyzdyryjy gazanlarda bugaşgyzdyryjylar gurnalmaýar. Ol tüsse gazynyň ugrunda gurnalýar.

**Suw ekonomazyeri** – gazanyň barabanyna barýan içimlik suwuny barabana barmazdan ön gyzdyrmak üçin hyzmat edýär. İçimlik suwuň gyzdyrylmagy gazandan çykýan tüsse gazynyň gyzgynlygyny peýdalanmak arkaly amala aşyrylýar. Tüsse gazynyň gyzgynlygyny peýdalanmak bolsa gazan desgasyň ykdysady görkezijilerini ýokarlandyrýar. Ekonomazyer tüsse gazynyň akymynyň ugrunda, aşagygzdyryjydan soň gurnalýar. Ekonomazyerler XIX-njy asyryň başlarynda ýüze çykyp başlady. S.W.Litwinow (1785-1843) ilkinji bolup bug öndürýän desgalaryndan gidýän tüsse gazlaryň ugrunda ekonomazyeri gurnaýar. Ýangyjy tygşytlamak nukdaýnazaryndan ugur alyp, ol enjamyň adyna “ekenomiya” sözüni ulanyp ekonomazyer ady dakylýar we soňky ýyllarda-da şeýle at saklanýar.

**Howa gyzdyryjy** – gazan agregatyndan çykýan gyzgyn tüsse gazynyň ugrunda onuň gyzgynlygyndan peýdalanyp ýangyjy ýakmak üçin zerur bolan howany ojaga berilmezinden ön gyzdyrmak maksady bilen ulanylýan ýylylyk çalşygy enjamdyr. Ol ekonomazyerden soň ýerleşdirilýär. Howagygzdyryjy enjam hem gazan desgasyň P.T.K-syň ýokarlanmagyna täsir edýär.

**Armatura** we **garnitura** gurallary – gazan agregatyna hyzmat etmek, ony ulanmak we dolandyrmak üçin niýetlenen enjamlardyr.

Gazan agregatlarynyň enjamlary, gurluşy we olaryň ýerleşiş yzygiderliligi 21.2-nji suratda görkezilýär.

Bug gazanlaryny häsiýetlendirýän esasy görkezijiler bolan bug öndürjiligi ( $D, t/sag$ ), buguň basyşy ( $p$ , MPa  $kg \cdot g/sm^2$ ), onuň temperaturasy ( $t$ , °C) we içimlik suwuň temperaturasy ( $t$ , °C) 21.1-nji tablisada bölekleyin berilýär.

21.1-nji tablica

Buguň basyşy, MPa( $kg \cdot g/sm^2$ )	Bugöndürjiligi, $t/sag$	Buguň temperaturasy, °C	Içimlik suwuň temperaturasy, °C
0.88 (9)	0.2; 0.4; 0.7; 1.0; 2.5	Doýgun	50
1.37 (14)	4; 6.5; 10; 15; 20	Doýgun ýa-da aşagyzan, 250	100
2.35 (24)	4; 6.5; 10; 15; 20	Doýgun ýa-da aşagyzan, 370 we 425	100
3.92 (40)	6.5; 10; 15; 20; 25; 35; 50; 75	440	145
9.8 (100)	60; 90; 120; 160; 220	540	215
13.7 (140)	160; 210; 320; 420; 480;	570	230
25 (255)	320; 500; 640 (gaýtadan aşagyzyýan) 950; 1600; 2500	570/570  570/570	260

### 21.3. Gazan desgasyň kömekçi enjamlary

Gazan desgalarynyň kömekçi enjamlary gazan agregatyna ýangyjy bermek we ýanyşa taýýarlamak, agregatdan çägäni we şaklary aýyrmak, içimlik suwy arassalamak we gazan agregatyna bermek (suwy taýýarlamak we içimlik suwuň enjamlary), tüsse gazynyň gazan agregatyndan aýrylyp durmagy (soruş enjamlary), ojak enjamyna howany bermek (üfleýji enjamlary), şeýle hem, agregatyň iş kadasyny awtomatiki sazlamak we ýylylyk gözegçiligini saklamak maksady bilen gurulýan enjamlardyr. Gazan desgasyň kömekçi enjamlary 21.1-nji we 21.2-nji suratlarda görkezilýär.

**Ýangyç taýýarlaýjy enjamlar** – ýangyjyň görnüşine we onuň ýakylýş usulyna baglylykda bölüjiler, guradyjylar, ýangyjy tozan görnüşli ýagdaýa çenli owratmak üçin harazlar, iýmitlendirijiler, wentilýatorlar, şeýle hem, transportýorlar we tozan – gaz geçirijiler bilen enjamlaşdyrylýar. Ýangyç ammary wagonlardan ýangyjy düşürmek üçin mehanizmler bilen üpjün edilendir. Suwuk ýangyç ulanylan desgalarda – mazutda işleýän gazanlarda mazut hojalygy bolup, mazut saklanýan ýerlerde ýörite gyzdyryjylar, mazut nasoslary hyzmat edýär. Gaz şekilli ýangyçda işleýän gazan desgalarynda ýakylýan gazyň basyşyny, mukdaryny sazlaýjylary ulanylýar we gözegçilikde saklanýar.

**Gazandan çägäni we şaklary aýyrmak** üçin ulanylan enjamlar gidrawliki (turbageçirijiler ulgamy bilen gidronasoslar) we mehaniki (wagonetkalar, şlaksyryjylar we ş.m) usullara esaslanandyr (21.2-nji surat).

**Içimlik suwy taýýarlamak üçin enjamlar** suwy mehaniki garyndylardan we kesmek emele getiriji duzlardan arassalamagy üpjün edýän, şeýle hem, düzüminden karroziýa emele getiriji gazlary çykaryjy enjamlardan we usullardan ybaratdyr. Suwy gazsyzlandyrmak ýa-da suwy deaerirlemek deaeratorlarda amala aşyrylýar.

**Iýmitlendiriji desgasy** – turbageçirijilerden we gazan agregadyna basyş astynda suw bermek üçin niýetlenen iýmitlendiriş nasoslaryndan ybaratdyr.

**Soruş – üfleýiş enjamlary** ojak enjamynda ýangyjyň ýanmagy üçin gerek howany üpjün edýän wentilýatorlardan, howageçiriji ulgamdan, ýangyç ýananda emele gelýän tüsse gazyny sorujy wentilýatordan (tüsse sorujydan), tüsse gazyny geçirijiden, şeýle hem, sowan tüsse gazyny gazan desgasynyň çäginde daşlaşdyrýan, tüssäni atmosfera çykaryjy tüsse turbasyndan ybaratdyr. Bu enjamlar 21.1-nji we 22.2-nji suratlarda görkezilýär.

**Gazan agregatynyň ýylylyk gözegçiligi we awtomatiki dolandyryş enjamy.** Bu enjam sarp edilýän bugy talap edilýän parametrleri boýunça öndürmek üçin gazan desgasynyň her bir elementleriniň sazlaşykly we bökdençsiz işlemegini üpjün edýän awtomatlardan we barlag – öljeýji enjamlardan ybaratdyr.

Kömekçi enjamlara gazan desgasynyň çäginde işçi jisimiň (suw we bug) hereketini üpjün edýän suw we bug turbageçirijiler ulgamy, şeýle hem, дренаž, hojalyk, ýangyna garşy işlere degişli enjamlar degişlidir.



## Ýigrimi ikinji bap. GAZAN AGREGATYNYŇ ÝYLYLYK BALANSY

### 22.1. Ýylylyk balansynyň deňlemesi

Gazan agregatynyň ýylylyk balansy diýlip gazan agregatyna berilýän ýylylygyň mukdarynyň bug öndürmäge (ýa-da suwy gyzdyrmana) harçlanýan we ýylylyk çalyşmasy hem-de ýanma prosesi bilen baglanyşykly ýitirilýän ýylylyk mukdarynyň deňligine düşünilýär. Hakykatdan-da, ýangyç ýananda bölünip çykýan ýylylyk mukdarynyň hemmesi bug öndürmäge ýa-da suwy gyzdirmaga harçlanman, belli bir bölegi ýitgä sezewar bolýar. Ýangyç ýakylanda bölünip çykýan ýylylygyň (berilýän) peýdaly we ýitirilýän (harçlanýan) ýylylyga bölünmegi gazan agregatynyň ýylylyk balansy adyny göterýär.

Gazan agregatyna berilýän ýylylyk ( $Q_{g.a}$ ) ýangyç bilen (ýangyç ýananda bölünip çykýan ýylylyk we ýangyjyň fiziki ýylylygy,  $Q_a^i + Q_y$ ), we howa gyzdyryjyda gyzdyrylyp berilýän howa bilen  $Q_{howa}$ , şeýle hem, bug bilen (ojaga berilýän  $Q_{w.z}$ ) berilýär. Onda gazan agregatyna umumy berilýän ýylylyk:

$$Q_{g.a} = Q_a^i + Q_{yang} + Q_{howa} + Q_{w.z}. \quad (22.1)$$

Hasaplamalaryň amatly bolmagy üçin gazan agregatynyň ýylylyk balansynyň gelýän ýylylyk mukdary hökmünde gazan agregatyna berilýän ýangyjyň ýanandaky ýylylygynyň bahasy hasap edilýär. Has takygy ýangyç ýanandaky ýylylygynyň  $Q_a^i$  ululygy kabul edilýär.

Şeýleklikde, 1 kg ýa-da 1 m<sup>3</sup> ýangyç ýakylanda (harçlananda) umumy ýagdaýda ýylylyk balansynyň deňlemesi aşaky görnüşli alar:

$$Q_{g.a} \approx Q_a^i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6. \quad (22.2)$$

bu ýerde  $Q_{g,a}$  – normal şertde 1 kg gaty ýa-da suwuk ýangyç, ýa-da, 1 m<sup>3</sup> gurak gaz şekilli ýangyç ýananda bölünip çykýan ýylylyk;

$Q_a^i$  – ýangyç ýanandaky aşaky ýylylygy – 1 kg gaty ýa-da suwuk ýangyç, ýa-da, 1 m<sup>3</sup> gaz şekilli ýangyç ýananda gazan agregatyna kJ/kg ýa-da kJ/m<sup>3</sup> ölçeginde berilýän ýylylyk;

$Q_1$  – gazanda, bugy aşa gyzdyryjyda, ekonomayzerde peýdaly ulanylýan ýylylyk, ýa-da başgaça aýdylanda gyzgyn suwa ýa-da bug öndürmege harçlanylýan ýylylyk;

$Q_2$  – agregatdan gidýän tüsse gazy bilen ýitirilýän ýylylyk;

$Q_3$  – ýangyjyň himiki doly ýanyp bilmeýänligi zerarly, agregatdan doly ýanman çykyp gidýän tüsse gazynyň düzüminde (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> we başgalar) ýanyjy elementleriň bolmagy zerarly ýitirilýän ýylylyk;

$Q_4$  – ýangyjyň mehaniki doly ýanyp bilmezligi zerarly (ýangyç ýitgisi, şlak, uçup gitmegi) ýitirilýän ýylylyk;

$Q_5$  – gazan agregatynyň ähli elementlerinden daşky gurşawa ýitirilýän ýylylyk;

$Q_6$  – şlaklaryň fiziki ýylylygy bilen ýitirilýän ýylylyk.

(22.2) deňlemäniň çep we sag bölegindäki her bir agzasyny  $Q_a^i$  ululyga bölüp we ony 100-e köpeldip, ýangyç ýanandaky ýylylygyň % hasabyndaky ýylylyk balansyny alarys:

$$100 = \frac{Q_1}{Q_a^i} \cdot 100 + \frac{Q_2}{Q_a^i} \cdot 100 + \frac{Q_3}{Q_a^i} \cdot 100 + \frac{Q_4}{Q_a^i} \cdot 100 + \frac{Q_5}{Q_a^i} \cdot 100 + \frac{Q_6}{Q_a^i} \cdot 100.$$

Goşulyjylary  $\frac{Q_1}{Q_a^i} \cdot 100 = q_1$ ,  $\frac{Q_2}{Q_a^i} \cdot 100 = q_2$ , we ş.m. arkaly belgiläp, ýylylyk balansynyň deňlemesini %-lerde aşadaky görnüşde ýazarys:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (22.3)$$

bu ýerde  $q_1$  – peýdalanylýan ýylylyk,

$q_2, q_3, q_4, q_5$  we  $q_6$  – ýangyç ýanandaky ýylylykdan degişlilikde ýitirilýän ýylylygy.

## 22.2. Gazan agregatynda peýdaly ýylylyk

Eger gazan agregatyna berilýän ýangyjyň sagatlaýyn sarp edilişini  $B$  onuň ýanmagyndan bölünip çykýan ýylylygyň netijesinde öndürilýän aşa gyzan buguň mukdaryny  $D$  harpy bilen belgilesek we gazany ýuwujy suwy gyzdymada sarp edilýän ýylylygy hem peýdaly ýylylyk diýip şertli kabul etsek, onda  $Q_1$ -umumy peýdaly ýylylygy kesgitläp bolar:

$$Q_1 = \frac{D(i_{as} - i_{i.s}) + D_{yww}(i^i - i_{i.s})}{B}, \quad (22.4)$$

bu ýerde  $i_{as}$  – aşa gyzan buguň entalpiýasy;  
 $i_{i.s}$  – içimlik suwuň ekonomaýzere, ýa-da, ekonomaýzer ýok bolsa, gönüden-göni gazana barandaky entalpiýasy;

$i^i$  – gaýnama temperaturada suwuň entalpiýasy;

$D_{yww}$  – ýuwujy suwuň sarp ediliş mukdary.

Gazan agregatynyň öndürjiliginden 2% artyk mukdarda gazandan doýgun buguň gönüden-göni alynýan ýagdaýynda (bugy aşa gyzdryja barmanka) peýdaly ýylylyk

$$Q_1 = \frac{D(i_{as} - i_{i.s}) + D_d(i'' - i_{i.s}) + D_{ýuw}(i' - i_{i.s})}{B}, \quad (22.5)$$

bu ýerde  $i''$  –degişli basyşda gazandaky doýgun buguň entalpiýasy;

$D_d$  – sarp edilýän doýgun buguň mukdary.

Doýgun bug juda ujypsyz sarp edilende (2%-den az) we ýuwujy suw hasaba alardan az sarp edilse (5%-den az) ýa-da ýuwmaklyk periodiki amala aşyrylsa, onda

$$Q_1 = \frac{D(i_{a\bar{s}} - i_{i.s})}{B} \quad (22.6)$$

Eger gazan agregatynyň düzüminde bugy aşa gyzdyryjy ýok bolsa we gazan doýgun bug öndürýän bolsa (ýyladyş ýa-da ýyladyş-önümçilik gazanlary), onda

$$Q_1 = \frac{D(i_{\text{cyg}} - i_{i.s})}{B}. \quad (22.7)$$

### 22.3. Ýylylygyň tüsse gazy bilen ýitmegi

Ýangyç ýananda emele gelýän tüsse gazynyň ýanma giňişliginden aýrylmagy zerurdyr. Tüsse gazy aýrylanda özi bilen ýylylygyň köp mukdaryny alyp gidýär. Ony peýdalanmak maksady bilen tüssäniň akym ugrunda birnäçe ýylylyk çalşyjy enjamlar oturdylýar. Şeýle-de bolsa islendik ýagdaýda tüsse özi bilen ýylylyk alyp gidýär we ýylylyk ýitgisini emele getirýär. Şol ýylylyk ýitgisine başgaça tüsse gazynyň fiziki ýylylygy diýilýär  $V_{ic}t_t$ . Tüsse gazynyň fiziki ýylylygy bolsa onuň temperaturasynda we howanyň artykmaçlyk koeffisiýentine baglydyr. Mudan başga-da ol ýylylyk ýitgisi ojaga berilýän howanyň artykmaçlygyna we gazan agregatynyň jebis bolmadyk gaz ýolunyň yslaryndan howanyň sorulmagyna baglydyr, onda:

$$Q_2 = V_t c_t t_t - \alpha_t V_n c_h t_h, \quad (22.8)$$

bu ýerde

$V_{ic}t_t = I_t$  – gazan agregatyndan gidýän tüsse gazynyň entalpiýasy;

$V_t - 1$  kg ýa-da  $1 \text{ m}^3$  ýangyç ýananda emele gelýän tüsse gazynyň göwrümi;

$c_t$  – tüssäniň göwrümleýin ýylylyk sygymy;

$t_t$  – tüssäniň temperaturasy;

$\alpha_t$  – gidýän tüsse gazyndaky howanyň artykmaçlyk

koeffisiýenti;

$V_n$  – ýangyjyň 1 kg ýa-da 1 m<sup>3</sup> doly ýanmagy üçin gerek bolan howanyň nazary mukdary;

$c_h$  – howanyň göwrümleýin ýylylyk sygymy;

$t_h$  – gazan agregatyna berilýän sowuk howanyň temperaturasy;

$\alpha_t V_n c_h \cdot t_h = I_{s.h}$  – gazan agregatyna berilýän sowuk howanyň entalpiýasy.

Şeýlelikde,

$$Q_2 = I_t - I_{s.h}. \quad (22.9)$$

Ýangyjyň fiziki ýylylygy hasaba alynsa deňlemäniň sag bölegine  $c_{mtm}$  agzalar goşulýar, bu ýerde  $c_m$  – ýangyjyň ýylylyk sygymy,  $t_m$  – ojaga berilýän ýangyjyň temperaturasy. Bu  $c_{mtm}$  ululygy gyzgyn gazda ýa-da öňünden gyzdyrylyp berilýän suwuk ýangyçda işleýän gazan agregatlarynda hasaba alynýar. Başga şertlerde işleýän agregatlar üçin  $c_{mtm}$  ululygyň ujypsyzlygy üçin ol hasaba alynmaýar.

Gidýän gazlaryň temperaturasyny peseltmek we ondan ýylylyk ýitgisini azaltmak üçin gazanyň yzynda suw ekonomazynerini, howagyzydryjyny ýa-da ol we beýleki enjamy gurnaýarlar. İçimlik suwuň ekonomazyerde, ýa-da, howanyň howagyzydryjyda gyzydrylmagy tüsse gazyndan alynýan ýylylygyň hasabyna bolup geçýär.

Ýyladyş gazanlarynda, ýa-da, ýyladyş – önümçilik gazanlarynda gidýän tüsse gazlaryň temperaturasyny peseltmek üçin köp halatda suw ekonomazynerlerini gurnaýarlar; şu tipli gazanlarda howa gyzydryjylary diňe mehaniki ojagy bolan gazanlarda gurnaýarlar. Ýangyjyň görnüşine, onuň ýaklyş usulyna we gazan agregatynyň kuwwatyna baglylykda kadaly ýükde işleýän desgalar üçin taslamalar ýerine ýetirilende gidýän tüsse gazynyň temperaturasy 120 °C-den 200°C-e çenli çäkde kabul edilýär. Ekonomazyeri bolmadyk, uly bolmadyk gazan desgalarynda ol temperatura 300-400 °C töweregi kabul edilýär. Gazan agregatyna gidýän tüsse gazynyň ýylylyk ýitgisini azaltmak üçin gazan agregaty

işlände  $\alpha$  minimal baha eýe bolmalydyr. Şeýle ýagdaýda ýangyç himiki doly ýanýar. Ondan başga-da howanyň sorulmagy hem minimuma gelmelidir.

Tüsse gazyndan ýityän ýylylyk mukdary suwuk, tozan görnüşli kömür we gaz şekilli ýangyçda işleýän iri desgalarda 6...8% we gaty ýangyçda işleýän kiçi kuwwatly desgalarda 10.....15% töweregidir.

## 22.4. Ýangyjyň himiki doly ýanyp bilmezliginden ýityän ýylylyk

Gazan desgalary işlände olaryň gazan agregaty barlananda ýangyç ýananda himiki doly ýanyp bilmezligi netijesinde ýityän ýylylygyny gidýän tüsse gazynyň analizi we ýangyjyň elementar düzümi esasynda kesgitlep bolýar. Onuň üçin tüsse gazynyň düzümindäki uglerodyň okisiniň CO mukdary kesgitlenilmelidir:

$$CO = \frac{21 + \beta RO_2 - (RO_2 + O_2)}{0,605 + \beta}, \quad (22.10)$$

bu ýerde

$$\beta = 2,35 \frac{H^i - 0,126 O^i}{C^i + 0,375 S^i}. \quad (22.11)$$

Koeffisiýent  $\beta$  ýangyjyň düzümine bagly bolup ol, diňe onuň ýanyjy massasyny häsiýetlendirýär.

22.10-njy deňleme boýunça CO-nyň mukdaryny kesgitlep, 1 kg ýangyja düşýän uglerod okisiniň göwrümi  $V_{CO}$  aşaky gatnaşykdan tapylýar:

$$\frac{V_{CO}}{V_{g.g}} = \frac{CO}{100}.$$

Bu ýerden

$$V_{CO} = \frac{CO}{100} V_{g.g}.$$

1 m<sup>3</sup> CO ýananda 12800 kJ/m<sup>3</sup> ýa-da 3050 kkal/m<sup>3</sup> ýylylyk bölünip çykýar. Doly ýanmadyk ýagdaýynda ýylylygyň bu mukdary 1 m<sup>3</sup> uglerod okisinden gidýär. Şeýle ýagdaýda ýangyjyň himiki doly ýanyp bilmezligi zerarly ýitirilýän ýylylyk:

$$Q_3 = 3050 V_{CO} = 3050 \frac{CO}{100} \cdot V_{g.g.} = 3050 \frac{CO}{100} 1,85 \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \frac{K^i}{RO_2 + CO}$$

ýa-da

$$Q_3 = 56,5 \left(1 - \frac{q_4}{1000}\right) \frac{K^i}{RO_2 + CO} CO. \quad (22.12)$$

Gazan agregaty üçin ýylylyk hasaplamalary ýerine ýetirilende we taslamalaşdyrylanda bu ýylylyk ýitgisi ýangyç ýananda bölünip çykýan ýylylygyndan göterim hasabynda kabul edilýär (ýylylyk hasaplamalarynyň hereket edýän kadalaryna laýyklykda). Ýangyjyň kämilleşdirilen ojaklarda ýakylan ýagdaýynda bu Q<sub>3</sub> ýitgi nola golaýdyr we ol hasaba alynmaýar. Umumy ýagdaý üçin taslamalar ýerine ýetirilende ol ýitgi 0 ÷ 2% töwereginde kabul edilýär.

## 22.5. Ýangyjyň mehaniki doly ýanyp bilmezliginden ýitýän ýylylyk

Ýangyç ýananda onuň doly ýanmagy ýangyjyň görnüşine, berliş usulyna, ojagyň gurluşyna–mehanikasyna baglydyr. Ýangyjyň mehaniki doly ýanyp bilmezligi esasan gaty ýangyçlaryň ýakylmagy bilen baglanyşyklydyr. Adatça gazanyň ojagyna berilýän ýangyjyň ähli massasy ýanma prosesine doly gatnaşmaýar. Ýangyjyň ýanyjy elementleriniň käbir bölegi ojakdaky galyndylara (şlak, gaçma-ýykylma) düşýär, käbir maýda görnüşli ýeňil elementler bolsa ojakdan tüsse gazy bilen gidýär we tüsse turbasy arkaly atmosfera zyňylýar.

Ýangyjyň mehaniki doly ýanyp bilmezliginden jemi ýitirilýän ýylylygyň mukdary şlak bilen, gaçma-ýykylma bilen we uçup gidýän elementler bilen ýitirilýän ýylylyklaryň jemine deňdir we aşaky deňleme bilen aňladylýar:

$$Q_4 = Q_4^{sl} + Q_4^{yk} + Q_4^{uc} \quad (22.13)$$

ýa-da % - de

$$q_4 = q_4^{sl} + q_4^{yk} + q_4^{uc}, \quad (22.14)$$

bu ýerde  $q_4^{sl}$ ,  $q_4^{yk}$ ,  $q_4^{uc}$  - degişlilikde şlak bilen, ýykylanda we uçup gidende ýitirilýän ýylylyk.

$Q_4$  – ýylylyk ýitgisi ýokarda belläp geçilişi ýaly ýangyjyň häsiýetinden, onuň ýakylyş usulyndan, ojagyň konstruksiýasyndan başga-da, berilýän howanyň temperaturasyna, ojak kamerasynyň we ýanyş aýnasynyň ýylylyk ýüküne baglydyr.

Gazan agregatlarynyň barlaglarynda  $Q_4$  ýylylyk ýitgisi ojakdaky galyndyda we uçup gidýän gazlarda ýanyjy element-

leriň saklanşy boýunça kesgitlenýär. Taslama ýerine ýetirilende  $q_4=1.0 \div 12$  % töweregi baha berilýär. Bu baha gazan agregatlarynyň ýylylyk hasaplamalarynyň kadalaryna laýyklykda kabul edilýär.

Öndürjiligi uly bolmadyk bug we suw gyzdýryjy gazan agregatlarynda gidýän tüsse gazlarynyň temperaturasyny bilmek we şoňa göräde onuň zyndaky gyzdýryjy üstleriniň görnüşini – suw ekonomazyzerini we howa gyzdýryjyny kesgitlemek üçin tablisalar ulanylýar.

Öndürjiligi uly bolmadyk gazan agregatlary üçin gyzgyn howanyň we gidýän tüsse gazlarynyň temperaturasynyň çenlenilýän bahalary 22.1-nji tablisada berilýär.

## 22.6. Gazan agregatyndan daşky gurşawa ýitirilýän ýylylyk

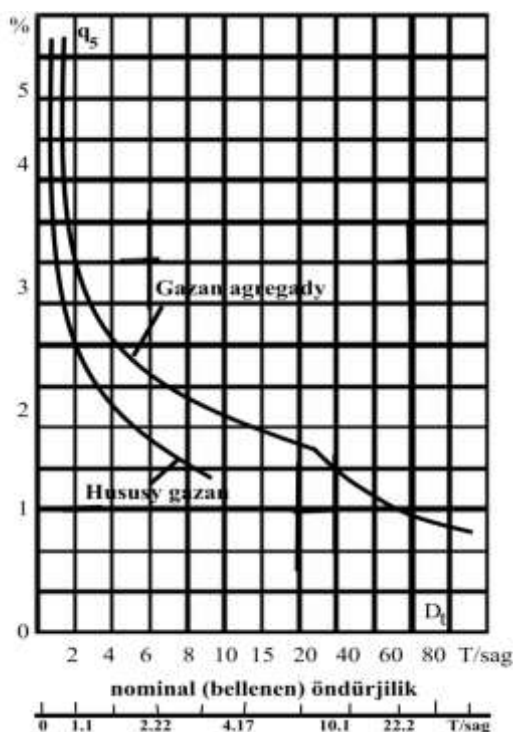
Gazan agregatynyň obmurowkasynyň daşky üsti, turbageçirijileriň izolýasiýasy we agregatyň metal bölekleri ojakda ýanýan ýangyçdan bölünip çykýan ýylylygyň hasabyna gyzýar we daşky gurşawyň temperaturasyndan ýokary temperatura eýe bolýar. Şonuň üçin şol üstlerden daşky gurşawa ýylylyk berilýär (ýylylyk çalyşmasy esasynda). Başgaça aýdylanda gazan agregadynyň



enjamlary daşky gurşaw tarapyndan sowadylýar. Bu bolsa gazan agregadyndan daşky gurşawa ýylylyk ýitgisini  $Q_5$  emele getirýär. Bu ýitgiler gazan desgalarynyň barlagynda edil ýylylyk balansynyň galyndy agzasy ýaly kesgitlenýär we göränişde aşaky deňleme boýunça tapylýar:

$$q_5 = 100 - (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_6). \quad (22.15)$$

Ýylylyk ýitgileriniň käbir böleklerini anyk kesgitläp bolmaýanlygy, esasan hem  $q_4^{sl}$  -i anyk kesgitläp bolmaýanlygy üçin,  $q_5$ -iň bahasyny anyk kesgitläp bolmaýar.



22.1-nji surat.

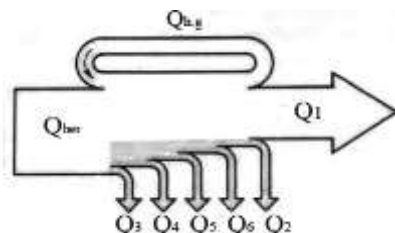
Hususy gazandan we gazan agregatyndan daşky gurşawa ýitirilýän ýylylygyň grafiki

Şonuň üçin  $q_5$ -i gazan agregatynyň daşky üstüniň dürli ýerlerinde kalorimetriň kömegi bilen kesgitlenýär. Bu ýitgi gazan agregatynyň obmurowkasynyň hiline we onuň daşky üstüniň ölçegine baglydyr. Gazanyň bug öndürjiliginiň ýokarlanmagy bilen onuň ykjamlygy ýokarlanýar we şeýlelikde  $q_5$ -kiçelýär.

Gazan agregatlarynyň ýylylyk hasaplamalarynda  $q_5$ -iň bahasy ýörite grafikler boýunça berilýär. Kuwwatly agregatlar üçin  $q_5$  örän kiçidir, ýöne kiçi agregatlar üçin  $q_5$   $3 \div 5\%$ -e ýetýär. Hususy gazandan we gazan agregatyndan daşky gurşawa ýitirilýän ýylylygy 22.1-nji suratdaky grafik boýunça kesgitläp bolýar.

Şlaklaryň fiziki ýylylygy bilen ýitirilýän ýylylyk  $q_6$  adatça örän kiçidir we takyklanan ýylylyk balanslary düzülende hasaba alynýar.

Gazan agregatynyň ýylylyk balansynyň shemasy 22.2-nji suratda görkezilýär.



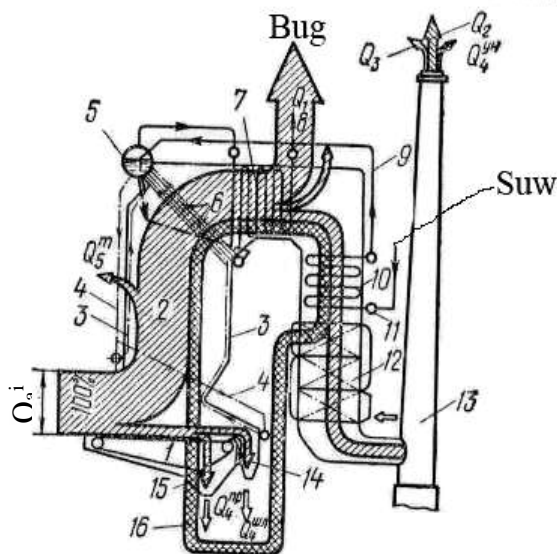
22.2-nji surat.

Gazanyň ýylylyk balansy.

$Q_{ber}$  - berilýän ýylylyk;

$Q_{n.g}$  - howagyzydyryjyda peýdalanylýan ýylylyk

Ýangyç we ýylylyk balansynyň gazan desgasyndaky doly shemasy 22.3-nji suratda görkezilýär.



22.3-nji surat.

Gazan agregatynyň ýangyç balansynyň shemasy.

1-zynjyr gözenegi, 2-ojak kamerasy, 3-turba–ekran, 4-ekranlara goýberiş turbasy, 5-gazanyň barabany, 6-konwektiw dessesi, 7-bug aşa gyzdyryjy, 8-aşa gyzan buguň çykmagy, 9-içimlik suwuň barabana barýan turbageçirijileri, 10-suw ekonomazyeri, 11-suwuň ekonomazyere ugradyjy kollektory, 12-howa gyzdyryjy, 13-tüsse turbasy, 14-şlak üçin bunker, 15-ojakdan gaçýanlar üçin bunker, 16-howa gyzdyryjy ýapyk ýylylyk akymy.

Ýangyjyň, gazanyň we ojagyň görnüşine baglylykda berilýän howanyň we tüsse gazynyň çenlenilýän temperaturasy 22.1-nji tablisada berilýär.

22.1-nji tablisa

Ýangyç	Öndürjiligi MWt ýa-da Gkal/sag bolan gazan agregatyndan gidýän gazlaryň temperaturasy, °C			Ýakylyş usulynda gyzgyn howaň temperaturasy, °C		Howa- gyzdyryja girýän howanyň temperaturasy, °C
	Ortaça basyşda, 23.2÷58 20÷50	Pes basyşda, 2.32÷23.2 2÷20	Suw gyzdyryjy, 2.32÷58 2÷50	Gatlakda	Kamerada	
Daş kömri $W \leq 6\%$	120÷150	120-150	160-200	200 çenli	400-çenli	30
Goňur kömür $W = 6 \div 16\%$	120÷150	120-170	180-210	250-ä çenli	400-çenli	45-55
Torf we ýangyç $W > 16\%$	130-180	130-180	190-220	250-ä çenli	380-400	60-65
Mazut we tebigy gaz	130-160	130-170	180-230	-	30-350	60-80
Tebigy gaz	110-130	120-140	155-180	-	-	30

## 22.7. Gazan agregatynyň peýdaly täsir koeffisiýenti. Ýangyjyň sagatlaýyn sarp edilişi

Gazan agregatyna berilýän ýangyç ýananda bölünip çykýan ýylylygyň peýdaly we ýitirilýän bölekleri öwrenilenden soň gazan agregatynyň peýdaly täsir koeffisiýentini kesgitlemek üçin aňlatma ýazyp bileris:

$$\eta_{g.a} = \frac{Q_1}{Q_a^i} \quad (22.16)$$

şeyle hem göterimde

$$\eta_{g.a} = \frac{Q_1}{Q_a^i} \cdot 100 = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (22.17)$$

Ýokardaky (22.4) formuladan  $Q_1$ -ň bahasyny ýerine goýup, alarys:

$$\eta_{g.a} = \frac{D(i_{a\bar{s}} - i_{i.s}) + D_{yuw}(i' - i_{i.s})}{BQ_a^i}, \quad (22.18)$$

Eger-de gazanda ýuwma ýok bolsa, onda (.22.6) formulany göz önünde tutup.

$$\eta_{g.a} = \frac{D(i_{a\bar{s}} - i_{i.s})}{BQ_a^i} \quad (22.19)$$

Edil şunuň ýaly (22.5) we (22.7) formulalar boýunça  $Q_1$ -ň beýleki bahalarynda hem  $\eta_{g.a}$ -ny kesgitlemek bolar.

Gazan agregatynyň wajyp hasaplama häsiýetnamasy onuň **görünýän bugardyjylyk ukybydyr**, ýa-da, **ýangyjyň bugardyjylygydyr**. Ýangyjyň bugardyjylyk ukyby diýlip, gazan agregatynda 1 kg ýangyç ýakylanda öndürilýän buguň kilogramlardaky mukdaryna aýdylýar. Ol bolsa (22.19) formulanyň esasynda kesgitlenýär we ony U harpy bilen belgilesek

$$U = \frac{D}{B} = \frac{Q_a^i \eta_{g.a}}{i_{a\bar{s}} - i_{i.s}}. \quad (22.20)$$

(22.20) aňlatmadan görnüşi ýaly, buguň berlen sarp edilişinde  $Q_a^i$ -ň we  $\eta_{g,a}$ -ň ýokarlanmagy we  $(i_{aş} - i_{i.s})$ -ň peselmegi bilen, şeýle hem, deňşililikde  $i_{i.s}$ -ň ýokarlanmagy bilen ýangyjyň massalaýyn sarp edilişi kemelýär.

Buguň  $(i_{aş} - i_{i.s})$  ululygyna garamazdan birmeňzeş şertlerde dürli gazanlary deňşdirmek üçin ýangyjyň görünýän bugardyjylyk ukyby  $U$  şertli entalpiýasy 2680 kJ/kg bolan kadaly bug boýunça täzeden hasaplanýar.

Kadaly bug boýunça bugardyjy ukyby

$$U_k = U \frac{i_{aş} - i_{i.s}}{2680}. \quad (22.21)$$

(22.20) aňlatmadan ýangyjyň sagatlaýyn sarp edilişini kesgitlep bolýar

$$B = \frac{D}{U}$$

ýa-da

$$B = \frac{D(i_{aş} - i_{i.s})}{Q_a^i \eta_{g,a}}. \quad (22.22)$$

Gazanyň ýuwulmagy hasaba alnanda ýangyjyň sagatlaýyn sarp edilişi

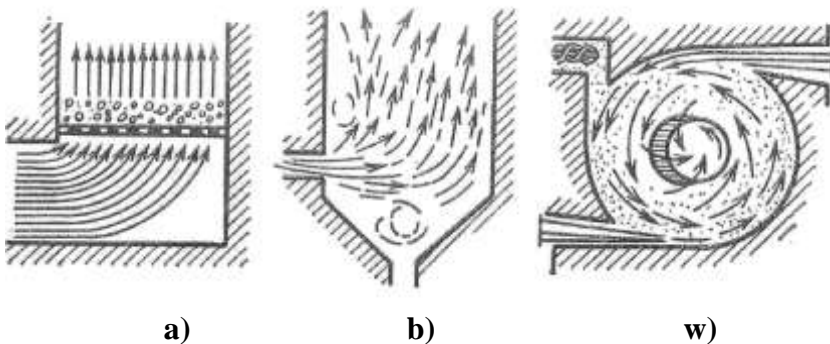
$$B = \frac{D(i_{aş} - i_{i.s}) + D_{yuw}(i' - i_{i.s})}{Q_a^i \cdot \eta_{g,a}} \quad (22.23)$$

## Ýigrimi üçünji bab. OJAK ENJAMLARY

### 23.1. Ýangyjy ýakmagyň esasy usullary. Ojak enjamlarynyň görnüşleri

Ojak enjamlary ýa-da ojak gazan agregatynyň esasy elementi bolmak bilen ýangyjy iň tygşytly usul bilen ýakmaga we onuň himiki energiýasyny ýylylyk energiýasyna öwürmäge hyzmat edýän enjamdyr. Ojakda ýangyjyň ýanmagy, ýanyş zolagynda ýerleşýän gazlardan gyzdýryjy üstlere ýylylygyň bir böleginiň geçirilmesi bolup geçýär, şeýle hem ýangyç ýananda emele gelýän galyndylary tutup alyp ýakmak amala aşyrylýar. Kämil gazan agregatlarynda ýakylýan ýangyçdan bölünip çykýan ýylylygynyň 50%-e çenli bölegi gyzdýryjy üstlere şöhlemenme arkaly geçirilýär.

Ojak tehnikasynda gaty ýangyjy ýakmak üçin esasan üç usul ulanylýar: **gatlaklaýyn**, **fakel** we **towlanma-tüweleý** görnüşli (23.1-nji surat). Bu usullaryň her biriniň ojak kamerasynda bolup geçýän aerodinamiki prosesiniň gurnalşyna laýyklykda öz aýratynlyklary



23.1-nji surat. Ýangyjyň ýakylyş prosesleriniň shemasy  
a-gatlaklaýyn, b-fakel, w-towlanma.

bar. Suwuk we gaz şekilli ýangyçlary ýakmak üçin diňe fakel usulyndan peýdalanylýar.

**Gatlaklaýyn prosesi** (23.1-nji a surat) dürli görnüşli konstruksiýa eýe bolan gatlaklaýyn ojakda amala aşýar. Ýanmagyň gatlaklaýyn prosesi howa akymynyň hereket etmeýän ýa-da haýal hereket edýän ýangyç gatlagy bilen duş gelip, onuň bilen özara täsir edip, ýanyjy gazlaryň akymyna öwrülýändigini bilen häsiýetlendirilýär.

Gatlaklaýyn ojagyň wajyp aýratynlygy gözenegiň üstünde sagatlaýyn sarp edilýän ätiýaçlyk ýangyjyň saklanyp durulmagydyr. Ol bolsa ojagyň kuwwatynyň sazlanşyny diňe berilýän howanyň mukdaryny üýtgetmek bilen amala aşyrmaga mümkinçilik berýär. Gözenegiň üstünde ätiýaçlyk ýangyjyň bolmagy ýanma prosesiniň kesgitli durnuklylygyny üpjün edýär.

Kämilleşen ojak tehnikasynyň şertinde ýangyjyň gatlaklaýyn usulynda ýakylmagy könelişen hasaplanylýar. Çünki, onuň shemalary, enjamlary mehanizmleşdirmek we awtomatiki dolandyrmak üçin amatly hasaplanmaýar.

**Fakel prosesi** (23.1-nji b surat). Bu prosesiň gatlaklaýyn prosessden tapawudy ojak giňişliginde ýangyjyň bölejikleriniň howaň akymy we ýanmada emele gelýän önüm bilen bilelikde deň agramlylyk ýagdaýda üznüksiz hereketi bilen häsiýetlendirilýär. Ýanýan fakeliň durnukly we birsyhly bolmagyny üpjün etmek, şeýle hem, gazhowa akymynyň deňagramlylygyny saklamak maksady bilen gaty ýangyjy tozan görnüşine gelýänçä, hat-da mikronlarda ölçenilýän ölçege çenli ovradylyar. Ýangyjyň bölejikleriniň 60%-den 90%-e çenli mukdary 90 mkm-den kiçi ölçegde bolýar.

Suwuk ýangyçlar ojakdaky akymdan sypman, ojakda wagtynda doly ýanyp ýetişer ýaly ilki bilen forsunkada örän maýda damjalar görnüşinde tozanladylyar.

Gaz görnüşli ýangyçlar ojaga garelka arkaly berilýär we aýratyn önünden taýýarlyk talap etmeýär.

Fakel ojaklarynyň aýratynlygy—ojak kamerasynda ätiýaçlyk ýangyjyň has azlygydyr. Şonuň üçin hem ýanma prosesi durnuksyz hasaplanýar we ojagyň iş kadasynyň üýtgemegine çalt täsir edýär.



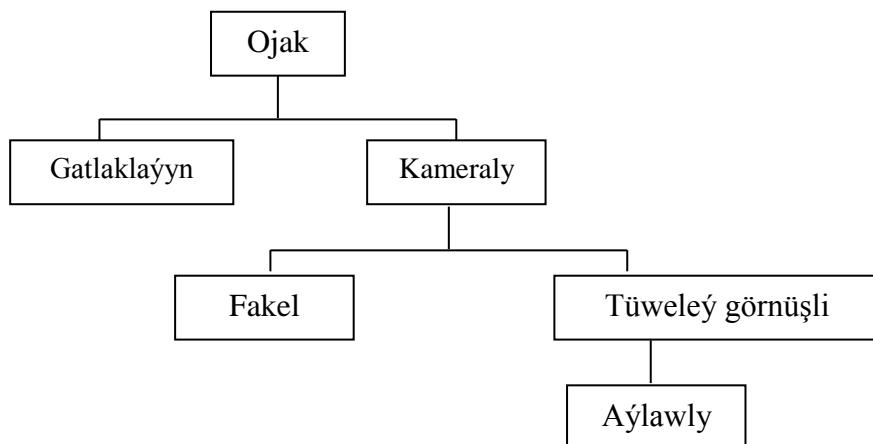
Ojagyň kuwwatyny sazlamaklyk ojak kamerasyna ýangyjyň we howanyň berilişini bir wagtda üýtgetmek ýoly bilen amala aşyryp bolýar.

Gaty ýangyjyň tozanyny fakel usuly bilen ýakmakda ýüze çykýan kynçylyklar ýanma prosesini gurnamagyň we ýangyjy ýakmaklygyň başga usuluny gözlemäge mejbur edýär. Ojakda bolup geçýän aerodinamikanyň esasyňy öwrenmek we gurnamak netijesinde ýangyjy ýakmagyň täze towlanma-tüweleý görnüşli düzgüni öwrenildi.

**Tüweleý görnüşli-towlanma prosesi** (23.1-nji w surat). Ýangyjyň ýanmagynyň towlanma usulynda ýanyş kamerasynda mejbury hereket edýän ýangyç bilen bilelikde howa akymynyň durnukly tüweleý görnüşli hereketi döredilýär. Şeýle gurnalan, ýangyjyň bölejikleriniň gaz-howaly akymynyň towlanmasynyň döredilmeginde, ýangyç bölejikleri merkeze ymtylýan güýç bilen hereket edip ýanyş kamerasynyň ähli ýerinde bolýarlar we doly ýanyp ýetişýär.

Ýangyjy ýakmagyň towlanma prosesinde, fakel usulyndan tapawutlylykda, kömüriň iri bölejikleriniň ýanma wagty çäksizdir. Ýangyç aýlawly kamerada bolany sebäpli doly ýanýança gazanyň gazýolyna çykalga deşikden çykmaýar. Haçanda doly ýanandan soň tüsse gazy görnüşinde çykýar. Şonuň üçin towlanma ojaklarynda diňe kömür tozanlary ýakylan, ölçegi 5-6 mm we ondan hem uly kömür bölekleri hem ýakylýar. Towlanma prosesinde dürli ölçegli ýangyjy ýakmaga mümkinçilik döreýär. Bu proses gatlaklaýyn we fakel prosesleriniň aralygyndaky aralyk ýagdaýy eýeleýär.

Ýangyjyň ýokarda görkezilen ýanma usullaryna laýyklykda ojaklar **gatlaklaýyn** we **kameraly** diýen iki topara bölünýär. Aerodinamika nukdaýnazardan bolsa kameraly ojaklary **fakel** we **tüweleý görnüşli towlanma** ojaklara bölünýär. Gaty ýangyç ýakmak üçin ulanylýan towlanma ojak enjamy başgaça **aýlawly** ojak adyny hem göterýär (23.2-nji surat).



23.2-nji surat. Ýangyjyň ýanma usulyna laýyklykda ulanylýan ojaklar

### 23.2. Gatlaklaýyn ojaklar

**Ojak kadalary.** Gatlaklaýyn ojaklar üçin iş yzygiderliligiň wajyp görkezjisi **kolosnik gözenegiň** ýa-da **ýanma aýnasynyň meýdanynyň ýylylyk naprýaženiýesi** bolup durýar –  $Q_R, \text{kJ}(\text{m}^3 \cdot \text{sag})$ .

$$Q_R = \frac{B \cdot Q_a^i}{R}. \quad (23.1)$$

Bu ýerde  $B$  – ýangyjyň gözenekde ýakylýan mukdary,  $\text{kg/sag}$ ;

$Q_a^i$  - ýangyjyň ýanandaky aşaky ýylylygy,  $\text{kJ/kg}$ ;

$R$  – ýanma aýnasynyň ýa-da kolosnik gözeneginiň meýdany,  $\text{m}^2$ .

Ýylylyk naprýaženiýesiniň ululygy adatça müň  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{sag})$  birliginde aňladylýar.

**Kolosnik gözeneginiň meýdany** diýip onuň işjeň bölegine aýdylýar, ýa-da, üstünde ýanma aýnasynyň ýerleşýän bölegidir.

Şonuň üçin **ýanma aýnasynyň aşagy** diýlip ojak kamerasynda ýerleşen gözenegiň üstündäki ýangyç gatlagynyň üstüniň bölegine düşünilýär.

Gatlaklaýyn ojagyň iş yzygiderliligini (intensiwliligini) wajyp görkezijileriň ýene-de biri ol ojak **giňişliginiň ýylylyk naprýaženiýesidir**  $Q_v$ , kJ/(m<sup>3</sup>·sag).

$$Q_v = \frac{BQ_a^i}{V_0} \quad (23.2)$$

Bu ýerde  $V_0$  – ojak giňişliginiň göwrümi, m<sup>3</sup>.

Ojaklaryň aýratyn häsiýetlerinden biri onuň ulanylandaky ygtybarlylygydyr. Ojaklaryň ygtybarlylygy diýlende aşakdaky alamatlaryň toplumyna düşünilýär:

- ojakdaky proses desganyň berlen ýylylyk ýüküniň çäginde bökdençsiz durnukly işlemegini üpjün etmeli;

- ojakdaky ýanma prosesi sazlanmaga tabyn bolmaly;

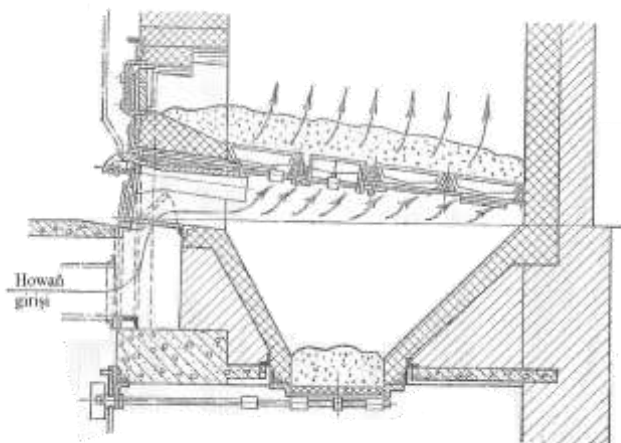
- ýanma prosesi ýangyjyň hilindäki üýtgemeleri (çyglylyk, maýda zatlar we başgalar) geçirmäge we desganyň ykdysady hem-de önümçilik netijeliliginiň peselmezligine amaly taýdan geçirimli bolmalydyr. Ojagyň PTK-syny peselmegi tutuş gazan agregatynyň PTK-syny peselmegine getirýär.

Gidýän gazlar bilen ýitirilýän  $q_2$  we daşky gurşawa ýitirilýän  $q_5$  ýylylyk pes ýylylyk ýükünde işleýän gazan agregatynyň PTK-syny has ýaramaz täsir edýär. Ýokary ýylylyk ýükünde işleýän gazan agregatynyň PTK-syna ýangyjyň himiki we mehaniki doly ýanyp bilmezliginden ýüze çykýan ýylylyk ýitgisi  $q_5$  we  $q_4$  ýaramaz täsir edýär.

Gatlaklaýyn ojaklar konstruksiýasy, ýangyjyň gözenek boýunça süşme we tutaşma usuly, şeýle hem ýanma prosesiniň mehanizm boýunça biri-birinden tapawutlanýarlar. Şonuň üçin gatlaklaýyn ojaklar öz gezeginde: **el hyzmaty** bilen we **ýarym mehanizimli** ojaklara, şeýle hem, **mehanizmleşdirilen** ojaklara bölünýär.

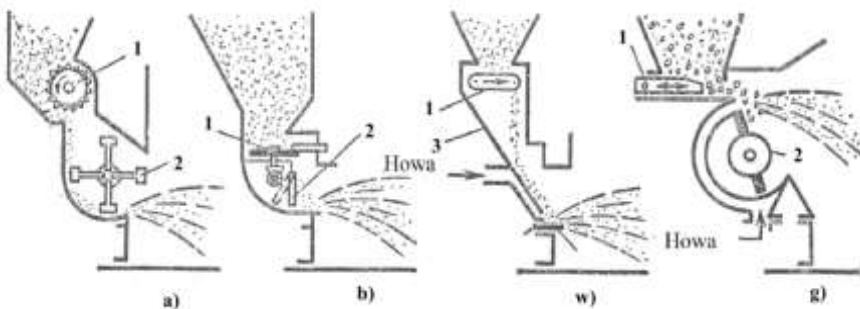
Gatlaklaýyn ojaklaryň iň ýönekeýi hereketlenmeýän, kolosnik gözenekli, ýangyjy el bilen berilýän we gözenegi el bilen şlakdan

arassalanýan ojak hasap edilýär. Daş kömrüni ýakmak üçin el bilen hyzmat edilýän kolosnik gözenegi 23.3-nji suratda görkezilýär. Kolosnik gözeneginden ýokarda ýangyç gatlagyndan başlap gazanyň gyzdýryjy üstlerine çenli göwrümi tutýan ojak giňişligi ýerleşýär.



23.3-nji surat. Daş kömri ýakmak üçin el bilen hyzmat edilýän kolosnik gözenekli ojak

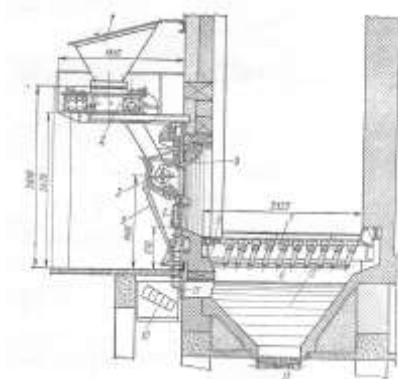
Tekiz kolosnik gözenegi bolan ojaklary ulanýan, kiçi kuwwatly gazanlarda, hyzmat edýän işgärleriň zähmetini ýeňilleşdirmek we ýangyç ýananda tygşytlylygyny ýokarlandyrmak maksady bilen soňky ýyllarda ýangyç oklaýjy-ýörite enjam giňden peýdalanylýar (23.4-nji surat), ýagny zähmeti has köp talap edýän operasiýa bolan-ojagyň ýangyç bilen üpjün edilmegi doly mehanizmlaşdirilýär.



23.4-nji surat. Ýangyç oklaýjynyň shemasy:

a we b-mehaniki, w-pnewmatiki, g-ýarym mehaniki, 1-atymlaýjy (dozalaýjy) enjam, 2-gönüleýji, 3-tiz dargadyjy plita

Gorizontall gözenekli, ýangyjy mehaniki oklaýjyly we çaykanýan kolosnik gözenekli şeýle ojaklaryň giňden ýaýran görnüşleriniň biri 23.5-nji suratda görkezilen.

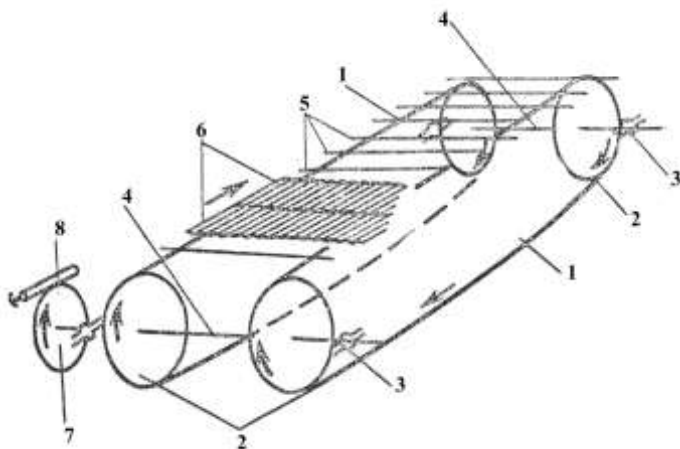


23.5-nji surat. Çaykanýan kolosnik gözenekli we ýangyjy mehaniki oklaýjyly gorizontall gözenekli ýarym mehanizmleşdirilen ojak: 1-ýük ýükleýji bunker, 2-ýitlendiriji kepje, 3-oklaýjy, 4-aýlanýan gapak, 5-ajak gapysy, 6-plita görnüşli kolosnikler, 7-çaykanýan kolosnikler, 8-çekiş, 9-ryçag, 10-howageçiriji, 11-gapak, 12-şlak bunkeri, 13-şiber

Ojakdaky prosesi mehanizmleşdirmek ulanylýan ýangyjyň tygşylylygyny has ýokarlandyrýar, gazan desgasyna edilýän hyzmatlar boýunça çykdaýjylary kemeldýär we işgärleriň zähmetini ýeňilleşdirýär.

Mehaniki gatlaklaýyn ojaklardan (gözeneklerden) has giňden ýaýranlary: kömür üçin zynjyrly gözenek, torf bölekleri üçin şahtazynjyrly ojak, goňur kömür üçin ýapgyt-itekleyji gözenek, ýangyjy aşakdan berijili ojak degişlidir.

Zynjyrly gözenekli ojaklar üstünde kolosnik gözenegi goýlan tükeniksiz polotnodyr. Kömür ýakmak üçin zynjyrly gözenegiň shemasy 23.6-njy suratda görkezilýär.



23.6-njy surat. Zynjyrly gözenegiň shemasy:

1-tükeniksiz zynjyr, 2-dişli tigrir, 3-çarçuwa (rama) staninasynyň podşipnigi (stanina görkezilmeyär), 4-wallar, 5-bimsy, 6-kolosnikler, 7-çarhly tigrir, 8-hereketlenýän hereketlenýän çarh.

Zynjyrly gözenekde ýanma prosesi fazalaýyn bolup geçýär, ýagny, wagtyň her pursatynda gözenekde ýanma fazalarynyň ählisi bolup geçýär. Gözenegiň başynda ýangyç guradylýar we ojagyň törüne tarap hereketlenýär, şol wagt gözenegiň ugry boýunça ýanyjy gazlar uçýar, koksýň ýanmagy we şlaklaryň ýanyp gutarmagy amala

aşýar. Gözenekde ýanmagyň dürli fazalary howanyň dürli mukdaryny talap edýär. Howanyň iň az mukdary birinji zolaga-ýangyjyň taýýarlanýan zolagyna we soňky zolaga-şlagy ýakylyp gutarylýan we gözenegi sowadylýan zolaga berilýär; howanyň orta mukdary –ýanma zolagyna, we howanyň iň köp mukdary –ikinji zolaga, ýagny uçujy maddalaryň bölünip çykýan ýerine we koksýň ýanmagynyň başlanýan ýerine berilýär.

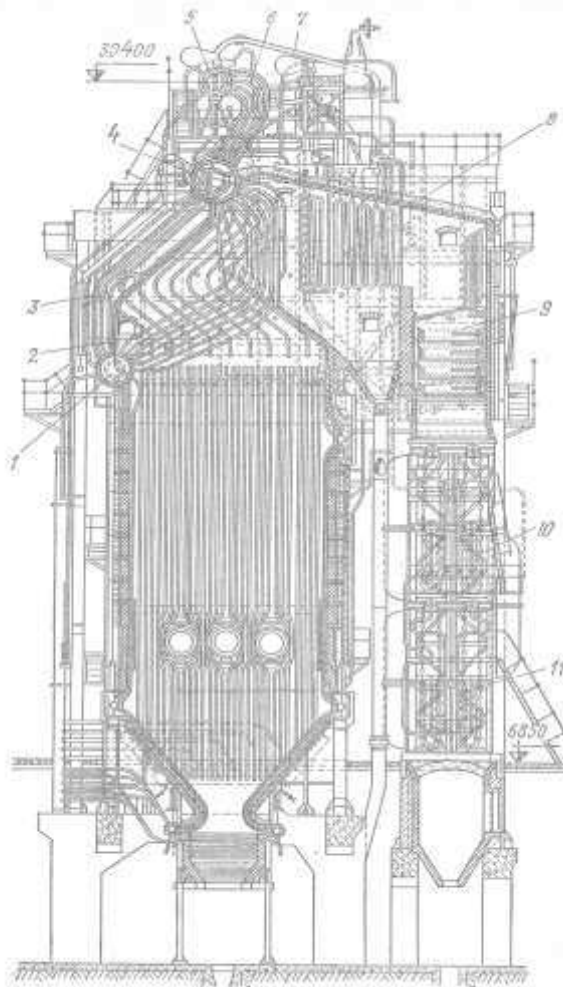
Ojaklaryň görnüşleri ýangyjyň görnüşine, gazanlaryň maksatlaryna, kuwwatlylygyna we başga-da birnäçe faktorlara baglylykda ýörite maglumat berýän-informasion edebiýatlardan-sprawoçniklerden alynýar.

### **23.3. Kameraly ojaklar**

Kameraly ojaklarda gaty ýangyç tozan görnüşinde howa bilen üfläp bile berlip ýakylýar. Bu ojakda juda maýdalanýan bölejikler (kesilen torf, opilka we başgalar) ýakylýar. Kameraly ojagy suwuk ýangyjy (mazudy) we gazy ýakmak üçin hem ulanylýar. Kameraly ojaklar gatlaklaýyn ojaklardan ykdysady tarapdan ýokarylygy, ýylylyk akymynyň birnäçe gezek ululygy, islendik ýangyjy ýakmak mümkinçiligi, ojagy ýönekeý sazlamakda, ojak enjamyny awtomatizasiýalaşdyrmak we doly mehanizmleşdirmek mümkinçiligi, öndürjiligiň çäginin ýoklugy we ş.m. bilen has uly artykmaçlyga eýedir. Bu bolsa ojak tehnikaşynda kameraly ojaklaryň ulanylyşynyň giňden ýaýramagyna getirdi. Şonuň üçin uly energetika ulgamynda ojak enjamynyň esasy ulanylýan görnüşü kameraly ojaklar hasap edilýär.

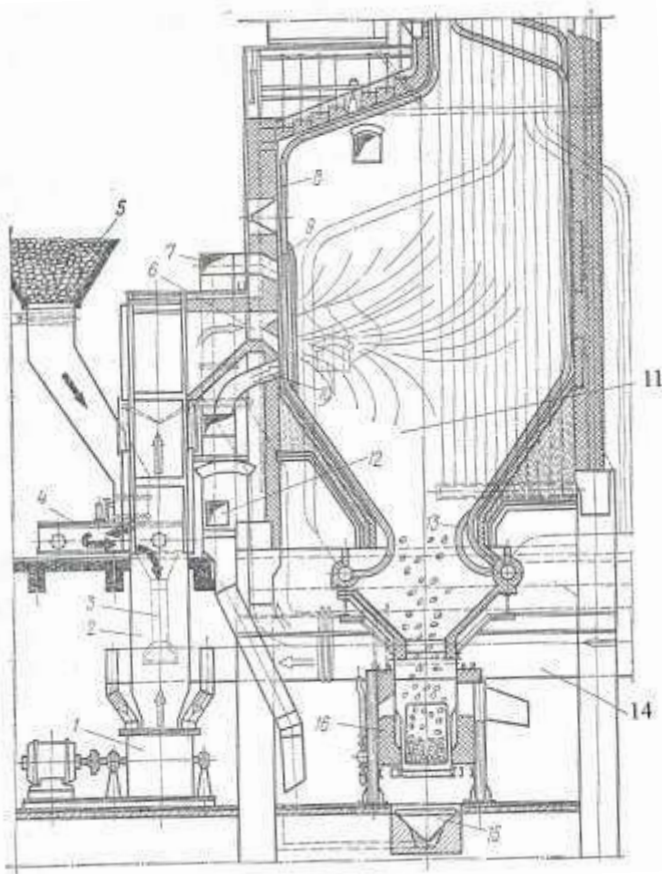
Kameraly ojaklary bug öndürjiligi 15÷20 t/sag we ondan ýokary bolan gazan agregatlarynda ulanmaga mümkinçilik döreýär.

Kameraly ojak konstruktiv gurluşy boýunça gazan agregatynyň gurluşy bilen tutuşlugyna ylalaşykly gelýär. Meselem, gazan agregatynyň II-görnüşli böleginde ol birinji şahta bolup durýar. 23.7.-nji suratda bug öndürjiligi 150 t/sag, basyşy  $p=35$  at, aşagyzan buguň temperaturasy  $t_{aş} = 425$  °C bolan iki barabanly SKTI-TKZ gazanynyň kameraly tozan – kömür ojagy görkezilen.



23.7-nji surat. SKTI-TKZ iki barabanly gazanda gurnalan toz-an – kömür kameraly ojak. 1-aşaky baraban, 2-gazan turba dessesi, 3-aşak goýberiji turbalar, 4-ýokarky baraban, 5-gury bug alyjy, 6-bugy täzeden goýberiji turbalar, 7-doýgun buguň bug geçirijisi, 8-bugy aşa gyzdyryjy, 9-suw ekonomayzeri, 10-howa gyzdyryjy, 11-üfleýji enjamlaryň birikmeleri





23.8-nji surat. Gaty şlak äkidijili şahta-harazly ojak:

1-şahta harazy, 2-separirleýji (bölüji) şahta, 3-haraza ýangyç beriji turbageçiriji, 4-iýmitlendiriji kepje, 5-ýangyçly bunker, 6-ambradura (ojaga aerotozanyň berlişi), 7-howanyň berlişi, 8-öňdäki ekran, 9-ýokarky şlisalar, 10-aşaky şlisalar, 11-ojak kamerasy, 12-tutaşdyryjy mufel (oda çydamly kamera), 13-sowuk guýguç, 14-haraza gyzgyn howanyň berlişi, 15-gidro-çäge aýyryjy kanal, 16-şlak şahtasy

nür  
çin  
çin

ojaklara; gaz şekilli yangyçlary yakmak üçin ojaklara bölünýär.

Şahta-harazly ojaklar giňden ösüşe eýe boldy. Şahtada gurnalan haraz ojak bilen gös-göni bagly bolup, temperaturasy 300-400°C bolan guradyjy agent bilen howalandyrylýar (ýangyjyň görnüşine baglylykda howa, gaz ýa-da gazhowa garyndysy bilen). 2.38-nji suratda şahta-harazly ojagyň gurnalyşy görkezilen. Shemada ýangyç akymynyň, guradyjy agentniň we aerotozanyň hereketi görkezilýär.

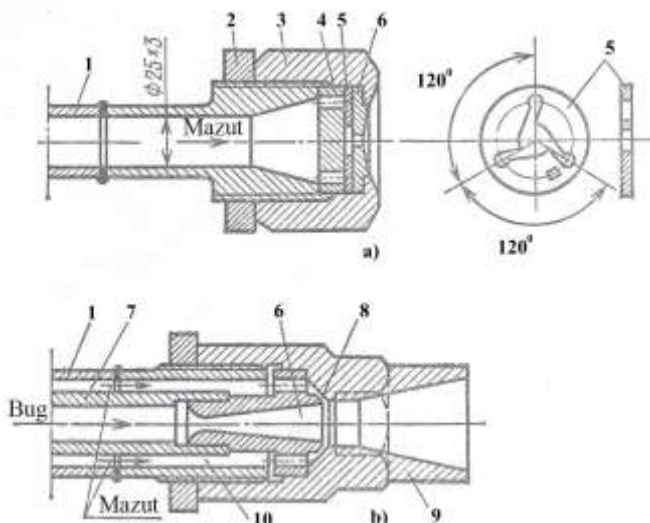
### 23.4. Suwuk ýangyçlary ýakmak üçin ojakalar

Durnukly ýagdaýda işleýän gazan desgalary üçin ýangyç hökmünde diňe mazut ulanylýar. Mazut orta we ýokary öndürijilikli gazan agregatlary üçin diňe bir esasy ýangyç bolup hyzmat etmän, tozan kömür ojaklary üçin tutaşdyryjy ýangyç hökmünde we gazyň suwuk ýangyç bilen kombinirlenen görnüşde ýakylanda goşmaça ýangyç hökmünde ulanylýar. Meselem, gaty ýangyç esasy bolsa, mazut-ätiýaçlyk, ýa-da, gaz esasy ýangyç bolsa mazut ätiýaçlyk bolup ulanylýar. Mazut kameraly ojaklarda tozanladylan görnüşinde ýakylýar. Mazudy, tozanlatmak ýa-da ýangyjy juda maýda damjalara bölmek bolsa forsunkalaryň üsti bilen amala aşyrylýar. Forsunkalar özleriniň işleýiş düzgünleri boýunça **mehaniki, bugly we howaly** forsunkalara bölünýär.

**Mehaniki forsunkalarda** ýangyç 8÷20 atmosfera basyş bilen berilýär. Şonuň üçin forsunkanyň konstruksiýasy şol basyşa we mazudyň fiziki häsiýetine görä şertlenilýär. Markasyna görä mazut turbadan we forsunkanyň deşiklerinden gowy akmaklygy üçin 92-153°C-a çenli gyzdyrylýar. Forsunkanyň kiçi deşiklerini hapalap dykmazlygy üçin mazut iki filtiriň üstünden geçirilip, oňat süzülip, arassalanýlar.

Mehaniki tozanladyp beriji forsunkanyň baş bölegi 23.9-njy a suratda görkezilýär. Mazut sopladan çykmazdan öň ýörite içliklerde-tozandyryjylarda (5) güýçli aýlandyrylýar. Mazudyň tozany bilen howanyň gowy garyşmagy üçin ojaga berilýän howa forsunkada ýörite gurnalan registriň kömegi bilen ojakdaky ýalynyň düýbünden 25-30 m/sek tizlik bilen berilýär. Şeýlelikde, mazut tozany bilen howa gowy garyşyp, towlanma emele getirip ýakylýar.

**Bug forsunkasynda** (23.9-njy b surat) mazudyň tozanlanmagy buguň kinetiki energiýasyny ulanmagyň hasabyna bolup geçýär.



23.9-njy surat. “Ilmarine” zawodynyň mazut forsunkalarynyň baş bölegi.

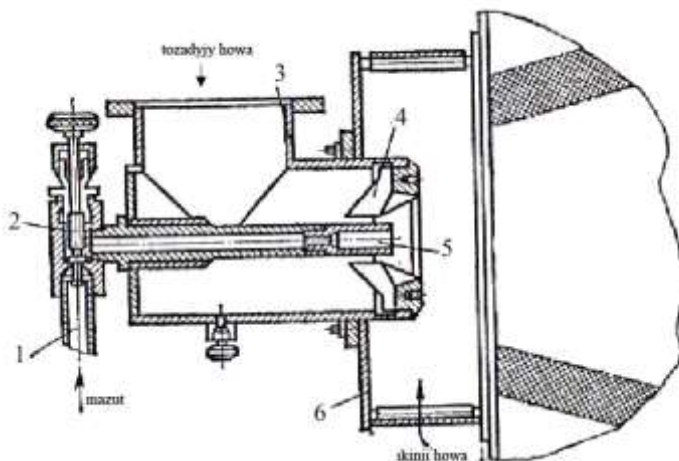
a-mehaniki tozanladyjy, b-bug tozanladyjy;

1-turba, 2-kontrgaýka, 3-ogolowok, 4-paýlaýjy disk, 5-towlaýjy disk, 6-soplo, 7-içki turba, 8-halkalaýyn yş, 9-diffuzor, 10-halkalaýyn giňişlik

Merkezi turba boýunça (1) ýokary basyşly (3-den 12 at çenli) bug kombinirlenen sopl (4) berilýär. Soplod (4) buguň atmosfera basyşyna golaý basyşa çenli giňelmesi bolup geçýär. Daşky turbadan bolsa halkalaýyn mazut akýar. Ežektor ýa-da elewator usulynda buguň kömegi bilen mazut sorulyp alynýar we soplada garyşdyrylýar. Sopladan çykanda garyşma uly tizlik alýar we ondan soň bolsa garyndy ýagdaýda ýanma kamerasyna berilýär. Bu usul mehaniki usula garanynda az ulanylýar. Sebäbi bu usulda 1 kg mazut ýangyjy ýakmak üçin 0,3÷0,5 kg bug harçlanýar. Ol bug bolsa kondensirlenip, gazana dolanyp gelmän, ýitirilýär.

**Howa bilen tozanlandyrylýan forsunkalar** (23.10-njy surat) ähli görnüşdäki mazut üçin niýetlenip, öndürjiligi pes gazanlarda

ulanylýar. Şeýle forsunkalarda ýangyjy ýakmak üçin gerek bolýan howanyň 10-15%-ini ýangyjy tozan görnüşinde bermek üçin ulanylyp berilýär. Howanyň galan mukdaryny bolsa forsunkanyň ahyrynda berilýär.



23.10-njy surat. Howa bilen tozanladyjy forsunka.

1-mazut beriji turba, 2-sazlaýjy wentil, 3-birinji tozanladyjy howa turbasy, 4-towlaýjy, 5-soplo, 6-ikinji howa turbasy

### 23.5. Gaz görnüşli ýangyjy ýakmak üçin ojaklar

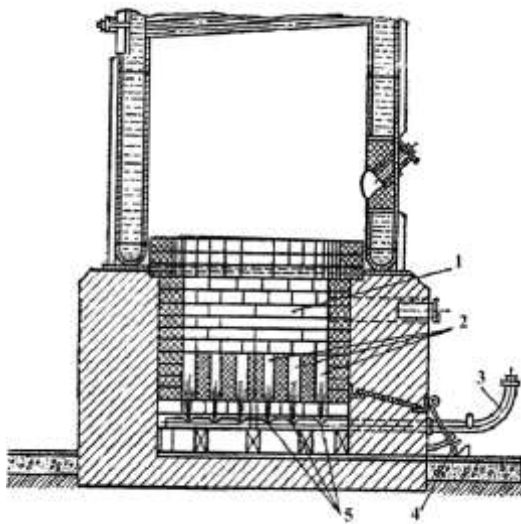
Gaz şekilli ýangyjy ýakmak üçin kameraly ojaklar ulanylýar. Olarda ýangyjyň ýanmagy üçin gerekli howany gaz görnüşli ýangyç bilen garyşdyrmak maksady bilen gaz gorelkalary enjamlaşdyrylýar we şol gorelkalarda garyşmak prosesi bolup geçýär. Gaz görnüşli ýangyjy howa bilen garyşdyryp, ýanyjy garyndyny taýýarlamak we ýakmak boýunça gazy ýakmak **üç usula** bölünýär:

**diffuziýa – daşynda garyşma** usuly, haçanda ýanma zolagyna gaz we howa özbaşdak berlip, ýangyn zolagynyň öz çäginde garyşmak prosesi amala aşanda;

**kinetiki – doly içinde garyşmak** usuly, haçanda ýanma zolagyna gaz görnüşli garyndy taýýar akymda berlende;

**garyşyk – bölekleýin içinde garyşmak** usuly, haçanda ýanma zolagyna gaz-howa garyndysy az mukdardaky ilkinji howa bilen garyşyp özbaşdak akym bilen berlip, ondan soň bolsa, goşmaça ikinji howa akymy berlende. Ýanma prosesleriniň usullaryna laýyklykda ähli ulanylýan gaz ýakyjy enjamlary (gorelkalar) diffuzion – daşynda garyşdyrýan gorelkalara, injeksion – içinde garyşdyrýan gorelkalara, atmosfera – doly däl (bölekleýin) daşynda garyşdyrýan gorelkalara bölünýär.

Howa berliş usulyna baglylykda gorelkalar mejbury berliş (wentilýator bilen) we sorujy topara bölünýär.



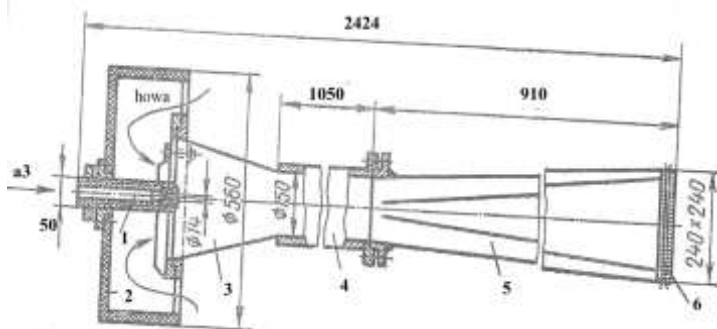
23.11-nji surat. Wertikal – silindrik gazanyň aşagynda gurnalýan diffuzion gorelkasy.

1-forkamera, 2-garyşdyryjy kanal, 3-gazgeçiriji, 4-howa zaslonkasy, 5-gaz soplasy

23.11-nji suratda **diffuziýa** usulynda işleýän, wertikal – silindr görnüşli gazanlaryň aşagynda gurnalýan diffuzion gorelkasy görkezilen. Bu gorelka alty sany soplasy (5) bolan gazgeçiriji (3) bolup, soplonyň wertikal oklary garyşdyryjy kanalyň (2) wertikal oky bilen gabat gelýär. Kanalda gazyň howa bilen garyşmasy we

garyşmanyň 700-800 °C-e çenli gyzdyrylmasy bolup geçýär, onuň çykalgasynda bolsa ýanma prosesi başlanýar.

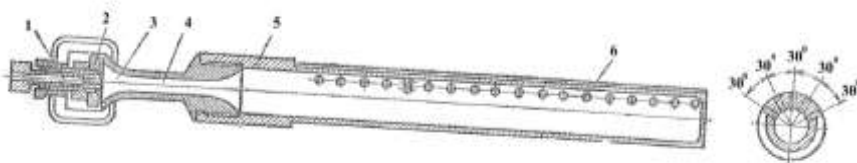
**Inžeksion** – doly içinde garyşdyryýan, inžener Kazansewiň konstruksiýasy boýunça düzülen gorelkanyň suraty 23.12-nji suratda görkezilýär. Bu gorelkanyň soplosyna gaz 1000-3000 mm.suw.süt basyş bilen berilýänligi bilen tapawutlanýar.



23.12-nji surat. Inžener Kazansewiň konstruksiýaly IGK-250 injeksion gorelkasy:

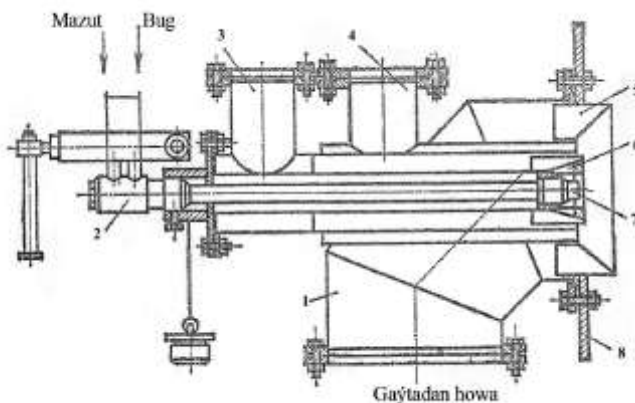
1-soplo, 2-goh gapyjy, 3-soruş kamerasy, 4-garyşdyryjy kamera, 5-diffuzor, 6-ýanmagy durnuklaşdyryjy

**Garyşyk** – bölekleyin öňünden garylýan, ýa-da atmosfera gorelkasy pes basyşly tebigy gazyny ýakmak üçin ulanylýar. Bu gorelkada gerek bolan howany sorup almak üçin soplodan çykýan gazyň energiýasy ýetmeýär (1 kg ýakmak üçin 10 kg howa gerek), 50% töweregi howa ojaga öz-özünden soruş netijesinde berilýär. Bu gorelka 23.13-nji suratda görkezilýär.



23.13-nji surat. Atmosfera gorelkasy:

1-soplo, 2-şaýba, 3-soruş kamerasy, 4-garyşdyryjy kamera, 5-gazpaýlaýjy turba, 6-gazyň çykmagy üçin deşik



23.14-nji surat. GMG gaz-mazut gorelkasy:

1-ikinji howa turbageçiriji, 2-bug tozanladyjy mazut forsunkasy, 3-birinji howa turbageçiriji, 4-gazgeçiriji, 5-ikinji howanyň registri, 6-birinji howanyň berlişi, 7-tozadylan mazudyň çykmagy üçin soplo, 8-gorelkany berkitmek üçin plita.

Gaz görnüşli ýangyçlar ýakylanda köp halatda şol ojak kamerasynda ätiýaçlyk ýangyjy hökmünde ulanylýan suwuk ýangyjy ýakmaklyk mümkinçiligi hem göz önünde tutulýar. Şeýle ýagdaýlar üçin kombinirlenen GMG we NGMG gaz-mazut gorelkalary ulanylýar. Bu gorelkalar mazudyň tozanladylyş usuly boýunça biri-birinden tapawutlanýar: GMG gorelkalarda bug tozanladylyş, NGMG gorelkalarda bolsa – pnevmatiki (howa) tozanladylyş usuly ulanylýar. 23.14-nji suratda GMG gaz-mazut gorelkasy görkezilýär.

## V BÖLÜM

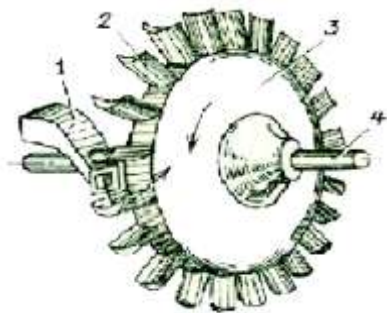
### BUG WE GAZ TURBINALARY

#### Ýigrimi dördünji bap. TURBINALAR BARADA UMUMY DÜŞÜNJE

#### 24.1. Turbinanyň işleýiş düzgüni. Turbina basgançaklaryndaky ýylylyk prosessleri

Turbinalarda işçi jisim bolan buguň we gazyň içki energiýasy ilki bilen kinetik energiýa soňra bolsa kinetik energiýanyň turbinanyň mehaniki energiýasyna öwürülmesi bolup geçýär.

Turbinalarda işçi jisimiň içki energiýasynyň öwürülmesi bir ýa-da birnäçe yzygiderli, biri-biriniň yzynda ýerleşdirilen basgançaklarda bolup geçýär. Şonuň üçin hem turbinalar bir basgançakly ýa-da köp basgançakly görnüşlere bölünýär. Turbinalarda bir hatar soplo we işçi pilçeli bir disk basgançagy emele getirýär. Ýönekeýje turbinanyň basgançagynyň shemasy 24.1-nji suratda görkezilýär.



24.1-nji surat. Turbinanyň basgançagynyň shemasy

Suratdaky görkezilen soplo enjamy bir soplaly görnüşde şekillendirilen. Turbinada işçi jisimi sopla (1) (ýa-da soplalar toparyna) gelýär we ondan çykan uly tizlikli akym işçi pilçelere ugrukdyrylýar. Uly tizlikli bug çüwdüriminiň kanal boýunça işçi pilçelerine urulmasy wal (4) bilen bagly bolan disk (3) aýlaýar.

Diske berkidirilen işçi pilçelerine we wala rotor diýilýär.

Bir basgançakly turbina uly aýlanma ýygylgynda işleýär (30 dan  $850 \frac{1}{c}$  ýygylgy çenli).



Bir basgançakly turbinalar adatça ulag enjamlarynda kömekçi gurluşlar hökmünde peýdalanylýar.

Bugun energiýasyny mehaniki energiýa öwürýän hereketlendirijilerde birnäçe basgançakly turbinalar ulanylýar. Köpbasgançakly turbinalar uly kuwwatlylyga eýedir. Häzirki döwürde kuwwaty 300-den 1000 MWt we ondan hem ýokary bolan bug turbinalary ulanylýar. Ýokary kuwwatly turbinalar ýylylyk elektrik stansýalarda giňden ulanylýar.

Turbinalarda energiýa öwürüşiginde soplo enjamlary uly ähmiýete eýedirler. Basgançagyň soplo enjamynda işçi jisimiň entalpiýasy akymyň kinetik energiýasyna ovrulýar.

Akym üçin termodinamikanyň birinji kanunyna laýyklykda uzynlygy uly bolmadyk soplodan akymyň uly tizlikde geçýändigini üçin az wagtyň içinde akym bilen kanalyň diwarynyň arasyndaky ýylylyk çalyşygy örän kiçidir. Şonuň üçin ol akymy adiabatik akym diýip kabul edilende ( $q_{daş} = 0$ ) 1 kg işçi jisim üçin aşakdaky deňligi ýazmak bolar:

$$\frac{\omega_0^2}{2} + i_0 = \frac{\omega_{1n}^2}{2} + i_{1n}, \quad (24.1)$$

bu ýerde

$\omega_0$ ,  $i_0$  - deňşililikde soplaň önündäki akymyň tizligi we entalpiýasy;

$\omega_{1n}$ ,  $i_{1n}$  - soplanyň çykyşyndaky akymyň tizligi we entalpiýasy.

Eger-de soplanyň önünde akymyň tizligini örän kiçi  $\omega_0 = 0$  diýip kabul etsek, onda ýokardaky formula boýunça sopladan çykýan akymyň tizligini alarys:

$$\omega_{1n}^2 = 2(i_0 - i_{1n}) = 2\Delta i_{1n}. \quad (24.2)$$

(24.2) formulada  $\Delta i_{1n}$  ululyk  $\omega_{1n}$  tizlige deňişli alnan ýylylyk peselmesini aňladýar.

(24.2) formula işçi jisimiň giňelmesindäki bolup biljek sürtülme we köwlenme hereketleri ýok diýlip kabul edilende dogrudyr. Emma hakyky enjamlarda işçi jisimiň giňelmesinde gutulgysyz döreýän sürtülme we köwlenme hereketleri onuň kinetik energiýasynyň käbir böleginiň ýitirilmegine getirýär. Ýagny ýylylyga öwrülmeğine getirýär. Bu bolsa soplanyň çykyşyndaky işçi jisimiň entalpiýasynyň artmagyna getirýär. Netijede  $\Delta i_n$  ululygyň we akymyň tizligi peselýär.

$$\omega_1 = \zeta_c \omega_{1n}, \quad (24.3)$$

bu ýerde  $\zeta_c$  - soplanyň tizlik koeffisiýenti.

Häzirkizaman turbinalarynyň soplo enjamy üçin  $\zeta_c = 0.95 \div 0.98$ . Aýlanýan iş pilçeleriniň kanalynyň diwaryna otnositel hereket edýän akymyň  $c$  tizligine  $\omega$  tizlikden tapawutlylykda otnositel tizlik diýilýär. Kanalyň girişindäki bu tizligiň ululygy we ugry 24.2-nji suratda görkezilen tizligiň üçburçlugyndan kesgitlenýär:

$$c_1 = \omega_1 - u, \quad (24.4)$$

$u$  - pilçäniň aýlaw tizligi;

$$u = \pi D_{or} n_0, \quad (24.5)$$

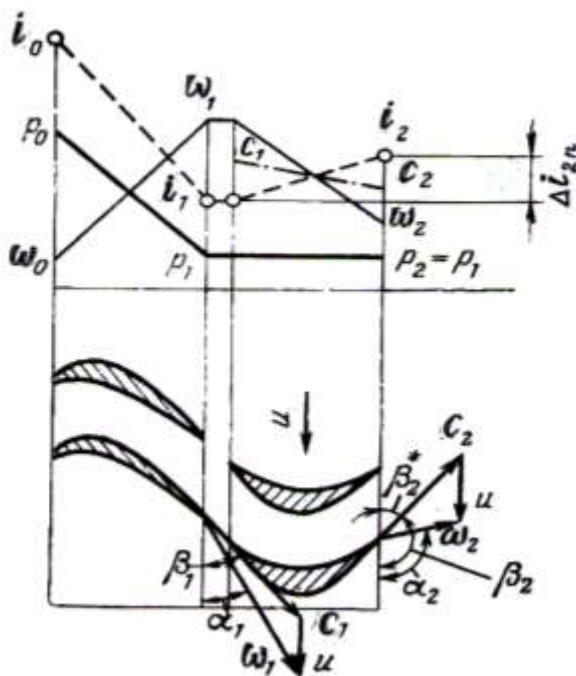
bu ýerde:

$D_{or}$  - basgançagyň ortaça diametri;

$n_0$  - iş tigriniň aýlanma ýyglylygy.

Iş tigriniň çykyşyndaky nazary otnositel tizlik soplanyň çykyşyndaky tizligiň kesgitlenilşi ýalydyr:

$$\frac{c_{2n}^2 - c_1^2}{2} = \Delta i_{2n}. \quad (24.6)$$



24.2-nji surat. Basgançagyň  
akyjylyk bölek akymynyň  
kinetikasy

Emma ýokarda bellenenilişi ýaly hakyky ýagdaýda pilçäniň kanalyndaky ýitgi çykyşdaky otnositel tizligiň we entalpiýanyň bahasyna täsir edýär. Netijede çykyşdaky otnositel tizlik nazary otnositel tizlikden pes bolýär. Ýagny

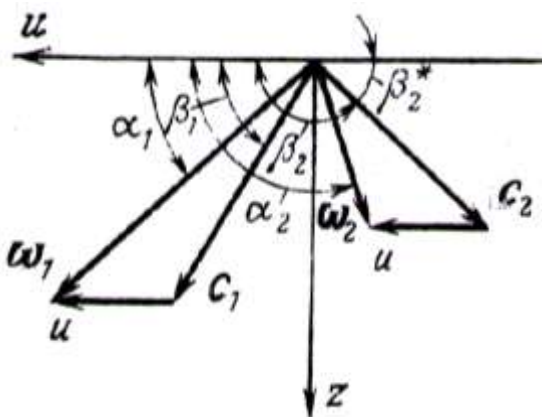
$$c_2 = \varphi c_{2n}. \quad (24.7)$$

Bu ýerde  $\varphi$  - pilçeleriň arasyndaky kanaldaky tizlik koeffisiýenti .

Işçi pilçelerinden çykýan akymyň  $\omega_2$  absolýut tizligi belli bir derejede otnositel tizligiň üýtgemesi, esasan hem akymyň kinetik energiýasynyň işe öwrülmegi sebäpli kiçelýär. Ol tizlik tizlikleri wektor goşmaklyk arkaly kesgitlenilýär:

$$\omega_2 = c_2 + u . \quad (24.8)$$

Hereket edýän akymyň işçi pilçelerine täsir edýän güýjüni (P) 24.3-nji suratda görkezilen diagramma esasynda kesgitlemek bolar.



24.3-nji surat. Bir basgançakly turbinanyň tizlik diagrammasy

Bu diagrammadan hereket mukdarynyň saklanma kanunyna görä:  
aýlanma güýji üçin

$$P_u = m (\omega_1 \cos \alpha_1 - \omega_2 \cos \alpha_2) = m (c_1 \cos \beta_1 - c_2 \cos \beta_2) , \quad (24.9)$$

ok boýunça ugrukdyrlan güýç ( $P_z$ ) üçin bolsa

$$P_z = m (\omega_1 \sin \alpha_1 - \omega_2 \sin \alpha_2) = m (c_1 \sin \beta_1 - c_2 \sin \beta_2) , \quad (24.10)$$

gelip çykýar.

Formulada  $m$  – basgançakdan geçýän işçi jisimiň massalaýyn harçlanylyşy (massa boýunça harçlanylyşy), kg/s.

Bir kilogram işçi jisim üçin basgançagyň udel işi

$$\ell = (P_u \cdot u) / m. \quad (24.11)$$

Basgançagyň peýdaly täsir koeffisiýenti (PTK)

$$\eta_{bas} = \frac{\ell}{\Delta i_{1n}} = (2u / \omega_1^2) \cdot (c_1 \cos \beta_1 - c_2 \cos \beta_2). \quad (24.12)$$

Basgançagyň PTK-sy turbinanyň PTK-syny kesgitlemekde uly orna eýe. Şonuň üçin bu PTK-nyň iň uly bahasyny kesgitlemek üçin 24.3-nji suratdaky diagramma seredeliň. Bu diagrammadan görnüşi ýaly  $\beta_2^* = \pi - \beta_2$  burç amaly taýdan  $\beta_1$  burça deň we pilçelerara kanaldaky sürtülme sebäpli ýitgi ujypsyz. Başgaça aýdylanda  $c_1 \approx c_2$ . Onda  $c_1 \cos \beta_1 = \omega_1 \cos \alpha_1 - u$  we  $c_1 \cos \beta_1 = -c_2 \cos \beta_2$  gatnaşyklary göz önünde tutup, (24.11) – den  $\eta_{bas}$  üçin aşakdaky formulany alarys:

$$\eta_{bas} = 4 \left[ \frac{u}{\omega_1} \cos \alpha_1 - \left( \frac{u}{\omega_1} \right)^2 \right]. \quad (24.13)$$

$\eta_{bas}$  ululygyny maksimum bahasyny tapmak üçin  $\eta_{bas}$ -dan  $u$  boýunça birinji önüm alalyň:

$$\frac{\partial \eta_{bas}}{\partial u} = 4 \left( \frac{\cos \alpha_1}{\omega_1} - \frac{2u}{\omega_1^2} \right). \quad (24.14)$$

$\eta_{bas}$ -yň  $u$  boýunça önümini nola deňläp,  $u = \frac{\omega_1}{2} \cos \alpha_1$  deňligi alarys. Soňra alnan  $u$  – ny bahasyny (24.13) – de ornuna goýup PTK-nyň  $\alpha_1$  burça baglylykdaky maksimal ululygyny taparys:

$$\eta_{bas}^{\max} = \cos^2 \alpha_1$$

Amalyýetde PTK  $\alpha_1 = 12^\circ \div 18^\circ$  bolanda maksimal ululyga eýe bolýar.

## 24.2. Aktiv we reaktiv turbinalar

Aktiv turbinalarda işçi pilçeleriniň kanalynda akymyň çüwdüriminiň öwrülmesi bolup geçýär. Akymyň hereket mukdarynyň üýtgemesi pilçelere, aýlanan disklere we turbinanyň walyna täsir edýän aktiv güýje öwrülýär. İşçi kanallarynda aktiv güýç emele gelýän turbinalara aktiv turbinalar diýilýär.

Işçi jisim – buguň işçi pilçeler kanaly boýunça hereketiniň reaktiv täsiri bilen diskiň we turbinaň tirsegininiň aýlanmasyny üpjün edýän güýç döreýär we buguň  $P_1$  basyşdan  $P_2$  - i basyşa çenli giňelmesi bolup geçýär. Basyşyň peselmesi bilen iş pilçelerine görä buguň tizlenmeli hereketi ýüze çykýar. Netijede itekleýji – reaktiv güýç emele gelýär. Reaktiv güýç çykýan çüwdürimiň tizliginiň garşysyna ugrukdyrylýar.

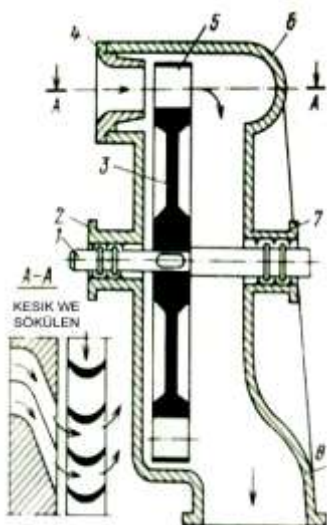
Reaktiv turbinalarda işçi pilçelerinde reaktiv işden başga-da buguň çüwdüriminiň öwrülmesi bilen bagly aktiv iş hem edilýär.

Reaktiv basgançagyň häsiýetnamasy bolup reaksiýa derejesi diýlip atlandyrylýan ( $\rho$ ) ululyk peýdalanylýar. Bu ululyk iş tigrirleriniň pilçelerinde ýüze çykýan ýylylyk peselmesiniň ähli basgançak boýunça ýylylyk peselmesine bolan gatnaşyk bilen kesgitlenilýär:

$$\rho = \frac{i_{2n}}{i_0} \quad (24.15)$$

Tejribelikde reaksiýa derejesi uly bolmadyk,  $\rho = 0.1 \div 0.15$  turbinalara aktiw turbinalar diýilýär.

Ilkinji, Lawal tarapyndan gurlan turbina bir aktiw basgançaklydyr (24.4-nji surat). Shemada görkezilen turbina sopladan (4), korpussyň (6) içinde ýerleşdirlen waldan (1), diskden (3), oňa berkidilen pilçeden (5) ybarat rotordan durýar. Korpus bilen aýlanan rotoryň walynyň arasyndan gazyň çykmazlygyny üpjün etmek üçin korpussyň önünden (2) we yzynden (7) labirint sybyzgylandyrma göz önünde tutulýar. Turbinada işlenen buguň çykarylmany üçin çykyş turbajygy (8) bar.



24.4-nji surat  
Lawalyň bir basgançakly  
turbinasynyň shemasy

Aktiw basgançakda işçi jisim sopl gelýär we ondan çykanda uly tizlige eýe bolýar. Uly tizlikli akymyň çüwdürimi işçi pilçesine urulýar we akymyň energiýasy turbinanyň rotoryny aýlamaga harçlanýar. Basyşy 1 MPa we temperaturasy  $500^{\circ}\text{C}$  bolan bug 10 kPa basyşa çenli giňäde ýylylyk peselme takmynan  $980 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  bolup, akymyň tizligi

$1400 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  deňdir. Ýokardaky (24.13)

formula boýunça hasaplananda berlen  $\alpha_1$  - de töwerek boýunça tizlik (çyzykly tizlik) akymynyň tizliginiň ýarysyna ýetende (takmynan  $700 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  bolanda) turbinanyň PTK –si iň uly baha eýe bolýar.

Emma töwerek boýunça tizligiň uludygy üçin pilçelere täsir edýän merkezden daşlaşýan güýç uly baha eýe bolýar. Netijede ol tizlige çydajak turbinany ulanmak mümkin bolmaýar. Şonuň üçin ol tizligiň ululygyny 2 esse diýen ýaly azaltmaly bolýar. Bu bolsa PTK-

niň kiçelmegine getirýär. Şol sebäpli Lawalyň turbinasynyň PTK –si kiçi, kuwwaty bolsa 1 MWt töweregidir.

Aktiw turbinalaryň PTK -sini ýokarlandyrmak üçin (meselem  $v \leq 300 \frac{m}{s}$  turbinalar üçin) iş tigrileri iki hatarly pilçeleri ulanmaly. Oňa Kertisiň ikiwenesli diski diýilýär. Kertisiň bu diski köplenç häzirki zaman köp basgançakly turbinalarda birinji basgançak hökmünde peýdalanylýar.

Häzirki zaman kuwwatly, köp basgançakly uly turbinalarda işçi jisimiň giňelmesi diňe bir soplo kanalynda bolman, eýsem işçi pilçelerde hem bolup geçýär. Şeýle kuwwatly turbinalarda olaryň basgançaklaryny häsiýetlendirýän esasy parametr bolan reaktiw dereje  $\rho = 0,5$  .

Reaktiw derejäniň 0,5 ululygynda işçi pilçeler birmeňzeş görnüşde bolýar.

### **24.3. Pilçe gözenekleriniň parametrleri we geometrik häsiýetnamalary**

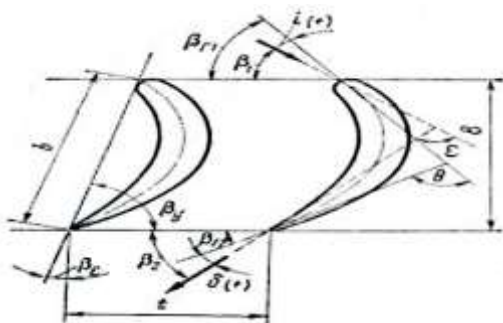
Pilçeleriň profili boýunça akymyň basyşynyň deňölçegli paýlanmasy we urulýan bug çüwdüriminiň energiýasynyň bisarpa ýitgisiniň azaldylmasy tutuş turbinanyň işjeňligine we onuň peýdaly täsir koeffisiýentiniň ýokarlanmasyna oňaly täsirini ýetirýär. Oňat geometrik profilli, girişi (öňi) aýlaw görnüşinde ýasalan (24.5-nji surat) pilçelerde kanalyň girişinde bolup biljek köwlenme ýitgileri azalýar. Turbinanyň disklerinde hatarlaýyn oturdylan pilçeler pilçe gözeneklerini emele getirýär. Ol gözenekleriň geometriki ölçegleriniň parametrleriniň amatly bahalaryny kesgitlemek ýokarda bellenişi ýaly turbinanyň PTK-synyň ýokarlanmagyna täsir edýär. Turbina profiliniň we kanalyň geometriki häsiýetnamasy 24.6-njy suratda görkezilýär. Suratda gözenegiň giňligi  $\beta$ , profiliniň hordasynyň uzynlygy  $b$ , pilçäniň arasy  $t$  harpy bilen belgilenendir. Gözenegiň esasy häsiýetli parametri hökmünde otnositel ädim diýlip



atlandyrylýan  $\vec{t} = t/b$  parametr peýdalanylýar ýa-da gözenegiň ýygylgy diýilýän  $\vec{b} = \frac{b}{t}$  parametri peýdalanmak bolýar. Pilçeleriň görnüşi bilen bagly  $\beta_{r1}$  we  $\beta_{i2}$  geometrik giriş we çykyş burçlary şeýle hem akymyň tizliginiň ugry bilen emele gelýän  $\beta_1$  we  $\beta_2$  giriş we çykyş burçlary  $t$  – parametr bilen bilelikde pilçe gözeneginiň netijeli işlemegine täsirini ýetirýär. Pilçelere urulýan bug çüwdüriminiň energiýasynyň ýitgisi urgy burçy diýen wajyp parametr bilen häsiýetlendirilýär.



24.5-nji surat Turbina pilçeleriniň profilleriniň görnüşi

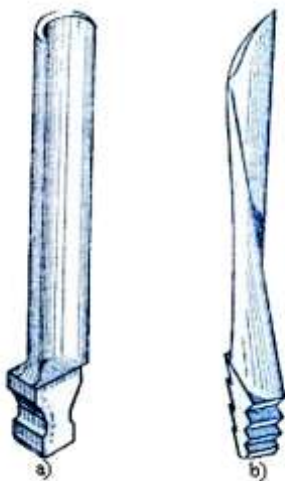


24.6-njy surat. Pilçe gözenekleriniň geometrik häsiýetnamalary

Ol burç  $\alpha$  bilen belgilenilip,  $\beta_{r1}$  we  $\beta_{i1}$  burçuň tapawudy bilen kesgitlenilýär:  $\alpha = \beta_{r1} - \beta_{i1}$ . Bu burç oňnat we položitel baha eýe bolup bilýär.  $\alpha > 0$  bolanda köwlenme arkaly ýitgi köpeliýär,  $\alpha < 0$

bolanda bolsa pilçäniň girişindäki diwara bolan dykzlandyrylan urguda ýitgi döreýär. Tejribeleriň görkezmesine görä  $\alpha$  - nyň položitel bahasynda onuň otrisatel bahasyňa görä ýitgi köpräk bolýar.

Pilçeleriň silindirik we profili üýtgeýän görnüşlerini tapawutlandyryrlar. (24.7 surat) silindrik görnişli pilçeleriň (24.7 a surat) kese-keseginiň formasy tutuş beýikligi boýunça üýtgemän şol bir  $\beta_4$  burçly bolýar. Üýtgeýän profilli pilçeleriň kese-keseginiň formasy onyň beýikligi boýunça üýtgeýär (24.7 b surat).



24.7 surat  
Turbinaryň pilçeleri

Eger-de  $\beta_4$  burçuň ululygy pilçäniň beýikligi boýunça üýtgeýän bolsa, onda ol pilçe towlanan görnüşde bolýar. Bu görnüşli pilçeleriň häsiýetli parametri hökminde profiliň epilme burçy ( $\theta$ ) peýdalanylýar. Bu burç

$$\theta = 180^\circ - (\beta_{r_2} + \beta_{r_1})$$

formula bilen kesgitlenilýär. Akymyň öwrülme burçy bolsa  $\varepsilon = 180^\circ - (\beta_2 + \beta_1)$  formula bilen kesgitlenilýär. Az-kem towlanan pilçeler akymyň has oňaly şertini döredýär. Turbinalaryň PTK-syny ýokarlandyrmak üçin az – kem towlanan pilçeleri peýdalanmaklyk maksada laýykdyr. Elbetde, towlanylýan pilçeleriň ýasalýş

tehnologiýasy silindir görnişli pilçelerden tapawutlanýar. Bu görnüşli pilçeler turbinalarda ulanylanda onyň berkligini, titreme ýagdaýyny göz önüne tutmalydyr.

## 24.4. Turbina basgançaklary boýunça momentler

Turbinalar işçi jisimiň akymynyň ugruna baglylykda okly ýa-da aksial maşynlara bölünýär. Okly maşynlarda akymyň ugry rotoryň okunyň boýy boýunça, aksial maşynlarda bolsa oka görä radial ugur boýunça ugrukdyrylandyr. Radial turbinalaryň ähli basgançaklary üçin energiýanyň deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$\ell_{up} = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} \quad (24.16)$$

Bu deňleme udel energiýany kesgitlemäge mümkinçilik berýän turbinalar üçin uly ähmiýete eýe bolan esasy deňlemedir. Bu deňlemä Eýleriň turbina deňlemesi diýilýär.

Bu deňlemädeki  $c_1$  we  $c_2$  otnositel tizlikleri absolýút we töwerek boýunça (çyzykly) tizliklerde aňladalyň:

$$\begin{aligned} c_1^2 &= \omega_1^2 + u_1^2 - 2u_1\omega_1 \cos\alpha_1 \\ c_2^2 &= \omega_2^2 + u_2^2 - 2u_2\omega_2 \cos\alpha_2 \end{aligned}$$

Onda ýokarky deňleme aşakdaky görnüşli alar

$$\ell_u = u_1\omega_1 \cos\alpha_1 - u_2\omega_2 \cos\alpha_2 \quad (24.17)$$

Tizligiň diagrammasyndan (24.3-nji surat)  $\omega_{1u} = \omega_1 \cos\alpha_1$  - işçi kanalyň girişindäki absolýút tizligiň töwerek boýunça düzüjisi,  $\omega_{2u} = \omega_2 \cos\alpha_2$  basgançagyň çykyşyndaky absolýút tizligiň töwerek boýunça düzüjisi.

Bu tizlikleriň ugry töwerek boýunça hereketiň tizliginiň ugruna gabat gelende položitelidir. Başgaça  $c_{1u} > 0$  haçanda  $\alpha_1 < 90^\circ$ ,  $c_{2u} < 0$  haçanda  $\alpha_2 < 90^\circ$ .

Ýokarky aňlatmalary göz önüne tutup (24.17) formulany aşakdaky görnişde ýazalyň:

$$\ell_u = u_1 \omega_{1u} - u_2 \omega_{2u} \quad (24.18)$$

Bu deňlemä Eýleriň moment üçin deňlemesi diýilýär. Okly basgançak üçin  $u_1 \approx u_2 = u$  we  $\alpha_2 < 90$

$$\ell_u = u(\omega_{1u} - \omega_{2u}) = u\Delta\omega_u \quad (24.19)$$

Bu ýerde  $\ell_u$  basgançakdaky tigiriň pilçelerindäki udel iş.

## 24.5. Turbinalaryň kuwwaty we peýdaly täsir koeffisiýenti

Turbinadaky bolýan energiýa ýitgisi, işçi jisimiň ýitgisi, sürtülme zerarly mehaniki ýitgiler we başgalar turbinanyň kuwwatyna we peýdaly täsir koeffisiýentine täsir edýär. Bu ýitgileri iki topara - içki we daşky ýitgilere bölmek mümkin.

Içki ýitgiler işçi jisimiň ýagdaýynyň üýtgemesine täsir etmek bilen onuň giňelmegi bilen alnan ýylylyk peselmesi azalýar. Içki ýitgileriň birnäçe görnüşleri bar. Olardan: soplalardaky we içki pilçelerdäki akymyň diwarlar bilen sürtülmesini, köwlenme emele gelmegi sebäpli kinetik energiýanyň ýitgisini; çykyş tizlige eýe bolan, işlän işçi jisimiň kinetik energiýasynyň ýitgisini; işçi jisimiň gurluşdaky içki pilçeleriň arasyndaky yşlar bilen turbinanyň korpusynyň arasyndaky diafragma bilen walyň arasynda işçi jisimleriň akması sebäpli ýitgini; buguň çyglylygy bilen baglylykdaky rotoryň aýlanmasynyň haýallamagyna we peýdaly işiň azalmagyna getirýän ýitgini içki ýitgilere degişli edilýär. Daşky ýitgilere turbinaň korpusy bilen walynyň arasyndaky bolup biljek ýitgiler, şeýle hem, turbinanyň kömekçi podşipnikleriniň sürtülme güýjüni ýenmäge harçlaýan energiýa ýitgisi we kömekçi mehanizmi herekete getirmekdäki sürtülme bilen bagly ýitgileri degişli etmek bolar.

Turbinanyň işi pilçeler bilen bagly içki (indikator) kuwwat we wal bilen bagly peýdaly kuwwat bilen häsiýetlendirilýär. Peýdaly kuwwat içki kuwwatdan mehaniki kuwwatyň ululygyna kiçidir:

$$N_i = N_e + N_{meh} \quad (24.20)$$

Içki kuwwat içki ýitgisiz işleýär diýlip kabul edilýän hyýaly turbinaň  $N_0$  kuwwatyndan kiçidir.

Turbina kuwwatdan başga-da peýdaly täsir koeffisiýentleriň ululyklary bilen häsiýetlendirilýär. Turbinalaryň PTK-si näçe uly bolsa, ol şonça-da kämilleşdirilen hasaplanylýar. Turbinalarda içki otnositel PTK we mehaniki PTK diýlen ululyklar peýdalanylýar. Içki otnositel PTK turbinanyň içki ýitgilerini hasaba alýar. Ol aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$\eta_{oi} = \frac{N_i}{N_o} \quad (24.21)$$

Mehaniki PTK mehaniki ýitgini hasaba alýar we şeýle kesgitlenilýär:

$$\eta_{meh} = \frac{N_e}{N_i} \quad (24.22)$$

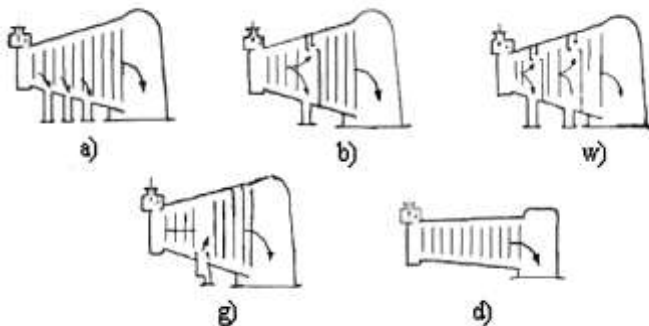
Häzirki turbinalaryň köpüsinde

$$\eta_{oi} = 0.7 \div 0.88; \quad \eta_{meh} = 0.99 \div 0.995.$$

## Ýigrimi başinji bap. BUG TURBINALARY

### 25.1. Turbinalaryň görnüşleri

Turbinalar özlerinde bolup geçýän ýylylyk proseslerine we olaryň niýetlenilişine baglylykda birnäçe görnüşlere bölünýär (25.1-nji surat).



25.1-nji surat. Bug turbinanyň görnüşleri

**Kondensirleýän turbinalar** (25.1-nji a surat) bu turbinalarda işlenilen bug atmosfera basyşyndan hem pes basyşda kondensatora berilýär. Bug suwuklyga öwrülende emele gelýän ýylylyk doly ýitirilýär.

**Şeýle turbinalarda** turbina gaýtadan berilýän iýmitlendiriji suwy gyzdyrmak üçin alynýan bug sazlanylmaýar. Sebäbi alynýan buguň basyşy hemişelik däl.

**Basyş boýunça sazlanýlan kondensirleýän turbinalar** (25.1-nji b suratda) önümçilikde we durmuşda ýylylyk almak üçin peýdalanylýan hemişelik basyşda bug alynýan kondensirleýän turbina şekillendirilen. Bu görnüşli turbinalarda aralyk basgançakdan buguň bir bölegi alnyp, ol ýylylyk ulanyjylara berilýär. Beýleki bölegi bolsa kondensatora iberilýär.

Basyş boýunça sazlanýan kondensirleýän turbinanyň ýene bir görnüşi 25.1-nji w suratda görkezilýär. Bu görnüşli turbinalarda basyşlary dürli bolan sazlanýlan iki bug alnyşygy bolýar.

25.1-nji g suratda görkezilen iki başgançakly turbina gazandan gelyän işlemedik bugdan başga-da bug nasosyndan, gysyjylardan, çekişlerden gelyän işlän bug turbina aralyk başgançağyndan bernyňlip peýdalanylýar.

**Garşy basyşly turbinalar** (25.1-nji d surat). Bu turbinalardan alynýan işlenilen buguň basyşy atmosfera basyşyndan ýokary bolup, onuň ýylylygy önümçilikde we ýyladylyş maksatlarynda peýdalanylýar. Her bir turbinary biri-birlerinden tapawutlandyrmak üçin olar dürli harplar bilen belgilenýär.

Belgilenilýän harplar turbinaryň kysymyny häsiýetlendirýär. Meselem: K –sazlanman alynýan bugy kondensirleýän turbinary aňladýar; T – kondensirleýän, ýyladylmak üçin bug alynýan turbina; II – önümçilik üçin bug alynýan turbina; IIT – sazlanýan iki basyşda bug alynýan turbina, P – garşy basyşly turbina, IIP –önümçilik üçin bug alynýan we garşy basyşly turbina. Harplaryň yzyndan turbinaň bellenen kuwwatyny MWt – da görkezýän san gelýär. Soňra san bilen turbinaň önünde atmosfera birliginde aňladylýan basyş getirilýär. Kese çyzygyň aşagynda bolsa önümçilik üçin buguň bellenen basyşy ýa-da turbina garşy basyşy görkezilýär. Meselem, IIT – 25 – 90/10 san şeýle okalýar: turbinaň kuwwaty 25 MWt, başlangyç basyş 90 at (8,8 MPa), iki sazlanýan bug alnyşda önümçilik üçin basyşy we ýylylyk üpjünçilik üçin 10 at ( $\approx 1$  MPa). Häzirkizaman elektrostansiýalarda bug turbinalary has köp peýdalanylýar. Bug turbinalary islendik birlik kuwwatda ýasalyp bilinýär. Şonuň üçin önümçilikde dürli kuwwatlykdaky, ýagny pes kuwwatly, şeýle hem ýokary kuwwatly turbinalar peýdalanylýar.

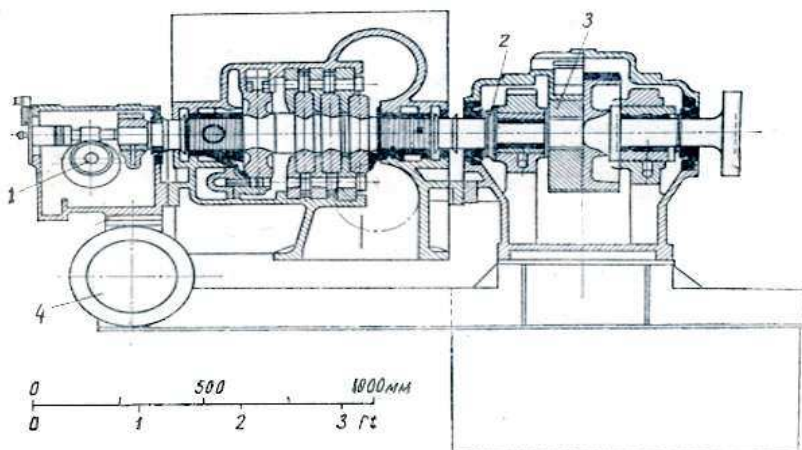
## **25.2. Kiçi we uly kuwwatly turbinalar**

Peýdalanylýan ýerlerine baglylykda kiçi, şeýle hem uly kuwwatly turbinalar ulanylýar.

Kiçi kuwwatly turbinalaryň esasy aýratynlygy olarda PTK – nyň we buguň başlangyç parametrleriniň, diýmek, ýokary termiki PTK - ni üpjün etmekligiň çäklenendigidendir. Bu ýagdaý kiçi kuwwatly turbinalaryň gurluşynda bug geçiriji kesikleriň kiçiligi, pilçeleriň beýikliginiň uly dældigi bilen baglanyşykly buguň

göwrümleýin harçlanyşynyň uly däldigi bilen düşündirilýär. Belli bolşuna görä, kiçi ölçegli pilçelerde uly otnositel ýitgi ýüze çykýar.

Turbina gurluşygynyň ösmegi bilen kiçi kuwwatly turbinalardaky gurluş ýetmezçilikleri azaldyldy. Olarda reduktorlaryň ulanylmagy bilen bug turbinanyň işini elektrik generatorynyň aýlanma ýygylgyna baglanyşyksyz etdi. Netijede bu gurluş täzeligi kiçi kuwwatly bug turbinalaryň netijeligini has ýokarlandyrdy (25.2-nji surat).



25.2-nji surat. Reduktorly turbina (500 kWt,  $n=12000/3000$  min.): 1-sazlaýjy; 2-daýanç podşibnigi; 3-reduktor; 4-ýag sowadyjy.

Suratda görkezilen reduktorly turbina iki täçli tigirden we üç sany bir täçli işjeň basgançaklardan durýar. Turbinanyň diskleri wal bilen bile ýasalan. Turbina reduktoryň üsti bilen elektrik generatoryny 3000 aýl/min. ýygylk bilen aýlamaga ukyplydyr.

Belli bolşy ýaly, şol bir meňzeş töwerek boýunça tizlikli tigirleriň diametrleri olaryň aýlanyş ýygylgyna ters proporsional

$$D_1 / D_2 = n_2 / n_1 \quad (25.1)$$



Başga tarapdan bugy geçirmek üçin niýetlenen şol bir kese-kesecli meýdanda pilçeleriň beýikligi tigrileriň diametrine ters proporsionaldyr. Ýagny

$$D_1 / D_2 = \ell_2 / \ell_1. \quad (25.2)$$

Bu ýerden

$$\ell_2 / \ell_1 = n_2 / n_1. \quad (25.3)$$

Diýmek, pilçeleriň beýikligi aýlanma ýygylgyna göni proporsionaldyr. Turbinanyň aýlanma ýygylgyny ýokarlandyrmak onuň ulanyşda ykdysady netijeliligini artdyrýar. Sebäbi turbinanyň ýokary ýygylkly aýlanmagy köp bolmadyk basgançagyň sanynda ýeterlik uzynlykly pilçeleri, uly bolmadyk ölçegli tigrileri ulanmaklyga mümkinçilik berýär. Pilçeleriň uzynlygy olaryň berklik aýratynlygy bilen kesgitlenilýär. Reduktorlardaky ýitgi köp däl.

Uly kuwwatly turbinalary peýdalanmagyň ykdysady taýdan has amatlydygyna garamazdan, turbinanyň in soňky basgançagyndan onuň goýberijilik ukybynyň çäkliligi üçin buguň uly göwrümini çykarmak örän uly kynçylyk döredýär. Buguň uly göwrümleýin harçlanmasy ony goýbermek üçin niýetlenen soňky basgançagyň ölçegi we onuň berklik şerti bilen kesgitlenilýär.

Soňky basgançak üçin göwrümleýin harçlanma üznüksizlik deňlemesinden aşakdaky ýaly kesgitlenilýär:

$$V = F\omega_{2a} - \tau\pi \frac{D^2}{D/\ell} \omega_{2a} = \tau \frac{\omega^2}{\pi} \frac{U^2}{n^2 D/\ell} \cdot \omega_{2a}. \quad (25.4)$$

Ol ululyk  $\omega_{2a}$  aýlanma ýygylgynyň kwadratyna we  $\frac{U^2}{D/\ell}$  ululyga göni proporsionaldyr.

Soňky aňlatma pilçäniň massasynyň merkezden daşlaşýan güýjüni aňladyp, pilçäniň düýbinden goparyjylyk güýjüni häsiýetlendirýär:

$$\frac{\ell \rho_m U^2}{D/2} = 2 \rho_m \frac{U^2}{D/\ell}. \quad (25.5)$$

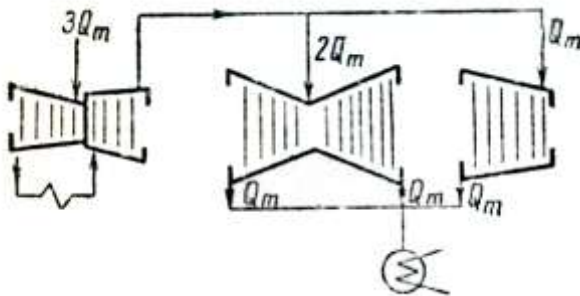
Bu ýerde  $\rho_m$  metalyň dykzlygy,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

Ýokarky deňleme esasynda U-nyň we  $\ell/D$  berlen ululyklary üçin iň uly göwrümleýin harçlanma  $\dot{Y}_v$ , şeýle hem buguň berlen dykzlygynda iň uly  $Q_m$  massalaýyn harçlanmasy kesgitlenilýär.

Soňky basgançagyň çäk ölçeginde bug akymyň kuwwatyny artdyrmak üçin bar bolan buguň kuwwaty hem-de. Önuň üçin turbina berilýän buguň basyşy we temperaturasy ýokarlandyrylmalydyr.

Buguň başlangyç parametrleriniň ýokarlandyrylmasy turbinanyň birlik kuwwatynyň ýokarlanmagyna baglydyr. Meselem, K-500-240 kysymly turbinanyň kuwwaty 500 MWt bolup, onda buguň basyşy 23,5 MPa we temperaturasy 565°C – ä deňdir.

Uly kuwwatly turbinalarda iň soňky basgançaga çenli gelýän esasy bug akymy birnäçe, goýberijilik ukyby maksimal bolan parallel akymlara bölünýär (25.3-nji surat).



25.3-nji surat. Akymy üç bölege bölnen turbinanyň shemasy

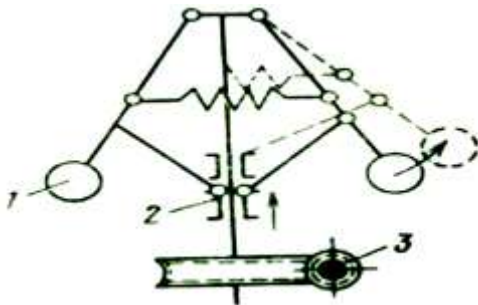
Ahyrky basgançagyň berlen ölçeglerinde buguň göwrümleýin harçlanmasynyň maksimal ýokarlanmagyny üpjün etmek üçin ýokarky formulalardan görnüşi ýaly turbinanyň aýlanma ýyglygy peseldilmelidir. Munuň üçin iki wally turbina ulanmalydyr. Birlik kuwwaty ýokarlandyrmak üçin iki wally agregatyň peýdalanmagy turbinaň umumy gymmatyny az kem ýokarlandyryr.

### 25.3. Bug turbinalarynyň sazlanýş düzgüni

Bug turbinalarda turbina bilen generatoryň biri-birine garşylyksyz, ylalaşykly işlemegi üpjün edilmelidir. Onuň üçin bug tarapyndan emele getirilýän hereketlendiriji güýç bilen işçi maşynynyň döredýän garşylyk güýjüniň arasynda deňagramlylyk döredilmelidir. Şonuň üçin turbinaň tizligi ýörite oýlap tapylan usullar arkaly sazlanýlar. Turbinany sazlamaklygyň esasy meselesi walyň aýlanma ýygylgyny berlen çäkde awtomatiki saklamaklykdan ybaratdyr.

Turbinanyň tizligini sazlamak üçin peýdalanylýan usullar gurluşy we görnüşleri, elementleriniň ýerleşşi boýunça köp dürlidir. Olaryň iň ýönekeýi iki sany elementden durýar. Birinjisi ölçeýji gurluş, ikinjisi bolsa sazlaýjy gurluş. Has çylşyrymly sazlaýjylar bu elementlerden başga goşmaça serwepriwod, ters baglanyşyk diýilýän gurluş we başgalar ulanylýar.

Ölçeýji gurluş hökminde köplenç merkezden daşlaşýan maýatnik (25.4-nji surat) ulanylýar.

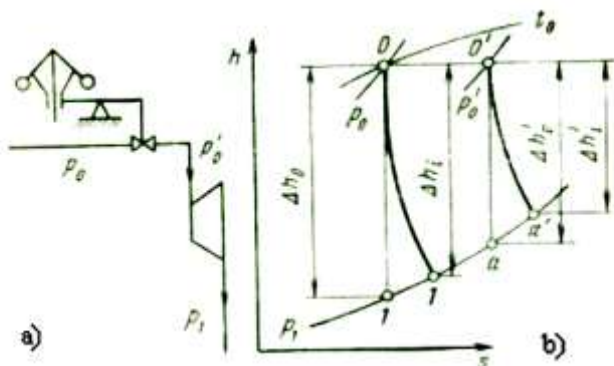


25.4-nji surat. Merkezden daşlaşýan maýatnigiň shemasy

Maýatnik turbinanyň walyndan (3) dişli geçirijiniň (geçirlişniň) üsti bilen herekete getirilýär. Turbinanyň aýlanma ýygylgynyň artmagy bilen ýükler (1) merkezden daşlaşýan güýjüň täsir etmegi bilen ýaýraýar we şonuň bilen baglanyşykly mufta (2) ýokaryk süýşýär. Walyň aýlanma ýygylgynyň peselmegi bilen ýükler biri-birlerine ýakynlaşýar we mufta aşak tarapa süýşýär. Muftanyň

hereketi ýörite göz önüne tutulan mehaniki baglanyşyklar arkaly ýa-da gidrogüýçlendirijiler arkaly sazlaýjy organ bolan bug paýlaýjy gurluşa geçirilýär. Ol bolsa öz gezeginde walyň berlen ýygylgyny saklap turbinanyň kuwwatyny ulaldýar ýa-da kiçeldýär.

Bug paýlaýjy gurluşlaryň dürli görnüşleri bar. Olar drosselli, soplaly, obwodly we kombinirlenen görnüşlerde bolýar. Drosselli bug paýlaýjylarda bug turbinanyň kuwwatyny kiçeltmek üçin klapnlar ýapylýar we sopla ugrukdyrylýan hemme bug drosselirlenýär (25.5-nji surat).



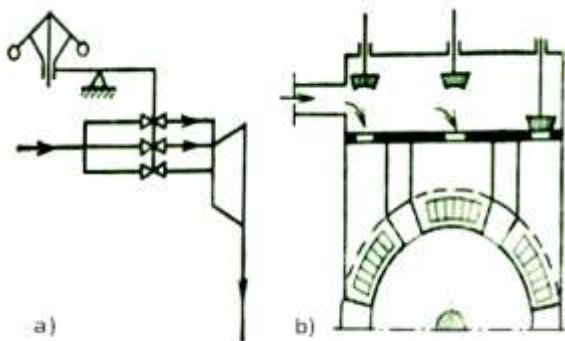
25.5-nji surat. Drossel bug paýlanmasy.

a) prinsipial shema;

b) buguň giňelme prosesi.

Drosselirlenme prosesi ýylylyk peselmäniň käbir ýitgisi we turbinanyň PTK-synyň peselmesi bilen bolup geçýär. Drosselirleme boýunça sazlamanyň ykdysady taýdan amatsyzlygy üçin bu usul pes kuwwatly turbinalarda peýdalanylýar.

Soplaly bug paýlanmada bug (25.6-njy surat) birnäçe sazlaýjy klapnalaryň üsti bilen birinji basgançagyň soplasyňa gelýär.

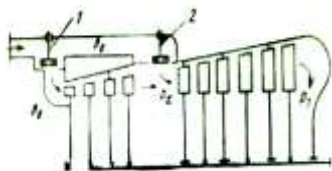


25.6-njy surat. Soplaly bug paýlanmasy.  
a) Prinsipial shema; b) Klapany kerobnar shema.

Her klapany öz soplany toparlaryna hyzmat edýär we bellenen ýükde doly açyk ýagdaýda bolýar. Ýüküň üýtgemegi bilen klapanylar deňişli yzygiderlikde açylýarlar ýa-da ýapylýarlar. Buguň drosselirlenmesi doly açyk däl klapanylarda bolýar. Her klapandan umumy buguň mukdaryndan käbir böleginiň geçýändigini üçin drosselirlenme sebäpli ýitgi az bolýar. Şonuň üçin hem soplaly bug paýlanmanyň ýitgisi drosselirlenme boýunça ýitgiden azdyr.

Obwodly bugpaýlamada (25.7-nji surat) ýörite gezek-gezeginde açylýan baýpasly klapanylaryň üsti bilen goşmaça täze buguň bir ýa-da birnäçe aralyk basgançaklara berilmesi bolýar.

Buguň obwodly usul boýunça paýlanmasy aşa tygşytly kuwwaty üpjün etmek üçin peýdalanylýar. Häzirki zaman turbinalarda kombinirlenen obwodly we soplaly bug paýlanmalary peýdalanylýar.

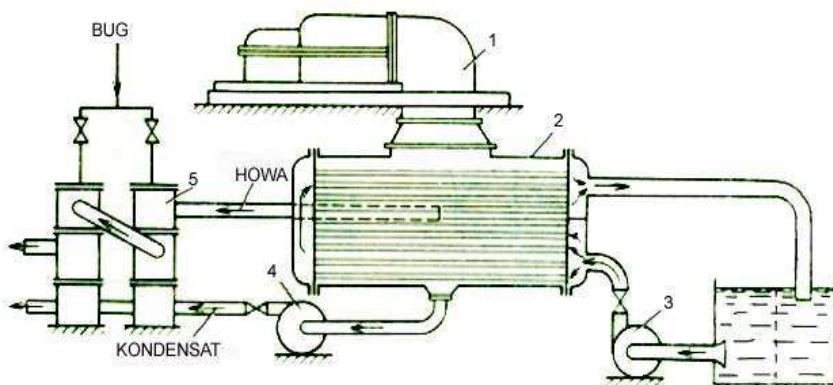


25.7-nji surat. Obwodly bug paýlanmanyň shemasy  
a) Faktorlaýyn klapany; b) Baýpasly klapany.

## 25.4. Kondensirleýän bug turbinalaryň gurluşy

Ýokarda kondensirleýän turbinalar barada gysgaça durup geçdik. Indi kondensirleýän desga barada has giňişleýin durup geçeliň.

Kondensirleýän desga (25.8-nji surat) bug turbinaryň soňunda seýreklenme (wakuum) döretmek üçin niýetlenendir. Seýreklenme peýdalanylýan ýylylyk peselmäni ýokarlandyrýar we bug turbinary desganyň termiki PTK-sy ulaldýar. Kondensirleýän desga kondensatordan, sirkulýasion we kondensat nasosdan, bug ežektordan durýar.

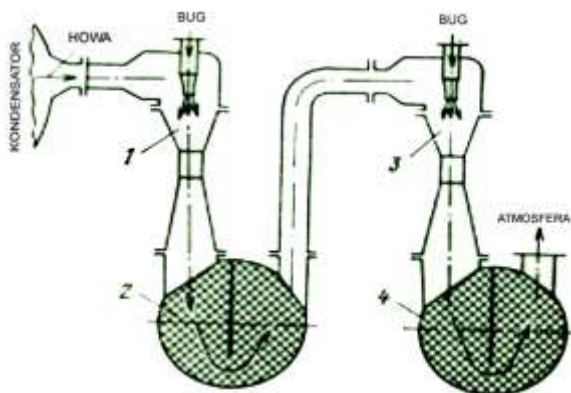


25.8-nji surat. Kondensirleýän desganyň prinsipial shemasy  
1-bug turbinary; 2-kondensator; 3-aýlanyşyk nasos;  
4-kondensat nasosy; 5-bug ežektory

Häzirki döwürde durnukly bug turbinary desgalarda suw bilen sowadylýan kondensatorlar peýdalanylýar. Kondensatorda turbinadan çykýan, işlenen bug nasos arkaly suw bilen sowadylýar we kondensirlenýär.

Bugun kondensatorda suwuklyga öwürülmesi aşakdaky ýaly bolup geçýär. Shemadan görnüşi ýaly kondensatora gyzgyn, işlenen bug ýokardan berilýär. Bug içinden sowadyjy suw akýan turbalaryň

diwary bilen galtaşýar we öz ýylylygyny berýar hem-de suwuklyga öwrülýär. Emele gelen suw gaba akýar we kondensat nasosy arkaly bug ežektoryna berilýär. Bug ežektordan soň regeneratiw gyzdryjylar ulgamynyň üsti bilen bug gazanyna berilýär. Aslynda kondensatorda absolýut basyş sowadyjy suwuň ahyrky temperaturasyna degişli doýgun buguň basyşyna deň bolmaly. Emma, hakykatda kondensatora suw bugy bilen birlikde az kem howada gelýär. Howa turba geçirijiler bilen kondensatoryň birleşýän ýerinde emele gelýän ýşlardan hem girip biler.



25.9-nji surat. Iki basgançakly ežektoryň shemasy  
1-1-nji basgançagyň ejektory; 2 - aralyk sowadyjy;  
3 - 2-nji basgançagyň ejektory; 4 - ahyrky sowadyjy.

Şonuň üçin kondensatordaky basyş suw bugunyň basyşy bilen howanyň basyşynyň jemine deň bolýar. Bu basyşyň ululygy 3,0-7,0 kPa aralygynda bolýar. Howanyň kondensatorda ýygnanmagy kondensatordaky howa seýreklenmesine (wakuuma) ýaramaz täsir edýär. Ýagny kondensirlenme temperaturany ýokarlandyrýar. Sowadylýan üstde bug emele gelmesini kynlaşdyrýar. Şonuň üçin howany aýryp durmaly. Onuň üçin howa nasosyny – ežektorlary peýdalanýarlar. Bug turbinaly desgalarada bir, iki we üç basgançakly

ežektorlar peýdalanylýar. Iki basgançakly ežektoryň shemasy 25.9-njy suratda görkezilýär.

Sopladan çykýan uly energiýa eýe bug çüwdürimi kondensatordaky howany özi bilen alyp gidýar we diffuzoryň nasadkasynda bug-howa garyndysynyň kinetik energiýasy basyşyň energiýasyna öwrülýär. Soňra garyndydaky bug birinji basgançagyň sowadyjysynda suwuklyga öwrülýär. Garyndydaky buguň suwuklyga öwrülmedik bölegi we howa ikinji basgançakdaky ežektor bilen sorulýar. Bu basgançakdaky ežektoryň diffuzoryndaky bug-howa garyndysynyň basyşy atmosfera basyşyndan ýokarydyr. Soňra bu garyndy ikinji basgançagyň sowadyjysynda suwuklyga öwrülýär, doýgun bugly howa (bug bilen doýan howa) bolsa daşaryk çykarylýar.



## **Ýigrimi altynjy bap. GAZ TURBINALARY**

### **26.1. Gaz turbinaly desgalar (GTD)**

Gaz turbinalaryň ulanylýan ýerleri örän giňdir. Olar elektrostansiýalarda, gaz we nebit senagatynda, nebiti gaýtadan işleýän zawodlarda, himiýa senagatynda giňden peýdalanylýar. Gaz turbina hereketlendirijileri lokomotiwlere herekete getirmek üçin peýdalanylýar.

Gaz turbinalary işleýiş düzgünleri boýunça bug turbinalaryndan tapawutlanmaýarlar. Gaz turbinadaky bolup geçýän prosesler, olaryň matematiki ýazgylary bug turbinalaryňky bilen meňzeşdirler.

Gaz turbinaly desgalaryň işleýiş düzgüni we olaryň aýlawlarynyň termodinamiki görkezijileri birinji bölümde berlendir.

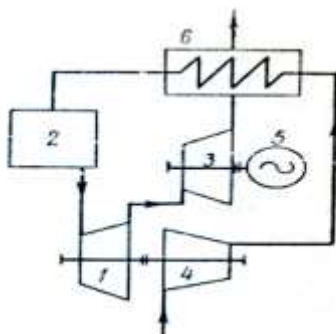
Gaz turbinaly desgalaryň esasy elementi gaz turbinasydyr. Onuň esasy aýratynlygy turbinanyň işiniň uly temperaturada we uly bolmadyk basyşda bolup geçýändigindedir. Şonuň üçin gaz turbinalarynda basgançaklaryň sany az bolup, ol gyzgyna çydamly polatdan ýasalýar.

Iň ýönekeý gaz turbina desgasy bir wally bolup, ol içinden ýandyrylýan açyk shema boýunça ýerine ýetirilýän desgadyr. Ol desga gaz turbinasyndan, ýanyş kamerasyndan we kompressordan durýar. Turbina we kompressor bir walda oturýarlar. Howa kompressor tarapyndan 400-den 600 kPa-e çenli gysylýar we ýanyş kamerasyna berilýär. Şol basyşda ýanyş kamerasynda ýangyjyň ýanma prosesi bolup geçýär. Bu desgalaryň massasy kiçi we onda suw ulanylmaýar. Desganyň ygtybarly işlemegi üçin onuň howa arkaly üznüksiz sowadylyşy gurnalýar. Hakyky şertlerde turbina berilýän gazyň temperaturasy 725 °C ýetip, onuň PTK-sy 21%-e deňdir.

Gaz turbinaly desgalaryň artykmaçlyklarynyň biri onuň ýanyş kamerasynda gaz we suwuk görnüşli ýangyçlaryň peýdalanylýandygyndadyr. Bu desgalarda arzan mazut hem ýakylýar. Onuň üçin turbinanyň önündäki gazyň temperaturasy 650 °C-den ýokary bolmaly däl. Bir wally gaz turbinaly desgalar artykmaçlyklardan başga-da kemçiliklerde eýedir. Daşky klimatiki şertler, ýagny atmosfera basyşy we temperatura onuň işine täsir edýär. Basyşyň peselmegi we temperaturanyň ýokarlanmagy gaz

turbina desgasynyň kuwwatynyň peselmegine getirýär. Esasy ýetmezçiligiň biri desga ýükli däl ýagdaýda işledilende onuň tygşytlylygy peselýär. Hemişelik ýygylýkda bölekleriň ýüklenmede PTK-sy has peselýär.

Ýüklenme azalanda howanyň hemişe berlip durulmagyna garamazdan ýanyş kamerasyna ýangyjyň berilmesi azalýar. Bu bolsa turbina desgasynyň ykdysady netijeliliginiň peselmegine getirýär. Bir wally turbinalardan başga-da köp wally turbinalar peýdalanylýar. Köp wally turbinalaryň in ýönekeýi, iki wally turbina şemasy 26.1-nji suratda görkezilen. Shemadan görnüşi ýaly, bir wally turbina tapawutlylykda munda artykmaç ýene bir turbina ulanylýar. Bir walda ýokary basyşly turbina (1) bilen kompressor (4) ýerleşdirilen. Beýleki walda bolsa generatory aýlamak üçin niýetlenen pes basyşly turbina ýerleşdirilýär. Ýokary basyşly (1) turbina howany gerek derejä çenli gysmak üçin zerur kuwwaty döredýär. Şonuň üçin bu turbina **kompressor turbina**sy hem diýilýär.



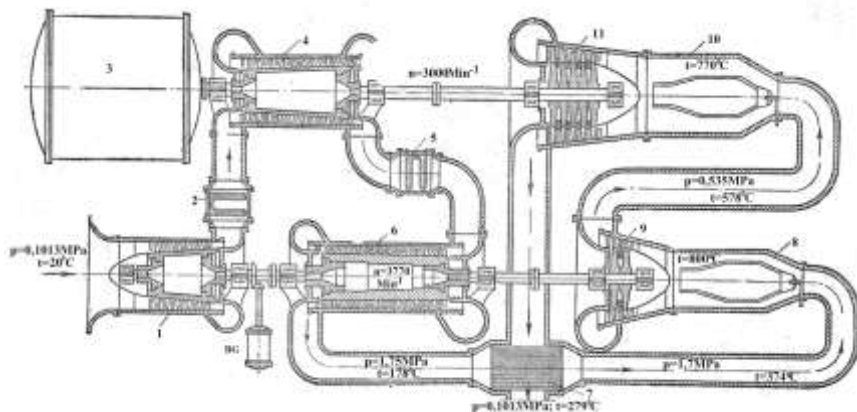
26.1-nji surat. Blokirlenmedik iki wally GTD-niň shemasy

Pes basyşly turbina ýokary basyşly kompressor turbina gelyän işlän gazy ulanyp, generatory aýlamak üçin gerek kuwwaty üpjün edýär. Turbinalaryň başga wallarda ýerleşýändikleri üçin olar biri-birine bagly bolmadyk dürli ýygylýklarda işleýärler. Ýokary basyşly kompressor turbina bilen bir walda ýerleşdirilen kompressordan (4) çykan gysylan howa regeneratoryň (6) üsti bilen ýanyş kamerasyna (2) berilýär. Ýüklenmäniň azalmagy bilen ýanyş

kamerasyna ýangyjyň berilişiniň azalmagy kompressor turbinanyň aýlanma ýygylgynyň kiçelmegine, netijede bolsa kamera gelýän howanyň mukdarynyň azalmagyna getirýär. Şonuň üçin bölekleyin ýüklenmede turbinaň öňünde gazyň ýokary temperaturasynyň alynmagyny üpjün edýär. Has ýokary temperatura bolsa desganyň ykdysady tygşylylygyny ýokarlandyrýar. Bu artykmaçlyk durnukly ulanylýan desgalarda turbina generatory hemişelik ýygylkda aýlanda uly ähmiýete eýedir.

Emma, gynansak-da seredilýän shemada generator bilen bagly kemçilik bar. Ýüklenmäniň çalt peselmesinde aýlanma ýygylgynyň we hereketlendirijiniň sazlanýýan döwründe temperaturanyň has peselmesiniň bolmagy mümkin.

Başga bir, 26.2-nji suratda görkezilen iki wally shema boýunça işleýän desga ýokarky ýetmezçilikden halasdyr.

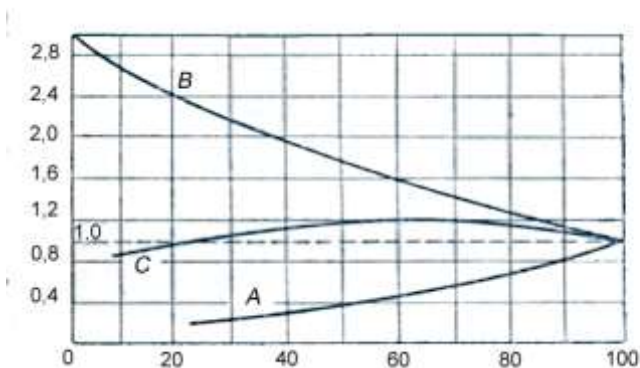


26.2-nji surat. GTE-50-800-iň shemasy

Sebäbi bu shemada goçmaça turbina peýdalanylmaýar. Ýokary basyşly turbina şol bir wagtda generatory hem-de orta basyşly kompressory herekete getirýär. Ýokarda seredilen goşmaça turbinaly blokirlenmedik shemaly desga ulagda peýdalanylsa uly artykmaçlyga eýedir. Gerek dartuw (çekiw) häsiýetnamany üpjün etmek üçin hereket edýän tigirler bilen mehaniki geçiriliş arkaly gönümel

baglanyşkyly goşmaça peýdalanylýan turbina aýlanma ýygylýgyna bagly bolmazdan hemişelik kuwwaty üpjün edýär.

Bir wally gaz turbinaly desgalaryň kompressorynyň aýlanma ýygylýgy turbinanyň aýlanma ýygylýgyndan tapawutlanmaýar. Aýlanma ýygylýgynyň peselmegi bilen ýanyş kamerasyna berilýän howanyň mukdary azalýar, netijede bolsa turbinadan geçýän gazyň mukdary azalýar. Bu bolsa aýlanma momentiň peselmegine (26.3-nji surat, A egri) getirýär. Deňeşdirmek üçin suratda içinden ýandyrylýan hereketlendirijiniň momentiniň çyzygysy (C-egri) görkezilýär. Suratda iki wally desganyň momenti görkezilen (B –egri).



26.3-nji surat. Aýlanma momentiň aýlanma ýygylýgyna baglylygy.

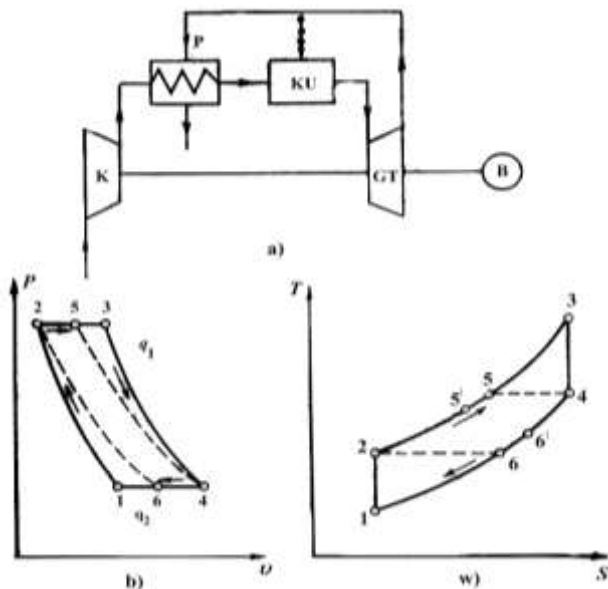
Köp wally shema gaz turbina desgasyňy çylşyrymly edýär, şeýle hem desgalaryň ölçegleriniň we massasynyň ulalmagyna täsir edýär.

## 26.2. Gaz turbinanyň kämilleşdirilişi

Turbinadan çykýan gazyň temperaturasy örän ýokarydyr. Belli bolşuna görä bu gazyň temperaturasy kompressordan gysylyp çykarylýan howanyň temperaturasyndan has ýokarydyr. Daşary çykarylýan gazy peýdalanyňp ýanyş kamerasyna berilýän howany

gyzdyrmaklygyň hasabyna desganyň işini has kämilleşdirmek mümkindir.

Işlenip çykarylan gazyň ýylylygyny howa bermek üçin regenerator diýilýän gurluşdan peýdalanylýar. Regeneratorly turbina 26.4-nji suratda görkezilýär.



26.4-nji surat. Gaýtadan regenerirleýän GTE

Turbinadan çykarylýan gazyň ýygylygyny gaýtadan ulanmak (başgaça regenerirlemek) gaz turbinaly desgalaryň ýylylyk tygşylylygyny has ýokarlandyrýar. Regenerirleme derejesi ( $\varphi$ ) regeneratorlyň ýylylyk çalşygy üstüniň ululygyna bagly.

Bu ululygy  $\varphi$  bilen belgiläp, onuň ýylylyk çalşygy üst bilen baglanyşygyny tapalyň.

Gaz bilen howanyň arasyndaky üst boýunça ýylylyk geçiriliş:

$$Q = kF\Delta T \quad (26.1)$$

formula boýunça hasaplanýar.

Formulada:

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

$F$  - regeneratoryň ýylylyk çalşygy üstüniň meýdany,  $m^2$ ;

$\Delta T$  - gaz bilen howanyň arasyndaky temperaturalaryň tapawudy  $K$ .

Gaz tarapyndan üste berilýän ýylylyk

$$Q_{mg} = C_{pg} G_{mg} (T_4 - T_6). \quad (26.2)$$

Bu ýerde  $C_{pg}$  -gazyň udel ýylylyk sygymy,  $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ ;

$G_{mg}$  - gazyň massalaýyn harçlanyş mukdary,  $\frac{kg}{s}$

$T_4$  - gaz turbinaly desgaldan daşaryk çykýan işlenilen gazyň temperaturasy;

$T_6$  - ýylylyk çalşygy üstde sowan gazyň temperaturasy,  $K$ .

Gysylan howanyň alýan ýylylygy

$$Q_{mh} = C_{ph} \cdot G_{mh} (T_5 - T_2). \quad (26.3)$$

Bu ýerde

$C_{ph}$  - howanyň udel ýylylyk sygymy,  $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ ;

$G_{mh}$  - üstde geçýän howanyň massalaýyn harçlanyşy,  $\frac{kg}{s}$ ;

$T_2$  - kompressordan çykan howanyň temperaturasy;  $K$

$T_5$  - ýylylyk çalşygy üstüň täsiri bilen gyzan howanyň temperaturasy,  $K$ .

Gaz tarapynda berilýän ýylylyk geçiriji üst arkaly gysylan howa berilýär:

$$Q = kF\Delta T = C_{mg} G_{mg} (T_4 - T_6) = C_{mh} G_{mh} (T_5 - T_2). \quad (26.4)$$

Garşylykly akym üçin  $T_5 - T_2 \approx T_4 - T_6$  we ortaça temperatura tapawudy

$$\Delta T = T_4 - T_5 = T_6 - T_2. \quad (26.5)$$

Bu ýerden  $G_{mg} = G_{mh} = G_m$ ;  $C_{pg} = C_{ph} = C_p$  üçin

$$F = \frac{C_p G_m}{k} \frac{T_5 - T_2}{T_4 - T_5} \text{ deňligi alarys.}$$

Deňligiň maýdalawjysyna  $T_2$  ululygy goşup we aýryp, sanawjysyny we maýdalawjysyny  $T_4 - T_2$ -ä bölüp aşakdaky formulany alarys:

$$F = \frac{C_p G_m}{k} \frac{(T_5 - T_2) \cdot (T_4 - T_2)}{1 - (T_5 - T_2)/(T_4 - T_2)}. \quad (26.7)$$

Bu ýerde

$$\varphi = \frac{T_5 - T_2}{T_4 - T_2} \text{ -gatnaşyga regenerasiýa derejesidiýilýär.}$$

(26.8)

Bu formulany göz önünde tutup ýokarky formulany  $\varphi$ -niň üsti bilen aşakdaky görnüşde ýazarys:

$$F = \frac{C_p G_m}{k} \frac{\varphi}{1 - \varphi}. \quad (26.9)$$

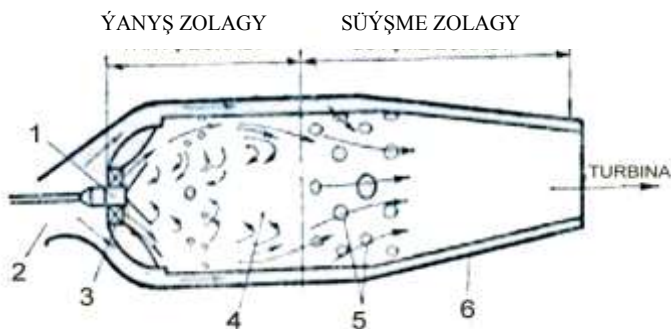
Formuladan görnüşi ýaly  $\varphi = 0$  bolanda  $F = 0$ ;  $\varphi = 1$  bolanda  $F = \infty$ .

Regenerator saýlanylyp alnanda onuň bahasy, ölçegi we agramy göz önünde tutulmalydyr.

### 26.3. Gaz turbinaly desgalaryň ýanyş kameralary

Ýanyş kamerasy gaz turbinaly desgalarynyň esasy elementi bolup, onda ýokary kaloriýaly suwuk ýa-da gaz görnüşli ýangyjyň  $2000^{\circ}\text{C}$  temperatura çenli ýanmasy bolup geçýär.

Häzirki zaman gyzgyna çydamly enjamlarda gazyň temperaturasyny  $2000^{\circ}\text{C}$ -dan  $700\text{--}950^{\circ}\text{C}$  temperatura çenli peseltmek üçin ony uly mukdardaky sowuk howa bilen garýarlar. Şonuň üçin ýanyş kamerasyny iki bölege bölýärler: ýanyş zolagyna we garylyş zolagyna (26.5-nji surat).



26.5-nji surat. Suwuk ýangyç üçin  
ýanyş kamerasy

Ýanyş prosesini çaltlandyrmak we ýanmanyň ýokary temperaturasyny amala aşyrmak üçin ýanyş zolagynda ýörite akymy köwlendirýärler. Köwlendiriji (3) hökmünde ulanylýan gurluş pilçe görnüşde ýasalyp, ýanyş kamerasyna berilýän howa (2) aýlanma hereketini berýär. Howanyň öňe-yza bolan hereketi bilen onuň aýlanma hereketi halka görnüşli köwlenmäni (4) emele getirýär. Netijede, howanyň käbir böleginiň esasy akymynyň garşysyna hereketlenmegine mejbur edýär. Esasy akymyň garşysyna ugrukdyrylan akym forsunkanyň (1) boşlugynda ýangyç bilen howanyň deslapky gyşarmasyna we faza garyndysynyň ýanmagyna kömek edýär. Bu akym forsunkanyň içinde ýalyny saklamaga täsirini ýetirýär. Ýanyş prosesini goldamak üçin berilýän howanyň



artykmaçlyk koeffisiýenti: uçarlaryň hereketlendirijileri üçin  $\alpha = 4 \div 5$ ; durnukly desgalar üçin bolsa  $\alpha = 6 \div 10$ .

Ýangyç önüminiň ýörite ýasalan deşikler (5) arkaly gelýän goşmaça howa bilen garylmany, ýokarda bellenişi ýaly, garylş zolagynda gazyň gerek temperaturasyny almaga mümkinçilik berýär.

Bu zolaga berilýän howa ilki bilen kameranyň boýy boýunça ony sowatmak üçin halkalaýyn kesikden (6) geçýär.

Ýanyş kamerasynda basyşyň ýitgisi örän az bolmaly. Basyşyň ýitgisi gaz turbinaly desgalarynyň peýdaly täsir koeffisiýentiniň peselmegine getirýär. Bu ýitgä ýanyş zolagyndaky garyndyny almaklyk, ýagny akymy turbulentleşdirmek uly täsir edýär. Ýanyş kameradaky basyşyň ýitgisi doly ýanyşyň 3 - 5% düzýär.

Ýanyş kamerasy boýunça hasaplamalary geçirmek üçin kamera berilýän howanyň mukdary, onuň çykyşyndaky howanyň basyşy we temperaturasy berlen bolmaly. Bulardan başga-da ýangyjyň düzümi we onuň tehniki häsiýetnamasy belli bolmaly.

Ýanyş kamerasyny häsiýetlendirýän esasy parametrleri onuň üçin düzülýän ýylylyk balansynyň deňlemesinden kesgitlenilýär:

$$G_{mg} i_g = B^y q_n^p \eta_{y.k} + G_{mh} i_h + B^y i_y. \quad (26.10)$$

Bu ýerde

$i_g$  – gazyň udel entalpiýasy,  $\frac{kJ}{kg}$ ;

$B^y$  – ýangyjyň harçlanylyşy,  $\frac{kg}{s}$ ;

$q_n^p$  – ýangyjyň udel ýylylyk berijiligi,  $\frac{kJ}{kg}$ ;

$\eta_{y.k}$  – ýanyş kamerasynyň peýdaly täsir koeffisiýenti;

$i_y$  – ýangyjyň udel entalpiýasy,  $\frac{kJ}{kg}$ .

Ýangyjyň we howanyň harçlanylyşynyň arasyndaky baglanyşyk

$$G_{mh} = \alpha L_n B^y \quad (26.11)$$

Bu ýerde,

$\alpha$  - howanyň artykmaçlyk koeffisiýenti;

$L_n$  - 1 kg ýangyjy ýakmak üçin gerek howanyň nazary mukdary.

Kameranyň ýylylyk güýjenmesiniň görkezijisi bolup, kameranyň 1 m<sup>3</sup> doly göwrümünde bir sekundyň dowamynda bölünip çykýan ýylylygyň mukdary hyzmat edýär:

$$Y = \frac{B^y \cdot q_n^p}{v} \quad (26.12)$$

## **26.4. Gaz turbinaly desgalaryň peýdalanylyşy. Türkmenistanda ulanylýan gaz turbinalary**

Soňky döwürde gaz turbinaly desgalaryň ulanylyşy hasda giň gerim aldy. Ulagda, energetikada, himiýa senagatynda we başga ýerlerde bu desgalary peýdalanmak ykdysady taýdan has derwaýys boldy.

Energetikada gaz turbinaly desgalar dürli kuwwatly elektrik stansiýalarynda peýdalanylýar. Uly energetik ulgamlarda gaz turbinaly desgalar ätiýaçlandyryjylar we uly ýüklenmelerde energiýa bolan talaplary üpjün ediji agregatlar hökmünde ulanylýar. Şeýle desgalaryň peýdalanylyşy ýygy-ýygýdan bolup, bary ýogy 100-den 1500  $\frac{s}{yyl}$  ulanylyş sagatlarda, ortaça 1000-e golaý işe goýberilişi

bolýar. Birlik kuwwaty 1,0-den 1000 MWt-a çenli aralykda bolýar.

Elektrogeneratorlary herekete getirmek we hereket edýän desgalarda elektrik energiýasyny almak üçin niýetlenen gaz turbinaly desgalaryň birlik kuwwatlary onlarça kilowattdan 10 MWt-a çenli aralykda bolýar. Atom energetikasynyň çalt ösmegi bilen ýapyk halka boýunça işleýän gaz turbinaly desgalary peýdalanylyp başlandy.

Himiki - tehnologiýa shemalarda, nebiti gaýtadan işleýän kärhanalarda, metallurgiýa kombinatlarynda ýöriteleşdirilen

energetiki gaz turbinaly desgalary peýdalanylýar. Bu desgalar esasan hem howanyň gysylyşyny üpjün edýän kompressorlary herekete getirmek, tehnologiki prosesler üçin zerur energiýany almakda peýdalanylýar.

Nebit we gaz geçirijilerde magistral turba geçirijilerinde peýdalanylýan kompressorlary işletmek üçin gerek bolan gaz turbinaly desgalaryň peýdaly kuwwaty 2-den 30 MWt-a çenli bolýar.

Ulag gaz turbinaly desgalary uçarlaryň (turbareaktiv we turbawintl) hereketlendirijilerinde, suwda ýüzýän gämileriň dürli görnüşlerinde, lokomotiw hereketlendirijilerinde giňden ulanylýar. Gaz turbinaly hereketlendirijileri beýleki hereketlendirijiler bilen deňeşdirilende udel kuwwaty, ölçeg görkezijileri boýunça has amatlydygy bilen tapawutlanýar. Gaz turbinaly hereketlendirijileri lokomotiwlerde peýdalanylsa has maksadalaýykdyr. Sebäbi olaryň uly bolmadyk ölçegleri we olar üçin iýmitlendiriji suwuň gerek bolmazlygy uly ähmiýete eýedir.

Gaz turbinalar turba “giňeldiji” maşynlar hökmünde hem peýdalanylýar.

Turba “giňeldiji” maşyny gaz - turbina bolup, onda gazyň giňelmesindäki energiýasy işe öwrülýär we şol bir wagtyň özünde gazyň temperaturasynyň peselmesi bolýar.

Giňeldiji maşynlar esasan tehnikada gazlary sowatmak (turbosowadyjylarda) we gazlary bölmek üçin (turbadetanderler) peýdalanylýar.

Türkmenistanyň ýangyç ulgamyndaky tebigy gazyň bimöçber baýlygyny hasaba alyp ýurdumyzda gaz turbinaly desgalary gurup ornaşdyrmak güýçli depginde alnyp barylýar. Dünýäniň ösen döwletlerinde gazanylan iň soňky netijeler esasynda öndürilen tehnikalary we tehnologiýalary ulanyp ýurdumyzyň dürli künjeginde gaz turbinaly elektrik stansiýalary guruldy we gurulýar. Gaz turbinaly elektrik stansiýasy 26.6 – njy suratda görkezilen.



#### 26.6-njy surat. Gaz turbinaly elektrik stansiýasy

Türkmenistanda kuwwaty 127 MWt bolan, Amerika döwletinde PG 9171 E asyl nusgada öndürilen MS 9001 E görnüşli gaz turbinaly elektrik stansiýasynyň gurluşygy ilkinji bolup Abadan şäherinde 1997-nji ýylda başlady we 1998-nji ýylyň noýabr aýynda işe göýberildi. Şol stansiýanyň ýanynda generatory Çehoslowakiýa döwletiniň önümi bolan, Fransiýa döwletinde düzülen, 127 MWt kuwwaty bolan MS 9001 E görnüşli gaz turbinaly elektrik stansiýasy 2003-nji ýylyň noýabr aýynda işe göýberildi. 2004-nji ýylda ýurdumyzyň Balkanabat şäheriniň DES-inde Fransiýa döwletinde General Elektrik – zawody tarapyndan düzülip taýýarlanan, PG 6581 B görnüşli kuwwaty 42,1 MWt bolan gaz turbinaly elektrik stansiýasynyň üçüsi ulanmaga berildi.

Türkmenistanyň paýtagty Aşgabat şäherinde bolsa 2006-njy ýylyň mart aýynda her biriniň kuwwaty 127 MWt bolan Fransiýada

düzülen MS 9001 E görnüşli iki sany gaz turbinaly elektrik stansiýasy işe göýberildi. Şeýle ösüş depgininde ýurdumyzyň Daşoguz DES-inde 254 MWt, Seýdi şäherinde – 254 MWt, Türkmenbaşy şäherindäki nebit önümlerini gaýtdan işleýän zawodynda – 82 MWt, Tejen şäherinde – 19 MWt kuwwaty bolan gaz turbinaly elektrik stansiýalarynyň işe girizilmegi ýurdumyzda elektrik energiýasy bilen doly üpjün edilmegine we elektrik energiýasynyň daşary ýurtlara ugradylmagyna uly mümkinçilik döretdi.

Gaz turbinaly elektrik stansiýalarynyň tehniki häsiýetnamalarynyň käbir ululyklary 26.1-nji we 26.2-nji tablisalarda hödürlenýär.

**Tablisa 26.1**

**Gaz turbinaly elektrik stansiýalaryň häsiýetnamalary.**  
**Abadan DES**

Stansiýaň belgisi	Turboagregadyň görnüşü, Taýýarlaýjy - zawod	Bellenen (nominal) elektrik kuwwaty, MWt	Işläň gazyň temperaturasy, °C		Gazyň basyşy kg/sm <sup>2</sup>	
			Pasport	Hakyky	Pasport	Hakyky
GTG - 1	MS 9001 E PG 9171 E	123	541	480	22-25	18-19
GTG - 2	MS 9001 E PG 9171 E	123	541	500	22-25	18-19

**Aşgabat DES**

Stansiýa-nyň belgisi	Turboagregadyň görnüşü, Taýýarlaýjy zawod	Bellenen (nominal) elektrik kuwwaty, MWt	Işläň gazyň temperaturasy, °C		Gazyň basyşy kg/sm <sup>2</sup>	
			Pasport	Hakyky	Pasport	Hakyky
GTG - 1	MS 9001 E PG 9171 E	127	541	480	22-25	22-25
GTG - 2	MS 9001 E PG 9171 E	127	541	500	22-25	22-25

**Balkanabat DES**

Stansiýanyň belgisi	GT-iň görnüşi, taýýarlaýjy zavod	Bellenilen kuwwaty ( $t_d=15^{\circ}\text{C}$ )	Turbinadan öň gazynyň parametrleri				Gazyň minimal ýylylyk çykaryjylygynda (46924kJ/kg) harçlansy, $\text{m}^3/\text{sag}$	Taslama ýangyjy	A-062 dizel ýangyjynyň harçlansy,t/sag
			P,kg/sm <sup>2</sup>		t,°C				
			Pas-port	Haky-ky	Pas-port	Hakyky			
GTG 1 GTG 2 GTG 3	PG 6581 B General - Elektrik	42,1	21-25	19-22	15-70	15-40	13000	Tebigy gaz, dizel ýangyjy	9

Türkmenistanyň şertinde gurlan gaz turbinaly elektrik stansiýalarynyň artykmaçlyklary aşadakylerden ybaratdyr:

1. 1 MWt kuwwata düşýän maýa goýum bahasy uly däl.
2. Bug turbinaly energobloga garanynda gaz turbinaly desganyň ähli enjamlarynyň metal sygymy az we oňaly bolýar.
3. Gaz turbinasynyň enjamlarynyň modulynyň ýokary derejeligi we metal sygymy az bolany sebäpli gurluşyk döwrüniň möhleti has gysgadyr.
4. Gyssagly hyzmatlary örän ýönekeý we gyssagly bejeriş işleri üçin işgärleri az talap edýär.
5. Taýýarlyk koeffisiýenti örän ýokary (81 % - iň ýerine 93 %).
6. Energoblogy ýüklendirmek we işe göýbermek tiz amala aşyrylýar:

- bug turbinasyny işe göýbermek üçin 3-4 sagat wagt gerek bolsa, GTD- da 20-25 minut ýeterlikdir;
- bug turbinaly energoblogy doly kuwwatyna çykarmak üçin 6-8 sagat wagt gerek bolsa, GTD-12 üçin minut

ýeterlikdir.

7. GTD-ny ýönekeý aýlaw boýunça ulanylanda tehnologiýa üçin gerek bolýan sowadyjy suwuň mukdary köp talap edilmeyär. Gaz turbinaly desgada başlançyç ýagdaý üçin  $12 \text{ m}^3$  arassalanan suw gerek bolsa, şol kuwwatdaky bug turbinaly desga takmyn  $18000 \text{ m}^3/\text{sag}$  suw talap edýär.
8. Stansiýanyň hususy zerurlyklaryna harçlanýan udel elektrik energiýasy has kiçidir: ýönekeý aýlawly gaz turbinaly usulda 0,2-0,5 %, bug turbinaly energobloga 5-7 % harçlanýar.

Türkmenistanyň şertinde gaz turbinaly desgalarda ýüze çykýan kemçilikler:

1. Stansiýa tehniki hyzmatlary etmek üçin we ätiýaçlyk şaýlarynyň has ýokary baha durýnlygy sebäpli uly çykdaýjy talap edýär. Häzirki döwürde Türkmenistanda gaz turbinalarynyň zaýаланан enjamlaryny dikeltmek üçin gurallar we beýleki mümkinçilikler ýok.
2. Gaz turbinaly desganyň iş-gulluk möhleti bug turbinaly desgadan ep-esli azdyr.

Türkmenistan – energserişdelerine baý döwletdir. Türkmenistanda elektrik energiýasynyň öndürilişiniň we eksportunyň möçberi yzygiderli artýar. Hazir elektrik energiýasy Türkmenistandan Owganystana, Eýrana, Türkiýä we Täjigistana iberilýär.

Täze gaz turbinaly elektrostansiýalary elektrik energiýasynyň daşary ýurtlara iberilýän möçberiniň mundan beýläk-de artdyrylmagyny üpjün eder. Häzirki wagtda olaryň gurluşygy Ahal welaýatynda, “Awaza” milli syýahatçylyk zolagynda we Balkanabatda alnyp barylýar. Elektrik stansiýalary üçin zerur bolan enjamlary energetika pudagynda dünýäde ykrar edilen “General Elektrik” amerikan kompaniýasy tarapyndan iberilýär.

“Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin baş ugry” milli Maksatnamamyza laýyklykda ýurdumyzda elektrik energiýasynyň öndürilişi ýylda 26,38 milliard kilowatt sagada ýetiriler. Onuň eksporty bolsa 6 milliard kilowatt sagada çenli artdyrylar.

## VI BÖLÜM

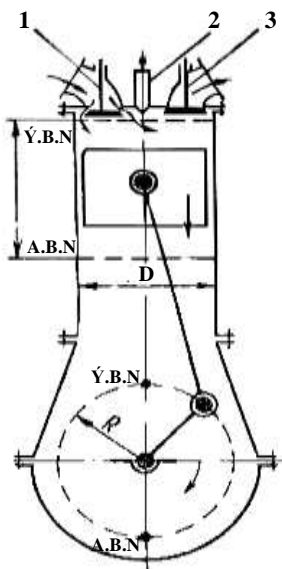
### İÇİNDEN ÝANDYRYLÝAN HEREKETLENDİRİJILER

#### Ýigrimi ýedinji bab. İÇİNDEN ÝANDYRYLÝAN HEREKETLENDİRİJILER BARADA UMUMY MAGLUMAT

##### 27.1. İçinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň işleýiş düzgünleri we olaryň toparlara bölünişi

Ýangyjyň ýanma prosesi we ondan bölünip çykýan ýylylygyň işçi silindrlerde mehaniki energiýa öwrülmesi bolup geçýän ýylylyk hereketlendirijilerine içinden ýandyrylýan hereketlendirijiler (İÝH) diýilýär.

İÝH-leriň işleýiş düzgünini aşakdaky 27.1-nji suratda görkezilen shema arkaly düşündireliň.



27.1-nji surat. İçinden  
ýandyrylýan  
hereketlendirijiniň shemasy

Silindre açyk klapandan (1) howa, forsunkanyň (2) üsti bilen bolsa ýangyç berilýär. Ýangyjyň ýanmagy bilen onuň himiki energiýasynyň ýylylyk energiýasyna öwrülmesi bolup geçýär. Gazyň basyşynyň täsiri bilen silindrde porşen hereketlenip başlaýar. Onuň hereketi kriwoşip – şatun mehanizminiň üsti bilen walyň aýlanma hereketine geçirilýär. Silindrde ýokarda bellenişi ýaly ýylylyk energiýasynyň mehaniki enrgiýasyna öwrülmesi bolup geçýär. Gaz giňelenden soň açyk klapanyň (3) üsti bilen silindrden çykarylýar.

Silindrde porşeniň hereketi ýokarky butnawsyz nokatdan aşaky butnawsyz nokat aralygynda bolup geçýär. Porşeniň waldan ýokaryk iň uly daşlaşmasyna ýokarky butnawsyz nokat, wala iň ýakyn

golaýlamasyna bolsa aşaky butnawsyz nokat diýilýär.



Iki butnawsyz nokatlaryň aralygyna porşeniň geçýän ýoluna **porşeniň ýoly** diýilýär. Bu ýol  $S$  harpy bilen belgilenilip, ol kriwoşipiň iki radiusyna deňdir. Porşeniň her bir geçen ýolunda kriwoşip  $180^0$  öwrülýär. Wal doly aýlananda porşen iki gezek ýoly geçýär. Porşeniň iki butnawsyz nokadynyň aralygyndaky hereket edýän boşlugyna silindriň **işçi göwrümi** diýilýär we  $V_s$  harpy bilen belgilenilýär. Porşeniň ýokarky butnawsyz nokadyndan ýokarsyndaky iň kiçi göwrümlü boşluga **ýanyş kameranyň göwrümi** diýilýär we  $V_g$  bilen belgilenilýär. Silindriň doly göwrümi

$$V_d = V_s + V_g. \quad (27.1)$$

Silindriň doly göwrüminiň ýanyş kamerasynyň göwrümine bolan gatnaşygyna gysylyş derejesi diýilýär:

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_g}. \quad (27.2)$$

Silindrdäki porşeniň hereketiniň orta tizligi aşakdaky formula bilen kesgitlenýär:

$$v_{or} = \frac{2 \cdot s \cdot n}{60} = \frac{s \cdot n}{30}, m/s. \quad (27.3)$$

$n$  - walyň bir minudyň dowamyndaky aýlawlarynyň sany.

Hereketlendirijileriň silindrlinde belli bir yzygiderlikde bolup geçýän prosesleriniň (täze howanyň silindre berilmesi, gysylma, ýanma, giňelme we işleýän gazyny silindrdan çykarylmasy) jemine hereketlendirijileriň **işçi aýlawlary** diýilýär.

Silindriň iň uly we iň kiçi göwrümine degişli porşeniň bolýan iki ýagdaýynyň aralygyny häsiýetlendirýän aýlawyň bölegine **takt** diýilýär. Başgaça, porşenli hereketlendirijiniň porşeniniň bir gezek geçen ýolunda bolup geçýän prosese **takt** diýilýär. Dört taktly hereketlendirijilerde (27.1-nji surat) porşeniň dört gezek geçen ýoly aýlawy emele getirýär. Porşeniň ýokarky butnawsyz nokatdan aşak

herekete başlamasy bilen, açyk klapan arkaly silindriň howadan doldurylmagyna **I takt (soruş takty)** diýilýär. Klapanlaryň (1,3) ýapyk ýagdaýynda porşeniň ýokaryk hereket etmegi bilen howanyň gysylmasy **II takty** emele getirýär (gysylyş takty).

Gysylyşyň ahyrynda forsunkadan (2) ýangyç pürkülýär we gysylma arkaly gyzdyrylan howanyň ýokary temperaturasynda ýangyjyň öz-özünden ýanmagy, otlamasy amala aşyrylýar. Ýangyjyň ýanmagy zerarly gazyn giňelme basyşynyň täsiri bilen porşen aşak hereket edýär. Muňa **III işçi takty** diýilýär. Işlän gazyn silindrden çykarylmasyna bolsa **IV takt** diýilýär.

Içinden ýandyrylýan hereketlendirijiler şu aşakdaky alamatlar esasynda toparlara bölünýärler:

**Işçi aýlawyň taktlarynyň** sany boýunça iki taktly we dört taktly hereketlendirijiler tapawutlandyrylýar. Dört taktly hereketlendirijilerde aýlaw porşeniň dört gezek geçen ýolunyň, iki taktly hereketlendirijilerde bolsa porşeniň iki gezek geçen ýolunyň hasabyna ýerine ýetirilýär.

**Täsir ediliş usuly boýunça** ýönekeý we iki täsirli hereketlendirijiler bardyr. Ýönekeý täsirli hereketlendirijilere porşeniň bir tarapy bilen ýerine ýetirilýän işçi aýlawly hereketlendirijiler degişlidir. Iki täsirli hereketlendirijilerde bolsa işçi aýlaw porşeniň iki tarapynyň ulanmagy bilen amala aşyrylýar (häzirki döwürde bu görnüşli hereketlendirijiler peýdalanylmaýar).

**Işçi silindriň howa dolandyryş usuly boýunça çişirilen we çişirilmedik** hereketlendirijiler peýdalanylýar. Ýokary basyşly howany üflemek arkaly dizeliň kuwwatyny artdyryan hereketlendirijilere **çişirilen** diýilýär. Çişirilmedik hereketlendirijilerde işçi garyndy ýa-da howa sorulmasy porşeniň hereketi bilen (4 taktly) ýa-da howany çalyşmak üçin käbir basyşly howany üflemek arkaly amala aşyrylýar (2 taktly). Çişirilen hereketlendirijilerde işçi garyndy ýa-da howa silindre ýörite çişmäni amala aşyryan enjamdan ýokary basyş bilen berilýär. Peýdalanylýan ýangyjynyň görnüşi boýunça ýeňil suwuk ýangyjy (benzin, benzol, kerosin, ligroin we ş.m.) peýdalanylýan we agyr suwuk ýangyjy (dizel ýangyjy, solýar ýagyny, we ş.m.) peýdalanylýan hereketlendirijiler

bardyr. Häzirki döwürde gaz, suwuklykly we köp görnüşli ýangyjy peýdalanýan hereketlendirijiler ulanylýar.

Ýanyjy garyndynyň emele getirilme (garyndy emele getirilme) usuly boýunça şu aşakdaky hereketlendirijileri tapawutlandyryrlar: içki garyndy emele gelmeli, ýagny nasos arkaly ýokary basyş bilen silindre pürkülýän ýangyjyň howa bilen garyndysy işçi silindriň içinde emele getirilýän dizeller; daşynda garyndy emele gelmeli, ýagny, ýeňil suwuk ýangyjyň budy bilen howanyň garyndysyndan ýa-da gazyň howa bilen garyndysyndan durýan, ýanyjy garyndyny silindriň daşynda emle getirýän karbýuratorly, şeýle hem, gaz peýdalanýan hereketlendirijiler.

**Garyndynyň ýanma usuly boýunça:** ýanyjy kameradaky gysylan gazyň ýokary temperaturasynda ýangyjyň öz-özünden otlanmasy bolup geçýän, öz-özünden ýanýan (otlanýan) hereketlendirijiler (dizeller); ýanyjy garyndynyň ýanmasy daşyndan edilýän täsir arkaly otlanyp işleýän (meselem, elektrik uçgunyň täsiri bilen ot alýan) hereketlendirijiler (karbýuratorly we gaz bilen işleýän hereketlendirijiler); garyşyk, ýagny bir tarapdan gysylan gazyň temperaturasynyň ýokarlanmagy, ikinji tarapdan bolsa gysylyş kamerasynda ýokary derejede gyzan diwaryň täsiri bilen ot almaly hereketlendirijiler. Bu görnüşli hereketlendirijilere **kalorizatorly hereketlendirijiler** diýilýär.

Işçi aýlawynyň görnüşleri boýunça şu aşakdaky hereketlendirijiler tapawutlandyrylýar: gysylyş derejesi pes bolan ( $\varepsilon = 5 \div 7$ ) we ýangyjyň ýanmasy mejbury, hemişelik göwrümde ( $V = const$ ) ýylylyk berilýän hereketlendirijiler.

Gysylyş derejesi ýokary bolan ( $\varepsilon = 12 \div 14$ ) ýangyjy howa arkaly tozanlaşdyrylýan we ýangyjy öz-özünden ot alýan, hemişelik basyşda ( $p = const$ ) ýylylyk berilýän hereketlendirijiler - kompressorly dizeller. Bu görnüşli dizeller häzirki döwürde ulanylyşdan galdyryldy.

**Hemişelik göwrümde we hemişelik basyşda ýylylyk berilýän hereketlendirijiler.** Bu görnüşli hereketlendirijileriň gysylyş derejesi  $\varepsilon = 12 \div 16$  aralykda bolýar.

**Hereketlendirijiler porşenleriniň ortaça tizlikleriniň ululygy boýunça** ýuwaş ( $4 \leq v_m < 6 \text{ m/s}$ ), ortaça ( $6 \leq v_m < 9 \text{ m/s}$ ), ýokarylandyrylan ( $9 \leq v_m < 13 \text{ m/s}$ ) we ýokary tizlikli ( $v_m \geq 13 \text{ m/s}$ ) görnüşlere bölünýärler.

**Sowadylyşy boýunça hereketlendirijiler** suw bilen we howa bilen sowadylýan görnüşlere bölünýärler.

Gurluş (konstruktiv) aýratynlyklary boýunça silindrleriniň sany we ýerleşdirilişi boýunça wirtual, bir hatarly, V şekilli, X şekilli, ýyldyz şekilli we ş.m. hereketlendirijiler tapawutlandyrylýar.

Döwlet standarty boýunça her bir hereketlendirijiler şertli belgiler bilen häsiýetlendirilýär (r-dört taktly, D-iki hatarly, H-çişirilen). Şertli belgilerde, bulardan başga-da silindriň diametri, porşeniň ýoly, hereketlendirijileriň ýasalan zawodynyň ady görkezilýär.

## **27.2. Içinden ýandyrylýan hereketlendirijilerde (IÝH) garyndy emele getirilişi**

IÝH-de suwuklyk we gaz görnüşli ýangyçlardan peýdalanylýar. Oktan sanynyň ululygy boýunça awtomobil benzinleri A-76, AI-93, AI-95 we şulara meňzeş kysymlara görnüşlere bölünýärler. Benziniň kysym görnüşindäki A - harpy benziniň awtomobile niýetlenendigini, I - harpy oktan sanynyň ýörite barlaglar arkaly kesgitlenilendigini, şeýle hem harplardan soňky sanlar bolsa oktan sanynyň önümini aňladýar. Ol näçe ýokary bolsa, benziniň detonasiýa ymtylyşy az bolýar we mümkin bolan gysyş derejesi ýokary bolýar.

Dizel ýangyjy özüniň şepbeşikligine we düzüminde kükürdi saklaýşyna baglylykda kysymlara bölünýärler. Ýangyç, daşky gurşawyň temperaturasyna deň bolan belli bir işçi temperaturada ýeterlik akyjylyk häsiýetini saklamalydyr, ýagny onuň şepbeşikligi ýeterlik derejede pes bolmalydyr. Bu ýagdaýlara ýangyjyň päsgelçiliksiz nasosa sorulyşy we forsunkalardan (pürkujilerden) pürkujililik häsiýeti köp derejede bagly bolup durýar. Dizel ýangyjnynyň aňladylyşyndaky DA, DZ, DL we DS kysym

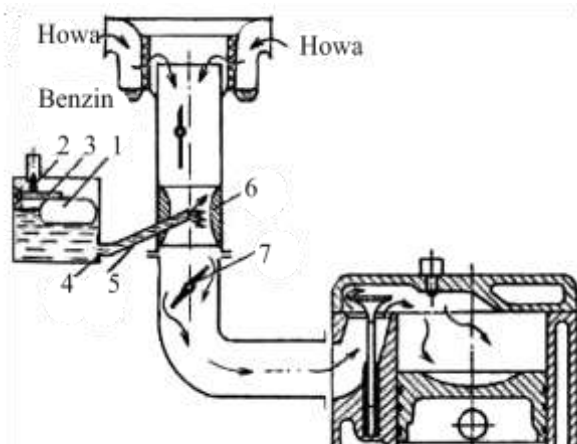
görnüşlerinde D - harpy ýangyjyň dizel ýangyçdygyny, A- harpy arktiki şertlerde (daşky gurşawdaky howanyň temperaturasynyň  $t_0 < -30^0\text{C}$ -a çenli bolanda) bu ýangyjyň ulanylyp bolýandygyny; Z-gyşky ( $t_0 = 0 \div 30^0\text{C}$ ); L - ýazky ( $t_0 > 30^0\text{C}$ ) we S-ýörite (kükürdi az-mukdarda bolan nebit önümlerinden alnan) şertlerde peýdalanylyp bolýandygyny görkezýär.

Zerur, deňölçegli mukdarlary bolan ýangyç we howa garyndysynyň iň gowy netijeli ýanmagyny üpjün edýän pursada ýangyç garyndysynyň emele getirilişi diýilýär.

Ýangyç garyndysynyň emele getirilişi boýunça hereketlendirijileri daşky we içki görnüşlere bölýärler.

Ýangyç garyndysyny daşynda emele getirýän IÝH-e karbýuratorly we käbir gaz bilen işleýän hereketlendirijiler degişlidir. Benzinde işleýän hereketlendirijide garyndy karbýuratorda taýýarlanylýar.

Ýönekeý karbýurator shemada (27.2-nji surat) görkezilişi ýaly ýüzgüçli we garyjy boşluklardan (kameralardan) ybaratdyr.



27.2-nji surat. Ýönekeý karbýuratorýň prinsipial shemasy

Ýüzgüçli boşlukda, benziniň hemişe bir derejede saklanylmagyny üpjün etmek üçin şarnir görnüşde oka (3) berkidilen latundan ýasalan ýüzgüç (1) we iňňe görnüşli klapán (2) ýerleşýär.

Garyjy boşlukda diffuzor (6), pürküji (5) bilen žiklýor (4) we drossel ýapgyjy (zaslonkasy) bolýar. Žiklýor, ýangyjyň kesgitli mukdarynyň akmagy üçin içiniň kalibri hasaplanyp, ýasalan deşikli dykydyr.

Haçanda porşen aşaklygyna hereket edende we soruş klapany açyk bolanda ýangyç sorujy turbageçirijide we garyjy boşlukda seýrekleme döräp, basyşyň aratapawut täsiri netijesinde ýüzgüçli we garyjy boşluga pürkujiden benzin akyp gelýär. Şol bir wagtyň özünde garyjy boşlugyň üsti bilen diffuzoryň dar böleginden (pürkujiniň çykýan ýerine) tizligi  $50 \div 150$  m/sek ýetýän howa akymy batly geçýär. Benziniň güýçli howa akymynda ownuk pürkülip, tapgyrlaýyn bugaryp, soruş turba geçirjisi boýunça silindre düşýän ýangyç garyndysyny emele getirýär.

Ýangyç garyndysy kadaly (1 kg benziniň ýanmagy üçin 15 kg howanyň harçlanmagy), garyp (1 kg benzine 17 kg-den köp bolan howanyň berilmegi) we baýlaşdyrylan (1 kg benzine 13 kg-den az bolan howanyň berilmegi) bolup bilýär.

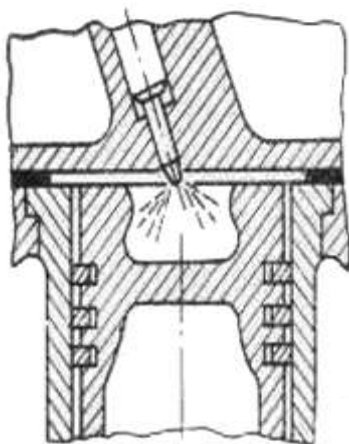
Ýangyç garyndysynyň mukdary we hili, hereketlendirijiniň kuwwaty we aýlaw sany, drossel ýapgyjy, şeýle hem, köp žiklýorly çylşyrymly karbýuratorlarda bolsa, birnäçe ýörite oturdylyan kömekçi enjamlar arkaly düzgünleşdirilýär.

Ýangyç garyndysy içinde emele getirilýän IÝH-lere dizel hereketlendirijileri degişlidir. Şeýle hereketlendirijileriň silindrinde gönüden-göni ýangyç garyndysynyň emele getiriliş pursatyna (prosesine) bary-ýogy 0,05 sekuntan 0,001 sekunda çenli wagt sarp edilýär. Bu pursat bolsa, ýangyç garyndysy daşynda emele getirilýän karbýuratorly hereketlendirijilere garanynda 20-30 esse azdyr.

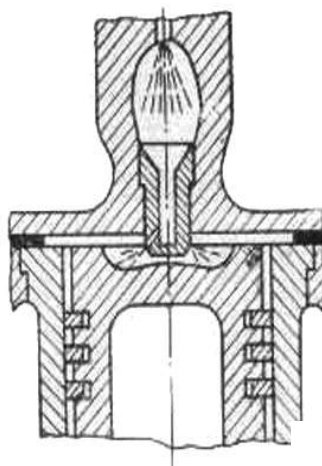
Dizeliň silindrine ýangyjyň berilişi, soňundan pürkülişi we ýanyş kameralaryň göwrümi boýunça bölekleyin paýlanylyşy - ýangyç beriji enjam, nasos we forsunka arkaly amala aşyrylýar. Häzirki zaman dizellerinde soplo deşikleriniň diametri  $0,25 \div 1,0$  mm çenli bolan 10-a çenli forsunka bolýar.

Kompressorsyz dizeller bitewi we aýratyn ýanyş kameraly bolýar. Bitewi ýanyş kamerasy silindriň gapagy bilen porşeniň aralygyndaky bir bitewi göwrümdir. Ýanyş kamerasynyň gurluş görnüşi (formasy), ýagny bu hususanda porşen üstündäki oýtam

çuňlaşma, ýalynyň ýaýraýşy we soplo deşikleriniň sany bilen baglanyşdyrylýar. Bitewi bir forsunkaly kameranyň shemasy 27.3-nji suratda görkezilendir.



27. 3-nji surat. Bölünen ýandyryş kameranyň prinsipial shemasy



27.4-nji surat. Bölünmedik ýandyryş kameranyň prinsipial shemasy

Şeýle ýanyş kameralary öz gurluş aýratynlygy (konfigurasiýasy) mynasybetli, üfleme usulyny ýeňilleşdirilýändigini sebäpli, iki taktly we dört taktly dizellerde giňden ulanylýar. Bitewi kameralarda ýalynyň ýitiligi we uzaga gidijiligi, ýangyjyň pürküş basyşynyň ýokarylygy (60-:-100 MPa ) bilen gazanylýar.

Aýratyn ýanyş kameralary dizellerde ýanyş kamerasynyň umumy göwrümi bir ýa-da birnäçe akabalar (kanallar) arkaly özara birleşdirilen, iki sany deň bolmadyk göwrümlü böleklerden ybaratdyr.

Ýanyş kamerasynyň bir bölegi (esasasy) porşeniň ýokary boşlugynda, beýleki bir bölegi (goşmaçasy) hereketlendirijiniň gapagynda ýerleşýär (27.4-nji surat).

Goşmaça kamera forsunkadan ýangyç pürkülýär we gysyş pursatynda silindrden oňa birleşdiriji kanal arkaly howa hem girýär.

Goşmaça kamerada ýangyjyň diňe biraz bölegi ( $4 \div 8$  %) otlanylýar. Otlanyş netijesinde ol ýerde birden basyş ýokarlanýar we gaz - ýangyç garyndysy esasy kamera batly zyňylýar. Akymyň ýokary tizligi bolany üçin ýangyç ownuk göşrnüşde tozanlanyp pürkölýär, esasy göwrümdäki howa bilen gowy garyşyp, silindrde tutaşýar.

Aýratyn ýanyş kameraly dizelleriň garyndy emele getiriş usullary we silindriň diametri bilen baglylykda birnäçe gurluş aýratynlyklary bardyr: öňürtme kameraly dizeller, tüweleýleýji kameraly dizeller we howa kameraly dizeller. Aýratyn ýanyş kameralarda garyndy emele getirilişiniň ýokary hilliligi üçin forsunka berilýän ýangyjyň basyşyny 8-13 MPa çenli aşaklatmak, şeýle hem dizellerde ýangyjyň has arzan görnüşlerini ulanmak mümkindir.

Gaz bilen işleýän hereketlendirijilerde howpsuzlygy üpjün etmek maksady bilen, gaz görnüşli ýangyç we howa aýry-aýry turbageçirijiler arkaly akdyrylýar. Mundan beýläk garyndy emele getirilişi iki usulda amala aşyrylýar:

-gaz görnüşli ýangyç we howa silindre gelip düşýänçä ýörite garyjyda garyşdyrylýarlar. Silindriň taýýar garyndy bilen doldurylmagy porşen gysyş ýoluna başlamazdan öňürti ýerine ýetirilýär;

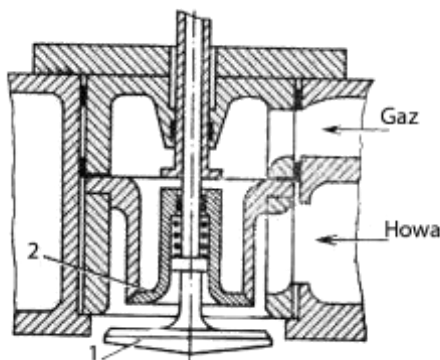
-gaz görnüşli ýangyç we howa silindre aýry-aýrylykda berilýär: Bu ýagdaýda ilki başda silindr howa bilen doldurylýar we ondan soňra porşen gysyş ýoluny geçýärkä, gaz 0,2-0,35 MPa basyş bilen ýörite klapan arkaly berilýär. 27.5-nji suratda iki taraplaýyn gaz garyjy soruş klapany şekillendirilendir.

Onuň aşaky bölegi (tarelkasy) 1 silindr üsti aralygy ýapýar, ýokarky tarelka bolsa, gaz gelýän akabany (kanaly) ýapýar. Haçan-da klapanyň ştogy aşak gaýdanda, ilki bilen howa geçirmek, ondan soňra - gaz geçirmek üçin kese-kesik açylýar. Klapan ýapylanda bu halatlar (operasiýalar) yzygiderlilikde yzlygyna gaýtalanyp geçýär.

Gaz howa garyndysynyň tutaşdyrylmasy elektrik uçguny ýa-da köz ýaly gyzdyrylan tutaşdyryjy şar (togalak düwmejik) arkaly amala aşyrylýar. Gazhowa garyndysynyň tutaşdyrylmasy tutaşdyryjy



suwuk ýangyç arkaly amala aşyrylýan gaz bilen işleýän dizeller hem ulanylýar.



27.5-nji surat. Gazgaryjy sorujy klap

Gaz bilen işleýän dizeliň silindrine gelip düşen gaz howa garyndysynyň temperaturasy gysyşyň soňunda  $500 \div 600^{\circ} \text{C}$  ýeter ýaly edilip gysylýar, ýagny bu ýangyç hökmünde berlen gazyň öz-özünden tutaşma temperaturasyndan az, emma, suwuk ýangyjyň öz-özünden tutaşma temperaturasyndan ýokary bolýar. Porşeniň gysyş ýolunyň soňunda silindre forsunkanyň üsti bilen az mukdardaky suwuk ýangyç pürkülýär we ol öz-özünden tutaşýar hem-de gaz görnüşli ýangyjy otlaýar. Şunlukda gaz bilen işleýän dizelleriň hereketlendirijileri köp ýangyçlydyr: olar bir (düzümlü) komponentli (gaz ýa-da suwuk görnüşli) ýa-da ikeldilen ýangyçly (gaz we suwuk ýangyjyň garyndysy) işlemäge ukyplydyrlar. Bu bolsa olara beýleki hereketlendirijilere garanyňda belli bir derejede artykmaçlyk berýär.

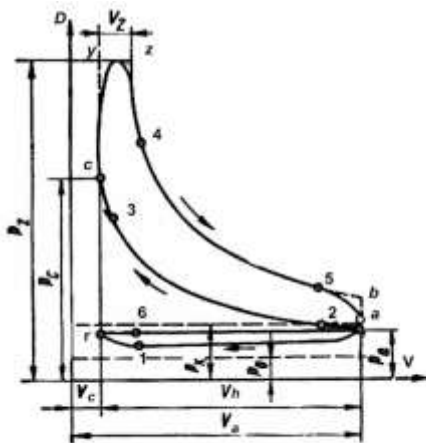
### 27.3. Hereketlendirijileriň indikator diagrammasy we kuwwaty

Hereketlendirijileriň iş prosesleri barada düşünje almak üçin hasaplanylýp alynýan  $pV$  koordinatalarda aňladylýan hyýaly aýlawlary öwrenilýär. Şeýle aýlawlar barada maglumat ýokarda I bölümde berlipdi.

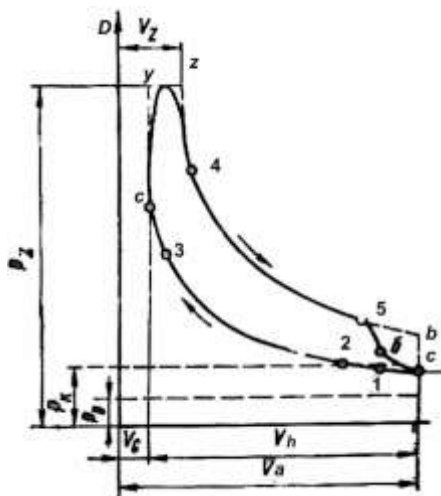
Hereketlendirijilerde bolup geçýän prosesler, işçi aýlawlar nazary hyýaly aýlawlardan tapawutlanýarlar. Dört taktly we iki taktly dizeliň indikator diagrammalary 27.6-nji we 27.7-nji suratlarda görkezilýär.

Suratda deňeşdirmek üçin nazary aýlawlaryň diagrammasy hem görkezilen. Ol üzük çyzyklar bilen görkezilýär. Dört taktly dizeliň diagrammasynda howadan doldurulma prosesiniň dowamlylygy 1-r-6-a-2 çyzyklar bilen görkezilýär. Bu prosesiň dowamlylygy silindri ozalky işlän gazlaryň garyndysyndan arassalamak we ýangyjyň ýanmagy üçin zerur mukdardaky howany üpjün etmek üçin ýeterlikdir. Iki taktly dizell hereketlendirijilerde bu prosesiň dowamlylygy pesräkdir (6-a-2 27.7-nji surat). 27.6-nji suratdan görnüşi ýaly 2-c-howanyň gysylmasy politropiki prosesi boýunça bolýar. Dizellerde gysylma basyşy  $60 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  temperatura bolsa 900 K ululyga ýetýär.

Ýangyjyň ýanma prosesi c-y-z-4 çyzyklar bilen görkezilýär. Bu prosess iki etapdan durýar.



27.6-nji surat. Dört taktly dizel hereketlendirijisiniň indikator diagrammasy



27.7-nji surat. Iki taktly dizel hereketlendirijisiniň indikator diagrammasy

Ilki ýanma prosesi hemişelik göwrümde (c-y çyzyk), soňra bolsa hemişelik basyşda (y-z-çyzyk) bolup geçýär. Çyzgydaky z nokatda silindrde  $P_z$  basyşyň ululygy  $(80 \div 110) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  bolup, ýanma prosesinde temperatura  $T_z = 1800 \div 2100 \text{ K}$  ululyga ýetýär.

Hereketlendirijiler ýokarda belenilişi ýaly, basyşyň ýokarlandyrylyş derejesi diýlen ululyk bilen häsiýetlendirilýär

$$\lambda = \frac{P_z}{P_s}. \quad (27.5)$$

Gazyň giňelmesi 7-5 çyzyk boýunça geçýär. c-y-z aralykda gyzyp ýetişmedik ýangyç z-4 giňelme prosesinde ýanyp ýetişýär.

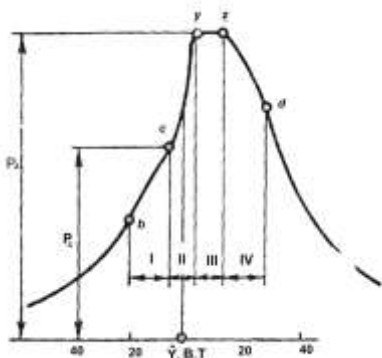
Deslapky giňelme derejesi

$$\rho = \frac{V_z}{V_o} \quad (27.6)$$

formula boýunça hasaplanylýar. Silindriň doly göwrüminiň ýanma prosesiniň soňundaky silindriň göwrümüne bolan gatnaşygyna **soňky deslapky giňelme derejesi** diýilýär

$$\delta = \frac{V_d}{V_z}. \quad (27.7)$$

Çyzgyda 5-1 işlän gazyň çykarylyş prosesini häsiýetlendirýär. Dört taktly dizell hereketlendirijilerde işlän gazyň çykarylyş dowamynda silindrde gazyň basyşy üýtgemeyär diýen ýaly (27.6-nji suratdaky a-1 çyzgy). Iki taktly dizel hereketlendirijilerde bolsa çykaryş äpişgejigiň (klapanlaryň) açylmagy bilen silindrde basyş peselýär (27.7-nji suratdaky 5-nji nokat). Bu görnüşli dizellerde basyş çykaryjy äpişgejik (klapan) ýapylandan soň ýokarlanyp başlaýar (1-nji nokat). Şertleýin, ýanyş prosesini dört döwre bölmek bolýar (27.8-nji surat).



27.8-nji surat. Ýanyş prosesiniň giňişleýin diagrammasy.  $\varphi$  tirsekli walyň öwrülme burçy

**I döwür** - ýanmanyň gijä galma döwri(b-c bilen)

Bu döwürň dowamlylygy 0,001-0,0005 sekunt bolup, tirsekli walyň öwrülme burçy  $10^0$ - $16^0$  deňdir.

**II döwür** - ýanmak (otlanma) döwri we ýangyjyň ýanmasy (c-y bölek) başda kamerada kislorodyň känligi sebäpli ot (ýangyn) ýanyş kameranyň hemme göwrümüne çalt ýaýraýar. Ýylylyk bölünip çykması örän çalt bolup geçýär we porşeniň göwrümünde basyş çalt ýokarlanýar.

**III döwür** - ýanmak prosesiniň dowamy (y-z bölek). Bu döwürde II döwürdäki we bölekleyin III döwürdäki berilen ýangyjyň ýanmasy bolup geçýär. Ýangyjyň damjalarynyň ýanma önüminden doýan sreda bolýandygy üçin yanma prosesiniň intensiwligi haýal bolup geçýär.

**IV döwür** - giňelme. Gyzgynda (z-d bölek) ýangyjyň doly ýanmasy. Hereketlendirijileriň doly ýanma döwri olaryň ýüküniň peselmegi bilen azalýar. Doly ýanma işlenen gazyň temperaturasynyň ýokarlanmagyna getirýär.

Gaz silindrde bir aýlawyň dowamynda peýdaly iş edýär.  $pV$  koordinatada indikator diagrammanyň meýdany bilen kesgitlenilýän iş aşakdaky formula arkaly kesgitlenýär

$$L_i = P_i V_h. \quad (27.8)$$

Işçi jisim tarapyndan ýerine ýetirilýän  $L_i$  işiň silindriň işçi göwrümüne  $V_h$  bolan gatnaşgyna **ortaça indikator basyş  $P_i$**  diýilýär

$$P_i = \frac{L_i}{V_h}. \quad (27.9)$$

Hereketlendirijileriň indikator kuwwaty

$$N_i = \frac{P_i V_h n i}{30 \cdot 10^3 \tau}. \quad (27.10)$$

Bu ýerde

$n$  – aýlanma tizligi,  $\frac{ayl}{min}$  ;

$\tau$  - aýlawyň dowamyndaky taktlaryň sany (dört taktyly hereketlendirijiler üçin  $\tau = 4$ , iki taktyly üçin  $\tau = 2$ );

$i$  - hereketlendirijileriň silindriň sany.

Içinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň tirsekli walyndan alynýan kuwwata hereketlendirijileriň peýdaly kuwwaty ( $N_e$ ) diýilýär. Bu kuwwat hereketlendirijilerdäki hereket edýän detallar

bilen baglanyşykly we kömekçi mehanizmleri herekete getirmek üçin umumy sürtülmä sarp edilýän  $N_m$  mehaniki kuwwatyň üsti bilen aşakdaky ýaly kesgitlenýär:

$$N_e = N_i - N_{meh}. \quad (27.11)$$

$N_e$  peýdaly kuwwatyň bahasyny kesgitlemek üçin ortaça peýdaly basyş diýen düşünje girizilýär:

$$L_e = L_i - L_m = (P_i - P_m)V_h = P_e V_h, \quad (27.12)$$

bu ýerde

$$P_e = P_i - P_m.$$

Bu basyş  $L_e$  peýdaly işiň üsti bilen şeýle kesgitlenýär:

$$P_e = \frac{L_e}{V_h}. \quad (27.13)$$

Ortaça peýdaly basyş hereketlendirijileriň işini ýeke ýylylyk ýitgisi bilen häsiýetlendirmän, eýsem ol, mehaniki ýitgini hem hasaba alýar.

Peýdaly kuwwat edil indikator kuwwat ýaly kesgitlenýär. Diňe tapawudy ortaça indikator basyşyň ( $P_i$ ) ýerine ortaça peýdaly basyş ( $P_e$ ) goýulýar.

## Ýigrimi sekizinji bap.

### İÇINDEN ÝANDYRYLYÁN HEREKETLENDIRIJILERDE ÝYLYLYK PAÝLANMA

#### 28.1. İçinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň ýylylyk balansy

Hereketlendirijilerde ulanylýan ýangyjyň ýylylyk energiýasynyň haýsy böleginiň peýdaly işe harçlanýandygyny we hereketlendirijileriň peýdaly täsir koeffisiýentiniň ululygyny bilmek zerurdyr.

Ol hereketlendirijiler üçin ýörite düzülýän ýylylyk balansynyň üsti bilen hasaplanylýar. Ýylylyk balansy ortaça 1 kg suwuk ýa-da 1 m<sup>3</sup> gaz görnüşindäki ýangyç üçin düzülýär.

Umumy görnüşde ýylylyk balansynyň deňlemesi aşakdaky ýaly aňladylýar

$$Q + Q_h - Q_e - Q_{sow} - Q_g - Q_{gal} = 0, \quad (28.1)$$

bu ýerde

$Q$  - ýangyç ýanandaky bölünip çykýan ýylylyk;

$Q_h$  - silindre howa bilen berilýän ýylylyk;

$Q_e$  - peýdaly işe öwürülen ýylylyk;

$Q_{sow}$  - sowadyjy suwa berilýän ýylylyk;

$Q_g$  - tüsse bilen, ýagny, işlän gaz bilen hereketlendirijiden daşaryk zyňylýan ýylylyk.

Ýangyç ýanandaky bölünip çykýan ýylylyk şu formula boýunça hasaplanylýar:

$$Q = B^y q_a^i. \quad (28.2)$$

$B^y$  – ýangyjyn massalaýyn harçlanmasy, kg/s. Bu ululyk tablisanyň ýa-da tejribäniň üsti bilen kesgitlenilýär.

$q_a^i$  - işçi ýangyç ýananda bölünip çykýan aşaky udel ýylylygy,

$$\frac{kJ}{kg}.$$

Eger-de  $\tau$  wagtyň dowamynda sarp edilen howanyň  $B_0$  ululygy belli bolsa, onda  $B^y$  ululygy aşakdaky formula arkaly kesgitlemek bolar

$$B^y = \frac{B}{3600 \cdot \tau}. \quad (28.3)$$

Howa bilen silindre berilýän  $Q_h$  ýylylyk aşakdaky formula bilen aňladylýar

$$Q_h = G_{mh} \cdot c_p \cdot t_h. \quad (28.4)$$

$G_{mh}$ -dizele berilýän howanyň massalaýyn harçlanmasy  $\frac{kg}{s}$ ;

$c_p$ -ululyk  $t_h$  – temperaturadaky howanyň ortaça udel ýylylyk sygymy  $\frac{kJ}{kg \cdot grad}$ ;

$t_h$  – silindre berilýän howanyň temperaturasy:  $^{\circ}C$

Sowadyjy suwa berilýän ýylylyk

$$Q_{sow} = G_{ms} c (t_2 - t_1). \quad (28.5)$$

$G_{ms}$  – sowadyjy suwuň massalaýyn harçlanmasy,  $\frac{kg}{s}$ ;

$c$  – suwuň ortaça udel ýylylyk sygymy,  $\frac{kJ}{kg \cdot grad}$ ;

$t_1$  we  $t_2$  dizeliň girişindäki we çykyşyndaky suwuň temperaturasy,  $^{\circ}C$ .

Tüsse bilen, ýagny, işlän gaz bilen ýitirilýän ýylylyk

$$Q_g = v_g c_g (t_g - t_0) \cdot B^y. \quad (28.6)$$

bu ýerde



$\nu_g$  – tüssäniň udel göwrümi,  $\frac{m^3}{kg}$ ;

$c_g$  – tüssäniň hemişelik basyşdaky udel ýylylyk sygymy,  $\frac{kg}{m^3 \cdot grad}$ ;

$t_g$  – gaz çykaryjy kollektordaky tüssäniň temperaturasy,  $^{\circ}C$ ;

$t_h$  – daşky howanyň temperaturasy,  $^{\circ}C$ .

Hereketlendirijileriň iş prosesinde ýitirilýän, hasaba alynmaýan ýylylygyny şu formula arkaly kesgitläp bolar:

$$Q_{gal} = Q - (Q_h + Q_{sow} + Q_g). \quad (28.7)$$

Ýokarky (28.1) deňlemede hasaba alynmaýan  $Q_{meh}$  sürtülme bilen baglanyşykly ýylylyk ýitgisiniň esasy bölegi hereketlendirijide peýdalanylýan sowadyjy ýag we suw arkaly ýitirilýän ýylylyk hasaplananda göz önünde tutulýar. Galan bölegi bolsa, (28.7) formula arkaly hasaba alynýar.

Aşakdaky tablisada dürli görnüşli dizeller üçin ýylylyk balansyň aýry-aýry düzüjileriniň % hasabyndaky ululyklary görkezilýär.

1-nji tablisa.

Balansyň düzüjileri, %	Dizeller	Karbýuratorly hereketlendirijiler
Peýdaly ýylylyk	32 ... 45	18 ... 25
Sowadyjy suw bilen ýetirilýän ýylylyk	20 ... 35	15 ... 25
Tüsse bilen ýetirilýän ýylylyk	25 ... 40	25 ... 50
Beýleki ýylylyk ýitgileri	5 ... 8	3 ... 50

## 28. 2. İçinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň tehnik - ykdysady görkezijileri

Hereketlendirijileriň kämillik derejesini olaryň indikator we peýdaly görkezijileri, şeýle hem ýangyjyň udel harçlanmasy häsiýetlendirýär. Bilşimiz ýaly, indikator görkezijilere indikator iş, indikator kuwwat, şeýle hem aşakdaky formula bilen hasaplanylýan hereketlendirijileriň indikator PTK girýär:

$$\eta_i = \frac{N_i}{Q} = \frac{N_i}{B^{\dot{y}} \cdot q_n} \quad (28.8)$$

Karbýuratorly hereketlendirijileriň indikator PTK-sy  $\eta_i = 0,25 \div 0,35$ ; dizeller üçin bu san  $\eta_i = 0,4 \div 0,48$  baha eýedir.

Peýdaly görkezijilere peýdaly kuwwat girýär. Peýdaly kuwwatyň indikator kuwwata bolan gatnaşygyna **mehaniki PTK** diýilýär

$$\eta_{mex} = \frac{N_e}{N_i} \quad (28.9)$$

Ol indikator kuwwatyň 10-32%-ni düzýär.  $\eta_i = 0,7 \div 0,9$

Peýdaly PTK aşakdaky formula bilen kesgitlenýär

$$\eta_e = \frac{N_e}{B^{\dot{y}} \cdot q_n^i} \quad (28.10)$$

Peýdaly we indikator peýdaly täsir koeffisiýentleriniň özara baglanyşygy aşakdaky ýalydyr:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_{meh} \quad (28.11)$$

Karbýuratorly hereketlendirijileriň netijeli PTK-sy  $\eta_i = 0,21 \div 0,28$ , dizelleriňki bolsa  $\eta_i = 0,3 \div 0,42$  aralykdadyr.

Indikator we peýdaly ýangyç harçlanmalaryny tapawutlandyrýarlar. 1KWt-sag-da indikator ýangyç harçlanmasy aşakdaky formula bilen kesgitlenýär:

$$b_i = 3600 B^y / N_i . \quad (28.12)$$

Edil şonuň ýaly, peýdaly ýangyç harçlanmasy üçin

$$b_e = 3600 B^y / N_e . \quad (28.13)$$

Bellenen kadada dürli görnüşli hereketlendirijileriň ýangyjy udel peýdaly harçlamasy we PTK-lary aşakdaky 28.2-nji tablisada görkezilýär.

28.2-nji tablica

Hereketlendirijileriň görnüşleri	$b_e, \frac{kg}{kWt \cdot sag}$	$\eta_e, \%$
Öz-özünden ot alýanly	0,190 ... 0,250	35 ... 45
Karbýuratorly	0,310 ... 0,430	18 ... 25

IÇINDEN ÝANDYRYLYÄN HEREKETLENDIRIJILERIŇ  
ESASY BÖLEKLERI WE OLARYŇ  
KÄMILLEŞDIRILIŞI

29.1. Içinden ýandyrylýän hereketlendirijileriň esasy bölekleri

Hereketlendirijiler birnäçe mehanizmlerden, birnäçe müňläp ownuk we iri detallardan durýan çylşyrymly gurluşdyr. Olar esasan, biri-birleri bilen baglanyşykly aşakdaky esasy böleklerden durýar: kriwoşip-şatun mehanizmden, korpusdan, gaz paýlaýjy mehanizmden, iýmitlendiriji ulgamdan, ýaglaýjy we sowadyjy ulgamdan hem-de kömekçi enjamlardan durýar.

Kriwoşip-şatun mehanizmler-porşenden, tirsekli waldan we mahowikden ybaratdyr. Hereketlendirijileriň korpusy podşipnikli çarşuwadan (ramadan), karterden, wtulkalardan we silindrleriň gapaklaryndan ybarat silindr bloklaryndan durýar.

Gaz paýlaýjy mehanizme paýlaýjy wal, şesterneler, klapanlar, ryçaglar, itijiler we başgalar degişlidir.

Iýmitlendiriji ulgamlara ýangyç gaby, süzgüçler, ýangyç nasoslary, forsunka, karbýurator, ýangyç geçirijiler we başgalar girýärler.

Ýaglaýjy we sowadyjy ulgamlara hem-de kömekçi gurluşlara girýän elementler barada aşakda durup geçeris.

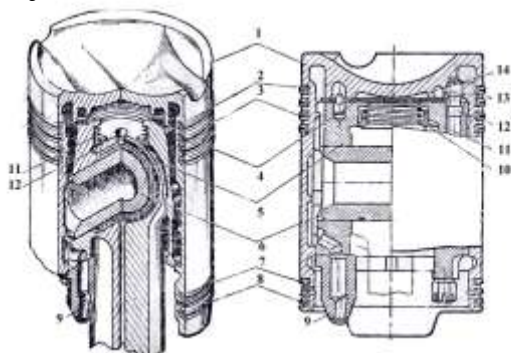
**Şatun-kriwoşip mehanizmi** hereketlendirijilerde porşeniň hereketini tirsekli walyň aýlanma hereketine geçirmek we ähli silindrleriň kuwwatyny jemlemek üçin peýdalanylýar.

Porşen mehaniki we ýylylyk täsirine döz gelýän, oňa täsir edýän güýçleriň dördýän deformasiýasy uly bolmadyk gyzgyna çydamly materiallardan ýasalýar. Porşeniň ýanyş kamerasyny sybyzgy ýapyp, oňa ýagyň düşmesiniň önüni almalydyr.

Porşeniň düýbünden ýylylygyň çalt äkidilmeginden we porşen halkasynyň zolagyny aşa gyzmakdan goramalydyr. Porşene gazyň täsir edýän güýji şatuna we tirsekli wala geçirilýär.

Тепловоz dizellerinde porşenler tutuş alýuminden ýa-da alýumin splawyndan, çoýundan we gyzgyna çydamly platinadan ybarat düzümden ýasalýar.

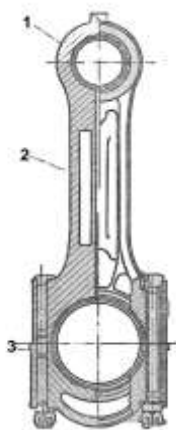
Porşenini düýbünüň formasy ýanyş kamerasynyň görnüşine görä ýasalýar (29.1-nji surat).



29.1-nji surat. Dizeliň porşeni

Porşeniň halkasynyň esasy wezipesi ýanyş kamerasyndan gazy kartere geçirmezlikden, porşenden silindr wtulkanyň diwaryna ýylylyk geçirmekden, şeýle hem ýokarda bellenişi ýaly ýanyş kamerasyna ýagyn düşmesiniň önüni almakdan ybaratdyr.

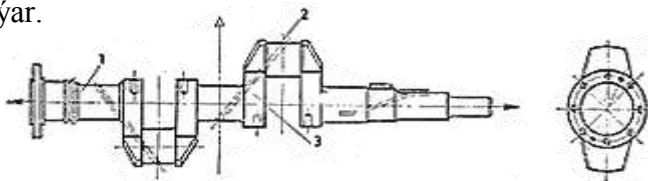
Porşen bilen hereketlendirijileriň şatuny porşen barmagy diýlip atlandyrylýan şaý arkaly birleşdirilýär. Porşen barmaklary iki görnüşde bolýar. Ýüzýän we berkidilýän. Häzirkizaman hereketlendirijilerde esasan porşen barmaklarynyň ýüzýän görnüşleri ulanylýar. Şatun (29.2-nji surat) hereketlendiriji işleýän wagty inersiýa güýjüniň we gazyň basyş güýjüniň üýtgeýän täsiriniň astynda bolýar. Ol ýokarky (1) we aşaky (2) başjagazdan we sterženden (3) durýar. Ýokarky başjagaza porşenli, aşakka bolsa kriwoşipli başjagaz diýilýär. Şatun. porşeniň täsir edýän güýjüni tirsekli wala geçirýär.



29.2-nji surat. Şatun

Tirsekli wal (29.3-nji surat) düýli oňat ýylmanan (1) we şatun (2) boýunjyklardan (şeykilyryndan), ýaňaklardan (3), şeýle hem, agram garşylyklaryndan durýar.

Aýlanýan tirsekli wala gazyň basyş inersiýa güýji we towlaýjy momenti täsir edýär. Tirsekli wala inersiýa güýjüniň täsirini peseltmek üçin walda agram garşylyklary oturdylýar. Tirsekli wal öz esasy wezipesi bolan mahowigi aýlamak bilen çäklenmän, ol sazlaýjy nasoslaryň we kömekçi mehanizmleriň paýlaýjy wallaryny hem aýlaýar.



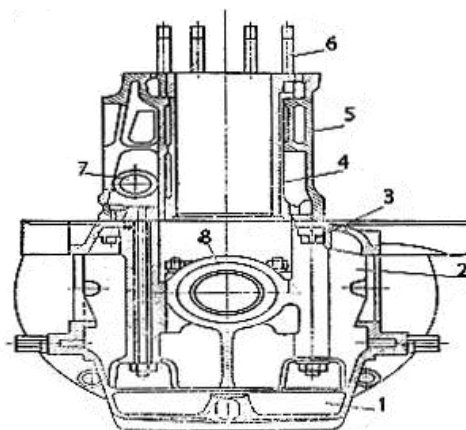
29.3-nji surat. Hereketlendirijiniň tirsekli waly

Tirsekli walyň materialy gurluş we tehnologik nukdaýnazardan saýlanyp, dürli dizeller üçin dürlüdürler. Käbir dizelleriň tirsekli waly gysyjylaryň we kuwaldalaryň kömegi bilen polatdan ýenjilip ýasalsa, käbirleri guýma esasyda ýasalýar. Polady guýmak arkaly çylşyrymly görnüşli waly ýasamagyň tehnologik tarapdan kynlygy üçin polat çöýün bilen çalşyrylýar. Şeýle walyň berkligi polatdan ýasalan wallaryň berkligidin pes dälir.

Mahowik hereketlendirijileriň işleýşiniň näsazlygyny azaldýar, porşenleri butnawsyz nokatlardan çykarýar, hereketlendirijileriň işläp başlamagyny ýeňilleşdirýär we ulaglaryň duran ýerinden endigan ugramagyna kömek edýär.

**Dört taktly hereketlendirijileriň korpussy** 29.4-nji suratda görkezilýär. Suratdan görnüşi ýaly, korpus silindriň blogundan (5), şpilkadan (3), karterden (2), ýygnaýjydan (1) durýar.

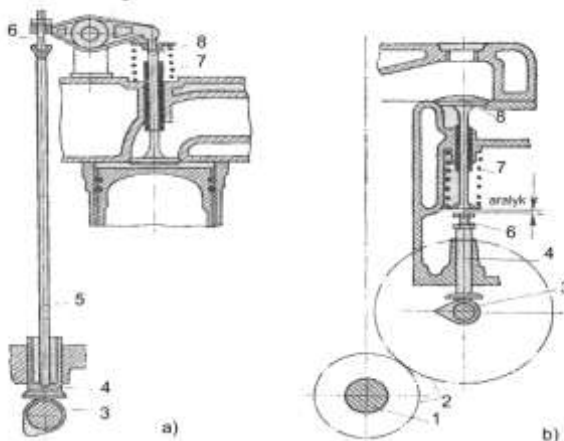
Silindrleriň blokly karter bilen anker arkaly baglanyşdyrylýar. Blokda gysyjyda gysylýp ýasalan silindr gilzalary ýerleşýär (4). Silindriň diwary bilen gilzanyň arasyndaky giňişlige **sowadyjy suw köýnegi** diýilýär. Düýp podşipnikler (8) karteriň kese germewlerinde ýerleşdirilýär. Silindr bloguň çep tarapynda paýlaýjy wal (7), goýberiji wal, çykyş klapanlary herekete getiriji mehanizm ýerleşdirilýär. Korpussyň gapaklary şpilkalar (6) bilen berkidilýär.



29.4-nji surat. Dört taktly hereketlendirijiniň korpusy

**Gaz paýlaýjy mehanizmler** her işçi aýlawyň dowamynda klapalaryň (äpişgejikleriň) gerek wagty açylmagyny ýa-da ýapylmagyny üpjün edýär. Eger-de, klapa silindriň gapagynda ýerleşdirilen bolsa, onda oňa ýokarda ýerleşdirilen klapanyň gaz paýlaýjy mehanizmi diýilýär (29.5 a surat) .

Eger-de, klapalary silindriň blogunda ýerleşdirilýän bolsa, onda oňa aşakda ýerleşdirilen klapanyň gaz paýlaýjy mehanizm diýilýär (29.5 b surat). Köplenç hereketlendirijilerde ýokarda ýerleşdirilen (asmaly) klapanyň gaz paýlaýjy mehanizmler ulanylýar.



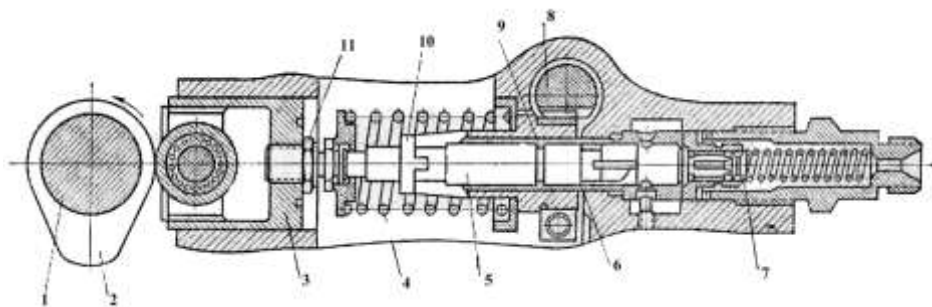
29.5-nji surat. Gaz paýlaýjy mehanizmiň shemasy

Hereketlendirijileriň iýmitlendiriji ulgamyna ýokary we pes basyşly ýangyç nasoslary, ýangyjy arassalaýjy süzgüçler, aýlanma ulgamynda basyşy sazlaýjylar girýär.

Iýmitlendiriji ulgamyn esasy wezipesi dizeliň ýüküne degişlilikde ýangyjy her aýlawda kesgitli, gerek mukdarda bermekden, ýangyjy öz wagtynda, porşen butnawsyz nokada ýetmänkä bermekden, gerek wagtynda ýangyjy kadaly pürkmekden, ýangyjy oňat tozanlandyrmakdan we ýangyjy ýanyş kameranyň göwrümi boýunça endigan paýlamakdan ybaratdyr.

Häzirki peýdalanylýan hereketlendirijilerde esasy ulanylýan paýlaýjy mehanizm zolotnik görnüşli ýokary basyşly ýangyç nasoslary ulanylýar.

Şeýle nasos 29.6-njy suratda görkezilýär.



29.6-njy surat. Ýangyç nasosy

Hereketlendirijiniň tirsekli waly arkaly aýlanma hereketine getirýän ýumruk şekilli waljagaz (1) aýlananda onuň ýumrujygy (2) itekleýjiniň roligine (3) direlýär we nasosyň plunžerini (5) ýokaryk süýşürýär. Plunžeriň yzyna bolan hereketi gysylan puržin (4) arkaly amala aşyrylýar. Gilza dykyz galtaşýan plunžer, gilze bilen plunžer goşasy diýilip atlandyrylýan bitewiligi emele getirýär. Nasosyň ýokarky böleginde soruş klapan (7) ýerleşdirilýär.

Plunžer aşak hereket edende plunžeriň ýokarsyndaky emele gelen giňişlikde seýreklenme (wakuum) döreýär we gilzalarda göz önünde tutulan yşlar arkaly kollektordan ýangyç giňişlige sorulýar.



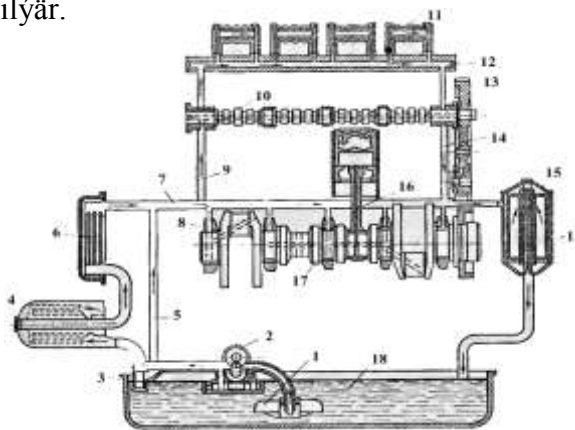
Plunžer aşaky ýagdaýda bolanda plunžeriň ýokarsyndaky boşluk tozanlandyrylan ýangyçdan dolýar. Plunžer ýene-de ýokaryk hereket edende plunžeriň gyrasy ýslara böwet bolýar we çykyş klapanyň hem-de ýokary basyşa çydamly turba geçirijiniň üsti bilen ýangyç forsunka berilýär.

Berilýän ýangyjyň mukdarynyň sazlanmasy plunžeriň öwrülmesi arkaly amala aşyrylýar. Ony öwürmek üçin plunžeriň aşaky böleginde guýrujyk (10) göz önünde tutulýar. Guýrujyk dişli reýka (8) bilen berkidilen dişli, täçli öwrülýän wtulkanyň (9) wertikal ýşyna girýär.

Reýka aýlawy awtomatik sazlaýjynyň täsiri bilen herekete gelýär, wtulkany öwürýär. Ol bolsa nasosyň plunžeriniň öwrülmeğine getirýär.

**Ýaglaýjy ulgam.** Hereketlendirijide uly tizlik bilen hereket edýän porşeniň we beýleki öňe-yza we aýlanma herekete gatnaşýan şaýlaryň arasynda sürtülme döreýär. Sürtülmäni azaltmak üçin olaryň galtaşýan üstleri yzygiderli ýaglanyp durulmaly. Ýaglaýjy ulgamyň dürli görnüşleri bar. Meselem, basyş arkaly ýag aýlanýan, pürkülýän we ikisi bilelikde peýdalanylýan (kombinirlenen) ulgam. Häzirki zaman içinden ýandyrylýan hereketlendirijilerde köplenç kombinirlenen ýaglaýjy ulgam peýdalanylýar.

Çalt hereketli dizeliň kombinirlenen ýaglaýjy ulgamy 29.7-nji suratda görkezilýär.



29.7-nji surat. Kombinirlenen ýaglaýjy ulgamyň shemasy

Ýag gapdan (18) şesterýonkaly (dişli) nasos arkaly (2) gözenekli ýag kabul edijiniň (1) üsti bilen ýag magistralyna (7) berilýär. Ýag magistrala barmazdan öň ýag süzujiniň (4) we sowadyjynyň (6) üstünden geçýär. Hereketlendiriji işe girizilende entek ýag sowukka awtomatik ýagdaýda klap (3) açylýar we nasosdan turba (5) arkaly sowadyja barman göni magistrala berilýär. Magistraldan (7) ýag düýp podşipnige (8) gelýär we (9) kanal (akaba) arkaly paýlaýjy wala (10) berilýär. Ýörite göz önünde tutulan kanal (akaba) (12) ýagyň klaplary herekete getiriji waljagazlaryň egnine (koromyslosyna) (11) geçirilmegi üçin niýetlenilýär. Paýlaýjy walyň (10) şesternýasy (dişli çarhy) (13) ýörite edilen yşyň üsti bilen (14) kanal arkaly ýaglanýar. Düýp podşipnikden ýag tirsekli walyň (17) deşijekleri arkaly şatunlaryň aşaky başjagazlaryna berilýär. Porşen barmaklary bolsa, şatunyň sterženiniň kanaly (16) arkaly ýaglanýar. Magistraldan (7) ýagyň uly bolmadyk bölegi, ýagy pugta süzgüçden (15) geçip gaýtadan gaba (18) guýulýar. Hereketlendiriji işleýän wagty podşipnikleriň ýslaryndan çykýan ýaglar çalt aýlanýan tirsekl wal arkaly pürkülýär we silindrleriň diwarlary we beýleki herekete gatnaşýan şaýlaryň üstleri ýaglanýar.

Hereketlendirijileriň kadaly işlemegi, gyzmazlygy üçin olar ýörite usullar arkaly sowadylýar. Gyzgyn gazyň we sürtülmaniň täsiri bilen şaýlar gyzmaz ýaly olar sowadyjy howa ýa-da suwuklyk akymy bilen sowadylýar.

Hereketlendirijiler esasan suwuklyk ýa-da howa arkaly sowadylýar. Işçi jisimi howa bolan sowadyjy ulgamlar has ýönekeý bolup, wentilýator arkaly daşyndan sorulýan howa silindrlere, olaryň başjagazlaryna berilýär. Emma, howanyň ýylylyk sygymynyň pesligi üçin netijeli sowadylyşy üpjün etmek üçin silindrleriň we olaryň başjagazlarynyň ýylylyk çalşyjy üstleriniň meýdany gapyrgalanmak arklaly ýokarlandyrylmalydyr.

Hereketlendirijileri howa arkaly sowatmaklyk howanyň ýylylyk sygymynyň kiçiligi we ony hereketlendirmäge energiýanyň köp sarp edilýändigini üçin kuwwaty 445 - 520 kWt-dan uly bolmadyk hereketlendirijilerde peýdalanylýar.

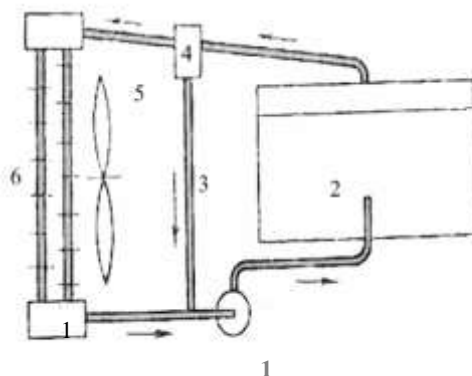
Howa arkaly sowadylýan hereketlendirijiler motorlarda, awtomobil hereketlendirijileriniň käbir görnüşlerinde ulanylýar.

Suw arkaly sowatmak hereketlendirijileriň işini kadalylygyny üpjün edýär. Şeýle sowadylyş ulgamy silindriň sany islendik bolan kuwwatly hereketlendirijiler üçin ulanylyp bilner.

Suw arkaly sowadylyş ulgamy has çylşyrymly bolup, bu ulgama nasoslar, ýylylygy sazlaýjy gurluşlar, ýylylyk çalşyjylar we turbageçirijiler girýärler. Bu bolsa hereketlendirijileriň massasyny we ölçegini ýokarlandyrýar.

Hereketlendirijileri sowatmak üçin suw ulanylanda ýene bir kynçylyk ýüze çykýar. Ol bolsa howanyň otrisatel temperaturasynda suwuň doňmak howpudyr. Şeýle hem, suwuň hiline uly üns berilmegindedir. Onda mehaniki garyndy bolmaly däl, şeýle hem onuň gatylyk derejesi ýokary bolmaly däl. Başgaça aýdylanda ulanylýan suw üstlerde joş emele getirmeli däl.

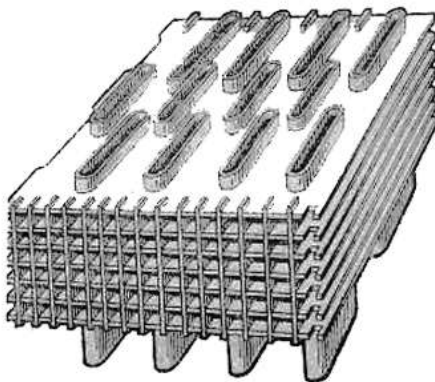
Köplenç hereketlendirijilerde ýörite mejbury aýlawly sowadylyş peýdalanylýar. Ulag hereketlendirijilerinde ulanylýan aýlawly sowadylyşyň shemasy 29.8-nji suratda görkezýär.



29.8-nji surat. Aýlawly sowadylyşyň shemasy

Shemadan görnüşi ýaly, suw hereketlendirijä (2) merkezden daşlaşýan nasos (1) arkaly berilýär. Hereketlendirijilerden suw termostatyň (4) we turbanyň (5) üsti bilen radiatora (6) geçirilýär. Sowadyjy suwuň temperaturasy pes bolanda bolsa suw termostat arkaly awtomatiki ýagdaýda turba (3) boýunça radiatora berilmän, göni nasosa goýberilýär, ondan soň bolsa hereketlendirijä berilýär. Termostat sowadylyşyň temperatura kadasyny sazlaýar.

Radiatora berilýän gyzgyn suw daşky howa akymlary arkaly sowadylýar. Radiatordan akýan suwuň gerek kada çenli sowadylmagy üçin radiatoryň ýylylyk çalşyjy üsti we onuň materialy hasaplanyp kesgitlenilýär, şeýle radiatorlaryň biriniň görnüşi 29.9-njy suratda görkezilýär.



29.9-njy surat. Turbinaly radiator.

Häzirkizaman uly kuwwatly hereketlendirijilerde adatça işçi silindrleriň porşenleri hem sowadylýar. Olar üçin ýag arkaly sowadylma peýdalanylýar. Ýag bolsa öz gezeginde suw – ýag ýylylyk çalşyjylarda sowadylýar.

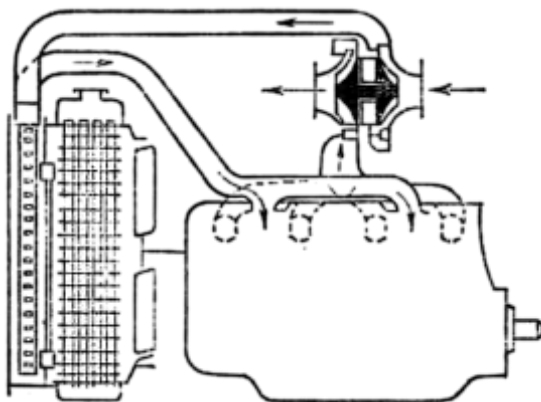
Suwa we radiatora berilýän ýylylygy azaltmak, umumy sowadylyşyň netijeliligini ýokarlandyrmak üçin ýokary temperaturaly sowadylyş peýdalanylýar. Şeýle sowadylyşda suwuň temperaturasyny  $100^{\circ}\text{C}$ -den ýokarda saklanylýar.

Ýokarda bellenilişi ýaly, käbir dizellerde ýokary temperaturaly gysylan ýanyjy garyndynyň öz-özünden otlanmasy bolup geçýär. Korbýuratorly we gaz hereketlendirijilerinde silindrde gysylan işçi garyndy elektrik uçgunlarynyň kömegi bilen ýakylýar.

## 29.2. Hereketlendirijileriň kämilleşdirilişi

Hereketlendirijileri kämilleşdirmegiň esasy maksady olaryň kuwwatyny ýokarlandyrmak we dürli klimat şertlerde olaryň işleýiş mümkinçiliklerini gowylandyrmakdan ybaratdyr.

Hereketlendirijileriň kuwwatyny ýokarlandyrmak üçin silindre kompressor tarapyndan ýokary basyşa çenli gysylan, soňra bolsa sowadylan howa berilýär. Şeýle usul gaz turbina çişirilmesi diýlip atlandyrylýan usul bilen amala aşyrylýar (29.10-nji surat).



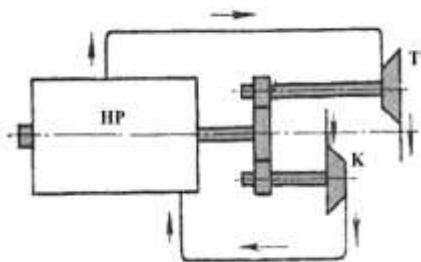
29.10-nji surat. Gaz turbina çişirilmeli hereketlendirijileriň shemasy

Hereketlendirijiniň silindrine barýan howanyň massasynyň ýokary basyş arkaly artdyrylmagyna we şol bir wagtyň özünde howa berilende ýangyjyň berlişine, köpeldilmegine **çişirilme** diýilýär. Ýokarda bellenişi ýaly, üflenilýän howanyň basyşy ýörite kompressor arkaly ýokarlandyrylýar. Kompressor bolsa gaz turbinaýyň kömegi bilen işledilýär. Gaz turbina bolsa öz gezeginde işlän gazyň energiýasynyň hasabyna herekete gelýär.

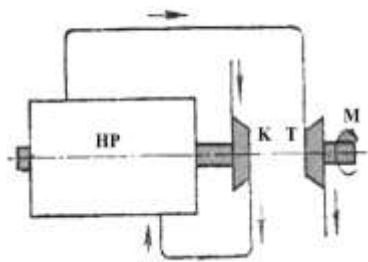
Adatça dört taktly dizellerden çykýan işlän gazyň energiýasy kompressorda çişirilme üçin howanyň gerek basyşyny almaga ýeterlikdir. Emma kompressordan çykýan ýokary basyşly howany dizele bermek bolmaýar. Sebäbi kompressorda gysylýan howanyň

basyşynyň ýokarlanmagy bilen onuň temperaturasy ýokarlanýar. Başgaça aýdylanda kompressordan çykan howanyň dykzylygy peselýär we dizeliň silindrlerine ýeterlik mukdarda howany eltmek kynlaşýar. Şonuň üçin kompressordan çykýan howa ýörite ýylylyk çalyşyjylaryň kömegi bilen sowadylyp dizele berilýär. Ýylylyk çalyşyda howa nasos arkaly hereketlendirilýän suw bilen sowadylýar. Howa sowadyjy radiatoryň konturyndan akýan suw öz gezeginde atmosfera howasy arkaly sowadylýar.

Içinden ýandyrylýan hereketlendirijileri kämilleşdirmek üçin işlenen gazyň energiýasyny turbinada doly we netijeli ulanmak zerur. Şeýle ýagdaýda çişirilmäniň gerek basyşyny almak üçin kompressoryň ýeterlik kuwwaty üpjün edilýär. Şondaky artykmaç kuwwat dizeliň tirsekli walyna berilýär. 29.11-nji suratda kombinirlenen hereketlendirijiniň shemasy görkezilýär. Eger-de içinden ýandyrylýan porşenli hereketlendirijiniň kuwwaty kompressory işletmäge harçlanýan bolsa, onda işlenen gazyň enegiýasyny peýdalanýan turbinanyň walyndan kuwwat alandaky hereketlendirijilere gazyň porşenli, generatorly gaz turbina enjamy diýilýär (29.12-nji surat).



29.11-nji surat. Kombinirlenen hereketlendirijileriň shemasy



29.12-nji surat. Gazyň porşenli, generatorly gaz turbina enjamynyň shemasy

Seredilýän hereketlendirijileriň esasy artykmaçlygy walyň aýlanma ýygylgynyň üýtgemegi bilen turbinanyň aýlanma momentiniň oňaly üýtgemegidir. Aýlanma ýygylgynyň peselmegi

bilen aýlanma moment üznüksiz ýokarlanýar. Gaz turbina çişirilme ulgamyny hyjuwly (çykaryjy kollektorlarda gazyň basyşy üýtgeýär) we izobaraly (çykaryjy kollektorda hemişelik basyşly) görnüşlere bölýärler.

Izobaraly çişme ulgamy gurluş nukdaýnazardan has ýönekeýdir, emma, hyjuwly gaz turbinada çişme ulgamyna görä gazyň energiýasynyň ýitgisi has uludyr.

Dizelleriň köpüsi hyjuw ulgamly gaz turbinaly çişme bilen abzallaşdyrlan. Bularda turbinanyň kuwwaty izobaraly ulgama garanyňda has ýokary bolýar.

Hyjuwly çişme ulgamyny dogry taslananda silindri täze howa zarýady bilen doldurmaga, dizeliň şaýlarynyň temperaturasyny gerek temperatura çenli peseltmäge mümkinçilik berýär. Şeýle çişirmeli dizellerde iş kadasy üýtgändäki geçiş prosesiniň dowamlylygy azalýar. Bu bolsa dizeliň işlemegi üçin oňaýly ýagdaý döredýär.

Silindrde gaz çalyşmasyny gowulandyrmak üçin hyjuw çişirmeli gurluşyň çykaryjy turbajygy soplala bilen gutarar ýaly edýärler. Şeýle bolanda soplanyň kesiginde gazyň statiki basyşy peselýär we akymalarynyň özara ežektirlenmegi bolup geçýär.

Ulaglarda peýdalanylýan dizellerdäki turbokompressorlar iki görnüşe bölünýär:

- pes kuwwatly çişirilme üçin (1100kWt-a çenli) radial-ok merkeze ymtylýan turbinaly (turbinanyň işçi tigriniň diametri 180mm-den pes) turbokompressorlar;

- kuwwaty 1100 kWt-dan ýokary dizellerde peýdalanylýan çişirilme üçin okly turbinaly turbokompressorlar.

## **VII BÖLÜM**

### **KOMPRESSOR DESGALARY**

#### **Otuzynjy bap. KOMPRESSOR DESGALARY BARADA UMUMY DÜŞÜNJE**

##### **30.1. Kompessor maşynlarynyň toparlara bölünişi**

Kompessor maşynlary gysylýan we gysylmaýan suwuklyklary (gazlary) gerek basyşa çenli gysmak hem-de olary kesgitli berlen aralyga çenli geçirmek üçin peýdalanylýar.

Kompessorlar niýetlenilişine baglylykda howa we gaz (kislorod) kompessor maşynlaryna bölünýär. Köplenç kompessorlar gysylan howany almak üçin peýdalanylýar. Senagatda peýdalanylýan howa gysyjy kompessorlarda gysylan howanyň basyşy 5,0 MPa çenli ýokarlandyrylýar.

Gysylan howa metallurgiýada domen we marten peçlerinde ýangyjyň gowy ýanmagy üçin peýdalanylýar.

Lokomotiwlerde we beýleki käbir ulaglarda peýdalanylýan dizellerde hem-de hereketlendirijilerde kompessorlar çişirilme üçin peýdalanylýar (6-njy bölüme seret), olaryň kuwwatyny ýokarlandyrmakda esasy orny eýeleýär.

Pnewmomehanizmlerde, pnewmogöterijilerde, pnewmo-çekiçlerde we dürli görnüşli stanoklarda gysylan howa olaryň işlemegini üpjün edýän energiýa geçirijileri görnüşinde peýdalanylýar.

Däne-däne, biri-birine ýelmeşmeýän materiallary aralyga geçirmek gysylan howanyň üsti bilen amala aşyrylýar.

Kompessor maşynlary esasan hem gaz geçirijilerinde tebigy gazy aralyga geçirmek üçin giňden peýdalanylýar. Biziň ýurdumyzda gije-gündiziň dowamynda millionlarça m<sup>3</sup> tebigy gazy 100-150 km aralyga geçirmäge ukyply, ýokary kuwwatly gaz kompessor stansiýalary peýdalanylýar. Şeýle kompessor stansiýalary arkaly biziň güneşli ýurdumyzyň tebigy gazyny daşary ýurtlara geçirmäge mümkinçilik bar. Häzirki, uzynlygy 7000 km bolan Türkmenistan-Hytaý Halk Respublikasy arasyndaky gaz geçirijisiniň



taslamasy boýunça ýokary kuwwatly gaz kompressor stansiýalary göz önünde tutulýar.

Işleýiş düzgünleri boýunça porşenli (göwrümleýin) kompressorlary we turbokompressorlary tapawutlandyrlarlar.

Porşenli kompressorlarda howa ýa-da gaz (suwuklyk) gaba (silindre we başgalara) sorulýar we porşeniň ýa-da plastinkalaryň kömegi bilen ol gerek basyşa çenli gysylýar.

Çalt aýlanýan diskleriň, pilçeleriň kömegi bilen işçi jisimiň gerekli basyşy üpjün edýän kompressorlara **turbokompressorlar** diýilýär.

Akymyň ugruna baglylykda kompressorlary merkezden daşlaşýan we okly kompressorlara bölýärler. Merkezden daşlaşýan kompressorlarda aýlanýan işçi tigire radial ugur (merkezden gyra tarap), okly kompressorda bolsa oka parallel ugur boýunça ugrukdyrylýar.

Bu kompressorlarda uly tizlik bilen çüwdürilip akýan akymyň esasy akym bilen garylýp oňa goşmaça tizlik bermek we netijeleýji tizligi ýokarlandyrmak düzgüni ulanylýar.

Basyşyň ýokarlandyryş derejesi boýunça turbokompressorlar wentilýatorlara ( $\lambda \leq 1,15$ ), howa ýa-da gaz üfleýjilere ( $\lambda > 1,15$  gysylan gaz sowadylmaýan ýagdaýynda), kompressorlara ( $\lambda > 1,15$  gysylan gaz sowadylýan ýagdaýynda) bölünýärler.

Kompressorlarda gysylan gaz almak üçin köp mukdarda energiýa harçlanylýar. Köp energetiki gurluşlarda, maşyn gurluşyk zawodlarda umumy energiýa çykdaýjylarynyň 30%-i kompressorlary işletmek üçin harçlanylýar.

### 30.2. Kompressor maşynlaryň esasy parametrleri

Kompressorlar çylşyrymly tehniki gurluş bolup, onuň işini häsiýetlendirmek üçin birnäçe parametrlar peýdalanylýar. 1-nji bölümiň başinji babynda kompressorlaryň gysylma prosesindäki edýän işi barada durup geçipdik. Şonda ol iş öwrülişikli politropik prosesi üçin aşakdaky ýaly aňladylypdy:

$$\ell = \frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]. \quad (30.1)$$

Bu formulany  $p_1 v_1 = RT_1$  we  $\frac{p_2}{p_1} = \lambda$  bilen aňladyp aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$\ell = -\frac{n}{n-1} RT_1 \left( \lambda^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right). \quad (30.2)$$

Bu işden başga-da hakyky kompressorlary häsiýetlendirýän esasy parametrler bolan, wagt birliginde berilýän gazyň massalaýyn we göwrümleýin berilişi wala berilýän ahyrky kuwwat we PTK peýdalanylýar.

Porşenli kompressorlarda gaz 80 MPa we ondan hem ýokary basyşa çenli gysylýar. Merkezden daşlaşýan kompressorlar esasan 4,0 MPa basyşa çenli niýetlenen. Bu görnüşli kompressorlaryň basyşy 10 MPa-a çenli görnüşleri hem duşýar. Aglaba okly kompressorlarda basyş 0,8 MPa-dan ýokary bolmaýar.

Indikator iş bilen hasaplanylýan kompressoryň indikator kuwwaty

$$N_i = m \ell_{ki} = \rho_0 V_0 \ell_{ki} \quad (30.3)$$

formula bilen kesgitlenilýär. Bu ýerde

$\rho_0$  - sorulma şertinde gazyň dykzlygy,  $\frac{kg}{m^3}$ ;

$V_1$  - gazyň göwrümi,  $m^3$ .

Tehniki taýdan indikator kuwwaty kesgitlemegiň kyndygy sebäpli ony wala düşýän ähmiýetli kuwwatyň  $N_e$  we mehaniki ýitginiň ululygy bilen häsiýetlendirilýän  $N_{meh}$  kuwwat arkaly kesgitlemek oňaýly hasaplanylýar:

$$N_i = N_e - N_{meh} = N_e \left(1 - \frac{N_{meh}}{N_e}\right) = \eta_{meh} \cdot N_e. \quad (30.4)$$

Bu formuladaky  $\left(\eta_{mex} = \frac{N_{meh}}{N_e}\right)$  mehaniki PTK häzirkizaman turbokompressorlarda  $0,98 \div 0,995$ , porşenli kompressorlarda bolsa  $0,85 \div 0,95$  aralykda üýtgeýär.

Dürli görnüşli (porşenli, merkezden daşlaşýanly, okly we beýleki sowadylýan we sowadylmaýan) kompressorlaryň energetiki netijeliligini häsiýetlendirmek üçin

$$\eta_{0i} = \frac{N_e}{N_i} \quad (30.5)$$

formula bilen kesgitlenilýän içki PTK ulanylýar. İçki PTK diňe käbir birleşmelerdäki azajyk syzýan ýitgileri diýäýmeseň detallaryň turbalary maşynyň aýlamak ýitgisini hasaba alýar.

Içki PTK-e politropik PTK hem diýilýär. Bu koeffisiýent merkezden daşlaşýan kompressorlar üçin  $0,75 \div 0,86$ , okly kompressorlar üçin bolsa  $0,82 \div 0,85$  aralykdadyr. Sowadylmaýan maşynlar üçin adiabat PTK diýlen ululygy peýdalanylýar ( $\eta_{ad}$ )

$$\eta_{ad} = \frac{(\lambda_k^{\frac{k-1}{k}} - 1)}{(\lambda_k^{\frac{n-1}{n}} - 1)}. \quad (30.6)$$

Adiabatik PTK merkezden daşlaşýan komporessorlar üçin  $0,7-0,82$ -e, okly komporessorlar üçin  $0,84-0,9$ -e aralykdadyr.

Sowadylýan maşynlar üçin izotermiki PTK ulanylýar ( $\eta_{iz}$ )

$$\eta_{iz} = \frac{\ell_n \lambda_k}{\frac{k}{k-1} (\lambda_k^{\frac{k-1}{k}} - 1)}. \quad (30.7)$$

Izotermik PTK silindrleri suw bilen sowadylýan porşenli komporessorlar üçin 0,6-0,7 - ä deňdir.

Komporessorlarda gysylan howany almak üçin sarp edilýän energiýanyň udel ululygyny we onuň özüne düşýän gymmatyny bilmek gerek bolýar.

Energiýanyň udel harçlanmasy

$$\eta_e = \frac{\varepsilon}{V_\tau} \quad (30.8)$$

formula bilen kesgitlenilýär. Bu ýerde

$V_\tau$  - kesgitli period üçin kompressor desgadan çykýan gysylan howanyň göwrümi,  $m^3$ .

$\varepsilon$  - şol periodyň dowamyndaky energiýa harçlanmasynyň udel ululygy, kWt-sag.

Gysylýan gazyň özüne düşýän ortaça gymmaty

$$C = \frac{A}{V_\tau} \quad (30.9)$$

formula bilen kesgitlenilýär.

$A$  – kesgitli perioddaky gysylan howany almak üçin umumy gymmaty, manat.

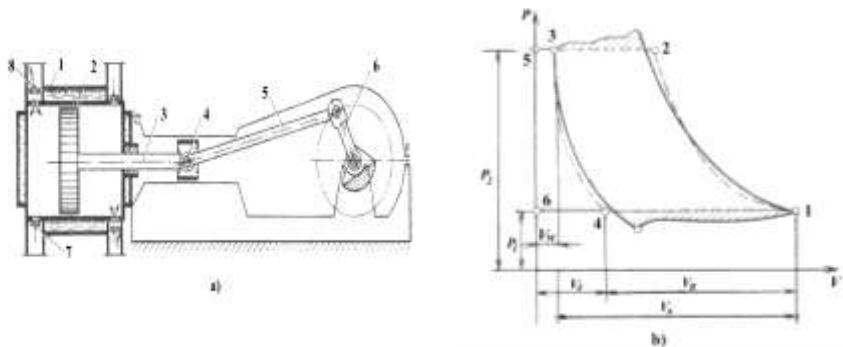
Gysylan gazyň özüne düşýän ortaça gymmatynyň 70-80%-i elektroenergiýa harçlanylýar.

## Otuz birinji bap. PORŞENLI WE ROTASION KOMPRESSORLAR

### 31.1. Porşenli kompressorlar

Porşenli kompressorlarda howanyň gysylmasy silindrde öňe-ýza hereket edýän porşen tarapyndan amala aşyrylýar. Kompressor elektrik ýa-da ýylylyk hereketlendirijiler arkaly işe girizilýär.

Bir basgançakly kompressoryň gurluş shemasy we onda bolup geçýän prosesler 31.1-nji suratda görkezilýär.



31.1-nji surat. Bir basgançakly porşenli kompressor. a-shema; 1-silindr; 2-porşen; 3-ştok; 4-kreýskop; 5-şatun; 6-kriwoşip;

7, 8 – sorujy we çykaryjy klapanylar.

b-indikator diagramma

Silindriň diwarynda ýörite gutuda sorujy we çykaryjy klapanylar bolup, olar silindrdäki işçi boşluk (oýtum) bilen deňişli kameranyň arasyndaky basyşyň tapawudynyň hasabyna awtomatiki açylýarlar ýa-da ýapylýarlar.

Porşenli kompressorlaryň gyzmazlygy üçin olaryň silindrleri daşynda ýörite edilen suw köýneginden akyp geçýän suw arkaly sowadylýar.

Porşen şatun-kriwoşip mehanizm bilen ştok we kreýskop (polzun) arkaly birleşdirilýär. Silindriň gapagyndan ştokyň geçýän ýeri salnik arkaly sybyzgalandyrylýar. Käbir uly bolmadyk kompressorlarda porşen göni şatun bilen birleşdirilýär. Klapanylaryň

hereketini (açylmagyny ýa-da ýapylmagyny) olaryň edýän basyş peselmesi hyýaly kompressoryň aýlawy bilen deňeşdirilende goşmaça işiň edilmegine getirýär. Bu ýagdaý 31.1-nji suratdaky indikator diagrammada ştrihlenen meýdança arkaly görkezilýär.

Gysylan gaz çykarylandan soň silindriň boşlugynda hemişe silindr gapagy bilen porşeniň aralygynda  $V_M$  göwrümlü gaz galýar. Bu göwrüme **işsiz** ýa-da **ulanylmaýan göwrüm** diýilýär.

Ulanylmaýan  $V_M$  göwrümiň porşeniň hereketi bilen emele gelýän  $V_h$  göwrüme bolan gatnaşygyna **ulanylmaýan giňişligiň otnositel göwrümi** diýilýär:

$$a = \frac{V_M}{V_h}. \quad (31.1)$$

Uly silindrlerde bu ululyk  $a < 0,05$  şerti kanagatlandyrýar.

Sorulýan gazyň göwrüminiň  $V_h$  –a bolan gatnaşygyna **göwrümleýin koeffisiýent** diýilýär:

$$\lambda_i = \frac{V_b}{V_h}. \quad (31.2)$$

Politropik giňelme prosesi üçin diagrammadan

$$\frac{V_4}{V_M} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} = \lambda_k^{\frac{1}{n}} \quad (31.3)$$

gatnaşygy alarys.

Diagrammadan görnüşi ýaly

$$V_4 = V_M + V_h - V_b. \quad (31.4)$$

Onda  $\frac{V_4}{V_M}$  gatnaşygy başgaça aşakdaky görnüşde ýazmak

bolar:

$$\frac{V_4}{V_M} = \frac{V_M + V_h - V_b}{V_M} = 1 + \frac{V_h}{V_M} - \frac{V_b}{V_M}. \quad (31.5)$$

(31.5) formulada  $\frac{V_4}{V_M} = \frac{1}{a}$  diýip belgiläp alarys:

$$\frac{V_b}{V_M} = \frac{V_b \cdot V_h}{V_M \cdot V_h} = \frac{V_b}{V_h} \cdot \frac{V_h}{V_M} = \lambda_v \frac{1}{a},$$

bu formulalary (3.13)-de ornuna goýalyň

$$\frac{V_4}{V_M} = 1 + \frac{1}{a} - \frac{1}{a} \lambda_b = 1 + \frac{1}{a} (1 - \lambda_v). \quad (31.6)$$

(31.3) we (31.6) formuladan

$$\lambda_k^n = 1 + \frac{1}{a} (1 - \lambda_b) \text{ gatnaşygy alarys. Bu ýerden}$$

$$\lambda_v = 1 - a(\lambda_k^n - 1) \quad (31.7)$$

formula gelip çykýar.

Häzirkizaman kompressorlary üçin  $\lambda_v = 0,7 \div 0,9$ . Soňky formuladan görnüşi ýaly,  $\lambda_k$ -nyň artmagy bilen  $a = \text{const}$  bolanda  $\lambda_v$  ululyk kiçelýär:

$$\lambda_k^{nped} = \left(1 + \frac{1}{a}\right)^n \text{ bolanda, } \lambda_v = 0 \text{ bolýar.}$$

Eger-de  $a=0,1$  bolsa,  $n=1,2$  bolanda  $\lambda_k=17,8$  bolýar. Onda kompressor boş işleýär. Diýmek, bir basgançakly kompressorlarda

$\lambda_k$  ululygyň kesgitli bahasy bolup, ony şondan ýokarlandyrmak mümkin däldir.

Silindrleriň germetikliginiň ýaramazlygy (salnikden, klapandan gazyň syzmagy), sorulyş prosesinde gazyň gyzmaklygy we beýleki sebäplere görä kompressorlaryň berijiligi peselýär.

Kompressorlaryň hakyky ( $V_{hak}$ ) berýän gysylan howasynyň göwrüminiň nazary berip biljek ( $V_T$ ) gysylan howasynyň göwrümine bolan gatnaşygyna **beriliş koeffisienti** diýilýär.

$$\lambda = \frac{V_{hak}}{V_T}. \quad (31.8)$$

Ýönekeý bir boşlukly silindr üçin

$$V_T = F \cdot S \cdot n_0 = V_{hak} n_0 \quad (31.9)$$

Bu ýerde:

$F$  – porşeniň meýdany;

$S$  – porşeniň ädimi (geçýän ýoly);

$n_0$  – walyň aýlanma ýygylygy.

Beriliş koeffisiýenti 0,6-0,85 aralykda üýtgeýär.

## 31.2. Rotasion kompressorlar

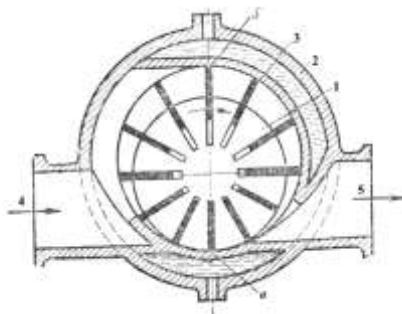
Rotasion kompressorlarda hem gazyň gysylma düzgüni porşenli kompressorlardaky ýalydyr. Bu kompressorlaryň plastina we rotor-pilçeli görnüşleri peýdalanylýar. Plastinaly rotasion kompressoryň shemasy 31.2-nji suratda görkezilýär.

Rotoryň sagat diliniň ugry boýunça aýlanmagy bilen sorujy turbajyk (4) tarapyndaky kameranyň göwrümi  $a$  nokatdan başlap ulalyp başlaýar. Ol ýerde howanyň basyşy peselýär we atmosferadan gelýän howa pilçeleriň arasy bilen doldurylýar. Kamera bilen sorujy boşlugyň birleşigi aýrylandan soň rotoryň aýlanmagynyň dowam etmegi bilen  $b$  nokatdan soň pilçeleriň arasyndaky göwrümiň kiçelmesi bilen howanyň gysylmasy başlanýar. Gysylan howa



kamera çykaryjy boşluk (5) bilen birleşenden soň ýygnaýja geçirilýär.

Bu görnüşli kompressor rotordan (1), korpusdaky silindrden (2), rotoryň radial pazalarynda erkin ýerleşdirilen ýuka plastinalardan (3) durýar. Rotoryň aýlanmagy bilen merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri bilen plastinalar pazalardan çykýar we silindriň içki üsti boýunça typýarlar. Plastinalar rotor bilen silindriň arasyndaky orak şekilli giňişligi dürli görwürimli birnäçe kameralara bölýär.

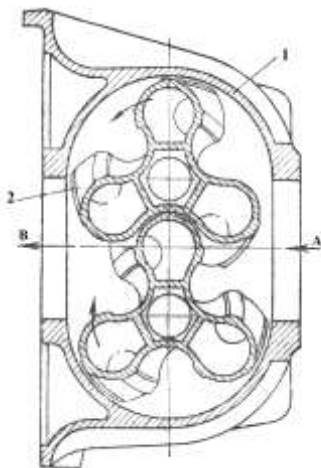


31.2-nji surat. Plastinaly rotasion kompressorýň shemasy

Rotasion kompressorlarda kriwoşip – şatun mehanizmiň we klapanalaryň ýokdugy üçin olar örän ykjam bolup, ölçegleri uly däl. Emma, olaryň PTK-sy kiçidir. Rotoryň aýlanma ýygylgy  $400-1500 \text{ min}^{-1}$  bolup, basyşyň ýokarlandyryş derejesi  $\lambda_k = 2,5 - 4 - e$  aralykdadyr.

Kompressorýň beýleki rotor-pilçeli görnüşiniň shemasy 31.3-nji suratda görkezilýär. Bu kompressor korpusdan (1), aýlanýan üç pilçeli rotordan (2), sorujy A we çykaryjy B boşlukdan durýar. Rotorlar A sorujy boşlukdan howa korpus bilen pilçeleriň bölümüne girýär we soňra çykaryjy B boşluga geçirilýär.

Şeýle gurluşlar iki taktly dizellerde kuwwaty ýokarlandyrmak üçin niýetlenýän çişirilmede giňden ulanylýar.



31.3-nji surat. Rotor pilçeli  
rotation kompressorıň shemasy

Bölüm çykaryjy boşluk bilen birleşende öňki gysylan howanyň energiýasynyň hasabyna derrew howanyň ýene-de gysylmasy bolýar. Bir rotoryň pilçesiniň beýlekisiniň eňňidine girmegi bilen çykaryjy turbanyň üsti bilen gysylan howa çykarylýar we howa ýygnaýja (resiwere) berilýär. Rotor pilçeli kompressorlar basyşyň ýokarlandyryş derejesiniň uly bolmadyk bahasynda plastinaly kompressorlara seredeniňde az kuwwaty harçlaýar.

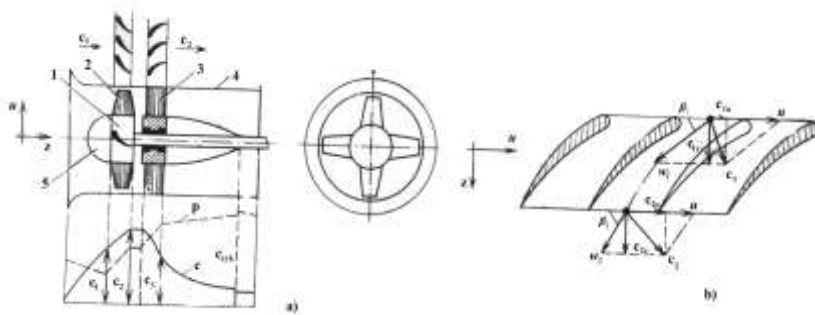
### 31.3. Okly kompressorlar

Işçi tigiri we göneldiji apparaty öz içine alýan okly basgançagyň gurluş shemasy okly maşynlaryň esasyny düzýär (31.4-nji surat). Bu maşynlarda akymyň aýlanma hereketi köwlenmäniň emele gelmegine, netijede energiýanyň ýitirilmegine getirýär. Göneldiji apparat tigiriň soňunda akymyň aýlanmasyny azaldýar we bölekleyin akymyň kinetik energiýasy onuň potensial energiýasyna öwrülýär.

Eýleriň moment üçin, okly basgançak üçin deňlemesi

$$\ell_u = u(\omega_{1u} - \omega_{2u}). \quad (31.10)$$

$\omega_{1u}$  we  $\omega_{2u}$  tizlikleri tizlikleriň parallelogramyndan (31.4-nji b surat) aşakdaky görnüşde kesgitlenilýär.



31.4-nji surat. Bir basgançakly okly kompressor. a) akym böleginiň shemasy (1-wtulka; 2-işçi tigiriň pilçeleri; 3-gönükdiriji enjamyň pilçeleri; 4-korpus; 5-obtekatel )

$$\omega_{1u} = u - \omega_{1z} \operatorname{ctg} \beta_1, \quad (31.11)$$

$$\omega_{2u} = u - \omega_{2z} \operatorname{ctg} \beta_2. \quad (31.12)$$

Onda

$$\ell_u = u(\omega_{2z} \operatorname{ctg} \beta_2 - \omega_{1z} \operatorname{ctg} \beta_1), \quad (31.13)$$

adatça  $\omega_{1z} = \omega_{2z}$ , onda

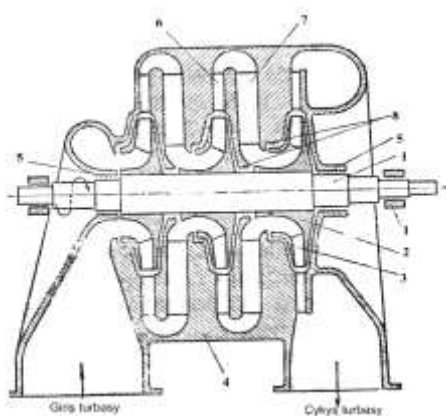
$$\ell_u = \omega_z (\operatorname{ctg} \beta_2 - \operatorname{ctg} \beta_1). \quad (31.14)$$

Bir işçi tigiriň döredýän basyşy tizlik we geometrik faktorlar sebäpli çäklidir. Şonuň üçin hem köp basgançakly okly kompressor yzygider ýerleşdirilen basgançaklar hatarynda durýar. Şol basgançaklarda basyşyň kem-kemden ýokarlanmasy bolup geçýär. Okly kompressorlaryň basgançaklarynyň sany 20-ä ýetýär.

Okly kompressorlar köplenç barabanly gurluşlardan durýar. Ýokarda belenşi ýaly akymyň hereketi radial ugra ugrukdyrylan radial turbomaşynlary we akymynyň ugry merkezden gyra ugrukdyrylýan merkezden daşlaşýan kompressorlary tapawutlandyryrlar.

### 31.4. Merkezden daşlaşýan kompressorlar

Merkezden daşlaşýan kompressorlar adatça köp basgançakly bolýarlar. Üç basgançakly merkezden daşlaşýan kompressoryň shemasy 31.5-nji suratda görkezilýär. Onuň her basgançagy walda (1) oturdylan işçi pilçeleri (3) bolan işçi tigirden (2) ybaratdyr. Hereketsiz pilçeler (6) we (7) bolsa korpusa (4) birleşdirilendir. Aýry basgançaklaryň arasy işçi jisimiň ýitgisini çäklendirmek üçin labirint görnüşindäki sybyzgylandyryjylar (8) walyň ahyrky iki tarapynda ahyrky sybyzgylandyryjylar (5) bilen üpjün edilýär.



31.5-nji surat. Üç basgançakly merkezden daşlaşýan kompressoryň shemasy.

Iki sowadyjylary köpbasgançakly kompressoryň shemasy 31.6 suratda berilýär.

Shemadan görnüşi ýaly işçi tigirleri oturdylan wal kompressoryň rotoryny düzýär. Hereketsiz elementini bolsa korpusda ýerleşdirilen diffuzorlar, tersine ugrukdyryjy enjamlar, sorujy we çykaryjy turbajyklar düzýär.



$$\Omega = 1 - (\omega_{2u}^2 - c_{2r}^2 - c_1^2) / 2u_2 \omega_{2u}. \quad (31.15)$$

Eger-de  $c_1^2 = -c_{2r}^2$  diýip kabul edilse, onda ýokarky formulany aşakdaky ýaly ýazmak bolar:

$$\Omega = 1 - \omega_{2u} / 2u_2 \quad (31.16)$$

İň uly nazary bady öňe egredilen pilçeler döredýär. Emma, olaryň reaktiwlik derejesi kiçi bolany üçin olar esasan tizligiň badyny döredýär.

Tizligiň badyny özgertmek üçin bu görnüşli maşynlarda diffuzor gurluşy ulanylmalydyr.

Diffuzorlaryň bolsa PTK-sy kiçidir. Şonuň üçin öňe egredilen pilçeler pes ýa-da ortaça basyşly wentilýatorlarda peýdalanylýar.

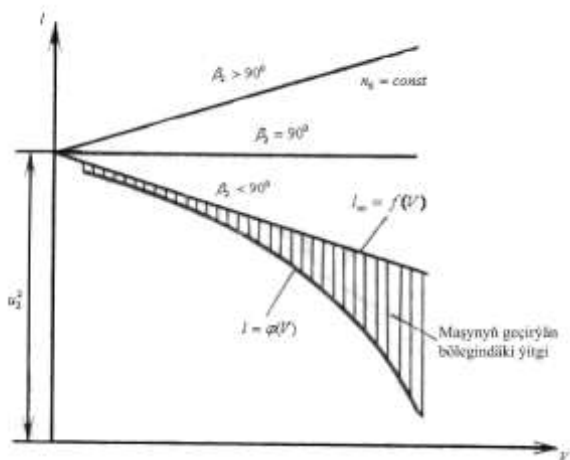
Ýokary batly maşynlarda yza egredilen pilçeleri peýdalanmak amatlydyr.

### 31.5 Merkezden daşlaşýan kompressorlaryň häsiýetnamalary

Merkezden daşlaşýan kompressorlaryň häsiýetnamalary diýlip  $\ell(P) = f_1(V_0)$  ,  $Ne = f_2(V_0)$  ,  $\eta = f_3(V_0)$  baglanyşyk boýunça şekillendirilen grafiklerde aňladylýan ululyklara aýdylýar.

Şolaryň içinde iň esasysy udel işçi basyşny bilen berlişni arasyndaky baglanyşyk hasap edilýär  $\ell(P) = f_1(V_0)$  (31.7-nji surat).

Suratdan görnüşi ýaly, pilçeleriň arasyndaky kanallarda köwlenme hadysasynyň emele gelmegi sebäpli badyň ýitgisi bolýar. Şonuň üçin hem hakyky bat nazary batdan kiçi bolýar. Hakyky häsiýetnama tejribe synaglarynyň üsti bilen alynýar.



31.7-nji surat. Merkezden daşlaşýan kompressoryň i  
 üýtgeýän  $\ell = f(V)$  we hakyky  $\ell = \varphi(V)$   
 häsiýetnamalary.

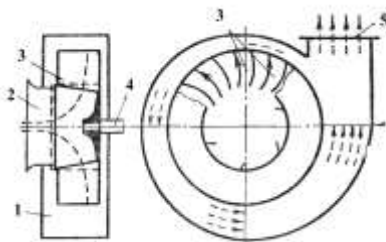
## Otuz iknji bap. WENTILÝATORLAR

### 32.1 Umumy maglumat

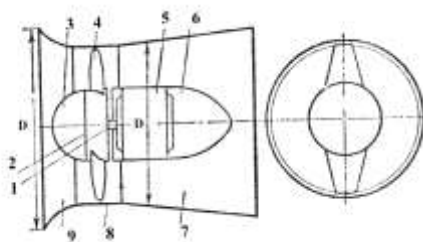
Pes basyşlarda howany ýa-da gazy hereketlendirmek, garyşdyrmak we üflemek üçin niýetlenen turbamaşynlara **wentilýatorlar** diýilýär.

Howa wentilýatorlary üçin basyşyň ýokarlandyryş derejesi  $\lambda \leq 1,1 \dots 1,15$  aralygynda bolup, basyşyň maksimal ýokarlanmasy (basyşyň tapawudy) bary ýogy 1,5 kPa deňdir.

Wentilýatorlaryň merkezden daşlaşýanly (32.1-nji surat) we okly (32.2-nji surat) görnüşleri bar. Wentilýatorlar elektrikhereketlendirijiler arkaly işleýär.



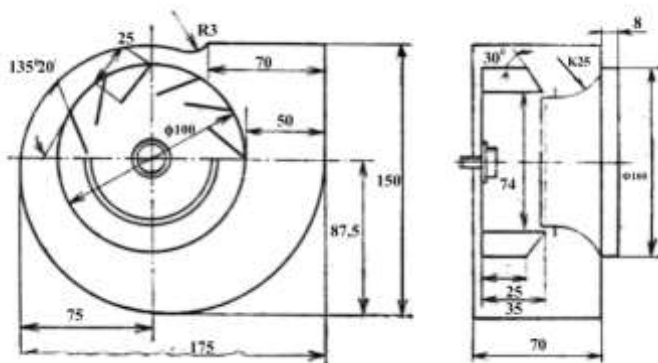
32.1-nji surat. Merkezden daşlaşýanly wentilýatoryň shemasy. 1-ulitka; 2-giriş turbasy; 3-işçi tigr; 4-wal; 5-çykaryjy turba



32.2-nji surat. Okly wentilýatoryň shemasy. 1-wal; 2-wtulka; 3-obtekatel; 4-işçi pilçeler; 5-işe giriziji elektrohereketlendiriji; 6-yzky obtekatel; 7-diffuzor; 8-silindrik korpus; 9-giriş kollektory

Merkezden daşlaşýanly wentilýatorlaryň gurluş aýratynlygy onuň aerodinamiki shemasy arkaly kesgitlenilýär. Şol shema esasy ölçegleri görkezmek bilen 32.3-nji suratda görkezilýär.





32.3-nji surat. U4-70 görnüşli merkezden daşlaşýanly wentilýatoryň aerodinamiki shemasy we häsiýetnamasy.

Şahtalary ýelejiretmek, howasyny çalyşmak üçin peýdalanylýan in uly merkezden daşlaşýanly wentilýatorlaryň göwrümleýin berijiligi  $500 \frac{m^3}{s} - a$  deňdir. Ýylylyk energetiki

stansiýalarda peýdalanylýanlary bolsa  $250 \frac{m^3}{s} - a$  deňdir.

Wentilýatorlaryň nazary bady geçen paragrafda görkezilen Eýleriň deňlemesi bilen kesgitlenilýär.

Bu deňleme akymyň radial girişini hasaba almak bilen ( $\omega_{1u} = 0$ ) aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$H_{\infty} = u_2 \omega_{2u} / g. \quad (32.1)$$

Bu ýerden nazary basyş

$$P_{\infty} = \rho u_2 \omega_{2u}. \quad (32.2)$$

Hakyky wentilýatorlarda basyşyň ýitgisi bolýar. Bu ýitgini gidrawliki PTK  $\eta_g = 0,6 \div 0,9$  ululyk bilen bahalandyrsak onda wentilýatoryň hakyky basyşy aşakdaky ýaly kesgitlenilýär

$$P = \eta_g \rho (\omega_{2u} / u_2) u_2^2. \quad (32.3)$$

Bu ýerde

$P = \eta_g (\omega_{2u} / u_2)$  - gatnaşyga doly basyş koeffisiýenti diýlip atlandyrylar. Bu koeffisiýenti göz önünde tutup ýokarky formulany aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$P = \bar{\rho} P u_2^2. \quad (32.4)$$

Wentilýatoryň peýdaly udel işi

$$\ell_{ki} = \frac{P}{\rho} = (p_2^{st} - p_1^{st}) / \rho + (\omega_2^2 - \omega_1^2) / 2 \quad (32.5)$$

Bu ýerden peýdaly kuwwat

$$N_i = \rho \ell_{ki} V_0 = P V_0 \quad (32.6)$$

$V_0$  - wentilýatoryň göwrümleýin berijiligi.

Wentilýatorlar synag edilende wala düşýän  $N_e$  kuwwat kesgitlenilýär.

Wentilýatorlar:

Doly PTK

$$\eta = \frac{P V_0}{N_e} \quad (32.7)$$

we statiki PTK

$$\eta_{st} = \frac{P_{st} V_0}{N_e} \quad (32.8)$$

diýlen ululyklar bilen häsiýetlendirilýär.

Formulada  $P_{st} = P_2^{st} - P_1^{st}$

adatça  $\eta_{st} < \eta$ ;

Wentilýatorlary işe girizmek üçin peýdalanylýan elektrik hereketlendirijileriň kuwwaty

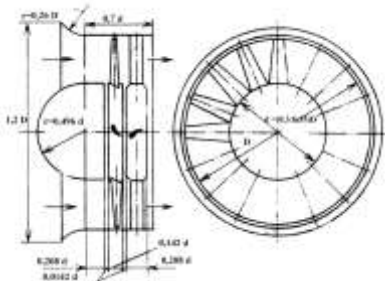
$$N_{her} = (1,05 \div 1,2) \frac{PV_0}{\eta \cdot \eta_{geç}} \quad (32.9)$$

formula boýunça hasaplanýlýar.

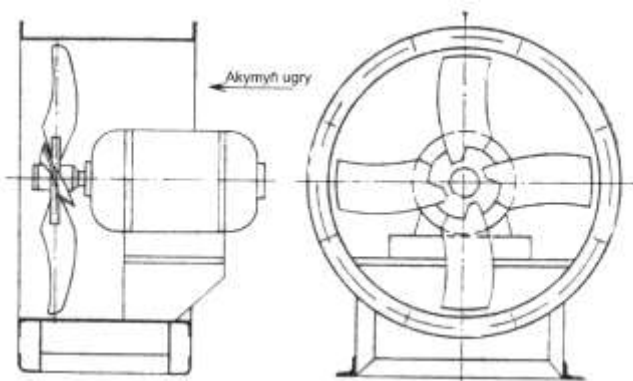
Formulada  $\eta_{geç}$  - geçiriş PTK wentilýatorlar elektrik hereketlendirijileriň priwodyna göni birleşdirilende,  $\eta_{per} = 1,0$ ; çekili birleşdirilende bolsa  $\eta_{geç} = 0,92$ -ä deňdir.

Okly wentilýatorlaryň hem gurluş aýratynlyklary olaryň aerodinamik shemasy bilen kesgitlenilýär. Onuň shemasynda ähli esasy ölçegler işçi tigiriň daşky diametriniň ülsünde berilýär (32.4-nji surat).

Bir işçi tigirli, ýönekeý wentilýatoryň konstruksiýasy 32.5-nji suratda görkezilýär. Wentilýatoryň dört sany wtulka berk birleşdirilen wint görnüşli pilçesi bar. İşçi tigr hereketlendirijiniň göni walyna birleşdirilýär.



32.4-nji surat. B seriýaly okly wentilýatoryň aerodinamiki shemasy.



32.5-nji surat. MU okly wentilýator.

Eger-de hereketlendirijini käbir ýagdaýda gaz akymynda ýerleşdirmek mümkin bolmasa (tozan, ýokary temperatura), ony akymyň daşynda ýerleşdirýärler. Bir işçi tigirli wentilýator tigiriň yzynda akymyň aýlanýanlygy zerarly gidrawliki ýitginiň döreýänligi sebäpli kiçi batly bolýarlar.

Okly wentilýatorlaryň öndürjiligini walyň aýlanma ýygylygyny üýtgetmek, ugrukdyryjy enjam arkaly girýän akymy tigiriň önünde towlaman, şeýle hem, işçi pilçeleri başga burça üýtgetmek arkaly sazlamak bolar.

Okly wentilýatorlar jaýlaryň, ambarlaryň, metrolaryň, şahtalaryň howasyny çalyşýan kondensirleýji enjamlarda ýelejiretmek üçin peýdalanylýar. Köplenç okly wentilýatorlaryň umumy hajatlar üçin: işçi diametrleri 200-den 2000 mm,

berijiligi  $130 \frac{m^3}{s}$  we basyşy 0,03-1kPa bolan görnüşlerini öndürilýär.

## 32.2. Wentilýatorlaryň toparlara bölünişi we saýlanylyşy

Geçen paragrafda wentilýatorlaryň iki görnüşini merkezden daşlaşýanly we okly görnüşini tapawutlandyrdyk. Emma şeýle wentilýatorlary başga-da köp alamatlary boýunça tapawutlandyrmak mümkindir. Olardan:

1) döredýän basyşy boýunça – pes basyşly, 1 kPa çenli, orta basyşly 3kPa çenli we ýokary basyşly 3...15 kPa wentilýatorlar;

2) hereketlendiriji tarapyndan seredilende işçi tigriniň aýlanýan ugry boýunça;

3) spiral görnüşli gabykdan çykýan gazyň ugry boýunça;

4) sorulyşyň sany boýunça;

5) hereketlendiriji bilen birleşdiriliş usuly boýunça;

6) çalt hereketlilik koeffisiýenti ( $\eta_s$ ) boýunça;

7) niýetlenişi boýunça (üfleýji, tüsse sorujy, umumy niýetlenişi we başgalar).

Okly wentilýatorlary toparlara bölmeklikde esasy alamatlar hökmünde rewersirleme mümkinçilikleri, pilçeleriň gornüşleri (silindr ýa-da towlanan), işçi pilçeleriň, tigrileriň sanyna baglylykda berkidilşiniň görnüşleri, gönükdiriji we ugrukdyryjy enjamlaryň barlygy ýa-da ýoklugy hyzmat edip biler.

Howany ýelejiretmek, salkynlatmakda we aralyga geçirmekde peýdalanylýan wentilýatorlar olaryň belli parametrleri boýunça saýlanylýar. Esasan hem, wentilýatorlar berýän mukdary  $V$  we iş şerti üçin onuň döredýän basyşy boýunça saýlanylýar.

Şeýle parametrler adatça katalogda ýerleşdirilýär. Katalogda berilýän ululyklar bolsa standart şertlere degişli edilýär. Şonuň üçin  $V_k = 1,1V$  we  $P_k = 1,2\rho\rho_k / \rho$  (bu ýerde  $V_k$ ,  $P_k$ ,  $\rho_k$  -standart şertlerde katalog boýunça parametrler). Katalog boýunça kesgitlenen parametrler boýunça ýörite taýýarlanylýan grafikler esasynda wentilýatoryň görnüşini, ölçegini we aýlanma ýygylgyny tapmak bolýar.

Wentilýatoryň görnüşini çalt hereketlilik koeffisiýentiniň aşakdaky formula boýunça hasaplanylýan ululygynyň üsti bilen katalog arkaly tapmak bolýar

$$\eta_s = 5,55 \cdot n \frac{\sqrt{x}}{P^{3/4}} \quad (32.10)$$

V,  $\frac{m^3}{s}$ , P-Pa-da aňladylýar.

Wentilýatorlaryň görnüşinden, ölçeginden we aýlanma ýygylgyndan başga-da aýlanma ugry, sorujy gutynyň we bat beriji turbaň ýagdaýy elektrikhereketlendirijini iýmitlendiriji setiň naprýaženiýesi ýaly maglumatlar gerek.

Katalogda berilýän çalt hereketlenijilik koeffisiýenti ýokary PTK kadada görkezilýär. Bu bolsa ýokary ykdysady netijeli wentilýatorlary saýlamaga mümkinçilik berýär.

## VIII BÖLÜM

### ÝYLYLYK ELEKTRIK STANSIÝALARY (ÝES)

#### Otuz üçünji bab. ÝES HAKYNDÄ UMUMY MAGLUMAT

#### 33.1. Elektrik stansiýalarynyň bellenen maksatlary we olaryň toparlara bölünişi

Ýylylyk elektrik stansiýalary – haýsy hem bolsa bir tebigy (organiki ýangyç, ýadro, gün we başgalar) çeşmeleriň energiýasynyň elektrik energiýasyna öwürülmegi netijesinde elektrik energiýasyny öndürmäge niýetlenen kärhanadyr. Şonuň bilen birlikde şol bir wagtyň özünde elektrik energiýasy bilen bilelikde senagat we kommunal (durmuş hyzmatlary) zerurlyklary üçin ýylylyk öndürýän elektrik stansiýalary hem bar.

ÝES-ler özleriniň esasy niýetlenen maksadyna laýyklykda, özüniň öndürýän elektrik energiýasyny sarp edijileriň arasynda paýlamak üçin elektrik setine beriji [döwlet elektrik stansiýalary diýlip atlandyrylýan (DES)], umumy peýdalanylýan elektrostansiýalara, we senagat kärhanalaryny, şäherleri, käbir etraplary elektroenergiýasy we ýylylyk bilen üpjün etmek üçin niýetlenen senagat we kommunal elektrostansiýalara bölünýär. Bu şol bir wagtyň özünde elektroenergiýa we ýylylygy kombinirlenen görnüşde bilelikde öndürýän stansiýalara **ýylylyk elektrik merkezi** (ÝEM) diýilýär. Bu ÝEM-ler şäherleriň we senagat kärhanalaryň teplofikasiýasyny üpjün edýär.

ÝES-ler görnüşleriniň alamatlary boýunça birnäçe aýratynlyklara eýedir.

Ilkinji hereketlendirijiniň görnüşi boýunça:

a) bug turbinaly (kondensirleýji elektrik stansiýasy-KES ýa-da ýylylyk elektrik merkezi-ÝEM);

b) gaz turbinaly;

w) dizelli.

Ýakýan ýangyjynyň görnüşi boýunça:

a) organiki ýangyçda;

b) ýadro ýangyjynda (AES)

Iş kadasy boýunça:

a) iş kadasynyň grafiginiň iň agyr (pik) bölegini üpjün etmek şertinde işleýän, pik kadasy iş kadasynyň grafiginiň talabyna laýyklykda, bazis-esas kadasy.

Ilkinji energiýa çeşmeleri boýunça:

a) geotermal – ýerasty içki ýylylygyny ulanýan stansiýalar;

b) gelioenergetiki – günün ýa-da başgalaryň energiýasyny peýdalanylýan stansiýalar.

Türkmenistanyň önümçilik şertlerinde, beýleki elektrik toguny öndürjiler bilen bir hatarda gaz turbinaly generatorlaryň ulanylmagy örän amatly bolup durýar. Gaz turbina desgalar içinden ýandyrylýan porşenli hereketlendirijiler bilen deňeşdirilende, birnäçe tehniki-ykdysady taýdan artykmaçlyklary bilen tapawutlanýarlar. Meselem:

-şol bir kuwwatda agramynyň azlygy we göwrüminiň kiçiligi;

-hereket edýän mehanizmleriniň azlygy;

-elektrik generatorlary bilen ýeňil birikdirip bolýandygy;

-hyzmat etmekligiň aňsatlygy bilen ÝES-lerden tapawutlanýar.

Ýylylyk elektrik stansiýalaryna görä gaz turbina desgalaryň detallaryny sowatmak üçin sowadyş ulgamynyň zerurlygy ýokdur.

Gaz turbina desgasy ýylylyk hereketlendirijiniň bir görnüşi bolup, ol ýylylyk energiýasyny mehaniki energiýa özgertmek üçin niýetlenendir. Şeýlelikde, ýylylyk energetikasynda içinden ýandyrylýan hereketlendirijilere degişli porşenli we gaz turbina hereketlendirijileri ulanylýar. 1934-nji ýylda W.W.Umarowyň ýolbaşçylygynda dünýäde ilkinji gezek gaz turbina desgasy tejribede derňeldi. 1945-nji ýyldan başlap birnäçe döwletlerde gaz turbina desgasyň gurluşygy güýçli ösüp başlady. Häzirki wagtda gaz turbina desgasy awiasiyada giňden ulanylýar. Ondan başga-da gaz turbina desgasy tebigy gazyň çykarylýan we akdyrylýan turbalarynda kompressor hökmünde ulanylýar.

Gaz turbina desgalarynyň iş aýlawy hemişelik basyşda ýa-da hemişelik göwrümde amala aşyrylýar. Şonuň üçin olara hemişelik kuwwatly hereketlendirijiler hem diýýärler. Önümçilikde köplenç gaz turbina desgasyň aýlawy hemişelik basyşda ýylylygyň berilmeginiň netijesinde bolýar. Başgaça aýdylanda, gaz turbina desgasyň ýangyç ýakylýan kamerasyndaky prosessi hemişelik



basyşda bolup geçýär. Gaz turbina desgasynyň işleýiş düzgüni we iş aýlawynyň  $p - v$ ,  $s - T$  diagrammalary ýokarda görkezilen.

### 33.2. Bug turbinaly elektrik stansiýasy we onuň prinsipial ýylylyk shemasy

Halk hojalygynda sarp edilýän ähli elektrik energiýasynyň 80% töweregeni bug turbinaly elektrik stansiýalary öndürýär. Ozal bellenip geçilişi ýaly, öndürýän energiýasynyň görnüşini boýunça ýylylyk elektrostansiýalary elektroenergiýa öndürýän **kuwwatly**, hem-de elektroenergiýa we ýylylyk öndürýän **birleşdirilen** stansiýalara bölünýär.

Diňe elektrik energiýasyny öndürýän bug turbinaly elektrostansiýalary kondensirleýän turbinalar bilen enjamlaşdyrylýar we olara kondensirleýän elektrostansiýalary (KES) diýlip at berilýär.

**Garyşyk** stansiýalar elektrik energiýasyny we ýylylygy öndürýän usulyna baglylykda **aýratynlykda** we **bilelikde (kombinirlenen)** usullarda elektrik energiýasyny we ýylylygy öndürýän desgalara bölünýär. Aýratyn usulynda elektrik energiýasy kondensirleýän turbogeneratornyň kömegi bilen öndürilýär, emma, bug ýa-da gyzgyn suw görnüşinde sarp ediljilere goýberilýän ýylylyk energiýasy gönüden – göni gazan desgasynda öndürilip ugradylýar. Bilelikdäki (kombinirlenen) usulda bolsa, teplofikasion turbogeneratorlarda işlenen bug daşarky sarp ediljilere hyzmat edýän merkezleşdirilen ýylylyk üpjünçiligi üçin ulanylýar we bu desga **teplofikasion elektrikstansiýasy, ýa-da ýylylyk elektrik merkezi (ÝEM)** diýilýär.

Sarp ediljileri merkezi ýylylyk üpjünçiligi ulgamyndan üpjün edilende önümçilik-ýyladyş gazanlarynyň kömegi bilen hem amala aşyrmak bolar, ýöne, ÝEM ykdysady taýdan has bähbitlidir.

Ýylylyk elektrik merkeziniň prinsipial ýylylyk shemasy KES-iň shemasyndan ýylylygyň sarp edilişi boýunça tapawutlanýar (33.1-nji surat).

Ulanyjylary ýylylyk bilen üpjün etmek ÝEM-den merkezleşdirilen usul arkaly amala aşyrylýar. Bu usulda turbinada işledilip ulanylýan buguň ýylylygy peýdalanylýar. Elektrik

energiýasy we ýylylygy kombinirlenen usulda öndürmek esasyndaky merkezleşdirilen ýylylyk üpjünçiligine **teplofikasiýa** diýilýär.

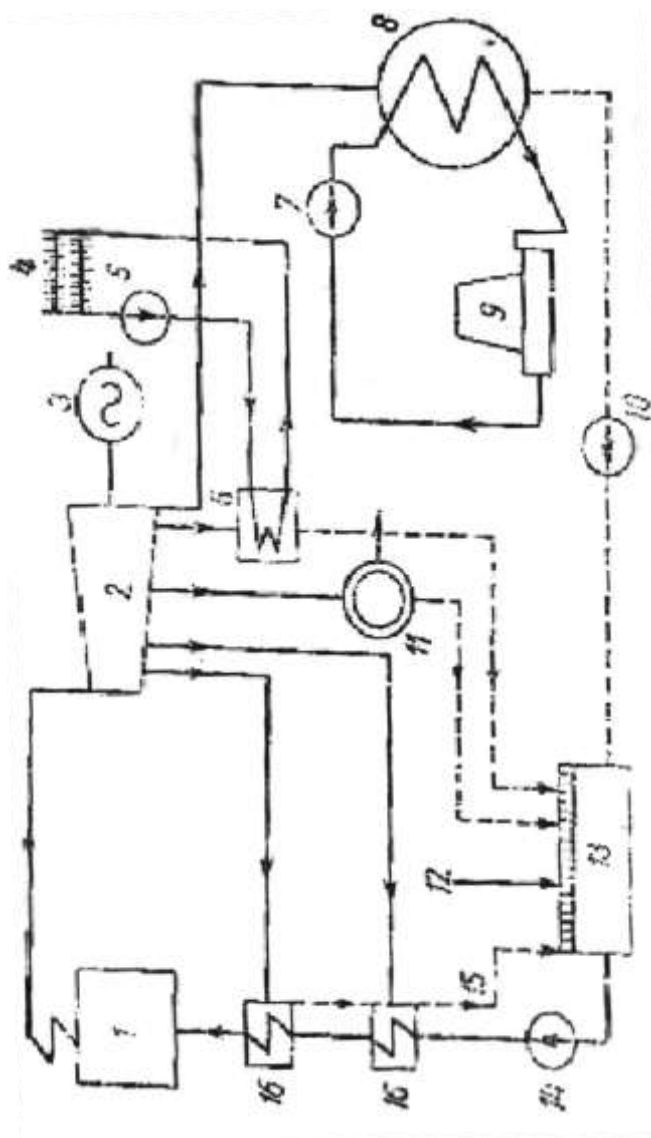
33.1-nji suratdan görnüşi ýaly gazandan (1) çykan bug buggeçiriji boýunça teplofikasion turbina (2) ugrykdyrylýar. Teplofikasion turbina bolsa elektrogenerator bilen birikdirilendir. Teplofikasion turbinada bug kondensatdaky basyşa çenli giňelýär. Basyşy 120...250 kPa bolan buguň belli bir bölegi ýylylyk setiniň gyzdryjysyna (6) ýyladyş ulgamynyň suwuny gyzdyrmak üçin alynýar. Bu alynýan buga **teplofikasiýa ýoly alynýan** bug diýilýär. Gyzdrylýan suw bolsa ulanyjylar (4), (11) tarapyndan gelýär. Suw gyzdryjy bilen ulanyjylaryň arasyndaky ýylylyk seti boýunça aýlanýan gyzgyn suw bolsa set nasosynyň (5) kömegi bilen aýlanşyk edýär. Alynan buguň gyzdryjy kondensady gazanyň iýmitlik suwunyň düzümindäki gazlary aýyrmak üçin hyzmat edýän deaeratoryň (13) üstünden geçip, gazanyň iýmitlendiriş ulgamyna dolanyp gelýär. Basyşy ~500-600 kPa bolan buguň beýleki alynýan bölegi bug ulanyjlara berilýär – bu bolsa **önümçilik bugudyr**.

Turbinadan çykan bugyň kondensaty kondensatordan (8) kondensat nasosyň (10) kömegi bilen deaeratora (13) berilýär, bu ýerden bolsa ol içimlik nasosy (14) bilen gyzdryja (16) we ondan soň gazana berilýär.

Deaeratora (13) gyzdryjydan (16) gelýän gyzdryjy bugyň kondensaty, şeýle hem, desgadaky ýitirilen suwuň öwezini dolmak maksady bilen goşulýan, himiki arassalanan suw barýar. Kondensatorda (8) kondensatyň sowadyşy emeli amala aşyrylýar, ýagny, sowadyjy enjam hökmünde gradirni (9) ulanylýar.

Sowan suw gradirniýadan kondensatora aýlanyşyk nasosyň (7) üsti bilen berilýär.

Elektrik energiýasynyň we ýylylygyň aýratyn öndürilýän şertinde elektrostansiýalarda kondensirleýji görnüşli turbinalar gurnalýar we ulanylýar. Ozal belläp geçişimiz ýaly, şeýle turbinaly stansiýalara kondensirleýji elektrostansiýalar (KES) diýilýär. Bu stansiýalar has ýaýran hasaplanýar we has uly kuwwata eýe boldy (3,6 GWt ýetýär).



33.1-nji surat. Ýylylyk elektrik merkeziňiň prinsipial ýylylyk

Talap edilýän şertlere baglylykda, durmuşa ýa-da önümçilige zerur bolan ýylylygy öndürmek we üpjün etmek maksady bilen merkezi ýa-da ýerli ýyladyş gazanlary gurulýar ýa-da elektrostansiýalarda talaba laýyk bolan suw gyzdýryjy gazanlary gurup, ýylylygyň üpjün edilmegi amala aşyrylýar.

### **33.3. Elektrik stansiýalaryň ýükleriniň grafikleri**

Ýylylyk elektrik merkeziniň elektrik we ýylylyk ýüki adatça wagta görä gije-gündiziň, aýyň, pasylyň we ýylyň dowamynda üýtgäp durýar. Elektrik we ýylylyk ýükleriniň wagta görä grafiklerde şekillendirilmegi elektrik we ýylylyk ýükleriniň grafigi diýen ady göterýär.

Elektrik ýüküniň wagta görä üýtgemegini  $N_e = f(\tau)$  grafik görnüşinde şekillendirmek kabul edilen. Seredilýän wagt aralygyndaky dowamlylygy boýunça elektrik ýükleriniň grafikleri gije-gündizleýin, aýlyk, möwsümleýin we ýyllyk bolup bilýär.

Ýüküni kesgitlemek boýunça elektrik grafikleri ulanyjylara baryan ýerindäki sarp edilýän kuwwatynyň we elektrostansiýalarynyň şinalaryndan goýberilýän kuwwatynyň grafiklerine bölünýär. Soňky grafikde elektrik energiýasyny ulanyjylara geçirmekde howa ýitirilýän elektroenergiýany (howada geçirilende), ýerasty kabelle, göteriji we peseldiji transformatorlarda, elektrostansiýada elektroenergiýanyň hususy sarp edilşinde bolup geçýän ýitgileriň hemmesi hasaba alynýar.

Elektrostansiýalaryň elektrik ýükleri gije-gündiziň we ýylyň dowamynda wagta görä üýtgeýär. Ýylyň gýş we tomus döwrüniň gije-gündizinde elektrik ýüküniň sarp edilişiniň grafigi aýratyn mahsus häsiýetli hasaplanýar. Gýşky gije-gündiziň sarp ediliş grafigi adatça elektrik ýüküniň maksimal ölçegini we şonuň bilen birlikde, elektrostansiýalaryň kuwwatyny kesgitleýär. Elektrik ýüküniň ýazky we güýzki grafigi hem wajyp ähmiýete eýedir.

Elektrik ýüküniň maksimal bahasy esasan elektrik ýükleriniň esasy iki görnüşleriniň goşulmagyndan: senagata, ýagtylandyryşa we ýyladyşa sarp edilişiniň jemi bilen kesgitlenýär. Şeýlelikde, gýşda we tomusda elektroenergiýanyň sarp edilişiniň grafigi biri-birinden

düýpgöter tapawutlanýar. Şeýle bolmagy esasan ýagtylandyryşa we elektroýyladyşa elektroenergiýanyň sarp edilşiniň üýtgeýänligi bilen kesgitlenýär.

Sarp edilýän, goýberilýän we öndürilýän kuwwat bahalarynyň arabaglanyşygyny şeýle gatnaşykda aňlatmak bolar:

$$P_{goý} = P_{sarp} + \Delta P = f_1(\tau), \quad (33.1)$$

$$P_{önd} = P_{goý} + P_{h.z} = f_2(\tau), \quad (33.1 a)$$

bu ýerde  $P_{sarp}$ ,  $P_{goý}$ ,  $P_{önd}$  – degişlilikde wagtyň dowamyndaky sarp edilýän, goýberilýän we öndürilýän kuwwatlar;  $\Delta P$  – setlerdäki we energiýa öwürüji desgalaryndaky ýitgiler;  $P_{h.z}$  – elektrostansiýanyň hususy zerurlyklaryna sarp edýän elektroenergiýasy. Ol bolsa elektrostansiýanyň kömekçi mehanizmlerine berilýän elektroenergiýasyndan we ýagtylyga sarp edilýän energiýadan ybaratdyr. Bu  $P_{h.z}$  – elektroenergiýanyň sarp edilişi stansiýanyň görnüşine we onuň kuwwatyna, buguň başlangyç parametrlerine, ýangyjyň häsiýetnamasyna we onuň ýakylyş usulyňa baglylykda üýtgeýär, ÝEM-lerde bolsa grafiklerine we ýylylyk hem-de elektrik ýükleriniň gatnaşyklaryna baglylykda üýtgeýär.

Elektrik stansiýasynyň maksimal elektrik ýüküniň umumy grafigi senagat kärhanalarynyň, ýagtylandyrylyşyň ýükleriniň, medeni-durmuş zerurlyklarynyň we başgalaryň her biriniň grafikleriniň jemlenmegi bilen tapylýar.

Ýylylyk elektrik merkezinden goýberilýän ýylylyk, kärhanalaryň tehnologiýa zerurlyklary üçin, şeýle hem, önümçilik we ýaşaýyş binalaryna gyzygyn suw üpjünçiligi we ýyladyş maksatlary bilen sarp edilýär. Adatça, ýylylygyň sarp ediliş grafigi ýylylyk äkidijiniň görnüşini boýunça düzülýär (orta hem pes basyşly bug we suw).

Aýratyn mahsus häsiýetli gije-gündizleriň grafikleri esasynda ýükleriň dowamlylygy boýunça ýyllyk grafigi gurulýar.

Ýylylyk elektrostansiýalaryň iş kadasynyň elektrik we ýylylyk ýükleriniň deňölçeýsiz grafigine baglylykda üýtgäp durmagy, stansiýanyň tehniki-ykdysadyýetine uly täsir edýär.

Sarp edilýän, goýberilýän we öndürilýän ýylylyk mukdarynyň arabaglanşygyny aşaky gatnaşykda aňlatmak bolar:

$$Q_{go} = Q_{sarp} + \Delta Q = f_1(\tau), \quad (33.2)$$

$$Q_{önd} = Q_{go} + Q_{h.z}^t = f_2(\tau), \quad (33.2 a)$$

bu ýerde  $Q_{sarp}$ ,  $Q_{goý}$ ,  $Q_{önd}$  – degişlilikde wagt dowamynda sarp edilýän, goýberilýän we öndürilýän ýylylyk mukdary;  $\Delta Q$  – ýylylyk setinde we energiýa öwürüji desgalarda ýitirilýän ýylylyk mukdary;  $Q_{h.z}^t$  - goýberilen ýylylygy öndürmek bilen baglanşykly bolan hususy zerurlyklary üçin sarp edilýän elektrik energiýany öndürmäge harçlanýan ýylylygyň mukdary.

$$Q_{h.z}^t = \frac{E_{h.z}^{EE} \cdot 360}{\eta_{EE}^{e.br.}} \quad (33.3)$$

bu ýerde  $E_{h.z}^{YEM}$  - ÝEM-ň hususy zerurlyklaryna sarp edilýän elektroenergiýanyň goýberilen ýylylygyň öndürilmegine (kWt · sag) gatnaşygydyr.

$$E_{h.z}^t = \frac{E_{h.z}^{gaz} \cdot B}{B + E_{h.z}^{EE}} \quad (33.4)$$

bu ýerde  $E_{h.z}^{gaz}$  - gazana ýangyç berliş, çäge aýyrmak we suw taýýarlamak üçin hususy zerurlyklaryna sarp edilýän elektrik energiýa, kWt · sag;  $E_{h.z}^{EE}$  - ÝEM-ň hususy zerurlygyna sarp edilýän elektroenergiýa, kWt · sag;  $\eta_{YEM}^{e.br.}$  - ÝEM-ň elektrik brutto PTK;  $\eta_{YEM}^{e.br.} = E \cdot 860 / (B_2 \cdot q_a^i)$ ;  $B_e = B - B_{\dot{y}}$ , bu ýerde  $B_e$  – elektrik energiýany öndürmek üçin ulanylýan ýangyjyň massasy, kg;  $B$  – ýangyjyň doly massasy, kg;  $B_{\dot{y}}$  – goýberilýän ýylylygy öndürmek üçin peýdalanylýan ýangyjyň massasy, kg;  $E$  – öndürilen elektrik energiýanyň mukdary, kWt · sag.

## **Otuz dördünji bap. ÝES-leriň DÜZÜLİŞ SHEMASY WE TEHNIKI-YKDYSADY GÖRKEZIJILERI**

### **34.1. Bug turbinaly elektrik stansiýalaryň düzülişleriniň shemasy**

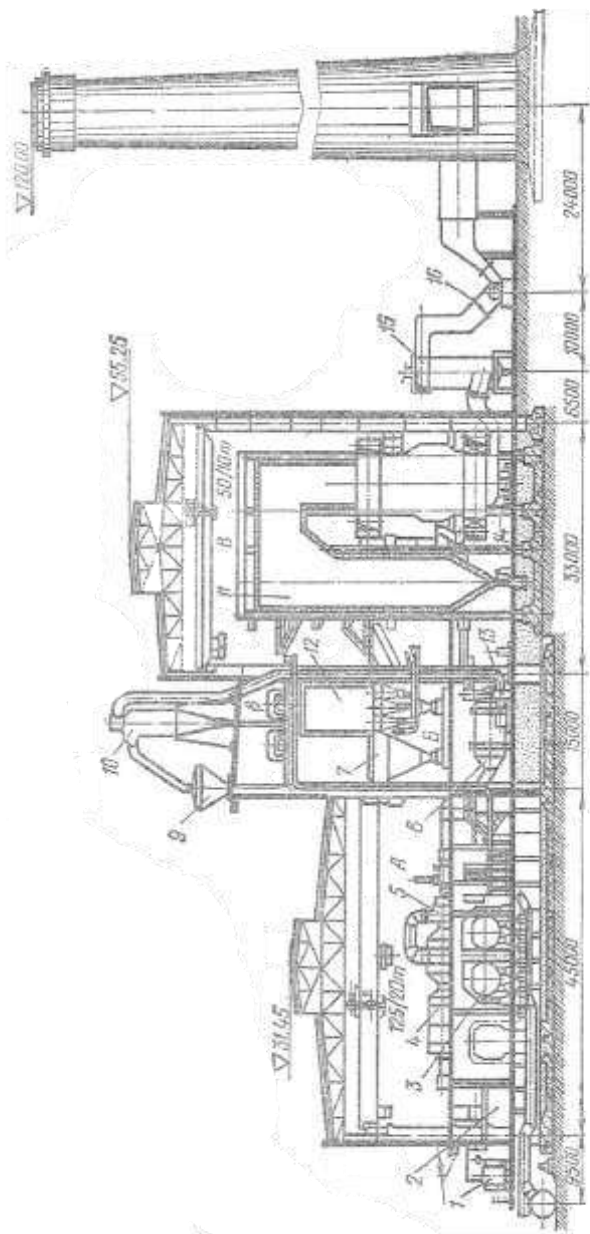
Elektrik stansiýalaryň hojalyklary we sehleri biri-birine geçilýän baglanşykly we kommunikasiýaly jaýlarda ýerleşýär. Gazanlaryň we maşyn zallaryň, şeýle hem, baş korpusdaky esasy gurluşyk konstruksiýalarynyň biri-biri bilen özara ýerleşdirilişine **baş korpusyň düzülişi** diýilýär. Esasy we kömekçi enjamlaryň elektrostansiýanyň baş korpusynda we beýleki binalarynda özara ýerleşdirilişine **enjamlaryň düzülişi** diýilýär.

Kuwwaty 1 200 MWt (DES-1200) bolan elektrik stansiýanyň baş korpusynyň giňden ýaýran düzülişi 34.1 suratda görkezilýär. Elektrik stansiýa 2 00 MWt kuwwaty bolan alty sany blokdan ybarat bolup, onuň düzümine kuwwaty 200 MWt, buguň parametri  $130\text{kg.g/sm}^2$ ,  $565/565\text{ }^{\circ}\text{C}$  bolan turboagregatlar we ikikorpusly ugurdaş akymly öndürjiligi 640 t/sag bolan gazan agregady girýär.

Stansiýanyň baş binasy üç sany esasy jaýlardan: maşyn zalyndan (A), kömekçi enjamlaryň jaýyndan (B), gazan agregatyndan (B) ybaratdyr. Gazan agregadyň sorujy-üfleýji enjamlary binanyň daş ýüzünde ýerleşdirilen.

Stansiýada ýangyjyň ýakylyş we elektrik energiýasynyň öndüriliş prosesi ýokarda berilişi ýaly amala aşyrylýar.

Gazan agregadyndan çykýan aşa gyzan bug elektrik generatorynda (4) aýlanma hereketini emele getirýän, kondensirlenýän bug turbinasyna (5) barýar. Elektrik generatorynda emele gelýän tok ýokary naprýaženiýaly paýlaýjy gurnamalara barýar we şol ýerdäki ýokary göteriji transformatorda (1) naprýaženiýasy ýokarlandyrylyp ýokary naprýaženiýa niýetlenen simler boýunça ulanyjylara ugrukdyrylýar. Bug turbinada işlenenden soň kondensatora (3) berilýär we kondensatordan kondensat täzedan gazan agregadyna dolanyp gelýär. Elektrik stansiýanyň nasoslaryny, soryjy-üfleýjilerini, harazlaryny we beýleki enjamlaryny elektrik energiýasy bilen üpjün etmek üçin stansiýada hususy zerurlyklara paýlaýjy gurnama (2) bar.



34.1-нји surat. DES – 1200-н баъ корпусыннй кесе-кесиги.

1-гөтєрїї тнansформатор, 2-hususy зерурлыклара пайлаїї єнjam, 3-кondensator, 4-єlektrik generatory, 5-буг турbinasy, 6-шар барabanлы haraz, 7-чїг ýangыч гуýуїї, 8-ýangыч берїї конвейер, 9-тозан seперatory (саýлаїї), 10-тозан түвеleїї, 11-газан агрегады, 12-таýýар тозанын гуýуїї, 13-һарaz ventилýatory, 14-üfleїї ventилýator, 15-чыглы тозан tutуїї, 16-түссе sorуїї.



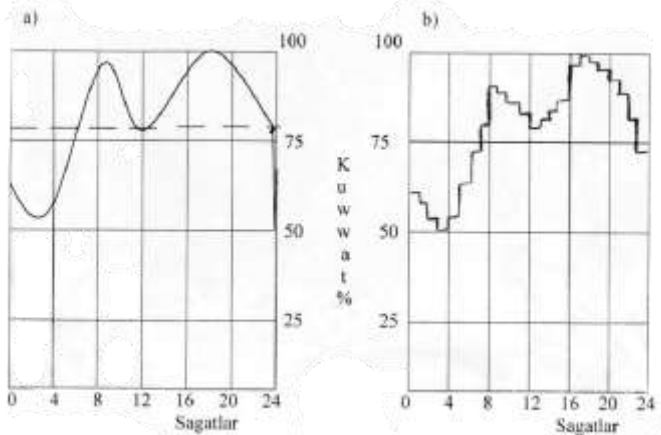
### 34.2. Elektrik stansiýalaryň elektrik ýükleriniň kadasynyň görkezijileri

Elektrik stansiýalaryň elektrik ýüküniň kadasyny onuň ýüküniň grafigi boýunça ýa-da wagta görä energiýa sarp edijileriň talabyna laýyklykda stansiýanyň öndürýän elektrik energiýasynyň sarp edilişiniň üýtgemegi boýunça häsiýetlendirip bolar. Elektrik energiýasyny toplan bolmaýar.

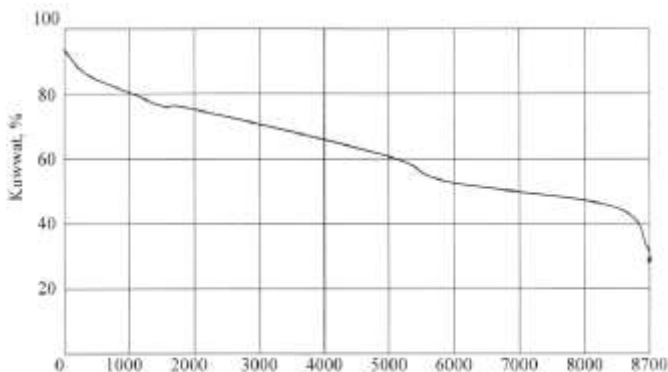
Elektrik stansiýanyň gije-gündizdäki elektrik ýüküniň grafigi (34.2-nji a suraty) wagtyň belli pursatyndaky kuwwatynyň görkezijileri boýunça gurlan, 34.2-nji b suratdaky grafik bolsa – elektrik energiýasynyň öndürilişiniň sagatlaýyn hasaplaýjysynyň görkezmesi boýunça gurlan. Görkezilen 34.3-nji suratdaky elektrik ýüküniň ýyl boýy dowamlylygynyň grafigi kemelip gidýän tertipdäki gije-gündiz üçin grafikleriň kömegi bilen ordinata okuna geçirilip gurulýar.

Elektrik energiýasynyň ulanyş kadasy birnäçe görkezijiler bilen häsiýetlendirilýär.

Stansiýanyň işleýiş dowamlylygy ýyl boýunça sagatlardaky h ýa-da ýylboýy grafikde görkezilen dowamlylygy wajyp ähmiýete eýedir.



34.2-nji surat. Elektrik ýüküniň grafigi a-gije-gündiz grafigi, b-gije-gündiz basgançakly grafik



34.3-nji surat. Ýüküň dowamlylygynyň ýylboýy grafigi

Stansiýalaryň işleriniň dowamlylygy boýunça olaryň ortaça kuwwatlylygy kesgitlenýär:

$$W_{or}^{st} = \frac{E^{yyl}}{h} \quad (34.1)$$

bu ýerde  $E^{yyl}$  – ýylyň  $h$  wagtyndaky öndürilýän elektrik energiýanyň mukdary, kWt · sag, stansiýanyň ortaça kuwwatynyň bellenen kuwwatyna bolan gatnaşygy stansiýanyň ýüküniň koeffisiýentini emele getirýär.

$$f = \frac{W_{or}^{st}}{W_{bel}} \quad (34.2)$$

bu ýerde  $W_{bel}$  – stansiýanyň bellenen kuwwaty. Bu kuwwat stansiýadaky ähli gurnalan hereketlendirijileriň (ätiýaçlygy hasaba alnanda) bellenen kuwwatlarynyň jemine deňdir.

köpeltmek hasylynyň aňlatmasy:

$$f \cdot h = n \quad (34.3)$$

stansiýanyň bellenen kuwwatynyň ulanylan sagatlarynyň sanyny görkezýär. Bu ýokarky (34.1), (34.2), we (34.3) aňlatmalardan gelip çykýar.

$$nW_{bel} = E^{ýyl} = W_{or}^{st} \cdot h = W_{bel} \cdot f \cdot h \quad (34.4)$$

Stansiýanyň bellenen kuwwatynyň ulanylýan sagadynyň sanynyň  $n$  ýylyň sagatlarynyň 8760 sagada deň bolan sanyna bolan gatnaşygy stansiýanyň bellenen kuwwatynyň ulanyş koeffisiýentini emele getirýär.

$$\mu = \frac{n}{8760}. \quad (34.5)$$

# Goşmaça maglumatlar

## 1-nji goşmaça

Fiziki ululyklaryň bir ölçeg birliginiň beýleki ölçeg birligine gatnaşygy

Fziki ululyklar	Bellenilişi	Birlikleriň gatnaşygy
Güýç	F	1 kG = 9,8066 N 1 N = 10 <sup>5</sup> din
Basyş	P	1 kG/sm <sup>2</sup> = 98066,5 N/m <sup>2</sup> = 736,5 mm, sim süt, 1 bar = 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> = 1,02 kG/sm <sup>2</sup> = 10 <sup>5</sup> Pa
Iş	L	1 kG m = 9,80665 J
Energiýa	U	1 kWt s = 860 kkal 1 a.g.s = 0,736 kWt s
Ýylylyk mukdary	Q	1 kkal = 4,1868 kJ
Ýylylyk akymy	Q	1 kkal/s = 1,163 Wt
Ýylylyk akymynyň dykzlygy	q	1 kkal/(m <sup>2</sup> °C) = 1,163 Wt/m <sup>2</sup>
Entalpiýa, faza üýtgeýiş ýygylgy	i	1 kkal/kg = 4,1868 kJ/kg
Ýylylyk sygymy	C <sub>p</sub>	1 kkal/(kg °C) = 4,1688 kJ/( kg °C)
Şepbeşikligiň dinamiki koeffisiýenti	μ	1 kG sek/m <sup>2</sup> = 9,81 N sek/m <sup>2</sup>
Ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti	λ	1 kkal/(m s °C) = 1,163Wt/(m °C)
Ýylylyk beriş koeffisiýenti	α	1 kkal/(m <sup>2</sup> s °C) = 1,163Wt/(m <sup>2</sup> °C)
Ýylylyk alyp berijilik koeffisiýenti	k	1 kkal/(m <sup>2</sup> °C) = 1,163Wt/(m <sup>2</sup> °C)
Şöhlelenmek koeffisiýenti	S	1 kkal/(m <sup>2</sup> s K <sup>4</sup> ) = 1,163 Wt/( m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )

## 2-nji gosmaça

Doýgun ýagdaýdaky suwuň fiziki parametrleri

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^5$ $\text{Pa}$	$\rho,$ $\text{kg/m}^3$	$i,$ $\text{kJ/kg}$	$C_p,$ $\frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$	$\lambda,$ $\frac{\text{Wt}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$	$a \cdot 10^6$ $\text{m}^2/\text{s}$	$\mu \cdot 10^6$ $\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\nu \cdot 10^6$ $\text{m}^2/\text{s}$	$\beta \cdot 10^4$ $1/\text{K}$	$\sigma \cdot 10^4$ $\text{N/m}$	Pr
0	1,013	999,9	0	4,212	0,560	13,2	1788	1,789	-0,63	756,4	13,5
20	1,013	998,2	83,91	4,183	0,597	14,3	1004	1,006	1,82	726,9	7,03
40	1,013	992,2	167,5	4,174	0,627	15,1	653,3	0,659	3,87	696	4,36
60	1,013	983,1	251,1	4,179	0,650	15,8	469,9	0,478	5,11	662	2,03
80	1,013	971,8	335,0	4,195	0,669	16,3	335,1	0,365	6,32	625,9	2,231
100	1,013	958,4	419,1	4,220	0,684	16,8	282,5	0,295	7,52	588,6	75
120	1,98	943,1	503,7	4,250	0,686	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,47
160	6,18	907,4	675,4	4,346	0,681	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
200	15,55	863,0	852,5	4,505	0,658	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
240	33,48	813,6	1037,5	4,76	0,617	16,0	114,8	0,141	16,8	285,5	0,88
280	67,19	750,7	1236,8	5,30	0,565	14,3	98,1	0,131	23,7	191,3	0,91
320	112,9	667,1	1462,1	6,57	0,494	11,3	85,3	0,128	38,2	98,10	1,14
370	210,5	450,5	1892,5	40,32	0,338	1,85	56,9	0,126	264	4,709	6,80

### 3-nji goşmaça

#### Doýma çyzygynda suw bugunyň fiziki häsiýetleri

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^{-5}$ $p_a$	$P'',$ $\text{kg/m}^3$	$i'',$ $\text{kJ/kg}$	$r,$ $\text{kJ/kg}$	$C_p,$ $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$	$\lambda \cdot 10^{-2}$ $\text{Wt/m}^\circ\text{C}$	$a \cdot 10^{-6}$ $\text{m}^2/\text{se}$ $k$	$\mu \cdot 10^{-6}$ $\text{Pa}\cdot\text{sek}$	$\nu \cdot 10^{-6}$ $\text{m}^2/\text{se}$ $k$	Pr
100	1,013	0,598	2675,9	2256,8	2,135	2,372	18,58	11,97	20,02	1,08
120	1,98	1,121	2706,5	2202,8	2,206	2,593	10,50	12,85	11,46	1,09
140	3,61	1,966	2734,1	2145,0	2,315	2,791	6,130	13,54	6,89	1,12
160	6,18	3,258	2758,0	2082,61	2,479	3,012	3,722	14,32	4,39	1,18
200	15,55	7,862	2793,1	1940,7	3,023	3,547	1,492	15,99	2,03	1,36
240	33,48	16,76	2603,0	1766	3,881	4,290	0,658	17,75	1,06	1,61
280	64,19	33,19	2780	1543	5,234	5,490	0,317	19,91	0,600	1,90
320	112,90	64,72	2700	1238	8,206	7,510	0,141	22,85	0,353	2,50
360	186,74	144,0	2481	719,7	23,03	12,790	0,038	29,13	0,202	5,23

# 4-nji goşmaça

Gurak howanyň fiziki häsiýetleri ( $P_b=760$  mm. sim.süt  $\approx 1,01 \cdot 10^5$  Pa)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$C_p, \text{kJ/(kg } ^\circ\text{C)}$	$\lambda, 10^2 \text{ Wt/(m } ^\circ\text{C)}$	$a \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{sek}$	$\mu \cdot 10^5 \text{ Pa sek}$	$\nu \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{sek}$	Pr
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
60	1,060	1,005	2,90	27,2	20,1	18,97	0,696
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09	0,692
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,683
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85	0,680
300	0,615	1,047	4,60	71,6	29,7	48,33	0,674
400	0,524	1,068	5,21	93,1	33,0	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	115,3	36,2	79,38	0,687
600	0,404	1,114	6,22	138,3	39,1	96,89	0,699
800	0,329	1,156	7,18	188,8	44,3	134,8	0,719
1000	0,277	1,185	8,07	245,9	49,0	177,1	0,719
1200	0,239	1,210	9,15	316,5	53,5	233,7	0,724

# 5-nji goşmaça

Turbulent kadaly akymda  $\varepsilon_l = f(\ell/d, Re_{dc})$  baglylykdaky bahalary

Re <sub>dc</sub>	ℓ/d									
	1	2	5	10	15	20	30	40	50	
1·10 <sup>4</sup>	1,65	1,5	1,34	1,23	1,17	1,13	1,07	1,03	1	
2·10 <sup>4</sup>	1,51	1,4	1,27	1,18	1,13	1,1	1,05	1,02	1	
5·10 <sup>4</sup>	1,34	1,27	1,18	1,13	1,1	1,08	1,04	1,02	1	
1·10 <sup>5</sup>	1,28	1,22	1,15	1,1	1,08	1,06	1,03	1,02	1	
1·10 <sup>6</sup>	1,14	1,11	1,08	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1	



## Ýangyç ýananda emele gelyän gazlaryň fiziki häsiýetleri

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho$ $\text{kg/m}^3$	$C_p$ $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$	$\lambda \cdot 10^2$ $\text{Wt/m } ^\circ\text{C}$	$a \cdot 10^6$ $\text{m}^2/\text{sek}$	$\mu \cdot 10^2$ $\text{Pa sek}$	$v \cdot 10^6$ $\text{m}^2/\text{sek}$	$Pr$
0	1,295	1,042	2,28	16,9	15,8	12,20	0,72
100	0,950	1,068	3,13	30,8	20,4	21,54	0,69
200	0,748	1,097	4,01	48,9	24,5	32,80	0,67
300	0,617	1,122	4,84	69,9	28,2	45,81	0,65
400	0,525	1,151	5,70	94,3	31,7	60,38	0,64
500	0,457	1,185	6,56	121,1	34,8	76,30	0,63
600	0,405	1,214	7,42	150,9	37,9	93,61	0,62
700	0,363	1,239	8,27	183,8	40,7	121,1	0,61
800	0,330	1,264	9,15	219,7	43,4	131,8	0,60
900	0,301	1,290	10,0	258,0	45,9	152,5	0,59
1000	0,275	1,306	10,90	303,4	48,4	174,3	0,58
1100	0,257	1,323	11,75	345,5	50,7	197,1	0,57
1200	0,240	1,340	12,62	392,4	53,0	221,0	0,56

Ýylylyk izolirleýji we beýleki gurluşyk materiallarynyň dykzlygy  
 $\rho$ ,  $\lambda$  ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti hem-de udel ýylylyk sygymy C

Materiallar	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	T °C	$\lambda$ Wt/(m·°C)	c kJ/(kg·°C)
asbest 3-sort	340	-	0,0870+0,24 10t	0,816
asbest 3-sort	650	-	0,11+0,19 10t	0,816
Asbet kartony	900	-	0,16+0,17 10t	0,816
Asbest şnury	800	-	0,13+0,15 10t	0,816
Asfalt	2120	0...30	0,6...0,74	1,67
Demir beton	2200	0	1,55	0,81
Şlak beton	1500	0	0,70	0,80
Pagta	800	30	0,042	-
Gyzyl kerpiç	1800	0	0,77	0,88
Selikat kerpiç	1900	0	0,81	0,84
Gyzyl kerpiçden örülen diwar	1700	0	0,81	0,88
Selikat kerpiçden örülen diwar	1900	0	0,87	0,84
Buz	928	-100	3,5	1,17
Buz	917	0	2,2	2,26
Hek	2000	50	0,9	0,88
Mramor	2800	0	3,5	0,92
Parafin	920	20	0,27	-
Gury çäge	1520	0...160	0,30...0,38	0,80
Çyg çäge	1650	20	1,13	2,09
Gant şeker	1000	0	0,58	1,26
Adaty aýna	2500	20	0,74	0,67
Tekstol	1300- 1400	20	0,23...0,34	146...1,51
Farfor	2400	95	1,04	1,09
Ebonit	1200	20	0,157...0,17	-
Hek suwagy	1000	0	0,7	0,84
Sement çäge suwagy	1800	0	1,2	0,54
Faner	600	0	0,15	2,51

## Dürli materiallaryň ýylylyk şöhlelenme koeffisiýenti

Materiallar	t, °C	ε
Alýumin:		
ýylmanan	225...575	0,39...0,057
büdür-südür	26	0,055
okislenen	200...600	0,011...0,19
Wolfram	230...2230	0,053...0,31
wolfram simi	3000	0,391
Demir:		
Elektrolitde		
ýylmanan	175...225	0,052...0,064
ýylmanan	425...1020	0,14...0,377
guýulan	925...115	0,87...0,95
Polat:		
ýylmanan list	940...1110	0,52...0,61
okislenen	200...600	0,79
Çoýun:		
ýylmanan	200	0,21
gyrylan	830...990	0,60...0,70
okislenen	200...600	0,64...0,78
büdür-südür	40...250	0,96
Altyn	225...625	0,018...0,035
Latun:		
ýylmanan	245...355	0,028...0,031
Düzümi 73,2% Cu		
Mis: 26,7% Zn		
Elektrolitde		
ýylmanan	80	0,018

Materiallar	t, °C	$\varepsilon$
Köp wagtlap gyzdyllyp üsti galyň okis bilen örtülen Arassa ýylmanan platina platinanyň lentasy platina sapagy platina simi Hrom asbest kartony şamot kerpiji hek suwagy garagurum farfor gyzyl kerpiç	  200...600 225...625 925...1115 25...1230 225...1375 38...538 24 1100 10...90 40...370 22 20	  0,57...0,55 0,054...0,105 0,12...0,17 0,036...0,192 0,073...0,182 0,08...0,26 0,96 0,75 0,91 0,95 0,92 0,93

## Edebiýatlar

1. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
2. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Umumymilli “Galkynyş” Hereketiniň we Türkmenistanyň Demokratik partiýasynyň nobatdan daşary V gurultaýlarynyň bilelikdäki mejlisinde sözlän sözi. Aşgabat, 2007.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Eserler ýygyny. 1-nji tom. Aşgabat, 2007.
4. Türkmenistanyň Prezidentiniň “Obalaryň, şäherçeleriň, etrapdaky şäherleriň we etrap merkezlerinin ilatynyň durmuş-ýaşaýyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin” Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
5. “Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry” Milli Maksatnamasy. “Türkmenistan” gazetiniň 2003-nji ýyl, Alp Arslan aýynyň 27-si.
6. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler 1-nji tom. Aşgabat. Türkmen döwlet neşirýat gullugy 2008 ý.
7. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler 2-nji tom. Aşgabat. Türkmen döwlet neşirýat gullugy 2009 ý.
8. Сапарлиев Х. М. Аккумулятор естественного холода на тепловых трубах. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ашхабад, 1989.
9. Arazmedow. Tehniki termodinamika. Aşgabat. TDNG. 2005.
10. Баскаков А.П. Теплотехника. М., 1991.
11. Вукалович Н.П., Новиков И.И. Техническая термодинамика. М., 1972.
12. Криллин В. А., Шейнрлин В.В. Техническая термодинамика. М., 1983.
13. Юраев В.Н. Техническая термодинамика. М., 1988.

14. Теоретические основы теплотехники (справочник). М., 1988.
15. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. 2-е издание. Москва. Энергия. 1977.
16. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Учебник, 4-е Изд. М., Энергоиздат. 1981.
17. Кондратов Г.М. Регулярный тепловой режим. М., Гостехиздат. 1954.
18. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М., Высшая школа. 1969.
19. Ривкин С.Л., Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. М., Энергия, 1980.
20. B. Arazmedow., S. Daňatarow. Ýylylyk geçirilişiniň esaslary. Aşgabat. Magaryf. 1999. 176 sah.
21. С. Данатаров. “Ýylylyk çalyşmasy” kursy boýunça kontrol işleri we ony erine etirmek üçin metodiki gorkezmeler. Aşgabat. Ылхам 1992.
22. Теплотехника. Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Г.А. Матвеева. М., Высшая школа. 1980.
23. Теплотехника. Под общей редакцией д-ра техн. наук, проф. В.И. Крутова. М., Машина строение. 1986.
24. Болховитинов Г.Ф. и Григорьев С.Н. Тепловые машины и установки железнодорожного транспорта. М., 1976.
25. Глагольев Н.М. и др. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания, газовые турбины. М., 1973.
26. Орлин А.С. и др. Двигатели внутреннего сгорания. М., 1979.
27. Промышленные тепловые электростанции. Под. Ред. Е.Я. Соколова. М., 1979.
28. Рыжкин В. Я. Тепловые электрические станции М., 1967.
29. Сиделковский Л.Н., Юренев В.Н. Парогенераторы промышленных предприятий. М., 1978.
30. Спейшер В.А., Горбаненко А.Д. Повышение эффективности использования газа и жидкого топлива в теплоэнергетических установках. М., 1974.

31. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. М., 1973.
32. Хзмалян Д.М., Каган Я. Ф. Теория горения и топочные устройства. М., 1976.
33. Центробежные компрессорные машины. Под. Ред. Ф.М. Чистякова. М., 1969.
34. Черкасский В.М. Насосы. Вентиляторы. Компрессоры. М., 1977.
35. Шеголев М.М. и др. Котельные установки. М., 1972.
36. К.Ф. Роддатис. Котельные установки. М. Энергия М., 1977.

## Mazmuny:

Sözbaşy.....	7
Giriş.....	9
I BÖLÜM	
TEHNIKA TERMODINAMIKASY.....	11
Birinji bap. ESASY MAGLUMATLAR. HYÝALY GAZLARYŇ KANUNLARY.....	11
1.1. Tehnika termodinamikasy nämäni öwrenýär ?.....	11
1.2. Termodinamika parametrleri we olaryň ölçenilişi .....	12
1.3. Hyýaly gazlar. Hyýaly gazlaryň kanunlary.....	16
1.4. Gazlaryň garyndysy.....	20
1.5. Ýylylyk sygymy hakynda düşünje.....	26
Ikinji bap. TERMODINAMIKANYŇ 1-NJI KANUNY.....	31
2.1. Ýylylyk we iş. Olaryň özara öwrülişi.....	31
2.2. Içki energiýa we iş barada düşünje.....	35
2.3. Termodinamikanyň 1-nji kanunynyň deňlemesi.....	37
2.4. Entalpiýa.....	40
2.5. Termodinamikanyň 1-nji kanunynyň akym uçin ulanylyşy .....	43
Üçünji bap. TERMODINAMIKA PROSESSLERI.....	45
3.1. Termodinamika prosesleri hakynda düşünje.....	45
3.2. Izoterma prosessi.....	45
3.3. Izohora prosessi.....	47
3.4. Izobara prosessi.....	48
3.5. Adiabata prosessi.....	50
3.6. Politropa prosessi.....	55
Dördünji bap. TERMODINAMIKANYŇ 2-NJI KANUNY.....	59
4.1. Öwrülişikli we öwrülişiksiz prosesler.....	59
4.2. Karnonyň aýlawy. Karnonyň nazaryýeti.....	61
4.3. Entropiýa.....	66
4.4. Termodinamikanyň 2-nji kanunynyň kesgitlemeleri.....	72
Termodinamikanyň 1-nji we 2-nji kanunynyň birleşdirilen deňlemesi.....	72
Bäşinji bap. KOMPRESSORLAR.....	75
5.1. Kompresorlar hakynda umumy düşünje we	



kompressorlarda gysylyş prosessi.....	75
5.2. Kompressorlarda gysylma işiniň kesgitlenişi.....	75
5.3. Kompressorlaryň ulanylyşy.....	79
Altynjy bap. IÇINDEN ÝANDYRYLYAN ÝYLYLYK HEREKETLENDIRIJILERI.....	82
6.1. Içinden ýandyrylýan ýylylyk hereketlendirijileriň iş aýlawlary.....	82
6.2. Hemişelik göwrümde ( $v = \text{const}$ ) ýylylyk berilendäki aýlaw .....	83
6.3. Hemişelik basyşda ( $p = \text{const}$ ) ýylylyk berlendäki aýlaw...	89
6.4. Hemişelik göwrümde we hemişelik basyşda ýylylyk berlendäki aýlaw.....	93
6.5. Içinden ýandyrylýan porşenli hereketlendirijileriň aýlawlarynyň deňleşdirilişi.....	97
Ýedinji bap. GAZOTURBIN WE REAKTIW HEREKETLENDIRIJILERI.....	99
7.1. Gazoturbin we reaktiw hereketlendirijileriň aýlawlary....	99
7.2. Hemişelik basyşda ýylylyk berýän gazoturbina enjamyň aýlawy .....	101
7.3. Hemişelik göwrümde ýylylyk berilýän gazoturbina enjamyň aýlawy.....	106
7.4. Reaktiw hereketlendirijileriň aýlawlary.....	110
Sekizinji bap. KESE KESIGI BOÝUNÇA ÜYTGEÝÄN GYSGA KANALLARDAN GAZLARYŇ WE BUGUŇ AKYP GEÇMEGI.....	113
8.1. Daralýan sopladan akymyň akýşy.....	113
8.2. Nasadkanyň formasynyň (görnüşiniň) akyma edýän täsiiri.....	117
8.3. Gazlaryň we buglaryň drosselirlenmegi.....	119
Dokuzynjy bap. SUW BUGY.....	121
9.1. Hemişelik basyşda bug emele gelmek prosessi.....	121
9.2. Suw bugunyň entropiýasy we entalpiýasy .....	125
Onunjy bap. ÇYGLY HOWA.....	128
10.1. Çygly howa barada umumy düşünje.....	128
10.2. Çygly howanyň parametrleri.....	129
10.3. Çygly howanyň i-d diagrammasy .....	132

Onbirinji bap. SOWADYJY MAŞYNLARYŇ AÝLAWLARY .....	135
11.1. Sowadyjy maşynlaryň häsiýetleri we görnüşleri .....	135
11.2. Işçi jisimi howa bolan sowadyjy maşynlar.....	137
11.3. Işçi jisimi bug bolan kompressorly.....	141
sowadyjy maşynlaryň aýlawy.....	141
11.4. Absorbsion sowadyjy maşynlar.....	143
11.5. Bug ežektorly sowadyjy enjam.....	146
II BÖLÜM	
ÝYLYLYK GEÇIRIJILIK.....	152
On ikinji bap. ÝYLYLYK GEÇIRIJILIGIŇ ESASY KANUNLARY. ÝYLYLYK GEÇIRIJILIK.....	152
12.1 Umumy maglumat .....	152
12.2. Temperatura meýdany.....	153
12.3. Temperatura gradiýenti.....	154
12.4. Ýylylyk akymy. Furýeniň kanuny.....	155
12.5. Ýylylyk geçirijiligiň deňlemesi.....	156
On üçünji bap. DURNUKLY ÝYLYLYK KADADA ÝYLYLYK GEÇIRIJILIK.....	163
13.1 Tekiz diwarda ýylylyk geçirijilik.....	163
13.2 Silindr görnüşli diwarlaryň ýylylyk geçirijiligi.....	166
13.3 Şar görnüşli diwarlaryň ýylylyk geçirijiligi.....	170
On dördünji bap. DURNUKSYZ ÝYLYLYK GEÇIRIJILIK PROSESSLERI .....	173
14.1. Umumy düşüňjeler.....	173
14.2. Durnuksyz ýylylyk geçirijilik prosesiniň analitiki ýazgysy.....	174
14.3. Tekiz diwaryň gyzmasy we sowamasy.....	178
14.4. Tükeniksiz uzyn silindriň gyzmasy we sowamasy.....	182
14.5. Şaryň gyzmasy we sowamasy.....	184
14.6. Ýylylygyň ýaýrama prosesiniň jisimiň formasyna we ölçeglerine baglylygy.....	185
On bäşinji bap. KONWEKTIW ÝYLYLYK ÇALŞYGY.....	187
15.1 Konwektiw ýylylyk çalşygy barada esasy düşünje.....	187
15.2 Suwuklygyň erkin hereketinde ýylylyk berijilik.....	191
15.3 Suwuklygyň mejbury hereketinde ýylylyk berijilik.....	193

On altynjy bap. ŞÖHLELENME ARKALY ÝYLYLYK ÇALŞYGY.....	199
16.1 Ýylylyk şöhlelenmesi barada düşünje.....	199
16.2 Ýylylyk şöhlelenme kanunlary.....	201
16.3 Jisimlerin arasyndaky şöhlelenme boýunça ýylylyk çalşygy.....	206
On ýedinji bap. GAÝNAMADA WE KONDENSASIÝADA ÝYLYLYK ÇALŞYGY. MASSA ÇALŞYGY.....	209
17.1. Suwuklyklar gaýnandaky ýylylyk çalşygy.....	209
17.2 Bugun kondensasiýasynda ýylylyk çalyşma.....	212
17.3 Massa çalşygy.....	214
On sekizinji bap. ÇYLŞYRYMLY ÝYLYLYK ÇALŞYGY. ÝYLYLYK ÇALŞYJY ENJAMLAR .....	217
18.1 Çylşyrymly ýylylyk çalyşma.....	217
18.2 Tekiz we gapyrgaly diwarlardan ýylylygyň geçirilişi....	218
18.3 Silindr görnüşli diwardan ýylylyk geçiriliş.....	224
18.4 Ýylylyk çalşygy enjamlar.....	225
18.5. Ýylylyk çalşygy enjamlaryň gidromehaniki hasapnamalary.....	231
18.6. Ýylylyk çalşygy enjam elementleriniň gidrawliki garşylygy.....	232
III BÖLÜM	
ÝANGYÇ WE ÝANMA HADYSASYNYŇ ESASLARY .....	236
On dokuzynjy bap. ÝANGYÇ.....	236
19.1. Ýangyç hakynda düşünje we ýangyjyň topara bölünişi .....	236
19.2. Ýangyjyň düzümi.....	238
19.3. Ýangyjyň ýylylyk tehniki häsiýetnamasy.....	241
19.4. Ýangyç ýananda bölünip çykýan ýylylyk.....	244
19.5. Şertli ýangyç .....	247
19.6. Organiki ýangyçlaryň görnüşleri we häsiýetnamalary .....	248
Ýigriminji bap. ÝANMA PROSESSI .....	256
20.1. Ýanma prosessi hakynda umumy düşünje.....	256

20.2. Ýangyjyň ýanmagy üçin berilmeli howanyň nazary we amaly mukdary .....	259
20.3. Ýangyç ýananda emele gelýän gazlaryň göwrümi ....	264
20.4. Ýangyç ýananda emele gelýän gazyň entalpiýasy ....	272
IV BÖLÜM.....	274
GAZAN DESGALARY .....	274
Ýigrimi birinji bap. GAZAN DESGALARY, OLARYŇ MAKSATLARY WE ELEMENTLERI.....	274
21.1. Gazan desgalary we olaryň görnüşleri.....	274
21.2. Gazan agregaty .....	278
21.3. Gazan desgasynyň kömekçi enjamlary.....	283
Ýigrimi ikinji bap. GAZAN AGREGADYNYŇ ÝYLYLYK BALANSY .....	285
22.1. Ýylylyk balansynyň deňlemesi.....	285
22.2. Gazan agregadynda peýdaly ýylylyk.....	287
22.3. Ýylylygyň tüsse gazy bilen ýitmegi .....	288
22.4. Ýangyjyň himiki doly ýanyp bilmezliginden ýitýän ýylylyk .....	290
22.5. Ýangyjyň mehaniki doly ýanyp bilmezliginden ýitýän ýylylyk .....	291
22.6. Gazan agregadyndan daşky gurşawa ýitirilýän ýylylyk .....	292
22.7. Gazan agregadynyň peýdaly täsir koeffisiýenti. Ýangyjyň sagatlaýyn sarp edilişi .....	296
Ýigrimi üçünji bap. OJAK ENJAMLARY .....	299
23.1. Ýangyjy ýakmagyň esasy usullary. Ojak enjamlarynyň görnüşleri .....	299
23.2. Gatlaklaýyn ojaklar.....	302
23.3. Kameraly ojaklar .....	307
23.4. Suwuk ýangyçlary ýakmak üçin ojakalar .....	310
23.5. Gaz görnüşli ýangyjy ýakmak üçin ojaklar .....	312
V BÖLÜM	
BUG WE GAZ TURBINALARY .....	316
Ýigrim dördünji bap. TURBINALAR BARADA UMUMY DÜŞÜNJE .....	316

24.1. Turbinanyň işleýiş düzgüni. Turbina basgançaklaryndaky ýylylyk prosessleri .....	316
24.2. Aktiw we reaktiw turbinalar.....	322
24.3. Pilçe gözenekleriniň parametrleri we geometrik häsiýetnamalary .....	324
24.4. Turbina basgançaklary boýunça momentler.....	327
24.5. Turbinalaryň kuwwaty we peýdaly täsir koeffisiýenti...	328
Ýigrimi başynjy bap. BUG TURBINALARY .....	330
25.1. Turbinalaryň görnüşleri.....	330
25.2. Kiçi we uly kuwwatly turbinalar .....	331
25.3. Bug turbinalarynyň sazlanýş düzgüni.....	335
25.4. Kondensirleýän bug turbinalaryň gurluşy.....	338
Ýigrimi altynjy bap. GAZ TURBINALARY .....	341
26.1. Gaz turbinaly desgalar (GTD).....	341
26.2. Gaz turbinanyň kämilleşdirilişi.....	344
26.3. Gaz turbinaly desgalaryň ýanyş kameralary.....	348
26.4. Gaz turbinaly desgalaryň peýdalanylyşy. Türkmenistanda ulanylýan gaz turbinalary.....	350
VI BÖLÜM	
İÇINDEN ÝANDYRYLÝAN HEREKETLENDIRIJILER..	356
Ýigrimi ýedinji bap. İÇINDEN ÝANDYRYLÝAN HEREKETLENDIRIJILER BARADA UMUMY MAGLUMAT.....	356
27.1. İçinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň işleýiş düzgünleri we olaryň toparlara bölünişi.....	356
27.2. İçinden ýandyrylýan hereketlendirijilerde (İÝH) garyndy emele getirilişi.....	360
27.3. Hereketlendirijileriň indikator diagrammasy we kuwwaty.....	365
Ýigrimi sekizinji bap. İÇINDEN ÝANDYRYLÝAN HEREKETLENDIRIJILERDE ÝYLYLYK PAÝLANMA.	371
28.1. İçinde ýandyrylýan hereketlendirijileriň ýylylyk balansy.....	371
28. 2. İçinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň tehniki ykdysady görkezijileri.....	374

Ýigrimi dokuzynjy bap. IÇINDEN ÝANDYRYLÝÁN HEREKETLENDIRIJILERIŇ ESASY BÖLEKLERI WE OLARYŇ KÄMILLEŞDIRILIŞI.....	376
29.1. Içinden ýandyrylýän hereketlendirijileriň esasy bölekleri.....	376
29.2. Hereketlendirijileriň kämilleşdirilişi.....	385
VII BÖLÜM	
KOMPRESSOR DESGALARY.....	388
Otuzynjy bap. KOMPRESSOR DESGALARY BARADA UMUMY DÜŞÜNJE.....	388
30.1. Kompessor maşynlaryň toparlara bölünişi.....	388
30.2. Kompessor maşynlaryň esasy parametrleri.....	389
Otuz birinji bap. PORŞENLI WE ROTASION KOMPRESSORLAR.....	393
31.1. Porşenli kompressorlar.....	393
31.2. Rotasion kompressorlary.....	396
31.3. Okly kompressorlar.....	398
31.4. Merkezden daşlaşýanly kompressorlar.....	400
31.5 Merkezden daşlaşýanly kompressorlaryň häsiýetnamalary.....	402
Otuz ikinji bap. WENTILÝATORLAR.....	404
32.1 Umumy maglumat.....	404
32.2. Wentilýatorlaryň toparlara bölünişi we saýlanylyşy....	409
VIII BÖLÜM	
ÝYLYLYK ELEKTRIK STANSIÝALARY (ÝES).....	411
Otuz üçünji bap. ÝES HAKYNDA UMUMY MAGLUMAT .....	411
33.1. Elektrik stansiýalarynyň bellenen maksatlary we olaryň toparlara bölünişi.....	411
33.2. Bug turbinaly elektrik stansiýasy we onuň prinsipial ýylylyk shemasy .....	413
33.3. Elektrik stansiýalaryň ýükleriniň grafikleri.....	416
Otuz dördünji bap. ÝES-leriň DÜZÜLIŞ SHEMASY WE TEHNIKI-YKDYSADY GÖRKEZIJILERI.....	419
34.1. Bug turbinaly elektrostansiýalaryň düzülişleriniň shemasy.....	419

34.2. Elektrostansiýalaryň elektrik ýükleriniň kadasynyň görkezijileri.....	421
Goşmaça maglumatlar.....	424
Edebiýatlar.....	433