

Q.B.MƏMMƏDOV  
Q.M.ALLAHVERDİYEVƏ

# İSTİLİK VƏ SOYUTMA TEXNİKASI

**Q.B.MƏMMƏDOV Q.M.ALLAHVERDİYEVA**

# **İSTİLİK VƏ SOYUTMA TEXNİKASI**

*(dərslük)*

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyinin 07 iyun  
2011-ci il tarixli 1003 sayılı əmri ilə qrif verilmişdir.

**Bakı-«Elm»-2011**

**Elmi redaktor:** texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent **F.Ə.Namazov**

**Rəy verənlər:** Azərbaycan Respublikasının Əməkdar Mühəndisi, texnika elmləri doktoru, professor **H.Y.Quliyev**; texnika elmləri doktoru, professor **B.M.Bağirov**; texnika elmləri doktoru, professor **H.K.Fətəliyev**; texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent **M.H.Cəfərov**

## **Q.B.Məmmədov, Q.M.Allahverliyeva**

İstilik və soyutma texnikası. - Bakı: Elm, 2011. - 492 s.  
(Dərslük)

Kitabda istilik və soyutma texnikası hissələri geniş izah olunur. İstilik texnikası hissəsində texniki termodinamikada, qaz və buxar halının termodinamik proses zamanı necə dəyişdiyi və istilik enerjisindən birbaşa istifadə edərək cisimlərin mexaniki, kimyəvi və fiziki xassələrini dəyişmək, onları əritmək, buxarlandırmaq, dondurmaq və quruluşunu dəyişdirmək kimi proseslər dərinlən təhlil edilir. Cisimlər arasında baş verən istilik mübadiləsi qanunları öyrənilir. Soyutma texnikası hissəsində soyuducu maşınların konstruksiyaları, işçi prosesləri və hesabat üsulları verilmişdir. Soyuducu aparatlar, qurğular və məişət soyuducularının quruluşu, işi və texniki xarakteristikaları geniş izah olunur. Xarakterik soyuducu qurğuların avtomatlaşdırılması, məişət soyuducularında baş verən nasazlıqlar və onların aradan qaldırılması yolları ətraflı təhlil edilmişdir.

Dərslükdən aqrar mühəndislik və qida məhsullarının emalı texnologiyası istiqamətində təhsil alan tələbələr, eləcə də bu sahədə çalışan mühəndis, mütəxəssis və elmi işçilər istifadə edə bilərlər.

## GİRİŞ

Qida və qidalanmaq hər bin insanın həyatında aparıcı yer tutur. Qidalanmaq insan sağlamlığı üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Əhalinin müasir qidalanma nəzəriyyəsi yeni nəsil qida məhsullarının yaradılmasına tam fərqli yanaşmanı tələb edir. çünki hazırki texnologiyalarla istehsal edilən məhsullar artıq dərəcədə emal olunduğundan bioloji aktiv maddələrin çox hissəsini itirir. Bundan başqa, günü-gündən pisləşən ekoloji durum, streslərlə dolu həyat ritmi insanların immunitetinin aşağı düşməsinə və ömürlərinin azalmasına səbəb olur.

Dünya ərzaq və kənd təsərrüfatı təşkilatının (FAO) məlumatına görə 1950-1985-ci illərdə ərzaq istehsalının illik artımı 30 mln. ton, 1985-1995-ci illərdə 12 mln. ton təşkil edirsə, 2030-cu ilədək bu göstərici cəmi 9 mln. ton səviyyəsində olacaqdır. Dünya əhalisinin illik artımının 80 mln. nəfər olmasını nəzərə alsaq əhalinin ərzaq çatışmamazlığı aydın görünür. Yer kürəsində 2 mlrd. çox insan düzgün qidalanmır. Bu da mikronutriyentlərin çatışmamazlığına səbəb olur.

Buna görə də məhsul istehsalının bütün sahələrinin qarşısında duran əsas məsələ insanların təhlükəsizliyini təmin edən, yüksək keyfiyyətli və yüksək istehlak xüsusiyyətlərinə malik ərzaqların istehsalıdır. Çünki keyfiyyət və assortiment əhalinin sağlamlığının təminatıdır.

Bunları nəzərə alan ölkə rəhbərliyi 2008-2015-ci illərdə Azərbaycan Respublikasında əhalinin ərzaq məhsulları ilə etibarlı təminatına dair Dövlət Proqramı qəbul etmişdir.

Qida insanı xarici mühitlə əlaqələndirən ən mühüm amildir. Ərzaq xammalının və qida məhsullarının təhlükəsizliyinin təmin edilməsi əhalinin sağlamlığını müəyyən edən və genefondunu qoruyan əsas şərtlərdəndir.

Qida problemi bəşəriyyətin qarşısında duran əsas və ən vacib problemlərdən biridir. Oksigendən başqa hər şeyi insan qida vasitəsilə alır. Qida istehsalı sənayesi qarşısında duran əsas məsələlərdən biri də insanları ekoloji təmiz və təhlükəsiz emal edilmiş məhsullarla təmin etməkdir. Bu məsələləri həll etmək üçün

proseslərin intensivləşməsi, yeni nəsil avadanlığın konstruksiyası və elm və texnikanın nailiyyətlərindən istifadə edərək itkisiz istehsalın təşkili vacibdir.

Qida məhsullarının istehsalında istilik və soyutma texnikasından geniş istifadə edilir. Ölkəmizin xalq təsərrüfatının sürətli inkişafı və əhəlinin artmaqda olan tələbatın ödənilməsi külli miqdarda enerji tələb edir.

Təbiətdə enerji ehtiyatı müxtəlif yanacaq yataqlarının, suyun, küləyin, günəşin enerjisi və nüvə enerjisi şəklində mövcuddur. Müasir texnikanın səviyyəsinə uyğun olaraq və iqtisadi mülahizələrə görə yuxarıda göstərilən təbii enerjilərdən ən çox istifadə olunanı yanacağın (kömür, neft, qaz, torf, slans) kimyəvi enerjisi və axar suyun enerjisidir.

Hal-hazırda dünyada tələb olunan elektrik enerjisinin əsasını istilik-elektrik stansiyaları hasil edir.

Atom və nüvə enerjisindən istifadə olunması sahəsində geniş elmi işlər aparılır. Gücü 5000 kVt olan birinci atom elektrik stansiyası keçmiş SSRİ-də tikilmiş və 1954-cü ildə istismara verilmişdir. Dünyada olan atom elektrik stasiyalarının gücü 1000000 kVt-a qədərdir.

Təbii enerji ehtiyatından istifadə etdikdə enerjini elə şəkildə almağa çalışırlar ki, onun istifadə edilməsi asan olsun. Məsələn, yanacağı yandıraraq istilik enerjisi hasil edirlər (yanma prosesində-ani oksidləşmə prosesində-yanacağın kimyəvi enerjisi istilik enerjisinə çevrilir).

Ərzaq məhsullarının uzun müddət saxlanması və müxtəlif növ ərzaqların istehsalında soyutmadan istifadə olunur. Bir çox məhsulların özünün keyfiyyət göstəricilərinin müddətli saxlanması adi soyuq şəraitdə mümkün olmur, çünki ayrı-ayrı məhsulların özlərinin saxlanma temperaturları vardır. Həmin temperaturları isə adi şəraitdə almaq mümkün olmur. Ona görə də belə temperaturlar soyutma texnikası vasitəsilə yerinə yetirilir.

# I HİSSƏ. İSTİLİK TEXNİKASI

---



## İstilik texnikası və onun inkişaf tarixi

İstilik enerjisindən həm texnikada, həm də məişətdə geniş istifadə edilir. İstilik enerjisindən əsasən iki məqsəd üçün istifadə edilir:

- 1) mexaniki enerji hasil etmək üçün;
- 2) müxtəlif cismlərin xassələrini istənilən istiqamətdə dəyişmək üçün.

Maşınları, dəzgahları, traktorları, avtomobilləri, təyyarələri və s. hərəkətə gətirmək üçün mexaniki enerjindən istifadə edilir. Mexaniki enerjini, istilik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən mühərriklər hasil edir. Elektrik enerjisi hasil edən istilik stansiyalarında yanacaq kimyəvi enerjisi istilik enerjisinə (yanmada), istilik enerjisi mexaniki enerjiyə (xüsusi mühərrikdə), mexaniki enerji isə elektrik enerjisinə (elektrik generatorunda) çevrilir.

İstilik enerjisinin mexaniki enerjiyə (istiliyin işə) və əksinə, çevrilmə proseslərini öyrənən fənnə texniki termodinamika deyilir. Texniki termodinamikada, qaz və buxar halının termodinamik proses zamanı necə dəyişdiyi dərindən tədqiq edilməlidir. Qazların xassələri buxarların xassələrindən fərqlənir. Belə ki, qazlar onları xarakterizə edən parametrləri dəyişdikdə öz aqreقات hallarını sabit saxlayır. Buxarlar isə əksinə bu parametrlərin cüzi dəyişməsi ilə aqreقات hallarını dəyişir.

İstilik enerjisindən birbaşa istifadə edərək cismlərin mexaniki, kimyəvi və fiziki xassələrini dəyişmək, onları əritmək, buxarlandırmaq, dondurmaq və quruluşunu dəyişdirmək mümkündür. Bu proseslərdən həm sənayenin müxtəlif sahələrində, həm də məişətdə geniş istifadə edilir. Cismlər arasında baş verən istilik mübadiləsi qanunlarını öyrənən fənnə istilikötürmə deyilir. Texniki termodinamika ilə istilikötürmə birlikdə istilik texnikası fənninin nəzəri əsasını təşkil edir.

Texniki termodinamika, istilik texnikası elminin əsas bölmələrindən biri olub, XIX əsrin II yarısından elm şəklində inkişaf et-

məyə başlamışdır. Bu elmin yaranmasında və inkişafında Klauzius, Renkin, Tseyner və başqa xarici alimlərlə yanaşı rus və keçmiş sovet alimlərinin də böyük rolu olmuşdur. Termodinamika elminin əsas müddəalarını hələ XVIII əsrin ortalarında dahi rus alimi M.V.Lomonosov irəli sürmüşdür. O, 1746-cı ildə enerjinin saxlanması qanununu verərək bunu «Ümumi təbiət qanunu» adlandırmışdır.

1763-1765-ci illərdə İ.İ.Polzunov həmin qanuna əsaslanaraq sənaye üçün ilk buxar maşını yaratmışdır. Bu maşın o zaman sənayenin misli görünməmiş dərəcədə inkişaf etməsinə səbəb olmuşdur. İngiltərədə isə ilk buxar maşını yalnız 20 il keçdikdən sonra, 1783-cü ildə Cems Uatt tərəfindən qurulmuşdur.

İ.İ.Polzunov yaratmış olduğu buxar maşınında proseslərin avtomatik tənzim olunması məsələsini tamamilə düzgün həll etmiş və işə yararlı ən yaxşı mühərrik quraşdırmışdır.

Buxar mühərriklərinin inkişaf etdirilməsində xüsusi yer tutan Nijni Tagil zavodunun mexanikləri Y.A. və M.Y.Çerepanovlar 1833-cü ildə ilk dəfə olaraq Rusiyada paravoz yaratmışlar.

1862-ci ildə professor M.V.Okatovun yazdığı «Termodinamika - istiliyin mexaniki nəzəriyyəsi» adlı əsəri bütün dünyaya mütəxəssislərinin nəzər-diqqətini cəlb etmişdi.

1876-cı ildə professor İ.A.Vışneqradskinin qazların kinetik nəzəriyyəsi və istiliyin mexaniki ekvivalentinə dair nəşr etdirdiyi əsəri Paris Akademiyasının diqqət mərkəzində olmuşdur.

D.İ.Mendeleyev 1861-ci ildə hər bir maye üçün böhran temperaturu olduğunu müəyyən etmiş və bunu qaynamanın mütləq temperaturu adlandırmışdır. Rus alimlərindən M.P.Avenarius, Qolitsın, A.Q.Stoletov, A.Nadejdin, Doqayevski və b. 1870-1890-cı illərdə maddənin kritik halı haqqında böyük nəzəri və təcrübi tədqiqat işləri aparmışlar. Professor N.N.Piroqovun qazların kinetik nəzəriyyəsinə dair professor N.K.Şillerin termodinamikanın əsas qanunlarının analizinə dair, habelə keçmiş SSRİ EA-nın müxbir üzvü A.A.Radtsiqin buxarların termodinamikasına dair apardığı tədqiqat işləri diqqətəlayiqdir.

TEXNİKİ TERMODİNAMİKA

I FƏSİL  
HAL PARAMETRLƏRİ VƏ HAL TƏNLİKLƏRİ

İstiliyin mexaniki işə çevrilməsində köməkçi vasitə rolunu oynayan qazların, yəni işçi cisimlərin halı üç əsas kəmiyyətlə: mütləq təzyiq, temperatur və xüsusi həcmə təyin edilir.

Həmin kəmiyyətlərin qiyməti işçi cismin istilik verməsi və ya udulması ilə əlaqədar olaraq dəyişir və o bir haldan başqa hala keçir.

1.1. Təzyiq

Qazların təzyiqi qaz molekullarının qabın divarına vurduğu zərbələrin sayı ilə ölçülür. Qazların kinetik nəzəriyyəsinə görə qazın təzyiqi ədədi qiymətcə vahid həcmdəki molekulların irəliləmə hərəkətinin kinetik enerjisinin  $2/3$ -nə bərabərdir.

Beynəlxalq ölçü vahidləri sistemi olan Sİ sistemində təzyiqin ölçü vahidi Paskal (Pa) götürülür.  $1 Pa = 1 \frac{N}{m^2}$

$$1 MPa = 10^3 kPa = 10^6 Pa$$

Texnikada təzyiq  $\frac{kQ}{m^2}$  və ya  $\frac{kQ}{sm^2}$  ilə ölçülür.  $1 \frac{kQ}{sm^2}$ -a texniki atmosfer də deyilir.

$$1 \text{ tex. atm.} = 1 \frac{kQ}{sm^2} = 10000 \frac{kQ}{m^2} \text{ olur;}$$

$$1 kQ = 9,8 N.$$

Texniki atmosfer şərti olaraq *at* şəklində göstərilir. Fizikada bir atmosfer təzyiqi dedikdə,  $45^\circ$ -lik coğrafi en dairəsində və dəniz səviyyəsində  $0^\circ C$  temperaturda 760 mm civə süt. təzyiqinə uyğun gələn havanın təzyiqi nəzərdə tutulur. Bu təzyiq  $1 \text{ fiz. atm.} = 1,03325 kQ/sm^2 = 1,03325 \text{ tex. atm.} = 760 \text{ mm.c.süt.}$



Onda:

$$1 \text{ tex. atm.} = \frac{760}{1,03325} = 735,6 \text{ mm .c.süt.}$$

Sİ vahidlər sistemində təzyiq vahidi olaraq 1 Nyuton qüvvənin 1 m<sup>2</sup> səthə normal istiqamətdə etdiyi təzyiq qəbul edilmişdir.

$$1kQ=9,8 \text{ N olduğundan } 1 \frac{kQ}{m^2} = 9,8 \frac{N}{m^2} \text{ olar.}$$

Deməli:

$$1 \text{ tex. atm.} = 9,8 \cdot 10^4 \frac{N}{m^2};$$

$$1 \text{ fiz. atm.} = 1,03325 \cdot 9,8 \cdot 10^4 \frac{N}{m^2} \approx 101325 \frac{N}{m^2}.$$

Təzyiqi ölçmək üçün manometr, vakuummətr və barometr- lərdən istifadə olunur. Barometrlər- atmosfer təzyiqini, manometrlər- atmosfer təzyiqindən yüksək təzyiqləri, vakuummətrlər isə atmosfer təzyiqindən aşağı təzyiqləri ölçmək üçündür. Ona görə də atmosfer təzyiqinə bəzən barometrik təzyiq, seyrəkləşmiş qazların təzyiqinə vakuummətrik təzyiq, atmosfer təzyiqindən yüksək olan təzyiqlərə isə manometrik (izafi) təzyiq deyirlər.

Manometrlərin quruluşu və işləmə prinsipi çox müxtəlif olduğuna baxmayaraq onlar bütün hallarda ölçülən təzyiqin - mütləq təzyiqin ( $p_{müt}$ ) barometrik təzyiqdən ( $p_{bar}$ ) nə qədər çox olduğunu göstərir, yəni:

$$p_{müt} = p_{bar} + p_{man}. \quad (1.1)$$

Deməli, qazın mütləq təzyiqi izafi təzyiqlə (manometrik) atmosfer təzyiqinin (barometrik) cəminə bərabərdir.

Bunu 1-ci şəkildə göstərilən rezervuara birləşdirilmiş manometrlə müəyyən etmək olar.

Fərz edək ki, rezervuardakı qazın təzyiqi atmosfer təzyiqindən çoxdur. Onda rezervuarı vakuummətrlə birləşdirdikdə şəkil 1.1-də göstərilən vəziyyət alınar. Yəni, vakuummətrin rezervuar tərəfdəki qolunda civənin səviyyəsi aşağı düşür, o biri tərəfdə isə qalxar. Bu iki qoldakı civə sütunu səviyyələrinin fərqi izafi təzyiqi verir.

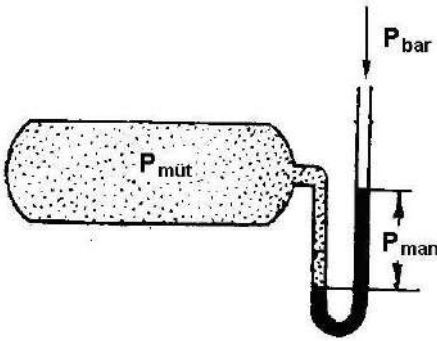
Vakuummətrik təzyiq, atmosfer təzyiqinin seyrəkləşmiş qa-

zın mütləq təzyiqindən nə qədər çox olduğunu göstərdiyindən

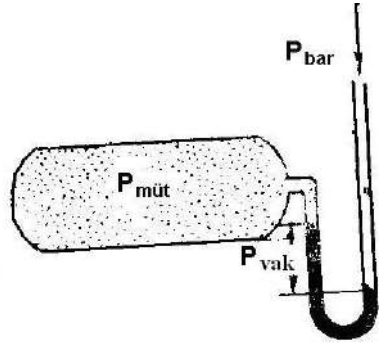
$$P_{müt} = P_{bar} - P_{vak} \quad (1.2)$$

olar.

Başqa sözlə, seyrəkləşmiş qazın mütləq təzyiqi barometrik təzyiqlə vakuummətrik təzyiqin fərfinə bərabərdir. Fərz edək ki, şəkil 1.2-də göstərilmiş rezervuardakı təzyiq atmosfer təzyiqindən azdır. Onda rezervuardakı mütləq təzyiqi təyin etmək üçün cihazın göstərdiyi təzyiqi atmosfer təzyiqindən çıxmaq lazımdır.



**Şək.1.1. Rezervuardakı qazın təzyiqi atmosfer təzyiqindən çox olduqda**



**Şək.1.2. Rezervuardakı qazın təzyiqi atmosfer təzyiqindən az olduqda**

Sonralar nəzərdən keçirəcəyimiz bütün termodinamik düsturlarda iştirak edən təzyiq mütləq təzyiqdir; bu təzyiqin atmosferlərlə ifadəsi şərti olaraq *ata* şəklində yazılır. Cihazların göstərdiyi təzyiq isə şərti olaraq *atu* şəklində yazılır. Məsələn, manometr 15 *atu* göstərsə, mütləq təzyiq 16 *ata* olur.

## 1.2. Temperatur

Temperatur cismin qızma dərəcəsinə xarakterizə edir. Müxtəlif temperaturlu iki cismi bir-birinə yaxınlaşdırdıqda temperaturu yüksək olan cisimdən, temperaturu ona nəzərən aşağı olan cismə istilik enerjisi axır və bu hal həmin cisimlərin temperaturları bərabərləşənə qədər davam edir. Bu halda həmin iki cismə taraz-

lıq istilik halında, başqa sözlə, istilik tarazlığında olan cisimlər deyilir. Deməli, istilik enerjisi selinin istiqaməti və cisimlərin istilik tarazlığına yaxın olub-olmaması onların temperaturuna və temperaturlar fərqinə görə müəyyən edilir.

Cisimlərin temperaturu Selsi və mütləq temperatur şkalaları ilə müəyyən edilə bilər.

Cisimlərin Selsi temperatur şkalası üzrə, bir fiziki atmosfer təzyiqi altında təmiz su buzunun ərimə temperaturu  $0^{\circ}\text{C}$ , normal təzyiq altında suyun qaynama temperaturu isə  $100^{\circ}\text{C}$  qəbul edilir. Beləliklə, Selsi temperatur vahidi olaraq qəbul edilmiş  $1^{\circ}\text{C}$ , "0" bölgüsü normal təzyiqdə əriyən buzun və "100" bölgüsü normal təzyiqdə qaynayan suyun temperaturunu göstərən beynəlxalq yüz dərəcəli temperatur şkalasının 1/100-nə deyilir. Cismin temperaturu cəvəli və spirtli termometrlərlə, termocütlərlə, müqavimətli termometrlərlə və s. təyin edilir.

İki cismin bir-biri ilə istilik tarazlığında olması onların temperaturlarının və molekullarının irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisinin bərabər olması deməkdir. Deməli, cismin temperaturu ilə onun molekullarının orta kinetik enerjisi mütənasibdir.

Mütləq temperatur, qaz molekullarının irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisi ilə mütənasib olur. Mütləq temperatur, qaz molekullarının istilik hərəkəti dayandıqda sıfır olmalıdır. Mütləq temperaturun bu sərhəd qiymətinə mütləq sıfır deyilir və temperaturu hesablamaq üçün hesablama başlanğıcı qəbul edilir.

Mütləq temperatur mütləq sıfırdan hesablandığından həmişə müsbət ədəddir. Selsi temperatur şkalası üzrə temperatur müsbət və ya mənfi ola bilər.

Mütləq temperatur şkalasından istifadə etməklə temperaturun qiymətini müəyyən etdikdə şərtlik yox edilir və hesablama başlanğıcının seçilmiş termometrik maddənin fiziki xassəsindən asılı olması zərurəti aradan qalxır.

Cismin mütləq temperaturu qaz termometri ilə ölçülə bilər. Gey-Lüssak qanununa əsasən göstərmək olar ki, ideal qaz termometri üçün hesablama başlanğıc rolunu oynayan nöqtə yüz dərəcəli şkalanın "0" bölgüsündən  $273,16^{\circ}\text{C}$  aşağı olur. Hidrogen termometri şkalası ideal qaz şkalasından çox cüzi fərqlənir. Mütləq

temperatur bu şkalanı müəyyən edən inglis fiziki Kelvinin (Tomson) şərəfinə  $T^{\circ}\text{K}$  ilə, Selsi temperaturu isə  $t^{\circ}\text{C}$  ilə göstərilir. Bunlar arasındakı əlaqə

$$T = t + 273,16.$$

Yaxud təxmini olaraq

$$T = t + 273 \quad (1.3)$$

şəklində yazılır.

Bu münasibətdən görünür ki,  $0^{\circ}\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$  və  $0^{\circ}\text{C} = 273^{\circ}\text{K}$ -dir.

Texniki ölçmələrdə Selsi temperatur şkalasından və hesabatlarda isə mütləq temperaturdan istifadə edilir.

Hazırda temperaturun ölçü vahidi olaraq XI “Beynəlxalq ölçü və çəki vahidləri” konqresi tərəfindən Kelvin dərəcəsi qəbul edilmişdir.

### 1.3. Xüsusi həcm

Texniki termodinamikada üç növ həcmdən istifadə edilir.

Qazın bir kiloqramının həcminə xüsusi həcm deyilir. Xüsusi həcmi  $v$  ilə işarə etsək

$$v = \frac{V}{G}, \quad \frac{m^3}{kq}, \quad (1.4)$$

burada  $V$ - qazın mütləq həcmi;

$G$ - qazın kütləsidir.

İxtiyari miqdarda qazın malik olduğu həcmə mütləq həcm deyilir

$$V = G \cdot v, \quad m^3. \quad (1.5)$$

1 mol qazın həcminə mol həcm deyilir

$$V_{\mu} = \mu \cdot v, \quad \frac{m^3}{kmol}, \quad (1.6)$$

burada  $\mu$  - qazın molekul kütləsidir,  $\frac{kq}{kmol}$ .

Bəzi hallarda qazın halını xarakterizə edən əsas hal parametri kimi sıxlıq götürülür. Sıxlığı  $\rho$  ilə işarə etsək belə yazmaq olar:

$$\rho = \frac{G}{V}, \quad (1.7)$$

burada  $G$ - qazın kütləsi.

Texnikada sıxlığın ölçü vahidi  $kq/m^3$  -dir. Bu vahid SI sistemində də belədir.

Beləliklə, xüsusi həcm və sıxlıq arasında müəyyən əlaqə olduğundan onlardan hər birindən qazın hal parametri kimi istifadə etmək olar.

#### 1.4. İdeal qazlar üçün hal tənliyi

Elastik molekulardan ibarət olub, molekulları arasında cazibə qüvvəsi olmayan və molekulların həcmi molekullar arasında qalan fəzanın həcminə nəzərən əhəmiyyətsiz dərəcədə kiçik olan, başqa sözlə, molekullarına maddi nöqtə kimi baxmaq mümkün olan qaza ideal qaz deyilir. Belə bir qaz həqiqətdə yoxdur. Lakin bu cür anlayışdan istifadə etməklə qazların kinetik nəzəriyyəsinə əsasən bir sıra məsələləri asanlıqla həll etmək, qaz halını xarakterizə edən hal parametrləri arasında sadə münasibətlər əldə etmək olur.

Təcrübələr göstərir ki, real qazların xassələri, onların temperaturu artdıqca və təzyiqi azaldıqca ideal qaz xassələrinə yaxınlaşır və əksinə, temperaturu azaldıqca və təzyiq artdıqca real qazların xassələri ideal qazların xassələrindən daha çox fərqlənir. Bunu əsas tutaraq real qazlarda, xüsusi şərtlər daxilində ideal qazlar üçün alınan nəzəri mülahizələri tətbiq etmək olar.

Qazların molekulyar kinetik nəzəriyyəsinə görə vahid həcmdəki qazın təzyiqi ədədi qiymətə molekulların irəliləmə hərəkətinin kinetik enerjisinin  $2/3$  – nə bərabərdir, yəni

$$p = \frac{2}{3} \frac{n}{V} \cdot \frac{m\omega^2}{2}, \quad (1.8)$$

burada  $p$ - qazın mütləq təzyiqi;

$n$ -vahid həcmdəki molekulların sayı;

$m$ -molekulların kütləsi;

$V$ - qazın xüsusi həcmi;

$\omega$ -molekulların irəliləmə hərəkətinin orta kvadratik

sürəti;  
 $\frac{m\omega^2}{2}$  - molekulların orta kinetik enerjisidir.

$$\frac{m\omega^2}{2} = BT, \quad (1.9)$$

burada  $T$  – mütləq temperatur;  
 $B$  – mütənasiblik əmsəlidir.

Onda

$$PV = \frac{2}{3} BT. \quad (1.10)$$

Bu düsturu qazın iki halı üçün alırıq

$$P_1V_1 = \frac{2}{3} nBT_1 \quad (1.11)$$

$$P_2V_2 = \frac{2}{3} nBT_2 \quad (1.12)$$

Bu ifadələri tərəf-tərəfə bölsək alırıq

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}. \quad (1.13)$$

Bu ifadə göstərir ki, tarazlıq halında olan istənilən qazın xüsusi həsminin mütləq təzyiqə hasilinin qazın mütləq temperaturuna olan nisbəti sabitdir.

$$\frac{PV}{T} = const$$

Bir kiloqram qaza aid olunan sabit kəmiyyət  $R$  hərfi ilə işarə olunur və qaz sabiti adlanır

$$\frac{PV}{T} = R \quad \frac{Coul}{kqK},$$

və yaxud

$$PV = RT. \quad (1.14)$$

Bu düstur 1 kq ideal qaz üçün hal tənliyi adlanır. 1834-cü ildə

Klapeyron tərəfindən çıxarıldığı üçün onun adını daşıyır.

İxtiari miqdarda yaxud  $G$  kq qaz üçün hal tənliyi çıxarmaq üçün (1.14) düsturunun hər iki tərəfini  $G$  – ə vursaq

$$PGv = GRT$$

$Gv = V$  olduğu üçün

$$PV = GRT$$

olur.

1 mol qaz üçün hal tənliyi çıxarmaq üçün (1.14) düsturünün hər ükü tərəfi  $\mu$ -ə vurulur

$$P\mu v = \mu RT$$

$\mu v = V_\mu$  olduğu üçün

$$PV_\mu = \mu RT \quad (1.15)$$

$\mu R$  -universal qaz sabiti adlanır və

$$\mu R = 8314 \frac{\text{Coul}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

(1.15) düsturu eyni zamanda 1 mol qaz üçün Klapeyron-Mendeleyev tənliyi adlanır.

$\mu R$ -in ədədi qiymətini tapmaq üçün normal fiziki şəraitdə  $P = 101325 \text{ Pa}$ ,  $T = 273 \text{ K}$  və  $V_\mu = 22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}$  olduğunu nəzərə alsaq

$$\mu R = \frac{PV_\mu}{T} = \frac{101325 \cdot 22,4}{273} = 8314 \frac{\text{Coul}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

$M$  mol qaz üçün hal tənliyi çıxarmaq üçün (1.15) düsturünün hər iki tərəfini  $M$ -ə vursaq alırıq

$$PMV_\mu = M\mu RT$$

$$MV_\mu = V$$

$$PV = M\mu RT,$$

burada  $M$ -qazın mol sayıdır.

## 1.5. İdeal qaz qanunları

**1.5.1. Boyle-Mariott qanunu.** Bu qanun hələ molekulyar kinetik nəzəriyyə meydana gəldikdən çox əvvəl təcrübi faktların ümumiləşdirilmiş nəticəsi kimi məlum idi. Lakin bu qanunu bilavasitə qazların kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyindən almaq olar.

$$pV = \frac{2}{3} NaT . \quad (1.16)$$

Həmin düsturun sağ tərəfi  $T=const$  olduğundan

$$pV = const \quad (1.17)$$

alınır. Yəni, verilmiş qaz kütləsi üçün qazın temperaturu dəyişmədikdə onun təzyiqi ilə həcmnin hasilı sabit kəmiyyətdir.

**1.5.2. Gey-Lüssak qanunu.** Gey-Lüssak qanunu sabit təzyiqdə gedən prosesə aiddir. Ona görə də (1.16) düsturunda  $p=const$  olduğunu nəzərə alsaq

$$\frac{V}{T} = \frac{2}{3} \frac{Na}{P} = const \quad (1.18)$$

alınır. Yəni sabit təzyiqdə verilmiş qaz kütləsinin həcmi onun mütləq temperaturu ilə düz mütənasibdir. (1.18) düsturunu 1 kQ qaz üçün yazsaq

$$\frac{V}{T} = const \quad (1.19)$$

və (1.6) düsturunu nəzərə alsaq

$$\gamma \cdot T = const \quad (1.20)$$

olar. Yəni, qazın xüsusi çəkisinin onun mütləq temperaturuna hasilı verilmiş qaz kütləsi üçün sabit kəmiyyətdir.

**1.5.3. Şarl qanunu.** (1.16) düsturundan  $V=const$  qəbul etsək,  $N$  və  $a$  kəmiyyətləri də sabit olduğundan

$$\frac{p}{T} = const \quad (1.21)$$

alırıq. Yəni, sabit həcmdə verilmiş qaz kütləsinin təzyiqi onun mütləq temperaturu ilə düz mütənasibdir.

**1.5.4. Avoqadro qanunu.** Qazların kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyindən istifadə edərək göstərmək olar ki, eyni şəraitdə və bərabər həcmərdə olan qazların molekullarının sayı da bərabər olur. Buna Avoqadro qanunu deyilir. Doğrudan da (1.16) düsturundan görüldüyü kimi, iki ixtiyari müxtəlif qaz üçün  $pV$  və  $T$  eyni olduqda  $N$  də eyni olur. (1.16) düsturunu bu qazlardan biri



üçün

$$p_1 V_1 = \frac{2}{3} N_1 a T_1 = \text{const}, \quad (1.22)$$

o biri üçün

$$p_2 V_2 = \frac{2}{3} N_2 a T_2 = \text{const} \quad (1.23)$$

şəklində yazmaq olar.

(1.22) və (1.23) düsturlarından görünür ki,  $p_1=p_2$ ;  $V_1=V_2$ ;  $T_1=T_2$  olduqda

$$N_1 = N_2$$

olur.

(1.22) və (1.23) düsturlarında  $p_1=p_2$ ;  $T_1=T_2$  olduqda

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

və ya

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad (1.24)$$

olur. Burada  $\gamma_1$  və  $\gamma_2$  uyğun olaraq 1-ci və 2-ci qazların xüsusi çəkiləri,  $\mu_1$  və  $\mu_2$  isə onların molekulyar çəkiləridir.

(1.24) düsturunu xüsusi həcmərlə yazsaq

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$$

və ya

$$v_1 \mu_1 = v_2 \mu_2 \quad (1.25)$$

olur. Yəni, eyni fiziki şəraitdə götürülmüş qazların xüsusi həcm-  
lərinin molekulyar çəkilərinə olan hasilı qazın təbiətindən asılı  
olmayıb bütün qazlar üçün eynidir. Beləliklə,

$$v\mu = \text{const} \quad (1.26)$$

olur. Burada  $v\mu$  hasilı, çəkisi kiloqramlarla ifadə olunduqda  
molekulyar çəki qədər olan qazın həcmidir.

Qazın bu çəkisinə, başqa sözlə molekulyar çəkinin kiloqram-  
larla ifadəsinə, qrammol və ya sadəcə mol deyilir. Onda  $v\mu$  hasilı  
bir mol qazın həcmi olur.

Beləliklə, (1.26) düsturuna əsasən demək olar ki, eyni temperatur və təzyiqdə olan ideal qazların həcmi qazların təbiətindən asılı olmayıb, onların temperatur və təzyiqinə görə təyin edilir.

(1.26) düsturundan istifadə edərək müxtəlif fiziki şəraitdə götürülmüş qazın bir qrammolunun həcmi təyin etmək olar.

Normal fiziki şəraitdə, yəni  $P = 1,033 \frac{kQ}{sm^2}$  və  $t=0^\circ C$  və ya  $T=273^\circ K$  olduqda bir mol qazın həcmi  $22,4 \text{ m}^3$ , texniki normal şəraitdə isə, yəni  $P = 98100 \frac{kQ}{m^2}$  və  $t=15^\circ C$  və ya  $T=288^\circ K$  olduqda bir mol qazın həcmi  $24,4 \text{ m}^3$  olur.

Məsələn, hidrogenin  $0^\circ C$  temperaturda və  $1,033 \frac{kQ}{sm^2}$  təzyiqdə xüsusi çəkisi  $\gamma = 0,09 \frac{kQ}{m^3}$ -dir. Hidrogenin molekulyar çəkisi isə  $\mu=2,016$ -dir. Onda hidrogenin bir molunun həcmi  $V_\mu$  ilə işarə etsək, (1.26) düsturuna görə

$$V_\mu = v\mu = \frac{\mu}{\gamma} = \frac{2,016}{0,09} = 22,4 \text{ m}^3.$$

Buradan

$$\gamma = \frac{\mu}{22,4}. \quad (1.27)$$

(1.27) düsturundan istifadə edərək müxtəlif qazların xüsusi çəkilərini onların molekulyar çəkilərinə görə təyin etmək olar.

(1.16) düsturundakı  $a$  sabiti bütün qazlar üçün eyni olub, qiymətcə  $\frac{1}{273}$ -ə bərabər olduğundan həmin düsturda

$$p = 1,033 \frac{kQ}{sm^2}; \quad V = V_\mu = 22,4 \frac{1}{mol}; \quad T = 273^\circ K$$

götürdükdə alırıq

$$N = N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}. \quad (1.28)$$

Bu ədədə Avoqadro ədədi deyilir. Deməli, normal fiziki şə-

raitdə götürülmüş müxtəlif qazların bir molunda olan molekulların sayı bir-birinə bərabər olub, qiymətə  $6,02 \cdot 10^{23}$ -dür.

## 1.6. Qaz qarışıqları

Texnikada çox vaxt qazların qarışığına bir-birinə kimyəvi təsir etməyən mexaniki qarışıq kimi baxırlar. Qarışığı təşkil edən müxtəlif qazlar- komponentlər qarışığın tərkibində özlərini sərbəst aparır, hər bir komponent ayrılıqda bütün qarışığın həcmi tutur və qarışığın temperaturunda olur. Belə qaz qarışığı ideal qaz qanunlarına tabe olur.

**1.6.1. Dalton qanunu.** Qaz qarışığını təşkil edən qazlar onun komponentləri adlanır. Ayrı-ayrılıqda komponentlərin qaz qarışığının temperaturunda, onun həcmi tutduqda göstərdikləri təzyiq parsial təzyiq adlanır.

Təcrübə əsasında Dalton təyin etmişdir ki, qaz qarışığının təzyiqi, qarışığı təşkil edən ayrı-ayrı qazların parsial təzyiqlərinin cəminə bərabərdir, yəni:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = \sum_{k=1}^{k=n} p_k, \quad (1.29)$$

burada  $p_k$  - qaz qarışığını təşkil edən  $k$ -cı qazın parsial təzyiqidir.

Həmin düsturu qazların kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyinə əsasən də ala bilərik. Qarışığı təşkil edən ayrı-ayrı qazlar üçün (1.14) düsturunu yazsaq:

$$\begin{aligned} p_1 V &= \frac{2}{3} E_1; \\ p_2 V &= \frac{2}{3} E_2; \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ p_n V &= \frac{2}{3} E_n. \end{aligned}$$

Bu bərabərlikləri tərəf-tərəfə topladıqda

$$(p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n)V = \frac{2}{3}(E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n). \quad (1.30)$$

Qaz qarışıqlarının ümumi enerjisini  $E$  ilə, təzyiqini  $p$  ilə işarə etsək, qarışıq üçün əsas tənlik aşağıdakı kimi olar

$$pV = \frac{2}{3}E. \quad (1.31)$$

Enerjinin saxlanması qanununa görə

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n \quad (1.32)$$

olduğundan (1.30) və (1.31) düsturunun müqayisəsindən (1.32) düsturunu alırıq.  $n$ - komponentlərin sayıdır.

**1.6.2. Qaz qarışığının kütlə hissəsi və həcm hissələri ilə verilməsi.** Qaz qarışığının kütləsi, onun komponentlərinin kütlələrinin cəminə bərabərdir, yəni:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n = \sum_1^n G_k. \quad (1.33)$$

Ayrı-ayrı komponentlərin kütlələrinin qaz qarışığı kütləsinə olan nisbəti kütlə hissəsi adlanıb,  $g_k$  ilə işarə olunur:

$$g_k = \frac{G_k}{G}. \quad (1.34)$$

Onda

$$\sum_1^n g_k = \frac{\sum_1^n G_k}{G} = \frac{G_1 + G_2 + \dots + G_n}{G} = \frac{G}{G} = 1$$

və yaxud

$$\sum_1^n g_k = 1. \quad (1.35)$$

Deməli, qarışığın komponentlərinin kütlə hissələrinin cəmi vahidə bərabərdir.

Amaqa qanuna əsasən qaz qarışığının həcmi qarışığı təşkil edən komponentlərin parsial həcmələrinin cəminə bərabərdir, yəni

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = \sum_{k=1}^{k=n} V_k$$

Komponentlərin qarışıqı təzyiqinə və temperaturuna uyğun olan həcmələri parsial həcm adlanır. Bu  $V_k$  ilə işarə olunur.

Komponentlərin həcm hissəsini tapmaq üçün parsial həcmi qarışıqın həcminə bölmək lazımdır, yəni:

$$r_k = \frac{V_k}{V}, \quad (1.36)$$

burada  $r_k$ - hər hansı komponentin gətirilmiş həcm hissəsi;  
 $V_k$ - komponentin parsial həcmi;  
 $V$ - qarışıqın həcmidir.

Onda

$$\sum_{k=1}^{k=n} r_k = \frac{\sum V_k}{V} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}{V} = \frac{V}{V} = 1$$

və yaxud

$$\sum_{k=1}^{k=n} r_k = 1$$

yəni komponentlərin həcm hissələrinin cəmi vahidə bərabərdir.

Kütlə hissələri ilə həcm hissələri arasında müəyyən əlaqə vardır. Qarışıqı təşkil edən hər hansı qaz komponenti üçün

$$g_k = \frac{G_k}{G}$$

olduğundan, xüsusi çəki düsturundan istifadə edərək

$$g_k = \frac{G_k}{G} = \frac{\gamma_k \cdot V_k}{\gamma \cdot V} = \frac{\mu_k}{\mu} r_k \quad (1.36')$$

və

$$\frac{\mu_k}{\mu} = \frac{R}{R_k}$$

düsturuna əsasən alırıq

$$r_k = g_k \frac{R_k}{R}. \quad (1.36'')$$

Burada  $\gamma$  və  $\gamma_k$  eyni temperatur və təzyiqdə götürülür. Beləliklə, qaz qarışıqı üçün qaz sabitini və molekulyar kütləsini də təyin

etmək olar. (1.36'') düsturunu bütün qarışıq üçün yazsaq

$$\sum_1^n r_k = \frac{\sum_1^n g_k R_k}{R} = 1$$

və ya

$$R = \sum_1^n g_k R_k ;$$

$$R_k = \frac{8314}{\mu_k}$$

olduğunu nəzərə alsaq

$$R = 8314 \sum \frac{g_k}{\mu_k} .$$

Beləliklə, qarışıqın orta molekulyar çəkisi aşağıdakı kimi olur.

$$\bar{\mu} = \frac{8314}{R} = \frac{8314}{\sum g_k R_k} = \frac{1}{\sum \frac{g_k}{\mu_k}} . \quad (1.37)$$

(1.37) düsturundan istifadə edərək qarışıqın orta molekül kütləsini təyin etmək olar.

(1.36') düsturunu qarışıqda iştirak edən bütün qazlar üçün yazsaq

$$\sum_1^n g_k = \frac{\sum_1^n r_k \mu_k}{\mu} = 1 .$$

Buradan

$$\mu = \sum_1^n r_k \mu_k = 8314 \sum \frac{r_k}{R_k} .$$

Deməli

$$R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{\sum_1^n r_k \mu_k} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{r_k}{R_k}} . \quad (1.38)$$

(1.38) düsturundan istifadə edərək qaz qarışığı üçün qaz sa-

bitini hesablamaq olar.

### *Yoxlama sualları*

1. Təzyiq ölçən cihazlar hansılardır? 2. Barometrik təzyiq nəyə deyilir? 3. Manometrik təzyiq nəyə deyilir? 4. Mütləq temperaturla empirik temperatur arasındakı əlaqə necədir? 5. Xüsusi həcm nədir? 6. Xüsusi çəki nədir? 7. Xüsusi həcmi ölçü vahidi necədir? 8. Sıxlıq nəyə deyilir? 9. Sıxlığın ölçü vahidi necədir? 10. İdeal qazlar hansı qazlara deyilir? 11. Boyle-Mariott qanunu necə ifadə olunur? 12. Gey-Lüssak qanunu hansı prosesə aiddir? 13. Şarl qanununda hansı kəmiyyət dəyişmir? 14. Avogradro ədədi necədir? 15. Universal qaz sabiti nəyə bərabərdir? 16. Parsial təzyiq nəyə deyilir? 17. Dalton qanunu necə yazılır? 18. Parsial həsm nəyə deyilir?

## II FƏSİL TERMODİNAMİKANIN BİRİNCİ QANUNU VƏ TƏTBİQİ

### 2.1. İstilik və işin ekvivalentliyi

Təbiətin əsas qanunu olan termodinamikanın birinci qanunu termodinamik nəzəriyyələrin əsasını təşkil edir. Termodinamik proseslərin tədqiqatında və bu proseslərin enerjilərinin hesablanması zamanında həmin qanunun böyük əhəmiyyəti vardır.

Termodinamikanın birinci qanunu-enerjinin saxlanması qanununu istilik hadisələrinə tətbiqindən ibarətdir.

Enerjinin saxlanması qanununa görə işlə istilik arasında ekvivalentlik vardır və bunlar bir-birinə çevrilə bilər. Bu çevrilmə aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$Q = AL, \quad (2.1)$$

burada  $Q$ -işə çevrilən istilik miqdarı;

$L$ -görülən iş;

$A$ -işin termik ekvivalenti olub, kkal/kQm-ə bərabərdir.

$\frac{1}{A}$  istiliyin mexaniki ekvivalenti olub, 427 kQm/kkal-yə bərabərdir. Yəni, 1 kkal istilik əvəzində 427 kQm iş alınır.

Deməli, hər kQm iş  $\frac{1}{427}$  kkal istilik və hər kkal istilik 427 kQm işə ekvivalentdir. Ona görə 1 kkal=427 kQm yazmaq olar. Elektrik enerjisi vahidi olaraq sənayedə kVt-saat işlədilir.

1 kVt-saat =860 kkal-dır.

Enerjinin ölçü vahidləri cədvəl 2.1-də verilmişdir.

Cədvəl 2.1

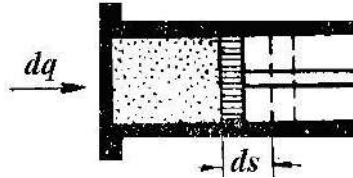
Enerjinin ölçü vahidləri

Enerji ölçüsü	kCoul	kkal	kQm	kVt-saat	a.q.saat
kCoul	1	0,2391	102,0	0,000278	0,0003777
kkal	4,1868	1	426,4	0,001161	0,001579
kQm	0,0098	0,002345	1	0,000002723	0,00000374
kVt-saat	3,600	860	367200	1	1,360
a.q.saat	2,648	632,3	270000	0,7358	1



## 2.2. Termodinamikanın birinci qanununun riyazi ifadəsi

Məlum olduğu kimi, termodinamikanın birinci qanunu istiliyin mexaniki enerjiyə və əksinə çevrilməsini ifadə edir. Həmin qanun enerjinin saxlanması nəzəriyyəsinə əsaslanır. İstilik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevrilməsinə dair bir misal göstərək. Tutaq ki, hərəkətdən porşenli bir silindrdəki 1 kq qaza cüzi miqdarda (məsələn, dq qədər) istilik verilmişdir (şək.2.1). Bu istiliyin təsiri ilə silindrin içərisində olan qaz qızacaqdır. Bu qızma nəticəsində qaz molekullarının kinetik enerjisi artacaq və bunların divarlara vurduqları zərbələrin artması nəticəsində porşen  $dS$  məsafəsi qədər hərəkət edəcəkdir. Fərz edək ki, porşenin gördüyü iş  $dl$ -ə bərabər olacaqdır. Burada qaz genişləndiyi üçün onun molekulları arasındakı məsafə də artacaqdır ki, bu da molekulların daxili potensial enerjilərinin dəyişməsinə səbəb olacaqdır.



Şək. 2.1. Hərəkətdən porşenli silindrdəki qaza istiliyin verilməsi

Yuxarıdan göründüyü kimi qaza  $dq$  istiliyinin verilməsi sayəsində, qaz müəyyən iş gördü və onun daxili enerjisi  $du$  qədər dəyişdi.

Termodinamikanın birinci qanunundan məlumdur ki, bir enerji başqa bir enerjiyə keçdikdə onların arasında müəyyən ekvivalentlik olmalıdır. Belə halda işə verilən istiliyin bir hissəsi qazın daxili enerjisinin dəyişməsinə, digər hissəsi isə ( $dl$ ) işin yerinə yetirilməsinə sərf olunacaqdır. Bunları nəzərə alaraq termodinamikanın birinci qanununu aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$dq - du = dl$$

və ya

$$dq = du + dl.$$

Bu termodinamikanın birinci qanununun riyazi ifadəsidir. Təzyiq sabit olduqda qazın gördüyü iş  $dl=pdV$  olduğundan termodinamikanın birinci qanununun riyazi ifadəsi aşağıdakı şəkildə də yazıla bilər:

$$dq = du + pdV, \quad (2.2)$$

yəni, sistemə verilən istilik onun daxili enerjisinin artmasına və xarici qüvvələrə qarşı görülən işə sərf olunur.

Deməli, (2.2) tənliyi termodinamikanın birinci qanununun izobar proses üçün riyazi ifadəsidir.

(2.2) tənliyinin hər bir həddi şəraitdən asılı olaraq müsbət, mənfi və ya sıfır ola bilər. Məsələn, sistemə istilik verilsə  $dq>0$ , ondan istilik alınrsa  $dq<0$ , sistemin daxili enerjisi artırsa  $du>0$ , azalrsa  $du<0$ , sistem xarici təzyiqə qarşı iş görərək genişlənirsə  $dl>0$ , sistem üzərində iş görülərək sıxılırsa  $dl<0$  olur.

$dq=0$  olursa, yəni sistemə kənardan istilik verilmirsə və o istilik itirmirsə, başqa sözlə sistemlə onu əhatə edən mühit arasında heç bir istilik mübadiləsi yoxdursa, onda (2.2) tənliyi aşağıdakı kimi olur

$$dl = -du .$$

Yəni, bu halda ancaq sistemin daxili enerjisinin azalması hesabına iş görülə bilər. Bu cür prosesə adiabatik proses deyilir. Sistem adiabatik sıxıldıqda onun üzərində görülən iş ancaq sistemin daxili enerjisinin artmasına sərf olur. (2.2) tənliyində  $dl=0$  olduqda  $dq=du$  olur. Yəni, sistemə verilən istiliyin hamısı onun daxili enerjisinin artmasına sərf olunur. Çünki  $dl=pdV=0$  və ya  $V=const$  olur. Belə prosesə izoxor prosesi deyilir. (2.2) tənliyində  $du=0$  olduqda

$$dq = dl .$$

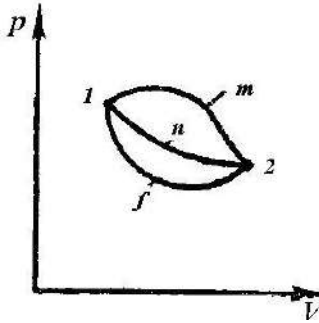
Yəni, bu halda sistemə verilən istilik tamamilə görülən işə sərf olunur və onun daxili enerjisi heç dəyişmir. Belə prosesə izotermik proses deyilir.

(2.2) tənliyini sistemin hər hansı sonlu dəyişməsi üçün aşağıdakı şəkildə yazmaq olar

$$q = (u_2 - u_1) + l . \quad (2.3)$$

Həmin düsturdan göründüyü kimi, sistemin daxili enerjisinin dəyişməsi onun prosesin başlanğıcında və sonundakı qiymətlərinin fərqi ilə təyin edilir və prosesin xarakterindən asılı deyildir. İşin qiyməti isə prosesin xarakterindən asılı olur.

$l$  işi prosesin xarakterindən asılı olduğundan və cisimə verilən istilik miqdarı, daxili enerjinin dəyişməsi ilə görülmən işin cəbri cəminə bərabər olduğundan, cisimə verilən istilik miqdarı  $q$  də prosesin xarakterindən asılı olur. Başqa sözlə, istilik miqdarı da hal funksiyası olmayıb prosesin funksiyasıdır. Dediklərimizi şəkil 2.2-də qrafiki izah edək. Sistem 1 halından 2 halına  $m$  yolu ilə gəldikdə gördüyü iş və ya udduğu istilik miqdarı  $n$  yolu ilə gəldikdə aldığı qiymətlərdən, bu isə  $f$  yolu ilə gəldikdə aldığı qiymətlərdən fərqli olar. Lakin hər üç halda sistem 1 halından 2 halına keçdikdə onun daxili enerjisinin dəyişməsi  $u_2 - u_1$  olar, yəni, prosesin xarakterindən asılı olmaz.



**Şək. 2.2. Sistemin 1 halından 2 halına keçdikdə daxili enerjisinin dəyişməsi**

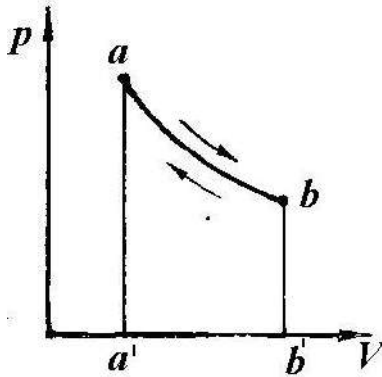
İstiliyin işə çevrilməsi işçi cisimin genişlənməsi ilə əlaqədar olduğundan ən əlverişli işçi cisim olaraq lap çox genişlənən cisimlər, məsələn, müxtəlif mayelərin buxarları və qazlar tətbiq edilir.

Mayelər və bərk cisimlər az genişlənmə verdiklərindən istilik mühərriklərində işçi maddə olaraq müxtəlif yanacaq maddələrinin qaz halında olan yanma məhsullarından istifadə olunur.

### 2.3. Dönən və dönməyən proseslər

Termodinamik sistemin hər yerində təzyiq eyni qiymətə malik olarsa, bu sistem mexaniki tarazlıqda, temperatur eyni qiymətə malik olduqda isə termik tarazlıqda olur.

Prosesin dönən olması üçün mexaniki və termik tarazlıq ən vacib şərtlərdən biridir. Dönən proseslərdə proses bir-birinə əks istiqamətlərdə gedə bilər. Bu halda işçi cisim və prosesdə iştirak edən xarici mühit hər iki istiqamətdə eyni aralıq hallardan keçir, lakin bu keçid əvvəlkinin tərsinə uyğun bir ardıcılıqla baş verir. Məsələn, dönən proses  $ab$  istiqamətində adiabatik genişlənmədən (şək.2.3.-də) və  $ba$  istiqamətində adiabatik sıxılmadan ibarətdirsə,  $ab$  istiqamətində qaz genişləndikdə gördüyü iş  $ba$  istiqamətində qazı sıxmaq üçün görülən xarici iş bərabər olur. Sistem  $a$  halından çıxaraq yenidən  $a$  halına qayıtdıqda nə onun özündə, nə də ətraf mühitdə heç bir dəyişiklik olmur, qaz genişləndikdə sürtünməyə qarşı müəyyən iş görülərsə, proses dönən olmaz. Çünki genişlənmə və ya sıxılma prosesində sürtünməyə qarşı görülən iş istiliyə çevrilir və istilik işə tam çevrilə bilmir. Deməli, sürtünmənin olması dönməyən proses üçün xarakterik bir şərtir.



Şək.2.3. Proseslərdə adiabatik genişlənmə və adiabatik sıxılmada görülən işlər

Deməli, dönən proseslər aşağıdakı şərtləri ödəməlidir:

1) sistem mexaniki tarazlıqda olmalıdır;

- 2) sistem termik tarazlıqda olmalıdır;
- 3) sistem əvvəlki halına qayıtdıqdan sonra və onun özündə, nə də ətraf mühətdə heç bir dəyişiklik olmamalıdır;
- 4) sistemdə, proses sonsuz yavaş getməlidir;
- 5) sistemdə düz və əks istiqamətdə proses getdikdə sürtünmə olmamalıdır.

Dönən proses ideal prosesdir. Həqiqətdə, cisimə istilik verdikdə və ya ondan istilik aldıqda mütləq istilik mübadiləsində iştirak edən cisimlərin temperatur fərqi olmalıdır. Ona görə də heç vaxt tam mənasında termik tarazlıq olmur. Həcmi dəyişməsi həmişə sürtünmə ilə əlaqədar olduğundan təbiətdə baş verən bütün termodinamik proseslər dönməyəndir.

Dönməyən proseslərdə sürtünməyə sərf olunan iş istiliyə çevrilir və  $dq_c = dl_c$  düsturu ilə təyin edilir. Burada  $dl_c$ - sürtünməyə qarşı görülən iş,  $dq_c$  isə ona ekvivalent istilidir.

Dönən proseslərdə işçi maddənin genişlənməsi nəticəsində görülən iş xarici qüvvələrə- ancaq təzyiqlə üstün gəlmək üçün sərf olunur.

Dönməyən proseslərdə isə işçi maddəyə verilən istiliyin bir hissəsi sürtünməyə qarşı görülən işə sərf olunduğundan işçi maddənin gördüyü iş  $dq_c$  qədər azalır və əvəzində onun daxili enerjisi  $du_c$  qədər artır. Beləliklə, bütün dönməyən proseslərdə faydalı iş, istiliyin işə çevrilməsi prosesinin effektsiz olması üzündən az olur. Dönən proseslərdə isə  $dq_c = 0$  olduğundan bu proseslər üçün termodinamikanın birinci qanununun riyazi ifadəsi (2.2) şəklində olur. Dönən proseslər, dönməyən proseslərə nəzərən çox sadə olduğundan biz, adətən, nəzəri proseslər hesab edilən dönən prosesləri nəzərdən keçirəcəyik. Çünki bəzi hallarda həqiqi proseslər nəzəri proseslərdən o qədər az fərqlənir ki, praktik hesablamalarda bu fərqi nəzərə almamaq və bu cür dönməyən proseslərə dönən proseslər kimi baxıb onu tədqiq etmək olar.

“Dönən proseslər” anlayışının termodinamikaya daxil edilməsinin iki əsas səbəbi vardır:

1) təbiətdə həqiqi proseslər əsasən o qədər yavaş baş verir ki, onlara müəyyən xəta ilə dönən proseslər kimi baxmaq olar;

2) ən böyük və ya maksimum iş ancaq dönən proses nəticəsində alınır.

## 2.4. İşçi cisimin daxili enerjisi və xarici işi

Qazların kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyindən çıxan və (1.16) düsturu şəklində ifadə olunan nəticəyə görə ideal qazların ümumi enerjisi ancaq onların molekullarının irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisindən ibarətdir. Buna, molekulyar kinetik enerji deyilir. Real qazlarda isə molekullar arasında qarşılıqlı cazibə qüvvəsi olduğundan onların potensial enerjisi də olur, buna real qazın molekulyar potensial enerjisi deyilir. İdeal qazların molekulyar kinetik enerjisinə onun daxili enerjisi deyilir. Real qazların daxili enerjisi isə molekulyar kinetik və molekulyar potensial enerjilərin cəmindən ibarət olur.

Daxili enerjini  $u$  ilə işarə etsək, ideal qazlarda

$$u = f(T).$$

Yəni, ideal qazlarda daxili enerji ancaq temperaturdan asılı olaraq dəyişər, çünki ideal qaz molekullarının sürəti temperaturdan asılıdır və molekulların kinetik enerjisi sürətə görə müəyyən edilir. Real qazlarda isə

$$u = f(V, T).$$

Yəni, daxili enerji qazın həcminin dəyişməsi ilə də dəyişə bilər. Çünki, həcm dəyişdikdə real qaz molekulları arasındakı məsafə dəyişir, bu isə molekulyar potensial enerjini və axır nəticədə daxili enerjini dəyişdirir. (2.2) düsturundan daxili enerjinin dəyişməsini ifadə edən  $du$ -nu təyin etsək

$$du = dq - pdV$$

və inteqralladıqda aşağıdakı ifadəni alırıq

$$u = \int (dq - pdV) + u_0.$$

Burada  $u_0$  inteqral sabiti olub, fiziki mənaca cismin başlanğıc halındakı daxili enerjisini ifadə edir. Başqa sözlə, sistemin daxili enerjisi hər hansı  $u_0$  sabitinə qədər dəqiqliklə hesablanı bilər. Termodinamikada bizi başlıca olaraq daxili enerjinin mütləq qiyməti yox, sistemdə gedən proseslər nəticəsində onun dəyişməsi maraqlandırdığından  $u_0$  sabitinin qiymətini bilmək, müxtəlif termodinamik məsələləri həll etmək üçün vacib deyil.

Cisimin parametrləri dəyişmirsə, onda onun daxili enerjisi

dəyişməyərək sabit qalır. Cisimin halı dəyişdikcə onun daxili enerjisi də dəyişir.

Hər hansı bir termodinamik prosesdə qazın həcmi genişləndikdə o xarici qüvvələrə qarşı iş görür. Həcm sıxıldıqda isə xarici qüvvələr sistem üzərində iş görür.

Qazın gördüyü iş aşağıdakı üsulla hesablanıla bilər.

Fərz edək ki, porşenli silindr içərisində təzyiqli  $p$ ,  $kQ/m^2$  olan qaz yerləşdirilmişdir (şək.2.4) və porşenin kəsik sahəsi  $F$ ,  $m^2$ -dir. Buradan, porşenə olan təzyiqli qüvvəsi  $pF$ ,  $kq$  olacaqdır. Porşenin ştokuna olan təzyiqli bir qədər azaltsaq, qaz genişlənəcəkdir. Porşen elementar  $ds$  məsafəsi qət etdikdə qazın gördüyü iş təsir edən qüvvənin məsafəyə vurma hasilinə olacaqdır. Yəni:

$$d\ell = p \cdot Fds ,$$

buradan

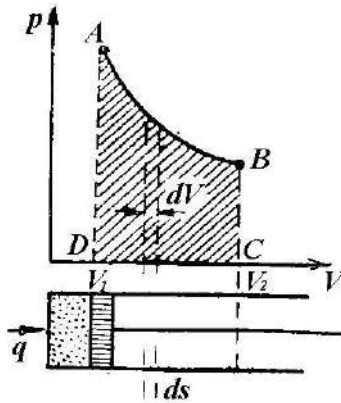
$$Fds = dV$$

olduğundan

$$d\ell = pdV .$$

1 kq qazın gördüyü iş

$$\ell = \int_{v_1}^{v_2} pdV . \quad (2.4)$$



Şək.2.4.  $pV$  diaqramında qazın işi

Yuxarıdakı düstur ilə qazın gördüyü işi təyin etmək üçün  $p = f(V)$  asılılığı məlum olmalıdır.

Qazın genişlənmə prosesi AB əyrisi ilə ifadə olunarsa, riyaziyyatdan məlum olduğuna görə onun altındakı sahə həmin əyrini ifadə edən tənliyin inteqralına bərabər olacaqdır. Yəni:

$$\ell = \int_{v_1}^{v_2} p dV = \text{sah.} ABCDA.$$

Buradan deyə bilərik ki,  $pV$  diaqramında qazın işi, prosesi xarakterizə edən əyri, absis oxu və prosesin kənar ordinatları ilə məhdudlaşmış sahəyə bərabər olur.

Genişlənmə prosesində qaz iş gördüyü üçün görülən iş adlanır işarəsi müsbət olur. Sıxıldıqda isə xaricdən iş sərf olunduğu üçün burada görülən iş adlanır və işarəsi mənfi olur.

## 2.5. Qazların istilik tutumu

Müəyyən miqdar qazı  $1^\circ\text{C}$  qızdırmaq (və ya soyutmaq) üçün ona verilən (və ya alınan) istilik miqdarına qazın istilik tutumu deyilir.

Texniki termodinamikada istilik tutumları, kütləsi, həcm və mol istilik tutumu olur.

1  $kq$  qazın  $1^\circ\text{C}$  qızdırmaq üçün tələb olunan istilik miqdarına kütlə istilik tutumu deyilir və  $C$  ilə işarə olunur, ölçü vahidi  $\frac{\text{Coul}}{kqK}$ .

$$C = \frac{q}{G\Delta T} \frac{\text{Coul}}{kqK}$$

Normal şəraitdə  $1m^3$  qazı  $1^\circ\text{C}$  qızdırmaq üçün tələb olunan istilik miqdarına həcm istilik tutumu deyilir və  $C'$  ilə işarə olunur, ölçü vahidi  $\frac{\text{Coul}}{m^3K}$ .

$$C' = \frac{q}{V\Delta T} \frac{\text{Coul}}{m^3K}$$

1 mol qazı  $1^\circ\text{C}$  qızdırmaq üçün tələb olunan istilik miqdarına



mol istilik tutumu deyilir və  $\mu C$  ilə işarə olunur, ölçü vahidi  $\frac{Coul}{kmolK}$ .

$$\mu C = \frac{q}{M\Delta T}, \frac{Coul}{kmolK}$$

Qeyd olunan istilik tutumları arasındakı əlaqələr aşağıdakı kimidir

$$C = C'V_n = \frac{\mu C}{\mu}$$

İstiliyin miqdarı prosesin xarakterindən asılı olduğu üçün qazın istilik tutumu da prosesin xüsusiyyətindən asılıdır. Adətən istilik tutumu iki əsas proseslər ( $V=const$  və  $P=const$ ) üzrə qızdırılması şəraitində öyrənilir.

İzoxorik prosesdə ( $V=const$ ) qazın istilik tutumu izoxorik istilik tutumu adlanır və  $C_v, C'_v, \mu C_v$  ilə işarə olunur. İzobarik prosesdə ( $P=const$ ) qazın istilik tutumu izobarik istilik tutumu adlanır və  $C_p, C'_p, \mu C_p$  ilə işarə olunur.

İxtiyari prosesdə qazın istilik tutumu aşağıdakı düsturla təyin olunur

$$C = \frac{dq}{dT} \quad (2.5)$$

Termodinamikanın birinci qanununa görə

$$dq = du + PdV \quad (2.6)$$

(2.6) düsturunu (2.5) ifadəsində nəzərə alsaq alırıq

$$C = \frac{du}{dT} + \frac{PdV}{dT} \quad (2.7)$$

$V=const$  prosesində  $PdV=0$  olur və  $C=C_v$  qəbul edildiyindən (2.5) düsturu aşağıdakı şəkildə olar.

$$C_v = \frac{du}{dT}, \quad (2.8)$$

$$du = C_v dT.$$

$P=const$  prosesində  $C=C_p$  yəbul edilir.  $PV=RT$  ifadəsini  $P=const$  olması şərti ilə differensiallasaq alırıq

$$RdV=RdT$$

buradan

$$R = \frac{PdV}{dT} \quad (2.9)$$

(2.7) düsturunda (2.8) və (2.9) ifadələrini nəzərə alsaq, onda

$$C_p = C_v + R. \quad (2.10)$$

Bu düstur 1842-ci ildə R.Mayer tərəfindən alındığı üçün Mayer düsturu adlanır.

(2.10) ifadəsinin hər iki tərəfini  $\mu$ -ə vursaq alırıq

$$\mu C_p = \mu C_v + \mu R$$

$c_p \mu - c_v \mu = 1,986$  kkal/mol-dər  $\approx 2,0$  kkal/mol-dər olduğunu nəzərə alaraq aşağıdakı cədvəl 2.2-də yazı bilərik:

Cədvəl 2.2

Qazların sabit həcmdə və sabit təzyiqdə molekulyar istilik tutumlarının qiymətləri

Qazın növü	Molekulyar istilik tutumu, kkal/mol-dər	
	Sabit həcmdə, $c_{v\mu}$	Sabit təzyiqdə, $c_{p\mu}$
Biratomlu	3	5
İkiatomlu	5	7
Üç və çoxatomlu	7	9

İdeal qazlar üçün  $\mu C_p - \mu C_v = 2 \frac{kkal}{kmolK}$  olub qazlar üçün sabit kəmiyyətdir.

M.P.Vukaloviç, V.A.Kirillin və N.N.Timofeyev texnikada çox işlənən qazların istilik tutumlarını ən dəqiq surətdə hesablamışlar. Bu hesablamaların nəticələri cədvəl 2.3 və cədvəl 2.4-də verilmişdir.

Cədvəl 2.3

Qazların sabit təzyiqdə orta kütlə istilik tutumları  
(kkal/kq-dər)

°C	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Hava
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,219	0,243	3,394	0,249	0,196	0,443	0,240
100	0,221	0,249	3,428	0,249	0,208	0,446	0,240
200	0,224	0,250	3,447	0,250	0,218	0,451	0,242

1	2	3	4	5	6	7	8
300	0,227	0,251	3,455	0,252	0,227	0,457	0,243
400	0,231	0,253	3,461	0,254	0,235	0,463	0,246
500	0,234	0,255	3,468	0,257	0,242	0,470	0,248
600	0,237	0,257	3,477	0,260	0,249	0,478	0,251
700	0,240	0,260	3,488	0,263	0,255	0,485	0,254
800	0,243	0,263	3,501	0,265	0,260	0,493	0,256
900	0,245	0,265	3,516	0,268	0,265	0,501	0,259
1000	0,247	0,267	3,533	0,270	0,269	0,509	0,261
1100	0,249	0,270	3,552	0,273	0,273	0,517	0,263
1200	0,251	0,272	3,572	0,275	0,277	0,524	0,265
1300	0,253	0,274	3,592	0,277	0,280	0,532	0,267
1400	0,254	0,276	3,614	0,279	0,283	0,539	0,269
1500	0,256	0,278	3,635	0,281	0,286	0,546	0,270
1600	0,257	0,279	3,657	0,282	0,288	0,553	0,272
1700	0,259	0,281	3,679	0,284	0,291	0,560	0,274
1800	0,260	0,282	3,701	0,285	0,293	0,566	0,275
1900	0,261	0,284	3,722	0,287	0,295	0,572	0,276
2000	0,263	0,285	3,743	0,288	0,297	0,578	0,278
2100	0,264	0,286	3,764	0,289	0,298	0,583	0,279
2200	0,265	0,287	3,784	0,290	0,300	0,588	0,280
2300	0,266	0,288	3,804	0,291	0,302	0,593	0,281
2400	0,267	0,290	3,823	0,292	0,303	0,598	0,282
2500	0,268	0,291	3,847	0,293	0,305	0,603	0,283
2600	0,269	0,291	3,860	0,294	0,306	0,607	0,284
2700	0,270	0,292	3,879	0,295	0,307	0,611	0,285
2800	0,271	0,293	3,896	0,296	0,309	-	0,286
2900	0,272	0,294	3,913	0,297	0,310	-	0,287
3000	0,273	0,295	3,930	0,297	0,311	-	0,288

#### Cədvəl 2.4

Qazların sabit təzyiqdə orta mol istilik tutumu  
(kkal/mol·dər)

°C	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Hava
1	2	3	4	5	6	7	8
0	6,993	6,975	6,841	6,958	8,614	7,979	6,960
100	7,058	6,978	6,909	6,972	9,142	8,034	6,962
200	7,152	6,996	6,946	7,005	9,610	8,118	6,996
300	7,265	7,030	6,963	7,056	9,997	8,224	7,051
400	7,380	7,081	6,976	7,121	10,332	8,342	7,117

1	2	3	4	5	6	7	8
500	7,491	7,143	6,989	7,196	10,650	8,469	7,190
600	7,593	7,212	7,007	7,274	10,945	8,602	7,266
700	7,686	7,283	7,029	7,353	11,205	8,740	7,342
800	7,771	7,354	7,055	7,430	11,438	8,881	7,415
900	7,843	7,423	7,086	7,503	11,774	9,023	7,486
1000	7,916	7,490	7,120	7,572	11,837	9,166	7,553
1100	7,979	7,554	7,158	7,637	12,010	9,307	7,616
1200	8,036	7,614	7,198	7,638	12,166	9,445	7,675
1300	8,090	7,670	7,240	7,755	12,310	9,581	7,731
1400	8,142	7,724	7,283	7,808	12,442	9,711	7,784
1500	8,191	7,774	7,326	7,857	12,564	9,838	7,833
1600	8,237	7,821	7,370	7,904	12,677	9,961	7,879
1700	8,281	7,865	7,414	7,947	12,780	10,079	7,923
1800	8,323	7,906	7,458	7,987	12,877	10,193	7,965
1900	8,364	7,945	7,501	8,025	12,967	10,300	8,004
2000	8,404	7,982	7,544	8,061	13,051	10,404	8,041
2100	8,443	8,017	7,565	8,094	13,130	10,503	8,076
2200	8,480	8,050	7,626	8,126	13,203	10,599	8,110
2300	8,517	8,081	7,666	8,156	13,273	10,691	8,142
2400	8,552	8,110	7,705	8,184	13,340	10,779	8,172
2500	8,587	8,139	7,754	8,211	13,402	10,863	8,202
2600	8,620	8,165	7,780	8,236	13,461	10,943	8,230
2700	8,652	8,191	7,817	8,260	13,516	11,021	8,256
2800	8,684	8,215	7,852	8,283	13,573	-	8,282
2900	8,714	8,238	7,886	8,305	13,624	-	8,306
3000	8,745	8,260	7,920	8,326	13,670	-	8,330

## 2.6. Orta və həqiqi istilik tutumları

Yuxarıda dediyimiz kimi, nəzəriyyələrdən və təcrübələrdən aydınlaşdırılmışdır ki, qazların istilik tutumu onların temperaturlarından və təzyiqindən asılıdır

$$c = f(t, p).$$

İdeal qazlarda, qazın istilik tutumu təzyiqdən asılı olaraq az dəyişildiyindən onu nəzərə almamaq da olar. Demək olar ki, ideal qazların istilik tutumu onların ancaq temperaturundan asılıdır

$$c = f(t).$$

1 kq qazı 0°C-dən,  $t$  dərəcəyə qədər qızdırsaq onda bunu şə-

kil 2.6-da verilən kimi qrafiki ifadə etmək olar. Bu qrafikdən gö-  
ründüyü kimi, temperaturdan asılı olaraq verilən istilik əyri xətt  
üzrə dəyişir. Buradan belə bir nəticə çıxır ki, ayrı-ayrı tempera-  
turlarda 1 kq qazın temperaturunu 1°C yüksəltmək üçün verilmiş  
istiliyin miqdarı müxtəlif olmalıdır.

Texnikada istilik hesablamalarında orta istilik tutumundan is-  
tifadə olunur. Orta istilik tutumu müəyyən interval üçün hesab-  
lanmalıdır. Orta istilik tutumu elə istilik tutumuna deyilir ki, orada  
qəbul olunan qiymət bütün prosesə həqiqətən sərf olunmuş istilik  
miqdarına və temperatur nisbətində uyğun gəlsin. Fərz edək ki, 1  
kq qazın temperaturunu  $t_1$  dərəcədən  $t_2$  dərəcəyə qədər yüksəlt-  
mək üçün  $\Delta q$  istiliyi verilmişdir. Belə olan tərzdə orta istilik tutu-  
mu aşağıdakı tənlikdən tapılar

$$c_m = \frac{\Delta q}{t_2 - t_1} \quad \text{Coul/kq} \cdot \text{dər.}$$

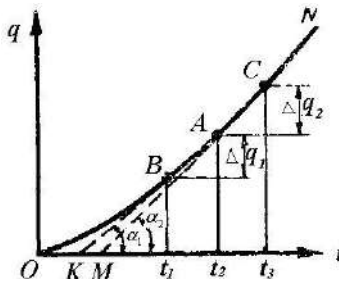
Göründüyü kimi, burada orta istilik tutumu şərti olaraq qəbul  
edilmişdir.

Fərz edək ki,  $ON$  əyrisi (şək.2.6) üzəri ilə qaz  $B$  nöqtəsindən  
 $A$  nöqtəsinə, sonra isə  $A$  nöqtəsindən  $C$  nöqtəsinə qədər qızdırılır,  
o zaman  $t_1 \dots t_2$  intervalı üçün

$$c_m = \frac{\Delta q}{t_2 - t_1} .$$

$t_2 \dots t_3$  intervalı üçün isə

$$c_m = \frac{\Delta q}{t_3 - t_2} .$$



Şək.2.6. İstilik miqdarının temperaturdan asılı olaraq dəyiş-  
mə əyrisi

Şəkildən görüldüyü kimi, istilik miqdarının temperaturdan asılı olaraq dəyişmə əyrilərini  $ABK$  və  $CAM$  xətləri ilə kəssək, onda bu xətlərin absis oxu ilə kəsişməsindən alınan bucaqlar  $BA$  və  $AC$  intervallarındakı orta istilik tutumunu ifadə edəcəkdir, yəni

$$c_{m_1} = \frac{At_2}{Kt_2} = tg\alpha_1;$$

$$c_{m_2} = \frac{ct_3}{Mt_3} = tg\alpha_2.$$

Buradan görüldüyü kimi  $tg\alpha_2 > tg\alpha_1$  olduğundan  $c_{m_2} > c_{m_1}$  olur. Yəni, ayrı-ayrı intervallarda orta istilik tutumunun qiymətləri müxtəlifdir.

Temperatur intervalı nə qədər çox olarsa, bir o qədər də istilik tutumu öz həqiqi qiymətindən fərqlənəcəkdir, əgər biz  $t_1 \dots t_2$  intervalını get-gedə azaldıb, sıfıra çatdırsaq, onda istilik tutumu öz həqiqi qiymətinə çox yaxınlaşacaqdır. Həqiqi istilik tutumunu  $c$  ilə işarə etsək, yazı bilərik

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

Məlum olduğuna görə

$$c = \frac{dq}{dt}.$$

Bu, həqiqi istilik tutumu adlanır.

## 2.7. İstilik tutumunun temperaturdan asılılığı

Adətən, istilik tutumunun qiymətlərini təcrübə nəticəsində tapıb müəyyən cədvəllərə yazırlar. Sonra həmin qiymətlər nəticəsində əyrilər qurulur. Bu qiymətləri tənliklərdən seçmə yolu ilə tapmaq olar. Bu, ümumi şəkildə aşağıdakı düstur ilə ifadə olunur:

$$c = a + bt + dt^2,$$

burada  $a, b, d$  - qazların tərkibindən asılı olan sabit əmsallərdir.

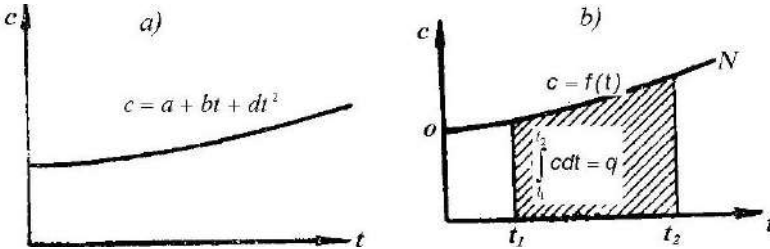
Yuxarıdakı tənliyin əyrisi şəkil 2.7-də verilmişdir. Prosesə

verilmiş istilik miqdarını təyin etmək üçün  $c = \frac{dq}{dt}$  tənliyindən istifadə olunur, onda  $dq = c dt$  və yaxud

$$q = \int_{t_1}^{t_2} c dt .$$

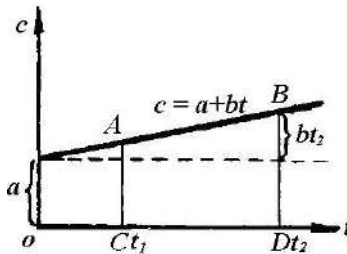
$ct$  diaqramında  $t_1 \dots t_2$  intervalında absis oxu ilə temperatur asılılığı əyrisi arasındakı sahə cismə verilən istiliyi ifadə edəcəkdir (şək.2.7.b), çünki burada elementar sahələrin cəmi

$$\int_{t_1}^{t_2} c dt = q \text{ verir.}$$



**Şək.2.7. İstilik tutumunun  $ct$  diaqramında temperaturdan asılılığı**

İstilik texnikasında hesablamaları asanlaşdırmaq üçün çox vaxt əyri asılılıq ona yaxın düz xətt asılılığı ilə ifadə olunur (şək.2.8).



**Şək. 2.8. İstilik tutumunun  $ct$  diaqramında temperaturdan düz xətt asılılığı**

Bu xəttin riyazi tənliyi aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$c = a + bt.$$

Burada  $t_1 \dots t_2$  intervalında verilən istilik  $ABDCA$  trapesiya sahəsi ilə ölçüləcəkdir:

$$q = \frac{AC + BD}{2} \cdot CD, \quad (2.11)$$

burada:

$$CD = OD - OC = t_2 - t_1$$

və  $AC$  ilə  $BD$  həmin nöqtələrdə olan həqiqi istilik tutumlarının qiymətləri olduğu üçün aşağıdakını yaza bilərik:

$$AC = a + bt_1;$$

$$BD = a + bt_2.$$

Alınan qiymətləri (2.11) tənliyində əvəz etsək alarıq:

$$c = \left( a + b \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \cdot (t_2 - t_1)$$

və yaxud

$$|c|_{t_1}^{t_2} = a + b \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

Orta istilik tutumunu  $0^\circ\text{C}$ -dən hesablasaq, o zaman  $t_1=0$  olacaqdır, bu halda

$$c_m = a + \frac{1}{2}bt$$

qəbul olunur.

İstilik tutumlarının hesablanması üçün işlədilən düsturlar cədvəl 2.5 və 2.6-da verilmişdir.

Cədvəl 2.5

Orta mol istilik tutumunu təyin edən düsturlar

Qazlar	$0^\circ\text{C}$ -dən $1500^\circ\text{C}$ temperatur intervalında
$\text{O}_2$	$c_{\rho\mu} = 7,0338 + 0,000834t$ $c_{v\mu} = 5,0478 + 0,000834t$
$\text{N}_2$	$c_{\rho\mu} = 6,8514 + 0,000592t$ $c_{v\mu} = 4,8554 + 0,000592t$



1	2
CO	$c_{\rho\mu} = 6,8898 + 0,000648t$ $c_{v\mu} = 4,9038 + 0,000648t$
Hava	$c_{\rho\mu} = 6,8876 + 0,000643t$ $c_{v\mu} = 4,9016 + 0,000643t$
H <sub>2</sub> O	$c_{\rho\mu} = 7,8881 + 0,001337t$ $c_{v\mu} = 5,09021 + 0,001337t$
CO <sub>2</sub>	$c_{\rho\mu} = 9,1712 + 0,002528t$ $c_{v\mu} = 7,1852 + 0,002528t$

Cədvəl 2.6

Qazların orta istilik tutumunu təyin edən düsturlar

Qazlar	0°C-dən 1500°C temperatur intervalında	
O <sub>2</sub>	Kütlə istilik tutumu, kkal/kq·dər ilə	Həcm istilik tutumu, kkal/m <sup>3</sup> ·dər ilə
N <sub>2</sub>	$c_{\rho m} = 0,2198 + 0,00002544t$ $c_{vm} = 0,1577 + 0,00002544t$	$c'_{\rho m} = 0,3138 + 0,0000376t$ $c'_{vm} = 0,2252 + 0,0000376t$
CO	$c_{\rho m} = 0,2446 + 0,00002115t$ $c_{vm} = 0,1737 + 0,00002115t$	$c'_{\rho m} = 0,3057 + 0,00002643t$ $c'_{vm} = 0,2171 + 0,00002643t$
Hava	$c_{\rho m} = 0,2378 + 0,00002221t$ $c_{vm} = 0,1693 + 0,00002221t$	$c'_{\rho m} = 0,3073 + 0,00002869t$ $c'_{vm} = 0,2187 + 0,00002869t$
H <sub>2</sub> O	$c_{\rho m} = 0,4379 + 0,0000743t$ $c_{vm} = 0,3276 + 0,0000743t$	$c'_{\rho m} = 0,3519 + 0,00005967t$ $c'_{vm} = 0,2633 + 0,00005967t$
CO <sub>2</sub>	$c_{\rho m} = 0,2084 + 0,00005747t$ $c_{vm} = 0,1633 + 0,00005747t$	$c'_{\rho m} = 0,4092 + 0,00001128t$ $c'_{vm} = 0,3206 + 0,00001128t$

## 2.8. Qaz qarışığının istilik tutumu

Qaz qarışığının temperaturunu 1°C qədər yüksəltmək üçün

qazı təşkil edən komponentlərə  $g_k c_k$  qədər istilik vermək lazımdır. 1 kq qaz qarışığının 1°C qədər qızması üçün bütün komponentlərə verilən istilik toplanarsa, həmin istilik qaz qarışığının istilik tutumu olacaqdır.

$$c_r = \sum_1^n g_k c_k .$$

Komponentlərin gətirilmiş çəki hissələri  $g_k$  məlum olarsa, o zaman  $c_k$ -ni cədvəllərdən götürüb, qaz qarışığının istilik tutumunu hesablaya bilərik:

Qarışığın tərkibi gətirilmiş həcm hissələri ilə verilərsə, o zaman

$$c'_r = \sum_1^n r_k c'_k .$$

Molekulyar istilik tutumu isə aşağıdakı tənlikdən tapılır:

$$c_{r\mu} = \sum_1^n r_k \mu c_k . \quad (2.12)$$

### *Yoxlama sualları*

1. Termodinamikanın birinci qanununun riyazi ifadəsi necə yazılır? 2. Adiabatik proses nəyə deyilir? 3. Prosesin dönən olması üçün hansı şərtlər vacibdir? 4. Dönən proseslər hansı beş şərti ödəməlidir? 5. Qazın istilik tutumu nəyə deyilir? 6. Sərbəstlik dərəcəsi nəyə deyilir? 7. Biratomlu və ikiatomlu qazların fəzada vəziyyətinin təyini necədir? 8. Qazın sabit həcmdəki molekulyar istilik tutumu? 9. Orta istilik tutumu nəyə deyilir? 10. Orta istilik tutumu nəyə deyilir? 11. İstilik miqdarının temperaturdan asılı olaraq dəyişmə əyriyələri nə zaman orta istilik tutumunu ifadə edəcəkdir? 12. Həqiqi istilik tutumunun düsturu necə ifadə olunur? 13. İstilik tutumunun temperaturdan asılılığı necədir? 14. İstilik tutumunun  $ct$  diaqramında temperaturdan düz xətt asılılığı necə ifadə olunur? 15. Qaz qarışığının istilik tutumu necə təyin olunur?

### III FƏSİL

## QAZLA GEDƏN ƏSAS TERMODİNİMİK PROSESLƏR

Termodinamikanın birinci qanunu qaza verilən istilik  $dq$ , daxili enerjisinin dəyişməsi  $du$  və xarici qüvvələrə qarşı gördüyü işin  $dl$  arasındakı əlaqəni verir. Bu asılılıqlarda  $du$  və  $dl$  qiymətlərini təyin etmək üçün prosesin dəyişmə xarakteri mütləq məlum olmalıdır.

Prosesin başlanğıc halının parametrləri məlum olarsa və prosesin tənliyi verilərsə, o zaman həmin prosesin son parametrlərini tapmaq mümkündür. Qazın başlanğıc və son parametrləri, eləcə də prosesin tənliyi məlum olarsa, o zaman onun gördüyü işi və daxili enerjisinin dəyişməsini asanlıqla hesablamaq olar.

Qaz halının dəyişmə proseslərini aydınlaşdırdıqda, müəyyən dəyişmə asılılıqlarını əldə etmək üçün, prosesin gedışı müəyyən şərtlərlə məhdudlaşmalıdır. Termodinamikada əsas etibarlı ilə dörd qaz halının dəyişmə prosesinə rast gəlirik:

- 1) sabit həcmdə istilik verilmə və ya istilik alınma- izoxor prosesi;
  - 2) sabit təzyiqdə istilik verilmə və ya alınma- izobar prosesi;
  - 3) sabit temperaturda istilik verilmə və ya alınma- izotermik prosesi;
  - 4) istilik mübadiləmsi olmadan, yəni istilik verilmədən və alınmadan halın dəyişməsi- adiabatik proses.
- Bu proseslərin ümumiləşdirici halı isə politrop prosesdir.

### 3.1. İzoxorik proses

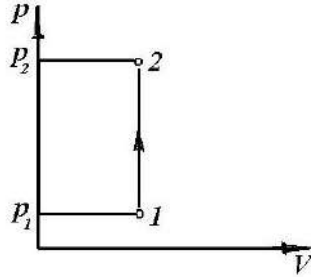
Sabit həcmdə qazla gedən prosesə izoxorik proses deyilir.

Qaz halının sabit həcmdə dəyişməsi və yaxud izoxorik prosesi  $pV$  diaqramında (şək.3.1) ordinat oxuna paralel olaraq 1-2 düz xətti ilə təsvir olunur. İzoxorik prosesinin tənliyi aşağıdakı şəkildə olur:

$$V = const.$$

Onda  $p$  ilə  $T$  arasındakı asılılığı təyin etmək məqsədi ilə prosesin başlanğıc və son halları üçün 1 kq üçün hal tənliklərini yazmaq:

$$p_1V = RT_1 \text{ v} \text{ } p_2V = RT_2 .$$



**Şək.3.1. Qaz halının sabit həcmədə dəyişməsi (izoxor prosesi  $pV$  diaqramında)**

Bu tənlikləri bir-birinə bölsək aşağıdakı ifadəni alarıq

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} .$$

Buradan görüldüyü kimi izoxor prosesində mütləq təzyiqlə mütləq temperatur düz mütənasibdir.

Termodinamikanın birinci qanununu aşağıdakı şəkildə yazıb

$$dq_v = du_v + pdV ,$$

izoxor prosesində  $V=const$  olduğunu nəzərə alsaq,  $dV=0$  olur, onda  $pdV=0$  olacaqdır. Bu halda:  $dq_v = du_v$  olacaqdır.

$c_v=const$  olduqda verilən istiliyin miqdarı

$$q_v = u_2 - u_1 = c_v(t_2 - t_1) .$$

Beləliklə, yuxarıdakı tənlikdən görünür ki, izoxor prosesində xaricdən verilən istilik yalnız daxili enerjinin dəyişməsinə sərf olunur və iş görülmür.  $c_v$  dəyişən olduqda isə sistemə verilən istilik aşağıdakı tənlikdən tapıla bilər:

$$q_v = u_2 - u_1 = c_{vm_2}t_2 - c_{vm_1}t_1 ,$$

burada  $c_{vm1}$  və  $c_{vm2}$  uyğun olaraq  $0^\circ\text{C}$ -dən  $t_1^\circ\text{C}$  və  $0^\circ\text{C}$ -dən  $t_2^\circ\text{C}$ -yə qədər temperatur intervallarında sabit həcmədəki orta istilik tutumlarıdır.

### 3.2. İzobarik proses

Qaz halının sabit təzyiqdə dəyişmə prosesi izobar prosesi adlanır. Bu proses  $pV$  diaqramında (şək.3.2) absis oxuna paralel olaraq,  $1-2$  düz xətti ilə ifadə olunur.  $1-2$  izobar düz xəttin tənliyi:

$$p = \text{const.}$$

İzobar prosesi üçün yaza bilərik:

$$pV_1 = RT_1 \text{ və } pV_2 = RT_2,$$

buradan:

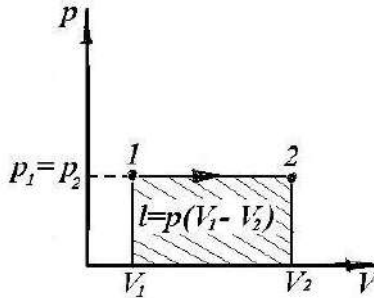
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

və yaxud

$$V = \frac{1}{\rho}$$

olduğundan yaza bilərik:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1}.$$



Şək.3.2. Qaz halının sabit təzyiqdə dəyişməsi (izobar prosesi  $pV$  diaqramında)

Bu tənlilərdən görüldüyü kimi, izobarik prosesində xüsusi həcm mütləq temperaturun dəyişməsi ilə düz mütənasibdir.

$1-2$  prosesində qazın gördüyü işi tapaq:

$$\ell = \int_{v_1}^{v_2} p dV.$$

$p = \text{const}$  olduğundan  $\ell = p \int_{v_1}^{v_2} dV = p(V_2 - V_1)$  olacaqdır.

$pV$  diaqramında bu işi asanlıqla təyin etmək olar, çünki  $p(V_2 - V_1)$  diaqramda prosesin kənar ordınatları ilə absis oxu arasında əmələ gələn düzbucaqlının sahəsidir (şəkl.3.2).

İdeal qazın xarakteristik tənliyini ( $pV = RT$ )  $p = \text{const}$  sabit olmaq şərti ilə diferensiallasaq, alarıq:

$$p dV = R dT. \quad (3.1)$$

$p dV$ - elementar işi ifadə etdiyindən yazıb bilərik:

$$d\ell = R dT,$$

burada:

$$\ell = \int_{T_1}^{T_2} R dT = R(T_2 - T_1) = R(t_2 - t_1).$$

Burada  $t_2 - t_1 = 1^\circ\text{C}$  qəbul olunarsa onda

$$R = L.$$

Bu ifadədən görünür, ki, ideal qazların qaz sabiti, 1 kq qazın sabit təzyiqdə  $1^\circ\text{C}$  temperaturunun artması ilə genişləndikdə gördüyü işdir.

Prosesdə qazın daxili enerji dəyişməsi

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

İzobarik prosesin yaranması üçün tələb olunan istiliyin miqdarı termodinamikanın birinci qanununa əsasən tapılır

$$q = \Delta U + l$$

$$q = C_v(T_2 - T_1) + R(T_2 - T_1) = (C_v + R)(T_2 - T_1) = C_p(T_2 - T_1)$$

Bu ifadədən görünür ki, izobarik prosesdə qaza verilən istiliyin bir hissəsi qazın daxili enerjisinin artmasına mə digər hissəsi isə qazın gördüyü işə sərf olunur.

### 3.3. Mayer düsturu

İzobar prosesi üçün (2.2) düsturu ilə verilmiş termodinamika-

nın birinci qanununun ifadəsini (3.1) düsturu ilə müqayisə etsək və bu prosesdə

$$dq = c_p dt ;$$

$$du = c_v dt$$

$$dl = RdT$$

olduğunu nəzərə alsaq

$$c_p dt = c_v dt + Rdt .$$

Hər tərəfi  $dt$ -yə ixtisar etsək alarıq.

$$c_p = c_v + R .$$

1 mol qaz üçün isə

$$c_{p\mu} = c_{v\mu} + \mu R ,$$

$c_p$  ilə  $c_v$ -nin fərqindən başqa, termodinamikada bunların arasındakı nisbət  $\left(\frac{c_p}{c_v}\right) k$  ilə işarə olunub, çox işlədilir.

İstilik tutumunu sabit hesab etsək, onda biratomlu qazlar üçün

$$k = \frac{c_{p\mu}}{c_{v\mu}} = \frac{c_{v\mu} + 2}{c_{v\mu}}$$

və biratomlu qazlarda  $c_{v\mu} = 3 \frac{k\text{kal}}{kq \cdot d\text{Яr}}$  olduğunu nəzərə alsaq aşağıdakı ifadəni alarıq

$$k = \frac{c_{v\mu} + 2}{c_{v\mu}} = \frac{5}{3} = 1,67 .$$

Bu qayda ilə ikiatomlu qazlar üçün:

$$k = \frac{c_{p\mu}}{c_{v\mu}} = \frac{7}{5} = 1,4 ,$$

üç və çoxatomlu qazlar üçün isə

$$k = \frac{c_{p\mu}}{c_{v\mu}} = \frac{9}{7} = 1,29 .$$

İdeal qazlar üçün  $k$ -nın qiyməti sabit olub, ancaq onların tər-

kibindən asılıdır. Real qazlar üçün  $k = \frac{c_p}{c_v}$  nisbəti temperaturdan asılı olaraq dəyişir ki, bu da aşağıdakı tənlikdən aydınlaşdırıla bilər:

$$k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_v + R}{c_v} = 1 + \frac{R}{c_v} = \frac{\mu R}{\mu c_v} + 1;$$

$$k = 1 + \frac{1,986}{\mu c_v} \cong 1 + \frac{2}{c_{v\mu}} .$$

Məlumdur ki, temperatur artdıqca  $c_{v\mu}$ -nin qiyməti artacaq,  $k$ -nin qiyməti isə azalacaqdır.

Qaz izobar prosesi ilə genişləndikdə verilən istilik həm qazın daxili enerjisinin artmasına, həm də xarici qüvvələrə qarşı görülən işə sərf olunur. Ona görə də izobar prosesində 1 kq qazı 1°C qızdırmaq üçün lazım olan istilik miqdarı başqa şərtlər dəyişmədikdə izoxor prosesində 1°C qızdırmaq üçün lazım olan istilik miqdarından çox olur.

Termodinamikanın birinci qanununun (2.2) riyazi ifadəsinin hər tərəfini  $dq$ -yə bölsək

$$\frac{d\ell}{dq} = 1 - \frac{du}{dq} .$$

Burada  $du = c_v dT$  və  $dq = c_p dT$  və  $\frac{c_p}{c_v} = k$  olduğunu nəzərə

alsaq

$$\frac{d\ell}{dq} = 1 - \frac{1}{k} \tag{3.3}$$

olur. İkiatomlu qazlarda  $k=1,4$  olduğundan

$$\frac{d\ell}{dq} = 1 - \frac{1}{1,4} = 0,285$$

alınır. Bu o deməkdir ki, qaza verilən istiliyin ancaq 28,5%-i genişlənmə işinə, 71,5%-i isə daxili enerjinin artmasına, yəni qazın temperaturunun yüksəlməsinə sərf olunur.



### 3.4. Entalpiya və ya istilik funksiyası

Termodinamikanın birinci qanununu izobar prosesini icra edən 1 kq qaz üçün yazsaq

$$dq = du + pdV.$$

$p=const$  olduğundan həmin ifadəni aşağıdakı şəkildə də yazmaq olar.

$$\begin{aligned} dq &= du + d(pV) = d(u + pV) \\ u + pV &= i \end{aligned} \quad (3.4)$$

ilə işarə etsək, onda:

$$dq_p = di.$$

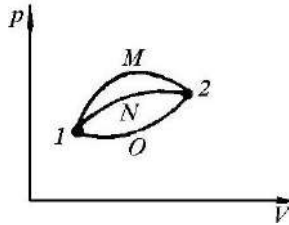
Termodinamik hesablamalarda çox vaxt (3.4) ifadəsindən istifadə olunur. Həmin düsturdan görüldüyü kimi,  $i$ -nin ifadəsinə daxil olan  $u$ ,  $p$  və  $V$  kəmiyyətləri sistemin hal parametrləridir. Buna görə bu ifadəyə qazın hal ifadəsi kimi baxmaq olar.  $i$  kəmiyyətinə entalpiya və ya istilik funksiyası deyilir. Qaz 1 halından 2 halına keçərkən onun parametrləri  $u_1$ ,  $p_1$ ,  $V_1$ -dən  $u_2$ ,  $p_2$ ,  $V_2$ -yə qədər dəyişibsə, onun 1 və 2 hallarındakı entalpiyaları uyğun olaraq aşağıdakı kimi olar

$$i_1 = u_1 + Ap_1V_1$$

və

$$i_2 = u_2 + Ap_2V_2$$

olar. Burada prosesin necə getməsinin əhəmiyyəti yoxdur. proses  $1M2$ ,  $1N2$ ,  $1O2$  və ya başqa müxtəlif yollarla getsə də entalpiyaların qiyməti  $i_2$  və  $i_1$ -ə bərabər olacaqdır (şək.3.3).



Şək.3.3. Entalpiya

Klapeyron-Mendeleev tənliyindən və daxili enerji ifadələrindən istifadə edərək yazmaq olar

$$i = u + pV = c_{vm}T + RT = T(c_{vm} + R).$$

Burada

$$c_{vm} + R = c_{pm}$$

olduğundan, yazıla bilər

$$i = c_{pm}T,$$

buradan görüldüyü kimi, entalpiya ideal qazın sabit təzyiqdə 0°K-dan T°K-ya qədər qızmasına sərf olunan istilikdir.

İstilik texnikası hesablamasında isə entalpiya şərti olaraq

$$\Delta i = c_{pm}\Delta t$$

qəbul olunmuşdur.

Qeyd etmək lazımdır ki,  $T$ -nin  $t$  ilə əvəz olunması hesablamağa heç bir xələl vermir. Çünki, istilik texnikası hesablamalarında əsas etibarlı ilə entalpiya fərqiindən istifadə olunur. Yəni:

$$\Delta i = i_2 - i_1 = c_{pm}T_2 - c_{pm}T_1.$$

Entalpiya hal parametrlərindən istifadə edərək, termodinamikanın birinci qanununu aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$dq = d(i - pV) + pdV$$

və yaxud

$$dq = di - pdV - Vdp + pdV;$$

$$dq = di - Vdp.$$

$p$ -ni sabit saxlayaraq bu ifadəni inteqrallasaq aşağıdakı alınır

$$q_p = i_2 - i_1.$$

Buradan görüldüyü kimi, izobar prosesində qaza verilən istilik, onun entalpiyasının dəyişməsinə sərf olunur.

### 3.5. İzotermik proses

Qaz halının sabit temperaturda dəyişməsi, izotermik proses adlanır.

İzotermik prosesin tənliyi aşağıdakı şəkildə olur:

$$pV = const.$$

$pV$ - koordinatlarında izotermik proses bərabəryanlı hiperbola ilə təsvir olunur (şəkl.3.4).

Belə hiperbola aşağıdakı üsul ilə qurulur (şəkl.3.5).

Tutaq ki,  $A$  nöqtəsinin koordinatları  $(p_1V_1)$  prosesin başlanğıc halını təyin edir. Bu nöqtədən absis oxuna paralel  $AB$  xəttini, ordinat oxuna paralel  $AC$  xəttini çəkirik. Sonra koordinat başlanğıcı olan  $O$  nöqtəsindən  $OD$ ,  $OM$ ,  $ON$  düz xəttlərini keçiririk. Bundan sonra  $AB$  xəttinə perpendikulyar olaraq  $D$  nöqtəsindən  $DF$  və  $OM$  xəttinin  $AC$  xətti ilə görüşən nöqtəsindən  $FE$  xəttini çəkib  $F$  nöqtəsini alırıq ki, bu da hiperbolanın üzərində olan nöqtə olacaqdır. Bu qayda ilə,  $P$  və  $K$  nöqtələrini alırıq.  $A$ ,  $F$ ,  $P$  və  $K$  nöqtələrini birləşdirib müəyyən bir əyri alırıq ki, bu əyrinin də düsturu aşağıdakı şəkildə olacaqdır:

$$pV = const.$$

Bunu isbat etmək üçün iki oxşar  $\triangle OLC$  və  $\triangle ONT$  üçbucaqlarından (şəkl.3.5) yazıla bilər:

$$\frac{LC}{NT} = \frac{OC}{OT},$$

burada  $LC$  xətti  $KT$  xəttinə bərabər olub,  $p_2$ -yə,  $OT$  xətti isə

$V_2$ -yə təvafüq edir;

$NT=AC$  olub  $p_1$ -i,  $OC$  isə  $V_1$ -i ifadə edir.

Beləliklə, yazıla bilər

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

və yaxud

$$p_1V_1 = p_2V_2.$$

Göründüyü kimi, bu da izotermik prosesin tənliyidir. Burada  $t=const$  olduğundan ideal qazlar üçün

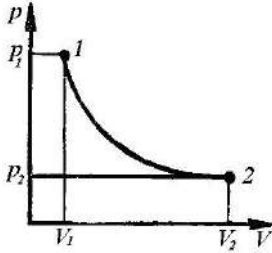
$$du = c_v dt = 0; \quad u = const.$$

Deməli, izotermik prosesdə ideal qazın daxili enerjisi dəyişməyərək sabit qalır, onda termodinamikanın birinci qanununa görə yazıla bilər

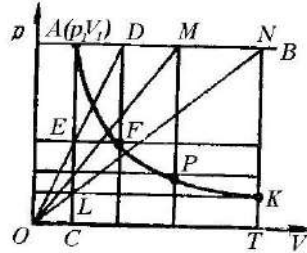
$$dq_t = pdV = d\ell.$$

Bu ifadədən görünür ki, izotermik prosesdə qazavərilən istilik

lik tamamilə qazın gördüyü işə sərf olunur.



**Şək.3.4.  $pV$  - diaqramında izotermik prosesin hiperbola əyrisi**



**Şək.3.5. Hiperbola əyrisinin qurulması**

İdeal qazın izotermik prosesdə gördüyü iş aşağıdakı üsul ilə təyin edilə bilər:

$$\ell = \int_{V_1}^{V_2} p dV.$$

$$pV = RT \text{ olduğundan } p = RT \frac{1}{V}$$

və ya

$$\ell = \int_{V_1}^{V_2} RT \frac{1}{V} dV.$$

$T = \text{const}$  olduğundan yazı bilərik

$$\ell = RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV.$$

Buradan

$$\ell = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

İzotermik prosesdə  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}$  olduğundan

$$\ell = RT \ln \frac{p_1}{p_2} = pV \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

Onda 1 kq qazın xaricdən aldığı istilik aşağıdakı kimi olacaqdır

$$q = \ell = RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

### 3.6. Adiyabatik proses

Xarici mühit ilə qaz arasında istilik mübadiləsi olmadan, qaz halının dəyişmə prosesinə adiyabatik proses deyilir. Burada prosesə istilik verilib, alınmadığı üçün yaza bilərik

$$dq = 0.$$

Bu hal üçün termodinamikanın birinci qanunu aşağıdakı şəkli alır:

$$c_v dt + pdV = 0$$

və ya  $T = \frac{pV}{R}$  olduğundan

$$c_v d \frac{pV}{R} + pdV = 0.$$

Bu ifadəni diferensialladıqdan və riyazi dəyişikliklər aparıldıqdan sonra

$$\frac{c_v}{R} (pdV + Vdp) + pdV = 0;$$

$$pdV + Vdp + \frac{R}{c_v} pdV = 0.$$

$AR = c_p - c_v$  olduğundan yaza bilərik:

$$pdV + Vdp + \frac{c_p - c_v}{c_v} pdV = 0;$$

$$pdV \left[ 1 + \frac{c_p - c_v}{c_v} \right] + Vdp = 0,$$

Burada  $1 + \frac{c_p - c_v}{c_v} = \frac{c_v + c_p - c_v}{c_v} = \frac{c_p}{c_v} = k$  olduğundan yaza

bilərik

$$kpdV + Vdp = 0.$$

Bütün tənliyi  $pV$ -yə bölsək alarıq:

$$k \frac{dV}{V} + \frac{dp}{p} = 0.$$

Bu ifadəni inteqralladıqda

$$k \cdot \ln V + \ln p = \text{const},$$

potensiallaşdırdıqda isə

$$p \cdot V^k = \text{const}, \quad (3.5)$$

burada  $k$ -adiabata göstəricisi adlanır.

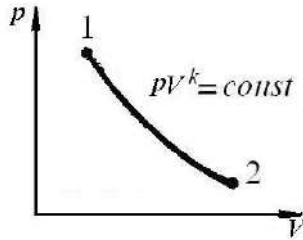
İdeal qazlar üçün  $k$ -nın qiyməti qazın atom sayından asılıdır. Real qazlar üçün isə  $k$ -nın qiyməti həm də qazın temperaturundan asılıdır.

Bu, ümumiləşmiş hiperbola tənliyidir. Bu düstura Puasson düsturu da deyilir.  $pV$  diaqramında bu proses şəkil 3.6-da verilmişdir.

Hal tənliyinə görə  $pV = RT$  olduğundan

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

olacaqdır.



Şək.3.6.  $pV$  diaqramında adiabatik prosesin hiperbola əyrisi

(3.5) tənliyində  $p$ -ni  $\frac{RT}{V}$  ilə əvəz etsək

$$\frac{RT}{V} V^k = \text{const}.$$

$R$ - sabit kəmiyyət olduğu üçün

$$T \frac{V^k}{V} = \text{const}$$

olacaqdır. Onda  $T$  və  $V$  parametrləri üçün bu tənlik aşağıdakı şəkildə yazılır

$$TV^{k-1} = \text{const}. \quad (3.6)$$

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

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

$T$  ilə  $p$  arasındakı asılılığı tapmaq üçün bu ifadədə  $V$ -ni  $T$  ilə əvəz edirik

$$p \frac{RT^k}{p^k} = \text{const},$$

buradan

$$p^{1-k} \cdot T^k = \text{const}. \quad (3.7)$$

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

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

(3.5) tənliyindən  $p$  ilə  $V$  arasında aşağıdakı nisbəti alırıq:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k$$

və ya

$$\frac{V_2}{V_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{k}}.$$

Adibatik prosesdə qazın işini təyin etmək

$$du + d\ell = 0;$$

$$d\ell = -du;$$

$$\ell = u_1 - u_2.$$

Adiabatik prosesdə daxili enerjinin dəyişməsi hesabına iş görülür.  $c_v = \text{const}$  olması şərti ilə yuxarıdakı tənlikdə  $u_1$  və  $u_2$ -nin qiymətlərini əvəz etsək, ideal qaz üçün alırıq

$$\ell = c_v(t_1 - t_2) = c_v(T_1 - T_2).$$

$T$ -ni  $P \frac{V}{R}$  ilə əvəz edək. Onda

$$\ell_{ad} = \frac{c_v}{R}(p_1V_1 - p_2V_2).$$

$c_p - c_v = R$  olduğundan yazı bilərik

$$\frac{c_v}{R} = \frac{c_v}{c_p - c_v} = \frac{1}{\frac{c_p}{c_v} - 1};$$

$$\frac{c_p}{c_v} = k \text{ olduğundan } \frac{c_v}{R} = \frac{1}{k-1} \text{ olur.}$$

Onda adiabatik prosesdə işin tənliyi

$$\ell_{ad} = \frac{1}{k-1}(p_1V_1 - p_2V_2) \quad (3.8)$$

və yaxud

$$\ell_{ad} = \frac{p_1V_1}{k-1} \left( 1 - \frac{p_2V_2}{p_1V_1} \right). \quad (3.9)$$

Yuxarıda alınan tənliyə görə

$$\frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k.$$

Onda

$$\frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{V_2}{V_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k \cdot \left( \frac{V_2}{V_1} \right) = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1}.$$

Buradan yazı bilərik



$$\ell_{ad} = \frac{p_1 V_1}{k-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \right] = \frac{RT_1}{k-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \right].$$

Yuxarıdakı tənlikdə  $V$ -ni  $p$  ilə əvəz etsək alarıq

$$\ell_{ad} = \frac{p_1 V_1}{k-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]. \quad (3.10)$$

### 3.7. Politropik proses

Politropik proses ümumiləşdirici prosesdir. Bu prosesin tənliyini almaq üçün termodinamikanın birinci qanununun ifadəsini izobar prosesi üçün yazaraq:

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

Politropik prosesin istilik tutumunu  $c$  və buna uyğun olaraq  $dq = c \cdot dT$  qəbul etsək, onda

$$cdq = c_v dT + p dV$$

və yaxud

$$(c - c_v) dT - p dV = 0$$

burada  $T = \frac{pV}{R}$  olduğundan aşağıdakını yazarıq:

$$\frac{c - c_v}{R} d(pV) - p dV = 0$$

və yaxud

$$\frac{c - c_v}{R} (pdV + Vdp) - p dV = 0.$$

Bu tənliyi  $\frac{c - c_v}{R}$  bölək:

$$pdV + Vdp - \frac{R}{c - c_v} p dV = 0$$

$R = C_p - C_v$  olduğundan

$$pdV + Vdp - \frac{c_p - c_v}{c - c_v} pdV = 0$$

və

$$\left(1 - \frac{c_p - c_v}{c - c_v}\right) pdV + Vdp = 0.$$

Bu ifadənin hər iki tərəfini  $pV$ -ə bölsək alırıq

$$\frac{c - c_p}{c - c_v} \cdot \frac{dV}{V} + \frac{dp}{p} = 0;$$

$$m = \frac{c - c_p}{c - c_v} \quad (3.11)$$

qəbul etsək və

$$m \cdot \frac{dV}{V} + \frac{dp}{p} = 0$$

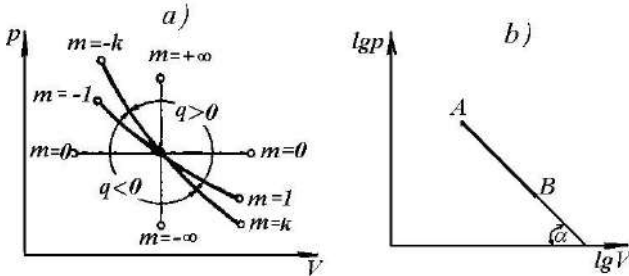
ifadəsini inteqrallasaq aşağıdakını alırıq

$$pV^m = const, \quad (3.12)$$

burada  $m$ - politrop göstəricisi adlanır.

Politrop göstəricisinin ədədi qiyməti mənfi sonsuzluqdan müsbət sonsuzluq həddlərində olur.

Politrop göstəricisi  $m$ -in dəyişməsi ilə politrop tənliyinin dəyişməsini nəzərdən keçirək (şək.3.7).



Şək.3.7. Politrop göstəricisinin və politrop tənliyinin dəyişməsi

a)  $m=0$  olarsa

$V^m = 1$  olur, onda  $p = \text{const}$ .

Bu izobar prosesin tənliyidir,  $pV$  diaqramında bu proses absis oxuna paralel düz xəttlə ifadə olunur.

b)  $m=1$  olduqda  $pV = \text{const}$ ; bu, izotermik prosesin tənliyidir.

c)  $m = k = \frac{C_p}{C_v}$  olduqda  $pV^k = \text{const}$  olur ki, bu da adiabatik prosesin tənliyidir.

d)  $m = \infty$  olduqda  $pV^\infty = \text{const}$  bu ifadəni  $p^{\frac{1}{\infty}}V = \text{const}$  kimi yazmaq olar. Nəzərə alsaq ki,  $1/\infty = 0$  qəbul olunur, onda  $V = \text{const}$  olur. Bu ifadə isə izoxorik proses tənliyidir.

(3.5) və (3.12) düsturları xarici görünüşünə görə tamamilə bir-birinə oxşayır, bunlar arasındakı fərq ancaq adiabat göstəricisi adlanan  $k$  ilə politrop göstəricisi adlanan  $m$ -in müxtəlifliyindədir. Müəyyən qanunla gedən istənilən proses politrop  $k$  proses alındığından adiabatik proses üçün bildiyimiz düsturları analoji olaraq politropik proses üçün də yazmaq bilərik. Bu halda adiabatik proses üçün olan ifadələrin hamısında adiabatik göstərici  $k$ -ni politrop göstərici  $m$  ilə əvəz etmək lazımdır. Beləliklə, adiabatik prosesdə görülən işi ifadə edən (3.8), (3.9) və (3.10) düsturlarını uyğun olaraq politropik proses üçün yazsaq aşağıdakı düsturları alarıq

$$\ell_{polit} = \frac{1}{m-1} (p_1 V_1 - p_2 V_2); \quad (3.13)$$

$$\ell_{polit} = \frac{p_1 V_1}{m-1} \left( 1 - \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} \right); \quad (3.14)$$

$$\ell_{polit} = \frac{p_1 V_1}{m-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right]. \quad (3.15)$$

Politropik prosesin istilik tutumunu ( $C$ ) təyin etmək üçün (3.11) ifadəsindən istifadə edilir.

$$m = \frac{C - C_p}{C - C_v}$$

$$C(m-1) = mC_v - C_p$$

$$k = \frac{C_p}{C_v} \text{ olduğu üçün}$$

$$C_p = kC_v \text{ olur, onda}$$

$$C = C_v \frac{m - k}{n - 1} \quad (3.16)$$

(3.16) düsturundan aşağıdakı xüsusi halları almaq olar: izoxor prosesində  $m = \pm\infty$ ,  $c = c_v$ , izobar prosesində  $m = 0$ ,  $c = kc_v = c_p$ , izotermik prosesdə  $m = 1$ ,  $c = \infty$ , adiabatik prosesdə  $m = k$ ,  $c = 0$ .

(3.16) düsturundan görünür ki, politropik prosesin istilik tutumu  $C_v, m$  və  $k$  kəmiyyətlərindən asılıdır.

$C$ -nın işarəsi həm mənfi, həm də müsbət ola bilər:

1.  $m < 1$  və ya  $m > k$  olduqda  $C$ -nin işarəsi müsbət olur.
2.  $1 < m < k$  olanda  $C$ -nin işarəsi mənfi olur.
3.  $m = k$  olanda  $C = 0$  olur.
4.  $m = 1$  olanda  $C = \infty$  olur

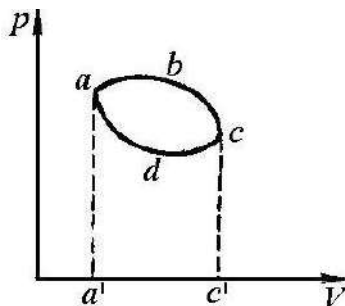
### ***Yoxlama sualları***

1. İzoxor proses nədir? 2. Hansı prosesə izobar prosesi deyilir? 3. Mayer düsturu necə ifadə olunur? 4. İzobar prosesində qazın istilik tutumu izoxor prosesindəkinə nisbətən necə olur? 5. Entalpiya necə ifadə olunur? 6. Hansı kəmiyyətə istilik funksiyası deyilir? 7. İzotermik proses hansı prosesə deyilir? 8. İzotermik prosesin tənliyi necə ifadə olunur? 9.  $pV$ - koordinatlarında izotermik proses hansı əyri ilə təsvir olunur? 10. İdeal qazın izotermik prosesdə gördüyü iş necə təyin edilə bilər? 11. Adiabatik proses hansı prosesdir? 12.  $pV$  diaqramında adiabatik proses necə təsvir olunur? 13. Puasson düsturu necə ifadə olunur? 14. Adiabatik prosesdə qazın işi necə təyin olunur? 15. Politropik proses hansı prosesdir və necə ifadə olunur? 16. Politropik prosesdə görülən iş necə təyin olunur?

## IV FƏSİL TERMODİNAMİKANIN İKİNCİ QANUNU

### 4.1. Dairəvi proses və ya tsikl

Dairəvi proseslər və ya tsikllər əsasən iki sinifə ayrılır: düz və əks tsikllər (şək.4.1).



Şək.4.1. Dairəvi prosesin və yaxud tsiklin sxemi

İstiliyin işə çevrilməsini təmin edən tsikllərə düz tsikl deyilir. Düz tsikllər əsasında bütün istilik maşınları işləyir.

Hər bir istilik mühərrikinin, başqa sözlə istilik enerjisinə mexaniki enerjiyə çevirən maşının işçi cismi genişlənərək iş gördükdən sonra, sıxılaraq əvvəlki halına qayıtmalıdır və bu proses periodik olaraq təkrar olunmalıdır. Şəkildən görüldüyü kimi, mühərrikin işçi cismi öz halını qapalı  $abcd$  fiquru boyunca dəyişdirir və dövrü olaraq  $a$  başlanğıc halına gəlir. Bu cür qapalı prosesə dairəvi proses və ya tsikl deyilir.  $abc$  yolunda işçi cism ədədi qiymətə  $abcc'a'$  sahəsinə bərabər olan iş ( $l_1$ ) görür,  $cda$  yolunda isə işçi cismi sıxmaq üçün xaricdən onun üzərinə ədədi qiymətə  $adcc'a'$  sahəsinə bərabər olan iş ( $l_2$ ) sərf olunur. Genişlənmə işi müsbət, sıxılma işi isə mənfi olduğundan bir dairəvi proses nəticəsində işçi cism ədədi qiymətə  $abcd$  sahəsinə bərabər olan müsbət iş ( $l$ ) görür. Şəkildən görüldüyü kimi  $l=l_1-l_2$  olur. Deməli,  $pV$  diaqramında dairəvi prosesin işi, bu proseslə əhatə olunan fiqurun sahəsi ilə ölçülür.

Saat əqrəbi istiqamətində gedən tsikllərdə, bu istilik maşınlarını, saat əqrəbinin əksinə gedən tsikl üzrə isə soyuducu maşınları işləyirlər. Birinci halda  $l > 0$ , ikinci halda  $l < 0$  olur. Başqa proseslər kimi dairəvi proseslər də dönən və dönməyən olur. Dairəvi prosesin dönən olması üçün sürtünmənin olmaması, mexaniki və termik tarazlığın olması zəruridir.

## 4.2. Düz Karno tsikli

Bu nəzəri tsikl 1824-cü ildə fransız mühəndisi Karno tərəfindən təklif edilmişdir. Bu, 2 izotermik, 2 adiabat əyrisindən ibarət dönən dairəvi proses olub, ideal istilik maşınlarının tsiklini ifadə edir.

Karno tsikli ikinci qanunun əsaslandırılmasında və habelə onun riyazi tənliyinin əldə edilməsində böyük rol oynayır.

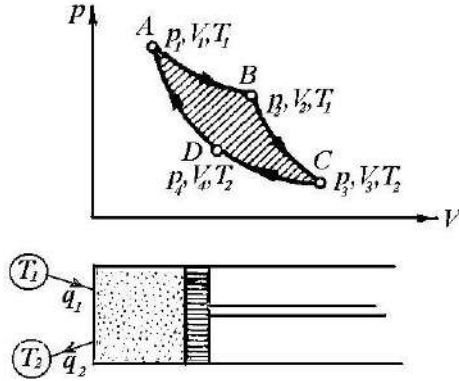
Karno maşınında gedən dairəvi proses aşağıdakından ibarətdir: tutaq ki, iki istilik mənbəyi və xaricdən izolə edilmiş porşenli silindr vardır. İstilik mənbələrinin biri yüksək-  $T_1$  temperaturlu, ikincisi isə aşağı -  $T_2$  temperaturlu mənbədir. İstilik mənbələrinin çox böyük miqdarda istiliyə malik olduqları fərz olunur. Buna görə də istilik alınan və verilən zaman mənbələrin temperaturları sabit qəbul edilir.

Fərz edək ki, silindrin divarları istilik keçirmir. Karno tsiklinin özü aşağıdakı proseslərdən əmələ gəlir. Qazyüksək temperaturlu istilik mənbəyi ilə birləşir, bu mənbədən  $q_1$  istiliyini alıb genişlənir və porşen sol vəziyyətindən hərəkət etməyə başlayır. Burada həmişə qazın temperaturu istilik mənbəyinin temperaturuna bərabər olur. Şəkil 4.2-də bu proses  $AB$  izoterm əyrisi ilə göstərilmişdir.  $B$  nöqtəsində silindr qızdırıcıdan ayrılır, işçi cisim isə  $C$  nöqtəsinə kimi genişlənməkdə davam edir. Bu prosesdə xarici mühitlə istilik əlaqəsi olmadığı üçün adiabatik proses olacaqdır. Bu iki prosesdən sonra porşen sağ ölü nöqtəsinə çatır və qaz qızdırıcıdan  $q_1$  miqdarda istilik almış olur.

Mühərrikin müntəzəm işləməsi üçün porşen əvvəlki vəziyyətinə, işçi cism isə əvvəlki halına-  $A$  nöqtəsinə qayıtmalıdır.

Bu proses, aşağıdakı yol ilə aparılır:  $C$  nöqtəsində işçi cism

$T_2$  temperaturlu soyuducu mənbə ilə əlaqələnin və görülmən xarici iş hesabına izotermik proses ilə sıxılır. Burada işçi cism  $q_2$  istiliyini soyuducuya verir.  $D$  nöqtəsində işçi cism  $T_2$  temperaturlu mənbədən ayrılır və bundan sonrakı sıxılma, xarici mühit ilə istilik əlaqəsi olmadan gedir ki, bu da adiabatik prosesi olur. Burada proses elə getməlidir ki,  $D$  nöqtəsindən başlayan adiabat əyrisi  $A$  nöqtəsinə çatmış olsun.



#### Şək.4.2. Karno tsikli

Qapalı prosədə istilik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevrilməsinin iqtisadi cəhətdən səmərəli olması, termik faydalı iş əmsalı (f.i.ə.) ilə qiymətləndirilir.

Mexaniki enerjiyə çevrilmiş istiliyin, istilik mənbəyindən alınan istiliyə olan nisbəti termik f.i.ə. adlanır.

Tutaq ki,  $q_1$  yüksək temperaturlu mənbədən alınan istiliyin miqdarı,  $q_2$  soyuq mənbəyə verilən istiliyin miqdarıdır. Beləliklə, istilik şəklində  $q_1 - q_2 = q_0$  istiliyi faydalı və onun sayəsində mexaniki iş alınmışdır. Bu iş faydalı iş və istilik isə faydalı istilik adlanır. Onda termik f.i.ə. aşağıdakı kimi olur

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_2} = \frac{q_0}{q_1} < 1. \quad (4.1)$$

Beləliklə, demək olar ki, Karno tsikli  $T_1$  və  $T_2$  temperaturlu iki izotermik və iki adiabatik proseslərdən ibarətdir. Bu tsiklin termik f.i.ə.-ni təyin edək. Bütün tsikl boyu qızdırıcıdan  $q_1$  qədər

istilik alınb,  $q_2$  miqdarda istilik soyuducuya verilmişdir. Beləliklə, mexaniki enerjiyə çevrilmək üçün  $q_1$ - $q_2$  istiliyindən istifadə olunmuşdur. Onda termik f.i.ə.-ni aşağıdakı ifadədən tapmaq olar

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

$q_1$  və  $q_2$  istilik miqdarlarını təyin etmək. Karno tsiklinin ayrı-ayrı nöqtələrinin parametrlərini aşağıdakı kimi işarə etmək:

İzotermik prosesin istilik miqdarını təyin etmək

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1};$$

$$q_2 = -RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3} = RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}.$$

Burada mənfi (-) işarəsi, alçaq temperaturlu mənbəyə verilən istiliyin mütləq qiymətini təyin etmək üçün götürülmüşdür. Əvəz etmə və ixtisardan sonra aşağıdakını alırıq

$$\eta_t = \frac{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}.$$

$B$  və  $C$  nöqtəsi üçün

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_2}{V_3} \right)^{k-1}. \quad (4.2)$$

$A$  və  $D$  nöqtəsi üçün

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_4} \right)^{k-1}. \quad (4.3)$$

(4.2) və (4.3) tənliklərini bir-biri ilə müqayisə etdikdə, alırıq

$$\frac{V_2}{V_3} = \frac{V_1}{V_4}$$

və yaxud

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4},$$



onda

$$\ln \frac{V_2}{V_1} = \ln \frac{V_3}{V_4}$$

olduğundan yazı bilərik

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (4.4)$$

Bu ifadədən görünür ki,  $T_1$  nə qədər çox və  $T_2$  nə qədər az olarsa,  $\eta_t$  də bir o qədər böyük olur.

Daxili yanma mühərriklərində yüksək temperaturlu mənbələrin temperaturu  $2000^\circ\text{C}$ , alçaq temperaturlu mənbələrin temperaturu isə  $300^\circ\text{C}$  olur. Onda:

$$\eta_t = \frac{2000 - 300}{2000 - 273} = 0,746.$$

Buxar mühərrikləri üçün isə

$$\eta_t = \frac{550 - 25}{550 - 273} = 0,6386.$$

Göründüyü kimi, buxar maşınlarında yüksək temperaturlu mənbəyin temperaturu daxili yanacaq mühərriklərinə nisbətən aşağı olduğu üçün, buxar maşınlarının termik f.i.ə. da az olacaqdır.

(4.4) ifadəsinə əsasən aşağıdakı nəticələri demək olar:

1. Düz Karno tsiklinin termik f.i.ə. ancaq qızdırıcı və soyuducu mənbələrinin temperaturundan asılıdır.

2. Karno maşınının termik f.i.ə. qızdırıcı mənbəyin temperaturu artdıqca və soyuducu mənbəyin temperaturu azalması ilə artır.

3. Karno maşınının termik f.i.ə. həmişə vahiddən kiçik olur (vahidə bərabər ola bilməz). Çünki bu halda  $T_1 = \infty$  və yaxud  $T_2 = 0$  olmalıdır. Məlum olduğu kimi, təbiətdə belə temperaturları yaratmaq mümkün deyil.

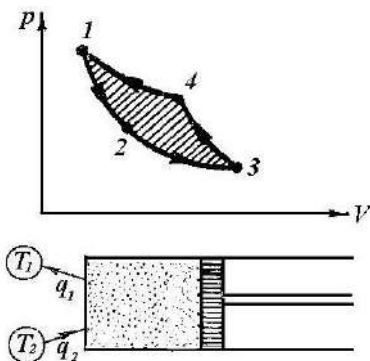
Buradan belə çıxır ki, mənbədən alınan istiliyi tamamilə işə çevirmək mümkün deyildir və istiliyin bir hissəsi mütləq soyuducuya verilməlidir.

Karno maşını əsasında verilən nəticələr, termodinamikanın

ikinci qanununun əsaslarını təşkil edir.

### 4.3. Əks Karno tsikli

Əks Karno tsiklini əmələ gətirən elə prosesləri nəzərdən keçirək ki, burada tsiklin dövrü saat əqrəbi hərəkətinin əks istiqamətində getmiş olsun. Buna görə belə tsikl 1-2 adiabatik və 2-3 izotermik genişlənmə, 3-4 adiabatik və 4-1 izotermik sıxılma proseslərindən ibarət olmalıdır. Bu tsikl Karnonun əks tsikli, bu tsikllərlə işləyən mühərriklər isə əks Karno maşını adlanır. Burada, müəyyən bir iş sərf olunmaqla temperaturu az olan istilik mənbəyindən alınan istilik temperaturu nisbətən yüksək olan istilik mənbəyinə verilir. Əks Karno tsikli şəkil 4.3-də verilmişdir.



Şək. 4.3. Əks Karno tsikli

Alçaq temperaturlu mənbədən alınan istiliyin tsiklin yaranması üçün sərf olunan işə olan nisbəti soyutma əmsalı adlanır və  $\varepsilon$  ilə işarə olunur:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{q_2}{l};$$

$$q_1 = -RT_1 \ln \frac{V_1}{V_4} = RT_1 \ln \frac{V_4}{V_1};$$

$$q_1 = RT_2 \ln \frac{V_3}{V_2}.$$

Burada  $q_1$  ilə  $q_2$ -nin qiymətlərini əvəz edib, ixtisar apardıqdan sonra

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\frac{T_1}{T_2} - 1}.$$

Buradan belə görünür ki, soyuducunun temperaturunun  $T_2$  artması və istilik mənbəyinin temperaturunun  $T_1$  azalması nəticəsində soyutma əmsalı artır.

#### 4.4. Termodinamikanın ikinci qanunu

Termodinamikanın birinci qanunu istilik enerjisi ilə mexaniki enerji arasındakı ekvivalentliyi, enerjinin saxlanması qanununun istilik hadisələrinə tətbiqini müəyyən etdiyi halda, proseslərin yaranması haqqında lazım olan bəzi vacib şərtləri nəzərə almır. Birinci qanun istilik proseslərinin yaradılmasının mümkünlüyü şərti, prosesin gediş hüdudu və onun mümkün istiqamətlərdə inkişafı, habelə başqa məsələlər haqqında məlumat vermədiyindən, demək olar ki, məhduddur.

Termodinamikanın birinci qanununa görə bəzi hallarda istilik tamamilə işə çevrilə bilər. İstiliyin işə çevrilməsi müəyyən şərtlərə əsaslanır. Odur ki, bütün istiliyi işə çevirmək mümkün olmur və yaxud isti cismdən soyuq cismə istilik öz-özünə keçir. Əks proses isə, yəni soyuq cismdən istilik öz-özünə keçə bilməz. Bu əks prosesin yerinə yetirilməsi üçün müəyyən şərtlər lazımdır.

Belə məsələlərə termodinamikanın birinci qanunu cavab vermir.

İstilik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevrilməsi şərtini aydınlaşdırmaq üçün istilik qurğusunda gedən prosesə baxaq. Burada aşağıdakı hadisə baş verir.

Yanacaqın yandırılması nəticəsində işçi cism  $q_1$  qədər istilik alır, bu istiliyin ancaq bir hissəsi  $q_0$  mühərrikdə mexaniki işə çevrilir. Digər hissəsindən  $q_2$  isə istifadə olunmayıb soyuducu mənbəyə verilir.

Buradan görüldüyü kimi, istilik enerjisinin mexaniki enerji-

yə çevrilməsi üçün isti və soyuq mənbə olmalıdır və  $q_1$  istiliyinin hamısı deyil, yalnız bir hissəsi, yəni:  $q_1 - q_2 = q_0$  - mexaniki enerjiyə çevrilir.

Plankın tərifinə görə demək olar ki, təkcə istilik mənbəyini soyutmaqla dövrü olaraq iş görən mühərrik qurmaq mümkün deyildir.

Bu da ikinci soyuducu mənbəyin zəruri olmasını bir daha təsdiq edir.

Əgər dövrü işləyən istilik maşını vasitəsilə saniyədə  $1 \text{ m}^3$  dəniz suyunun temperaturunu  $1^\circ\text{C}$  azaltmaqla alınan istiliyi tamamilə mexaniki enerjiyə çevirmək mümkün olsaydı, o zaman burada alınan iş  $\frac{1 \cdot 1000 \cdot 427}{102} = 4200 \text{ kVt}$  olardı.

Belə mühərrikin işləmə prinsipi termodinamikanın birinci qanununa uyğun olardı, yəni prinsipdə dəniz suyunun enerjisindən istifadə edilməsi mümkün olardı. Belə istilik mühərriklərinin qurulma təcrübəsi göstərir ki, burada çətinlik- mühərrikin konstruksiyasından və işçi cismin tərkibindən asılı olmayıb, yenə də soyuducu mənbəyin olmamasından asılıdır.

Həqiqətən dəniz suyunun enerjisindən istifadə etmək üçün ondan soyuq mənbə yaratmaq mümkün olsaydı, o zaman dəniz suyunun istiliyi ilə işləyən mühərrik yaratmaq mümkün olardı. Burada ikinci mənbəyin olması əlavə bir şərtədir ki, bu da istilik mühərriklərinin düzəldilməsinə imkan yaradır.

Termodinamikanın ikinci qanununa görə təbiətdə istiliyin alınması və ekvivalent yükün qalxması ilə kifayətlənən proses yaratmaq mümkün deyildir. Termodinamikanın ikinci qanunu, birinci qanunun məsələləri, yəni istiliyin mexaniki enerjiyə çevrilməsi məsələləri ilə yanaşı olaraq bu prosesin əmələ gəlməsi üçün lazım olan imkanlardan da bəhs edir.

Fərz edək ki, istilik enerjisi olan qazla dolu qab vardır. Əgər burada xaricdən təsir olmadan qaz istiliyini verərək qab hərəkət edə bilsəydi, bu heç də termodinamikanın birinci qanununa zidd olmazdı. Lakin təbiətdə belə bir hadisənin yaranması mümkün deyildir.

Qazı qabda yox, porşenli silindrdə yerləşdirsək, bu zaman

qazın genişlənməsi sayəsində porşen hərəkət edərək istilik sərf edib mexaniki iş görəcəkdir. Demək, burada istiliyin mexaniki enerjiyə çevrilməsinə görə qaz həcmnin artması təmin olunmalıdır ki, bu da həmin hadisənin yaranması üçün əlavə bir şərtidir.

Təbiətdə belə hadisələrə çoxlu misallar göstərmək olar. Bunlara əsasən V.Tomsonun termodinamikanın ikinci qanununa verdiyi tərif meydana çıxır: təbiətdə elə bir proses yaratmaq mümkün deyildir ki, onun yeganə nəticəsi ancaq istilik rezervuarlarının soyudulması və buna ekvivalent olan yükün qaldırılmasından ibarət olsun.

Təbiətdə elə proseslərə rast gəlmək olur ki, orada proses özbaşına gedir. Məsələn, isti cisimdən istiliyin soyuq cismə verilməsi, sürtünmə zamanı istiliyin alınması, yəni mexaniki enerjinin istiliyə çevrilməsi və başqa buna oxşar proseslərin yaranması üçün əlavə bir şərt lazım deyildir. Əksinə olaraq, istiliyin soyuq cisimdən isti mənbəyə verilməsi və istilik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevrilməsi öz-özünə axan proseslər olmayıb, bunların yaranması üçün mütləq əlavə şərtlər olmalıdır.

Məlum olduğu kimi, istiliyin soyuq cismlərdən isti mənbəyə vermək üçün xaricdən mexaniki iş sərf olunmalıdır ki, buna da misal olaraq soyuducu maşınları göstərmək olar. Deməli, əks dairəvi əməliyyatda xaricdən görülən iş hesabına proses gedir.

İstilik öz-özünə alçaq temperaturlu mənbədən yüksək temperaturlu mənbəyə keçə bilməz. Bu tərif Klauzius tərəfindən verilmişdir.

Beləliklə, demək olar ki, termodinamikanın ikinci qanunu, istilik mühərriklərinin ortaya çıxması üçün əsas şərtidir.

## 4.5. Entropiya

Termodinamikanın ikinci qanununun məzmunu entropiya anlayışı ilə əlaqədardır. Termodinamikanın birinci qanununun əhatə etmədiyi və ikinci qanunda nəzərdən keçirilən bir sıra mühüm məsələlər (məsələn, prosesin istiqaməti, sistemin tarazlıq halına yaxın və ya ondan uzaq olması, enerjinin keyfiyyəti və s.) entropiya anlayışının termodinamikaya daxil edilməsi ilə ətraflı izah olunur. Bu anlayış termodinamikaya R.Klauzius tərəfindən daxil

edilmişdir. Entropiya məfhumu yunanca “çevrilmə” mənasını verən “trope” sözü ilə “enerji” sözünün birinci hecasının birləşməsindən əmələ gəlmişdir.

Düz dairəvi Karno tsiklinin termik f.i.ə. yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

və ya

$$\frac{q_1}{T_1} = \frac{q_2}{T_2}$$

burada  $q_1$  ilə  $q_2$ - istiliyin mütləq miqdarıdır;

$q_1$ - qızdırıcının istiliyi;

$q_2$ - soyuducu mənbəyə ötürülən istilik.

$q_2$ -nin mütləq qiymətini ( $-q_2$ ) götürsək, ifadəni aşağıdakı şəkildə yazmaq olar

$$\frac{q_1}{T_1} + \frac{q_2}{T_2} = 0.$$

Beləliklə, ümumi halda tənlik aşağıdakı şəkildə yazıla bilər

$$\sum \frac{q}{T} = 0.$$

Bu ifadə Karno tsiklinin elementar prosesi üçün

$$\frac{dq_1}{T_1} + \frac{dq_2}{T_2} = 0$$

və dairəvi prosesin bütün elementləri üçün isə aşağıdakı şəkildə olar

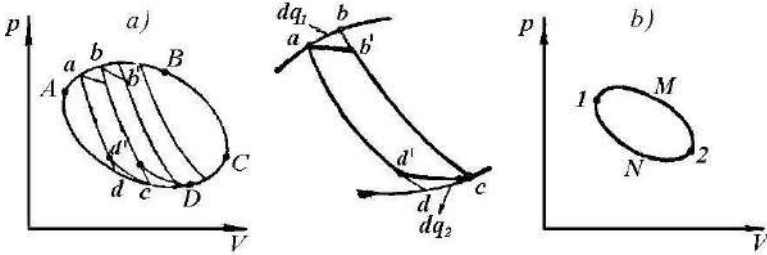
$$\sum \frac{dq}{T} = 0. \quad (4.5)$$

Fərz edək ki, şəkil 4.4.a-da göstərilmiş  $ABCD$  tsikli hər hansı dönmə dairəvi bir prosesi təsvir edir.

Həmin tsikli elementar Karno tsikllərinə bölək. Burada  $abb'$  və  $dd'c$  üçbucaqlarının sahəsi həddən artıq kiçik olduğundan nəzərə almaya bilərik və onda alınmış  $abcd$  elementar tsiklinin  $ab'cd'$  elementar Karno tsikli ilə əvəz edə bilərik. O zaman hər

hansı elementar tsikl üçün (4.5) tənliyi düzgün ola bilər.  $ABCD$  tam tsikli üçün isə aşağıdakı kimi yazıla bilər

$$\int \frac{dq}{T} = 0 \quad (4.6)$$



**Şək.4.4. Dönən dairəvi proses**

Fərz edək ki, şəkil 4.4.b-də göstərildiyi kimi, cism 1 halından 2 halına  $M$  yolu ilə getmiş və 2 halından 1 halına qayıdaraq dönən dairəvi proses icra etmişdir. Bu halda (4.6) düsturuna əsasən yazıla bilər

$$(M) \int_1^2 \frac{dq}{T} = (N) \int_1^2 \frac{dq}{T}.$$

Buradan

$$(M) \int_1^2 \frac{dq}{T} = (N) \int_1^2 \frac{dq}{T} = S_2 - S_1 \quad (4.7)$$

Deməli,  $S_2 - S_1$  fərqi ilə ifadə olunan  $\int_1^2 \frac{dq}{T}$  ifadəsinin qiyməti

prosesin hansı yol ilə 1 halından 2 halına keçməsindən, başqa sözlə prosesin xarakterindən asılı deyil və sistemin ancaq başlanğıc və son hallarından asılıdır.

Deməli, entropiya hal funksiyası olub, prosesin getdiyi yoldan asılı deyil və bu xassəsinə görə daxili enerji funksiyasına oxşardır.

(4.7) ifadəsindən görüldüyü kimi  $dq = TdS$  istilik miqdarı

iki vuruğun:  $T$  və  $dS$  hasilı ilə təyin edilir.  $T$  vuruğuna fəal vuruq deyilir. Çünki  $\eta_i = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$  düsturundan görüldüyü kimi,  $T_1$ -in artması ilə f.i.ə. artır.  $dS$  artdıqda isə  $dq$ -nün sabit qalması üçün  $T$  azalmalıdır. Deməli,  $dS$ -in artması f.i.ə.-nin azalması ilə nəticələnir.

Buradan belə nəticə çıxır ki, entropiya enerjinin "səpələnməsi" nəticəsində istiliyin faydalı işə çevrilmə əmsalının azalmasını xarakterizə edən bir kəmiyyətdir. (4.7) düsturundan görünür ki, entropiyanın ölçü vahidi  $\frac{kCoul}{kq \cdot d\Delta r}$  -dir. 1 kq qazın entropiyasına

xüsusi entropiya deyilir və ölçü vahidi  $\frac{kCoul}{kq \cdot d\Delta r}$  -dir.

$\oint$  işarəsi inteqralın bütün  $ABCD$ A tsikli üçün götürüldüyünü göstərir. Bu tənlik qapalı dönmən proses üçün termodinamikanın ikinci qanununun riyazi ifadəsidir. Dönməyən dairəvi proseslər üçün isə  $\oint \frac{dq}{T} < 0$  olur. Çünki proses dönməyən olduqda faydasız sərf olunan, başqa sözlə soyuducuya verilən, istilik artır və mənfi hədlərin cəmi, müsbət hədlərin cəmindən daha çox olur, ona görə də burada  $\frac{dq}{T}$  -nin nisbətini  $dS$ -ə bərabər qəbul etsək alarıq:

$$dS = \frac{dq}{T}. \quad (4.8)$$

Bu düstur, dönmən elementar proseslər üçün termodinamikanın ikinci qanununun riyazi ifadəsidir. Bunu inteqrallasaq alarıq

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dq}{T} \quad (4.9)$$

Bu da dönmən proseslər üçün termodinamikanın ikinci qanununun riyazi ifadəsidir.

Burada  $S$ -entropiya adlanır. Şərti qəbul olunmuşdur ki, entropiya qazların normal şərait halından başlayaraq hesablınsın.



#### 4.6. İdeal qazların entropiyalarının hesablanması

Entropiyanın diferensial tənliyində  $dq$ -nün qiymətini termodinamikanın birinci qanununa əsasən əvəz edərək alırıq:

$$dS = \frac{dq}{T} = \frac{c_v dT + p dV}{T}.$$

Hal tənliyindən bilirik:

$$pV = RT,$$

buradan:

$$\frac{p}{T} = \frac{R}{V}.$$

Birinci tənlikdə əvəz etsək alırıq:

$$dS = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V}.$$

$c_v = \text{const}$  qəbul etsək, həmin tənlikdən alırıq

$$S_2 - S_1 = c_v \int_1^2 \frac{dT}{T} + R \int_1^2 \frac{dV}{V}$$

$$S_2 - S_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Əgər entropiyanın qiymətinin təyin olunmasını, qazın normal halından, yəni  $V_1 = V_n$ ,  $T_1 = 273^\circ\text{K}$  və  $S_1 = 0$  qəbul etsək, onda qazın mütləq sıfır temperaturda entropiyasının qiyməti aşağıdakı düsturla təyin olunur

$$S = c_v \ln \frac{T}{273} + R \ln \frac{V}{V_n}.$$

Bu tənlik entropiya dəyişməsinin  $T$  və  $V$ -dən asılılıq tənliyidir. İndi hal tənliyindən istifadə edərək entropiyanın  $T$  və  $p$ -dən asılılığını təyin edək. Bunun üçün həmin tənlikdə  $V$ -ni  $\frac{RT}{p}$  ilə əvəz edək. O halda

$$S_2 - S_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{p_1}{RT_1} \cdot \frac{RT_2}{p_2},$$

buradan

$$S_2 - S_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1};$$

$$S_2 - S_1 = (c_v + R) \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1};$$

$$S_2 - S_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}. \quad (4.10)$$

Həmin üsulla  $T = \frac{pV}{R}$  ilə əvəz etsək

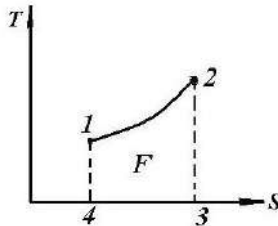
$$S_2 - S_1 = c_p \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (4.11)$$

Şəkil 4.5-də verilmiş  $TS$  diaqramında absis oxu üzərində entropiya, ordinat oxu üzərində isə mütləq temperatur göstərilmişdir. Tutaq ki, qaz 1-2 əyrisi üzrə 1 halından 2 halına keçir. Bunun tənliyi aşağıdakı kimidir

$$T = f(S).$$

Bilirik ki,  $dq = Tds$ , buradan

$$q = \int_1^2 T \cdot dS. \quad (4.12)$$



**Şək.4.5. İstilik diaqramı**

Digər tərəfdən 1-2-3-4-1 sahəsi ədədi qiymətə  $F$ -ə bərabərdir.

$$F = \int_1^2 T \cdot dS. \quad (4.13)$$

Bu son iki tənliyi müqayisə etsək

$$q = F.$$

Yəni  $TS$  diaqramında prosesin əyrisi ilə xarici ordinatlar arasında qalan sahə müəyyən miqyasda prosesə verilən və ya ondan alınan istiliyi ifadə edir.

Buna görə  $TS$  diaqramı istilik diaqramı adlanır.

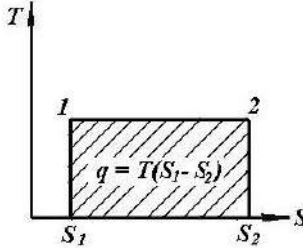
#### 4.7. İstilik diaqramı

Bizə məlum olan termodinamik prosesləri  $TS$  koordinat sistemində göstərək.

**a) İzotermik proses.** Qazın 1 halından 2 halına  $T=\text{const}$  prosesi ilə keçməsi  $TS$  diaqramında absis oxuna paralel 1-2 düz xətti ilə göstərilmişdir. Bu prosesdəki istilik 1-2- $S_2$ - $S_1$ -1 düzbucağın sahəsidir ki, bu da aşağıdakı düstur ilə hesablanabilir (şəx.4.6).

$$q = \int_1^2 T ds = T(S_2 - S_1).$$

İzotermik prosesdə  $T_1=T_2$  olduğundan, entropiya aşağıdakı düstur ilə təyin oluna bilər

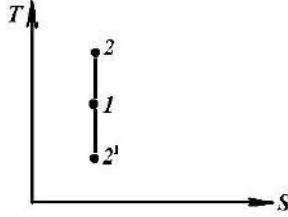


Şəx.4.6. İzotermik proses üçün istilik diaqramı

$$S_2 - S_1 = R \ln \frac{V_2}{V_1} = R \ln \frac{p_1}{p_2}. \quad (4.14)$$

**b) Adiyabatik proses.**  $dq = TdS$  düsturunda adiyabatik proses üçün  $dq=0$  olduğundan,  $TdS=0$  olur. burada  $T \neq 0$  olduğundan

$dS=0$  və yaxud  $S=\text{const}$ . Dönən adiabatik prosesdə entropiya dəyişmir.  $TS$  diaqramında bu proses ordinat oxuna paralel 1-2 və yaxud 2-2' düz xətti ilə göstərilmişdir (şək.4.7). Deməli, dönən adiabatik prosesdə sistemin entropiyası sabit qalır. Ona görə də bu prosesə bəzən izoentropik proses adlanır.



Şək.4.7. Adiabatik proses üçün istilik diaqramı

**b) İzobar və izoxor prosesləri.** İzobar prosesi üçün

$$\ln \frac{p_1}{p_2} = 0 \text{ olduğundan}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

və  $c_v = \text{const}$  hesab olunarsa

$$S_2 - S_1 = c_p \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (4.15)$$

və ya

$$S_2 - S_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

İzoxor prosesi üçün  $\ln \frac{v_2}{v_1} = 0$  olduğundan  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$  və

$c_v = \text{const}$  qəbul olunarsa,

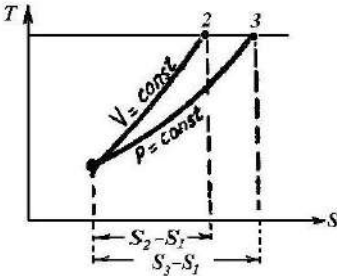
$$S_2 - S_1 = c_v \ln \frac{p_2}{p_1}$$

və ya

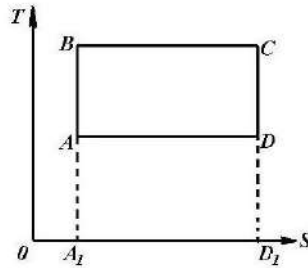
$$S_2 - S_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (4.16)$$

$c_p > c_v$  olduğuna görə həmişə sabit təzyiqdə qaz halının entropiya dəyişikliyi sabit həcmdəki entropiya dəyişikliyinədən böyük olur (şək.4.8). Əgər  $TS$  diaqramında bir nöqtədən izoxor və izobar əyriləri çıxarsa, onda istilik verilmədən izoxor əyrisi izobar əyrisindən yuxarıda gedəcəkdir.  $TS$  diaqramında izotermik və adiabatik proseslər düz xətdən, izoxor və izobar prosesləri isə loqarifmik əyridən ibarət olur.

Dönən dairəvi Karno prosesini  $TS$  diaqramında göstərsək şəkil 4.9.-dəki kimi olar. Burada  $AB$  və  $CD$  prosesləri dönən adiabatik prosesləri,  $BC$  və  $AD$  isə izotermik prosesləri göstərir.  $ABCD$  düzbucaqlısının sahəsi isə ədədi qiymətcə faydalı iş çevrilən istilik miqdarını göstərir. Proses saat əqrəbi istiqamətində getdikdə  $q > 0$  olur, yəni bu diaqram istilik maşınlarını xarakterizə edir. Proses saat əqrəbinin əksinə getdikdə isə  $q < 0$  olur. Çünki bu halda sahə  $ADD_1A_1 < \text{sahə } A_1BCD_1$ , və bunların fərqi mənfi olur, yəni  $q < 0$  olur. Deməli, bu halda  $DCBAD$  dairəvi proses soyuducu maşınlarını xarakterizə edir.



**Şək.4.8.**  $TS$  diaqramında izoxor və izobar əyriləri



**Şək.4.9.** Dönən dairəvi Karno prosesi

#### 4.8. Regenerativ tsikl

Yuxarıda göstərdik ki, qızdırıcının və soyuducunun temperaturları sabit qaldıqda, istilik enerjisinin işə çevrilməsinin ən

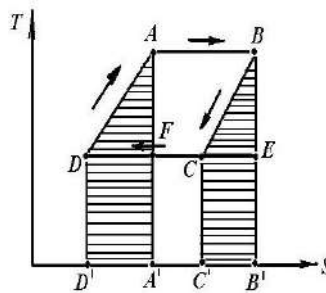
səmərəli halı döənən dairəvi proses olan Karno tsiklində əmələ gəlir və bu tsiklin termik f.i.ə. aşağıdakı düstur ilə təyin edilir

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Həmin f.i.ə.-ni şəkil 4.10-da göstərilən dairəvi  $ABCD$  tsikli ilə də əldə etmək olar. Bu tsikl iki  $AB$  və  $CD$  izotermələrindən və entropiya oxuna görə meylləri eyni olan iki  $AD$  və  $BC$  düz xətlərindən ibarətdir. Bu prosesi icra edən qurğuda regeneratordan istifadə olunur. Regeneratorun vəzifəsi  $BC$  prosesi zamanı cismin verdiyi istiliyi udmaq,  $DA$  prosesi zamanı isə qaytarmaqdır (döənən prosesin şərtləri ödənilməklə).

$BC$  və  $DA$  xətlərinin üfiqi istiqamətdə meylləri eyni və uzunluqları bərabər olduğundan şəkildə ştrixlənmiş sahələr də bərabər olar. Yəni

$$sah.BCC'B'B = sah.DAA'D'D.$$



**Şək.4.10. Regenerativ tsikl**

Bu istilik miqdarları qiymətə eyni olsalar da prosesin şəkildə göstərilən istiqamətinə əsasən onların işarələrinin müxtəlif olduğunu görürük.

Qurğunun işləmə prinsipi aşağıdakı kimidir.  $AB$  yolunda cism mənbədən  $q_1$  istiliyini alır və  $BC$  yolunda regeneratorda  $q_{BC}$  istiliyini verir.

Şəkildən görüldüyü kimi

$$q_1 = sah. ABB'A'A;$$

$q_{BC} = \text{sah. } CBB'C'C$  ;  $q_1$  istiliyinin bir hissəsi isə ( $q_2$ ) soyuducuya verilir.

$$q_2 = \text{sah. } DCC'D'D .$$

Beləliklə, tsikl nəticəsində regeneratordan  $DAA'D'D$  sahəsi ilə ölçülən  $q_{DA}$  istiliyini alır, yəni  $BC$  yolunda regeneratora verilən istilik  $DA$  yolunda tamamilə ondan alınır. Həmin tsikldə də, Karno tsiklində olduğu kimi,  $ABEFA$  sahəsi ilə ölçülən  $q_1$  qədər istilik miqdarından istifadə olunur.

Şəkildən görüldüyü kimi,  $DC=AB=EF$  və deməli sahə  $DCC'D'D = \text{sahə } FBB'A'F$ . Yəni, həmin tsikldə və Karno tsiklində soyuducuya verilən  $q_2$  istiliyi də eynidir. Hər iki tsikl üçün  $q_1$  və  $q_2$  bərabər olduğundan

$$\eta_t = \eta_{tk} = 1 - \frac{T_2}{T_1} .$$

Burada  $\eta_t$  regenerativ tsiklin,  $\eta_{tk}$  isə Karno tsiklinin termik f.i.ə.-dir. Regenerativ tsikl ilk dəfə 1827-ci ildə meydana gəlmişdir. Hazırda regenerasiya prinsipi müasir istilik mühərriklərində və metal əridən peçlərdə müvəffəqiyyətlə tətbiq olunur.

### ***Yoxlama sualları***

1. Tsikl nəyə deyilir? 2. Düz tsikl nəyə deyilir? 3. İstilik maşınlarında proses hansı istiqamətdə gedir? 4. Soyuducu maşınlarında proses hansı istiqamətdə gedir? 5. Karno tsiklinin gedişi necədir? 6. Qaralı proses nədir? 7. Termik f.i.ə. nəyə deyilir? 8. Əks Karno tsikli ilə işləyən maşınlar necə adlanır? 9. Termodinamikanın ikinci qanunu nədən bəhs edir? 10. V.Tomsonun termodinamikanın ikinci qanununa verdiyi tərif necədir? 11. Klauzius tərəfindən verilmiş tərifdə istiliyin aşağı temperaturu mənəbdən yüksək temperaturu mənəbə keçməsi nə deyilir? 12. İstilik mühərriklərinin ortaya çıxması üçün hansı qanun əsas şərtidir. 13. Entropiya anlayışını termodinamikaya kim daxil edib? 14. Entropiya nə deməkdir? 15. Xüsusi entropiya nəyə deyilir? 16.  $TS$  diaqramı necə adlanır? 17.  $TS$  diaqramında izotermik, adiabatik, izoxor və izobar prosesləri hansı xətt və əyridən ibarət olurlar? 18. İzotermik prosesdə entropiya necə təyin olunur? 19. İzotermik proses hansıdır? 20. Regenerativ tsikl necədir? 21. Regenerativ tsikl nə vaxt meydana gəlib?

## V FƏSİL

### İSTİLİK MÜHƏRRİKLƏRİNİN TSİKLLƏRİ

İstilik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən mühərriklərə istilik mühərrikləri deyilir. Bunlar yanacaqın istilik enerjisinin işçi cismə harada verilməsi ilə fərqlənir.

Bəzi istilik mühərriklərində yanacaq öz istilik enerjisini mühərrikdən xaricdə işçi cismə verir, işçi cisimdə olan istilik enerjisi mühərrikin daxilində mexaniki enerjiyə çevrilir. Məsələn, buxar qazanında, yanacaqın yanması nəticəsində işçi cisim, yəni su buxarlanır. Sonra həmin su buxarı mühərrikə göndərilir və orada işçi cisimdə olan istilik enerjisi mexaniki enerjiyə çevrilir. Belə sistemlə işləyən maşınlar buxar maşınları və buxar turbinləridir. Bəzi istilik mühərriklərində isə yanacaq öz istiliyini mühərrikin içərisində işçi cismə verir və orada da istilik enerjisi mexaniki enerjiyə çevrilir. Belə mühərriklərə daxili yanma mühərrikləri deyilir.

Daxili yanma mühərrikləri dedikdə, ümumiyyətlə, porşenli mühərriklər başa düşülür. Porşenli daxili yanma mühərriklərindən başqa, rotorlu mühərriklər də vardır ki, burada da yanacaq birbaşa mühərrikə verilir. Belə maşınlara qaz turbinləri deyilir.

İstiliyin hansı şəraitdə verilməsindən və mühərrikin konstruksiyasından asılı olaraq hər bir mühərrikin özünə məxsus tsikli vardır.

Bu tsiklləri ayrı-ayrılıqda izah edək.

#### **5.1. Daxili yanma mühərriklərinin tsiklləri**

Əvvəldə Karno tsiklindən bəhs edilmişdi. Səmərəliliyinə baxmayaraq bu tsiklin yaradılmasında bir çox çətinliklər olduğundan, təcrübədə onun yaradılması mümkün deyildir. Çünki burada sabit temperaturda istiliyin verilmə və alınma proseslərinin yaradılması və habelə ideal qazların istifadə edilməsi mümkün deyildi. Ona görə Karno tsiklindən ancaq nəzəri çıxarışlar üçün istifadə edilir. Həqiqi mühərriklər Karno tsiklindən fərqli olan tsikllərlə işləyir.

Burada biz tsikllərin ancaq termodinamik göstəricilərini nəzərdən keçirəcəyik və ideal tsikllərə baxacağıq.



Daxili yanma mühərrikləri yanacaqın verilməsindən, yəni yanma prosesindən asılı olaraq üç qrupa bölünür:

1. Yanma prosesi sabit həcmdə, yəni izoxor prosesi ilə gedərsə, bu tsiklə yanma prosesi sabit həcmdə olan tsikl deyilir.

2. Yanma prosesi sabit təzyiqdə, yəni izobar prosesi ilə gedərsə, bu tsikl yanma prosesi sabit təzyiqdə olan tsikl adlanır.

3. Yanma prosesi əvvəl sabit həcmdə, sonra isə sabit təzyiqdə gedərsə, belə tsikllərə qarışıq və ya kombinə edilmiş tsikl deyilir.

Mühərrikin silindrinin içərisində porşenin hərəkət yolundan asılı olaraq təzyiqin dəyişməsi diaqramı indikator diaqramı adlanır.

## **5.2. Yanma prosesi sabit həcmdə aparılan daxili yanma mühərriklərinin (dym) tsiklləri**

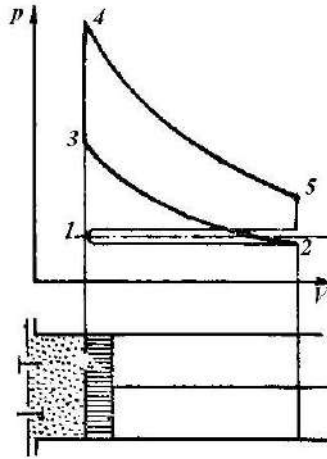
Şəkildə sabit həcmdə yanma tsikli üçün  $pV$  sistemində ideal mühərrikin indikator diaqramı verilmişdir (şək.5.1). Tsiklin altında mühərrikin silindri, porşeni, sorma və xaricətmə klapanlarının sxemi göstərilmişdir.

Belə mühərriklərin iş prinsipi aşağıdakı kimidir.

Porşen sol çıxış vəziyyətindən, sağ çıxış vəziyyətinə hərəkət etdikdə, silindrin içərisində təzyiq azalır və bunun nəticəsində xaricdən yanacaq ilə hava qarışığı (işçi qarışıq) silindrin içərisinə sorulur. Bu, sorma prosesi adlanır. Sorma prosesi diaqramda 1-2 xətti ilə göstərilmişdir. Sorma klapanında və boruda sürünmə itkiləri olduğundan sorma prosesi atmosfer təzyiqindən bir qədər aşağıda gedir. 2 nöqtəsində sorma klapanı bağlanır və işçi cismin sorulması kəsilir. Porşenin sonrakı hərəkətində sıxılma prosesi başlanır. Şəkildə sıxılma prosesi 2-3 əyrisi ilə göstərilmişdir. Porşen sol vəziyyətinə çatmamış 3 nöqtəsində işçi cism xaricdən alovlandırılır və bir anda yanma prosesi 3-4 xətti ilə gedir.

Yanmada yanma məhsulunun temperaturu və təzyiqi yüksəlir. Sonra yanma məhsulu genişlənməyə başlayır. Genişlənmə prosesi 4-5 xətti ilə gedir. Porşen sağ vəziyyətə çatmamış 5 nöqtəsində xaricətmə klapanı açılır və silindrə təzyiq atmosfer təzyiqinə qədər birdən düşür. Porşenin sonrakı, sağdan sola hərəkəti

tində yanma məhsulu silindrin içərisindən itələnilib çıxarılır. Bu, xaricətmə prosesi adlanır. Xaricətmə prosesi atmosfer, xəttindən bir qədər yuxarıda 5-1 xətti ilə gedir. Bu qayda ilə proses yenidən təkrar olunur.

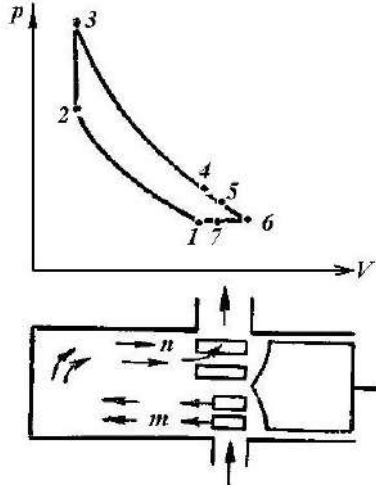


**Şək.5.1.  $pV$  sistemində ideal mühərrikin indikator diaqramı**

Porşenin sol vəziyyəti yuxarı ölü nöqtə (y.ö.n.), sağ vəziyyəti isə aşağı ölü nöqtə (a.ö.n.) adlanır.

Göründüyü kimi, burada bir tsiklin əmələ gəlməsi üçün porşen dörd dəfə soldan sağa və əksinə hərəkət edir. Yəni, yuxarı və aşağı ölü nöqtəsi arasında dörd dəfə hərəkət edir. İki ölü nöqtə arasındakı bir hərəkət takt adlanır. Buna görə belə tsikllər dördtaktlı tsikllər adlanır. Həmin tsiklləri porşenin iki taktında da yaratmaq mümkündür. Belə mühərriklər ikitaktlı mühərriklər adlanır. Bunun üçün dördtaktlı mühərrikdəki xarici və daxili klapanlar xüsusi pəncərələrlə əvəz olunur. İkitaktlı sabit həcmli yanma prosesli tsiklin indikator diaqramı şəkil 5.2.-də verilmişdir. Porşen 1 nöqtəsindən yuxarı ölü nöqtəsinə doğru hərəkət etdikdə 1-2 sıxılma prosesi əmələ gəlir. Burada yanacaq qarışığı alovlandırılır və 2-3 yanma prosesi, sonra isə 3-4 genişlənmə prosesi gedir. 4 nöqtəsində xaricətmə pəncərələri ( $n$ ) açılır. Xaricətmə prosesi başlayır, 5 nöqtəsində isə daxilolma pəncərələrindən ( $m$ ) 1,2-1,3

atm təzyiqli yanacaq qarışığı silindrin içərisinə daxil olaraq orada qalmış yanma məhsulunu itələyib  $m$  pəncərələrindən xaric edir. 7 nöqtəsində həmin pəncərələr bağlanır və təzyiqin bir qədər azalması ilə 1 nöqtəsinə kimi xaricolma prosesi gedir. Sonra tsikl yenidən təkrarlanır. Beləliklə, 2 taktda bir tsikl alınır.



**Şək.5.2. İkitaklı sabit həcmli yanma prosesli tsiklin indikator diaqramı**

İstər dördtaktlı və istərsə də ikitaklı mühərriklərdə silindrin içərisində temperatur yüksək olduğundan, silindr xaricdən hava və ya su ilə soyudulur. Ona görə burada sıxılma və ya genişlənmə prosesləri adiabatik proses ilə deyil, istilikalınma və istilikvermə ilə, yəni daha ümumi olan politropik proses ilə gedir. Burada porşenin müəyyən sürəti, mexaniki və istilik itkiləri olduğuna görə proseslər dönməyəndir.

Tsikli termodinamik təhlil etmək üçün bu tsikl dönən qəbul olunur.

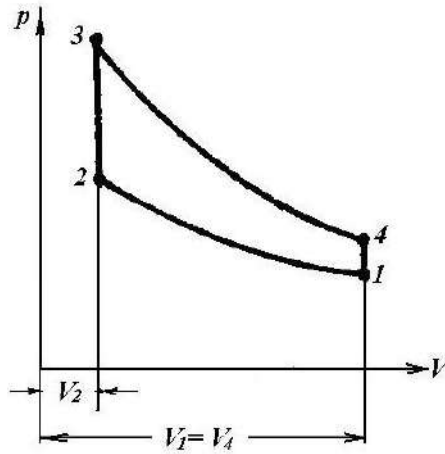
Buna görə fərz edək ki, burada istilik itkiləri yoxdur. Mühərrikə 2-3 prosesində yanacaq deyil, xaricdən müəyyən istilik verilir. Bu vaxt sorma və xaricətmə proseslərində hidravlik itkilər nəzərə alınmadığı üçün bunlar bir xətt üzərində olacaqdır. Odur ki,

bu proseslərdəki iş sərfini nəzərə almaya bilərik.

Belə tsikllə işləyən mühərriklərə ideal mühərriklər deyilir. bunların indikator diaqramı şəkil 5.3.-də verilmişdir.

Sabit həcmli yanma tsiklin termik faydalı iş əmsalı aşağıdakı üsul ilə çıxarılır. Bunun üçün 2-3 prosesində verilən və 4-1 prosesində alınan istiliyi təyin edək. 2-3 prosesində verilən istiliyi istilik tutumunun sabit olması şərti ilə aşağıdakı tənlikdən tapmaq olar:

$$q_1 = c_v(T_3 - T_2).$$



**Şək.5.3. İdeal mühərriklərin indikator diaqramı**

4-1 prosesində 1 kq işçi cisimdən alınan istilik aşağıdakı tənlikdən tapıla bilər:

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

Beləliklə, termik f.i.ə.

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{c_v(T_3 - T_2) - c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2)}$$

ixtisar etsək alarıq

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

Buradan da

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}. \quad (5.1)$$

Bu tənliyi başqa şəkildə də yazmaq olar: 3-4 və 1-2 adiabatik prosesləri üçün (şək.5.4) yazıla bilər:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left( \frac{V_4}{V_3} \right)^{k-1}; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1}.$$

İndikator diaqramından görüldüyü kimi,  $V_4=V_1$ ,  $V_3=V_2$ , onda  $\frac{T_3}{T_4} = \frac{T_2}{T_1}$  olur və yaxud tənliyin xassələrinə görə

$$\frac{T_3 - T_2}{T_4 - T_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

və bunu (5.1) tənliyində əvəz etsək, alırıq:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\frac{T_2}{T_1}}$$

və yaxud

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

olduğundan

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1}}.$$

$\frac{V_1}{V_2}$  nisbəti  $\varepsilon$  ilə işarə olunub, sıxılma dərəcəsi adlanır. Başqa

sözlə,  $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$  olduğundan

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}.$$

Bu tənlikdən görüldüyü kimi, sıxılma dərəcəsi  $\varepsilon$  artdıqca,

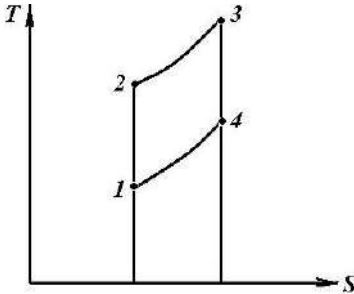
sabit həcmlı yanma tsiklinin termik faydalı iş əmsalı da artır. Sıxılma dərəcəsinin artması əsasən yanacağın tərkibindən, daha doğrusu alovlanma temperaturundan asılıdır. İşçi qarışıq o qədər sıxılmalıdır ki, o öz-özünə alovlanmasın. Əks təqdirdə mühərrik sına bilər.

Hazırkı sabit həcmdə yanma tsikllərində sıxılma dərəcəsi  $\varepsilon$ -nin qiyməti 4...7-yə qədər olur.

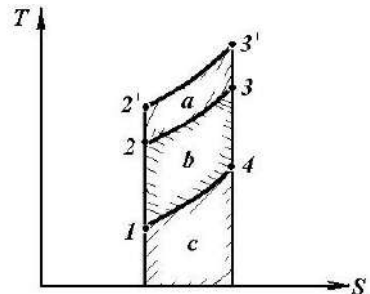
Sabit həcmli yanma tsikli  $TS$  diaqramında şəkil 5.4-dəki kimi ifadə oluna bilər.

Burada 1-2 prosesi  $pV$  diaqramındakı tsiklə uyğun olaraq adiabatik sıxılma prosesini ifadə edir. Yanma prosesi izoxorloqarifmik 2-3 əyrisi ilə ifadə olunur. Genişlənmə prosesi isə 3-4 adiabatik proseslə göstərilir. 4-1 isə xaricətmə prosesidir ki, bu da izoxor əyrisi üzrə gedir.

Sıxılma dərəcəsinin termik faydalı iş əmsalına təsirini aydınlaşdırmaq üçün fərz edək ki, adiabatik proses 2 nöqtəsinə qədər davam edir (şək.5.5).



**Şək.5.4.  $TS$  diaqramında sabit həcmli yanma tsikli**



**Şək.5.5.  $TS$  diaqramındakı tsikllərin sahəsi**

Bu halda  $T'_2 > T_2$  olduğundan, birinci tsiklə nisbətən ikinci tsiklin sıxılma dərəcəsi çox olacaqdır. Məlumdur ki,  $TS$  diaqramındakı tsikllərin sahəsi istiliyi ifadə edir. Bu sahələri  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ilə işarə etsək, görərik ki, burada  $a$  və  $b$  sahələri istifadə olunan istiliyi,  $c$  sahəsi isə xaricətmə prosesində (1-4 prosesində) xaricə verilən istiliyi ifadə edir. O zaman 1-2-3-4-1 tsiklinin termik faydalı iş əmsalını aşağıdakı ifadədən tapmaq olar

$$\eta_t = \frac{(b+c)-c}{b+c} = 1 - \frac{c}{b+c}.$$

1-2'-3'-4-1 tsiklinin termik f.i.ə. isə

$$\eta_t = \frac{(a+b+c)-c}{a+b+c} = 1 - \frac{c}{a+b+c}$$

olacaqdır.

Bu tənliklərdə  $a+b+c > b+c$  olduğundan  $\eta_{t_2} > \eta_{t_1}$  olur, buradan deyə bilərik ki, sıxılma dərəcəsinin artması ilə mühərriklərin termik f.i.ə. da artır.

### **5.3. Yanma prosesi sabit təzyiqdə aparılan daxili yanma mühərriklərinin tsiklləri**

Bu tsikllə işləyən mühərriklərin xüsusiyyətləri ondadır ki, burada yanma prosesi sabit təzyiqli proses, yəni izobar prosesi ilə gedir (şək.5.6).

Bu mühərriklərin işləmə tsiklləri aşağıdakı kimi olur. Porşenin birinci hərəkətində 0-1 prosesi ilə silindrin içərisinə hava sorulur. İkinci hərəkətində isə 1-2 əyrisi ilə sıxılma prosesi gedir. Burada hava yanacağın öz-özünə alovlanma temperaturundan yüksək temperatura uyğun olan təzyiqə qədər sıxılır. Üçüncü hərəkətin əvvəlində 2-3 prosesində silindrə yanacaq daxil olmağa başlayır. Buradakı temperatur yanacağın öz-özünə alovlanma temperaturundan yüksək olduğu üçün yanacaq daxil olduqda alovlanır və yanma prosesi təxminən sabit təzyiqlə gedir. Yanma qurtardıqdan sonra 3-4 əyrisi ilə genişlənmə prosesi gedir. Bu prosesin sonunda xaricətmə klapanı açılır və təzyiq düşür. Sonra 4-0 prosesi ilə yanma məhsulu silindrdən itələnilib çıxarılır.

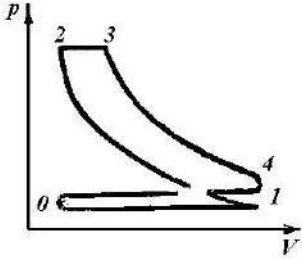
Burada, sabit həcmdə yanma tsiklində olduğu kimi, termodinamik tədqiqat üçün həqiqi tsikl ideal tsikllə əvəz olunur (şək. 5.7).

İdeal tsikldə 1-2 adiabatik sıxılma, 4-3 isə adiabatik genişlənmə prosesidir. Burada 4-1 ( $V=\text{const}$ ) prosesi ilə istilik alınır, 2-3 prosesi ilə isə xaricdən sabit təzyiqlə istilik verilir.

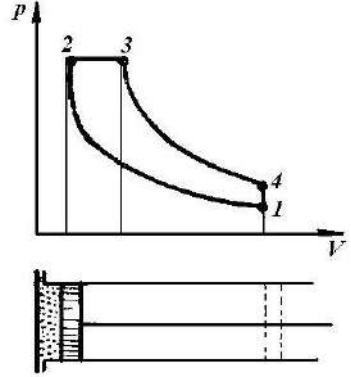
Bu tsiklin termik faydalı iş əmsalını tapmaq üçün tsiklə veri-

lən və ondan alınan istilik miqdarı hesablanmalıdır.

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



**Şək.5.6. Sabit təzyiqli proses yanma prosesi**



**Şək.5.7. İdeal tsikl**

İstilik  $p=\text{const}$  prosesində verildiyindən, şəkildən görüldüyü kimi

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

mühərrikdən alınan istilik isə

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

Beləliklə, termik f.i.ə. aşağıdakı ifadədən tapıla bilər

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

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

$k = \frac{c_p}{c_v}$  olduğundan aşağıdakını alırıq:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{k} \cdot \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}.$$



Tsikli xarakterizə edən  $\frac{V_1}{V_2} = \varepsilon$  sıxılma dərəcəsi və  $\frac{V_3}{V_2} = \rho$

qabaqcadan genişlənmə əmsəlidir.

Termik f.i.ə.-ni  $\rho$  və  $\varepsilon$  ilə ifadə etmək üçün kəsrin surətini  $T_1$ -ə, məxrəcini  $T_2$ -yə vurub, bölsək alarıq:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{k} \cdot \frac{\frac{T_4}{T_3} - 1}{\frac{T_3}{T_2} - 1} \cdot \frac{T_1}{T_2}. \quad (5.2)$$

4-1 izoxor prosesindən

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{p_4}{p_1}. \quad (5.3)$$

3-4 adiabatik genişlənmə və 2-1 adiabatik sıxılma proseslərindən isə alarıq

$$p_4 V_4^k = p_3 V_3^k;$$

$$p_1 V_1^k = p_2 V_2^k$$

Bunları bir-birinə bölsək

$$\frac{p_4 V_4^k}{p_1 V_1^k} = \frac{p_3 V_3^k}{p_2 V_2^k}$$

$p_1 = p_3$  və  $V_4 = V_1$  olduğundan

$$\frac{p_4}{p_1} = \left( \frac{V_3}{V_2} \right)^k$$

və yaxud (5.3) düsturuna görə

$$\frac{T_4}{T_1} = \left( \frac{V_3}{V_2} \right)^{k-1}$$

və  $\frac{V_3}{V_2} = \rho$  olduğundan  $\frac{T_4}{T_1} = \rho^k$  olur. Digər tərəfdən 2-3

izobar prosesindən

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} \text{ olduğundan, buradan da yazı bilərik:}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \rho. \quad (5.4)$$

1-2 adiabatik sıxılmada  $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1}$  -dir.

$\frac{V_2}{V_1} = \varepsilon$  olduğundan yazsa bilərik

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}. \quad (5.5)$$

(5.3), (5.4) və (5.5) tənliklərində alınan qiymətləri (5.2) tənliyindən əvəz etsək alarıq:

$$\eta_t = 1 - \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}. \quad (5.6)$$

Yuxarıdakı tənlikdən görüldüyü kimi, yanma prosesi sabit təzyiqdə olduqda termik faydalı iş əmsalı  $\rho$  və  $\varepsilon$ -dan asılıdır.  $\rho$ -nun artması ilə f.i.ə. azalır və  $\varepsilon$ -nın artması ilə artır.

Qabaqcadan genişlənmə əmsalı  $\rho$  verilən yanacaqın miqdarından asılıdır, yəni mühərrikin yükü artdıqca, verilən yanacaq və buna uyğun olaraq  $\rho$  da artır. Burada  $k > 1$  olduğundan (5.6) düsturundan görüldüyü kimi, termik faydalı iş əmsalı azalacaqdır

$$\rho^k - 1 > k(\rho - 1).$$

Sıxılma dərəcəsini seçdikdə yanacağın öz-özünə alovlanma temperaturu nəzərə alınmalıdır. Sabit təzyiqli yanma tsikllərinin sıxılma dərəcəsi o qədər olmalıdır ki, sıxılmada havanın temperaturu yanacağın öz-özünə alovlanma temperaturundan yüksək olsun.

Sıxılma dərəcəsinin yuxarı qiyməti konstruktiv və iqtisadi əsaslar ilə təyin olunur. Çünki, sıxılma dərəcəsi artdıqca təzyiq artır, mühərrik ağırlaşır və sürtünməyə sərf olunan itkilər artır. Beləliklə  $\varepsilon$ -nın artması ilə  $\eta_t$  artmasının faydası az olur. Burada sıxılma dərəcəsi 15-dən 18-ə kimi qəbul olunur.

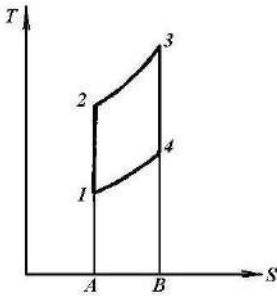
İndi isə sabit təzyiqli yanma prosesi tsikli  $TS$  diaqramında göstərək (şək.5.8). 1 nöqtəsi  $pV$  diaqramındakı nöqtəyə uyğun

gəlir. Burada adiabatik sıxılma prosesi ordinat oxuna paralel gedib, istiqaməti isə artan temperatura tərəf olur. Yanma prosesi 2-3 loqarifmik əyrisi ilə göstərilir.

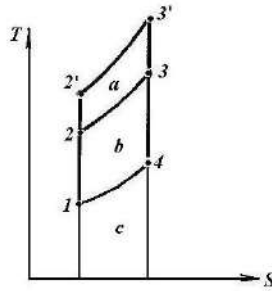
3-4 prosesi adiabatik genişlənmə prosesidir ki, bu da ordinat oxuna paralel gedir və nəhayət, 4-1 xaricətmə prosesi izoxor prosesidir ki, bu da  $TS$  diaqramında loqarifmik əyri şəklini alır. Burada  $A-2-3-B-A$  sahəsi ədədi qiymətə bir tsikldə isti mənbədən verilən istiliyi ifadə edir.  $A-1-4-B-A$  sahəsi isə bir tsikldə soyuq mənbəyə verilən istilikdir və nəhayət, 1-2-3-4-1 sahəsi iş çevrilən faydalı istilikdir. Onda termik f.i.ə.

$$\eta_t = \frac{\text{sah. } 1-2-3-4-1}{\text{sah. } A-2-3-B-A}.$$

$\rho$  və  $\varepsilon$ -nün termik f.i.ə.-na təsirini  $TS$  diaqramında asanlıqla görmək olar. Sıxılma dərəcəsinin f.i.ə.-na təsiri şəkil 5.9.-da verilmişdir.



Şək.5.8.  $TS$  diaqramında sabit təzyiqli yanma prosesi tsikli



Şək.5.9. Sıxılma dərəcəsinin f.i.ə.-na təsiri

Sahələri  $a, b, c$  ilə işarə etsək, 1-2-3-4-1 tsikli üçün:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c}{b+c},$$

1-2'-3'-4-1 tsikli üçün isə

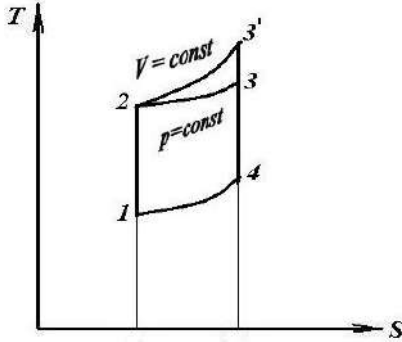
$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c}{a+b+c}$$

olduğundan

$$b+c < a+b+c.$$

Beləliklə,  $\eta'_i > \eta_i$  olur. Yəni  $\varepsilon$  artdıqca  $\eta_i$  də artır.

Şəkil 5.10-da  $\rho$ -nun  $\eta_i$ -yə təsiri göstərilmişdir. Buradan görüldüyü kimi  $V=\text{const}$  əyrisinin  $p=\text{const}$  əyrisinə nəzərən absis oxuna görə dikliyi çox olduğundan əlavə alınan istilik faydalı iş əmsalına az təsir edəcəkdir. Bunun üçün də  $\rho$ -su yüksək olan tsikldə ümumi termik f.i.ə. az olacaqdır.



Şək.5.10. Genişlənmə əmsalının termik f.i.ə.-na təsiri

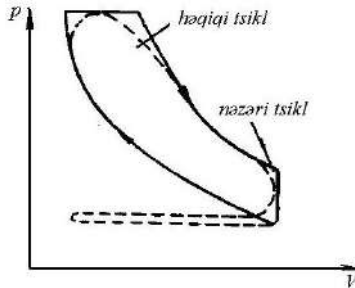
#### 5.4. Daxili yanma mühərriklərində (dym) həqiqi proseslər

Daxili yanma mühərriklərində istilik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevrilməsi həqiqi proseslərlə olur və bu proseslər də ideal proseslərdən fərqlənir.

Yuxarıda göstərdiyimiz kimi, həqiqi tsikllərdə sorulma prosesi, sürtünmə itkisi sayəsində atmosfer təzyiqindən aşağıda, xaricətmə prosesi isə atmosfer təzyiqindən yuxarıda gedəcəkdir. Burada işçi cism  $V=\text{const}$  və ya  $p=\text{const}$  prosesi ilə xaricdən istilik alan ideal qaz deyil, yanacağın yanmasından alınan yanma məhsuludur. Çıxarış prosesi porşen ölü nöqtəsinə çatmadan başlayır. Yanma prosesi nəticəsində yüksək temperatur əldə edildiyi üçün silindrin divarları xaricdən su və ya hava ilə soyudulur ki, bu da qaz ilə xarici mühit arasındakı istilik mübadiləsinə səbəb olur. Deməli, burada nəzəri adiabatik sıxılma və genişlənmə pro-

sesi gedir. Ən nəhayət şüalanma, sürtülmə, zərbə və istilik ötürmə itkiləri nəticəsində həqiqi tsikllər və həqiqi mühərriklər ideallardan fərqlənir.

Daxili yanma mühərriklərində həqiqi indikator diaqramlarının ideal diaqramlardan fərqlənməsi şəkil 5.11-də verilmişdir. Həmin şəkildə diaqramın sahəsi silindr yanacağıın gördüyü işi göstərir.



**Şək. 5.11. Daxili yanma mühərriklərində həqiqi indikator diaqramlarının ideal diaqramlardan fərqlənməsi**

Həqiqi tsikllərdə faydasız iş bu iki sahənin fərqi olduğundan ibarətdir. Nəzəri tsiklin faydalı işi təyin edən sahəsini  $F_1$ , həqiqi tsiklin faydalı işi təyin edən sahəsini isə  $F_2$  ilə işarə etsək, bunların nisbəti aşağıdakı kimi olur

$$\delta = \frac{F_2}{F_1}.$$

Bu da, nəzəri tsikllərin həqiqi tsikllərdən fərqlənməsini göstərəcəkdir. Təcrübədən təyin olunmuşdur ki, bu fərqlənmə əmsalı 0,92...0,97 intervalında dəyişir.

### **Yoxlama sualları**

1. İstilik mühərrikləri nəyə deyilir? 2. Buxar maşınları hansılardır? 3. Daxili yanma mühərrikləri hansılardır? 4. Qaz turbinləri nəyə deyilir? 5. Daxili yanma mühərrikləri yanacağıın verilməsindən, yəni yanma prosesindən asılı olaraq hansı qrupa bölünür? 6. İndikator diaqramı nəyə deyilir? 7. İdeal mühərriklər nəyə deyilir? 8. Sabit həcmdə yanma tsikli üçün  $pV$  sistemində ideal mühərrikin indikator diaqramı necə qurulur? 9. İdeal mühərriklərin iş prinsipi necədir? 10. İkitəklili sabit həcmli yanma prosesli tsiklin indikator diaqramı necədir? 11. İdeal mühərriklərin indikator diaqramı necədir? 12.

Tsiklin sıxılma dərəcəsi nəyə deyilir? 13. Genişlənmə əmsalı necə təyin olunur? 14. Mühərriklərin termik f.i.ə. necə təyin olunur? 15. Sıxılma dərəcəsinin artması mühərriklərin termik f.i.ə.-na necə təsir göstərir? 16. Daxili yanma mühərriklərində həqiqi proseslər necədir? 17. Daxili yanma mühərriklərində həqiqi indikator diaqramları ideal diaqramlardan necə fərqlənir?

## VI FƏSİL

# YANACAQLARIN XASSƏLƏRİ VƏ YANMA NƏZƏRİYYƏSİNİN ƏSASLARI

### 6.1. Yanacaq və onun əsas xassələri

Yanacaq – energetika, sənaye və qızdırıcı qurğularda istilik əldə etmək məqsədi ilə istifadə edilən maddədir. Yanacağa olan əsas tələbatlar aşağıdakılardır: təbiətdə çox miqdarda olmalı, çox miqdarda istilik verməli, uzun müddət saxlandıqda öz xüsusiyyətlərini saxlamalı və nəqlədirilməyə yararlı olmalıdır. Biz yalnız üzvü yaranacağı öyrənəcəyik.

Yanacaq müxtəlif xüsusiyyətlərinə görə siniflərə ayrılır. Alınma üsuluna görə: təbii (odun, torf, daş kömür, neft) və süni (koks, benzin, generator qazı) olur. Aqreqat halına görə isə yanacaq bərk, maye və qazşəkilli olur.

Hər bir yanacağın komponentləri yanan elementlərdən və yanmayan qarışıqlardan və ya ballastdan ibarətdir. Yanacağın yanan elementlərinə: karbon, hidrogen  $H$ , yanan kükürd  $S$ , daxili ballastla (oksigen  $O$  və azot  $N$ ) birgə mürəkkəb kimyəvi birləşmələr təşkil edir. Xarici ballast kül  $A$  və nəmlikdən  $W$  ibarətdir. Qazşəkilli yanacaq yanan qazların ( $CO$ ,  $H_2$ , metan  $CH_4$  və başqa karbohidratlar  $C_mH_n$ ), yanmayan qazların ( $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ) və hava buxarının  $H_2O$  mexaniki qarışığından ibarətdir.

Karbon  $C$  – yanacağın əsas yanan elementidir,  $CN$  tipli üzvü birləşmələr şəklində olur. 1 kq karbon yandıqda 33,9 MCoU istilik ayrılır. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, yanma prosesi düzgün təşkil olunmayanda (adətən hava çatışmamazlığında) çox zəhərli olan karbon oksidi  $CO$  əmələ gəlir və yalnız 9,2 MCoU istilik ayrılır. Karbon yanacaqda 40-95% miqdarında (saman və antrasid) olur. Yanacağın geoloji yaşı artdıqca onun tərkibində karbonun miqdarı artır.

Hidrogen yandıqda karbondan dörd dəfə çox istilik ayrılır. O adətən karbon birləşmələri şəklində  $C_mH_n$  yanacağın daxili nəmliyində olur. Maye yanacaqlarda hidrogen 10-12% (mazut), kömürlərdə çox az- 1,5-2% olur.

Kükürd  $S$  – üzvü birləşmələrin tərkibində  $S_{üzv}$ , kolçedan bir-

ləşmələrində  $S_k$  və duzlarda - sulfatlarda ( $CaSO_4$ ) olur. Bu kükdür  $S_d$ -yə yana bilmir ballast şəklində olur. Yandıqda zərərli qaz  $SO$  və başqa kükürd qazları əmələ gəlir.  $C$ ,  $H$ ,  $S_{üz}$  və  $S_k$ - yanacaq yanan elementləridir.

Oksigen  $O$  – yanan elementlərlə kimyəvi birləşmələrdə olur. Karbonun bir hissəsini bağlayaraq yanacağı qiymətdən salır. Oksigen yanmada iştirak edir, yanacaqda 1-30% miqdarında olur.

Azot  $N$ - təsirsiz qazdır, 1-6% miqdarında olur. Azot zərərli komponentdir, çünki azot tərkibli birləşmələrin yüksək temperaturlu odluqlarda yanması nəticəsində çox toksik oksidlər  $NO$  və  $NO_2$  əmələ gəlir.

Kül  $A$  – yanmayan qalıq, yanacağın tam yanmasından yaranır. Bu yanacaqda olan müxtəlif mineral maddələrin qarışığıdır: gil, dəmir oksidləri, əhəng və s. Daş kömürdə 4-25% kül, odunda 0,6% kül olur. Qazlar qalıqsız yanır.

Nəmlik  $W$  yanacağın zərərli qarışığıdır, 1 kq yanacaqda yanan maddələrin payını azaldır. Yanacağın yanması nəticəsində ayrılan istiliyin bir hissəsi nəmin buxarlanmasına sərf olur. Yanacağın nəmliyi daxili və xarici olur. Xarici nəmlik yanacağın çıxarılma şərtlərindən, nəql etdirilməsindən və saxlanmasıdan aslıdır. Daxili nəmlik yalnız yanacağın xüsusiyyətlərindən aslıdır. O yanacağın mikroskopik boşluqlarını doldurur və adi qurutma ilə ayrılma bilməz. Yanacağın daxili nəmliyini ayırmaq üçün onu  $t=103-110^{\circ}C$  kimi qızdırır və dörd saat saxlayırlar. Yanacağın nəmliyi 5-60% təşkil edir.

Yanacağın nəmlik hissəsini uçucu maddələr və koks təşkil edir. Uçucu maddələr – qazşəkilli maddələrdir ki, yanacağın havasız qızdırılması nəticəsində ayrılırlar. Bərk qalıq koks adlanır. Uçucu maddələrin ayrılması yanacağın yanma prosesinə böyük təsir göstərir: çox ayrıldıqda yanacaq asan alovlanır və parlaq alovla yanır. Koks bitişik, ərimiş və tozşəkilli ola bilər.

Yanacaq – istehlakçıya daxil olduğu şəkildə işçi adlanır, onun kütləsi isə – işçi kütlə adlanır. Yanacaq onu təşkil edən elementlərin kütləvi tərkibi ilə xarakterizə olunur.

İşçi kütləyə görə elementar tərkib  $p$  hərfi ilə işarələnir:

$$C^p + H^p + S_{üz+k}^p + O^p + N^p + W^p + A^p = 100\% .$$



Əgər yanacaqdan nəmliyi tam çıxarsaq belə kütlə quru kütlə adlanır. Onda tərkib quru kütləyə görə hesablanır.

$$C^c + H^c + S_{üz+k}^c + O^c + N^c + A^c = 100\% .$$

Təsəvvür edək ki, külü də çıxarmışıq, onda yanan kütləni alırıq:

$$C^y + H^y + S_{üz+k}^y + O^y + N^y = 100\% .$$

Elementar tərkibin hesabət əmsalları cədvəl 6.1-də verilmişdir.

Cədvəl 6.1

Yanacağın elementar tərkibinin hesabət əmsalları

Axtarılan kütlə \ Verilən kütlə	Yanan	Quru	İşçi
Yanan	1	$\frac{100 - A^c}{100}$	$\frac{100 - A^p - W^p}{100}$
Quru	$\frac{100}{100 - A^c}$	1	$\frac{100 - W^p}{100}$
İşçi	$\frac{100}{100 - A^p - W^p}$	$\frac{100}{100 - W^p}$	1

Yanacağın əsas xarakteristikası onun yanma istiliyidir. Yanma istiliyi 1 kq bərk və ya maye yanacağın yaxud 1 m<sup>3</sup> qazın tam yanması zamanı ayrılan istiliyin miqdarıdır. Yanacağın kimyəvi tərkibini və hər bir elementin yanması nəticəsində ayrılan istilik miqdarını bilərək yanma istiliyini hesablamaq olar. Yanması istiliyi yüksək və aşağı olur.  $Q_B^p$  və  $Q_H^p$ ,  $Q_B^p$  - hidrogenin yanması nəticəsində əmələ gələn nəmliyin buxarlanmasına sərf olunan istilik itkilərini nəzərə almadan hesablanan istilidir.

$Q_H^p$  - nəmliyin buxarlanmasına sərf olunan istiliyi nəzərə almaqla hesablanan yanma istiliyidir.

Bərk və maye yanacağın yanma istiliyi D.İ.Mendeleyevin tənzimindən təyin edilir:

$$Q_H^p = 338C^p + 1025H^p - 108(O^p + S_{üz+k}^p) - 25W^p \text{ kCoul/kq}.$$

Müxtəlif növ yanacaqları müqayisə etmək üçün şərti yanacaq anlayışından istifadə olunur. Bu elə yanacaqdır ki, yandıqda

7000 kkal/kq və ya 29,3 kCoul/kq istilik ayrılır. Hər bir yanacağı şərti yanacağı hesabladıqda  $Q_H^p$   $k=1/7000$  və ya  $k=1/29,3$  əmsalına vurulur.

Bəzi yanacaq qazlarının tərkibi və yanma istiliyi cədvəl 6.2.-də verilir.

Cədvəl 6.2

Yanacaq qazların tərkibi və yanma istiliyi

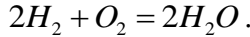
Qazın adı	Qazın quru tərkibi həcmə görə %-lə								$Q_H^p$ MCoul/m <sup>3</sup>
	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CO	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>	
Təbii qaz	94,9	-	-	3,8	-	0,4	-	0,9	36,7
Kokslu (təmizlənmiş)	22,5	57,5	6,8	1,9	0,8	2,3	0,4	7,8	16,6
Domna qazı	0,3	2,7	28	-	-	10,2	0,3	58,5	4
Sıxılmış qaz (maye qaz)	4	Propan 79, etan 6, H- <i>i</i> izotopun 11							88,5

## 6.2. Yanma nəzəriyyəsinin elementləri

Oksidin yanacağın yanan elementləri ilə kimyəvi birləşmə reaksiyası yanma adlanır. Bunun nəticəsində intensiv-istilik ayrılması və temperaturun nisbətən artması müşahidə olunur. Fasiləsiz yanma üçün yanma zonasına yanacağın fasiləsiz verilməsi, onların intensiv qarışması və yanmış məhsulların çıxarılması lazım gəlir. Qomogen və qeterogen yanma növləri var. Qomogen yanmada oksid və yanacaq qazşəkilli vəziyyətdə verilir. Qeterogen yanmada reaksiya müxtəlif aqreقات halında olan maddələr arasında baş verir.

Yanma reaksiyaların əsas xüsusiyyətləri akademik N.N.Semyonov tərəfindən zəncirvari reaksiyalar nəzəriyyəsi ilə ifadə olunur. Bu nəzəriyyəyə əsasən yanma reaksiyaları fasiləsiz bərpa olunan aktivləşmiş mərkəzlər zəncirinin yaranması ilə baş verir. Zəncirvari reaksiyasını yaradan aktiv atomlar və sərbəst valentli hissəciklərdir (radikallar). Onlar başqa atomlarla asan birləşərək aralıq komponentləri əmələ gətirir. Bu komponentlərin başqa atomlarla əsks təsiri reaksiyanın son məhsulunun yaranmasına və yeni radikalların ayrılmasına səbəb olur. Hidrogenin bir radikali

oksigen molekulu ilə toqquşduqda iki aralıq dəyişməsi nəticəsində iki radikal verir, sonra bu ədəd dörd olur və s. Yəni reaksiya heç də aşağıdakı kimi getmir



Zəncirvari reaksiyalar çox yüksək sürətlə baş verir.

Kimyəvi reaksiyanın sürəti reaksiyada olan maddələrin konsentrasiyasından, temperaturundan və reagentlərin təzyiqindən asılıdır:

$$W_x = k C_A^a C_B^b,$$

burada  $C_A$  və  $C_B$ - konsentrasiya;

$k$ - reaksiyanın sürət konstantası;

$a$  və  $b$ - təcrübi konstantalardır.

Temperatur artdıqca reaksiyanın sürət konstantası Arrenius qanunu ilə artır:

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}},$$

burada  $E$ - aktivləşmiş enerjisi (qaz qarışıqları üçün 85-170 kCoul/kq).

Qarışığın zəncirvari reaksiyanın budaqlanaraq getməsi temperaturu – qarışığın alovlanma temperaturu adlanır. Qazlar üçün bu 500-750°C (cədvəl 6.3).

Yanacağın yanma vaxtı

$$\tau = \tau_{fiz} + \tau_{kim}.$$

$\tau_{fiz}$  müddətdə yanacağın oksidlə kontaktı baş verir,  $\tau_{kim}$ - kimyəvi reaksiyanın bilavasitə getmə müddətidir. Əgər  $\tau_{fiz} \ll \tau_{kim}$ , onda yanma kinetik adlanır. Kinetik yanma qaz qarışıqları üçün xarakterikdir, bir anda yanma üçün oksigen nəzəri cəhətdən lazım olan miqdardan artıqdır. Əgər  $\tau_{fiz} \gg \tau_{kim}$ , onda yanma diffuziyalı adlanır. Belə yanmada yanacaq və oksidləşdirici ayrı-ayrı verilir, onların qarışması isə diffuziya hesabına baş verir.

Bilavasitə yanma baş verən zona alov adlanır. Əgər qaz qarışığı yaxşı qarışdırılıbsa alov nazik 0,003-0,6 mm olar (yanma frontu). Yanma frontu 6-30 m/s sürətlə hərəkət edir. təzyiq artdıqda yanma frontunun sürəti kəskin artır – praktiki olaraq partlayışlı yanma baş verir, alovun sürəti saniyədə bir neçə kilometrə

bərabər olur.

Alovun sürəti qarışıqın tərkibində yanan qazın faizindən asılıdır. Temperatur artdıqca alovun sürəti artır. Ballastın  $N_2$  və  $CO_2$  olması alovun sürətini azaldır.

Yanma laminar (sakit, axımlı) və turbulent olur. Turbulent yanmaya daha çox rast gəlinir. Əgər qarışıqın sürəti  $W_q$  alovun sürətindən  $W_a$  böyükdürsə, onda alov odluqdan ayrılı bilər,  $W_q < W_a$  olduqda alov odluğun içərisinə keçə bilər. Hər iki hal təhlükəlidir.

Qeterogen yanmanın bir sıra xüsusiyyəti var.

Cədvəl 6.3

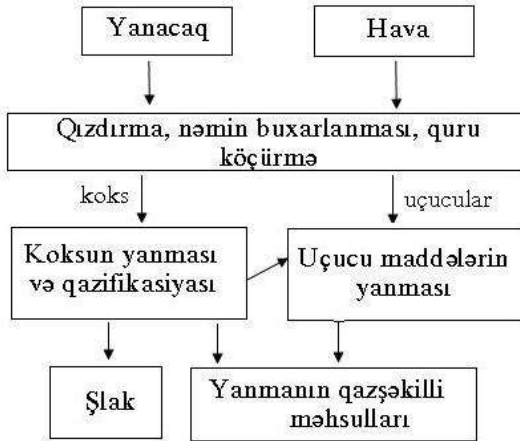
Qaz hava qarışıqlarının konsentrasiyaları və alovlanma temperaturları ( $t=20^\circ C$ ,  $p=0,1$  MPa)

Qaz	Kimyəvi düsturu	Konsentrasiya sərhədləri		Alovlanma temperaturu
		aşağı %	yuxarı %	
Hidrogen	$H_2$	4,0-9,5	65-75	580-590
Karbon oksidi	CO	12-15,6	71-75	644-658
Metan	$CH_4$	4,9-6,3	12-15,4	650-750
Etan	$C_2H_6$	3,1	12,5	-
Propan	$C_3H_8$	2,4	0,5	-
Butan	$C_4H_{10}$	1,9	8,4	-
Etilen	$C_2H_4$	3,0	28,6	542-547
Asetilen	$C_2H_2$	2,5	80,0	406-440
Təbii qaz	-	5,1-5,8	12,1-13,9	-

Maye yanacağın yanma prosesi onun forsunka vasitəsilə püskürdülməsindən, buxarlanmasından və yanacağın termiki parçalanmasından, alınan qazşəkilli məhsulların hava ilə qarışmasından, alovlanmadan və yanmadan ibarətdir. Püskürdülmə nəticəsində mayenin qazla təmas etmə səthini minlərlə dəfə artırır. Yanmadan əmələ gələn məşəl üç fazadan ibarətdir: maye, bərk (dispers, karbon, kül) və qazşəkilli (parçalanma məhsulları). Yanma sürəti yandırma şəraitindən asılıdır: qarışıq əmələ gəlməsindən, aerasiya dərəcəsindən, məşələnin turbulizasiya dərəcəsindən, yanma kamerasının temperaturundan. Məşəl bərk qızdırılmış dispers karbonun hesabına işıqlanır.

Bərk yanacağın da yanma xüsusiyyətləri var. Adətən yanma lay altında aparılır. Yanma prosesinin əsas mərhələləri şəkil 6.1-

də göstərilmişdir.

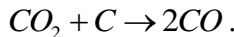


**Şək.6.1. Bərk yanacağın yanma mərhələləri**

Qeterogen reaksiyanın sürəti temperaturdan, təzyiqdən və reaksiyadada olan maddələrin konsentrasiyasından asılıdır. Sərhəd laminar layda oksidləyici yanan elementlərə diffuziya yolu ilə ötürülür. Sərhəd layın qalınlığı  $\delta$  axının sürətindən asılıdır və sürət artdıqca azalır.

Texniki yanacağın yanması şlakın çıxarılması üsulundan asılıdır, çünki karbon yandıqca yanacağın hissəciklərinin üzərində kül qalığı əmələ gəlir, bu da oksidləyicinin keçməsinə çətinləşdirir. Yüksək temperatur təsirindən kül yumşala, hətta əriyə bilər. Yanacaq elə bil ki, bişir (şlaklanır). Şlaklaşma oksidləyicinin hətta ayrılan, yanan uçucu maddələrə də keçməsinə çətinləşdirir.

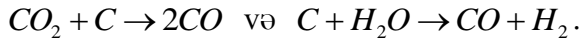
Yanacağın ocaq qəfəsində yanması zamanı iki zona nəzərə çarpır: oksidləşmə zonası və bərpa zonası- burada havanın oksigeni yüksək temperatur təsirindən  $CO_2$ -dən  $CO$ -ya kimi bərpa olunur:



Digər qazlaşma reaksiyaları da belə gedir, nəticədə yanacaq layının üzərində yaranan qazlar qarışığı olacaq. Onlara yanma imkanını vermək üçün odlağa əlavə hava vermək lazımdır. Bunu

nazik lay və kəskin üfləmə vasitəsilə və ya qalın layda odluğa ikinci üfləmə təşkil etməklə əldə edirlər.

Əgər hissəciklərin ölçülərini kiçiltəsək, havanın sürətini isə artırısaq, aerodinamiki təzyiqli hissəciklərin çəkisindən artıq olar və yanacaqın layı ya "qaynayan" və ya havada asılı vəziyyətdə olar (qeterogen məşəl). Məşəlin üzərində əsasən oksidləşmə prosesləri keçir. Məşəlin nüvəsində yüksək temperatur yaranır (1700°C kimi) buna görə qazifikasiya prosesləri daha da böyük rol oynayır

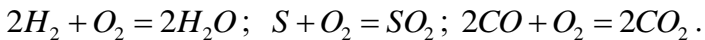
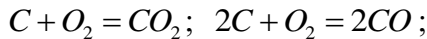


Beləliklə bərk yanacaq yandıqda kinetik yanma, həm də diffuzion yanma baş verir.

İstilik maşınları, istilik generatorları və yanacağın çıxarılması, nəqlədirilməsi və emalı hazırda ətraf mühitin çirklənməsinə səbəb olur.

### 6.3. Yanmanın texniki hesabı

Yanmanın texniki hesablarının əsaslarını material balansları təşkil edir. Yanacağın tərkibi nə qədər mürəkkəb olsa nəticədə karbon  $CO_2$ -yə kimi, hidrogen  $H_2O$ -ya və kükürd  $SO_2$ -yə kimi yanır. Oksidləyici vəzifəsində adətən hava olur.



Birinci reaksiya üçün material balansı

$$12 \text{ kq } C + 32 \text{ kq } O_2 = 44 \text{ kq } CO_2 + 404 \text{ MCoul}.$$

Atmosfer havasında 23% oksigen olmasını nəzərə alsaq 1 kq yanacağın yanması üçün lazım olan havanın miqdarını hesablaya bilərik.

$$L_0 = 0,115(C^p + 0,375S_{üz+k}^p) + 0,342H^p - 0,0431O^p.$$

Əgər bu ifadəni havanın sıxlığına bölsək (normal şəraitdə  $\rho = 1,293 \text{ kq/m}^3$ ), onda lazım olan havanın həcmi miqdarını alarıq:

$$V_0 = 0,0899(C^p + 0,375S_{üz+k}^p) + 0,265H^p - 0,0333O^p, \frac{Nm^3_{hava}}{kq_{yanacaq}}.$$

Bu düsturlar bərk və maye yanacaq üçündür. Qazşəkilli yanacaq üçün lazım olan havanın həcmi  $1 Nm^3$  qaza müvafiq edir.

Yanma üçün verilən həqiqi hava həcminin  $V_d$  nəzəri həcminə  $V_o$  nisbəti izafi hava əmsalı  $\alpha$  adlanır:

$$\alpha = \frac{V_d}{V_o}$$

Yanma prosesi düzgün təşkil olduğunda  $\alpha > 1$   $\Delta V = (\alpha - 1)V_o$ .

Ən yaxşı odluqlarda  $\alpha = 1,05-1,1$ ; pislərdə  $\alpha = 1,3-1,5$  olur. Qazifikasiyada  $\alpha < 0$ , yanacağın quru köçürülməsində  $\alpha = 0$ .  $\alpha$ -nın artması yanma temperaturunun azalmasına, itkilərin artmasına və istilik qurğularının f.i.ə. azalmasına səbəb olur.

Qazşəkilli yanacaqlarda yanma prosesinin təşkilində yanacağın tam yanmasını təmin etməyə çalışırlar, yəni karbonu  $CO_2$ -yə, hidrogeni  $H_2O$ -ya kimi oksidləşdirirlər. Yanma məhsullarının həcmi ( $Nm^3/kq_{yanacaq}$ ) iki hissəyə bölünür: quru qazlar və su buxarları

$$V_{ps} = V_{sq} + V_{H_2O}$$

burada  $V_{sp} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}$ .

Faizlə

$$CO_2 + SO_2 + N_2 + O_2 = 100\%$$

Quru qazların həcmi

$$V_{sq} = V_{Osq} + (\alpha - 1)V_o$$

$\alpha > 1$  olduqda qazın həcmi

$$V_{sq} = 0,0186(C^p + 0,375S_{üz+k}^p) + 0,79\alpha V_o + 0,21(\alpha - 1)V_o, \frac{Nm^3}{kq_{yanacaq}}$$

burada  $0,21(\alpha - 1)V_o$ - havanın izafi oksigenidir;

$0,79\alpha V_o$ - havanın azotudur.

Əgər düsturda  $\alpha = 1$  götürsək onda  $1 kq$  yanacağın yanması nəticəsində alınan quru qazların nəzəri həcmi alınır:

$$V_{Osq} = 0,0186(C^p + 0,375S_{üz+k}^p) + 0,79V_o$$

Yanacağın nəmliyini nəzərə almaqla hava buxarlarının həcmi aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$V_{H_2O} = 0,112H^p + 0,0124W^p, Nm^3/kg.$$

Yanan məhsulların analizi xüsusi cihazlarda qazoanalizatorlarda aparılır. Adətən qaz analizi zamanı su buxarı kondensasiya edir, sonra  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$  ardıcılıqla udulur. Analizin nəticələrinədən  $\alpha$  təyin edilir

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{100 - (SO_2 + CO_2 + O_2)}},$$

burada  $O_2$ ,  $SO_2$  və s. - bu qazların yanma məhsullarında faiz miqdarıdır.

Yanma məhsullarının entalpiyasını bir kq bərk və maye yanacaq üçün və ya 1 Nm<sup>3</sup> qaz üçün hesablayırlar:

$$H_p = H_{oq} + (\alpha - 1)H_{OB}, kCoul/kq \text{ və ya } kCoul/Nm^3,$$

burada  $H_{oq}$ - yanma məhsullarının həcmnin entalpiyasıdır.

$$H_{oq} = \sum_1^n c_i t_i m_i,$$

$H_{OB}$ - nəzəri lazım olan hava həcmnin entalpiyası

$$H_{oq} = c_B t_B m_B.$$

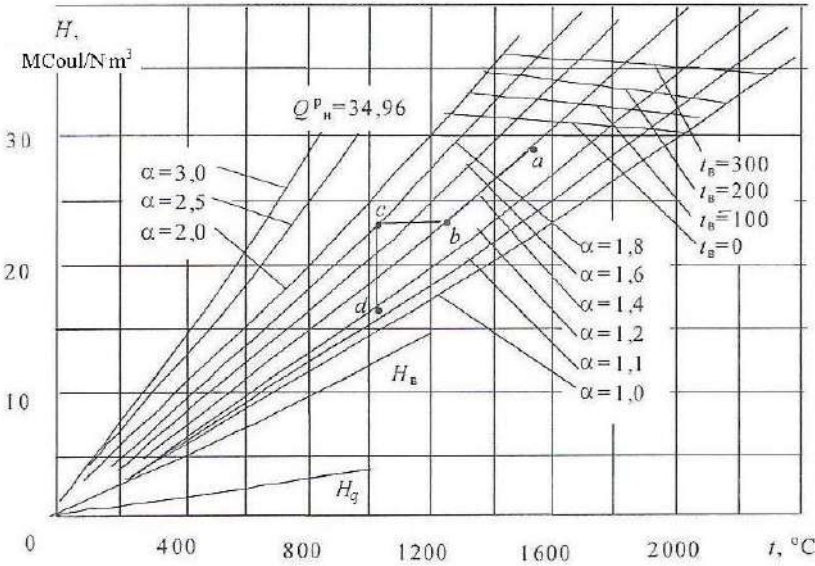
Şəkil 6.2 - də təbii qazın yanma məhsullarının  $H-t$  diaqramı verilir. Qazın yanma istiliyi  $Q_H^p = 34,96 \frac{MCoul}{Nm^3}$ , diaqramdan görünür ki,  $\alpha=2$  olduqda  $t_{max.n}=1260^\circ C$ ,  $\alpha=1,2$ -də  $t_{max.n}=1900^\circ C$  olur.

Yanma nəticəsində istilik qızdırılan səthin şüalanması və konveksiya ilə ötürülür. Nəticədə qazlar soyudulur, onların entalpiyası azalır. Bu proses şəkil 6.2 - də  $a-b$  xətti ilə verilir,  $\alpha=const$ , maksimal yanma temperaturu azalır.

Çox vaxt yanma məhsulları sorma ilə çıxarılır. Bu zaman təzyiq düşür. Onda başlıqlardan oraya atması havası sovrulur, bu zaman izafi hava əmsalı artır. Belə olduqda qazların entalpiyası praktiki olaraq dəyişmir, çünki sovrulan soyuq havanın temperaturu sifira yaxındır. Demək soyuq havanın yanma məhsullarına qarışması  $H-t$  diaqramında  $b-c$  xətti ilə verilir. İzotermik proses



burada  $c-d$  xətti ilə göstərilir.



**Şək.6.2. Təbii qazın yanma məhsullarının  $H-t$  diaqramı**

Əgər tüstü qazları qızdırılmış hava ilə qarışsa qarışıqın entalpiyası aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$H_n = Q_H^p + Q_B + Q_{tf},$$

burada  $Q_B$  - havanın istiliyi;

$Q_{tf}$  - yanacağın fiziki istiliyidir.

#### **6.4. Qazanxana avadanlıqları**

Müasir qazanxana avadanlıqları yüksək texnologiyalı avtomatik qurğulardır. Az enerji sərf etməklə binaları keyfiyyətli qızdırır və isti su ilə təmin edir. Yaşayış məntəqələrinin, anbarların, sənaye müəssisələrinin, ictimai yerlərin qızdırılması və isti su ilə təmin edilməsi üçün nəzərdə tutulur.

**6.4.1. Quruluşu və təyinatı.** Qazanxananın əsas avadanlığı qazandır. Qazan - istilik dəyişdirici olub yanacağın yanması nəti-

cəsində alınan enerjini istilik daşıyıcıya - suya və ya elektrolitə verir. Şərti olaraq qazanlar elektrik, qaz, bərk və sənaye yanacaq ilə işləyən qazanlara bölünürlər.

**6.4.2. Elektrik qazanlar.** Bu qazanlar praktiki olaraq hər növ tikililər, yəni yaşayış binaları, anbarlar, ticarət və texniki binalar üçün yararlıdır. Burada enerji kimi elektrik enerjisindən istifadə olunur.

Avadanlığın əsas üstünlükləri aşağıdakılardır:

- xüsusi olaraq qazanxana üçün yer və tüstü borusu lazım gəlir. Bu qazanların quraşdırılmasında sərmayə qoyuluşunu azaltmağa imkan verir;

- istənilən yerdə quraşdırılma imkanının olması. Bu divarda öz növbəsində sahəyə qənaət etməyə imkan yaradır;

- qazanın işinin avtomatlaşdırılması. Bu da binada lazımi temperaturu saxlamağa imkan verir;

- səssiz işləmə;

- nisbətən aşağı qiymət;

- açıq alovun olmamasına görə təhlükəsizlik;

- asan istismarı;

- təmizlənmə və xidmətin lazım gəlməməsi;

- ekoloji təmizlik.

Əsas çatışmayan cəhət isə elektrik enerjisinin yüksək qiymətidir.

**6.4.3. Qaz qazanları.** Etibarlı və sərfəli qaz qazanları böyük və kiçik sahəli binaları qızdırmaq üçün istifadə olunur. Bizim ölkədə binaları qızdırmaq üçün geniş yayılan qazanxana avadanlığıdır. Elektrik qazanlarla müqayisədə qazın qiyməti aşağı olduğundan bu qazanların istismar xərclərinin az olmasıdır.

Əsas üstünlükləri aşağıdakılardır: yanacağın qiymətinin aşağı olması, asan quraşdırılması, kompaktlığı, istismarının və texniki xidmətin asan olması, səssiz işləməsi. Qaz qazanları divar və döşəməüstü olur.

Divar qazanlarının əsas üstünlükləri – qiymətinin aşağı olması, böyük olmayan ölçüləri olması və asan quraşdırılmasıdır. 300 m<sup>2</sup> sahəsi olan binaların qızdırılması üçün nəzərdə tutulur.

Çatışmamazlıqları isə uzun müddətli işləyə bilməməsi, hansı ki, bu da suyun keyfiyyətinin aşağı olmasına gətirib çıxarır.

Alışma növünə görə qaz qazanları elektrik və pyezoalışqanlı olurlar. Yanacaq məhsullarının çıxarılmasına görə isə –tüstü borusu vasitəsilə təbii havaçəkən və xüsusi ventilyator vasitəsilə məcburi havaçəkən olurlar.

Döşəməüstü qazanların istilikdəyişdiricisi polad və ya çuqundan hazırlanır. Çuqun qazanın əsas üstünlükləri divarlarının qalın olması və korroziyaya az məruz qalmasıdır, çatışmamazlığı isə materialın kövrək olmasıdır. Polad istilikdəyişdiriciyə malik qazan daha möhkəmdir, yalnız korroziyaya məruz qalma dərəcəsi yüksəkdir.

Döşəməüstü qaz qazanları atmosfer və ventilyatorlu olurlar. Atmosfer olduqda qazanalarda qaz-haa qarışığının yanması və işlənməmiş qazların tullanması təbii üsulla tüstü borusundan çıxarılır, bu da qurğunun səssiz işləməsini təmin edir. Bu avadanlığın gücü 10-100 kVt-dır.

Ventilyatorlu odluqlu qazanlar həm qazla, həm də maye yanacaqqla işləyə bilər. Bəzi hallarda qazanın gücü bir neçə min kVt-a çatır, bunun hesabına böyük binaları qızdırmaq mümkün olur.

**6.4.4. Bərk yanacaqqlı qazanlar.** Bu qazanlar ənənəvi qazanxana avadanlıqlarındandır. Əsas üstünlüyü yanacağın ucuzluğudur. Burada odundan, kömürdən, koksdan istifadə olunur. Çatışmamazlığı – avtonom işləyə bilməməsi, çünki müntəzəm olaraq qazana yanacaq doldurulmalıdır.

Bərk yanacaq qazanları:

- klassik - yalnız bərk yanacaqqla işləyən;
- universal - üç və daha çox yanacaqqla işləyən;
- bərk yanacaqqlı – odunun piroliz yandırılması ilə işləyən (belə qazanalarda həm odun, həm də yanma zamanı əmələ gələn qaz yandırılır, bu da f.i.ə.-nin artmasına imkan yaradır).

Çatışmayan cəhəti – qiymətinin və elektrik enerjisinin yüksək olmasıdır.

**6.4.5. Maye yanacaqqlı qazanlar.** Bu tip qazanalarda istifadə olunan odluqlar ventilyatorlu olur, bu da yanacağın təzyiqlə veril-

məsini təmin edir. Buna görə də lazım gəldikdə az müddət ərzində bir növ yanacaqdan digərinə odluğu dəyişməklə keçmək olar. Qazanların istismar müddətini artırmaq üçün müntəzəm olaraq tüstü borusunu (dəm bacasını) təmizləmək və filtrləri dəyişmək lazımdır.

### ***Yoxlama sualları***

1. Hansı növ yanacaqları vardır? 2. Yanacağın əsas elementi nədir? 3. Yanacağın yanan elementləri hansılardır? 4. Ballast nəyə deyilir? 5. Kükürd nəyin tərkibində olur? 6. Yanacağın uçucu hissəsini nə təşkil edir? 7. Yanacağın əsas xarakteristikası nədir? 8. Yanma istiliyi nəyə deyilir? 9. Şerti yanacaq nəyə deyilir? 10. Yanma hansı rejimlərdə olur? 11. Yanma məhsullarının entalpiyası necə hesablanır? 12. Təbii qazın yanma məhsulları hansı diaqramda verilir? 13. Məşəl hansı üç fazadan ibarətdir? 14. Məşəl nəyin hesabına işıqlanır? 15. Qazanxananın əsas avadanlığı nədir? 16. Qazanxana avadanlıqlarının əsas üstünlükləri hansılardır? 17. Hansı qazanlar var?

## VII FƏSİL BUXARLAR

### 7.1. Buxarlar haqqında ümumi məlumatlar

Sabit təzyiqdə temperaturu  $0^{\circ}\text{C}$  olan 1 kq mayedən, xaricdən verilən istilik nəticəsində çox qızmış buxar alınması üç mərhələyə bölünür:

1-ci mərhələdə maye  $0^{\circ}\text{C}$ -dən  $t_s$ - qaynama temperaturunadək qızdırılır. Bu mərhələnin sonunda maye qaynama temperaturunda olur, belə mayeyə doymuş maye deyilir.

2-ci mərhələdə doymuş maye qaynama temperaturunda buxara çevrilir. Bu halda mayenin temperaturu, onun axırncı damlası buxara dönənədək sabit qalır. Buxarlanmanın sonunda yəni maye tamamilə buxara çevrildikdə quru doymuş buxar alırıq. Deməli, quru doymuş buxar, qaynama temperaturunda olan, maye damcılarından azad olmuş buxardır.

İkinci mərhələdə, yəni doymuş maye ilə quru doymuş buxar arasında alınan buxarlara nəm buxar deyilir.

Deməli, doymuş maye, nəm buxar və quru doymuş buxar, yəni maddənin hər üç halı, müəyyən təzyiqə uyğun, eyni  $t_s$ - qaynama temperaturunda olur.

Eyni temperaturda olan iki nəm buxarı bir-birindən ayırmaq üçün, adətən, quruluq dərəcəsi istifadə edirlər.

Nəm buxar daxilində olan  $X$  – quru doymuş buxarın kütləsinin  $G$  – nəm buxarın kütləsinə nisbətində  $x$  – quruluq dərəcəsi deyilir, yəni

$$x = \frac{X}{G}. \quad (7.1)$$

Nəm buxar daxilində olan  $(G-X)$  mayenin kütləsinin,  $G$  – nəm buxarın kütləsinə nisbətində  $y$  – nəmlik dərəcəsi deyilir, yəni:

$$y = \frac{G-X}{G} = 1 - x. \quad (7.2)$$

(7.1) və (7.2) ifadələrində  $X=0$  olarsa,  $x=0$  və  $y=1$  alınır. Deməli, maddə doymuş maye halında olduqda, onun quruluq dərəcəsi sıfır, nəmlik dərəcəsi isə vahidə bərabər olmalıdır.

Həmin (7.1) və (7.2) ifadələrində  $X=G$  olarsa,  $x=1$  və  $y=0$  alınır. Deməli, maddə quru doymuş buxar halında olduqda, onun quruluq dərəcəsi vahidə, nəmlik dərəcəsi isə sıfıra bərabər olmalıdır.

(7.1) ifadəsində  $G=1$  kq olduqda,  $x=X$  alınır. Buna görə də quruluq dərəcəsinə bəzən buxar tutumu da deyirlər.

Quruluq dərəcəsi 0 ilə 1 arasında dəyişir.

3-cü mərhələdə, təzyiq sabit qalmaq şərti ilə xaricdən verilən istilik nəticəsində quru doymuş buxarın temperaturu qaynama temperaturundan yuxarı qalxdığından, qızmış buxara çevrilir. Deməli, temperaturu verilmiş təzyiqə uyğun qaynama temperaturundan böyük olan buxara qızmış buxar deyilir.

## 7.2. Van-der-Vaals tənliyinin buxarlara tətbiqi

Van-der-Vaals tənliyi real qazlardan ötrü təklif olunmuş hal tənliyidir

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT. \quad (7.3)$$

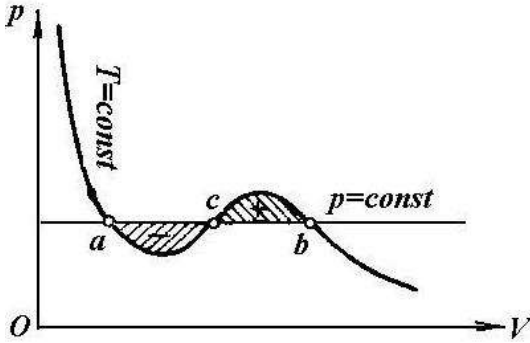
Aydındır ki, bu tənlik Klayperon-Mendeleyev tənliyinə iki düzəliş əlavə etməklə alınmışdır. Bunlardan biri  $\frac{a}{V^2}$  -molekullar arasındakı ilişmə qüvvəsini, digəri  $b$  isə molekulların həcmələrini nəzərə alır. Həmin tənlikdəki  $(V-b)$  sərbəst həcmi, yəni sıxılmada və genişlənmədə iştirak edən həcmi göstərir. Maddənin xüsusiyyətdən asılı olan  $a$  və  $b$  kəmiyyətləri Van-der-Vaals əmsalları adlanır.

Van-der-Vaals tənliyi, maddənin yuxarıda qeyd etdiyimiz maye, buxar və qaz hallarını ardıcıl olaraq əks etdirə bilir. Bunu göstərmək çətin deyildir.

Bundan ötrü həmin tənliyi  $pV$  koordinat sistemində qrafiki təsvir etmək lazımdır. (7.3) tənliyində  $T=\text{const}$  hesab edərək,  $V = f(p)$  asılılığını, yəni izoterm tənliyini alırıq. Bu Van-der-Vaals izotermi şəkil 7.1 - də göstərilmişdir. Şəkildə izotermi izobar ilə üç nöqtədə, yəni  $a$ ,  $b$  və  $c$  nöqtələrində kəsişməsi gös-

tərilmişdir.

Buxarlar haqqında ümumi məlumat verdikdə, doymuş maye, nəm buxar və quru doymuş buxarın, müəyyən təzyiqlə uyğun olan eyni  $t_s$ - qaynama temperaturunda olduğunu qeyd etmişdik. Buna görə də, şəkildə göstərilən  $T$  izotermi  $p$  təzyiqinə uyğun olan qaynama temperaturu olarsa,  $a$  nöqtəsi doymuş mayenin,  $b$  nöqtəsi quru doymuş buxarın,  $c$  nöqtəsi isə nəm buxarın bir halını göstərər.



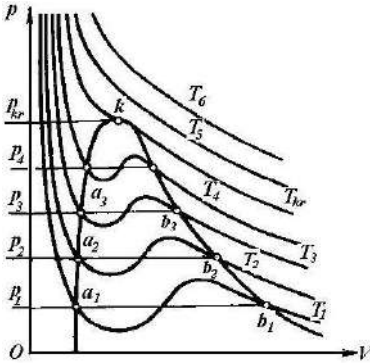
**Şək.7.1. Van-der-Vaals izotermi**

Qeyd etmək lazımdır ki,  $T$  izotermiminin  $p$  təzyiqinə uyğun olan qaynama temperaturu olması üçün şəkildə ştrixlənmiş sahələr bir-birinə bərabər olmalıdır. Bunu isbat etmək üçün Van-der-Vaals izotermi  $abc$  ilə praktiki izoterm  $ab$ -dən əmələ gələn tsiklə Klauzius inteqralları tətbiq etmək lazımdır.

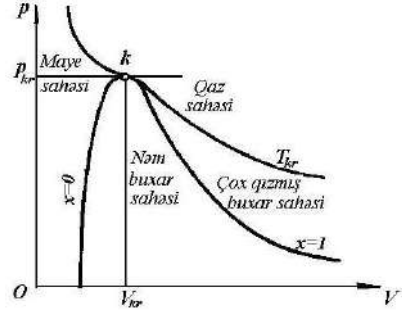
Şəkil 7.1 - də bir təzyiqdən ötrü  $a$  və  $b$  nöqtələrinin qurulma üsulu göstərilmişdir. Şəkil 7.2 - də isə həcmə  $a$  və  $b$  nöqtələri müxtəlif təzyiqlərdən ötrü qurulmuşdur. Burada  $a_1, a_2, a_3, \dots$  və  $b_1, b_2, b_3, \dots$  nöqtələri müxtəlif təzyiqlərdə olan doymuş mayenin və quru doymuş buxarın hallarını göstərir.  $a_1, a_2, a_3, \dots$  nöqtələrini birləşdirən əyriyə aşağı sərhəd əyrisi,  $b_1, b_2, b_3, \dots$  nöqtələrini birləşdirən əyriyə isə yuxarı sərhəd əyrisi deyilir.

Şəkil 7.2-dən görürük ki,  $T_{kr}$  ilə işarə olunan kritik izoterm göstərilən bütün izotermələri iki qrupa ayırır.  $T_{kr}$ -dən aşağıdakı izotermələr izobarlarla üç nöqtədə,  $T_{kr}$ -dən yuxarıdakı izotermələr isə izobarlarla yalnız bir nöqtədə kəşifir. İzobar ilə izotermələri

bir nöqtədə kəsişməsi maddənin Van-der-Vaals tənliyinə yox, Klayperon-Mendeleyev tənliyinə tabe olmasını, yəni qaz halında olmasını göstərir. Buna görə də  $T_{kr}$ -dən yuxarı sahə, şəkil 7.3 - də göstəriləndiyi kimi, qaz sahəsini təsvir edir. Həmin şəkildə, eyni zamanda maddənin müxtəlif halları, yəni  $T_{kr}$  izotermi ilə  $x=1$  yuxarı sərhəd əyrisi arasındakı sahənin çox qızmış buxar əyrisi olması,  $x=0$  aşağı sərhəd əyrisi ilə  $x=1$  yuxarı sərhəd əyrisi arasındakı sahənin nəm buxar sahəsi olması,  $x=0$  aşağı sərhəd əyrisi və kritik izotermi ilə  $p$  oxu arasındakı sahənin- maye sahəsi olması göstərilmişdir.



**Şəkil 7.2.**  $T_{kr}$  ilə işarə olunan kritik izotermilər



**Şəkil 7.3.**  $T_{kr}$ -dən yuxarıdakı izotermilər

Sərhəd əyrilərinin kəsişmə nöqtəsi  $k$ -kritik nöqtə adlanır. Bu nöqtənin parametrləri:  $p_{kr}$ - kritik təzyiq,  $V_{kr}$ - kritik həcm və  $T_{kr}$ - kritik temperaturdur. Hər maddənin özünəməxsus xüsusi kritik parametrləri vardır. Məsələn, su üçün:

$$p_{kr}=225,65 \text{ ata}, V_{kr}=0,00326 \text{ m}^3/\text{kq}, T_{kr}=374,15^\circ\text{C}.$$

$p_{kr}$ - kritik təzyiq elə təzyiqdür ki, bu təzyiqdən aşağı təzyiqdə olan mayelər qaz halına buxarlanaraq, bu təzyiqdən yuxarı təzyiqlərdə olan mayelər isə qaz halına buxarlanmayaraq keçir.

$V_{kr}$ - kritik həcm mayenin maksimum həcmidir, yəni maddənin xüsusi həcmi  $V_{kr}$ -dən böyük ola bilməz.  $T_{kr}$ - elə temperaturdur ki, maddə bu temperaturdan yuxarı temperaturda həmişə qaz halında olur.



### ***Yoxlama sualları***

1. Quruluq dərəcəsi nəyə deyilir? 2. Nəmlik dərəcəsi nəyə deyilir? 3. Buxar alınmasının periodları necədir? 4. Doymuş mayenin göstəriciləri hansılardır? 5. Quru doymuş buxarın göstəriciləri hansılardır? 6. Buxar tutumu nəyə deyilir? 7. Qızmış buxar nəyə deyilir? 8. Van-der-Vaals tənliyinin real qazlardan ötrü təklif olunmuş hal tənliyi necədir? 9. Doymuş maye nəyə deyilir? 10. Quru doymuş buxar nəyə deyilir? 11. Nəm buxar nəyə deyilir? 12. Van-der-Vaals izotermii necədir? 13. Kritik təzyiq nədir? 14. Kritik həcm nədir? 15. Kritik temperatur nədir?

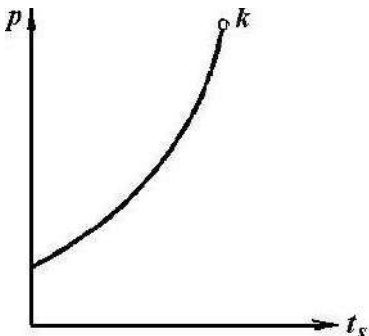
VIII FƏSİL  
DOYMUŞ MAYENİN, QURU DOYMUŞ BUXARIN,  
NƏM BUXARIN VƏ ÇOX QIZMIŞ BUXARIN HALLARINI  
TƏYİN EDƏN ƏSAS PARAMETRLƏR

**8.1. Doymuş mayenin halını təyin edən əsas parametrlər**

**8.1.1. Qaynama temperaturu ilə təzyiq arasındakı asılılıq.** Qaynama temperaturu şəkil 8.1-də göstərilən kimi, təzyiqdən asılı olaraq dəyişir. Su üçün həmin əyrinin bir hissəsi, yəni 0,9-dan 40 *ata* kimi, riyazi olaraq aşağıdakı empirik düsturla ifadə edilir:

$$t_3 = 100\sqrt[4]{p}, \quad (8.1)$$

burada  $p$ -nin qiyməti  $\text{kQ}/\text{sm}^2$  ilə verilməlidir.



**Şək.8.1. Qaynama temperaturunun təzyiqdən asılı olaraq dəyişməsi**

Qeyd etmək lazımdır ki, bütün maddələri əhatə edə bilən  $t_s = f(p)$  asılılığı hələ aşkar şəkildə nəzəri olaraq tapılmamışdır. Buna görə də həmin asılılıq müxtəlif maddələr üçün müxtəlif empirik ifadələr şəklində verilir.

Ən çox yayılmış loqarifmik yarımempirik ifadə Klayperon-Klauzius tənliyindən çıxarılır. Klayperon-Klauzius tənliyi buxarlar üçün belə yazılır:

$$V'' - V' = \frac{i'' - i'}{T_s} \cdot \frac{dT_s}{dp},$$

buradan  $V'$ ,  $i'$  və  $V''$ ,  $i''$ -doymuş maye ilə quru doymuş buxarın xüsusi həcmi və entalpiyasını göstərir.

Yazdığımız tənlikdə  $V''$ -ə nisbətən kiçik olan  $V'$ -i təxmini olaraq Klayperon-Mendeleyev tənliyinə əsasən  $RT_s/p$  ilə əvəz etdikdə və dəyişən gizli buxarlanma istiliyi  $i'' - i' = r$ -i sabit götürdükdə alırıq ki,

$$\frac{dp}{p} = \frac{r}{R} \frac{dT_s}{T_s^2}.$$

Alınan ifadəni inteqralladıqda,  $p$  ilə  $T_s$  arasındakı asılılıq belə olur:

$$\lg p = a - \frac{b}{T_s}. \quad (8.2)$$

Alınan (8.2) tənliyini aşağıdakı şəkildə yazaraq,

$$\lg p = a - \frac{b}{c + t_s}, \quad (8.3)$$

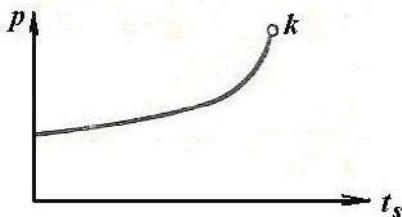
$a$ ,  $b$  və  $c$ - kəmiyyətlərinə sabit əmsallar kimi baxılır.

(8.2) və (8.3) tənliklərinə daxil olan  $a$ ,  $b$  və  $c$  əmsalları, hər maddə üçün  $t_s$ -in  $p$ -dən asılı olaraq alınmış empirik qiymətlərinə əsasən tapılır.

Bütün mayelərdən ən yaxşı öyrəniləni sudur. Buna görə də, su üçün  $t_s$  ilə  $p$  arasındakı asılılıq, M.P.Vukaloviç tərəfindən tərtib edilmiş, quru doymuş su buxarı cədvəlində verilir. Həmin cədvəl iki variantda tərtib olunur. Birinci variantda tərtib olunmuş cədvəl temperaturla ikinci variantda tərtib olunmuş cədvəl isə təzyiqlə başlayır. Bu cədvəllər temperatura uyğun olan təzyiqli və ya təzyiqlə uyğun olan temperaturu asanlıqla tapmağa imkan verir (əlavə 1 və 2).

**8.1.2. Doymuş mayenin həcmi.** Doymuş mayenin xüsusi həcmi temperaturdan asılılığı şəkil 8.2 - də göstərilmişdir.  $V' = f(T_s)$  və ya  $V' = \varphi(p)$  asılılıqları sudan ötrü, həmçinin qeyd

edilən, quru doymuş su buxarı cədvəllərində verilmişdir.



**Şək.8.2. Doymuş mayenin xüsusi həcmnin temperaturdan asılılığı**

$V_0=0,001 \text{ m}^3/\text{kq}$  və  $V_{kr}=0,00326 \text{ m}^3/\text{kq}$  olduğundan, suyun temperaturu  $0^\circ\text{C}$ -dən  $t_{kr}$ -dək dəyişdikdə, onun xüsusi həcmi təxminən 3 dəfə böyüyəcək.

**8.1.3. Doymuş mayenin istiliyi.** 1 kq mayenin, təzyiqli sabit qalmaq şərti ilə,  $0^\circ\text{C}$ -dən qaynama temperaturunadək qızdırmaq üçün tələb olunan istiliyə doymuş maye istiliyi deyilir. Maye istiliyini  $q$  ilə işarə etsək:

$$q = \int_0^{t_s} c_p dt = \int_{273}^{t_s} c_p dT, \quad (8.4)$$

burada  $c_p = f(t)$  - mayenin sabit təzyiqdəki istilik tutumudur.

Su üçün  $c_p \approx 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kqK}}$  qəbul etsək, (8.4) ifadəsinə əsasən, maye istiliyindən ötrü aşağıdakı yazılan sadə və təxmini ifadəni alarıq:

$$q \approx t_s. \quad (8.5)$$

Bu ifadədən görünür ki, suyun qaynama temperaturu  $70^\circ\text{C}$  olarsa, onun qaynamasına təxminən 70 kkal istilik sərf olunmalıdır.

**8.1.4. Doymuş mayenin entalpiyası.** Temperaturu  $0^\circ\text{C}$  olan maye üçün yazılan  $i_0 = U_0 + pV_0$  entalpiya ifadəsində daxili enerjini, şərti olaraq, sıfıra bərabər qəbul edirik. Bu halda

$i_0 = pV_0$  olacaqdır.

Qaynama temperaturunda olan mayenin entalpiyası, 0°C-də olan mayenin entalpiyası ilə maye istiliyinin cəminə bərabər olmalıdır, yəni

$$i' = i_0 + q$$

və ya

$$i' = q + pV_0. \quad (8.6)$$

Aşağı təzyiqlərdə olan doymuş mayenin entalpiyası ədədi qiymətcə maye istiliyinə və ya qaynama temperaturuna bərabər olmalıdır, yəni

$$i' \approx q \approx t_s. \quad (8.7)$$

Quru doymuş su buxarı cədvəlindən görünür ki, 10 *ata*-dək (8.7) ifadəsinə əsasən, ədədi qiymətcə  $i' \approx t_s$  qəbul etmək olar, çünki  $p=10$  *ata* olduqda,  $t_s=179,04^\circ\text{C}$  və  $i' \approx 181,3$  kkal/kq olur.

**8.1.5. Doymuş mayenin entropiyası.** Mayeni, təzyiqli sabit saxlamaq şərti ilə 0°C-dən qaynama temperaturunadək qızdırdıqda, onun entropiya dəyişməsi belə ifadə olunmalıdır:

$$s' - s_0 = \int_{273}^{T_s} \frac{c_p dT}{T}. \quad (8.8)$$

Bu ifadədə mayenin istilik tutumunu sabit və 0°C-də entropiyasını sıfıra bərabər qəbul etsək, doymuş mayenin entropiyası belə olar:

$$s' = c_{pm} \ln \frac{T_s}{273}. \quad (8.9)$$

Su üçün  $s'$ -in qiyməti, temperatur və ya təzyiqli vasitəsi ilə quru doymuş su buxarı cədvəllərindən tapılır.

## 8.2. Quru doymuş buxarın halını təyin edən əsas parametrlər

Quru doymuş buxar qaynama temperaturunda olduğundan, doymuş maye üçün verdiyimiz (8.1), (8.2) və (8.3) ifadələri quru doymuş buxara da aid olacaqdır.

**8.2.1. Buxarlanma istiliyi.** 1 kq doymuş mayeni, verilmiş təzyiqdə quru doymuş buxara çevirmək üçün tələb olunan istiliyə gizli buxarlanma istiliyi deyilir.

Buxarlanma istiliyi, şəkil 8.3 - də göstəriləndi kimi, temperaturdan asılı olaraq dəyişir və temperaturun artması ilə kiçilərək kritik temperaturda sifra bərabər olur.

Buxarlanma istiliyi iki istilikdən ibarətdir:

$$r = \rho + \psi, \quad (8.10)$$

burada  $\rho = U'' - U'$  - daxili buxarlanma istiliyi, yəni daxili potensial enerjisinin dəyişməsinə sərf olunan istilik;

$\psi = p(V'' - V')$  - xarici buxarlanma istiliyi, yəni buxarlanmada görülən işə sərf olunan istilidir.

Su üçün  $r$ -in qiyməti temperatur və ya təzyiq vasitəsi ilə quru doymuş su buxarı cədvəllərindən tapılır.

**8.2.2. Quru doymuş buxarın entalpiyası.** Quru doymuş buxarın entalpiyası, doymuş maye ilə buxarlanma istiliyinin cəminə bərabər olmalıdır.

$$i'' = i' + r. \quad (8.11)$$

Quru doymuş su buxarı cədvəldən götürülmüş qiymətlərdən

$$p=25 \text{ ata } t_s=222,90^\circ\text{C} \quad i''=669,3 \text{ kkal/kq};$$

$$p=30 \text{ ata } t_s=232,76^\circ\text{C} \quad i''=669,6 \text{ kkal/kq};$$

$$p=35 \text{ ata } t_s=241,42^\circ\text{C} \quad i''=669,5 \text{ kkal/kq};$$

$$p=40 \text{ ata } t_s=249,18^\circ\text{C} \quad i''=669,0 \text{ kkal/kq}$$

və şəkil 8.4 - dən görürük ki, təzyiqin artması ilə  $i''$  əvvəlcə artır, sonra isə azalaraq,  $p_{kr}$ -də minimum qiymət alır. Deyilənlərdən görünür ki, təzyiq, təxminən 30 ata olduqda,  $i''$  maksimum qiymət alır.

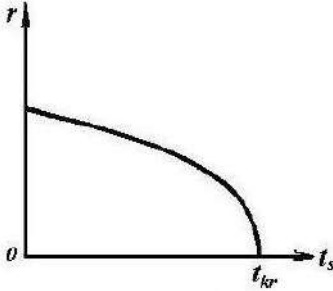
(8.6) ifadəsini nəzərə aldıqda, (8.11) ifadəsini belə də yazmaq olar:

$$i'' = q + r + pV_0 \quad (8.12)$$

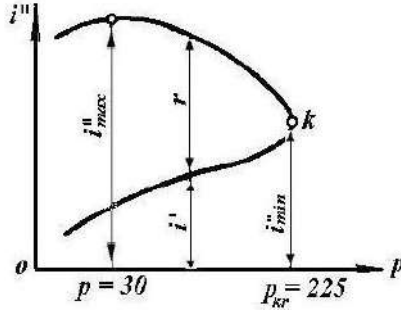
və ya

$$i'' = \lambda_s + pV_0, \quad (8.13)$$

burada  $\lambda = q + r$  quru doymuş buxar istiliyi adlanır, yəni temperaturu  $0^\circ\text{C}$  olan 1 kq mayeni, təzyiqliq sabit qalmaq şərti ilə quru doymuş buxara çevirmək üçün sərf olunan istilidir.



**Şək.8.3. Gizli buxarlanma istiliyinin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi**



**Şək.8.4. Quru doymuş buxarın entalpiyası**

Aşağı təzyiqlərdə qəbul etmək olar ki,

$$i'' \approx \lambda_s.$$

**8.2.3. Quru doymuş buxarın entropiyası.** Quru doymuş buxarın entropiyası  $s''$ - doymuş maye ilə  $(s''-s')$ - buxarlanma entropiyasının cəminə bərabərdir, yəni

$$s'' = s' + (s'' - s'),$$

burada

$$s'' - s' = \int_0^r \frac{\Delta Q}{T_s} = \frac{r}{T_s}$$

olduğundan,

$$s'' = s' + \frac{r}{T_s}$$

və ya

$$s'' = c_{pm} \ln \frac{T_s}{273} + \frac{r}{T_s}. \quad (8.14)$$

$s'' = f(T_s) = \varphi(p)$  olduğundan, su buxarı üçün onun qiyməti, adətən, temperatur və təzyiq vasitəsi ilə quru doymuş su buxarı cədvəlindən tapılır.

**8.2.4. Quru doymuş buxarın xüsusi həcmi.** Quru doymuş su buxarının həcmi, temperatur və ya təzyiq məlum olduqda, Klapeyron-Klauzius tənliyi vasitəsi ilə tapıla bilər.

Doymuş mayeni öyrəndikdə Klapeyron-Klauzius tənliyinin buxarlar üçün aşağıdakı şəkildə yazıldığını qeyd etmişdik:

$$V'' - V' = \frac{r}{T_s} \frac{dT_s}{dp}.$$

Təzyiq və ya temperatur məlum olduqda,  $V''$ -in qiyməti həmin tənliklə hesablanı bilər. Bundan ötrü,  $V'$  ilə  $r$ -in qiymətləri su buxarı cədvəllərindən,  $\frac{dT_s}{dp}$ -nin qiyməti isə şəkil

8.1 vasitəsi ilə qrafiki surətdə, yəni  $p = f(T_s)$  əyrisinə çəkilən toxunanın tangens bucağı kimi hesablanı bilər.

Su buxarı üçün  $V''$ -in qiyməti, 20 *ata*-dək aşağıdakı empirik tənlikdən də tapıla bilər

$$V'' \cdot p^{16} = 1,7235,$$

burada  $p$ -nin qiyməti *ata* ilə ifadə olunmalıdır.

Sonuncu ifadəni belə də yazmaq olar:

$$\gamma'' = \frac{1}{V''} = \frac{p^{16}}{1,7235} = 0,58 \cdot p^{16}$$

və ya

$$\gamma'' \approx 0,5p.$$

Bu düstura əsasən qeyd edirik ki, quru doymuş su buxarının xüsusi çəkisi, 20 *ata*-dək ədədi qiymətə təzyiqin yarısına bərabərdir.

Ümumiyyətlə qeyd etmək lazımdır ki, su buxarı üçün  $V''$ -in



qiyməti ya temperatur, ya da təzyiq vasitəsi ilə adətən, quru doymuş su buxarı cədvəllərindən tapılır.

### 8.3. Nəm buxarın halını təyin edən əsas parametrlər

Nəm buxar qaynama temperaturunda olduğundan, doymuş maye üçün verdiyimiz (8.1), (8.2) və (8.3) ifadələri nəm buxara da aid olmalıdır.

Nəm buxar maye ilə quru doymuş buxarın qarışığından ibarət olduğundan, onun həcmi qarışığın həcmi kimi tapılır. 1 kq doymuş mayenin  $x$  kq-ı buxarlanarsa əmələ gələn nəm buxarın həcmi  $(1-x)$  kq doymuş mayenin və  $x$  kq quru doymuş buxarın həcmindən ibarət olacaqdır:

$$V'' = (1-x)V' + xV''$$

və ya

$$V'' = V' + (V'' - V')x. \quad (8.15)$$

Həcmın tapılması üçün apardığımız mülahizəni entalpiyanın və ya entropiyanın tapılması üçün də tətbiq etsək alarıq ki:

$$i = i' + (i'' - i')x; \quad (8.16)$$

$$s = s' + (s'' - s')x \quad (8.17)$$

və ya

$$i = i' + rx; \quad (8.16')$$

$$s = s' + \frac{r}{T_s} x. \quad (8.17')$$

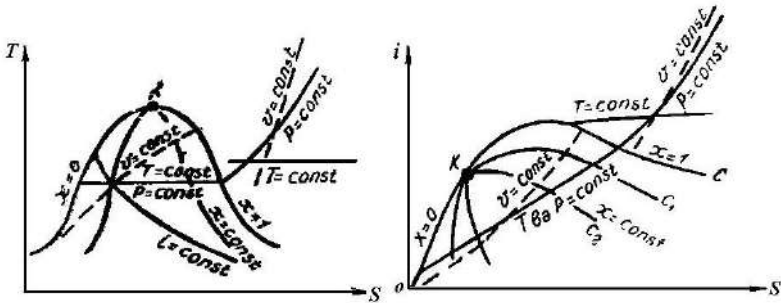
(8.15), (8.16) və (8.17) düsturlarına doymuş maye ilə quru doymuş buxarın parametrlərindən başqa, quruluq dərəcəsi daxil olduğundan, nəm buxarın parametrlərini bilavasitə quru doymuş buxar cədvəllərindən tapmaq mümkün deyil.

Deməli, nəm buxarın parametrləri yazdığımız düsturlarla hesablanmalıdır və bunun üçün  $p$  ilə  $x$  və ya da  $t_s$  ilə  $x$  məlum olmalıdır.

### 8.4. Buxarla gedən proseslər

#### 8.4.1. İzotermik proses. Nəm buxar sahəsində izotermik

proses izobar prosesinə uyğun olur. Deməli, burada izotermik prosesi izobar prosesi kimi qiymətləndirmək olar (şək.8.5).



Şək. 92. Nəm buxar sahəsində izotermik prosesin izobar prosesi kimi qiymətləndirilməsi

İzotermik prosədə işi təyin etmək üçün termodinamikanın birinci qanununu yazırıq:

$$q = u_2 - u_1 + A\ell,$$

buradan

$$A\ell = q - (u_2 - u_1). \quad (8.18)$$

Entalpiya və daxili enerji bir-birləri ilə aşağıdakı asılılıqla əlaqələnir:

$$i = u + pV,$$

buradan iki müxtəlif hal üçün

$$i_1 = u_1 + p_1V_1;$$

$$i_2 = u_2 + p_2V_2$$

və yaxud daxili enerjinin dəyişməsi

$$u_2 - u_1 = (i_2 - i_1) - A(p_2V_2 - p_1V_1). \quad (8.19)$$

(8.18) və (8.19) tənliklərindən buxarın izotermik prosədə işini təyin edirik.

**8.4.2 İzoxor prosesi.** Bu proses nəm və qızmış buxar sahəsində maili xətlə göstərilir. Məlum olduğuna görə izoxor prosədə  $V$  sabit olduğundan  $l=0$  olur; onda termodinamikanın birinci qanununa görə

$$q = u_2 - u_1$$

və yaxud

$$q = (i_2 - i_1) - V(p_2 - p_1)$$

olar.

**8.4.3. Adiabatik proses.** Adiabatik prosesdə  $dq=0$  olduğundan termodinamikanın birinci qanununa görə:

$$u_2 - u_1 + \ell = 0.$$

Buradan

$$\ell = u_1 - u_2,$$

yəni adiabatik prosesdə iş daxili enerjinin dəyişməsi hesabına görülür. (8.18) tənliyini nəzərə alsaq, yazıya bilərik:

$$\ell = (i_1 - i_2) - (p_1V_1 - p_2V_2).$$

Diaqramda bu prosesi təsvir edən əyri absis oxuna perpendikulyar olur.

**8.4.4. İzobar prosesi.**  $TS$  və  $iS$  diaqramlarında izobar prosesi şəkil 8.5 - də verilmişdir.

Nəm və qızmış buxar üçün istilik və iş aşağıdakı tənlikdən tapılır:

$$q = i_2 - i_1;$$

$$l = p(V_2 - V_1).$$

$TS$  diaqramında izobar prosesinin altındakı sahə ədədi qiymətcə istilik miqdarını ifadə edir.

Belə ki, qaynama nöqtəsinə kimi mayenin istiliyi ( $q_0$ ) olur. Qaynama prosesindən quru doymuş buxar nöqtəsinə kimi buxarlanma istiliyi  $r$  ilə və qızmış buxar nöqtəsinə kimi isə qızma istiliyi  $\Delta Q$  ilə işarə olunur.

### ***Yoxlama sualları***

1. Qaynama temperaturu ilə təzyiq arasındakı asılılıq qrafiki olaraq necə olur? 2. Klayperon-Klauzius tənliyi buxarlar üçün necə yazılır? 3. Doymuş mayenin xüsusi həcmnin temperaturdan asılılığı necə qurulur? 4. Doymuş maye istiliyi nəyə deyilir? 5. Doymuş maye istiliyi necə ifadə olunur? 6. Qaynama temperaturunda olan mayenin entalpiyası nəyə bərabərdir? 7. Doymuş

mayenin entalpiyası nəyə bərabərdir? 8. Gizli buxarlanma istiliyi nədir? 9. Gizli buxarlanma istiliyi necə ifadə olunur? 10. Gizli buxarlanma istiliyi nə zaman sıfıra bərabər olur? 11. Quru doymuş buxarın entalpiyası nəyə bərabərdir? 12. Quru doymuş buxarın entalpiyası necə ifadə olunur? 13. Quru doymuş buxarın entropiyası nəyə bərabərdir? 14. Quru doymuş su buxarının həcmi necə tapılır? 15. Nəm buxarın həcmi necə tapılır? 16. Buxarla gedən proseslər necə ifadə olunur?

## IX FƏSİL REAL QAZLAR

### 9.1. Termodinamik diferensial tənliklər haqqında

Məlumdur ki, termik parametrlər adlanan  $p$ ,  $V$ ,  $T$  kəmiyyətləri arasındakı asılılıq  $F(p, V, T) = 0$  hal tənliyi ilə müəyyən edilir. Cismin termodinamik xassələrini tam aydınlaşdırmaq üçün onun fiziki halını müəyyən edən  $p$ ,  $V$ ,  $T$  – termiki parametrlərdən əlavə, kalorik adlanan  $c_v$ ,  $c_p$ - istilik tutumlarını,  $U$  - daxili enerjini,  $i$ - entalpiyanı və  $S$ - entropiyanı da bilmək lazımdır.

Termodinamikanın birinci və ikinci qanunları göstərir ki,  $F(p, V, T) = 0$  hal tənliyi məlum olduqda, yuxarıda qeyd etdiyimiz kalorik kəmiyyətlər, aşağıda göstərilən 11 diferensial tənlikdən tapıla bilər:

1.  $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v = c_v$  1-ci diferensial tənlik, sabit həcmdə, daxili

enerji ilə istilik tutumu arasındakı əlaqəni ifadə edir.

2.  $\left(\frac{\partial i}{\partial T}\right)_p = c_p$  2-ci diferensial tənlik, sabit təzyiqdə,

entalpiya ilə istilik tutumu arasındakı əlaqəni ifadə edir.

3.  $\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v = \frac{c_v}{T}$  3-cü diferensial tənlik, sabit həcmdə,

entropiya ilə istilik tutumu arasındakı əlaqəni ifadə edir.

4.  $\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_p = \frac{c_p}{T}$  4-cü diferensial tənlik, sabit təzyiqdə,

entropiya ilə istilik tutumu arasındakı əlaqəni ifadə edir.

5.  $\left(\frac{\partial s}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$ .

6.  $\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$  5-ci və 6-cı diferensial tənliklər

entropiya ilə hal parametrləri arasındakı əlaqəni ifadə edir.

$$7. \quad c_p - c_v = T \left( \frac{\partial T}{\partial T} \right)_p \cdot \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \quad 7\text{-ci diferensial tənlik istilik}$$

tutumları fərqi ilə hal parametrləri arasındakı əlaqəni verir.

$$8. \quad \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p \quad 8\text{-ci diferensial tənlik daxili enerji}$$

ilə hal parametrləri arasındakı əlaqəni verir.

$$9. \quad \left( \frac{\partial i}{\partial p} \right)_T = -T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p + V \quad 9\text{-cu diferensial tənlik entalpiya}$$

ilə hal parametrləri arasındakı əlaqəni verir.

$$10. \quad \left( \frac{\partial c_v}{\partial V} \right)_T = T \left( \frac{\partial^2 p}{\partial T^2} \right)_v \quad 10\text{-cu diferensial tənlik sabit həcmli}$$

istilik tutumu ilə hal parametrləri arasındakı əlaqəni verir. Bu tənlik 3-cü və 5-ci tənliklərin kombinasiyasından alınır.

$$11. \quad \left( \frac{\partial c_p}{\partial p} \right)_T = -T \left( \frac{\partial^2 V}{\partial T^2} \right)_p \quad 11\text{-ci diferensial tənlik sabit}$$

təzyiqli istilik tutumu ilə hal parametrləri arasındakı əlaqəni verir. Bu tənlik 4-cü və 6-cı tənliklərin kombinasiyasından alınır.

**9.1.1. Termik əmsallar.** İzotermik sıxılma, bütün cismlər üçün müsbət kəmiyyət olub, belə ifadə edilir:

$$\beta_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T.$$

Adiabatik sıxılma, izotermik sıxılmaya oxşayır və belə ifadə olunur:

$$\beta_s = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_s.$$

Cismin termik genişlənmə əmsalı  $\alpha$  ilə işarə edilir:

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p.$$

Təzyiqin termik əmsalı  $\gamma$  ilə işarə olunur:

$$\gamma = \frac{1}{p} \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v .$$

## 9.2. Real qazların hal tənlikləri

Real qazlarda molekullar arası məsafə nisbətən az olduğundan burada molekulların təsir qüvvələri gözə çarpacaq dərəcədə özünü göstərir, molekulların həcmi qazın tutduğu həcmə müqayisə edilə bilər.

Real qazların Boyle-Mariott (1662) qanununa tabe olmaması və bunun səbəbləri böyük rus alimi Lomonosov tərəfindən (1748) qeyd olunmuş və onun verdiyi ideyalar, təxminən 100 il keçdikdən sonra, real qazlar üçün verilən hal tənliklərinin çıxarılışında istifadə olunmuşdur.

Düpre, molekulların tutduğu həcmi nəzərə alaraq, Klapeyron tənliyini 1864-cü ildə aşağıdakı şəkildə yazdığı təklif etmişdir:

$$p(V - b) = RT . \quad (9.1)$$

Qrin, molekullar arasındakı ilişmə qüvvəsini nəzərə alaraq, Klapeyron tənliyində ikinci əlavəyə ehtiyac olduğunu 1965-ci ildə qeyd etmişdir, yəni

$$(p + \pi)(V - b) = RT . \quad (9.2)$$

Van-der-Vaals, molekullar arasındakı ilişmə qüvvəsinin həcm kvadratı ilə tərs mütənəsib olmasını isbat edərək, hal tənliyinin real qazlardan ötrü, aşağıdakı şəkildə yazılmasını 1873-cü ildə təklif etmişdir:

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

Müəyyən edilmişdir ki, Van-der-Vaals tənliyi özünü kəmiyyətə yox, yalnız keyfiyyətə doğruldu.

Qeyd etmək lazımdır ki, real qazlardan ötrü kəmiyyətə dəqiq nəticələr verə bilən universal tənlik hələ də təklif edilməmişdir. Buna səbəb, molekullar arasındakı qarşılıqlı təsirin çox mürəkkəb olmasıdır. Ona görə də bir çox alimlər, kəmiyyətə yaxşı nəticələr verən Van-der-Vaals tənliyini kəmiyyətə doğrultmaq

məqsədi ilə həmin tənliyə düzəlişlər verərək, yarımempirik tənliklər almışlar.

Hazırda real qazlar üçün 150-dən artıq tənlik vardır. Bunlardan bəzilərini göstərək:

**Klauzius tənliyi.** Klauzius, molekullar arasındakı ilişmə qüvvəsini bir mütləq temperaturla tərs mütənasib hesab edərək, Van-der-Vaals tənliyini belə ifadə etmişdir:

$$\left[ p + \frac{a}{T(V+c)^2} \right] (V-b) = RT, \quad (9.3)$$

burada  $c$  yeni sabit əmsaldır.

**Bertlo tənliyi.** Bertlo Klauzius tənliyindəki  $c$  sabitini nəzərə almır və öz tənliyini belə ifadə edir:

$$\left[ p + \frac{a'}{TV^2} \right] (V-b) = RT. \quad (9.4)$$

Bu tənliyi Van-der-Vaals tənliyi ilə müqayisə etdikdə,  $\frac{a'}{T} = a$  olduğunu görürük.

Keçmiş sovet alimi N.N.Boqolyubovun amerika alimi D.Mayyerdən asılı olmayaraq, statistik fizika metodları ilə aldığı tənlik belə ifadə olunur:

$$pV = RT \left[ 1 - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k}{k+1} \frac{\beta_k}{V^k} \right], \quad (9.5)$$

burada  $\beta_k$ - temperaturdan asılı olaraq, virial əmsalları göstərir.

Real qazların hal tənliyi çox vaxt aşağıdakı virial formada da yazılır:

$$\frac{pV}{RT} = 1 + \frac{B}{V} + \frac{C^+}{V^2} + \frac{D}{V^3} + \dots, \quad (9.6)$$

burada  $B, C, D, \dots$  temperaturdan asılı olaraq ikinci, üçüncü, dördüncü və s. virial əmsalları adlanır.

Həmin tənlik, təcrübədən alınan  $z = \frac{pV}{RT}$  - sıxılma əmsalını ifadə etmək məqsədi ilə, birinci olaraq, 1901-ci ildə Kamerling



Onnes tərəfindən istifadə edilmişdir.

Hal tənliyi virial formada bəzən belə də yazılır:

$$pV = A + Bp + Cp^2 + \dots, \quad (9.7)$$

burada  $A=RT$ .

Çox vaxt hal tənliyi aşağıdakı sıxılma əmsalı ilə də ifadə olunur:

$$pV = zRT. \quad (9.8)$$

Bu tənlikdə, sıxılma əmsalı adlanan  $z$  həm təzyiq, həm də temperaturdan asılı olaraq dəyişir, yəni  $z = f(pT)$ .

**Van-der-Vaals tənliyi.** Qazların kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyi olan

$$pV = \frac{2}{3}E \quad (9.9)$$

düsturu ideal qazlar üçündür. Yəni, bu tənlik, molekulları arasında ilişmə qüvvəsi olmayan, molekulların öz həcmi isə qazın tutduğu həcmə görə nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçik olan qazlar üçündür. Təbiətdə belə qazlar yoxdur. Ona görə də bütün real qazlar az və ya çox dərəcədə (9.9) tənliyindən və ya ondan çıxan nəticələrdən meyl edir. Bütün real qazlar böhran temperaturundan aşağı temperaturalarda mayeləşə bildiyindən onlara müəyyən mayeləri ifrat qızmış buxarları kimi baxmaq olar. Qaz maye halına yaxın olduqca, onun ideal qaz qanunlarından olan meyli də bir o qədər çox olur.

Lakin, Boyle-Mariott və Gey-Lüssak qanunlarının təcrübədən təyin edilməsi faktı göstərir ki, çox hallarda real qazlar ideal qaz halına yaxın olur. Məsələn, hidrogen, azot oksigen, hava, karbon qazı və s. istilik texnikasında işlədildikləri şəraitdə maye fazadan çox uzaq olduqlarından xassəcə ideal qaz qanunlarına yaxın olur.

Real qazların molekulları arasında ilişmə qüvvəsinin mövcud olması daxili təzyiqin yaranmasına səbəb olur. Bu təzyiqi  $p_l$  ilə işarə etsək

$$p_l = \frac{a}{V^2}.$$

Çünki molekullar arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi məsafəsinin 6...7 - ci dərəcəsi ilə mütənasibdir (və ya həcmnin 2-ci dərəcəsi ilə mütənasibdir).

cəsi ilə). Bundan başqa, real qaz molekullarının özlərinin də xüsusi həcmi olduğundan ( $b$ ) onların sərbəst həcmi  $V-b$  olar və bir qrammol ideal qaz üçün

$$pV = RT$$

şəklində yazılan tənlik bir qrammol real qaz üçün

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad (9.10)$$

Həmin düsturdakı  $a$  və  $b$  sabitlərinə Van-der-Vaals sabitləri deyilir. Bunlar müəyyən qaz üçün sabit olub, müxtəlif qazlar üçün müxtəlifdir.

(9.10) düsturu real qazlar üçün hal tənliyi və ya Van-der-Vaals tənliyidir. Düsturdan görüldüyü kimi,  $a$  sabitinin ölçüsü  $\frac{l^2 atm}{mol^2}$ ,  $b$  sabitinin ölçüsü isə  $\frac{l}{mol}$ -dur.

Real qazların 1939-cu ildə professor M.P.Vukaloviç və İ.İ.Novikov tərəfindən verilmiş hal tənliyi Van-der-Vaals tənliyinə nəzərən daha dəqiqdir. Bu tənlik nəinki molekulların həcmi olmasını və onlar arasında ilişmə qüvvəsini, hətta molekulların assosiasiyasını, yəni qaz qarışıqlarında molekulların birləşərək iki və üçqat molekullar əmələ gətirdiyini nəzərə alır.

### 9.3. Real qazlar üçün professor M.P.Vukaloviçin hal tənliyi

Tədqiqat göstərmişdir ki, qazlar həmişə Van-der-Vaals tənliyinə uyğun gəlmir. Həqiqi qazların Van-der-Vaals tənliyindən fərqlənməsinin səbəbi odur ki, temperaturun azalması ilə təzyiq artır ki, bu zaman qazlarda assosiasiya hadisəsi əmələ gəlir (tək molekulların ikiləşmə, üçləşmə və başqa mürəkkəb hallara keçməsi). Assosiasiya hadisəsini nəzərə alsaq, onda qazları bircisimli qazlar kimi deyil, tək, ikiləşmiş, üçləşmiş və s. molekulları olan qazların qarışığı kimi qiymətləndirmək lazımdır. Real qazlarda geniş intervalda temperatur ilə təzyiq dəyişdikdə təcrübədən alınan ədədlərə uyğun olan hal tənliyi 1937-ci ildə ilk dəfə prof. M.P.Vukaloviç tərəfindən kəşf edilmişdir. Onun hal tənliyi

qazlarda olan assosiasiya hadisəsini nəzərə alır. Real qazlarda assosiasiya hadisəsində ancaq ikiləşmiş molekulları olan hal üçün Vukaloviçin tənliyi aşağıdakı şəkildədir.

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \left(1 - \frac{C}{T^{\frac{3+2m}{2}}}\right),$$

burada  $C$ - sabiti ikiləşmiş molekulların xüsusiyyətini ifadə edən kəmiyyətdir.

#### 9.4. Van-der-Vaals tənliyindəki sabit kəmiyyətlərin təyini

Kritik nöqtədə izotermanın əyilməsi şərtini əsas tutaraq diferensial həndəsə qaydalarına görə Van-der-Vaals tənliyindəki sabit kəmiyyətlər təyin olunur. Diferensial həndəsədən məlumdur ki, əyrinin kəsilmə nöqtəsində onun tənliyinin ikinci törəməsi sıfıra bərabər olmalıdır. Digər tərəfdən bu nöqtəyə çəkilən toxunan xətt absis oxuna paralel olduğu üçün, birinci diferensial da sıfır olmalıdır. Van-der-Vaals tənliyini yazaq:

$$p = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2}. \quad (9.11)$$

Kritik halda izotermik proses üçün

$$p = \frac{RT_{kr}}{V_k - b} - \frac{a}{V_k^2}. \quad (9.11')$$

(9.11) tənliyini həcmə görə differensiallasaq:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T = -\frac{RT_{kr}}{(V - b)^2} + \frac{2a}{V^3} = 0;$$

$$\left(\frac{\partial^2 p}{\partial V^2}\right)_T = \frac{2RT_{kr}}{(V - b)^3} - \frac{6a}{V^4} = 0.$$

Birinci tənlikdən:

$$\frac{RT_{kr}}{(V - b)^2} = \frac{2a}{V^2}; \quad (9.11'')$$

ikinci tənlikdən isə alarıq

$$\frac{2RT_{kr}}{(V-b)^2} = \frac{6a}{V^4}$$

Bunları bir-birinə bölsək:

$$\frac{V-b}{2} = \frac{V}{3}.$$

Buradan  $V = 3b$ , yaxud kritik nöqtədə  $V_{kr} = 3b$  və yaxud

$$b = \frac{V_{kr}}{3}.$$

Alınan qiyməti (9.11'') tənliyində əvəz etsək:

$$\frac{RT_{kr}}{4b^2} = \frac{2a}{27b^3}.$$

Buradan:

$$T_{kr} = \frac{8a}{27bR}.$$

Əsas (9.11') tənliyində  $T_{kr}$  və  $V_{kr}$  qiymətlərini əvəz etsək alırıq

$$p = \frac{RT_{kr}}{V-b} - \frac{a}{V^2};$$

$$p_{kr} = \frac{4a}{27b^2} - \frac{a}{9b^2} = \frac{a}{27b^2}$$

Beləliklə, kritik nöqtə üçün alırıq:

$$V_{kr} = 3b;$$

$$T_{kr} = \frac{8a}{27bR};$$

$$p_{kr} = \frac{a}{27b^2}.$$

Bəzi cismlər üçün kritik parametrlər və Van-der-Vaals sabitləri cədvəl 9.1- də verilmişdir.

Van-der-Vaals tənliyinin sabitlərini ( $a$  və  $b$ -ni) qazın kritik parametrləri ilə təyin etmək üçün, kritik təzyiq və temperatur tənliklərini bir-birinə bölürük:

$$\frac{p_{kr}}{T_{kr}} = \frac{R}{8b}.$$

Buradan:

$$b = \frac{RT_{kr}}{8p_{kr}}.$$

Cədvəl 9.1

Cismlər	$p_{kr}$	$t_{kr}$	$b$	$a \cdot 10^4$
Azot	33,50	-147,13	38,6	1,347
Hidrogen	12,80	-239,9	26,6	0,245
Karbon qazı	75,00	31,0	39,4	1,46
Su	217,50	374,00	30,52	5,47
Oksigen	49,70	-118,8	31,87	1,360

$a$  sabiti aşağıdakı tənlikdən tapılır:

$$T_{kr} = \frac{8}{27} \frac{a}{bR}.$$

Buradan:

$$a = \frac{27}{8} bRT_{kr}.$$

Həmin tənlikdə  $b$ -nin qiymətini əvəz etsək aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$a = \frac{27}{64} \frac{R^2 T_{kr}^2}{p_{kr}}.$$

### Yoxlama sualları

1. Termik parametrlər adlanan  $p$ ,  $V$ ,  $T$  kəmiyyətləri arasındakı asılılıq necə müəyyən edilir? 2. Kalorik kəmiyyətlər, hansı tənlikdən tapıla bilər? 3. Termik əmsallar necə ifadə olunur? 4. Düpre, Klapeyron tənliyini neçənci ildə və necə yazdığı təklif etmişdir? 5. Qrin, Klapeyron neçənci ildə və necə yazdığı təklif etmişdir? 6. Van-der-Vaals, hal tənliyinin real qazlardan ötrü, aşağıdakı şəkildə yazılmasını neçənci ildə və necə yazdığı təklif etmişdir? 7. Van-der-Vaals tənliyi özünü necə doğruldur? 8. Hazırda real qazlar üçün nə qədər tənlik vardır? 9. Klauzius tənliyi necə ifadə olunur? 10. Bertlo tənliyi necə ifadə olunur? 11. N.N.Boqolyubovun aldığı tənlik necə ifadə olunur? 12. Real qazlar üçün hal tənliyi və ya Van-der-Vaals tənliyi necə ifadə olunur? 13. Real qazlar üçün professor M.P.Vukaloviçin hal tənliyi necə ifadə olunur? 14. Van-der-Vaals tənliyindəki sabit kəmiyyətlər necə təyin olunur?

## X FƏSİL NƏM HAVA

### 10.1. Əsas məlumat

Quru hava ilə su buxarının qarışığına nəm hava deyilir. Nəm havadan sənayenin bir çox sahələrində, xüsusən qurutma prosesində istifadə edilir.

Nəm havada su damcı və xırda buz kristalları şəklində ola bilər. Belə havanın fiziki halının öyrənilməsi ilə meteorologiya elmi məşğul olur.

Biz burada nəm havada su buxarının üç fazada, yəni çox qızmış, quru doymuş və bəzən nəm buxar hallarında olmasını öyrənməklə məşğul olacağıq.

Nəm havadan, təcrübədə atmosfer təzyiqində və ya buna yaxın təzyiqlərdə istifadə olunur. Məhz buna görə də belə nəm havaya ideal qazlar kimi baxıla bilər. Bu da nəm havanın termodinamik xassələrini öyrəndikdə, dəqiqliyi texniki hesablamalardan ötrü kifayət edən, ideal qaz qarışıqları üçün aldığımız bəzi ifadələrdən istifadə etməyə imkan yaratmış olur.

Dalton qanununa əsasən, qaz qarışığının, yəni nəm havanın təzyiqi, qarışığı təşkil edən komponentlərin, yəni quru hava ilə buxarın parsial təzyiqlərinin cəminə bərabərdir.

$$p_{nh} = p_{rh} + p_b \cdot \quad (10.1)$$

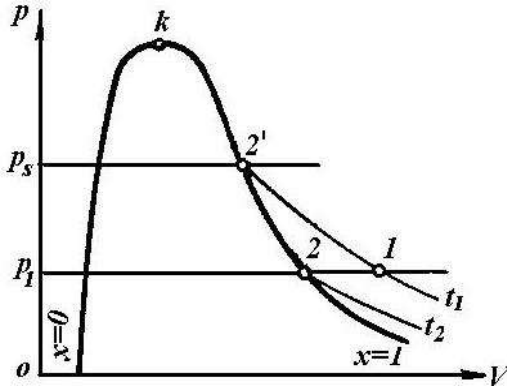
Tutaq ki,  $pV$  diaqramında (şək.10.1) nəm havanın temperaturu  $t_1$ -dir. Bu temperatura uyğun olan su buxarının maksimal parsial təzyiqi  $p_s$ -ə, yəni doyma təzyiqinə bərabər olmalıdır. Ona görə də nəm havada olan su buxarının parsial təzyiqi, nəm havanın temperaturuna uyğun olan  $p_s$  doyma təzyiqindən yüksək ola bilməz, yəni

$$p_b \leq p_s \cdot \quad (10.2)$$

$p_b < p_s$  olarsa, nəm havadakı su buxarı çox qızmış buxar halında olacaqdır (şək.10.1-də 1 nöqtəsi). Belə nəm havaya doymamış nəm hava deyilir.

$p_b = p_s$  olduqda, nəm havadakı su buxarı quru doymuş buxar halında olacaqdır (şək.10.1-də 2' nöqtəsi). Belə nəm havaya

doymuş nəm hava deyilir.



Şək.10.1 Nəm hava  $pV$  diaqramında

Tutaq ki, temperaturu  $t_1$  olan doymamış nəm havanı təzyiqli sabit qalmaq şərti ilə soyuduruq. Bu halda nəm havada olan çox qızmış su buxarı da parsial təzyiqli  $p_1 = p_b$  sabit qalmaq şərti ilə soyumalıdır. Su buxarının temperaturu şəkil 10.1-də göstərilən  $t_2 = t_s$  temperaturuna bərabər olduqda, yəni çox qızmış buxarda  $l=2$  prosesi əmələ gəldikdə, çox qızmış buxar quru doymuş buxara və beləliklə, doymamış nəm hava doymuş nəm havaya çevrilir. Buradan belə çıxır ki, doymuş nəm hava, su buxarının parsial təzyiqinə uyğun olan doyma temperaturunda olmalıdır. Həmin temperatur, şəh nöqtəsi temperaturu adlanır. Doyma xəttində suyun və buxarın parametrləri cədvəl 10.1-də verilmişdir.

Cədvəl 10.1

Doyma xəttində suyun və buxarın parametrləri

$p_H$ , MPa	$t_s$ , °C	$v' \cdot 10^3$ , m <sup>3</sup> /kq	$v''$ , m <sup>3</sup> /kq	$i'$ , kCoul/kq	$r$ , kCoul/kq	$i''$ , kCoul/kq	$S'$ , kCoul/kqK	$S''$ , kCoul/kqK
0,10	99,6	104	1,696	417,5	2674	2257	1,3026	7,3579
0,12	105	104	1,430	439,3	2683	2243	1,3610	7,3972
0,16	113	105	1,092	475,4	2696	2220	1,4550	7,2017

Deməli, nəm havanın temperaturu, tərkibindəki buxarının parsial təzyiqinə uyğun olan doyma temperaturuna bərabər olarsa, buna şəh nöqtəsi temperaturu deyilir. Şeh nöqtəsi temperaturunda

olan nəm havanı bir qədər soyutsaq, proses nəm buxar sahəsində baş verdiyindən, buxarın parsial təzyiği azalar və buxar kondensasiya etməyə başlayar. Şeh nöqtəsi temperaturu hiqrometr adlanan cihazla müəyyən edilir.

## 10.2. Nəm tutumu

Nəm havadakı buxarın kütləsinin quru havanın kütləsinə nisbətinə çəki nəm tutumu deyilir,

$$d = \frac{G_b}{G_{q.h.}} . \quad (10.3)$$

Quru havanın kütləsi, adətən, 1 kq götürüldüyündən, kütlə nəm tutumu  $d$ , 1 kq quru havaya düşən nəmliyin (kiloqram və ya qram ilə) kütləsinə göstərir.

Bəzən mol nəm tutumundan da istifadə edilir.

Nəm havada olan buxarın mol sayının quru havanın mol sayına nisbətində mol nəm tutumu deyilir:

$$x = \frac{M_b}{M_{q.h.}} = \frac{(G/\mu)_b}{(G/\mu)_{q.h.}} = \frac{\mu_{q.h.} G_b}{\mu_b G_{q.h.}} . \quad (10.4)$$

$$\mu_{q.h.} = 28,96 \text{ və } \mu_b = 18,016 \text{ olduğundan,} \\ x = 1,61d \quad (10.5)$$

və ya

$$d = 0,622x . \quad (10.6)$$

Nəm hava daxilində olan buxar və quru hava üçün Klayperon-Mendeleyev tənliyini parsial təzyiqlər vasitəsi ilə yazsaq

$$p_b \cdot V = M_b \cdot 848T ;$$

$$p_{q.h.} \cdot V = M_{q.h.} \cdot 848T .$$

Bu ifadələri tərəf-tərəfə böldükdə alırıq ki,

$$\frac{p_b}{p_{q.h.}} = \frac{M_b}{M_{q.h.}} .$$

(10.4) ifadəsini nəzərə alsaq, mol nəm tutumu aşağıdakı kimi olacaq:

$$x = \frac{p_b}{p_{q.h.}} . \quad (10.4')$$



(10.1) ifadəsini nəzərə aldıqda isə

$$x = \frac{P_b}{P_{n.h.} - P_b}, \quad (10.7)$$

burada  $p_{n.h.}$ - nəm havanın, yəni qaz qarışığının təzyiqini göstərir.

(10.6) düsturunda  $x$ -in qiymətini (10.7) ifadəsi ilə əvəz etsək, çəki nəm tutumu üçün alarıq:

$$d = 0,622 \frac{P_b}{P_{n.h.} - P_b}. \quad (10.8)$$

Su buxarının maksimum parsial təzyiqi (10.2) ifadəsinə əsasən nəm havanın temperaturuna uyğun quru doymuş buxarın  $p_s$  təzyiqinə bərabər olduğundan, bu təzyiq üçün çəki nəm tutumunun maksimum qiyməti belə ifadə edilir:

$$d_s = 0,622 \frac{P_s}{P_{n.h.} - P_s}. \quad (10.9)$$

Nəm havanın, yəni qaz qarışığının təzyiqi  $p_{n.h.}$  və çəki nəm tutumu  $d$  məlum olduqda, buxarın parsial təzyiqi  $p_b$  (10.8) düsturuna əsasən aşağıda göstərilən düsturdan tapılır:

$$d_s = \frac{P_{n.h.} \cdot d}{0,622 + d}. \quad (10.10)$$

Bu ifadəni nəzərə aldıqda, Dalton qanununa görə yazılan (10.1) düsturundan, havanın parsial təzyiqi  $p_{q.h.}$  üçün aşağıdakı düsturu alarıq:

$$p_{q.h.} = \frac{0,622 p_{n.h.}}{0,622 + d}. \quad (10.11)$$

### 10.3. Mütləq nəmlik, nisbi nəmlik və doyma dərəcəsi

1 m<sup>3</sup> havada olan su buxarının çəkisinə mütləq nəmlik deyilir. Nəm havadakı su buxarının parsial təzyiqi

$p_b = \frac{G_b}{V} R_b T = \gamma_b R_b T$  olduğundan, mütləq nəmlik, ədədi qiymət-cə, belə buxarın  $\gamma_b = G_b / V$  xüsusi çəkisinə bərabər olmalıdır.

Verilən təzyiq və temperaturda nəm havadakı su buxarı quru doymuş buxar halına gətirilərsə,  $p_s > p_b$  olduğundan  $\gamma_s = G_s / V$  maksimum mütləq nəmliyi və ya maksimum xüsusi çəkisi ifadə etmiş olar.

Mütləq nəmliyin, maksimum mütləq nəmliyə nisbətində nisbi nəmlik deyilir və  $\varphi$  ilə işarə edilir:

$$\varphi = \frac{\gamma_b}{\gamma_s}. \quad (10.12)$$

Klapeyron-Mendeleyev tənliyini nəzərə aldıqda, (10.12) ifadəsini

$$\varphi = \frac{p_b}{p_s} \quad (10.13)$$

kimi yazıla bilər. Bu düstura əsasən, nisbi nəmliyə nəm havada olan su buxarının parsial təzyiqinin, eyni temperaturdakı quru doymuş su buxarının təzyiqinə (yəni su buxarının maksimum parsial təzyiqinə) nisbəti kimi də baxmaq olar.

Nəm havadakı su buxarının parsial təzyiqi  $p_b$  sıfır ilə  $p_s$  arasında dəyişdiyindən, nisbi nəmlik (10.13) ifadəsinə əsasən, 0 ilə 1 arasında dəyişməlidir.

Adətən,  $\varphi$  faizlə ifadə olunur.

(10.13) ifadəsinə görə  $p_b = \varphi p_s$  olduğundan, (10.8) düsturunu, yəni çəki nəm tutumunu aşağıdakı kimi də ifadə etmək olar:

$$d = 0,622 \frac{\varphi p_s}{p_{n.h.} - \varphi p_s} \quad (10.14)$$

və ya

$$\varphi = \frac{d}{0,622 + d} \cdot \frac{p_{n.h.}}{p_s}. \quad (10.14')$$

$\varphi$ ,  $p_s$  və  $\gamma_s$  məlum olduqda, nəm havadakı su buxarının xüsusi çəkisi və parsial təzyiqi, (10.12) və (10.13) ifadələrinə əsasən, aşağıdakı düsturlardan tapıla bilər

$$\gamma_b = \varphi \gamma_s; \quad (10.12')$$

$$p_b = \varphi \cdot p_s. \quad (10.13')$$

Yazdığımız düsturlara daxil olan  $p_s$  və  $\gamma_s$ -in qiymətləri nəm

havanın temperaturu vasitəsi ilə quru doymuş su buxarı cədvəlidən tapılır.

Doymamış nəm havanın çəki nəm tutumunun doymuş havanın çəki nəm tutumuna nisbətində doyma dərəcəsi deyilir və  $\psi$  ilə işarə edilir:

$$\psi = \frac{d_b}{d_s}. \quad (10.15)$$

(10.8) və (10.9) düsturlarını nəzərə aldıqda, (10.15) ifadəsi bir qədər dəyişir:

$$\psi = \frac{P_b}{P_s} \cdot \frac{P_{n.h.} - P_s}{P_{n.h.} - P_b}. \quad (10.16)$$

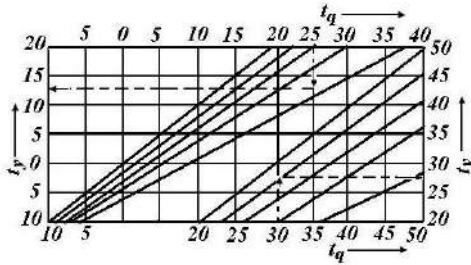
(10.13) düsturunu nəzərə aldıqda isə həmin düstura nisbi nəmlik də daxil olur:

$$\psi = \varphi \frac{P - P_s}{P - P_b}. \quad (10.17)$$

Nisbi nəmlik psixrometr adlanan cihazla müəyyən edilir. Psixrometr iki termometrədən ibarətdir. Bunlardan biri yaş, digəri isə quru termometr adlanır. Yaş termometrin civə kürəciyi su ilə isladılmış parçaya bükülmüşdür. Termometrlərin kürəciklərinə nəm hava üfürüldükdə, quru termometr  $t_q$  ilə işarə olunan nəm havanın temperaturunu, yaş termometr isə  $t_y$  ilə işarə olunan isladılmış parçadakı suyun temperaturunu göstərir. Qeyd etmək lazımdır ki, yaş termometrin həqiqi temperaturu termometrin civə sütununa şüalanma və istilikkeçirmə ilə verilən istiliklə əlaqədardır. Həmin istiliklərin təsirini azaltmaq üçün üfləyici havanın sürətini artırmaq lazım gəlir.

Üfürülən havanın istiliyi tamamilə isladılmış parçadakı suyun buxarlanmasına sərf edilərsə, belə prosesə uyğun olan temperatura  $t_y$  yaş termometrin temperaturu deyilir.

Quru termometrlə yaş termometrin temperaturlar fərqi ( $t_q - t_y$ ) nəm havanın nəmliyindən asılı olaraq dəyişir. Təcrübədən müəyyən edilmiş həmin asılılıq şəkil 10.2-də qrafiki təsvir olunmuşdur. Psixrometrin göstərdiyi  $t_q$  və  $t_y$  temperaturlarını bildikdə, həmin diaqram  $\varphi$ -nin tapılmasına imkan verir.



Şək.10.2. Quru termometrlə yaş termometrin temperaturular fərqinin ( $t_q-t_y$ ) nəm havanın nəmliyindən asılı olaraq dəyişməsi

#### 10.4. Nəm havanın qaz sabiti və xüsusi çəkisi

İdeal qazlar bəhsindən məlumdur ki, qaz qarışığının qaz sabiti belə ifadə olunur:

$$R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{(r\mu)_{q.h.} + (r\mu)_b}.$$

Digər tərəfdən, parsial təzyiqin həcm hissəsi ilə qaz qarışığı təzyiqinin hasilinə bərabərliyi məlum olduğundan, yaza bilərik ki,

$$P_{q.h.} = r_{q.h.} \cdot P_{n.h.}; \quad P_b = r_b \cdot P_{n.h.}.$$

$P_{n.h.} = P_{q.h.} + P_b$  olduğundan, həcm hissələri başqa cür də ifadə oluna bilər:

$$r_{q.h.} = \frac{P_{n.h.} - P_b}{P_{n.h.}}; \quad r_b = \frac{P_b}{P_{n.h.}}.$$

Həcm hissələrinin bu ifadələrini nəzərə aldıqda, nəm havanın qaz sabitini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$R = \frac{8314}{\mu_{q.h.} - (\mu_b - \mu_{q.h.})P_b / P_{n.h.}}.$$

Quru hava ilə su buxarının molekül çəkilərinin qiymətlərini yerinə yazsaq, nəm havanın qaz sabiti üçün belə bir düstur alarıq:

$$R = \frac{8314}{28,96 - 10,94 \frac{P_b}{P_{n.h.}}}. \quad (10.18)$$

Nəm havanın qaz sabitini bildikdən sonra, onun xüsusi çəkisi Klapeyron-Mendelejev tənliyinə görə belə ifadə olunur:

$$\gamma = \frac{28,96p_{n.h.} - 10,94p_b}{848T}. \quad (10.19)$$

Bu ifadəyə əsasən demək olar ki, nəm havadakı su buxarının parsial təzyiqi  $p_b$  və nəm tutumu artdıqca, nəm havanın xüsusi çəkisi azalmalıdır. Deməli, eyni temperatur və təzyiqdə olan nəm hava quru havadan yüngül olmalıdır. (I.15) ifadəsinə görə  $p_b = \varphi p_s$  olduğundan, (10.18), (10.19) düsturlarını bir qədər dəyişdirə bilərik:

$$R = \frac{29,27}{1 - 0,377\varphi \frac{p_s}{p_{n.h.}}}. \quad (10.18')$$

$$\gamma = \frac{p_{n.h.} - 0,377\varphi p_s}{29,27T}. \quad (10.19')$$

### 10.5. Nəm havanın istilik tutumu və entalpiyası

Nəm hava daxilində olan quru havaya və su buxarına ideal qazlar kimi baxıldığından, onların istilik tutumları üçün aşağıdakı qiymətləri yazı bilərik:

$$c_{rq.h} = 0,24 \frac{kcal}{kq \cdot d\text{Яr}}; \quad c_{rb} = 0,47 \frac{kcal}{kq \cdot d\text{Яr}}.$$

İdeal qazın entalpiyası sabit təzyiqli istilik tutumu ilə temperaturun hasilinə bərabər olduğundan, 1 kq quru havanın entalpiyası aşağıdakı qiyməti alacaq:

$$i_{q.h} = c_{rq.h} \cdot t = 0,24t. \quad (10.20)$$

Nəm hava daxilindəki su buxarı çox qızmış halda olarsa, çox qızmış su buxarının entalpiyası belə yazılmalıdır:

$$i = q + r + (i - i'')$$

və ya

$$i_{q.b} = c_{rsu} \cdot t_s + r + c_{rq.b} \cdot (t - t_s),$$

burada  $c_{rsu}$ -suyun istilik tutumu;

$r$ - gizli buxarlanma istiliyi;  
 $t$ - nəm havanın temperaturudur.

0 ilə  $100^{\circ}\text{C}$  arasında gizli buxarlanma istiliyinin temperaturdan, təxmini olaraq düz xətt, yəni

$$r = 595 - 0,55t_s$$

üzrə asılı olduğunu və  $c_{rsu}=1$ ;  $c_{rq.b.}=0,47$  qəbul etdikdə, çox qızmış su buxarının entalpiyası üçün yazdığımız ifadə belə şəkil alar:

$$i_{q.b.} = 595 + 0,47t. \quad (10.21)$$

$(1+d)$  kq nəm havanın entalpiyası  $I$ , tərkibindəki 1 kq quru havanın entalpiyası ( $i_{q.h.}$ ) ilə  $d$  kq su buxarının ( $d \cdot i_{q.b.}$ ) entalpiyasının cəminə bərabərdir, yəni

$$\dot{I} = i_{q.h.} + d \cdot i_{q.b.} \quad (10.22)$$

(10.20) və (10.21)-cü ifadələri nəzərə aldıqda, (10.22) düsturu, yəni  $(1+d)$  kq nəm havanın entalpiyası belə ifadə olunur.

$$\dot{I} = 0,24t + d(595 + 0,47t). \quad (10.23)$$

Bu ifadədən görünür ki, nəm havaya ideal qaz kimi baxdıqda, onun entalpiyası havanın temperaturu ilə çəki nəm tutumundan asılı olaraq dəyişməlidir. (10.14) düsturundan istifadə etsək, (10.23) ifadəsi aşağıdakı kimi də yazıla bilər:

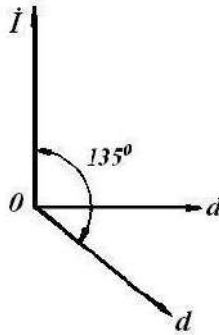
$$\dot{I} = 0,24t + 0,622 \frac{\varphi p_s}{p_{n.h.} - \varphi p_s} (595 + 0,47t). \quad (10.24)$$

## 10.6. Nəm hava üçün $\dot{I}$ - $d$ diaqramı

Nəm hava ilə əlaqədar olan bir çox məsələlərin həllini sadələşdirmək məqsədi ilə professor L.K.Ramzin 1918-ci ildə nəm hava üçün  $\dot{I}$ - $d$  diaqramının qurulmasını təklif etmişdir. Bu diaqramı qurmaqdan ötrü (10.23) ifadəsindən istifadə olunur. Müəyyən edilmişdir ki,  $\dot{I}$ - $d$  diaqramını düzbucaqlı koordinat sistemi kimi qurduqda, ondan istifadə etmək əlverişsizdir. Çünki, belə diaqramda  $100^{\circ}\text{C}$ -yə uyğun izotermli  $\varphi=1$  doyma əyrisi arasındakı sahə çox kiçik alınır. Buna görə də həmin diaqramı  $\dot{I}$  və  $d$  oxları arasında  $135^{\circ}$  olan, korbucaqlı koordinat sistemində təsvir

etmək lazımdır (şək.10.3).

Belə diaqramların həqiqi absis oxu  $d$ , düzbucaqlı koordinat sisteminin absis oxu ilə  $45^\circ$  bucaq təşkil edir. Buna baxmayaraq, absis oxu şərti olaraq düzbucaqlı koordinat sisteminin oxu qəbul edilir və həqiqi absis oxu üzərində ölçülən  $d$ -lərin, yəni çəki nəm tutumunun qiymətləri şərti absis oxu üzərinə keçirilir. Deməli, belə diaqramda  $d=const$  xətləri, yəni sabit nəm tutumu xətləri  $\dot{I}$  oxuna paralel,  $\dot{I}=const$  xətləri ilə  $135^\circ$  bucaq əmələ gətirir.



**Şək.10.3. Nəm hava üçün  $\dot{I}$ - $d$  diaqramı**

Körbucaqlı koordinat sisteminin absis oxundan istifadə edilmədiyindən, adətən  $\dot{I}$ - $d$  diaqramı şəkil 10.3-dəki kimi təsvir olunur.

Bu diaqramda izotermnləri qurmaq üçün (10.23) ifadəsindən istifadə edirik. Bu ifadədə  $t=const$  olduqda,  $\dot{I}=f(d)$  asılılığını alırıq. Deməli, izotermnlər həmin asılılığa uyğun olan  $\dot{I}=const$  xətləri ilə  $d=const$  xətlərinin kəsişmə nöqtələrindən keçən düz xətlərdən ibarət olacaqdır.

$\varphi=const$  xətlərini, yəni sabit nisbi nəmlik xətlərini qurmaq üçün (10.24) ifadəsindən istifadə etmək lazımdır. Həmin ifadədə  $\varphi=const$  olduqda,  $\dot{I}=f(t)$  asılılığını alırıq. Deməli, sabit nisbi nəmlik xətti  $\dot{I}=f(t)$  asılılığına uyğun olan izotermnlərlə izodinamaların kəsişmə nöqtələrindən keçməlidir. Həmin ifadəyə daxil olan  $p_{n.h.}=745$  mm c.süt.  $p_s$  isə  $t$ -yə uyğun olan su buxarının doyma təzyiqidir.

Qeyd etmək lazımdır ki, 745 mm c. süt.-na, uyğun olan 99,4°C doyma temperaturunda  $p_{n.h.}=p_s$  olduğundan (10.9) və (10.14') düsturlarına əsasən həm  $d_s$ -in, həm də  $\varphi$ -nin sonsuz olmasına səbəb olur. Buna görə də həmin temperaturda  $\varphi=const$  əyriləri qırılır, 99,4°C-dən yüksək temperaturlarda isə  $d=const$  xətti üzərinə düşərək  $\dot{I}$  oxuna paralel gedir.

Yaş termometrin temperaturuna uyğun olan  $t_v=const$  izotermiləri isə bu diaqramda qırıq düz xətlərlə təsvir olunmuşdur.

Diaqramdakı  $p=f(d)$  asılılığı, yəni su buxarının parsial təzyiqin çəki-nəm tutumundan asılılığı (10.10) ifadəsinə əsasən qurulmuşdur. Bu asılılıq düz xətdən az fərqlənən əyri şəklində alınır.

Qeyd etmək lazımdır ki, nəm hava üçün qurulan  $\dot{I}=d$  diaqramı bir çox məsələlərin həllini sadələşdirir, yəni analitik həlli qrafik üsulla əvəz etməyə imkan yaradır.

Beləliklə,  $\dot{I}-d$  diaqramının ordinat oxu üzərində quru buxarın halı ( $\varphi=0$ ), doyma əyrisi ( $\varphi=100\%$ ) üzərində doymuş havanın halı, ordinat oxu ilə doyma əyrisi arasındakı sahədə müxtəlif nisbi nəmliyə malik olan doymamış nəm havanın halları təsvir olunur. Həmin diaqramda nəm havanın halı iki parametrlə, quru doymuş havanın halı isə bir parametrlə müəyyən edilir.

$\dot{I}-d$  diaqramı vasitəsi ilə şəh nöqtəsinin temperaturunu da müəyyən etmək mümkündür. Bundan ötrü nəm havanın halını xarakterizə edən nöqtədən keçən  $d=const$  xətti ilə  $\varphi=100\%$  əyrisinin kəsişmə nöqtəsini tapmaq kifayətdir. Həmin nöqtədən keçən izoterm tələb olunan şəh nöqtəsinin temperaturunu göstərir.

$\dot{I}-d$  diaqramında yerləşən uyğun  $t=const$  və  $t_v=const$  izotermiləri  $\varphi=100\%$  əyrisi üzərində bir nöqtədə görüşməlidir.

Nəm havada gedən qızma və buxarlanma prosesləri həmin diaqramda bir nöqtədən keçən, bir-biri ilə 135° bucaq təşkil edən iki oxla göstərilmişdir. Bu oxların biri  $d=const$ , digəri isə  $\dot{I}=const$  ilə işarə olunmuşdur. Buradan belə çıxır ki, proses  $d=const$  üzrə getdikdə, entalpiya artdıqda, bu nəm havanın qızmasını, entalpiya azaldıqda isə soyumasını göstərir.

Soyuma prosesi  $d=const$  xətti ilə  $\varphi=100\%$  əyrisinin kəsişmə



nöqtəsində sona çatmalıdır. Həmin nöqtədən sonra davam edən soyuma prosesində buxarın kondensasiyası baş verdiyindən, nəm havanın nəm tutumu kiçilir.

Nəm havadakı suyun (entalpiyası sıfır olmaq şərti ilə) buxarlanması  $\dot{I} = const$  prosesi üzrə əmələ gəlməlidir.

Çünki, burada suyun buxarlanmasına sərf olunan istilik yenidən buxarla nəm havaya qaytarılır.

Kondensasiya prosesinin şərti olaraq  $\varphi = 100\%$  əyrisi üzərində əmələ gəlməsi qəbul olunur. Deməli, 1 kq quru havaya düşən kondensatın (suyun) miqdarı,  $\varphi = 100\%$  əyrisi üzərində götürülən nöqtələrin nəm tutumlarının fərqi, yəni  $(d_1 - d_2)$ -yə bərabər olmalıdır.

### ***Yoxlama sualları***

1. Nəm hava nəyə deyilir? 2. Nəm havanın təzyiqi nəyə bərabərdir? 3. Doymamış nəm hava nəyə deyilir? 4. Doymuş nəm hava nəyə deyilir? 5. Şəh nöqtəsi temperaturu nəyə deyilir? 6. Şəh nöqtəsi temperaturu hiqrometr hansı cihazla müəyyən edilir? 7. Çəki nəm tutumu nəyə deyilir və necə ifadə olunur? 8. Mol nəm tutumu nəyə deyilir və necə ifadə olunur? 9. Mütləq nəmlik nədir? 10. Nəm havadakı su buxarının parsial təzyiqi necədir? 11. Nisbi nəmlik nəyə deyilir? 12. Doyma dərəcəsi nəyə deyilir? 13. Nisbi nəmlik hansı cihazla ölçülür? 14. Nəm havanın istilik tutumu necə təyin olunur? 15. Nəm havanın entalpiyası necə təyin olunur? 16. Nəm hava ilə əlaqədar olan bir çox məsələlərin həllini sadələşdirmək məqsədi  $\dot{I}-d$  diaqramının qurulması kim tərəfindən və neçənci ildə təklif edilmişdir. 17. Nəm havada gedən qızma və buxarlanma prosesləri diaqramda necə göstərilmişdir?

İSTİLİKÖTÜRMƏ

XI FƏSİL  
İSTİLİKKEÇİRMƏ

11.1. Ümumi anlayışlar və əsas qanun

İstilikkeçirmə anlayışı cisimləri təşkil edən atom, molekul və sərbəst elektronların hərəkəti ilə izah olunur.

Bərk-dielektrik cisimlərdə və nazik təbəqəli hərəkətsiz mayelərdə istilikkeçirmə atom və molekulların bilavasitə bir-birinə dəyməsi (toxunması), metallarda əsasən sərbəst elektronların, nazik təbəqəli hərəkətsiz qazlarda isə atom və molekulların diffuziyası nəticəsində əmələ gəlir.

Cisimləri təşkil edən hissəciklərin hərəkət enerjisi temperaturla xarakterizə olunduğundan baxılan cismin daxilində istiliyin istilikkeçirmə prosesi ilə yayılması, həmin cismin daxilində temperaturun paylanması asılıdır.

**11.1.1. Temperatur sahəsi.** Hər hansı mühitin bütün nöqtələrindəki temperaturun istənilən andakı qiymətlərinin yığımına temperatur sahəsi deyilir.

Deməli, ümumi halda nəzərdən keçirilən mühitin müxtəlif nöqtələrində, müxtəlif zamanlarda temperatur müxtəlif ola bilər. Buna əsasən temperatur sahəsinin qeyri-müəyyən şəkildəki tənliyi aşağıdakı kimi yazılmalıdır:

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (11.1)$$

burada  $t$ -ixtiyari nöqtənin temperaturu;

$x, y, z$ - nöqtənin koordinatları;

$\tau$ - zamandır.

Nəzərdən keçirilən mühitin nöqtələrinin temperaturu zamandan asılı olaraq dəyişərsə, belə temperatur sahəsinə qərarlaşmamış sahə, dəyişməzsə qərarlaşmış temperatur sahəsi deyilir.

Beləliklə,  $t = f(x, y, z, \tau)$  və  $\frac{\partial t}{\partial \tau} \neq 0$  qərarlaşmamış

temperatur sahəsinin,  $t = f_1(x, y, z)$  və  $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$  qərarlaşmış

temperatur sahəsinin qeyri-müəyyən şəkildə ifadəsidir.

Baxılan mühitdə temperaturun dəyişmə istiqamətindən asılı olaraq üç temperatur sahəsi olur:

- a) bir istiqamətdə dəyişən birölçülü temperatur sahəsi;
- b) iki istiqamətdə dəyişən ikiölçülü temperatur sahəsi;
- c) üç istiqamətdə dəyişən üçölçülü temperatur sahəsi.

Beləliklə,

$$t = F(x, y, \tau) \quad (11.2)$$

ikiölçülü qərarlaşmamış temperatur sahəsinin və

$$t = F_1(x) \quad (11.3)$$

birölçülü qərarlaşmış temperatur sahəsinin tənliyidir.

Təcrübədə, əsasən birölçülü qərarlaşmış temperatur sahəsinə rast gəlik.

**11.1.2. İzotermik səth.** Mühitin eyni temperaturlu nöqtələrinin hündəsi yerinə izotermik səth deyilir.

Bir nöqtədə eyni zamanda iki müxtəlif temperatur ola bilmədiyindən, müxtəlif izotermik səthlər haqqında aşağıdakıları demək olar:

- a) izotermik səthlər bir-biri ilə kəsişə bilməz;
- b) izotermik səthlər ya öz-özünə qapanır, ya da mühitin sərhədlərində qırılır.

Araşdırılan mühitin izotermik səthlərinə perpendikulyar istiqamətdə kəssək, izotermi alarıq.

Şəkil 11.1-də izotermi göstərilən temperatur sahəsi verilmişdir.

**11.1.3. Temperatur qradiyenti.** Temperatur sahəsində, temperaturun ancaq izotermik səthləri kəsmə istiqamətində dəyişməsi şəkil 11.1-dən aydın görünür. İzotermi arasında temperaturun artma sürəti, yəni verilmiş istiqamətdə izotermi temperatur

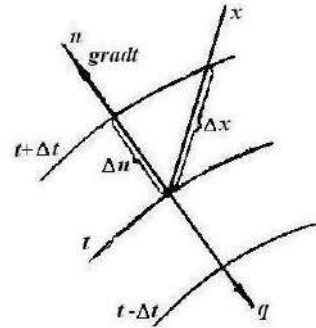
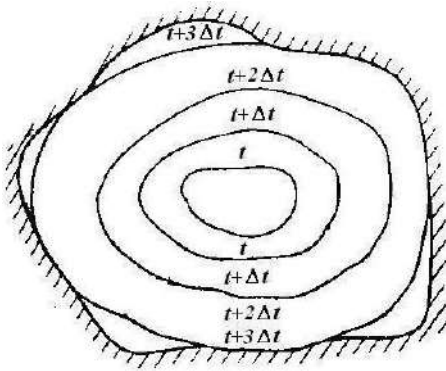
fərqlinin bu izotermələr arasındakı məsafəyə nisbəti, istiqamətdən asılı olub, izotermik səthlərə normal istiqamətində bu nisbət ən böyük qiymət alır.

İzotermik səthlər arasındakı temperaturun dəyişməsinin həmin səthlər arasında normal istiqamətdəki məsafəyə nisbətinin limitinə temperatur qradienti deyilir və aşağıdakı kimi işarə olunur:

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta n}, \quad \frac{\partial t}{\partial n} \text{ və ya } \textit{grad} t.$$

Temperatur qradienti vektorial kəmiyyətdir. Bu vektor verilmiş nöqtədə izotermik səthin normalı üzərinə düşür və temperaturun artması istiqamətdə yönəlidir (şəkil 11.2).

Temperatur qradienti  $^{\circ}\text{C}/\text{m}$  ilə ölçülür.



Şək.11.1. İzotermikləri göstərilən Şək.11.2. Temperatur qradienti temperatur sahəsi

**11.1.4. İstilik seli.** Hər hansı səthdən bir saatda keçən istilik miqdarına istilik seli deyilir və  $Q$  ilə işarə olunur.

Vahid səthdən vahid zamanda keçən istiliyin miqdarına xüsusi istilik seli deyilir və  $q$  ilə işarə edilir.

Texniki vahidlər sistemində istilik seli ( $Q$ ) kkal/saat ilə ölçüldüyündən, xüsusi istilik seli belə ifadə olunur:

$$q = \frac{Q}{F}, \quad \frac{kCoul}{m^2 san} \quad (11.4)$$

İstilik seli temperaturun azaldığı tərəfə axdığından xüsusi istilik seli də temperatur azalan tərəfə yönəlir. İstilik seli vektorial kəmiyyətdir.

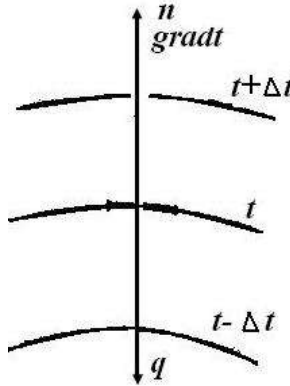
### 11.1.5. İstilikkeçirmənin əsas qanunu-Fürye qanunu.

Fürye bərk cisimlərin istilikkeçirməsini öyrənmək məqsədi ilə apardığı bir çox təcrübələr nəticəsində belə qərara gəlmişdir ki, bərk cismin daxilində yayılan xüsusi istilik selinin miqdarı temperatur qradienti ilə düz mütənasibdir. Bu qanunun ümumi şəkildə belə yazılır:

$$q = -\lambda gradt, \quad (11.5)$$

burada «-» mənfi işarəsi xüsusi istilik seli vektoru ilə temperatur qradienti vektorunun istiqamətə əks olmasını göstərir (şək.11.3);

$\lambda$  - mütənasiblik əmsəlidir.



Şək.11.3. Xüsusi istilik seli vektoru ilə temperatur qradienti vektorunun istiqamətə əks olması

**11.1.6. İstilikkeçirmə əmsəli.** Fürye qanununun riyazi ifadəsindəki (11.5) mütənasiblik əmsəli  $\lambda$  müxtəlif cisimlər üçün müxtəlif olur və cismin istilikkeçirmə əmsəli adlanır.

Cismin fiziki parametri olan istilikkeçirmə əmsalının fiziki mənasını aydınlaşdırmaq məqsədi ilə Fürye qanununu birölçülü qərarlaşmış temperatur sahəsi olan yastı divar üçün yazaq:

$$Q = \lambda \frac{\Delta t}{l} \cdot F \cdot \tau, \quad (11.6)$$

burada  $Q$ - divarın daxilində yayılan istilik miqdarı, kkal;

$\Delta t$ - divarın yan səthlərinin temperatur fərqi, °C;

$\tau$ - zaman, saat;

$\lambda$ - divarın maddəsinin istilikkeçirmə əmsalıdır.

(11.6) ifadəsindən yaza bilərik ki,

$$\lambda = \frac{Q \cdot l}{F \cdot \tau \cdot \Delta t}, \quad \frac{kCoul \cdot m}{m^2 \cdot san \cdot d\text{yar}}$$

$l=1$  m,  $F=1$  m<sup>2</sup>,  $\tau=1$  saat və  $\Delta t=1$ °C qəbul etsək, onda

$$\lambda = Q$$

Deməli, istilikkeçirmə əmsalı  $\lambda$  qəbul etdiyimiz şəraitdə, yəni qalınlığı 1 m, sahəsi 1 m<sup>2</sup> və kənar səthlərinin temperatur fərqi 1°С olan yastı divardan bir saatda keçən istiliyin miqdarını göstərir.

İstilikkeçirmə əmsalının ölçü vahidi, adətən  $\frac{kCoul}{m \cdot san \cdot d\text{yar}}$  götürülür.

Təcrübə göstərir ki, cisimlərin istilikkeçirmə əmsalı çox mürəkkəb funksiyadır. O, cismin quruluşundan, temperaturundan, sıxlığından, təzyiqindən və nəmliyindən asılı olduğundan, çox zaman onu nəzəri hesablaşmaq mümkün deyil. Buna görə cisimlərin istilikkeçirmə əmsalı təcrübədən tapılır və cədvəllərdə verilir.

İstilikkeçirmə əmsalının cədvəl qiymətlərindən istifadə etdikdə çox ehtiyatlı olmaq lazımdır, çünki  $\lambda$ -nın cədvəldəki qiyməti müəyyən şəraitə uyğundur. Əgər baxılan şərait cədvəl şəraitindən fərqlənərsə, cədvəldəki qiyməti təqribi hesablaşmalarda götürmək olar. Çox dəqiq hesablaşmalar tələb olunan hallarda isə  $\lambda$  laboratoriya şəraitində təcrübə yolu ilə tapılmalıdır.

Müəyyən şəraitdə götürülmüş materialın istilikkeçirmə əmsalının temperaturdan asılılıq qanununu bilmək böyük əhəmiyyətə malikdir, çünki daxilində konduksiya vasitəsi ilə istilik

yayılan cismin müxtəlif nöqtələrində temperatur müxtəlif olur.

Təcrübə göstərir ki, bir çox cisimlər üçün  $\lambda$  temperaturdan xətti asılıdır, yəni

$$\lambda = \lambda_0 \pm bt, \quad (11.7)$$

burada  $\lambda$ -həqiqi istilikkeçirmə əmsalı;

$\lambda_0$ -istilikkeçirmə əmsalının  $^{\circ}\text{C}$ -dəki qiyməti;

$b$ -temperatur əmsalı;

$t$ -temperaturdur.

$\lambda_0$  və  $b$  təcrübədən tapılır.

Hesablamarda çox vaxt istilikkeçirmə əmsalının orta qiymətindən istifadə edilir. Bu halda qərarlaşmış temperatur sahəsində istilikkeçirmə əmsalının verilmiş  $t_1$  və  $t_2$  temperaturları arasındakı orta qiyməti, (11.7) ifadəsinə əsasən belə hesablanmalıdır:

$$\lambda_m = \lambda_0 \pm b \left( \frac{t_1 + t_2}{2} \right). \quad (11.8)$$

Müxtəlif maddələrin-qazların, mayələrin, tikinti və istilik izoləsində işlənən dielektrik materialların və metalların istilikkeçirmə əmsallarının temperaturdan asılılıq qanunu şəkillərdə göstərilmişdir (şək.11.4...11.7).

Şəkillərdən görünür ki, temperatur artdıqca qazların tikinti və istilik izolə dielektrik materiallarının istilikkeçirmə əmsalı artır, mayələrin və əksər hallarda metalların istilikkeçirmə əmsalı isə azalır (su və qliserindən başqa).

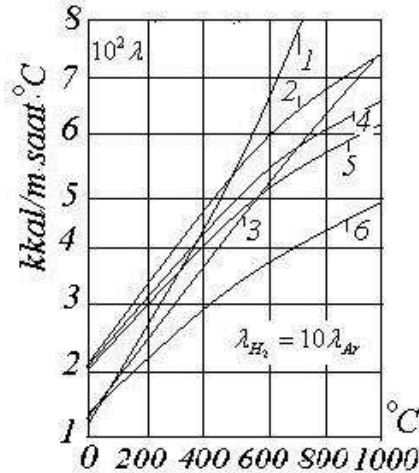
Təcrübə göstərir ki, müxtəlif maddələrin istilikkeçirmə əmsalının mütləq qiyməti onların növündən asılı olaraq aşağıdakı hədlərdə dəyişir (cədvəl 11.1).

Cədvəl 11.1

Müxtəlif maddələrin istilikkeçirmə əmsalının mütləq qiyməti

Maddələr	$\lambda \frac{\text{kkal}}{\text{m} \cdot \text{saat} \cdot \text{d}^{\circ}\text{C}}$
Qazlar	0,005...0,500
Mayələr	0,08...0,60
Tikinti və istilik izolə materialları	0,020...2,500
Metallar	2,5...360,0

Sənayenin və xalq təsərrüfatının müxtəlif sahələrində işlədilən və böyük əhəmiyyətə malik olan bəzi maddələrin və materialların istilikkeçirmə əmsalının qiymətləri əlavə 3-də cədvəllərdə verilmişdir.



**Şək.11.4. Müxtəlif qazlar üçün istilikkeçirmə əmsallarının temperaturdan asılılığı**

1-su buxarı; 2-oksigen; 3-karbon qazı; 4-hava; 5-azot; 6-arqon

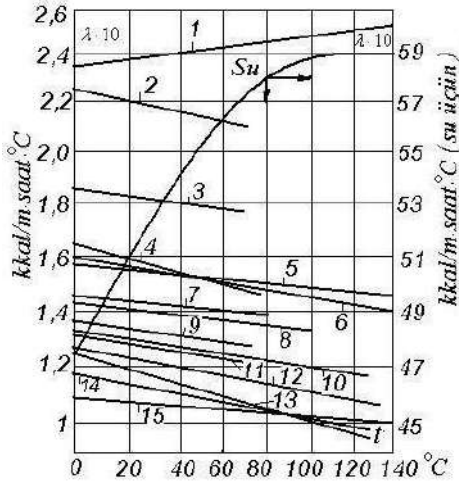
Qazların istilikkeçirmə əmsalını nəzəri hesablamaq mümkün olmadığından, onların istilikkeçirmə əmsalı yuxarıda göstərilən cədvəllərdən götürülməlidir. Qaz qarışığı additivlik qanununa tabe olmadığından onun istilikkeçirmə əmsalı ancaq təcrübədən tapılmalıdır.

Assosiasiya etməyən mayələrin (benzol, toluol, ksilol və başqa karbohidratlar) istilikkeçirmə əmsalının qiyməti aşağıdakı düsturlardan tapıla bilər:

a)  $t=20^{\circ}\text{C}$ -də

$$\lambda_0 = \frac{1.52 \cdot 10^{-4}}{\mu^{\frac{1}{3}}} \cdot c_{p0} \cdot \gamma_0^{\frac{4}{3}}, \quad \frac{\text{kCoul}}{\text{m} \cdot \text{san} \cdot \text{d}^{\circ}\text{R}}$$





**Şək.11.5.**  $\lambda = f(t)$  müxtəlif mayelər üçün:

1-susuz qliserin; 2-qarışqa turşusu; 3-metil spirti; 4-etil spirti; 5-gənəgörçək yağı; 6- anilin; 7-sirkə turşusu; 8-aseton; 9-butil spirti; 10-nitrobenzol; 11-qazopropan spirt; 12-benzol; 13-toluol; 14-ksilol; 15-vazelin yağı

b) istənilən temperaturda

$$\lambda = \lambda_0 \left( \frac{\gamma}{\gamma_0} \right)^{\frac{4}{3}}, \quad \frac{kCoul}{m \cdot san \cdot d\gamma r}$$

burada  $\lambda_0$ -20°C-də istilikkeçirmə əmsalı,  $;$   $\frac{kCoul}{m \cdot san \cdot d\gamma r}$

$C_{a0}$ -20°C-də sabit təzyiqdə xüsusi istilik tutumu,  
 $\frac{kCoul}{kq \cdot d\gamma r}$ ;

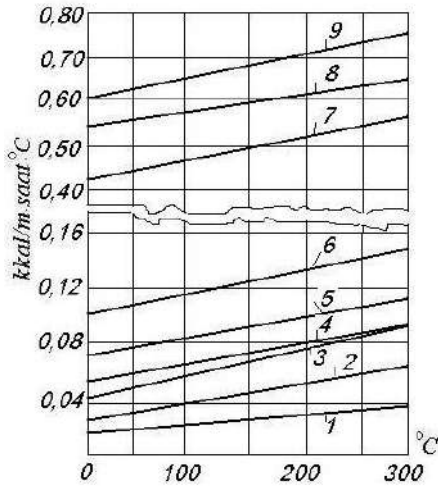
$\gamma_0$ -20°C-də xüsusi çəki,  $\frac{kQ}{m^3}$ ;

$\mu$ -molekul kütləsi;

$\lambda$ -istənilən temperaturda istilikkeçirmə əmsalı,  
 $\frac{kCoul}{m \cdot san \cdot d\gamma r}$ ;

$\gamma$ -istənilən temperaturda xüsusi çəkidir,  $\frac{kQ}{m^3}$ .

Tikinti və itstilik izolə materiallarının istilikkeçirmə əmsalı temperaturdan başqa, materialın həcmi çəkisindən (sıxlığından) və nəmliyindən də asılıdır. Materialın xüsusi çəkisi artdıqca onun istilikkeçirmə əmsalı artır. Bunun səbəbi materialın daxilindəki məsamələrdə olan havanın miqdarının, yaxud hava məsamələrinin ölçüsünün kiçilməsi ilə izah edilməlidir.



**Şək.11.6.  $\lambda = f(t)$  müxtəlif izolyasiya və odadavamlı materiallar üçün:**

1-hava,  $\gamma=1,293 \text{ kq/N}\cdot\text{m}^3$ ; 2-mineral yun,  $\gamma=160 \text{ kq/sm}^3$ ; 3-posa pambığı  $\gamma=200 \text{ kq/m}^3$ ; 4-nyuvel,  $\gamma=340 \text{ kq/m}^3$ ; 5-sovelit,  $\gamma=440 \text{ kq/sm}^3$ ; 6-diotom kərpic,  $\gamma=55 \text{ kq/m}^3$ ; 7-qırmızı kərpic,  $\gamma=1672 \text{ kq/m}^3$ ; 8-posa beton kərpic,  $\gamma=1373 \text{ kq/m}^3$ ; 9-şamot kərpic,  $\gamma=18,0 \text{ kq/m}^3$

Materialların nəmliyi artdıqca onların istilikkeçirmə əmsalı artır. Nəmlik materialın istilikkeçirmə əmsalına çox təsir göstərir, belə ki, nəm materialın istilikkeçirmə əmsalı suyun və quru materialın istilikkeçirmə əmsalından böyük olur. Məsələn, quru

kərpicin istilikkeçirmə əmsalı  $0,3 \frac{k\text{kal}}{m \cdot \text{saat} \cdot d\text{яр}}$ , suyunku isə

$0,5 \frac{k\text{kal}}{m \cdot \text{saat} \cdot d\text{яр}}$  olduğu halda nəm kərpicin istilikkeçirmə əmsalı

$0,9 \frac{k\text{kal}}{m \cdot \text{saat} \cdot d\text{яр}}$  olur.

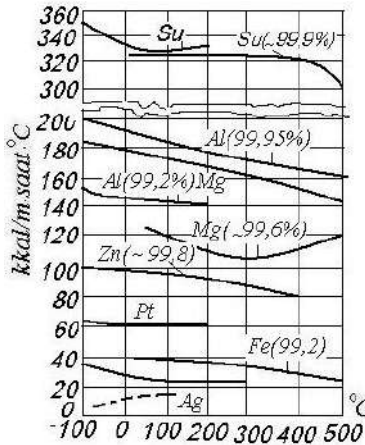
Bu, quru material nəmləşdikdə onun mikroskopik havaməsəmələrinə su dolması ilə izah olunur.

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, temperatur artdıqca bir çox materialların istilikkeçirmə əmsalı azalır. Metalın tərkibində müxtəlif qarışıqların olması, onun istilikkeçirmə əmsalının daha çox azalmasına səbəb olur. Məsələn, tərkibində 0,1% karbon

olan dəmir üçün  $\lambda = 50 \frac{k\text{kal}}{m \cdot \text{saat} \cdot d\text{яр}}$ , 1,0% karbon olan üçün

$\lambda = 40 \frac{k\text{kal}}{m \cdot \text{saat} \cdot d\text{яр}}$ , 1,5% karbon olan üçün

isə  $\lambda = 36 \frac{k\text{kal}}{m \cdot \text{saat} \cdot d\text{яр}}$ .



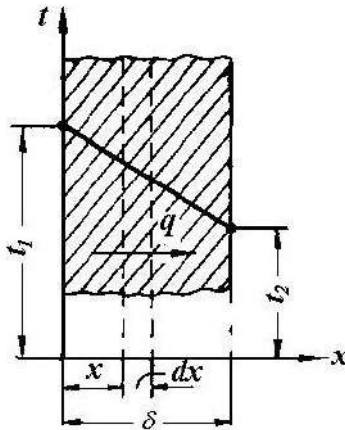
**Şək.11.7. Metalların istilikkeçirmə əmsallarının temperaturdan asılılığı**

Metalın tərkibindəki qarışıĝın onun istilikkeçirmə əmsalına təsiri müəyyən qanuna tabe olmadıĝından, metalın və metal qarışıqlarının istilikkeçirmə əmsalının təcrübi tapılması yeganə üsuldur.

## 11.2. Yastı divarın istilikkeçirməsi

Divarın  l l ri v  kənar səthlərinin temperaturu məlum olduqda, bu divardan istənilən müddət ərzində ke on istiliyin miqdarını və aralıq səthlərin temperaturunu F rye qanununa əsaslanaraq tapmaq mümkündür.

**11.2.1. Birtəbəqəli yastı divar.** Qalınlıĝı  $\delta$  m, istilikkeçirmə əmsalı  $\lambda \frac{kCoul}{m \cdot san \cdot d\bar{x}}$  və kənar səthlərinin temperaturu  $t_1$  və  $t_2$  olan eynicinsli yastı divar verilmiŐdir (Ő k.11.8).



Ő k.11.8. Eynicinsli yastı divar

Bu divarın  $\lambda$  əmsalının v  kənar səthlərinin  $t_1$  və  $t_2$  temperaturunun sabit olduĝunu, temperaturun ancaq divarın səthinə perpendikulyar istiqamətdə ( $x$  oxu üzrə) d yiŐdiyini qəbul etsək, deyə bilərik ki, temperatur sahəsi bir l cl  q rarlaŐmıŐ v 

izotermik səthlərin  $x$  oxuna perpendikulyar yastı səthlərindən ibarətdir. Aydındır ki, belə mühitdə xüsusi istilik seli ( $q$ ) sabitdir.

Bu divarın daxilində iki izotermik səthdə məhdudlaşmış, qalınlığı  $dx$  olan sonsuz kiçik təbəqə üçün Fürye qanununa əsasən yaza bilərik ki,

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}, \quad (11.9)$$

buradan

$$dt = -\frac{q}{\lambda} dx. \quad (11.10)$$

Aldığımız ifadəni inteqrallasaq:

$$t = -\frac{q}{\lambda} x + C. \quad (11.11)$$

Bu ifadədəki inteqral sabitini ( $C$ ) tapmaq üçün, verilmiş şərtədən istifadə edirik, yəni  $x=0$  olduqda  $t=t_1$  olduğundan (11.11) tənliyi aşağıdakı kimi olur:

$$C = t_1.$$

Digər tərəfdən  $x=\delta$  olduqda,  $t=t_2$  olduğundan (11.11) ifadəsindən alırıq ki,

$$t_2 = -\frac{q}{\lambda} \delta + t_1.$$

Buradan xüsusi istilik seli üçün aşağıdakı ifadəni yazırıq:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2), \quad \frac{kCoul}{m^2 \cdot san}, \quad (11.12)$$

və ya

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda}}, \quad \frac{kCoul}{m^2 \cdot san}, \quad (11.13)$$

burada  $\frac{\delta}{\lambda}$  - təbəqənin termik müqaviməti adlanır.

Deməli, baxılan divarın 1 m<sup>2</sup> səthindən 1 saatda keçən istiliyin miqdarı, divarın kənar səthlərinin temperatur fərqi ilə düz, termik müqaviməti ilə tərs mütənasibdir.

Sahəsi  $F$  m<sup>2</sup> olan divardan,  $\tau$  saatda keçən istiliyin miqdarı

( $Q$  kkal) aşağıdakı ifadədən tapıla bilər:

$$q = q \cdot F \cdot \tau = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) F \tau, \quad kCoul. \quad (11.14)$$

### 11.2.2. Yastı divarda temperaturun dəyişmə qanunu.

Yastı divarın daxilində temperaturun dəyişmə qanunu divarın  $\lambda$  əmsalının sabit, yaxud dəyişən olmasından asılıdır. Bu hallara ayrılıqda baxaq.

a) Temperatur sahəsini qərarlaşmış və divarın materialının istilikkeçirmə əmsalını sabit qəbul edərək, (11.10) ifadəsini  $t_1$ -dən  $t_x$ -ə və 0-dan  $x$ -ə qədər inteqrallasaq, alarıq

$$t_x - t_1 = -\frac{q}{\lambda} x,$$

buradan

$$t_x = t_1 - \frac{q}{\lambda} x, \quad (11.15)$$

yəni baxılan halda yastı divarda temperatur xətti dəyişir.

b) Temperatur sahəsinin qərarlaşmış və divarın materialının istilikkeçirmə əmsalının temperaturdan  $\lambda = \lambda_0 + bt$  düz xətt üzrə asılı olduğunu qəbul etsək, Fürye qanunu belə yazılmalıdır:

$$q = -(\lambda_0 + bt) \frac{dt}{dx}, \quad (11.16)$$

və ya

$$q dx = -(\lambda_0 + bt) dt. \quad (11.16')$$

$q$ -nu,  $\lambda_0$ -ı və  $b$ -ni sabit qəbul edərək, bu ifadəni 0-dan  $x$ -ə qədər  $t_1$ -dən  $t_x$ -ə qədər inteqrallayaraq, alınan kvadrat tənliyi  $t_x$ -ə görə həll etsək, alarıq

$$t_x = -\frac{1}{b} + \sqrt{\left(\frac{1}{b} + t_1\right)^2 - \frac{2qx}{b\lambda_0}}. \quad (11.17)$$

Deməli, həqiqətdə yastı divarda temperaturun dəyişməsi əyri xətt üzrə olur və əyri xəttin qabarığı  $b$  əmsalının işarəsindən asılıdır. Belə ki,  $b$  müsbət olduqda əyrinin qabarığı yuxarı, mənfi olduqda isə aşağı olur (şək.11.9).

Böyük dəqiqlik tələb edən hesablamalarda  $\lambda$  istilikkeçirmə əmsalı dəyişən qəbul edilməlidir. Bu hal üçün tələb olunan hesablama düsturu aşağıdakı şəkli alır:

$$q = \frac{\lambda_0 + \frac{b}{2}(t_1 + t_2)}{\delta}(t_1 - t_2), \quad (11.18)$$

burada  $\lambda_0 + \frac{b}{2}(t_1 + t_2)$  ifadəsi divarın materialının verilmiş temperaturlar arasındakı orta istilikkeçirmə əmsalı adlanır.

**11.2.3. Çoxtəbəqəli yastı divar.** Materialları müxtəlif olan bir neçə təbəqədən ibarət divar çoxtəbəqəli divar adlanır.

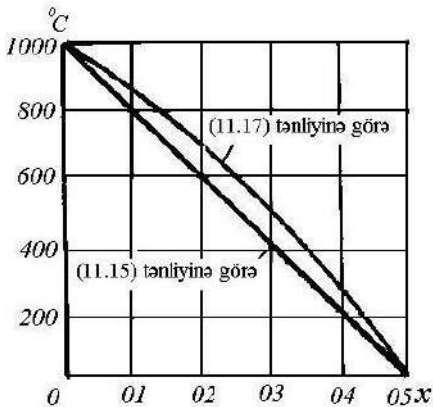
Təcrübədə əsasən çoxtəbəqəli divarlara rast gəlirik. Məsələn, bütün istilik qurğularının-sobaların, buxar qazanlarının kərpic hörgüsü, adətən, üç təbəqədən ibarət olur: birinci, odadavamlı kərpic təbəqəsi, ikinci, adi kərpic təbəqəsi; üçüncü isə istilik izolə təbəqəsidir.

Bir tərəfdən su, digər tərəfdən isə yanma məhsulu axan divarlar su tərəfdən ərp, qazlar tərəfdən isə his və kül təbəqəsi ilə örtüldüyündən, belə divarlar da üçtəbəqəli hesab edilməlidir.

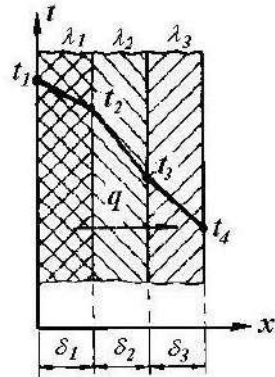
Təcrübədə üçtəbəqəli yastı divara çox rast gəlirik. Buna görə üçtəbəqəli yastı divarın istilikkeçirməsini hesablamaq üçün lazım olan düsturların çıxarılışına baxaq.

Verilmiş üçtəbəqəli yastı divarın (şək.11.10), təbəqələrinin qalınlığı  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  və  $\delta_3$ , təbəqələrin materialının istilikkeçirmə əmsalı  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  və  $\lambda_3$ , xarici səthlərinin temperaturu  $t_1$  və  $t_4$  məlum olduqda divarın xüsusi istilik selini  $q$  və aralıq səthlərinin temperaturunu  $t_2$  və  $t_3$  tapmaq lazım gəlir.

Təbəqələrin bir-birinə sıx, yəni aralıq səthlərin bütün nöqtələrində temperaturun eyni və temperatur sahəsinin qərarlaşmış olmasını qəbul etsək, hər təbəqə üçün (11.13) düsturuna əsasən yaza bilərik:



Şək.11.9. Yastı divarda temperaturun dəyişməsi



Şək.11.10. Üçtəbəqəli yastı divarın xüsusi istilik selinin  $q$  və aralıq səthlərinin temperaturunun tapılması

$$\left. \begin{array}{l} \text{Birinci təbəqə üçün} \quad q = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(t_1 - t_2) \\ \text{İkinci təbəqə üçün} \quad q = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(t_2 - t_3) \\ \text{Üçüncü təbəqə üçün} \quad q = \frac{\lambda_3}{\delta_3}(t_3 - t_4) \end{array} \right\} \quad (11.19)$$

Bu üç tənliyi birlikdə həll edərək, axtardığımız  $q$ ,  $t_2$  və  $t_3$  məchullarını tapırıq.

Hər təbəqə üçün temperatur fərqi (11.19) ifadələrindən tapırlar:

$$\left. \begin{array}{l} t_1 - t_2 = q \frac{\delta_1}{\lambda_1} \\ t_2 - t_3 = q \frac{\delta_2}{\lambda_2} \\ t_3 - t_4 = q \frac{\delta_3}{\lambda_3} \end{array} \right\} \quad (11.20)$$



Üçtəbəqəli divarın tam temperatur fərqi isə (11.20) ifadələrinə əsasən belə tapılır:

$$t_1 - t_4 = q \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right). \quad (11.21)$$

Buradan baxılan divarın xüsusi istilik seli üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$q = \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}. \quad (11.22)$$

Xüsusi istilik selini  $q$  müəyyən etdikdən sonra, aralıq səthlərin temperaturu (11.20) tənliklərindən tapılmalıdır:

$$\left. \begin{aligned} t_2 &= t_1 - q \frac{\delta_1}{\lambda_1} \\ t_3 &= t_4 + q \frac{\delta_3}{\lambda_3} \\ t_3 &= t_2 - q \frac{\delta_2}{\lambda_2} = t_1 - q \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) \end{aligned} \right\}. \quad (11.23)$$

Baxılan üçtəbəqəli divarda temperatur xəttini müəyyən etmək üçün (11.15) tənliyinə baxmaq lazımdır. Bu tənliyə əsasən hər təbəqədə temperatur düz xətt üzrə dəyişəcək, bütün divarda isə müxtəlif təbəqələrin istilikkeçirmə əmsalı müxtəlif olduğundan, temperaturun dəyişməsi sınıq xətt üzrə olmalıdır (şək.11.10).

Divar  $n$  təbəqədən ibarət olarsa, onun hesablanma düsturları aşağıdakı şəkli alır:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (11.24)$$

və

$$\left. \begin{aligned}
 t_2 &= t_1 - q \frac{\delta_1}{\lambda_1} \\
 t_3 &= t_1 - q \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) \\
 t_4 &= t_1 - q \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) \\
 &\dots \\
 &\dots \\
 t_n &= t_1 - q \sum_{i=1}^{i=n-1} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \\
 \text{в} \text{я} \\
 t_n &= t_{n+1} + q \frac{\delta_n}{\lambda_n}
 \end{aligned} \right\} \quad (11.25)$$

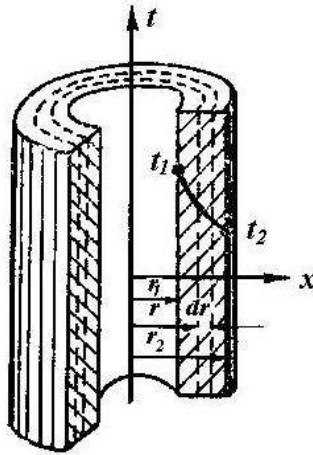
Qeyd etmək lazımdır ki, çoxtəbəqəli divarın səthlərinin temperaturunu bilmək təcrübədə çox böyük əhəmiyyətə malikdir, çünki aralıq təbəqələrin materialı məhz bu temperatura əsasən seçilir.

### 11.3. Silindrik divarın istilikkeçirməsi

Temperatur sahəsi qərarlaşmış olan silindrik divarda (boruda), xüsusi istilik seli qiymətcə dəyişən kəmiyyət olduğundan (sahə radius istiqamətdə dəyişdiyindən), yastı divar üçün aldığımız ifadələri silindrik divara tətbiq etmək olmaz. Buna görə, silindrik divara ayrıca baxmaq lazımdır.

**11.3.1. Birtəbəqəli silindrik divar.** Uzunluğu  $l$ , daxili diametri  $d_1$ , xarici diametri  $d_2$ , daxili səthinin temperaturu  $t_1$  və xarici səthinin temperaturu  $t_2$  olan silindrik divarda (boruda) temperatur sahəsinin qərarlaşmış olduğunu və temperaturun ancaq radius istiqamətində dəyişdiyini qəbul etsək görürük ki,

izometrik səthlər silindrik səthlərdən ibarətdir (şək.11.11).



Şək. 11.11. Birtəbəqəli silindrik divar

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, radius istiqamətdə xüsusi istilik seli qiymətcə dəyişdiyindən, mərkəzi oxdan  $r$  məsafəsində qalınlığı  $ar$  olan, həlqəvi sonsuz kiçik silindrik təbəqə üçün Furiye qanunu aşağıdakı şəkildə yazılmalıdır:

$$Q = -\lambda F \frac{dt}{dr} \tau = -\lambda 2\pi r l \frac{dt}{dr} \tau, \quad (11.26)$$

buradan

$$dt = -\frac{Q}{2\pi\lambda l \tau} \cdot \frac{dr}{r}. \quad (11.27)$$

Bu ifadəni  $t_1$ -dən  $t_2$ -yə qədər və  $r_1$ -dən  $r_2$ -yə qədər inteqrallasaq alarıq ki,

$$t_2 - t_1 = -\frac{Q}{2\pi\lambda l \tau} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (11.28)$$

və ya

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{2\pi\lambda l \tau} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (11.28')$$

Buradan

$$Q = \frac{2\pi\lambda\ell\tau}{\ln\frac{r_2}{r_1}}(t_1 - t_2) = \frac{2\pi\lambda\ell\tau}{\ln\frac{d_2}{d_1}}(t_1 - t_2), \text{ kCoul.} \quad (11.29)$$

Silindrik divardan bir saatda keçən istiliyin miqdarı silindrin (borunun) bir metr uzunluğuna və ya onun daxili, yaxud xarici səthinin vahid sahəsinə nisbətən götürülə bilər. Bu hallara uyğun hesablama düsturları aşağıdakı kimi olur:

$$\frac{Q}{\ell\tau} = q_1 = \frac{2\pi\lambda}{\ln\frac{d_2}{d_1}}(t_1 - t_2) = \frac{\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1}}, \quad \frac{\text{kCoul}}{\text{m}^2 \cdot \text{san}}; \quad (11.30)$$

$$\frac{Q}{\pi d_1 \ell \tau} = q_1 = \frac{2\lambda(t_1 - t_2)}{d_1 \ln\frac{d_2}{d_1}} = \frac{(t_1 - t_2)}{\frac{d_1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1}}, \quad \frac{\text{kCoul}}{\text{m}^2 \cdot \text{san}}; \quad (11.31)$$

$$\frac{Q}{\pi d_2 \ell \tau} = q_2 = \frac{2\lambda(t_1 - t_2)}{d_2 \ln\frac{d_2}{d_1}} = \frac{(t_1 - t_2)}{\frac{d_2}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1}}, \quad \frac{\text{kCoul}}{\text{m}^2 \cdot \text{san}}. \quad (11.32)$$

Bu ifadələrdən alırıq ki,

$$q_1 = \pi d_1 q_2 = \pi d_2 q_2, \quad \frac{\text{kCoul}}{\text{m}^2 \cdot \text{san}}. \quad (11.33)$$

Silindrik divarda temperaturun hansı qanunla dəyişdiyini bilmək üçün (11.27) ifadəsini  $t=t_1$ -dən  $t=t_x$ -ə və  $r=r_1$ -dən  $r=r_x$ -ə qədər inteqrallayaraq alırıq:

$$t_x - t_1 = -\frac{Q}{2\pi\lambda\ell\tau} \ln\frac{r_x}{r_1}$$

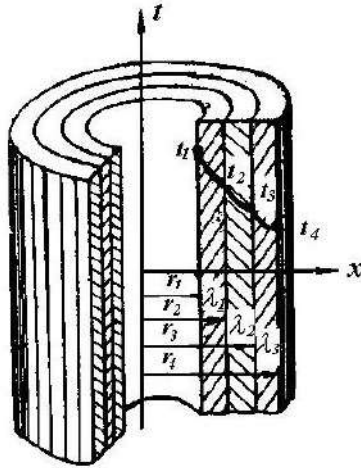
və ya

$$t_x = t_1 - \frac{Q}{2\pi\lambda\ell\tau} \ln\frac{r_x}{r_1} = t_1 - \frac{t_1 - t_2}{\ln\frac{d_2}{d_1}} \ln\frac{d_x}{d_1}. \quad (11.34)$$

Bu ifadədən, silindrik divarda ( $\lambda$ =sabit olduqda) temperaturun loqarifmik qanunla dəyişdiyini görürük (şək. 11.11).

**11.3.2. Çoxtəbəqəli silindrik divar.** Təbəqələrinin diametr-

ləri ( $d_1, d_2, d_3, d_4$ ) materiallarının istilikkeçirmə əmsalı ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ) və kənar səthlərinin temperaturu ( $t_1, t_4$ ) məlum olan üçtəbəqəli silindrik divar verilmişdir (şək.11.12).



Şək.11.12. Üçtəbəqəli silindrik divar

Bu divarın xüsusi istilik selini və aralıq səthlərinin temperaturu tapmaq tələb olunur.

Temperatur sahəsi qərarlaşmış olduqda hər təbəqədən keçən xətti xüsusi istilik seli miqdarca bərabər və sabit olduğundan, (11.30) düsturuna əsasən yaza bilərik:

$$\left. \begin{aligned} \text{I təbəqə üçün } q_t &= \frac{\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}} \\ \text{II təbəqə üçün } q_t &= \frac{\pi(t_2 - t_3)}{\frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}} \\ \text{III təbəqə üçün } q_t &= \frac{\pi(t_3 - t_4)}{\frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}} \end{aligned} \right\} \quad (11.35)$$

buradan

$$\left. \begin{aligned} t_1 - t_2 &= \frac{q_t}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \\ t_2 - t_3 &= \frac{q_t}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \\ t_3 - t_4 &= \frac{q_t}{2\pi\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} \end{aligned} \right\} \quad (11.36)$$

Həmin ifadəni topladıqda alırıq

$$t_1 - t_4 = \frac{q_t}{\pi} \left( \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} \right); \quad (11.37)$$

buradan da

$$q_t = \frac{\pi(t_1 - t_4)}{\frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}}, \quad \frac{kCoul}{m^2 \cdot san}. \quad (11.38)$$

Xüsusi istilik seli müəyyən edildikdən sonra, aralıq səthlərin temperaturu tapılmalıdır:

$$\left. \begin{aligned} t_2 &= t_1 - \frac{q_t}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \\ t_3 &= t_2 - \frac{q_t}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} = t_1 - \frac{q_t}{2\pi} \left( \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right) \\ t_4 &= t_3 + \frac{q_t}{2\pi\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} \end{aligned} \right\} \quad (11.39)$$

Çoxtəbəqəli silindrik divarda temperatur əyrisi sınıq əyri xətt olur.

Silindrik divar  $n$  təbəqədən ibarət olduqda, onun xətti xüsusi istilik selinin ifadəsi aşağıdakı kimi olur

$$q_t = \frac{\pi(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^{I=n} \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}, \quad \frac{kCoul}{m^2 \cdot san}. \quad (11.40)$$

## *Yoxlama sualları*

1. İstilikkeçirmə anlayışı nə ilə izah olunur?
2. Temperatur sahəsi nədir?
3. Temperatur sahəsinin qeyri-müəyyən şəkildəki tənliyi necə yazılır?
4. Qərarlaşmış temperatur sahəsi nəyə deyilir və necə ifadə olunur?
5. Qərarlaşmamış temperatur sahəsi nədir və necə ifadə olunur?
6. Hansı temperatur sahələri var?
7. İzotermik səth nəyə deyilir?
8. İzotermilər necə alınır?
9. Temperatur qradienti nəyə deyilir və necə ifadə olunur?
10. Temperatur qradientinin ölçü vahidi necədir?
11. İstilik seli nədir?
12. Xüsusi istilik seli nəyə deyilir və necə təyin olunur?
13. Furiye qanunu necədir?
14. İstilikkeçirmə əmsalı nədir və nəyi göstərir?
15. Cisimlərin istilikkeçirmə əmsalı necə funksiyadır, nədən asılı deyil və necə tapılır?
16. Bir çox cisimlər üçün istilikkeçirmə əmsalı  $\lambda$  temperaturdan necə asılıdır?
17. Temperatur artdıqca bir çox materialların istilikkeçirmə əmsalı necə dəyişir?
18. Birtəbəqəli yastı divardan keçən istiliyin miqdarı necə təyin olunur?
19. Yastı divarın daxilində temperaturun dəyişmə qanunu nədən asılıdır?
20. Çoxbəbəqəli divar necə adlanır?
21. Silindrik divardan bir saatda keçən istiliyin miqdarını necə götürmək olar?

## XII FƏSİL KONVEKTİV İSTİLİK MÜBADİLƏSİ

Mayenin və ya qazın bərk cismin səthinə toxunması nəticəsində baş verən istilik mübadiləsi prosesinə konvektiv istilikvermə prosesi deyilir. Konvektiv istilikvermə prosesi həm istilikkeçirmə, həm də mayenin (qazın) hərəkəti nəticəsində əmələ gəlir. Mayenin (qazın) mol hissələrinin hərəkəti bir çox amillərdən, məsələn, hərəkətin növündən və rejimindən, mayenin (qazın) temperaturundan və fiziki xassələrindən, bərk cismin temperaturundan, formasından, xarici səthinin ölçülərindən və s. asılı olduğundan, konvektiv istilikvermə prosesi çox mürəkkəb proseslər sırasına daxildir.

### 12.1. İstilikvermənin əsas tənliyi - Nyuton qanunu

Konvektiv istilikvermə prosesində iştirak edən istiliyin miqdarı Nyuton qanunu ilə təyin edilir.

Nyuton qanununa görə, mayedən bərk cismin səthinə və ya əksinə verilən istiliyin miqdarı maye ilə bərk cismin toxunma səthinin sahəsi, onların temperatur fərqi və zamanla düz müənasibdir, yəni

$$Q = \alpha F(t_m - t_c)\tau, \quad (12.1)$$

burada  $Q$ -istilikvermədə iştirak edən istiliyin miqdarı, kkal;

$t_m$ -mayenin temperaturu, °C;

$t_c$ -bərk cismin səthinin temperaturu, °C;

$F$ -maye ilə bərk cismin toxunma səthinin sahəsi, m<sup>2</sup>;

$\tau$ -zaman, saat;

$\alpha$ -konvektiv istilikvermə əmsalıdır.

**12.1.1. İstilikvermə əmsalı.** Nyuton qanunundan (12.1) belə qərara gəlirik ki, maye ilə bərk cismin səthi arasındakı istilikvermə prosesində iştirak edən istiliyin miqdarı, verilmiş başqa şərtlər daxilində, əsasən, istilikvermə ( $\alpha$ ) əmsalından asılıdır. Bir çox amillərdən asılı olan  $\alpha$  əmsalının fiziki mənasını aydınlaşdırmaq üçün Nyuton qanunundan (12.1) istifadə edək. Bu ifadə



də  $t_v - t_c = 1^\circ\text{C}$ ;  $F=1 \text{ m}^2$  və  $\tau=1$  saat qəbul etsək,  $Q=\alpha$  olur.

Deməli, istilikvermə əmsalı  $\alpha$  müəyyən şəraitdə, yəni maye ilə səthin temperatur fərqi  $1^\circ\text{C}$  və toxunma sahəsi  $1 \text{ m}^2$  olduqda, 1 saatda mayedən səthə və ya əksinə ( $t_c > t_m$  olarsa) keçən istiliyin miqdarını göstərir.

$\alpha$  əmsalının fiziki mənasını, onun ölçü vahidindən də aydın görürük:

$$\alpha = \frac{Q}{F \cdot \tau \cdot \Delta t}, \frac{k\text{Coul}}{\text{m}^2 \cdot \text{san} \cdot \text{d}^\circ\text{R}}.$$

İstilikvermə əmsalı istilikvermə prosesinə təsir edən bütün amillərdən-bərk cismin səthinin formasından ( $\Phi$ ), ölçülərindən ( $l_1, l_2, l_3$ ) və səthinin temperaturundan ( $t_m$ ), özlülüyündən ( $\mu$ ), istilikkeçirmə əmsalından ( $\lambda$ ), istilik tutumundan ( $c_p$ ), sıxlığından ( $\rho$ ) və s. asılıdır, yəni:

$$\alpha = f(\phi, l, l_1, l_2, l_3, t_c, W, t_m, \mu, \lambda, \rho, c_p, \dots). \quad (12.2)$$

İstilikkeçirmə əmsalı çox mürəkkəb funksiya olduğundan, onun istər nəzəri və istərsə də təcrübi tapılması böyük çətinliklərlə əlaqədardır.

## 12.2. İstilikvermə prosesinə təsir göstərən amillər

İstilik mübadiləsi prosesində istilikvermə prosesi böyük əhəmiyyətə malik olduğundan, ona təsir göstərən əsas amillərlə bir qədər yaxından tanış olaq.

**Mayenin hərəkətinin növü.** Mayeni hərəkətə gətirən səbəbdən asılı olaraq mayenin hərəkəti iki növ olur: sərbəst və məcburi. Əgər mayenin hərəkəti, onun sıxlığının (deməli, temperaturunun) müxtəlif nöqtələrdə müxtəlif olması nəticəsində baş verirsə, belə hərəkətə sərbəst hərəkət, ya da təbii konveksiya deyilir.

Əgər mayenin hərəkəti xarici qüvvələrin (nasos, ventilyator, kompressor və s.) təsiri nəticəsində baş verirsə, belə hərəkət məcburi hərəkət adlanır. İstər sərbəst, istərsə də məcburi hərəkətdə istilikvermə prosesinə əsasən hərəkətin rejimi təsir göstərir.

**Mayenin hərəkət-rejimi.** Mayenin hərəkət rejimi laminar və

turbulent olur.

Mayenin hissəcikləri kanalın oxuna paralel hərəkət edərsə, belə hərəkətə laminar rejimli, hissəciklər həm kanalın oxuna paralel, həm də perpendikulyar, yəni qarmaqarışq (xaotik) hərəkət edərsə, belə hərəkətə turbulent rejimli hərəkət deyilir.

Laminar rejimli hərəkətdə hissəciklər bir-birinə paralel hərəkət etdiyindən, istilikvermə prosesi ancaq mayenin istilikkeçirməsindən əmələ gəlir. Mayelərin istilikkeçirmə əmsalı çox kiçik olduğundan, laminar rejimli hərəkətdə istilikvermə əmsalı da kiçik olur.

Turbulent rejimli hərəkətdə istilikvermə prosesi əsasən maye hissəciklərinin yerdəyişməsi nəticəsində əmələ gəldiyindən, istilikvermə prosesi intensiv gedir, yəni  $\alpha$  əmsalı böyük olur.

Təcrübə göstərir ki, mayenin hərəkət rejiminin turbulentlik dərəcəsindən asılı olmayaraq, divarın yaxınlığında olan maye təbəqəsi laminar rejimdə hərəkət edir. Bu təbəqəyə sərhəd təbəqəsi deyilir.

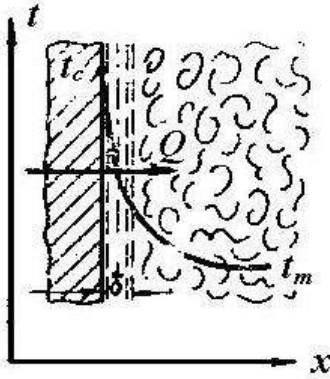
Mayenin özlülüyünün nəticəsi olan sərhəd təbəqəsində istilik ancaq istilikkeçirmə ilə yayıldığından və yuxarıda deyildiyi kimi, mayelərin istilikkeçirmə əmsalı kiçik olduğundan, turbulent rejimli hərəkətdə istilikvermə prosesinə əsas təsir göstərən amil sərhəd təbəqəsinin qalınlığıdır.

Sərhəd təbəqəsinin istilikvermə prosesinə təsiri şəkil 12.1-dən aydın görünür. Sərhəd təbəqəsinin qalınlığı  $\delta$  nə qədər kiçik olarsa, istilikvermə əmsalı o qədər böyük olur. Sərhəd təbəqəsinin qalınlığı hərəkətin turbulentlik dərəcəsindən asılıdır rejiminin turbulentlik dərəcəsi artdıqca, sərhəd təbəqəsinin qalınlığı azalır.

Mayenin hərəkət rejimini təyin etmək üçün Reynolds kriterisindən istifadə edilir.

Mayelərin hərəkət rejimini öyrənən Reynolds müxtəlif mayelərlə apardığı təcrübələrin nəticəsində belə qərara gəlmişdir ki, mayelərin hərəkət rejimi mayenin hərəkət sürətindən, özlülüyündən və maye axan kanalın xarakterik ölçüsündən əmələ gəlmiş aşağıdakı kompleks kəmiyyətdən asılıdır:

$$\text{Re} = \frac{W \cdot d}{\nu}. \quad (12.3)$$



**Şək. 12.1. Sərhəd təbəqəsinin istilikvermə prosesinə təsiri**

Bu kompleks kəmiyyət Reynolds ədədi adlanır;

burada  $W$ -mayenin sürəti, m/san;

$d$ -kanalın xarakterik ölçüsü, m;

$V$ -mayenin kinematik özlülüyüdür, m/san.

Silindrik kanallar (borular) üçün (12.3) ifadəsində xarakterik ölçü diametr qəbul olunur. Kanalın en kəsiyi sahəsi ixtiyari şəkildə olarsa, xarakterik ölçü ekvivalent diametr qəbul olunur.

Ekvivalent diametr elə çevrənin diametrinə deyilir ki, onun sahəsi və parametri baxılan kanalın en kəsiyinin sahəsinə və perimetrinə bərabər olsun.

$$F = \frac{\pi d_{ekv}^2}{4} = \frac{\pi d_{ekv} \cdot d_{ekv}}{4} = \frac{U d_{ekv}}{4},$$

ya da

$$d_{ekv} = \frac{4F}{U},$$

burada  $F$ -kanalın en kəsiyinin sahəsi, m<sup>2</sup>;

$U$ -kanalın en kəsiyinin perimetridir, m.

Mayenin hərəkət rejimini bilmək üçün Reynolds ədədi ( $Re$ ) məlum olmalıdır.

(12.3) ifadəsindən tapılmış Reynolds ədədi ( $Re$ ) 2320-dən böyük olduqda mayenin hərəkəti turbulent rejimli, 2320-dən

kiçik olduqda laminar rejimlidir.

**Səthin forması və ölçüləri.** İstiliyi alan (yaxud verən) səthin formasının və ölçülərinin istilikvermə prosesinə təsiri çox böyükdür. Məsələn, yastı, yaxud silindrik səthin ölçülərindən və vəziyyətindən (üfqi, şaquli, maili) istiliyi alan (verən) səthin aşağı və ya yuxarı çevrilməsindən asılı olaraq mayenin hərəkət şəraiti, deməli istilikvermə prosesi müxtəlif olur.

**Mayenin özlülüyü.** Hərəkət edən mayenin hissəciklərinin və ya paralel təbəqələrinin sürəti müxtəlif olduğundan, onların arasında hərəkətin əksinə yönəlmiş sürtünmə qüvvəsi əmələ gəlir. Bu sürtünmə qüvvəsini xarakterizə edən kəmiyyətə mayenin özlülüyü deyilir.

Müxtəlif sürətlə hərəkət edən maye təbəqələri arasında əmələ gələn sürtünmə qüvvəsi, Nyuton qanununa əsasən, aşağıdakı düsturla tapılır:

$$S = \mu \frac{dW}{dn} F, \quad (12.4)$$

burada  $F$ -hərəkətdən təbəqələrin toxunma səthinin sahəsi,  $m^2$ ;

$\frac{dW}{dn}$  -təbəqələr arasında sürət qradienti,  $\frac{m/san}{m}$ ;

$s$ -sürtünmə qüvvəsi,  $kQ$ ;

$\mu$ -daxili sürtünmə əmsalı və ya özlülük əmsalıdır,  $\frac{kQsan}{m^2}$ .

$$F = 1 \quad m^2 \quad \text{və} \quad \frac{dW}{dn} = 1 \quad \frac{m/san}{m}$$

olarsa, (12.4) düsturundan alırıq

$$S = \mu.$$

Deməli, mayenin özlülük əmsalı toxunma səthinin sahəsi  $1 \quad m^2$  və aralarındakı sürət qradienti  $1 \quad \frac{m/san}{m}$  olan iki paralel axan

maye təbəqələri arasında əmələ gələn sürtünmə qüvvəsidir.

Mayələrin özlülüyü temperaturdan asılı olur, təcrübədən tapılır və cədvəllərdə verilir.

Şerti olaraq, mayenin özlülük əmsalının ( $\mu$ ) sıxlığa ( $\rho$ ) nisbətində kinematik özlülük ( $\nu$ ), özlülük əmsalı ilə sərbəst düşmə təcilinin ( $g$ ) hasilinə isə dinamik özlülük ( $\eta$ ) deyilir. Yəni

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \frac{m^2}{san} \text{ kinematik özlülük, } \eta = \mu \cdot g, \frac{kQ}{m \cdot san} \text{ dinamik}$$

özlülükdür.

**Temperaturkeçirmə əmsalı.** İstilikvermə prosesinə, bəzi hallarda mayenin bir sıra parametrlərindən təşkil olunmuş kompleks kəmiyyətlər təsir göstərir. Belə kompleks kəmiyyətlərdən biri də temperaturkeçirmə əmsalıdır.

Temperaturkeçirmə əmsalı qərarlaşmayan temperatur sahəsi olan mühitdə temperaturun yayılma sürətini xarakterizə edir.

Cismin daxilində temperaturun yayılma sürəti həmin cismin istilikkeçirmə əmsalı ilə düz və həcmi istilik tutumu ilə tərs mütənəsb olduğundan, yaza bilərik

$$a = \frac{\lambda}{c'_p} = \frac{\lambda}{\gamma c_p}, \frac{m^2}{san},$$

burada  $\lambda$ -cismin istilikkeçirmə əmsalı,  $\frac{kCoul}{m \cdot san \cdot d\bar{x}}$ ;

$\gamma$ - xüsusi çəkisi,  $\frac{kQ}{m^3}$ ;

$c'_p$ - sabit təzyiqdəki həcmi istilik tutumu,  $\frac{kCoul}{m^3 \cdot d\bar{x}}$ ;

$c_p$ - sabit təzyiqdəki kütlə istilik tutumu,  $\frac{kCoul}{kq \cdot d\bar{x}}$ ;

$a$ - temperaturkeçirmə əmsalıdır,  $\frac{m^2}{saat}$ .

### Yoxlama sualları

1. Konvektiv istilikvermə nəyə deyilir? 2. İstilikvermənin Nyuton qanunu necə səslənir? 3. İstilikvermə əmsalı nəyə deyilir? 4. Təbii konveksiya nəyə deyilir? 5. Laminar hərəkət rejimi necə gedir? 6. Turbulnet Hərəkət rejimi necə gedir? 7. Sərhəd təbəqəsi nəyə deyilir? 8. Sərhəd təbəqəsinin qalınlığı

nədən asılıdır? 9. Ekvivalent diametr nəyə deyilir? 10. Reynolds kriterisinin hansı qiymətində laminar, hansı qiymətində isə turbulent rejim müşahidə olunur? 11. Mayenin özlülüyü nəyə deyilir? 12. Kinematik özlülük nədir? 13. Dinamik özlülük nədir? 14. Temperaturkeçirmə əmsalı nədir? 15. Temperaturkeçirmə əmsalı qərarlaşmayan temperatur sahəsi olan mühitdə nəyi xarakterizə edir?

## XIII FƏSİL ŞÜALANMA

### 13.1. Ümumi anlayışlar

Qızdırılmış cismlərin daxili enerjisinin bir hissəsi şüalanma enerjisinə çevrilir. Cismin temperaturu yüksək olduqca bu çevrilmə də çox olur. Şüalanma enerjisi cisimdən ətraf mühitə elektromaqnit dalğaları şəklində yayılır. İstilik hadisələrində əsas rol oynayan elektromaqnit dalğaları, adi gözlə görünən işıq şüaları və infraqırmızı şüalara uyğun dalğalardır. Çünki bu dalğalar cisimlər tərəfindən asanlıqla udulur və onların enerjisi istilik enerjisinə çevrilir. Bu dalğaların uzunluğu 0,4-40 m intervalında dəyişir. Dalğa uzunluğu bu intervalda dəyişən şüalara istilik şüaları deyilir.

Görünən şüalar üçün mövcud olan yayılma, əksolunma və sınma qanunları istilik şüaları üçün də xasdır. Bütün cismlər az və ya çox dərəcədə şüalanma qabiliyyətinə malikdir. Bu şüalar başqa cisimlərin üzərinə düşdükdə onların enerjisinin bir hissəsi udulur, digər hissəsi əks olunur və bir hissəsi cismin içərisindən keçir. Şüa enerjisinin cisim tərəfindən udulan hissəsi hesabına onun daxili enerjisi və deməli, temperaturu artır. Cisimdən qayıdan və onun içərisindən keçib gedən şüa enerjisi də başqa cisimlərin üzərinə düşür və yuxarıdakı hallar baş verir. Beləliklə, hər bir cisim şüa enerjisini həm udma və həm də buraxma qabiliyyətinə malikdir. Şüa enerjisini udduqda onun temperaturu artır, buraxdıqda isə azalır. Cismin aldığı və ya verdiyi istilik enerjisi onun şüalandırdığı və udduğu şüa enerjilərinin fərqinə görə təyin edilir. Bir neçə cisimdən ibarət sistemdə temperatur sabit olarsa, bu sistemdəki hər bir cisimdə baş verən şüalanma və şüaudma enerjiləri bərabər olur. Bu cür sistemə dinamik istilik tarazlığında olan sistem, bu sistemdəki şüalanmaya isə tarazlıq şüalanması deyilir.

Cismin üzərinə düşən ümumi şüa enerjisini-  $Q_0$ , cismin udduğu şüa enerjisini-  $Q_A$ , qaytardığı şüa enerjisini-  $Q_R$ , öz içərisindən keçirdiyi şüa enerjisini-  $Q_D$  ilə işarə etsək, enerjinin saxlanması qanununa görə

$$Q_A + Q_R + Q_D = Q_O \quad (13.1)$$

Bu düsturun hər tərəfini  $Q_O$ -ya bölsək, onda

$$\frac{Q_A}{Q_O} + \frac{Q_R}{Q_O} + \frac{Q_D}{Q_O} = 1. \quad (13.2)$$

$A = \frac{Q_A}{Q_O}$  nisbətində cismin şüaudma qabiliyyəti,

$R = \frac{Q_R}{Q_O}$  nisbətində şüaqaytarma qabiliyyəti,  $D = \frac{Q_D}{Q_O}$  nisbətində

şüaburaxma qabiliyyəti deyilir.

Bunları (13.2) düsturunda nəzərə alağ

$$A + R + D = 1. \quad (13.3)$$

Yəni, cismin şüaudma, şüaqaytarma və şüaburaxma qabiliyyətlərinin cəmi vahidə bərabərdir.  $A$ ,  $R$  və  $D$  kəmiyyətlərinin hər biri 0 ilə 1 arasında dəyişə bilər.

$A=1$ ,  $R=0$  və  $D=0$  olarsa, bu o deməkdir ki, cismin üzərinə düşən şüa enerjisinin hamısı bu cisim tərəfindən udulur. Belə cisimlərə mütləq qara cisim deyilir. Təbiətdə mütləq qara cisim yoxdur. Lakin daxili səthi hislə örtülmüş iki boş kürədə bir yarıq açılarsa, bu yarıqdan daxil olan işıq şüası kürə daxilində bir neçə dəfə əks olunmaqla demək olar ki, tamamilə udulur. Belə bir cisim təxminən mütləq qara cisimə misal olar.

$R=1$ ,  $A=0$  və  $D=0$  olarsa, cisim üzərinə düşən şüa enerjisinin hamısı ondan qayıdır. Belə cisimlərə mütləq güzgü cisimlər deyilir.

$D=1$  və  $R=0$  olarsa, cisim üzərinə düşən şüa enerjisinin hamısı ondan keçər. Belə cisimlərə mütləq şəffaf cisimlər deyilir. Təbiətdə mütləq şəffaf və mütləq güzgü cisimlər də yoxdur. Lakin bunlara az və ya çox dərəcədə yaxın olan cisimlər vardır.

Bərk və maye cisimlər istilik şüaları üçün praktik olaraq şəffaf olmadığından ( $D=0$ ) onlar üçün (13.3) düsturu aşağıdakı şəkildə yazılır

$$A + R = 1 \quad (13.4)$$

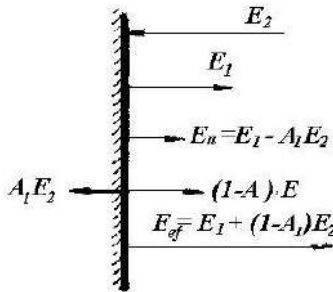
(13.4) düsturundan görünür ki, cisim yaxşı şüaqaytarma qabiliyyətinə malikdirsə, o cisim pis şüaudma qabiliyyətinə malikdir və əksinə.



İstilik şüalarının udulma və əks olunmasında cismin səthi böyük rol oynayır. Məsələn, kələ-kötür səthin şüaudma qabiliyyəti hamar və cilalanmış səthlərə nəzərən daha çoxdur. Şüaudma qabiliyyətini artırmaq üçün cismin səthini, tərkibində neft hisi olan tünd kələ-kötür rəngilə örtürlər. Bu halda şüaudma qabiliyyəti  $A=0,96$  olur. Cismin vahid səthindən vahid zamanda şüalanan enerjiyə şüa dəstəsinin səthi sıxlığı deyilir və  $\frac{kCoul}{m^2 \cdot san}$  ilə ölçülür.

Şüalanma nəticəsində alınan istilik miqdarını təyin edək. Bunun üçün fərz edək ki,  $E_1$  cismin buraxdığı şüa dəstəsinin səthi sıxlığıdır (şək.13.1),  $E_2$  isə cismin udduğu şüa dəstəsinin səthi sıxlığıdır. Onda  $A_1 \cdot E_2$  hissəsi cismin tərəfindən udulur və  $(1-A_1) \cdot E_2$  hissəsi isə əks olunur. Cismin özünün şüalanması ilə əks olunan şüalanmanın enerjisinin cəminə effektiv şüalanma enerjisi deyilir

$$E_{ef} = E_1 + (1-A_1)E_2 . \quad (13.5)$$



**Şək. 13.1. Şüalanma nəticəsində alınan istilik miqdarını təyini**

Şüalanma nəticəsi isə effektiv şüalanma enerjisi ilə xaricdən cismə verilən şüalanma enerjisi fərqinə bərabər olacaqdır:

$$E_n = E_{ef} - E_2 = E_1 - A_1E_2 . \quad (13.6)$$

(13.5) düsturu ilə ifadə olunan şüa enerjisi bizim müşahidə etdiyimiz və ya ölçü cihazlarının göstərdiyi faktik şüalanma enerjisini, (13.6) düsturu isə cismin özünün şüalandırdığı enerji

ilə ətraf mühitin şüalandırdığı enerjinin bu cisim tərəfindən udulan hissəsinin fərqi ifadə edir (şəkl.13.1).

### 13.2. Kirxhof qanunu

Kirxhof apardığı təcrübələrə və termodinamik mülahizələrə əsaslanaraq müəyyən etmişdir ki, bütün cisimlər üçün müəyyən temperaturda onların təbiətdən asılı olmayaraq, spektral şüaburaxma qabiliyyətinin spektral şüaudma qabiliyyətinə olan nisbəti sabit olub, mütləq qara cismin spektral şüaudma qabiliyyətinə bərabərdir:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \frac{E_3}{A_3} = \dots = \frac{E_0}{A_0} = E_0 = f(T). \quad (13.7)$$

Stefan-Bolsman qanunundan məlumdur ki,  $E = C \left( \frac{T}{100} \right)^4$ .

Bunu tənlikdə əvəz etsək, aşağıdakını alarıq:

$$\frac{C_1}{A_1} = \frac{C_2}{A_2} = \frac{C_3}{A_3} = \dots = \frac{C_0}{A_0} = C_0. \quad (13.8)$$

Buradan yazı bilərik:

$$C_1 = A_1 C_0; \quad C_2 = A_2 C_0; \quad C_3 = A_3 C_0.$$

Yəni, cismin qaralığ dərəcəsi, onun şüaudma qabiliyyətinin mütləq qara cismin şüaudma qabiliyyəti hasilinə bərabərdir.

Cismin vahid səthindən, vahid zamanda şüalanan enerjini  $dE$  ilə işarə etsək:

$$dE = E_{\lambda T} \cdot d\lambda.$$

Burada

$$E_{\lambda T} = \frac{dE}{d\lambda} \quad (13.9)$$

cismin spektral şüaburaxma tezliyi və ya enerjinin spektrə görə paylanma funksiyası adlanır.

Kirxhof qanununu riyazi şəkildə yazıq:

$$\frac{E_{\lambda T}}{A_{\lambda T}} = f(\lambda, T). \quad (13.10)$$

(13.10) düsturunu mütləq qara cism üçün yazsaq,  $A_{\lambda T}=1$  olar

və mütləq qara cismin şüaburaxma qabiliyyətini  $E_{\lambda T}$  ilə işarə etsək,

$$E_{\lambda T} = f(\lambda, T) . \quad (13.11)$$

Yəni, hər hansı cismin müəyyən  $\lambda$  və  $T$  üçün spektral şüaburaxma qabiliyyətinin spektral şüaudma qabiliyyətinə olan nisbəti sabit olub (həmin  $\lambda$  ilə  $T$  üçün) mütləq qara cismin şüaburaxma qabiliyyətinə bərabərdir.

### 13.3. Stefan-Bolsman qanunu

Bu qanun 1879-1881-ci illərdə təcrübi yolla çex alimi Stefan tərəfindən kəşf olunub və Avstriya alimi Bolsman tərəfindən nəzəri olaraq əsaslandırılmışdır.

Mütləq qara cismin şüalandırdığı enerji onun mütləq temperaturunun dördüncü dərəcəsi ilə düz mütənasibdir, yəni:

$$E = \sigma T^4 , \quad (13.12)$$

burada  $\sigma$  - mütənasiblik əmsalı olub, qiymətcə

$$4,9 \cdot 10^{-8} \frac{kCoul}{m^2 \cdot san \cdot d\lambda r^4}$$

(13.12) düsturu çox vaxt aşağıdakı şəkildə də yazılır

$$E = C_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4 , \quad \frac{kCoul}{m^2 \cdot san} \quad (13.13)$$

$C_0$  şüaburaxma əmsalı adlanır və

$$C_0 = \sigma \cdot 10^8 = 4,9 \frac{kCoul}{m^2 \cdot san \cdot d\lambda r^4} .$$

(13.12) düsturunu boz cisimlər üçün də yazmaq olar

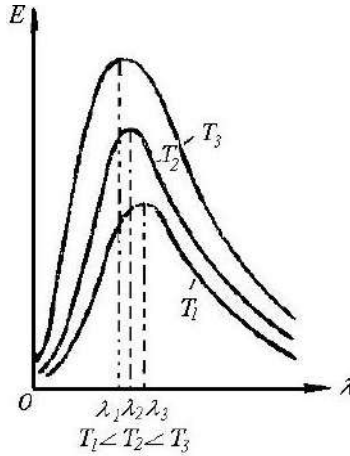
$$E = \varepsilon \cdot E_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4 = \varepsilon \cdot 4,9 \left( \frac{T}{100} \right)^4 \quad (13.14)$$

Burada  $\varepsilon$  boz cismin eyni temperaturda mütləq qara cismə nəzərən şüalanma qabiliyyətini göstərir.

### 13.4. Vin-Qolitsinin yerdəyişmə qanunu

Mütləq qara cismin müxtəlif temperaturlarda şüalandırdığı

enerjinin, şüalanan işığın dalğa uzunluğundan asılı olaraq necə dəyişdiyini tədqiq etsək şəkil 13.2-də göstərilən əyriləri alırıq. Fərz edək ki,  $T_1 < T_2 < T_3$ -dir.



**Şək.13.2. Şüalanan işığın dalğa uzunluğundan asılı olaraq dəyişmə əyriləri**

Onda şəkildən görüldüyü kimi, maksimum enerjiyə ( $U_{\lambda T}$ ) malik dalğa uzunluğu temperatur artıqca azalır və koordinat başlanğıcına doğru yerini dəyişir, yəni temperatur artdıqca uzunluğu qısalır

$$\lambda_{\max} \cdot T = const , \quad (13.15)$$

burada  $const=0,002897 \text{ m}\cdot\text{dər}$ -dir.

Vin-Qolitsin qanunundan görünür ki, temperatur artdıqca nəinki şüalanma artır, həm də spektrdə enerjinin paylanması da dəyişir. Məsələn, aşağı temperaturlarda cisimlər, adətən, infraqırmızı, temperatur artdıqca qırmızı, narıncı və nəhayət ağ işıq şüalandırır.

### 13.5. Plank düsturu

Yuxarıda qeyd etdiyimiz mütləq qara cismin şüalanmasını xarakterizə edən qanunların heç biri  $E_{\lambda T}$  funksiyası ilə  $\lambda$  və  $T$  arasın-

dakı asılılığı aşkar şəkildə müəyyən etmir. Plank işığın kvant nəzəriyyəsinə əsaslanaraq mütləq qara cismin şüalanması üçün aşağıdakı düsturu nəzəri yolla çıxarmışdır:

$$E_{\lambda T} = \frac{c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1};$$

$$c_1 = 3,17 \cdot 10^{-16} = 4,9 \frac{\text{kkal} \cdot \text{m}^2}{\text{saat}};$$

$$c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{m}^\circ \text{k}.$$

burada  $e$ - natural loqarifmanın əsasıdır.

### 13.6. İki cisim arasında şüalanma ilə istilikötürmə

İstilik texnikasında çox vaxt iki cisim arasında şüalanma ilə istilikötürmə hadisəsinə rast gəlirik. İki paralel səth arasında şüalanma ilə baş verən istilik mübadiləsini nəzərdən keçirək. Bu hal üçün

$$q_{1,2} = E_{1ef} - E_{2ef}; \quad (13.6)$$

$$E_{1ef} = E_1 + (1 - A_1)E_{2ef};$$

$$E_{2ef} = E_2 + (1 - A_2)E_{1ef}.$$

Bu tənlikləri  $E_{1ef}$  və  $E_{2ef}$  görə həll etsək:

$$E_{1ef} = \frac{E_1 + E_2 - A_1 E_2}{A_1 + A_2 - A_1 \cdot A_2};$$

$$E_{2ef} = \frac{E_1 + E_2 - A_2 E_1}{A_1 + A_2 - A_2 \cdot A_1}.$$

Alınan qiymətləri (13.16) tənliyindən əvəz etsək:

$$q_{1,2} = \varepsilon_n c_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \frac{\text{kCoul}}{\text{m}^2 \text{san}}.$$

Burada

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Texniki hesablamada  $\varepsilon_n c_0 = c_n$  ilə əvəz edilir. Onda tənlik aşağıdakı şəkli alacaqdır:

$$q_{1,2} = c_n \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \frac{kCoul}{m^2 \cdot san}.$$

$c_n$ -nin qiyməti, ümumiyyətlə, temperaturdan asılı olaraq dəyişir. Onun ədədi qiymətləri cədvəl 13.1-də verilmişdir.

Cədvəl 13.1

$c_n$ -nin ədədi qiymətləri

Sıra №-si	Cisim	Sahənin növü	Temperatur, °C ilə	$C_n$ , kkal $\frac{m^2 \cdot saat \cdot dar^4}{m^2 \cdot saat \cdot dar^4}$
1	Lampa hisi	-	0,50	4,7
2	Polad	Cilalanmış	40-250	1,31
3	Polad	Parlaq	30-100	1,60
4	Polad	Tutqun rəngli	20-360	4,32
5	Çuqun	Kələ-kötür, paslanmış	40-250	4,39
6	Brünc	Tutqun rəngli	50-350	1,05
7	Buz	-	0	3,06
8	Su	-	60	3,20
9	Qırmızı kərpic	Kələ-kötür	22	4,6
10	Selikat kərpic	Kələ-kötür	1000	4,0
11	Selikat kərpic	Kələ-kötür	1100	4,12
12	Odadavamlı müxtəlif kərpiclər	Kələ-kötür	1000	3,5-3,7
13	Mis	Cilalanmış	50	0,53
14	Mis	Tutqun rəngli yayma	50	03,10
15	Mis	Kələ-kötür	50	3,68

### Yoxlama sualları

1. İstilik şüaları nəyə deyilir? 2. Dinamik istilik tarazlığında olan sistem nəyə deyilir? 3. Cismin aldığı və ya verdiyi istilik enerjisi nəyə görə təyin edilir? 4. Cismin üzərinə düşən ümumi şüa enerjisini hansı qanuna görə təyin etmək olar? 5. Cisim yaxşı şüaqaytarma qabiliyyətinə malikdirsə, sonra hansı qabiliyyətə malikdir? 6. Mütləq güzgü cisimlər nəyə deyilir? 7. Mütləq qara cisimlər nəyə deyilir? 8. Mütləq şəffaf cisimlər nəyə deyilir? 9. Şüa dəstəsinin

səthi sıxlığı nədir və nə ilə ölçülür? 10. Effektiv şüalanma enerjisi nəyə deyilir və necə təyin olunur? 11. Şüalanma nəticəsi necə təyin olunur? 12. Kirxhof apardığı təcrübələrə və termodinamik mülahizələrə əsaslanaraq nəyi müəyyən etmişdir? 13. Cismin qaralığ dərəcəsi nəyə bərabərdir? 14. Cismin spektral şüaburaxma tezliyi və ya enerjinin spektrə görə paylanma funksiyası necə ifadə olunur? 15. Kirxhof qanununun riyazi ifadəsi necədir? 16. Stefan Bolsman qanunu neçənci illərdə kəşf olunub, əsaslandırılmışdır. 17. Stefan Bolsman qanununda nə deyilir və necə ifadə olunur? 18. Vin-Qolitsinin yerdəyişmə qanunu nəyi öyrənir? 19. Plank işığın kvant nəzəriyyəsinə əsaslanaraq mütləq qara cismin şüalanması üçün hansı düsturu nəzəri yolla çıxarmışdır? 20. İki paralel səth arasında şüalanma ilə baş verən istilik mübadiləsi necə ifadə olunur?

## XIV FƏSİL İSTİLİKÖTÜRMƏ

İstiliyin isti mayedən (qazdan) soyuq mayeyə (qaza) onların arasındakı divar vasitəsi ilə verilmə prosesinə istilikötürmə deyilir. Bu proses, bizə məlum olan sadə proseslərin (istilikkeçirmə, konveksiya və şüalanma) birlikdə təsiri nəticəsində əmələ gəldiyindən, çox mürəkkəb proses hesab olunur.

İstilikötürmə prosesinin mürəkkəbliyini aydınlaşdırmaq məqsədi ilə buxar generatorunda gedən istilik mübadiləsi prosesinə baxaq.

Buxar generatorunda yanma məhsulunun (yanma qazlarının) istiliyi hesabına su buxara çevrilir. Belə ki, burada istilik əvvəlcə istilikkeçirmə, şüalanma və konveksiya vasitəsi ilə yanma qazlarından, daxilində su axan boruların xarici səthinə, sonra həmin istilik istilikkeçirmə yolu ilə borunun xarici səthindən daxili səthinə və konveksiya, həm də istilikkeçirmə vasitəsi ilə borunun daxili səthindən içərisindəki suya verilir.

Buradan, istilikötürmə prosesində həm istilikkeçirmənin, həm konveksiya və şüalanma proseslərinin iştirak etdiyini görürük. İstilikötürmə prosesini kəmiyyətcə xarakterizə edən əmsala istilikötürmə əmsalı deyilir və  $K$  ilə işarə edilir.

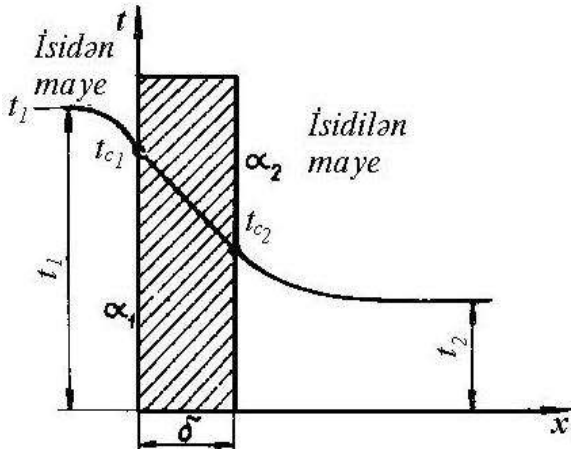
İstilikötürmə əmsalının  $K$  qiyməti onu təşkil edən istilikkeçirmə və istilikvermə proseslərini xarakterizə edən əmsallardan ( $\lambda$  və  $c$ ) və mayələr arasındakı divarın formasından və ölçülərindən asılı olaraq təyin edilir. Bunu aydınlaşdırmaq üçün bir neçə xüsusi hala baxaq.

### 14.1. Yastı divar vasitəsi ilə istilikötürmə

Yastı divar vasitəsi ilə istilikötürmə prosesini öyrəndikdə, adətən xüsusi istilik selinin  $q$  qiymətini və divarın kənar səthlərinin temperaturunu  $t_{c_1}$  və  $t_{c_2}$  tapmaq lazım gəlir. Bunun üçün divarın qalınlığı  $\delta$ , divarın materialının istilikkeçirmə əmsalı  $\lambda$ , isidən və isidilən mayenin temperaturu ( $t_1$  və  $t_2$ ) və həm isti, həm də soyuq mayenin istilikvermə əmsalı ( $\alpha_1$  və  $\alpha_2$ ) məlum



olmalıdır (şək.14.1).



**Şək. 14.1. Yastı divar vasitəsi ilə istilikötürmə prosesi**

Baxdığımız temperatur sahəsini qərarlaşmış qəbul etsək, isidən mayedən divara verilən istiliyin, divardan keçən istiliyə və onun da isidən mayeyə verilən istiliyə bərabər olmasını qeyd etməliyik. Buna əsasən, xüsusi istilik seli üçün aşağıdakı üç ifadəni yazırıq:

$$\left. \begin{aligned} q &= \frac{t_1 - t_{c_1}}{\frac{1}{\alpha_1}} \\ q &= \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{\frac{\delta}{\lambda}} \\ q &= \frac{t_{c_2} - t_2}{\frac{1}{\alpha_2}} \end{aligned} \right\} \quad (14.1)$$

Bu tənlikləri birlikdə həll edərək, axtardığımız naməlum kəmiyyətləri  $q$ ,  $t_{c_1}$  və  $t_{c_2}$  tapırıq. Bunun üçün əvvəlcə (14.1) tənliklərini belə yazırıq:

$$\left. \begin{aligned} t_1 - t_{c_1} &= q \frac{1}{\alpha_1} \\ t_{c_1} - t_{c_2} &= q \frac{\delta}{\lambda} \\ t_{c_2} - t_2 &= q \frac{1}{\alpha_2} \end{aligned} \right\}, \quad (14.1')$$

sonra bu ifadələri toplayırıq:

$$t_1 - t_2 = q \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right).$$

Aldığımız ifadədən xüsusi istilik selini tapırıq:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \frac{kCoul}{m^2 san}. \quad (14.2)$$

Xüsusi istilik seli  $q$  məlum olduqda, (14.1') tənliklərindən divarın səthlərinin temperaturu üçün aşağıdakı düsturları alırıq:

$$t_{c_1} = t_1 - q \frac{1}{\alpha_1} \quad (14.3)$$

və

$$t_{c_2} = t_1 - q \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} \right), \text{ yaxud } t_{c_2} = t_2 + q \frac{1}{\alpha_2}. \quad (14.4)$$

(14.2) düsturundan görürük ki, istilikötürmə prosesində xüsusi istilik seli temperatur fərqi ilə düz, termik müqavimətlərin cəmi ilə tərs mütənasibdir.

(14.2) ifadəsindəki termik müqavimətlərin cəmi  $1/K$  ilə işarə edilir və istilikötürmənin termik müqaviməti adlanır:

$$\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{K}. \quad (14.5)$$

Beləliklə, xüsusi istilik seli üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$q = K(t_1 - t_2), \quad \frac{kCoul}{m^2 san}, \quad (14.6)$$

burada  $K$ -istilikötürmə əmsalıdır.

İstilik ötürən divarın sahəsini  $F$  ( $m^2$ ) ilə işarə etsək, isidən mayedən isidilən mayeyə bir saatda ötürülən istiliyin miqdarı belə hesablanmalıdır:

$$Q = K(t_1 - t_2)F, \quad \frac{kCoul}{san}. \quad (14.7)$$

Bu ifadə istilikötürmənin əsas tənliyidir. İstilikötürmə əmsalının ( $K$ ) fiziki mənasını aydınlaşdırmaq üçün (14.7) tənliyindən istifadə edirik. Bu ifadədə  $F=1 m^2$  və  $(t_1-t_2)=1^\circ C$  olarsa alırıq ki,

$$Q = K.$$

Deməli, istilikötürmə, əmsalı, mayələrin temperatur fərqi  $1^\circ C$  və istiliyi ötürən səthin sahəsi  $1 m^2$  olduqda bir saatda isti mayedən soyuq mayeyə keçən istiliyin miqdarını göstərir.

İstilikötürmə əmsalının ölçü vahidi  $\frac{kCoul}{m^2 \cdot san \cdot d\Delta r}$  -dir.

Mayeləri bir-birindən ayıran yastı divar çoxtəbəqəli olarsa, xüsusi istilik selinin düsturu aşağıdakı kimi ifadə olunmalıdır:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \frac{kCoul}{m^2 san}. \quad (14.8)$$

Çoxtəbəqəli divarın aralıq təbəqələrinin səthinin temperaturunu tapmaq üçün birtəbəqəli divarda qəbul etdiyimiz üsuldən aşağıdakı kimi istifadə olunur:

$$\begin{aligned} t_{c_1} &= t_1 - q \frac{1}{\alpha_1}; \\ t_{c_2} &= t_1 - q \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right); \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ t_{c_{i+1}} &= t_1 - q \left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum_1^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right). \end{aligned} \quad (14.9)$$

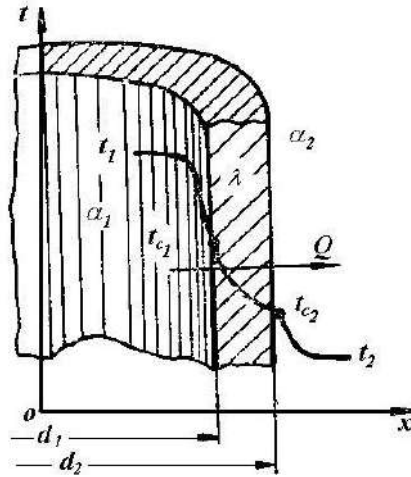
(14.9) ifadəsində  $t_{c_{i+1}}$  ixtiyari  $i$  təbəqəsi ilə  $i+1$  təbəqəsinin sərhədindəki temperaturu göstərir, təbəqələrin sayı isə isidən

maye tərəfindən hesablanmalıdır.

## 14.2. Silindrik divar vasitəsi ilə istilikötürmə

Silindrik divarın istilikötürməsini hesabladığımızda, adətən divarın daxili və xarici səthlərinin temperaturunu ( $t_{c_1}$  və  $t_{c_2}$ ) və xətti xüsusi istilik selini tapmaq lazım gəlir.

Tutaq ki, daxili diametri  $d_1$ , xarici diametri  $d_2$  və uzunluğu  $l$  olan silindrik borunun daxilindən, temperaturu  $t_1$  olan isidən maye, xaricdən isə temperaturu  $t_2$  olan isidilən maye axır. Borunun materialının istilikkeçirmə əmsalını, isidən və isidilən mayələrin istilikvermə əmsalını sabit və temperaturun ancaq radius istiqamətdə dəyişməsini nəzərdə tutduqda, isidən mayedən divara verilən, divardan keçən və divardan isidilən mayeyə verilən istiliklərin bərabər olduğunu deyə bilərik (şək.14.2)



Şək.14.2. Silindrik divar vasitəsi ilə istilikötürmə prosesi

Buna əsasən, borunun bir neçə metr uzunluğuna düşən xüsusi istilik seli üçün aşağıdakı ifadələri yazırıq:

$$\left. \begin{aligned} q_l &= \frac{t_1 - t_{c_1}}{\frac{1}{\pi d_1 \alpha_1}} \\ q_l &= \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}} \\ q_l &= \frac{t_{c_2} - t_2}{\frac{1}{\pi d_2 \alpha_2}} \end{aligned} \right\} \cdot \quad (14.9')$$

Bu tənlikləri birlikdə həll edərək, tələb olunan kəmiyyətlər üçün aşağıdakı ifadələri tapırıq:

$$q_l = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2}}, \quad \frac{kCoul}{m^2 san}; \quad (14.9'')$$

$$t_{c_1} = t_1 - q_l \frac{1}{\pi d_1 \alpha_1};$$

$$t_{c_2} = t_1 - q_l \left[ \frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} \right]$$

və ya

$$t_{c_2} = t_2 + q_l \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2}.$$

(14.9'') düsturu çoxtəbəqəli silindrik divar üçün aşağıdakı şəkildə yazılmalıdır:

$$q_l = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi} \sum_1^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\pi d_{n+1} \alpha_2}}, \quad \frac{kCoul}{m^2 san}, \quad (14.10)$$

burada

$$\frac{1}{\frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi} \sum_1^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\pi d_{n+1} \alpha_2}} = K_1 \quad (14.10')$$

ilə işarə etsək, (14.10) tənliyi aşağıdakı şəkli alar:

$$q_l = K_l(t_1 - t_2), \quad \frac{kCoul}{m^2san}, \quad (14.11)$$

burada  $K_l$ -xətti istilikötürmə əmsalı adlanır.

(14.11) düsturuna əsasən qeyd etmək olar ki, xətti istilikötürmə əmsalı  $K_l$  mayelərin temperatur fərqi  $1^\circ\text{C}$  olduqda bir saatda uzunluğu bir metr olan boru vasitəsi ilə isidən mayedən isidilən mayeyə ötürülən istiliyin miqdarını göstərir. Mayeləri ayıran silindrik divar çoxtəbəqəli olarsa, həmin divarın ixtiyari təbəqəsinin səthinin temperaturunu hesablamaq üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edilir:

$$t_{c_{i+1}} = t_1 - q_l = \left( \frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right). \quad (14.12)$$

Bu tənlikdə təbəqələrin sayı isidən maye tərəfdən hesablanmalıdır.

Baxdığımız iki misaldən aydın görürük ki, istilikötürmə əmsalı  $K$  mayelərin arasındakı divarın formasından və ölçülərindən asılıdır. Buna görə də mayeləri ayıran divarın müxtəlif formaları üçün istilikötürmə əmsalının ifadəsini yuxarıdakı qayda üzrə çıxarmaq lazımdır. Tədqiqatlar göstərir ki, mayələr arasındakı silindrik divarın daxili diametrinin  $d_1$  xarici diametrinə nisbəti 0,5-dən böyük olarsa  $\left( \frac{d_1}{d_2} > 0,5 \right)$ , (14.11)

düsturunu belə yazmaq olar.

$$q_l = K \pi d_x (t_1 - t_2) = \frac{\pi d_x (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (14.13)$$

burada  $d_x = \frac{d_1 + d_2}{2}$  -borunun orta diametri;

$\delta = \frac{d_2 - d_1}{2}$  -borunun qalınlığıdır.

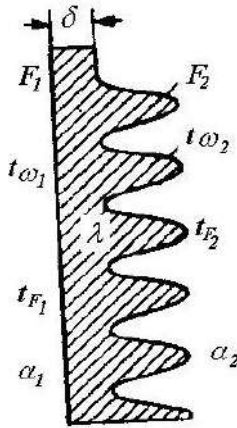
$\frac{d_1}{d_2} > 0,5$  olduqda (14.13) düsturunun verdiyi nəticə (14.11)

dəqiq düsturunun verdiyi nəticədən 4%-dək fərqlənə bilər.

### 14.3. Qabırğalı divarın istilikötürməsi

Qalınlığı  $\delta$ , istilikkeçirmə əmsalı  $\lambda$  olan bircins müstəvi divarın bir tərəfinin şəkil 14.3-də göstərilədiyi kimi, qabırğalı olduğunu fərz edək. Tutaq ki, bu divarın hamar tərəfinin sahəsi  $F_1$ -dir və temperaturu  $t_{F1}$  olan isti maye ilə əhatə olunmuşdur.

Qabırğalı tərəfinin sahəsi  $F_2$ -dir və onun temperaturu  $t_{F2}$  olan soyuq maye ilə əhatə olunmuşdur. Divarın hamar və qabırğalı üzlərinin temperaturlarını uyğun olaraq  $t_{\omega 1}$  və  $t_{\omega 2}$ , isti və soyuq mayelərin istilikvermə əmsallarının  $\alpha_1$  və  $\alpha_2$  olduğunu qəbul edək.



Şək. 14.3. Qabırğalı divarın istilikötürməsi

Qərarlaşmış istilik halı yarandıqda isti mayenin qabırğalı divara və onun soyuq mayeyə verdiyi istilik miqdarları eyni olar və aşağıdakı düsturla təyin edilirlər:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \alpha_1 F_1 (t_{F1} - t_{\omega 1}) \\ Q &= \frac{\lambda}{\delta} F_1 (t_{\omega 1} - t_{\omega 2}) \\ Q &= \alpha_2 F_2 (t_{\omega 2} - t_{F2}) \end{aligned} \right\}. \quad (14.14)$$

Bu düsturlardan xüsusi temperatur fərqlərini təyin etsək,

$$t_{F_1} - t_{\omega_1} = Q \frac{1}{\alpha_1 F_1}; \quad t_{\omega_1} - t_{\omega_2} = Q \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{1}{F_1}; \quad t_{\omega_2} - t_{F_2} = Q \frac{1}{\alpha_2 F_2}$$

və bunları tərəf-tərəfə toplasaq

$$t_{F_1} - t_{F_2} = Q \left( \frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda} \frac{1}{F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2} \right),$$

buradan da

$$Q = \frac{t_{F_1} - t_{F_2}}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{1}{F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2}} \quad (14.15)$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{1}{F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2}}, \quad \frac{kCoul}{m^2 \cdot san \cdot d\gamma r}$$

ilə əvəz etsək (14.15) düsturu aşağıdakı şəkli alar

$$Q = K_2 (t_{F_1} - t_{F_2}), \quad \frac{kCoul}{san}$$

Hesablamanı divarın hamar tərəfinin vahid səthinə düşən istilik miqdarı üçün aparsaq

$$q_{F_1} = \frac{Q}{F_1} = K_{F_1} (t_{F_1} - t_{F_2}), \quad \frac{kCoul}{m^2 san}$$

və

$$K_{F_1} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{F_1}{F_2}}, \quad \frac{kCoul}{m^2 \cdot san \cdot d\gamma r}.$$

Hesablama qabırğalı divara görə aparıldıqda isə

$$q_{F_1} = \frac{Q}{F_2} = K_{F_2} (t_{F_1} - t_{F_2}), \quad \frac{kCoul}{m^2 san}$$

və

$$K_{F_2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{F_2}{F_1} + \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{F_2}{F_1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \frac{kCoul}{m^2 \cdot san \cdot d\gamma r}.$$



Burada  $\frac{F_2}{F_1}$  nisbətində qabırğalanma əmsalı deyilir.

Deməli, qabırğalı səth və qabırğalanma əmsalı məlum olduqda  $\alpha_1$  və  $\alpha_2$  istilikvermə və  $\lambda$  istilikkeçirmə əmsalını bilərək qabırğalı divarın verdiyi istiliyi təyin etmək olar.

### ***Yoxlama sualları***

1. İstilikötürmə nəyə deyilir? 2. Buxar generatorunda su hesabına nəyin buxara çevrilir? 3. İstilikötürmə əmsalı nəyə deyilir və necə işarə edilir? 4. İstilikötürmə əmsalının  $K$  qiyməti nədən asılı olaraq təyin edilir? 5. Yastı divarda istilikötürmə prosesi necədir? 6. İstilikötürmənin termik müqaviməti nədir? 7. İstilikötürmə əmsalının ölçü vahidi nədir? 8. İstilikötürmənin əsas tənliyi necə yazılır? 9. Mayeləri bir-birindən ayıran yastı divar çoxtəbəqəli olarsa, xüsusi istilik selinin düsturu necə yazılır? 10. Silindrik divarın istilikötürməsini hesabladıqda nələrə tapmaq lazım gəlir? 11. Qabırğalı divarın istilik miqdarı necə təyin olunur? 12. Qabırğalanma əmsalı necədir?

## XV FƏSİL İSTİLİKDƏYİŞDİRİCİ APARATLAR

### 15.1. İstilikdəyişdirici aparatların növləri

İstiliyin bir mayedən (qazdan) başqa mayeyə (qaza) verilməsini təmin edən hər hansı qurğuya istilikdəyişdirici aparat, ya da istilikdəyişdirici deyilir.

İstilikdəyişdiricilər texnoloji əhəmiyyətinə, quruluşuna və konstruktiv tərtibatına görə çox müxtəlif olmalarına baxmayaraq, işləmə prinsipinə əsasən üç növ olur:

- a) rekuperativ istilikdəyişdirici;
- b) regenerativ istilikdəyişdirici;
- c) qarışdırıcı istilikdəyişdirici.

İstiliyin isidən mayedən isidilən mayeyə aralarındakı divar vasitəsi ilə, arasıkəsilmədən verilməsini təmin edən qurğuya rekuperativ istilikdəyişdirici deyilir. Rekuperativ istilikdəyişdiricilərdə mayeləri ayıran divarın bir tərəfində isidən, digər tərəfində isə isidilən maye arasıkəsilmədən axır.

Regenerativ istilikdəyişdiricilərin xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, burada istiliyin isti mayedən soyuq mayeyə verilməsini təmin edən divarın üzərindən gah isti maye, gah da soyuq maye axır. Belə ki, divarın üzərindən isti maye axdıqda divar isinir (istiliyi akumulasiya edir), soyuq maye axdıqda isə, o, akumulasiya etdiyi istiliyi soyuq mayeyə verir.

İstiliyin isti mayedən soyuq mayeyə onların bir-biri ilə qarışması nəticəsində verilməsini, təmin edən istilikdəyişdiriciyə qarışdırıcı istilikdəyişdirici deyilir.

Beləliklə, rekuperativ və regenerativ istilik dəyişdiricilərdə istilik mübadiləsi prosesi bərk cismin səthi ilə əldə edilir. Buna görə də belə istilikdəyişdiricilərə çox vaxt səthli istilikdəyişdiricilər də deyilir.

İstiliyin isidən mayedən isidilən mayeyə verilməsini təmin edən divarın səthinə isidilən səth, yaxud qızma səthi deyilir.

İstər səthli, istərsə də qarışdırıcı istilikdəyişdiricilərə hansı məqsəd üçün istifadə olunmasından asılı olaraq müxtəlif adlar verilir. Məsələn, səthli istilikdəyişdirici sırasına su ekonomay-

zeri, suqızdırıcı, şəbəkə suqızdırıcısı, buxar generatoru, buxar-qızdırıcı, havaqızdırıcı, kondensator, yağsoyuducu və s. daxildir. Qarışdırıcı istilikdəyişdiricilər sırasına qülləli soyuducu deaerator, suqızdırıcı, skrubber və s. daxildir.

Buxar generatorunda və buxarlandırıcıda buxar hasil edilir, lakin birincidə qazların (yanma məhsulunun) istiliyindən, ikincidə isə, təzyiq və temperaturu yüksək olan buxarın istiliyindən istifadə olunur. Su ekonomayzeri, suqızdırıcı və şəbəkə suqızdırıcısı da eyni məqsəd, yəni suyu qızdırmaq üçün tətbiq olunur. Ekonomayzerdə suyun qızdırılması yanma qazlarının istiliyi hesabına, suqızdırıcıda isə buxarın istiliyi hesabına əmələ gəlir. İstehsalata və isitmə şəbəkələrinə verilən suyu qızdıran istilikdəyişdiriciyə şəbəkə suqızdırıcısı deyilir.

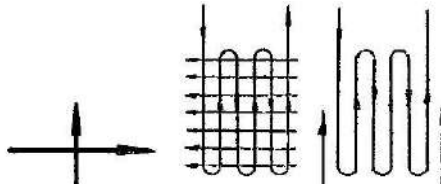
Qeyd etmək lazımdır ki, rekuperativ istilikdəyişdiricilərdən daha geniş istifadə edilir. Buna görə biz rekuperativ istilikdəyişdiricilərə baxmaqla kifayətlənəcəyik.

Rekuperativ istilikdəyişdiricilər isidən və isidilən mayelərin hərəkət istiqamətindən asılı olaraq üç növ olur: 1) düzaxımlı, 2) əksaxımlı, 3) çarpaz axımlı. Mayelər bir-birinə paralel və eyni istiqamətdə hərəkət edirsə, belə istilikdəyişdiriciyə düzaxımlı, paralel, ancaq əks istiqamətdə hərəkət edirsə əksaxımlı, mayelərin hərəkət istiqaməti bir-birinə perpendikulyar olarsa, buna çarpaz axımlı istilikdəyişdirici deyilir (şək.15.1).

Təcrübədə çox vaxt mürəkkəb, yəni eyni zamanda düz, həm də əksaxımlı, çox dəfə təkrar olunan çarpazaxımlı (şək.15.2) və s. sxemlərdən istifadə etmək lazım gəlir.



**Şək.15.1. Düz və əks axımlı rekuperativ istilikdəyişdiricilər**



**Şək.15.2. Çarpaz axımlı istilikdəyişdiricilər**

## 15.2. Su ekvivalenti və temperaturun dəyişmə əyriləri

İstilikdəyişdiricidə istilik mübadiləsi müxtəlif mayelər arasında, yəni qaz-su, qaz-buxar, buxar-su, yağ-su və s. baş verə bildiyindən, istilikdəyişdiricilərin hesablanması və müqayisəsini asanlaşdırmaq məqsədi ilə su ekvivalenti anlayışından geniş istifadə olunur.

Mayenin (qazın) su ekvivalenti  $W$ , ədədi qiymətcə, suyun ehtiva etdiyi istilik tutumuna bərabər olsun, yəni:

$$W = \omega f \gamma c_p = V \gamma c_p = G c_p, \quad \frac{kCoul}{san \cdot d\Delta r}, \quad (15.1)$$

burada  $\omega$  - baxılan mayenin sürəti, m/saat;

$f$  - maye axan kanalın en kəsiyinin sahəsi, m<sup>2</sup>;

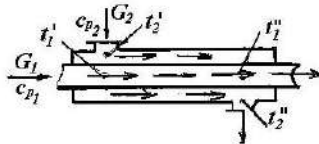
$\gamma$  - mayenin xüsusi kütləsi, kq/m<sup>3</sup>;

$c_p$  - mayenin xüsusi istilik tutumu,  $\frac{kCoul}{kq \cdot d\Delta r}$  ;

$V$  - baxılan mayenin bir saatlıq həcm sərfi, m<sup>3</sup>/saat;

$G$  - baxılan mayenin bir saatlıq çəki sərfidir, kq/saat.

İstilikdaşıyıcının temperaturunun dəyişməsi ilə su ekvivalenti arasındakı asılılığı almaq üçün istilikdəyişdiricinin istilik balansını tənliyindən istifadə edilir. İstilik mübadiləsində olan mayelərin temperaturunun dəyişməsini onların su ekvivalentləri məlum olduqda asanlıqla təyin etmək olur. Bunu aydınlaşdırmaq üçün şəkil 15.3-də göstərilən düzaxımlı rekuperativ istilikdəyişdiricinin istilik balansını tənliyindən istifadə edirik.



Şək.15.3. Düzaxımlı rekuperativ istilikdəyişdirici

İsindən mayenin saatlıq sərfini  $G_1$ , xüsusi istilik tutumunu  $c_{p1}$ ,

daxil olanda temperaturunu  $t'_1$ , xaric olanda isə  $t''_1$ ; isidilən maye üçün isə, uyğun olaraq  $G_2$ ,  $c_{p_2}$ ,  $t'_2$ ,  $t''_2$  ilə işarə etsək, xarici mühitə yayılan istilik itkisini nəzərə almaqla istilik dəyişdiricisinin istilik balansını üçün aşağıdakı ifadəni yazma bilirik:

$$Q = G_1 c_{p_1} (t'_1 - t''_1) = G_2 c_{p_2} (t'_2 - t''_2), \quad \frac{kCoul}{san} \quad (15.2)$$

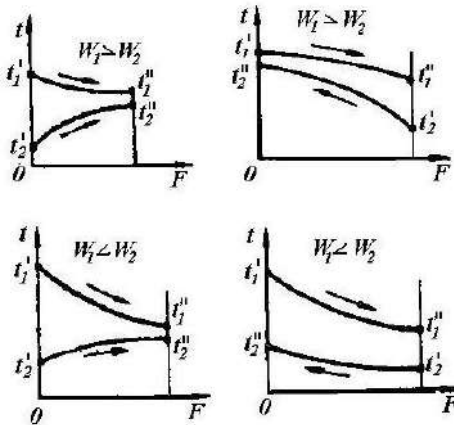
Bu tənliyə mayələrin su ekvivalentini daxil etsək, istilik balansının tənliyi aşağıdakı şəkli alar:

$$W_1(t'_1 - t''_1) = W_2(t'_2 - t''_2), \quad \frac{kCoul}{san},$$

buradan

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{t''_2 - t'_2}{t'_1 - t''_1} = \frac{\delta t_2}{\delta t_1} \quad (15.3)$$

Bu ifadədən, mayələrin su ekvivalentlərinin temperatur dəyişməsi ilə tərs mütənəsb olduğunu görürük. Şəkil 15.4-də düz və əksaxımlı istilikdəyişdiricilərdə istilik keçirən səth boyu axan mayələrin temperaturunun, onların su ekvivalentlərindən asılı olaraq dəyişməsini göstərən əyriyə verilmişdir.



**Şək.15.4. Düz və əksaxımlı istilikdəyişdiricilərdə istilik keçirən səth boyu axan mayələrin temperaturunun, onların su ekvivalentlərindən asılı olaraq dəyişmə əyriyələri**

Şəkildə absis oxu üzrə isidilən səth  $F$ , ordinat oxu üzrə isə mayelərin temperaturu göstərilmişdir. Şəkildə göstərilən temperatur əyrilərindən aşağıdakı nəticələrə gəlirik:

1) düzaxımlı istilikdəyişdiricidə, mayelərin su ekvivalentindən asılı olmayaraq, isidilən mayenin son temperaturu  $t''_2$  həmişə isidən mayenin son temperaturundan  $t'_1$  kiçik olur.

2) əksaxımlı istilikdəyişdiricidə mayelərin su ekvivalentindən asılı olaraq, isidilən mayenin son temperaturu  $t''_2$  isidən mayenin son temperaturundan  $t'_1$  böyük də alınə bilər.

### 15.3. İstilikdəyişdiricilərin hesablanması

İstilikdəyişdiricilər xarici görünüşünə, quruluşuna, işləmə prinsipinə və işçi cisimlərinə görə, çox müxtəlif olmalarına baxmayaraq, eyni məqsəd üçün – istiliyin isti mayedən soyuq mayeyə verilməsi üçün tətbiq olunduğundan, onların istilik hesabı eyni üsulla aparılır.

İstilikdəyişdiricilərin istilik hesabı iki növ olur: 1) layihə hesabı, 2) yoxlama hesabı.

Layihələşdirilən yeni istilikdəyişdiricinin istilik ötürən səthini (qızma səthini) tapmaq üçün aparılan hesablamaya istilik dəyişdiricinin layihə hesabı deyilir.

Qızma sahəsi məlum olan istilikdəyişdiricinin istilik yükünü və mayelərin son temperaturunu tapmaq lazım gəldikdə aparılan hesablamaya yoxlama hesabı deyilir. Yoxlama hesabı mövcud istilikdəyişdiricinin iş rejimini dəyişdikdə və onun quruluşunda müəyyən dəyişikliklər edildikdə aparılır.

İstilikdəyişdiricilərin layihə və yoxlama hesabı iki tənliyin birlikdə həll edilməsi ilə aparılır. Bu tənliklərdən biri istilikötürmənin əsas tənliyi, digəri isə istilikdəyişdiricinin istilik balans tənliyidir. Bütün istilikdəyişdiricilər üçün mahiyyətə eyni olan bu tənliklər, istilikdəyişdiricinin növündən (rekuperativ, regenerativ, qarışdırıcı) asılı olaraq, müxtəlif şəkillərdə olur.

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, biz təcrübədə daha çox tətbiq edilən və qərarlaşmış rejimdə işləyən, rekuperativ istilikdəyişdiricinin istilik hesabına baxmaqla kifayətlənəcəyik.

Qərarlaşmış rejimdə işləyən rekuperativ istilikdəyişdiricinin istər layihə, istərsə də yoxlama hesabətı bizə məlum olan aşağıdakı düstur üzrə aparılır:

1) istilikötürmənin əsas düsturu

$$Q = KF(t_1 - t_2), \frac{kCoul}{san}, \quad (15.4)$$

2) istilikdəyişdiricinin istilik balansı tənliyi

$$Q = G_1 C_{p_1} (t'_1 - t''_1) = GC_{p_2} (t''_2 - t'_1), \frac{kCoul}{san}. \quad (15.5)$$

İstilikötürmənin əsas düsturunu çıxardıqda mayelərin temperaturunu sabit qəbul etmişdik. Ümumi halda istilik mübadiləsi nəticəsində, isti maye soyuduğundan və soyuq maye isindiyyindən, mayelərin hərəkəti istiqamətində səth boyunca temperatur basqısı da dəyişən olur. Buna görə araşdırılan hal üçün (15.4) tənliyi aşağıdakı diferensial tənlik şəklində yazılmalıdır:

$$dQ = K\Delta t_1 dF, \frac{kCoul}{san}. \quad (15.6)$$

İstilikdəyişdiricinin qızma səthindən  $F$ -dən keçən istilik selini tapmaq üçün (15.6) ifadəsini inteqrallamaq lazımdır:

$$Q = \int_0^F K\Delta t_1 dF, \frac{kCoul}{san}. \quad (15.7)$$

İstilikdəyişdiricilərdə istilikötürmə əmsalı  $K$  çox az dəyişdiyindən onu sabit də qəbul etmək olar. Bu halda (15.7) ifadəsi aşağıdakı şəkli alar:

$$Q = K \int_0^F \Delta t_1 dF, \frac{kCoul}{san}. \quad (15.8)$$

(15.8) ifadəsini  $F$ -ə vursaq və bölsək alarıq ki,

$$Q = K \left( \frac{1}{F} \int_0^F \Delta t_1 dF \right) F = K\Delta t_{or} F, \frac{kCoul}{san}, \quad (15.9)$$

burada  $\Delta t_{or} = \frac{1}{F} \int_0^F \Delta t_1 dF$  -ə orta temperatur basqısı deyilir.

(15.9) ifadəsi istilikdəyişdiricilərin hesablanmasında istifadə

olunan əsas tənliklərdən biri olub, istilikötürmənin əsas tənliyi adlanır.

Layihə hesabətı aparıldıqda istilikdəyişdiricinin istilik yükü  $Q$  məlum olduğundan (verildiyindən), onun qızma səthi ( $F$ ) (15.9) tənliyindən təyin edilir:

$$F = \frac{Q}{K\Delta t_{or}}, \quad m^2. \quad (15.10)$$

(15.10) ifadəsindən görürük ki, istilikdəyişdiricinin qızma sahəsini  $F$  tapmaq üçün orta temperatur basqısını  $\Delta t_{or}$  və istilikötürmə əmsalını bilmək lazımdır.

### *Yoxlama sualları*

1. İstilikdəyişdirici aparat nəyə deyilir? 2. Hansı növ istilikdəyişdirici aparatlar var? 3. Rekuperativ istilikdəyişdirici aparat hansıdır? 4. Regenerativ istilikdəyişdirici aparat hansıdır? 5. Qarıxdırıcı istilikdəyişdirici aparat hansıdır? 6. Rekuperativ istilikdəyişdiricilər isidən və isidilən mayelərin hərəkət istiqamətindən asılı olaraq hansı növ olurlar? 7. Su ekvivalenti hansı məqsədlə istifadə olunur? 8. Mayenin (qazın) su ekvivalenti nəyə deyilir və necə təyin olunur? 9. İstilikdaşıyıcının temperaturunun dəyişməsi ilə su ekvivalenti arasındakı asılılığı almaq üçün hansı tənlikdən istifadə edilir? 10. İstilikdəyişdiricilərin istilik hesabətı hansı növ olurlar?



## II HİSSƏ. SOYUTMA TEXNİKASI

---

### Soyutma texnikasının inkişaf tarixi

İlk məişət soyuducusunun nümunəsi bunu hazırlamaq üçün (1 kq/saat) nəzərdə tutulan və 1860-cı ildə fransız mühəndisi F. Karre tərəfindən təklif olunan aparat hesab edilə bilər. 1862-ci ildə Ümumdünya London sərgisində F. Karre buz istehsalı üçün həmin aparatın işinə analoji olan yüksək məhsuldarlıqlı maşın nümayiş etdirmişdir. Maşın maye ammoniyak üçün daxilində çən quraşdırılmış kiçik soba şəklində idi. Ammoniyak qızdırılma nəticəsində buxarlanaraq boru ilə soyuducu çənə daxil olur. Buxarlanaraq soyutma nəticəsində çəni əhatə edən su donaraq buz əmələ gətirirdi.

Müasir məişət soyuducusu texnikasının yaranmasına ilk təkan verən 1874-cü ildə Münhenli alim K. Linde tərəfindən işlənmiş soyuducu maşın olmuşdur. Onun hazırladığı ilk soyuducu maşın metil efiri ilə işləmiş və Münhendə pivə zavodunda sınaqdan keçirilmişdir. Ammoniyakla işləyən ikinci maşın isə 1874-cü ildə hazırlanmışdır.

İlk məişət tipli kompressorlu soyuducu 1910-cu ildə ABŞ-da yarandı. Bir il keçəndən sonra "General Elektrik" amerika firması "Odifren" adlı soyuducu maşınların istehsalına başladı. Fransız fizika müəllimi Marsel Odifren tərəfindən 1894-cü ildə yaradılan "Odifren" maşını ilk avtomatik soyuducu maşın oldu.

Kopeland tərəfindən layihələndirilən, kamerasında temperaturu avtomatik nizamlanan ilk məişət soyuducusu ABŞ-da 1918-ci ildə hazırlanmışdı. Burada soyuducu agent kimi kükürd anhidridindən və ya ammoniyakdan istifadə olunmuşdur. Kompresor elektrik mühərrikindən qayıq ötürməsi vasitəsilə hərəkətə gətirilirdi.

Avropada soyuducu istehsalının inkişafı ABŞ-a nisbətən zəif idi. Belə ki, 1936-cı ildə Almaniyada 40 min kompressorlu soyuducu istehsal olunduğu halda ABŞ-da bu rəqəm 2 mln. idi.

İlk yapon soyuducusu 1926-cı ildə, keçmiş SSRİ-də isə ilk XTZ-120 soyuducuları 1937-ci ildə Xarkov traktor zavodunda

(XTZ) hazırlanmışdır.

Hal – hazırda buraxılan soyuducuların 90 %-i kompressorlu tiplidir. Absorbsiyalı soyuducular qənaətcil olmadığından onların istehsalı azalmışdır.

Termoelektriki soyuducular da geniş yayılmamışdır, çünki kompressorlu soyuducularla müqayisədə onların enerji sərfi dörd dəfə çoxdur. Onlar yalnız kiçik avtomobil soyuducularında (həcmi 10...20 dm<sup>3</sup>) istifadə olunur (burada alçaqgərginlikli sabit cərəyandan istifadə edilir).

Əhalinin tələbatına uyğun soyuducuların inkişaf tendensiyası onların faydalı həcmünün artmasıdır. Əgər 1968 –ci ildə satılan soyuducuların yalnız 6,3 %-nin həcmi 200 dm<sup>3</sup> idisə, 1988 –ci ildə bu rəqəm 68 % -ə kimi artmışdır.

Məişət soyuducularının istehsalının digər tendensiyası – dondurulmuş məhsulların saxlanma bölməsinin həcmünün artması və orada temperaturun -10...-12°C-dən -18...-24°C kimi azalmasıdır.

Son zamanlar zavodlar iki kameralı soyuducular istehsal edirlər ki, burada aşağı temperatur bölməsi kamera şəklində hazırlanır və ayrıca qapı ilə örtülür. Əgər adi modellərdə aşağı temperaturlu bölmənin (dondurucunun) həcmi ümumi həcmə 12...15 %-ni təşkil edərsə, iki kameralılarda bu 30...40 % təşkil edir. Üç kameralı soyuducuların istehsalı da artmışdır. Bu soyuducular yüksək temperaturlu (10...23°C), aşağı temperaturlu (-6...-24°C) və universal (+10...-12°C) bölmələrdən ibarətdir.

Hazırda istehsal olunan soyuducular komfort elementləri ilə təchiz edilmişdir: şəffaf rəflər, kameraların bölmələrinin şəffaf qapıları, pis iylərin qarşısını almaq üçün dezodorantlar, kompüterlə idarəetmə və s.

## SOYUDUCU MAŞINLAR VƏ APARATLAR

### XVI FƏSİL

## SÜNİ SOYUTMANIN TERMODİNAMİKİ ƏSASLARI

### 16.1. Süni soyutma üsulları

İstənilən qızdırılmış cismi təbii yolla onu əhatə edən ətraf mühitin temperaturuna qədər soyutmaq olar. Soyutmaq üçün təbii üsullara: ətraf mühitin havası, çay və dəniz suları və torpaq daxildir.

Cismin temperaturunu ətraf mühitin temperaturundan daha çox soyutmaq üçün ancaq süni soyutmadan istifadə olunur.

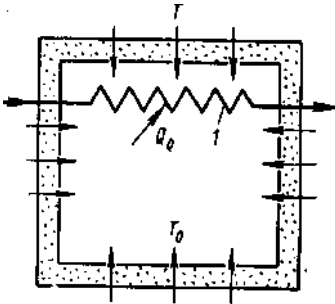
**Süni soyutma** – temperaturu ətraf mühitin temperaturundan aşağı olan cisimlərdən istiliyin alınması prosesinə deyilir. Tez xarab olan məhsulları saxlamaq üçün süni soyutmadan istifadə olunur.

Süni soyutmanın prinsipal sxemi şəkil 16.1-də göstərilmişdir. Soyutma prosesi hər hansı bir işçi maddə (soyuducu agent) vasitəsilə yerinə yetirilir. Soyuducu qurğuda 1 olan işçi maddə temperaturu  $T_0$  olan soyudulan mühitdən  $Q_0$  istiliyi alır. Bu zaman işçi cisim bir aqreqat halından digərinə keçərək çox miqdarda istilik qəbul edir. 1 kq işçi cismin qəbul etdiyi istilik miqdarı xüsusi soyutma məhsuldarlığı adlanır.

Soyutmanın ən sadə üsullarından biri buzla soyutmadır. Buzu soyudulan mühitə daxil etdikdə mühitin istisi buza verilir. Mühitin temperaturu aşağı düşür, buz tədricən əriyir. Bu halda soyutma üçün buzun 335 kCoul/kq-a (80 kkal/kq) bərabər olan gizli ərimə istiliyi istifadə olunur. Su buzundan soyutma üçün istifadə etdikdə alınan ən aşağı temperatur onun ərimə ( $0^{\circ}\text{C}$ ) məhdud temperaturudur.

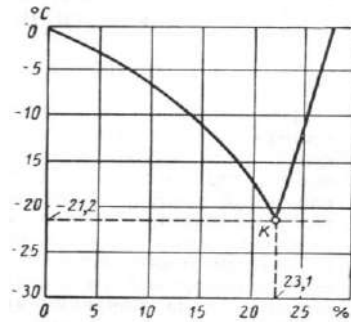
Soyuducu qarışıqlarla soyutma üsulunda  $0^{\circ}\text{C}$ -dən aşağı temperaturlar almaq mümkündür. Bu üsul 1774-cü ildə M.V.Lomonosov tərəfindən qeyd edilmişdir. Buzlu-duzlu soyutmada, məhluldan duzun qarışma istiliyindən başqa, buzun gizli

ərimə istiliyi də ayrılır. Bunun nəticəsində soyudan məhlulun temperaturu aşağı düşür (şək.16.2).



**Şək. 16.1. Süni soyutmanın sxemi:**

1 – soyuducu qurgu



**Şək. 16.2. Buz-duz məhlulun ərimə temperaturunun məhlulun qatılığından (buz+NaCl) asılılığı:**

*K* – kriohidrat nöqtəsi

Buz-duz qarışığının ərimə temperaturu duzun növündən və onun məhlulun tərkibindəki miqdarından asılıdır. Təcrübədə adətən buzla texniki xörək duzunun qarışığından istifadə edilir. Məhlulun (maye) qatılığı lazım olan temperaturdan asılı olaraq qəbul edilir. Qatılıq artdıqca məhlulun ərimə temperaturu müəyyən həddə qədər azalır, sonra yenə artır. Ən aşağı ərimə temperaturu (-21,2°C) qatılıq 23,1 % olduqda əldə olunur. Bu temperatur kriohidrat temperaturu adlanır.

Kalsium xlorlu buz məhlulunun qatılığı 29,9 % olduqda onun kriohidrat temperaturu -55°C-yə bərabər olur. 1 kq buz-duz məhlulunun soyutma məhsuldarlığı 1 kq təmiz buzun xüsusi soyutma məhsuldarlığından aşağıdır.

Qatılığı kriohidrat nöqtəsinə təvafüq edən duzlu su məhlulu evtektik adlanır. Onların donması zamanı kriohidrat temperaturuna bərabər, aşağı ərimə temperaturuna malik olan eynicins tərkibli buz əmələ gəlir.

Cədvəl 16.1-də evtektik məhlulların bəzi fiziki xassələri göstərilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi evtektiklərin ərimə tem-

peraturu 0°C-dən aşağıdır və müqayisədə gizli ərimə istiliyi adi su buzunun temperaturundan azdır.

Cədvəl 16.1

### Evtektik məhlulların fiziki xassələri

Duz məhlulunun adı	Məhlulda duzun miqdarı, %	Məhlulun sıxlığı, kq/l	Evtektikin ərimə temperaturu, °C	Ərimə istiliyi, kCoul/kq (kkal/kq)
Kalium sulfid	6,5	-	-1,5	-
Maqneziumhidrosulfid	19,0	-	-3,9	243(58,2)
Sink hidrosulfid	27,2	1,25	-6,5	213(50,8)
Kalium xlorid	19,7	1,15	-11,1	301(71,9)
Ammonium xlorid	18,7	1,06	-15,2	286(68,4)
Ammonium nitrat	36,9	-	-18,5	241(57,5)
Natrium xlorid	22,4	1,17	-21,2	236(56,4)
Maqnezium xlorid	20,6	-	-33,6	-
Kalsium xlorid	29,9	1,28	-55	213(50,8)
Kalium yodid	31,5	-	-65	-

Evtektik məhlul (qatışıqlar) zerotor adlanan xüsusi çənlərdə dondurulur.

Quru buzla soyutmada (bərk karbon) aşağı temperaturu almaq mümkündür. Bərk karbonu karbon qazından alırlar.

Atmosfer təzyiqi altında bərk karbon soyudulacaq mühitin istiliyini qəbul edərək sublimasiya edir, yəni bərk haldan qaz halına keçir. Yaranan buxarın temperaturu -78,9°C olduqda sublimasiya istiliyi 574 kCoul/kq (137 kkal/kq) olur.

Soyuducu maşınlar soyuqluğu uzun müddət istehsal edə bilirlər. Eyni işçi maddə maşında dövr edərək dövrü proses yerinə yetirir. Maşınla soyutma proseslərində müxtəlif işçi cisimlərin aşağı temperaturlarında qaynayan tərkiblərdən istifadə olunur. Belə tərkiblər ammonyak, freonlar, karbon, kükürd anhidridinə və bir çox maddələrə malikdirlər.

Aşağı temperaturun alınması üçün qazların sıxılmasının drossellənməsinə (sürətlənməsinə) əsaslanan soyuducu tsikllərdən istifadə edilir.

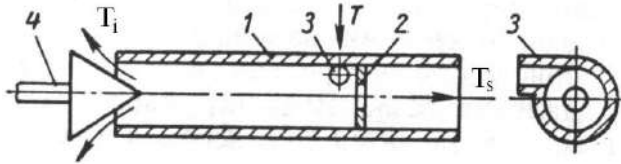
Drossellənmə prosesi kanalın qəfildən sıxılması halında baş verir və bu, qazın təzyiqinin azalması ilə müşahidə olunur. İdeal

qazlardan fərqli olaraq drossellənmə zamanı real qazların temperaturu dəyişir. Drossellənmə zamanı real qazların temperaturunun dəyişmə halı drossellənmə effekti və ya Coul – Tomson effekti adlanır.

Demək olar ki, bütün qazlar drosselənmə zamanı adi temperatur şəraitində soyudulur, çünki onların inversiya temperaturu yüksəkdir ( $800^{\circ}\text{K}$ -dan yuxarı). İstisna olaraq hidrogen  $T_i=200^{\circ}\text{K}$  və helium  $T_i=30^{\circ}\text{K}$  təşkil edir.

Burulğanlı soyutma effekti sadə quruluşlu boruda – burulğanlı boruda, onu ixtira edən Rankanın adı ilə bağlı olan Ranka borusunda və ya burulğanlı soyuducularda yerinə yetirilir.

Burulğanlı boru deşikli diafraqma ilə iki hissəyə bölünmüş silindrik borudur (şək.16.3).



**Şək. 16.3. Burulğanlı boru:**

1- boru; 2- diafraqma; 3- ucluq; 4- drossel ventili

Diafraqmanın yanında borunun daxili səthinə nəzərən tangensial yerləşən sıxılmış havanın verilməsi üçün ucluq (soplo) yerləşir. Borunun diafraqmasının sağ tərəfində yerləşən hissəsi sərbəst çıxış, yəni soyuq hissə, drossel ventili olan sol hissə isə – qaynar hissə adlanır.

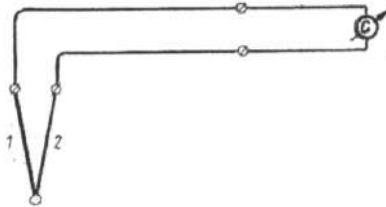
Təcrübə göstərir ki, burulğanlı boru ətraf mühit temperaturu ilə əhatə olunan ucluğa daxil olan sıxılmış qazı iki müxtəlif temperaturlu qaz axınına ayırmağa imkan verir. Bu halda  $T_s$  temperaturu olan soyuq hava diafraqmanın yarığından və sonra borunun soyuq hissəsindən keçir,  $T_q$  temperaturu olan qaynar hava isə əks tərəfdən, yəni drossel ventilindən keçir.

Burulğanlı soyuducunun işi zamanı başlanğıc parametrləri  $20^{\circ}\text{C}$  temperaturu və  $0,5 \text{ MN/m}^2$  təzyiqli quru havadan istifadə etdikdə soyuq axının temperaturu  $-50^{\circ}\text{C}$ ; havanın təzyiqi  $0,7-0,8 \text{ MN/m}^2$  olduqda isə daha aşağı temperaturu  $-70^{\circ}\text{C}$  olan

hava axınına almaq olur.

Soyutma texnikasında termoelektrik soyutmada da istifadə edilməsi perspektivli olub, daha çox təcrübi əhəmiyyət kəsb edir.

İki müxtəlif naqillərdən hazırlanan qapalı elektrik dövrəsində, yəni termoelementdə qaynaq (kontaklar) yerləri müxtəlif temperaturda olduqda termo-elektrohərəkətedici qüvvə yaranır (şək.16.4). Bu hadisə ilk dəfə Zeebek (1821-ci il) tərəfindən öyrənilmiş və termoelektrik adlandırılmışdır.



**Şək. 16.4. İki müxtəlif naqillərdən hazırlanan elektrik dövrəsi:**  
1 və 2 – termocüt budaqları

Peltie 1834-cü ildə müəyyən etmişdir ki, iki müxtəlif naqillərdən ibarət olan dövrəsindən elektrik cərəyanı buraxdıqda naqillərin birləşdiyi (qaynaq edilmiş) hissələrinin biri isinir, o biri isə soyuyur. Belə halda sistem, elektrik cərəyanı enerjisini soyuq birləşmədən istiyə keçirən soyuducu aqrekat kimi qəbul edilir.

Qaynaqla udulan və ya ayrılan istiliyin miqdarı cərəyan şiddətinin  $J$  zamana  $\tau$  hasililə düz mütənasibdir:  $Q_p = PJ\tau$ .

$P$  – Peltie əmsalı adlanır və termoelementin budaqlarının materialından asılıdır.

Hal – hazırda maşınla soyutmada kompressorlu və absorpsiyalı soyuducu maşınlar ən çox təcrübi əhəmiyyət kəsb edir.

## 16.2. Cismın hal parametrləri

Cismın istilik halı onun temperaturu ilə xarakterizə edilir. Temperaturu ölçmək üçün müxtəlif şkalalardan istifadə edilir: termodinamiki dərəcə Kelvinlə ( $T, K$ ) və beynəlxalq – dərəcə Selsiyə ( $t, ^\circ C$ ). Termodinamiki temperatur şkalasında suyun donma

temperaturundan 273,15 K aşağı temperatur mütləq sıfır qəbul edilir. Reper nöqtəsi kimi suyun üçlük nöqtəsinin temperaturu onun kristallik, maye və buxar fazalarının tarazlıq halını xarakterizə etməklə, bu nöqtə buzun ərimə nöqtələrindən daha dəqiq təyin edilir.

Selsi və Kelvin temperaturları arasındakı asılılıq aşağıdakıdır:

$$T = m\text{t} 273,15^{\circ}\text{B} \approx m\text{t} 273^{\circ}\text{B} .$$

Bundan başqa Farenqeyt şkalasından da istifadə olunur. Burada hesablama başlanğıcı 0°F selsiya şkalasında – 18°C-yə bərabərdir, 0°C buzun ərimə temperaturu 32°F-ə müvafiq edir, suyun qaynama temperaturu isə – 212°F-dir. Beləliklə, 1°C=1,8°F.

Bir şkaladan o birinə keçmək üçün aşağıdakı düsturlardan istifadə edilir:

$$m^{\circ}\text{B} = T, K - 273,15 = \frac{5}{9}^{\circ}\Phi - 32 ;$$

$$T, K = m^{\circ}\text{B} + 273,15 = \frac{5}{9}^{\circ}\Phi + 255,37 .$$

Səthə təsir edən təzyi qüvvəsinin həmin səthin sahəsinə nisbəti işçi cismin təzyiqini xarakterizə edir. Beynəlxalq vahidlər sistemində (Sİ) təzyi q vahidi kimi Paskal qəbul edilir: 1Pa=1N/m<sup>2</sup>. Bundan başqa sistemdə kənar vahidlərdən də istifadə edilir: texniki atmosfer ( 1 at=1 kQq/sm<sup>2</sup> ), fiziki atmosfer (1 atm=1,033 kQq/sm<sup>2</sup>).

Ətraf mühitin təzyiqindən çox olan təzyiq artıq və ya manometrik adlanır. Atmosfer təzyiqindən aşağı təzyi q boşalma və ya vakuu adlanır. Manometrik təzyiqi ölçmək üçün manometrlərdən, boşalmanı ölçmək üçün – manovakuu metrlərdən və ya vakuu metrlərdən istifadə edilir.

Mütləq təzyi q manometrik və atmosfer təzyiqinin cəminə bərabərdir. Bu vahidlər arasındakı uyğunluq aşağıdakı kimidir:

$$1 \text{ k} \varrho \varrho / \text{c} \text{m}^2 = 1 \text{ a} \text{m} \approx 10^5 \text{ P} \text{a} = 10^5 \text{ H} / \text{m}^2 = 1 \text{ b} \text{a} \text{p};$$

$$1 \text{ m} \text{m} . \text{b} . \text{c} \text{y} \text{m} = 133,3 \text{ P} \text{a} , \quad 1 \text{ m} \text{m} . \text{s} \text{u} . \text{s} \text{ü} \text{t} . = 9,8 \text{ P} \text{a} .$$

Xüsusi həcm (ν, m<sup>3</sup>/kq) maddənin həcmnin onun kütləsinə



olan nisbətində bərabərdir, sıxlıq ( $\rho$ , kq/m<sup>3</sup>) isə maddənin kütləsinin onun həcmində nisbətindədir.

Sİ sistemində istilik miqdarı Coulla (Coul) ölçülür və 1 m məsafədə 1 N qüvvənin işini ifadə edir. Sistemdən kənar istilik vahidi – kalori: 1Coul=1N·m; 1kkal=4186Coul.

İşin zamana nisbətində güc deyilir:

$$N = \frac{L}{t},$$

burada  $L$  – işdir, Coul;

$\tau$  - zaman, san.

Güc vahidi kimi vatt (Vt) qəbul edilir: 1Vt=1Coul/san. 1 kq cismin 1 K temperatura qədər qızdırılması və ya soyudulması üçün sərf edilən istilik miqdarı xüsusi istilik tutumu  $c$  adlanır və Coul/(kq·K) ilə ölçülür. Xüsusi istilik tutumu temperaturun 1K-ə qədər dəyişməsi zamanı maddənin entalpiyasının dəyişməsini göstərir. Entalpiya işçi cismin tam enerjisinə deyilir.

### 16.3. Cismin faz dəyişiklikləri

Hər bir maddə xarici şəraitlərdən – temperatur və təzyiqdən – asılı olaraq bərk, maye və qaz hallarında ola bilər. İstiliyin verilməsi və ya alınması nəticəsində molekullar arasındakı əlaqə formasının dəyişməsi maddənin dəyişməsinə səbəb olur, yəni faza dəyişikliyi baş verir. Soyuqluğun alınması üçün soyudulan mühitdən istiliyin udulması ilə aşağı temperaturda baş verən faz dəyişikliklərindən istifadə olunur. Bunlara ərimə, qaynama və sublimasiya aiddir.

**Ərimə.** Maddənin kristal halından maye halına istilik udmaqla keçməsi prosesi ərimə adlanır (məsələn, su buzunu qızdırdıqda onun temperaturu 0°C kimi artır, sonradan temperaturun artması suyun əriməsinə gətirib çıxarır). Ərimə temperaturu cismin növdən və xarici şəraitlərdən (təzyiqdən) asılıdır. Hər bir cismin öz ərimə temperaturu vardır.

Sabit ərimə temperaturunda mayenin bərk hala keçmə prosesi bərkimə adlanır. Bu proses mayedən istilik alındıqda, yəni mayenin temperaturu bərkimə temperaturuna kimi azaldıqda baş verir.

Duzlu məhlulların ərimə temperaturları bir qədər aşağıdır, məsələn, duzlu  $NaCl$  məhlulu –  $21,2^{\circ}C$  temperaturun alınmasına imkan verir (duzun kütlə payı  $23,1\%$  olduqda).

**Buxarlanma.** Müxtəlif temperaturlarda mayenin səthində baş verən buxarın əmələ gəlməsinə buxarlanma prosesi deyilir. Bu prosedən su soyuducu qurğularında suyun buxarlanması üçün istifadə edilir (qradirni, püskürücü hovuzlar və ya buxarlandırıcı kondensatorlar). Atmosfer təzyiqində və  $0^{\circ}C$  temperaturda suyun buxarlanma istiliyi  $2509\text{ kCoul/kq}$  təşkil edir.

**Qaynama.** Ətraf mühitin istiliyinin udulması nəticəsində mayenin bütün həcmi boyu baş verən intensiv buxarlanma prosesinə qaynama deyilir. Sabit təzyiqdə hər bir maddənin qaynama temperaturu sabitdir və mayenin üzərindəki buxarın təzyiqindən asılıdır. Təzyiqin azalması mayenin qaynama temperaturunun azalmasına hətta donmasına səbəb olur. Mayenin aşağı temperaturda qaynama prosesi – soyuducu agent qaynayan buxar kompressorlu soyuducu maşınların əsas proseslərindən biridir. Qaynama baş verən aparat buxarlandırıcı adlanır. Buxarlandırıcıda ətraf mühitdən istiliyin alınması baş verir, qaynayan maye isə buxar halına keçir.

Qaynama temperaturunda götürülmüş  $1\text{ kq}$  mayenin buxara çevrilməsi üçün istilik miqdarı buxarlanma istiliyi  $r$  və ya xüsusi buxarlanma istiliyi adlanır. Mayenin qaynama təzyiqi artdıqca onun gizli buxarlanma istiliyi azalır.

**Sublimasiya.** Cismin bərk haldan birbaşa buxar halına keçməsi sublimasiya adlanır. Obyektlərin soyudulmasında işçi cisim kimi bərk karbon dioksidi  $CO_2$  (quru buz) istifadə edilir.  $CO_2$ -nin atmosfer təzyiqində sublimasiya temperaturu –  $78,9^{\circ}C$ , sublimasiya istiliyi –  $574\text{ kCoul/kq}$ -dir.

**Kondensasiya.** İstiliyin udulması ilə yanaşı ayrılmış doymuş buxarın maye halına çevrilməsi prosesi kondensasiya adlanır. Kondensasiya temperaturu təzyiqdən asılıdır. Doymuş buxar kondensasiyası – soyuducu maşınların əsas işçi proseslərindən biri olub, kondensator adlanan aparatlarda baş verir.

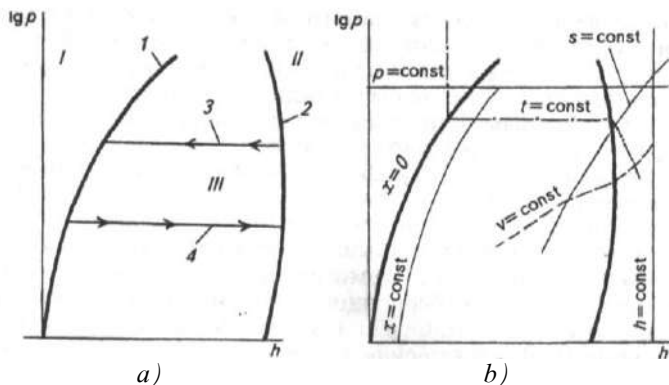
## 16.4. Soyuducu agentlərin termodinamiki diaqramları

Soyuducu maşının işi zamanı soyuducu agentin aqrekat halını və parametrlərini dəyişən fasiləsiz proseslər baş verir. Soyuducu maşının etibarlı istismarı orada gedən termodinamiki proseslərin düzgün qəbul edilməsidir. Ayrı-ayrı proseslərin öyrənilməsində soyuducu maşının tsiklinə daxil olan soyuducu agentin parametrlərini təyin etmək üçün soyuducu agentlərin termodinamiki diaqramlarından istifadə edilir.

Hər bir soyuducu agentin öz diaqramı olur ki, onların qurulma və istifadə prinsipləri eynidir. Təcrübədə ən çox istifadə edilən entalpiya – təzyiq ( $h-lgp$ ) və entropiya – temperatur ( $s-T$ ) diaqramlarıdır.

$h-lgp$  diaqramında istilik və adiabatik prosesin işi absis oxunda kəsiklərlə,  $s-T$  diaqramında isə sahələrlə verilir.

Şəkil 16.5.a-da soyuducu agentin faz dəyişmə sahələri verilir.



**Şək. 16.5. Soyuducu agentlərin  $h-lgp$  diaqramı:**

a- faz keçidi zonası; b- əsas parametrlər əyrisi; I- çox soyumuş maye sahəsi; II- çox qızmış buxar sahəsi; III- nəmli doymuş buxar sahəsi; 1- doymuş maye ayrısı; 2- doymuş buxar ayrısı; 3- buxar kondensasiya xətti; 4- mayenin qaynama xətti

Doymuş maye ayrısının sol tərəfində çox soyumuş maye sahəsi yerləşir. Doymuş maye və quru doymuş buxar ayrılırları arasında nəm buxar sahəsi yerləşir. Nəm buxar qaynama halında

və ya kondensasiya halında olan doymuş maye və quru doymuş buxar qarışığıdır. Mayedən buxara faz keçidi soldan sağa (qaynama), buxardan mayeyə isə sağdan sola (kondensasiya) baş verir. Buxarın tərkibini buxar–maye qarışığında sabit buxar tərkibi xətti  $x=const$  təyin edir və buxar-maye qarışığında buxarın kütlə payını göstərir (şək. 16.5.b). Doymuş maye xəttində buxar tərkibi  $x=0$ , quru doymuş buxar xəttində  $x=1$  olur.

Çox qızmış buxar sahəsi doyma temperaturundan yuxarı temperaturda müvafiq təzyiqdə olan buxarın halını göstərir. Şəkil 16.5.b-də verilən  $h - lgp$  diaqramı soyuducu agentin verilmiş altı parametrini xətt şəklində göstərir. Əsas parametrlərin ədədi qiymətləri 1 kq soyuducu agentə aid edilən xüsusi qiymətlərlə verilir.

Sabit buxar tərkibi xətti  $x$  nəm buxar sahəsindən keçir.

Sabit təzyiq xətləri  $p$  (MPa) – izobarlar –faz keçidinin bütün sahələrindən üfqi şəkildə keçir.

Sabit temperatur xətləri  $t$  (°C) – izotermlər – çox soyuma sahəsində şaquli, nəm buxar sahəsində – üfqi şəkildə keçir. Bu sahədə izotermlər izobarlarla uyğun gəlir, çünki soyuducu agent  $t$  və  $p$  sabit qiymətlərində öz faza halını dəyişir. Çox qızmış buxar sahəsində izotermlər əyrisi maili olaraq aşağı doğru gedir.

Sabit entalpiya xətləri  $h$  (izoentalplar) absis oxuna şaquli şəkildə verilmişdir. Daxili enerji  $u$  və potensial enerjinin  $p\nu$  cəminə bərabər olan 1 kq işçi cismin tam enerjisinə entalpiya deyilir, yəni  $h=u+p\nu$ . Entalpiyanın dəyişməsi (kCoul/kq) termodinamiki prosesdə  $p=const$ -da gətirilən istiliyin xüsusi miqdarına bərabərdir.

Sabit xüsusi həcm xətləri  $\nu$  (m<sup>3</sup>/kq) – izoxorlar – nəm və çox qızmış buxar sahəsindən keçən qırıq-qırıq xətlərlə göstərilmişdir. Maye sahəsində mayenin həcmi buxara nisbətən az olduğundan izoxorlar göstərilmişdir, buna görə də bu parametr diaqramla təyin edilmir.

Sabit xüsusi entropiya xətləri  $s$  (kCoul/kq·K) – adiabatlar – maili əyrilər şəklində diaqram sahəsindən keçir. Entropiya – sistem və xarici mühit arasında gedən istilik dəyişmə prosesinin istiqamətini xarakterizə edən termodinamik sistemin hal funksiyası-

dır.

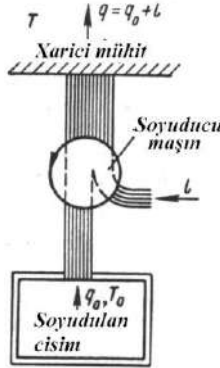
Diaqram sahəsində hər bir nöqtəyə müəyyən parametrlı soyuducu agentin halı uyğun gəlir və xəttin iki nöqtəsinin birləşməsi iki hal arasında gedən prosesin xarakterini göstərir.

### 16.5. Əks dairəvi proses

Məlumdur ki, işçi maddələr maşınlarda dairəvi proses (tsikl) yaradır. Bunlar düzünə və əksinə tsikllərə bölünür.

Müxtəlif tipli istilik mühərrikləri düzünə tsikl prinsipində işləyirlər. Bunlar yuxarı temperatur səviyyəsindən aşağı temperatur səviyyəsinə istiliyin keçirilməsi hesabına mexaniki enerji (buxar maşınları, daxiliyanma mühərrikləri, reaktiv mühərriklər) yaradır.

Soyuducu maşınlar və istilik nasosları əksinə tsikl prinsipi ilə işləyir. Burada istilik aşağı temperaturdan yuxarı temperatur səviyyəsinə ötürülür. Şəkil 1.6-da soyuducu maşının prinsipial sxemi verilmişdir.



Şək. 16.6. Soyuducu maşının prinsipial sxemi

Aşağı temperaturda  $T_0$  işçi maddə soyudulan cisimdən istiliyi  $q_0$  alaraq temperaturu yüksək olan  $T$  xarici mühitə verir. Bu zaman soyuducu maşında dövr edən işçi maddə əks dairəvi proses – soyutma tsikli yerinə yetirir. Bu prosesi yerinə yetirmək üçün  $l$  işi sərf olunur ki, həmin iş istilik kimi işçi maddə ilə qəbul edilərək  $q_0$  istiliyi kimi ətraf mühitə verilir.

Enerjinin saxlanma qanununa uyğun olaraq ətraf mühitə verilən ümumi istiliyin miqdarı aşağıdakı kimidir:

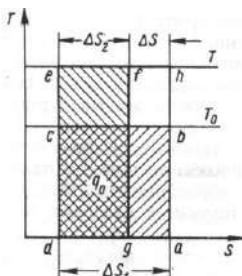
$$q = q_0 + l. \quad (16.1)$$

Soyuducu maşının işinin effektivliyi soyutma əmsalı ilə qiymətləndirilir və soyudulan mühitdən alınan istilik miqdarının tsikldə sərf olunan  $l$  işinin nisbətinə bərabərdir:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l}. \quad (16.2)$$

Termodinamikanın ikinci qanunundan istifadə edərək soyuducu tsikli yerinə yetirmək üçün sərf edilən işi təyin edək.

Fərz edək ki, (şək.16.7)  $s$ - $T$  – diaqramında  $a$ - $b$ - $c$ - $d$  sahəsinə bərabər olan istilik miqdarı  $q_0$  temperaturu  $T_0$  olan soyudulan mühitdən alınaraq temperaturu  $T$  olan digər cismə verilir ( $T > T_0$ ). Sahəsi  $a$ - $b$ - $c$ - $d$  -yə bərabər olan  $d$ - $e$ - $f$ - $g$  sahəsi temperaturu  $T$  olan cisimlə alınan istiliyi ifadə edir.



**Şək. 16.7. Soyuducu tsiklin işini təyin etmək üçün diaqram**

Soyutma proseslərində entropiya azalır. Birinci cismin entropiyasının azalması  $\Delta s_1 = q_0 / T_0$  olur. Əksinə  $q_0$  istiliyi qəbul edən cismin entropiyası  $\Delta s_2 = q_0 / T$  qədər artmalıdır. Mütləq qiymətlərinə görə  $\Delta s_2$ -nin qiyməti  $\Delta s_1$ -dən azdır, çünki  $T > T_0$ .

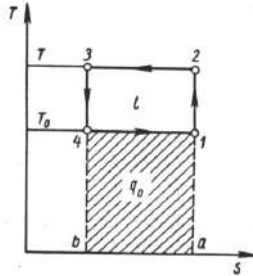
Termodinamikanın ikinci qanununa əsasən entropiyanın azalması ilə bağlı istiliyin ötürülməsi prosesi öz – özünə baş verə bilməz. Bunun üçün ikinci cismin entropiyasını  $\Delta s = \Delta s_1 - \Delta s_2$  qiyməti qədər artırmaq üçün sərf olunan işlə  $l$  bağlı kompensasiyaedici prosedən istifadə etmək lazımdır.

$$\frac{l}{T} \geq q_0 \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right).$$

Buradan süni soyuqluğun istehsalında soyuducu maşına lazım olan minimal işi müəyyən edirik:

$$l = \frac{q_0}{T_0} (T - T_0). \quad (16.3)$$

(16.3) tənliyi ilə müəyyən edilən iş əks Karno tsiklinin işinə bərabərdir (şək.16.8).



Şək. 16.8. Əks Karno tsikli

İzotermiki prosesdə (4-1) işçi maddə  $T_0$  temperaturu olan soyudulan mənbədən  $q_0$  istiliyini alır (sahə 1-a-b-4-1). 1-2 prosesində  $l_{1-2}$  işi sərf olunmaqla maddə adiabatik sıxılmaya məruz qalır; onun temperaturu  $T_0$ -dan  $T$ -yə kimi artır. Bundan sonra 2-3 izotermiki prosesində işçi cisim yuxarı temperaturlu istilik mənbəyinə  $q$  istiliyi verir (sahə a-2-3-b-a). 3-4 prosesində işçi maddə adiabatik genişlənərək  $l_{3-4}$  sərfəli işi yerinə yetirir, bu zaman temperatur  $T$ -dən  $T_0$ -a kimi azalır.

Nəticədə  $q_0$  istiliyinin  $T_0$  aşağı temperaturlu mənbədən  $T$  yuxarı temperaturlu mənbəyə ötürülməsi üçün mexaniki iş  $l$  sərf olunur. Bu da işçi cismin sıxılma və genişlənməsi zamanı alınan işlərin fərqi bərabərdir  $l=l_{1-2}-l_{3-4}$  (sahə 1-2-3-4-1).

Əks Karno tsiklinin yaranmasına sərf olunan iş istiliyə çevrilərək işçi cismə ötürülür. Əks Karno tsiklinin soyutma əmsalı

$$\varepsilon_{\kappa} = \frac{q_0}{l} = \frac{T_0}{T - T_0}. \quad (16.4)$$

Karno tsiklinin soyutma əmsalı işçi cisimlərin tərkibindən

asılı olmur, (16.4) tənliyindən göründüyü kimi  $T_0$  və  $T$  temperaturlarından, yəni soyudulan və soyudan mühitin temperaturlarından asılı olur.

Soyudulan mühitin  $T_0$  temperaturu nə qədər yüksək olarsa, bir o qədər də soyudan mühitin  $T$  temperaturundan aşağı olarsa soyuducu maşınların iş qənaətcilliyini yüksək soyutma əmsalına malik olur.

Əks Karno tsikli lazım olan soyudulan və soyudan mühitlərin verilmiş temperatur hüdudunda soyutma tsiklinin yaranması üçün minimum işi xarakterizə edir.

İşçi cismin və soyudulan və ya soyudan mühitlərin temperaturları arasında fərqlər olanda istilikdəyişmə prosesi qayıtmaz olur və itkiyə gətirib çıxarır. Bu da soyuducu maşınlarda əlavə enerji sərfi tələb edir. Belə ki, fərqli temperaturlu real tsikldə iş sərfi ətraf mənbələrin həmin temperatur hüdudunda yaranmış ideal tsiklindəki iş sərfindən çoxdur.

Sənayenin bir çox sahələrində (ət, süd, balıq, yeyinti) eyni vaxtda həm istilikdən, həm də soyuqdan istifadə olunur. Məhsulların termiki emalı üçün soyuqdan və temperaturu 40-70°C olan isti sudan istifadə olunur. Belə hallarda yanacağa qənaət etmək məqsədilə birgə istilik və soyuq almaq üçün kombinə edilmiş qurğulardan istifadə edilir.

İstilik maşınları konstruktiv cəhətdən soyuducu maşınlarla eynidir, çünki yerinə yetirdikləri tsikllər analojidir.

Soyuducu maşınlar əsasən 2 tipdə olub, birində mexaniki enerji sərfi ilə bağlı tsikllər (hava və buxar kompressorlu soyuducu maşınlar), digərində isə istilik sərfi ilə bağlı tsikllər (absorbsiyalı və buxarejektorlu soyuducu maşınlar) yerinə yetirilir.

### *Yoxlama sualları*

1. Soyutma nədir və onun prinsipləri hansılardır? 2. Syni soyutma nəyə deyilir? 3. Kriohidrat temperaturu hansı temperaturda yaranır? 4. Aşağı temperaturun alınması necə yerinə yetirilir və hansı soyutma üsulları vardır? 5. Drossellənmə hesabına soyudulma nədir? 6. Termoelektriki proseslərdən istifadə etməklə soyudulma necə yaranır? 7. Soyuducu maşınlarda işçi tsikli yaradan nədir? 8. Soyuducu maşının iş prinsipi necədir və hansı tipdə olurlar? 9. Soyuducu maşının işinin effektivliyi nə ilə qiymətləndirilir? 10. Əks Karno tsikli necə



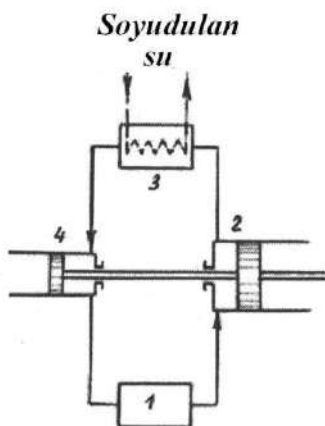
baş verir? 11. Soyutma əmsalı nəyə deyilir? 12. Cismin hal parametrləri dedikdə nə nəzərdə tutulur? 13. Hansı temperatur şkalası var? 14. Selsi və Kelvin temperaturları arasındakı asılılıq necə izah olunur? 15. Cismin fəz dəyişiklikləri hansılardır? 16. Soyuducu agent nədir? 17. Soyuducu agentlərin termodinamiki diaqramlarına hansı diaqramlar daxildir? 18. Soyuducu tsiklin işi hansı diaqramla müəyyən edilir? 19. Doymuş maye və doymuş buxar sahəsi necə təyin olunur?

XVII FƏSİL  
**KOMPRESSORLU SOYUDUCU MAŞINLARIN  
TSİKLLƏRİ**

**17.1. Hava soyuducu maşınları**

İlk dəfə sənayedəsüni soyuğun alınması soyuducu agenti hava olan soyuducu maşınlarda yerinə yetirilmişdir.

Hava ilə işləyən kompressorlu soyuducu maşının iş prinsipi belədir. Soyudulan mühitdən 1 (şək.17.1) hava kompressor 2 ilə sorulur və adiabatik sıxılmadan sonra soyuducuya 3 yönəldilərək sabit təzyiqdə su ilə soyudulur. Sonra hava genişləndirici silindrə 4 verilir və burada başlanğıc təzyiqə qədər adiabatik genişlənmə prosesi nəticəsində faydalı iş görür. Havanın temperaturu  $-60^{\circ}\text{C} \dots -70^{\circ}\text{C}$ -yə kimi azalır və yenidən soyudulan mühitə qaytarılır.

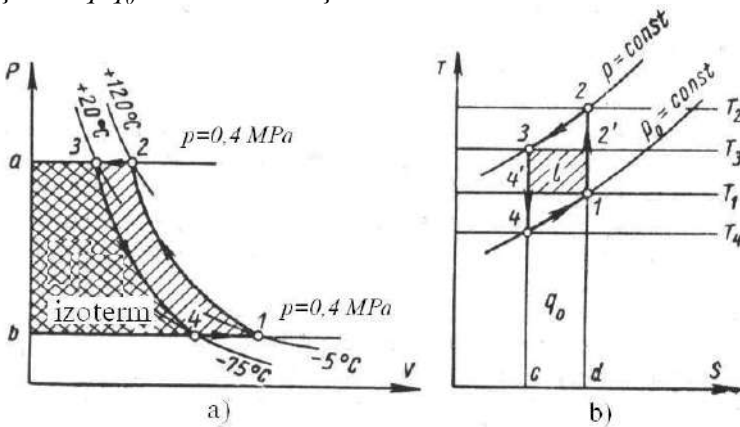


**Şək. 17.1. Hava soyuducu maşının sxemi**

Şəkil 17.2.-də hava ilə soyudulan maşının  $V-p$  və  $s-T$  koordinatlarda tsikli verilmişdir.  $4-1$  və  $2-3$  xətləri aşağı temperaturlu mənbədən işçi maddəyə istiliyin verilməsi və istiliyin yüksək temperaturlu mənbəyə ötürülməsi proseslərinin izobarlarını göstərir.  $1-2$  və  $3-4$  xətləri isə kompressor və genişləndirici

silindrdə adiabatik prosesləri ifadə edir. Süni soyutma prosesi mexaniki iş sərfi hesabına yerinə yetirilir.  $V-p$  - diaqramında  $1-2-a-b-1$  sahəsi kompressorda  $l_k$ - işinə,  $3-4-b-a-3$  sahəsi genişləndirici silindrlə geri verilən  $l_e$  işinə,  $1-2-3-4-1$  sahəsi ilə təyin edilən  $l=l_k-l_e$  fərqi işə hava ilə soyudulan maşının iş sərfinə uyğundur.

Bu maşının çatışmayan cəhətləri  $s-T$  diaqramında aşkar edilir. Burada soyuq mühitin  $1$  kq havasından ayrılan istilik miqdarı  $q_0$ , yəni onun xüsusi soyutma məhsuldarlığı  $c-4-1-d-c$  sahəsi ilə, yüksək temperaturlu mühitə (soyudulan suya) verilən  $q$  istilik miqdarı  $d-2-3-c-d$  sahəsi ilə, hava maşınının tsiklini yerinə yetirmək üçün  $l=q-q_0$  tələb olunan iş  $1-2-3-4-1$  sahəsi ilə ifadə olunur.



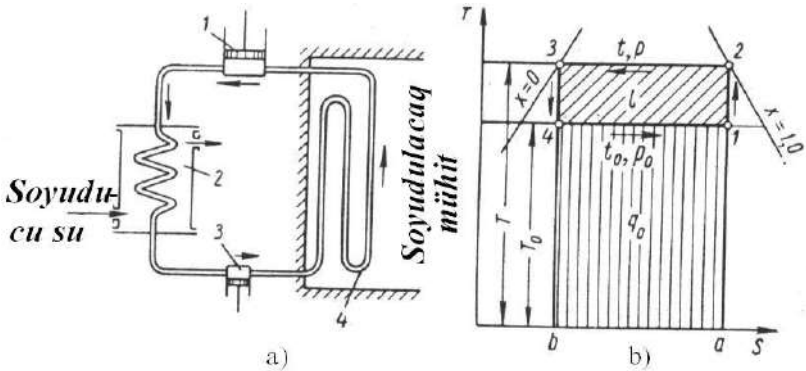
**Şək. 17.2. Hava ilə soyudulan maşınların tsikli**

$l$  işi soyudulan suyun  $T_3$  və soyudulan mühitin  $T_1$  temperaturuna müvafiq olan iki adiabatlı ( $1-2'$  və  $3-4'$ ) və iki izotermli ( $2'-3$  və  $4'-1$ ) əks Karno tsiklinin işindən ( $1-2'-3-4'-1$ ) xeyli çoxdur. Buna görə də hava maşınının nəzəri tsiklinin soyutma əmsalı əks Karno tsiklinə nisbətən aşağıdır.

Hal – hazırda bir çox çatışmayan cəhətlərinə görə hava ilə işləyən porşenli soyuducu maşından istifadə olunmur. Bir sıra hallarda, xüsusən təyyarələrdə havanın soyudulması üçün (kondisionerlərdə) hava ilə soyudulan turbokompressorlu soyuducu maşınlardan geniş istifadə edilir. Bunlar yüngül olmaqla yanaşı böyük həcmdə dövr edən havanı hərəkət etdirə bilir.

## 2.2. Kompresorlu buxar soyuducu maşınlar

Kompresorlu buxar soyuducu maşınının üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onun iş tsikli əsasən doyma sahəsində – sərhəd əyri-lərinin arasında gedir. Bu, prosesi Karno tsiklinə yaxın yerinə ye-tirməyə imkan verir, çünki doyma sahəsində izobarlar izoterm-lərlə üst-üstə düşürlər. Kompresorlu buxar soyuducu maşının işçi prosesi aşağıdakı kimi gedir. İşçi maddə tez qaynayan mayedir. Soyudulan yerə xüsusi borulu aparat – buxarlandırıcı yerləşdirilir, buraya işçi maddə tərkibində çoxlu maye olan nəm buxar şəklində verilir (şək. 17.3). Aparatda daimi təzyiqdə  $p_0$  və uyğun aşağı temperaturda  $t_0$  maye qaynayı, bunun üçün lazım olan istilik soyudulan mühitdən alınır. Qaynama nəticəsində alınan buxar buxarlandırıcıdan kompressora sorulur, sıxılır və kondensatora verilir və burada soyuducu su vasitəsi ilə sabit təzyiqdə  $p$  və uyğun temperaturda  $t$  kondensasiya edilir. Kondensatordan maye genişləndirici silindrə verilir, burada onun təzyiqi  $p$ -dən  $p_0$ -a kimi azalır. Nəticədə maye yenidən buxarlandırıcıda aşağı temperaturda qaynamaq və soyuqluq istehsal etmək qabiliyyətinə malik olur.



**Şək. 17.3. Kompresorlu buxar soyuducu maşınının (a) və doyma sahəsində Karno tsiklinin sxemi (b):**

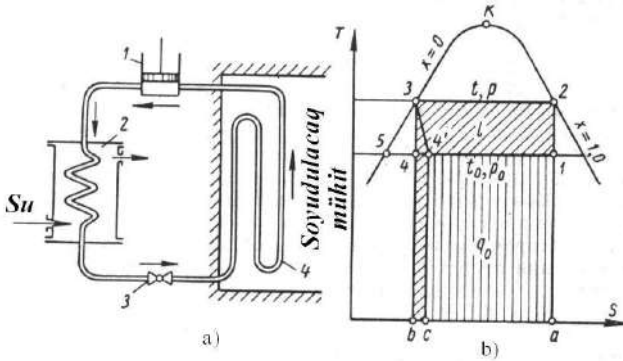
1-kompresor; 2-kondensator; 3-genişləndirici silindr; 4-buxarlandırıcı

Maşında genişləndirici silindr olduqda kompresorlu buxar soyuducu maşın əks Karno tsikli ilə işləyir və iki izoterm (4-1 və

2-3, yəni buxarlandırıcıda və kondensatorda) və iki adiabatla (1-2 və 3-4, yəni kompressorda və genişləndirici silindrdə) təyin edilir.

Praktikada kompressorlu buxar soyuducu maşının işçi tsikli Karno tsiklindən fərqlənir.

Genişləndirici silindrdə mayenin adiabatik genişlənməsi prosesi əvəzinə nizamlayıcı ventildə əzmə (drossellənmə) prosesi daxil edilir (şək. 17.4).



**Şək. 17.4. Nizamlayıcı ventilli kompressorlu soyuducu maşın**

a) sxem; b) işçi tsikli; 1-kompressor; 2-kondensator; 3-nizamlayıcı ventill; 4-buxarlandırıcı

Genişləndirici silindrin nizamlayıcı ventillə dəyişdirilməsi vacibdir. Birincisi, genişləndirici silindrin ölçüləri kiçik olduğundan onun hazırlanması çətindir. Geniş yayılmış soyuducu agentlərdən (freon-12, ammonyak və s.) istifadə etdikdə adiabatik genişlənmə nəticəsində alınan iş çox az olur və bu işin çox hissəsi genişləndirici silindrdəki mexaniki itkilər tərəfindən udulur. Nizamlayıcı ventill, prosese heç bir dəyişiklik gətirmədən müxtəlif istismar şəraitində soyuducu maşının buxarlandırıcısına işçi maddənin verilməsinin asan və sadə nizamlanmasına imkan verir. Nizamlayıcı ventilli buxar soyuducu maşın konstruktiv cəhətdən genişləndirici silindrlilə soyuducu maşına nisbətən çox sadədir.

$s$ - $T$ - diaqramında drossellənmə prosesi sabit istilik tutumu 3-4' xətti ilə təyin edilir. Bu proses xarici mühitlə istilik mübadiləsi olmadan və heç bir iş görülmədən yerinə yetirilir.

Adiabatik genişlənmə əvəzinə mayenin drossellənməsindən

istifadə etdikdə agentin soyutma məhsuldarlığı bir qədər azalır. Soyuducu məhsuldarlığının  $\Delta q_0$  itkisi  $b-4-4'-c$  sahəsi ilə təyin edilir. İş sərfi də bu sahə qədər artır. Bir çox soyuducu agent üçün bu sahə  $3-4-5-3$  sahəsinə bərabərdir. Onun həcmi soyuducu agentin təbiətindən asılıdır. Nizamlayıcı ventilli maşınlarda ən çox itkilər ammonyakla işləyən maşınlarda olur.

Nizamlayıcı ventilli kompressorlu buxar soyuducu maşının tsiklində 1 kq soyuducu agentin  $q_0$  soyutma məhsuldarlığı  $c-4'-1-a-c$  sahəsi ilə,  $l$  iş sərfi  $1-2-3-5-1$  sahəsi ilə və  $\varepsilon$  soyutma əmsalı isə müvafiq sahələrin nisbəti ilə təyin edilir. Nizamlayıcı ventilli soyuducu maşının xüsusi soyutma məhsuldarlığı Karno tsiklindəki qiymətindən azdır, sərf olunan xüsusi iş isə çoxdur,  $\varepsilon < \varepsilon_k$ .  $3-4-5-3$  sahəsi ilə təyin edilən iş sərfinin artması  $\Delta l$  sol sərhəd əyrisinin xarakterindən, yəni soyuducu agentin təbiətindən asılıdır.

Nizamlayıcı ventilli soyutmada işin nisbi artması

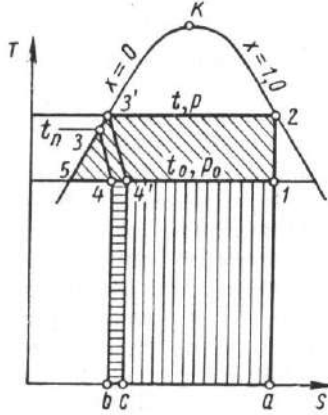
$$\frac{nl}{l} = \frac{\text{sahə } 3-4-5-3}{\text{sahə } 1-2-3-5-1}$$

agentin maye halında istilik tutumundan və onun buxarəmələgətirmə istiliyindən asılıdır.

Kompressorlu buxar soyuducu maşının tsiklinin praktiki yerinə yetirilməsində mayenin çox soyuması prosesi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu proses ondan ibarətdir ki, kondensatorda mayeləşdirilmiş soyuducu agent soyuq suyun təsirinə məruz qalır və təzyiqini dəyişmədən kondensasiya temperaturundan aşağı temperatura qədər soyudulur. Çox soyuma prosesi kondensatorun özündə (soyuducu agent və əks su axını olduqda) və həmçinin (böyük soyuducu qurğularda) xüsusi quraşdırılmış aparatlarda – çox soyudan qurğularda yerinə yetirilə bilər.  $s-T$ -diaqramında bu proses  $3-3$  sabit təzyiq xətti ilə göstərilmişdir (şəkl. 17.5).

Əlavə iş sərfi olmadan 1 kq agentin soyutma məhsuldarlığı  $b-4-4'-c-b$  sahəsinə uyğun olaraq  $i_3'-i_3=i_4'-i_4$  qiyməti qədər artır.

Kompressorlu buxar maşının göstərilən tsiklinin xarakteristik xüsusiyyəti kompressor vasitəsilə nəmli buxarın sorulması və doyma sahəsində sıxılmasıdır, yəni kompressorun “nəm gedişidir”.



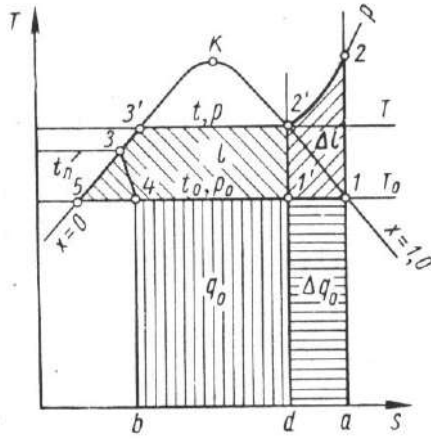
**Şək. 17.5. Çox soyuma prosesli  $s$ - $T$ -diaqramı**

Praktiki şəraitdə kompressorun “quru gedişinə” üstünlük verilir. Kompressorun quru gedişini yerinə yetirmək üçün soyuducu agentin buxarını buxarlandırıcıdan maye ayıran köməkçi aparata yönləndirlər. Burada buxar maye hissəciklərindən ayrılır. Ayrılmış maye yenidən buxarlandırıcıya qayıdaraq orada soyuqluq təsiri göstərir, quru doymuş buxar isə kompressora verilir. Kompressor çox qızmış buxar sahəsində sovrulan buxarı sıxma adiabat (1-2) sabit təzyiqlik əyrisi (2'-2) ilə kəşişənə qədər sıxır, hansı ki, burada izoterm ilə üst-üstə düşür (şək. 17.6 nöqtə 1). 2 nöqtəsi vəziyyətində buxar kondensatora verilir və burada əvvəlcə doyma temperaturuna kimi (2-2' xətti) soyudulur, sonra sabit temperaturda kondensasiya edilir.

Kompressor “nəm gedişdən” “quru gedişə” keçdikdə bir tərəfdən  $d$ -1'-1-a-d sahəsinin artması ilə xarakterizə olunan  $\Delta q_0$  soyutma məhsuldarlığının artmasını, digər tərəfdən isə 1-2-2'-1'-1 sahəsinin artması ilə xarakterizə edilən  $\Delta l$  iş sərfinin artmasını əldə edirik.

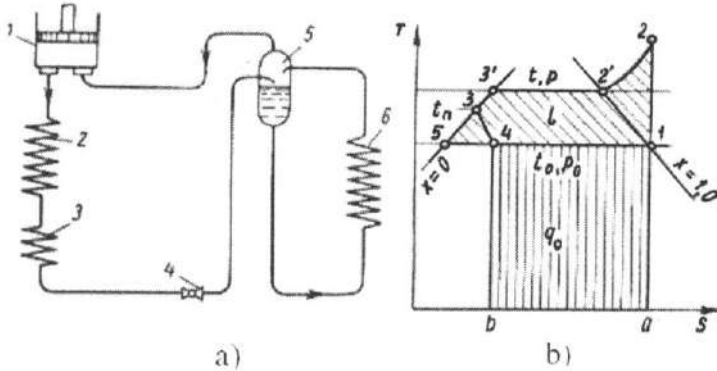
Quru gedişin əsas üstünlüyü – işçi maddə ilə kompressorun silindrinin divarları arasındakı istilikdəyişmə intensivliyinin xeyli azalmasıdır. Bundan başqa “quru gediş” “nəm gediş” zamanı kompressorun silindrində hidravliki zərbələr nəticəsində yaranan

qəzaların qarşısını alır.



**Şək. 17.6. Kompresorun nəm və quru gedişli diaqramı**

Kompresorlu buxar soyuducu maşının nəzəri işçi tsikli və onun  $s$ - $T$  diaqramını, qeyd edilən xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla şəkil 17.7-də verilmişdir.



**Şək. 17.7. Kompresorlu buxar soyuducu maşının nəzəri tsikli (a) və  $s$ - $T$  diaqramı (b)**

Tsikl  $1-2-2'-3-3'-4-1$  kontur xətti ilə təyin olunur. Tsiklin so-

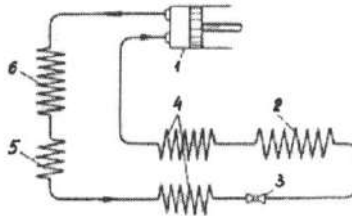


yutma məhsuldarlığı sahələrin nisbəti ilə təyin edilir.

$$e_{noz} = \frac{sahə\ 4 - 1 - a - b - 4}{sahə\ 1 - 2 - 2' - 3' - 5 - 1}$$

Soyuducu agentin kondensasiya temperaturu soyudan suyun temperaturundan yuxarı, buxarlandırıcıda qaynama temperaturu isə soyudulan obyektin temperaturundan aşağı olur. Kondensator və buxarlandırıcıda temperatur hüdudunun artması eyni soyuqluq miqdarının alınmasına sərf olunan işin artmasına gətirib çıxarır.

Kompresorlu buxar soyuducu maşının tsikli əsas dörd elementin köməyi ilə yerinə yetirilir: buxarlandırıcı, kompressor, kondensator (çox soyudan qurğu daxil olmaqla) və nizamlayıcı ventillər. Bunların hər birində müəyyən termodinamik proses yerinə yetirilir. Bundan başqa soyuducu maşına maye ayıran, yağ ayıran, resiver, süzgeçlər, hava ayırıcılar, nasoslar, ventilyatorlar və s. daxildir. Bəzi soyuducu agentlərdən istifadə etdikdə soyuducu agentin buxarları və maye soyuducu agent arasında istilikdəyişmə baş verərsə soyuducu maşının işi daha sərfəli olur (şək. 17.8).



**Şək. 17.8. İstilikdəyişmə aparatlı soyuducu maşının sxemi:**

1- kompressor; 2-buxarlandırıcı; 3-nizamlayıcı ventillər; 4-istilikdəyişdirici; 5-çox soyudan qurğu; 6-kondensator

Belə proseslərdə nizamlayıcı ventildə maye soyuducu agentin temperaturunun azalması nəticəsində drossellənmə itkiləri azalır. Bununla yanaşı sorulan buxarın çox qızması nəticəsində kompressordə sıxılma işi artır.

Başqa soyuducularla müqayisədə kompressorlu buxar soyuducu maşınların böyük üstünlükləri var. Onlardan ən çox yayılanı - ammonyaklı və freonlu maşınlardır. Bunlar yüksək soyutma əm-

salına, kiçik qabarit ölçülərinə və asan istismarına görə fərqlənirlər.

### ***Yoxlama sualları***

1. Kompessorlu soyuducu maşınlar hansı soyuducu agentlərlə işləyir? 2. Kompessorlu buxar soyuducu maşının hava ilə işləyən kompessorlu soyuducu maşınlardan üstünlüyü nədədir? 3. Kompessorlu buxar soyuducu maşının iş prinsipi necədir? 4. Kompessorlu buxar soyuducu maşının tsiklinin xarakterik xüsusiyyətləri hansılardır? 5. Kompessorlu buxar soyuducu maşının tsikli hansı elementlərin köməyi ilə yerinə yetirilir? 6. Tsikl  $s-T$  diaqramında necə təyin edilir?

XVIII FƏSİL  
**KOMPRESSORLU BUXAR SOYUDUCU  
MAŞINLARDA İŞÇİ CİSİMLƏR**

**18.1. Soyuducu agentlər**

Soyuducu agent soyuducu maşınlarda əks dairəvi proses yara-dır, nəticədə istilik soyudulan mühitdən daha yüksək temperatur-lu mühitə – su və ya havaya ötürülür. Buxar soyuducu maşınlarda istilik soyudulan mühitdən alınaraq soyuducu agentin aşağı temperaturunda və onun kondensasiyasında ətraf mühitə ötürülür.

Soyuducu agentlər termodinamiki, fiziki–kimyəvi, fizioloji və başqa xüsusiyyətlərə malikdir.

**18.1.1. Soyuducu agentlərə olan əsas tələblər və termodi-namiki xüsusiyyətlər.** Soyuducu agentlərin termodinamiki xüsu-siyyətlərinə normal qaynama temperaturu (760 mm.c.süt=0,10133 MPa olduqda), buxarlandırıcı və kondensator da təzyiq, buxar əmələgəlmə istiliyi, nisbi həcmi soyutma məhsuldarlığı, donma temperaturu, böhran temperaturu daxildir.

**Normal qaynama temperaturu.** Soyuducu agentin bu tem-peraturu aşağı olmalıdır. Bu da soyuducu maşınların buxarlandır-ıcısında vakuumin yaranmasına imkan vermir. Vakuumda sistemə hava və maye keçə bilər ki, bu da maşının işini pisləşdirər.

**Kondensator da təzyiq.** Kondensatorun su və ya hava ilə so-yudulmasında təzyiq həddindən artıq yüksək olmamalıdır. Bu zaman soyuducu agentin qeyri kipliyindən keçən itki təhlükəsi də azalır. İstifadə edilən orta soyudan maşınlarda soyuducu agentlər üçün təzyiq kondensator da 2 MPa-dan çox olmamalıdır.

**Buxar əmələgəlmə temperaturu.** Buxar əmələgəlmə istiliyi və ondan asılı olaraq 1 kq soyuducu agentin  $q_0$  (kCoul/kq) so-yutma məhsuldarlığı xeyli çox olmalıdır ki, onda soyuducu agentin  $M=Q_0/q_0$  az kütləsi maşında dövr etsin. Bu tələbat istifadə edilən kiçik porşenli soyuducu maşınlarla aid deyil, belə ki, soyuducu agentin böyük məhsuldarlığında soyuducu agentin cüzi miqdarı dövr edəcəkdir ki, bu da avtomatik nizamlamayı çətinləşdirir.

**Həcmi soyutma məhsuldarlığı.** Soyuducu agentin əsas xüsusiyyətlərindən biri –  $1 \text{ m}^3$  buxarın buxarlandırıcıdan kompressorla sorulması  $q_v$  ( $\text{Coul}/\text{m}^3$ ) həcmi soyutma məhsuldarlığıdır. Soyudulan mühitdən qaynayan soyuducu agentin ötürülməsində buxarlandırıcıda buxar əmələ gəlir. Həcmi soyutma məhsuldarlığına  $q_v$  tələblər soyuducu maşınların tipindən asılıdır. Agentin həcmi soyutma məhsuldarlığı  $q_v$  porşenli kompressorlu maşınlar üçün mümkün qədər böyük olmalıdır, belə ki, bu vaxt kompressorla sorulan buxarın həcmi  $V=M_{v,l}=Q_0/q_0$  və uyğun olaraq kompressorun silindrlərinin ölçüləri azalır. Bu tələbat istifadə edilən kiçik porşenli soyuducu maşınların soyuducu agentləri üçün yararsız olub, yayılmır, belə ki, böyük həcmi soyutma o qədər kiçilir ki, bunun da yerinə yetirilməsi çətinləşir. Kiçik həcmi soyutma məhsuldarlığı ilə xarakterizə olunan soyuducu agent, eləcə də böyük həcmi soyutmada qənaətcil işləyən böyük kompressorlu soyuducu maşın üçün yararlıdır.

**Böhran temperaturu.** Bu temperatur istənilən qədər yüksək olmalıdır ki, ətraf mühitin temperaturundan mayeləşmə prosesi yarana bilsin və maşının daha qənaətcil işini təmin etsin. Böhran nöqtəyə yaxınlaşdıqda buxar əmələgəlmə istiliyi və  $1 \text{ kq}$  soyuducu agentin soyutma məhsuldarlığı azalır, soyuducu maşınların tsiklində iş sərfi və drossellənmədə itki artır.

**18.1.2. Fiziki-kimyəvi xüsusiyyət.** Agentlərin fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinə bərklik və plastiklik, istilikkeçirmə və istilikvermə, yağda və suda həll olma, axıcılıq, metallara təsiri, kimyəvi dayanıqlığı (bərkliyi) və b. daxildir.

Soyuducu agentin bərklik və plastikliyi mümkün qədər böyük olmur, ona görə ki, bu şəraitdə sistemə görə soyuducu agentin hərəkət müqaviməti aşağı düşür və uyğun olaraq təzyiq itkisi azalır.

Bu xüsusiyyət istilikkeçirmə və istilikvermə əmsalları ilə xarakterizə olunur, onların qiyməti mümkün qədər böyük olmalıdır. Bu da istilikdəyişmə aparatlarının (buxarlandırıcı, kondensator) işini yaxşılaşdırır, nəticədə istilikvermənin intensivliyi yüksəlir.

Əgər soyuducu agent yağda həll olunmursa (ərimirsə), onda kompressorun silindrindən yağın verilməsi azalır, buxarlandırıcı-

da köpük əmələ gəlir, sabit təzyiqdə qaynama temperaturu dəyişmir, bu zaman yağda həll olan soyuducu agentin qaynama temperaturu onun kondensasiyasından asılı olur. İstilikdəyişmə aparatında soyuducu agentlə düşən yağ hərdən səthdə çökür və istilikkeçirməni pisləşdirir.

Əgər soyuducu agent yağda həll olarsa, onda kompressorun yağlanması üçün əlverişli şərait yaranır, belə ki, kondensator və istilik buxarlandırıcıda istilikdəyişmə üçün soyuducu agentlə yağ çətin keçən yerə keçir və bunun nəticəsində istilikkeçirən səthdən yağ layı (təbəqəsi) təmiz yuyulur. Soyuducu agentin suda az həll olunması mənfi xüsusiyyət adlanır. Nəmliyin sistemə düşməsində o dona bilər, buz yığılır yaradar və soyuducu agentin dövr etməsini pozar.

Soyuducu agent metallarda qəbul edilən metal və başqa materiallara münasibətə görə kimyəvi ətalətli olmalıdır. Soyuducu agent alışıqan, partlayış təhlükəli olmamalıdır, aşağı və yuxarı temperaturda parçalanmamalıdır.

**18.1.3. Fizioloji xüsusiyyət.** Soyuducu agent insanların sağlamlığı üçün təhlükəli olmamalıdır və ərzaq məhsullarının keyfiyyətinə mənfi təsir göstərməməlidir. Soyuducu agentin qiyməti yüksək olmamalıdır.

İndiki vaxtda elə bir soyuducu agent yoxdur ki, soyutma texnikasının bütün tələblərinə cavab versin. Ona görə də soyuducu agentin seçilməsində maşınların iş şəraitini və konstruktiv xüsusiyyətlərini mütləq nəzərə almaq lazımdır.

## **18.2. Soyuducu agentlərin əsas xassələri**

İstifadə edilən soyuducu agentlərə ammoniyak  $NH_3$ , freonlar (xlorftor qarışıqlı karbon anhidridi), karbon qazları, sular, hava və başqaları aiddir. Bir neçə soyuducu agentlərin fiziki xüsusiyyəti və onların şərti işarələri cədvəl 18.1-də verilmişdir.

Hal-hazırda daha geniş yayılmış soyuducu agentlərə ammoniyak  $NH_3$  və freonlar daxildir.

Freonlar – karbon anhidridi (kimyəvi birləşmə) hansı ki, hidrogen tam və ya hissə – hissə ftoru və xloru əvəz edir (xüsusi

hallarda bromu). Bunlardan bir neçəsi satılmaq üçün “xladonlar” adlanır, 1930-cu ildən istifadə olunur.

Cədvəl 18.1

### Soyuducu agentlərin fiziki xüsusiyyətləri

Soyuducu agent	Simvolik şərti işarələr	Kimyəvi forması	Molekulyar kütləsi	760 mm, c.st-da normal qaynama temperaturu, °C	Böhran temperaturu, °C	Böhran təzyiqi, MPa	Donma temperaturu, °C
Su	R718	H <sub>2</sub> O	18,16	+100	374,15	22,11	0,1
Ammonyak	R717	NH <sub>3</sub>	17,03	-33,3	132,4	11,28	-77,7
Karbon qazı	R744	CO <sub>2</sub>	44,1	-78,9	31,0	7,36	-56,6
Xlormetil	-	CHCl <sub>3</sub>	50,42	-23,74	143,1	6,68	-97,6
Freon-11	R11	CFCl <sub>3</sub>	137,39	+23,7	198,0	4,37	-111,0
Xladon-12 (freon-12)	R12	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	120,92	-29,8	112,0	4,11	-155,0
Freon-13	R13	CF <sub>3</sub> Cl	104,47	-81,5	28,78	3,85	-180,0
Xladon-22 (freon-22)	R22	CHF <sub>2</sub> Cl	86,48	-40,8	96,0	4,13	-160,0
Freon-113	R113	C <sub>2</sub> F <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	187,37	+47,6	214,1	3,41	-36,6
Freon-142	R142	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>2</sub> Cl	100,48	-9,21	137,1	3,92	130,8
Freon-13B1	R13B1	CF <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	148,88	-57,8	67,0	6,56	-143,2
Xladon-502 (freon-502)	R502	CHF <sub>2</sub> Cl C <sub>2</sub> F <sub>5</sub> Cl	111,64	-45,6	90,1	4,1	-

**Qeyd:** R – refrigerant, yəni soyuducu agent deməkdir.

Freonların (xladonların) yaranmasında ilkin karbon anhidridinə metan CH<sub>4</sub>, etan C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, propan C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> və butan C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> daxildir. Freonların xüsusiyyətləri onlarda fluorun, xlorun və hidrogenin atomlarının saxlanmasıdan asılıdır. Qısaca olaraq freonlar rəqəmlə ifadə olunur.

Metandan alınmış freonlar (xladonlar) iki rəqəmlə işarə olunur, bunlardan birincisi – vahid, ikincisi isə birləşmədə fluorun atomlarının sayını ifadə edir. Məsələn, freon-11 – CFCl<sub>3</sub>, xladon

(freon)-12 –  $CF_2Cl_2$ , freon-13 –  $CFCl_3$ . Əgər metanda törəyən hidrogen tam çıxmırsa, birləşmədə nə qədər hidrogen atomu qalırsa, bir o qədər vahid birinci rəqəmə əlavə edilir (üstə gəlinir). Məsələn, xladon (freon)-22 -  $CHF_2Cl$ , freon-31 –  $CH_2FCl$ .

Başqa karbon anhidridindən alınmış freonlar üç rəqəmlə ifadə olunur. Axırını rəqəm ftor atomlarının sayını göstərir. Birinci iki rəqəm birləşmə üçün etandan 11 (freon-113 –  $C_2F_3Cl_3$ ), metandan-21, butandan-31 qəbul olunmuşdur.

Xlor atomlarının brom atomları ilə əvəz edilməsində freon-13B1 işarəsi istifadə edilir. Axırını rəqəm birləşmədə brom atomlarının sayını ifadə edir.

Beynəlxalq standartlarda bütün soyuducu agentlərin işarələri simvolik olaraq R kimi qəbul olunmuşdur və (xladagent) sözdündən götürülmüşdür (ingilis dilində Refrigerant), belə ki, xladon (freon)-12 beynəlxalq standartlara görə R12, xladon (freon)-22 – R22, freon-13B1 – R13B1 kimi ifadə olunur. Soyuducu agentlərin ifadələrində son iki rəqəmlər müvafiq olaraq onların molekulyar kütləsi ilə qeyri-üzvi birləşməni göstərir (ammonyak R717, su R718, karbon qazı R744).

### **18.3. Ammonyak və freonların istismar xüsusiyyətləri**

Ammonyak (R717) rəngsiz qaz olub kəskin iylidir. Yaxşı termodinamiki xüsusiyyətlərə malikdir. Amonyakın normal qaynama temperaturu  $-33,3^{\circ}C$ -dir. Adi iş şəraitində buxarlandırıcıda təzyiq atmosfer təzyiqindən yüksək, qaynama temperaturunda vakuum isə  $-33,3^{\circ}C$ -dən aşağı tələb olunur. Kondensatorda suyun soyudulmasında təzyiq  $0,8...1,3$  MPa-dır. Soyuducu agent kimi 1874-cü ildən istifadə olunur.

Ammonyakın nisbətən böyük həcmi soyutma məhsuldarlığı kompressora daxil olan soyuducu agentin cüzi həcmindən asılı olur. Buna görə də ammonyak maşınları yığcamdır.

Ammonyak yağda həll olmur, ancaq suda intensiv udularaq hopur. Qeyri kiplikdən keçən ammonyakın azalmasında onu iyə görə asan müəyyənləşdirmək olur. Ammonyakın axması (itməsi) xüsusi məhlul hopdurulmuş indikator ilə təyin edilir. İşlədilmə-

dən qabaq kağız silinir və hardan ammonyak axırsa ora yaxınlaşdırılır. Ammonyakın artması ilə havada kağızın rəngi moruq rəngi alır. Qara metallarla (çuqun, polad) ammonyak reaksiyaya girmir, nəmliyin əmələ gəlməsində isə sink, mis və onun xəlitəsini yeyir. Ona görə də ammonyakla işləyən maşınların hissələri mis və onun xəlitəsindən olmalıdır.

Ammonyak mühitinin çətişməməzlikləri insan orqanizminə mənfi təsir göstərməsidir. O kəskin xarakterli iyə malik olub, göz gilasini, mədəni, nəfəs yollarını qıcıqlandırır və nəfəs orqanlarında ağrı, dəridə yanıq əmələ gətirir. Həcmi konsentrasiya 0,0005% olduqda havada onun artması hiss olunur. Əgər havada ammonyak həcmə görə 0,5%-dən artıq olarsa, onda arasıksilmədən daxil olması zamanı zəhərlənmə ola bilər. Uyğun DÜİST-ə görə ammonyakın qatılığı iş zonalarının, istehsalat sahələrinin havasında 0,02 mq/l-dir. Ammonyak alışıandır. O havada pis, oksigendə isə yaxşı yanır. Əgər havada ammonyak 16...26,8% miqdarda həcmi tutursa və açıq alov olarsa, bu zaman partlayış ola bilər, qatılıq 22% olduqda isə daha güclü partlayış olur.

Qazşəkilli ammonyak havadan yüngüldür. Maye ammonyak elektrik enerjisinin keçiricisidir. Ammonyak əlverişli və ucuz soyuducu agentdir. Onun qaynama temperaturu  $-70^{\circ}\text{C}$ -yə qədər və kondensasiyası 50%-də iş üçün seçilmiş porşenli kompressorlu və borukompressorlu, orta və iri soyuducu maşınlarda istifadə edilir.

Ammonyakla işləyən soyuducu maşınlarla xidmət zamanı təhlükəsizlik qaydalarına ciddi riayət etmək tələb olunur. Kiçik maşınlarda və eləcə də kiçik ölçülü kompressorlarda ammonyakın zəhərli və partlayış təhlükəsi olduğuna görə ondan istifadə edilmir.

**18.3.1. Xladon-12 (R12) diftordixlormetan.** Zəif iyli təsirsiz qaz, havadan xeyli ağırdır. Ən az zərərli agentlərdən biridir. Normal qaynama temperaturu  $-29,8^{\circ}\text{C}$ -dir. Kondensatorda təzyiq 1...1,2 MPa, tropik iqlim zonasında onu istifadə etdikdə isə 1,3...1,5 MPa olur.

Xladon12-nin həcmi soyutma məhsuldarlığı azdır, ona görə



də R12-də işləyən kompressorun ölçüləri eyni soyutma məhsuldarlığında ammoniyakdan təxminən 1,3 dəfə çoxdur.

Xladon-12-də daha çox sıxılma onun dövr etməsində təzyiqin böyük itkisinə səbəb olur, itkinin aşağı düşməsi üçün Xladon-12-nin hərəkət sürəti ammoniyakın hərəkət sürəti ilə müqayisədə 2-2,5 dəfə azalır, klapanların en kəsiyindən və ötürücü boruların diametrindən keçərək onun sahələrinin artmasına səbəb olur. Xladon-12 və yağ qarşılıqlı həll olunurlar. Burada yağın plastikliyi kəskin azalır. Etibarlı yağlama üçün DÜİST-in tələblərinə cavab verən xüsusi plastik (özül) yağ istifadə olunur. Aşağı temperaturda (-40...-50°C) hərdən Xladon-12-dən yağın tökülməsi baş verə bilər.

Nəmlik olmadıqda maşınqayırma istifadə edilən bütün metallara qarşı Xladon-12 neytraldır. Maye halda o maşın-aparatların daxili səthindən oksidi, pası, qumu yumaq qabiliyyətinə malik olub və müxtəlif üzvi maddələri həll edir (məsələn, adi rezini). Ona görə də R12 soyuducu agentini işləyən soyuducu maşınlarda yalnız xladona davamlı rezinlərdən istifadə edilir. Ammoniyakla müqayisədə Xladon-12 demək olar ki, suyu həll etmir. Həll olunmayan su soyuducu qurğularda, hətta cüzi miqdarda korroziya əmələ gətirir ki, bunlar dar keçidləri doldurur. Bunlara bütövlükdə daha çox drossel qurğularında rast gəlinir.

Kimya sənayesində Xladon-12 iki növdə buraxılır: 1) açıq kompressorlu soyuducu maşınlar üçün; 2) ev soyuducuları və germetik maşınlar üçün. Xladon-12 ilə işləyən maşınlarda nəmliyin kütlə payı 0,0025%-dən; ev soyuducuları və germetik maşınlar üçün- 0,0004%-dən artıq olmamalıdır.

Xladon-12 çox axıcılıq qabiliyyətinə malikdir. O hava və ammoniyak keçə bilməyən xırda boşluqlardan belə keçmək qabiliyyətinə malikdir. Xladonun axması çətin hiss olunur, belə ki, o çox zəif iyə malikdir. İy o zaman hiss olunur ki, yalnız 20%-dən çox olan havada xladon saxlanmış olsun. Xladonların axma yeri haloid lampalarının və ya elektrik cərəyanı axtaranların köməyi ilə, eləcə də səthə yağ sürməklə təyin edilir. Maye xladon elektrik cərəyanını keçirmir.

Xladon-12-nin istilikvermə əmsalı ammoniyakdan aşağıdır. Xladonun qiyməti ammoniyakın qiyməti ilə müqayisədə xeyli yüksəkdir.

Xladon-12-nin üstünlüyü nisbətən zərərsizliyidir, belə ki, ancaq onu həcmə görə 30%-dən yuxarı havada saxladıqda oksigenin çatışmamazlığından orqanizmin zəhərlənməsi əlamətləri əmələ gəlir. Xladon-12 alışı, hava ilə qarışığında alovlanmır və partlamır, ancaq 400°C-dən yuxarı temperaturda dağılır və nəticədə xlorlu ftorlu hidrogen, eləcə də zəhərləyici qaz yaranır. Ona görə də R12 ilə işləyən soyuducu maşınların yerləşdiyi maşın şöbələrində papiros çəkmək və elektrik qızdırıcı avadanlıqların quraşdırılması qadağan edilir. Xladonun buxarı ərzaq məhsullarının rənginə və təminə təsir etmir.

Xladon-12 qaynama temperaturu -30°C və kondensasiyası 70°C-yə qədər olan soyuducu maşınlarda geniş qəbul edilir. O kiçik və orta soyuducu qurğularda geniş yayılaraq, böyük məhsuldarlıqlı qurğularda istifadə edilir.

**18.3.2. Xladon-22 (R22) diftorxlormetan.** Bu qazın fizioloji xüsusiyyətləri Xladon-12-nin fizioloji xüsusiyyətləri ilə təxminən eynidir, termodinamik xüsusiyyətləri isə ammoniyakın termodinamik xüsusiyyəti kimidir. Xladon-22-nin normal qaynama temperaturu -40,8°C-dir. Xladon-22-də suyun həll olunması Xladon-12-də həll olunmasına nisbətən bir qədər çoxdur. Xladon-22-nin yağla qarşılıqlı qeyri-üzvi həlli yalnız istənilən yüksək temperaturlarda ola bilər. Temperaturun -10...20°C-yə qədər düşməsində yağ tökülə bilər.

Xladon-22-nin istilikvermə əmsalı, Xladon-12-nin istilikvermə əmsalından 25-30% yuxarıdır, ona görə də istilikdəyişdirici aparatlarının ölçüləri kiçikdir.

Xladon-22 boşluqdan asan keçir. Nəmlik olmadıqda metallara qarşı neytraldır. Partlayış təhlükəli və alışqan deyil, metal iştirak etdikdə 550°C temperaturda dağılmağa başlayır. Xladon-12 ilə müqayisədə Xladon-22 elektrik cərəyanını keçirir. İşçi təzyiqinə görə Xladon-22-nin həcmi soyutma məhsuldarlığı ammoniyaka yaxındır.

Xladon-22 aşağı temperaturlu qaynama temperaturu  $-70^{\circ}\text{C}$ -yə və kondensasiyası  $50^{\circ}\text{C}$ -yə qədər olan soyuducu qurğularda, eləcə də kiçik hava kondisioneri qurğularında istifadə edilməsi məsləhət bilinir.

**18.3.3. Soyuducu agent R502.** Soyuducu agent azeotrop məhluldur, yəni qaynama və kondensasiya etdikdə komponentlərin kütlə payı demək olar ki, dəyişmir. R22 kütlə payı 48,8%, amma R115 - 51,2%-ə qədər olur. Soyuducu agent partlayış təhlükəli deyil, az zəhərlidir, metallarla reaksiyaya girmir. R502 yağlarda qatışması, qaynamada və kondensasiyada istilikvermə əmsalı R22-nin müvafiq qiymətlərinə yaxındır. R502-nin xarakterik xüsusiyyəti suda az həll olunmasıdır. Havada buraxıla bilən qatılığı  $3000 \text{ mq/m}^3$ -dir. Onun həcmi soyutma məhsuldarlığı R22-dən yuxarıdır, təzyiqlə doldurma temperaturu isə R22-dən  $20^{\circ}\text{C}$  azdır. Bu da germetik soyuducu kompressorun istismarında elektrik mühərrikinin sarğı temperaturuna müsbət təsir edir. R502 aşağı temperaturlu kompressorlu soyuducu qurğularında istifadə olunur.

**18.3.4. Soyuducu agent R11.** Bu soyuducu agent ftortrixlormetan, ağır qazdır, havadan 4,74 dəfə ağırdır, insan orqanizmi üçün zərərsizdir. Partlayış təhlükəli deyil, mineral yağlarda həll olunur. Suda R11 həll olunmur, nəmliyin buraxıla bilən kütlə payı  $0,0025\%$ -dir. Susuzlaşdırılmış soyuducu agent bütün metallara qarşı neytraldır, istisna olaraq yalnız tərkibində 20% maqnezium olan ərimələrdir. R11-in həcmi soyutma məhsuldarlığı azdır, o qaynama temperaturu  $-20^{\circ}\text{C}$ -yə qədər olan soyuducu maşınlarda istifadə olunur.

## **18.4. Ozon təhlükəsi olmayan soyuducu agentlər**

Son illər bir çox ölkələr tərəfindən ozon təhlükəsi olmayan soyuducu agentlərin hazırlanmasına diqqət yetirilir.

1987-ci ildə Monreal protokoluna əsasən ozon təbəqəsini parçalayan maddələrin hazırlanmasına və istifadəsinə qadağalar

qoyulmuşdur. 1988-ci ilin martında “Du Pont” firması hallogenləşmiş freonların (*CFC*) hazırlanmasının tam dayandırılması haqqında elan vermişdir.

Protokol 1 yanvar 1989-cu ildən qüvvəyə minmişdir. Həmin protokolu 127 ölkə qəbul etmişdir. 1990-cı ilin iyun ayında London konfransında inkişaf etmiş ölkələr tərəfindən bütün növ freonların istifadəsinin 2000-ci ilə qədər dayandırılması haqqında qərar qəbul edilmişdir.

Kopenhagendə 1992-ci ilin noyabr ayında isə Beynəlxalq Müşavirədə Monreal protokolu iştirakçıları tərəfindən ozon təhlükəsi olan R11, R12 və R502 soyuducu agentlərin istehsalının dayandırılması barədə qərar qəbul edilmişdir.

Ozon təbəqəsini parçalayan maddələrə soyuduculuq texnikasında geniş yayılan soyuducu agentlər daxildir. Onların ozon təbəqəsini parçalama aktivliyi molekularda xlor atomunun olması ilə təyin edilir və  $CO_2$ -yə nisbətən ozon parçalama potensialı (ODP – Ozon Depletion Potential) və “parnik effekti” potensialı (GWP – Global Warming Potential) ilə qiymətləndirilir (cədvəl 18.2).

Soyuducu agentlər ozon parçalama aktivliyinə görə iki qrupa bölünür:

- ozon parçalayan yüksək aktivlikli soyuducu agentlər ( $ODP \geq 1,0$ ) – xlorftorkarbonlardır (*CFC*): R11, R12, R13, R113, R114, R115, R502, R503, R12B1, R13B1. Kaliforniya Universitetinin alimi Mario Molin 1974-cü ildə qeyd etmişdir ki, xlor oksidinin molekulu və xlor atomu ozon təbəqəsinin parçalanmasına gətirib çıxaran güclü katalizatorlardır. Xlor molekulunun stratosferə çatması 1-2 il çəkir. Bura yalnız kimyəvi cəhətdən stabil molekullar çatır. *CFC* molekulları da stabil molekullara daxildir. Stratosferə çatan bir xlor molekulu on mindən yüz minə kimi ozon molekullarını parçalamağa malikdir;

- ozon parçalayan aşağı aktivlikli soyuducu agentlər ( $ODP < 0,1$ ) –hidroftorkarbonlardır (*HCFC*): R21, R22, R141b, R123, R124.

Tərkibində xlor atomu olmayan (ftorkarbonlar *FC*, bütün soyuducu agentlər hidroftorkarbonlar *HFC*, karbohidrogenlər *HC*)

ozon təhlükəli deyil (ODP=0). Bunlara R134, R134a, R152a, R143a, R125, R32, R23, R218, R116, RC318, R290, R600, R600a, R717 aiddir.

Cədvəl 18.2

**Soyuducu agentlərin ekoloji xarakteristikaları**

Soyuducu agent		Qayna- ma tem- peratu- ru, °C	Ekoloji qiymətlən- dirmə parametrləri			Zəhərli olması	Yan- ması
Tipi	Markası		ODP	HGWP	GWP		
CFC	R12	-29,8	1,0	3,0	8500	yox	yox
	R502 (R22/R115)	-45,6	0,33	3,75	4300	yox	yox
HCFC	R22	-40,8	0,05	0,34	1500	yox	yox
	MR39 (R401A)	-33,1	0,03	0,22	1400	yox	yox
	HP81 (R402B)	-47,4	0,03	0,52	2240	yox	yox
	HP80 (R402A)	-49,2	0,02	0,63	2570	yox	yox
	MP66 (R401B)	-34,7	0,04	0,24	1200	yox	yox
HFC	R134A	-26,5	0	0,28	1300	yox	yox
	HP62 (R404A)	-47	0	1,0	3750	yox	yox
	KLEA60	-45-ə yaxın	0	0,415-ə yaxın	2000-ə yaxın	yox	yox
	Ammonyak (R717)	-33,4	0	0	0	hə	hə

**Qeyd:** HGWP- $CO_2$  nisbətən 100 il vaxt müddətində qəbul edilmişdir ( Halocarlon Global Warming Potensial).

**Yoxlama sualları**

1. Soyuducu agentlərə hansı tələblər var? 2. Soyuducu agentlərin termo-dinamiki xüsusiyyətləri hansılardır? 3. Həcmi soyutma məhsuldarlığı nəyə deyilir? 4. Soyuducu agentlərin fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinə nələr daxildir? 5. Fizioloji xüsusiyyətlər hansılardır? 6. Hansı kimyəvi birləşmələr freon adlanır? 7. Freonlar necə işarə olunur və onlar hansılardır? 8. Freonların istismar xüsusiyyətləri hansılardır və bir-birindən nə ilə fərqlənirlər? 9. Ammonyakın istismar xüsusiyyətləri hansılardır? 10. Ammonyak və freonların hansı fərqli cəhətləri var? 11. Ammonyak və freonlar hansı temperatur həddündə istifadə edilir? 12. Ammonyak və freonların ozon təbəqəsinə təsiri. 13. Ozon təhlükəsi olmayan soyuducu agentlər hansılardır? 14. Soyuducu agentlərin ozon təbəqəsinə parçalama aktivliyinə görə hansı qruplara bölünür? 15. Ozon təbəqəsinə parçalama aktivliyi soyuducu agentlərin tərkibində hansı maddənin olması ilə təyin edilir?

XIX FƏSİL  
**KOMPRESSORLU BUXAR SOYUDUCU MAŞININ  
NƏZƏRİ İŞÇİ TSİKLİNİN HESABATI**

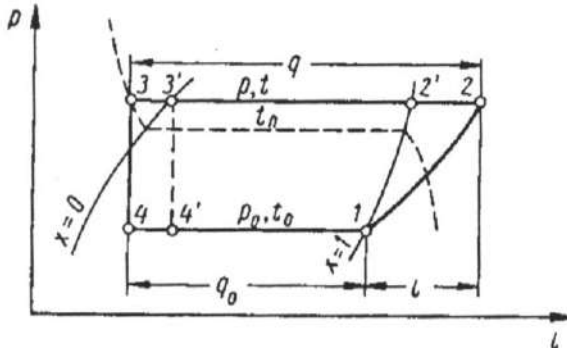
**19.1. Tsiklin verilən işçi parametrlərlə qurulması**

Kompresorlu buxar soyuducu maşının nəzəri işçi tsiklinin hesabı üçün aşağıdakı temperaturları bilmək lazımdır: buxarlandırıcıda soyuducu agentin qaynama temperaturu  $t_0$ , nizamlayıcı ventildən əvvəl mayenin kondensasiya  $t$  və çox soyuma  $t_n$  temperaturu.

Soyuducu agentlə bilavasitə soyutmada qaynama temperaturu  $t_0$  soyudulan kameraların havasının temperaturundan  $8-10^\circ\text{C}$  aşağı olur. Kondensasiya temperaturu kondensatora verilən suyun temperaturundan  $8...10^\circ\text{C}$ , çox soyuma temperaturu isə verilən suyun temperaturundan  $3...4^\circ\text{C}$  yuxarı olmalıdır.

Əsas temperaturları qeyd edərək nəzəri tsikli qurmaq və hesablamaq olar, yəni 1 kq soyuducu agentin nəzəri soyutma məhsuldarlığını təyin etmək olar.

Hesabatlar üçün ən məqsədəuyğunu  $i-p$  -diaqramıdır (şək. 19.1). Bu diaqramda absis oxunda entalpiya  $i$ , ordinat oxunda isə mütləq təzyiqlik  $p$  verilir.



**Şək. 19.1. Kompresorlu buxar soyuducu maşının  $i-p$  - diaqramında nəzəri tsikli**

Soyuducu maşının nəzəri işçi tsikli  $i-p$ -diaqramında aşağıdakı

kimi qurulur. Verilmiş qaynama temperaturu  $t_0$  və ona uyğun olan  $p_0$  təzyiqi ilə sağ sərhəd əyrisində kompressorun girişində (quru doymuş buxar) soyuducu agentin halını təyin edən 1 nöqtəsini tapırıq. Kompressorda sıxılma adiabat üzrə yerinə yetirilir. 1 nöqtəsindən çox doymuş buxar sahəsində (əyri) verilən kondensasiya temperaturuna müvafiq  $p$  izobarı ilə kəşifənə kimi adiabat xəttini çəkirik. Alınmış nöqtə kompressorun çıxışında soyuducu agentin halını təyin edir. Kondensatorda proses sabit təzyiqdə gedir və diaqramda 2-3 üfqi xətlə verilir. 2-2' sahəsində çox qızmış buxarın kondensasiya temperaturuna ( $t$ ) kimi soyuması baş verir, soyuducu agent kondensasiya edir (2'-3' xətti) və sonra kondensasiya temperaturuna nisbətən daha çox soyuyur (3'-3 xətti).

3 nöqtəsi soyuducu agentin nizamlayıcı ventildən əvvəl halını xarakterizə edir. O  $p$  izobarının maye sahəsində  $t_n$  izotermi ilə kəşifməsilə təyin edilir. Məlum olduğu kimi, drossellənmə prosesində xarici işin olması və xarici mühitlə istilik mübadiləsi baş vermir. Diaqramda bu 3-4 şaquli xətti ilə verilir  $i=const$  ( $i_3=i_4$ ). Beləliklə,  $i$ - $p$ -diaqramında kompressorda sıxma prosesindən başqa nəzəri işçi tsiklin bütün prosesləri düz xətlərlə göstərilir. Əsas hesabət kəmiyyətləri absis oxunda olan kəsiklərlə ölçülür.

## 19.2. Tsiklin hesabati

Diaqramlardan istifadə edərək (şək. 17.7 və şək. 19.1) nəzəri işçi tsikli hesablayırıq.

1 kq agentin soyutma məhsuldarlığı 1 və 4 nöqtələrində olan entalpiyalar fərqinə bərabərdir:

$$q_0 = i_1 - i_4, \text{ kCoul/kq} . \quad (19.1)$$

Entalpiya diaqramında soyutma məhsuldarlığı 4-1 izobarı ilə verilir. Çox soyuma olmadıqda o 4-4' kəsiyi qədər az olardı, yəni 4'-1 xətti ilə təyin edilərdi.

Kompressorda 1 kq agentin adiabat sıxılmasına sərf olunan nəzəri iş 2 və 1 nöqtələrində entalpiya fərqi ilə təyin edilir.

$$l = i_2 - i_1, \text{ kCoul/kq} . \quad (19.2)$$

Qrafiki olaraq  $i$ - $p$ -diaqramında 1 işinə 1-2 adiabatının absis

oxuna proyeksiyası uyğun gəlir.

Kondensatorda 1 kq soyuducu agentin su və ya havaya verdiyi istilik (izobar 2-3)  $q=q_0+l$  kCoul/kq kimi olur. Bu soyuducu agentin 2 və 3 nöqtələrində entalpiyalar fərqi kimi də təyin edilə bilər:

$$q = i_2 - i_3, \text{ kCoul/kq} \quad (19.3)$$

$i$ - $p$ - diaqramında bu istilik 2-3 kəsiyi ilə ifadə edilir.

Aşağıdakıları hesablayırıq:

a) Tsiklin soyutma əmsalını

$$\varepsilon_n = \frac{q_0}{l} \quad (19.4)$$

b) 1 saat ərzində kompressorla sorulan soyuducu agentin miqdarı (dövr edən soyuducu agentin saatlıq miqdarı)

$$G = 3,6 \cdot \frac{Q_0}{q_0}, \text{ kq/saat} , \quad (19.5)$$

burada  $Q_0$ - maşının verilmiş soyutma məhsuldarlığı,  $Vt$  (1  $Vt=0,86$  kkal/saat).

c) 1 saat ərzində kompressorla sorulan buxarın həcmi

$$V = Gv_1, \text{ m}^3/\text{saat} \quad (19.6)$$

və ya (4.5) tənliyini nəzərə alsaq

$$V = 3,6 \frac{Q_0}{q_0} v_1 = 3,6 \frac{Q_0}{q_v}, \text{ m}^3/\text{saat} , \quad (19.7)$$

burada  $v_1$ - sorulan buxarın xüsusi həcmi ( $\text{m}^3/\text{kq}$ ) olub, diaqramdan (1 nöqtəsindən keçən izoxor) və ya doymuş buxar cədvəlindən (Əlavə 4, 5) tapılır;

$q_v=q_0/v_0$ , kCoul/ $\text{m}^3$ - soyuducu agentin həcmi soyutma məhsuldarlığı (Əlavə 6, 7).

$V$ -nin qiymətinə görə kompressorun ölçüləri təyin edilir.

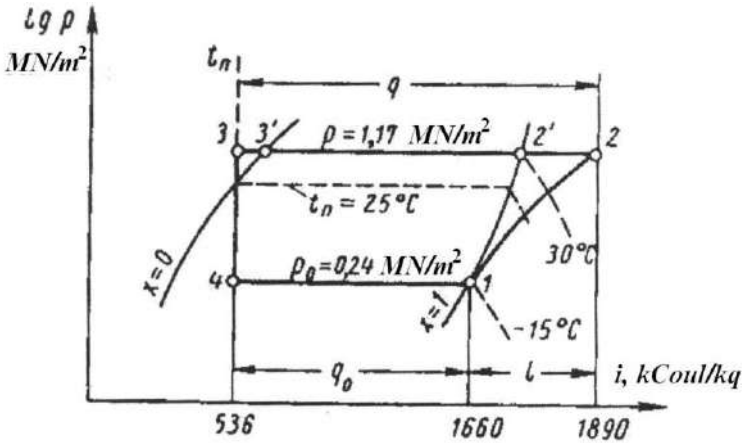
d) Kompressorda sərf olunan nəzəri güc

$$N_n = \frac{Gl}{3600} = \frac{Q_0}{1000\varepsilon_n}, \text{ kVt} \quad (19.8)$$

e) Kondensatorun istilik yükünü istilik balansı tənliyindən təyin edirik



$$Q = Q_0 + N_n \cdot 1000 = Q_0 + \frac{Q_0}{\varepsilon_n} = Q_0 \frac{\varepsilon_n + 1}{\varepsilon_n}, Vt \quad (19.9)$$



**Şək. 19.2. Ammonyaklı soyuducu maşının nəzəri tsikli**

**Məsələ 1.** Ammonyakla işləyən soyuducu maşının istilik hesabı (şək. 19.2).

Maşının məhsuldarlığı  $Q_0 = 25000 \text{ Vt} = 21500 \text{ kkal/saat}$ ;

$t_0 = -15^\circ\text{C}$ ,  $t = 30^\circ\text{C}$ ,  $t_n = 25^\circ\text{C}$ .

a) kompressorla soyudulan quru doymuş buxarın entalpiyası

$$i_1 = 397,0 \text{ kkal/kg} = 1660 \text{ kЖоул/kg} ;$$

b) sıxılmanın sonunda entalpiya

$$i_2 = 452,5 \text{ kkal/kg} = 1890 \text{ kЖоул/kg} ;$$

c) çox soyumuş maye ammonyakın entalpiyası

$$i_3 = i_4 = 128,0 \text{ kkal/kg} = 536 \text{ kЖоул/kg} ;$$

d) sorulan buxarın xüsusi həcmi

$$v_1 = 0,509 \text{ m}^3 / \text{kg} ;$$

1) 1 kq ammonyakın soyutma məhsuldarlığı

$$q_0 = i_1 - i_4 = 1660 - 536 = 1124 \text{ kЖоул/kg} ;$$

2) kompressorda sıxılmanın nəzəri işi

$$l = i_2 - i_1 = 1890 - 1660 = 230 \text{ kЖоул/kg} ;$$

3) kondensatorda 1 kq amonyaka verilən istilik

$$q = q_0 + l = 1124 + 230 = 1354 \text{ кЖоулкг} ;$$

4) tsiklin soyutma əmsalı

$$\varepsilon_n = \frac{q_0}{l} = \frac{1124}{230} = 4,88 ;$$

5) 1 saat ərzində dövr edən ammonyakın miqdarı

$$G = 3,6 \frac{Q_0}{q_0} = 3,6 \frac{25000}{1124} = 80 \text{ кг/саат} ;$$

6) kompressorla sorulan ammonyak buxarının həcmi

$$V = Gv_1 = 80 \cdot 0,509 = 40,7 \text{ м}^3 / \text{саат} ;$$

7) kompressorda sərf olunan nəzəri güc

$$N_n = \frac{Q_0}{1000\varepsilon_n} = \frac{25000}{1000 \cdot 4,88} = 5,12 \text{ кВт}$$

və ya

$$N_n = \frac{G \cdot l}{3600} = \frac{80 \cdot 230}{3600} = 5,12 \text{ кВт} ;$$

8) kondensatorun istilik yükü

$$Q = Q_0 \frac{\varepsilon_n + 1}{\varepsilon_n} = 25000 \frac{4,88 + 1}{4,88} = 30100 \text{ Вт}.$$

**Məsələ 2.** Freon R12 ilə işləyən maşının istilik hesabı.

1) quru doymuş buxarın entalpiyası

$$i_1 = 135,3 \text{ ккалкг} = 567 \text{ кЖоулкг} ;$$

2) sıxılmanın sonunda freon buxarının entalpiyası

$$i_2 = 141,5 \text{ ккалкг} = 593 \text{ кЖоулкг} ;$$

3) nizamlayıcı ventilin əvvəlində maye freonun entalpiyası

$$i_3 = i_4 = 105,8 \text{ ккалкг} = 444 \text{ кЖоулкг} ;$$

4) sorulan buxarın xüsusi həcmi

$$v_1 = 0,0925 \text{ м}^3 / \text{кг} ;$$

5) 1 kq freonun soyutma məhsuldarlığı

$$q_0 = i_1 - i_4 = 567 - 444 = 123 \text{ кЖоулкг} ;$$

6) kompressorda sıxılmanın nəzəri işi

$$l = i_2 - i_1 = 593 - 567 = 26 \text{ кЖоулкг} ;$$

7) kompressorda 1 kg freona verilən istilik

$$q = i_2 - i_3 = 593 - 444 = 149 \text{ кЖоулкг} ;$$

8) tsiklin soyutma əmsalı

$$\varepsilon_n = \frac{q_0}{l} = \frac{123}{26} = 4,74 ;$$

9) 1 saat ərzində buxarlandırıcıya verilən freonun miqdarı

$$G = 3,6 \frac{Q_0}{q_0} = 3,6 \frac{25000}{123} = 732 \text{ кг/саат} ;$$

10) kompressorla sorulan freon buxarının həcmi

$$V = Gv_1 = 732 \cdot 0,0925 = 67,7 \text{ м}^3 / \text{саат} ;$$

11) kompressorda sərf olunan nəzəri güc

$$N_n = \frac{Q_0}{1000\varepsilon_n} = \frac{25000}{1000 \cdot 4,74} = 5,27 \text{ кВт} ;$$

12) kondensatorun istilik yükü

$$Q = Q_0 \frac{\varepsilon_n + 1}{\varepsilon_n} = 25000 \frac{4,74 + 1}{4,74} = 30300 \text{ Вт} .$$

### 19. 3. Maşının iş rejiminin soyutma məhsuldarlığına təsiri

$V$  kəmiyyətinə görə (19.7) tənliyindən kompressorun nəzəri həndəsi ölçülərini müəyyən etmək olar, saatlıq işçi həcm  $V_h = V$  (itkisiz).

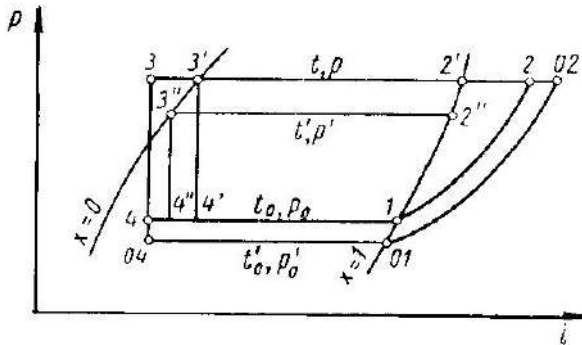
Məsələnə əks istiqamətdə həll etdikdə verilmiş saatlıq həcmə  $V_h$  və ya nəzəri kompressorun ölçülərinə görə maşının soyutma məhsuldarlığını təyin etmək olar:

$$Q_0 = 0,278q_v V_h, \text{ Вт} . \quad (19.10)$$

$q_v$  və  $Q_0$  qiymətləri sabit olmayıb maşının işinin temperatur şəraitindən asılıdırlar.

Buxarlandırıcıda soyuducu agentin eyni qaynama temperaturunda  $t_0$  (şəx. 19.3) və mayenin temperaturunun nizamlayıcı ventildən əvvəl azalmasında, yəni mayenin çox soyuması nəticəsində

və ya kondensasiya təzyiqinin  $p'$  qədər azalmasında 1 kq soyuducu agentin soyutma məhsuldarlığı artır ( $q_0=i_1-i_4>i_1-i_4'>i_1-i_4$ ). Bu halda həcmi soyutma məhsuldarlığı  $q_v=q_0/v_1$  və uyğun olaraq maşının soyutma məhsuldarlığı da artır.



**Şək. 19.3. Dəyişən parametrlı kompressorlu buxar soyuducu maşının tsikli**

Əgər qaynama temperaturunu azaltsaq  $t'_0 < t_0$ , onda nizamlayıcı ventildən əvvəl eyni temperaturda  $q_0$  qiyməti bir o qədər dəyişmir ( $q_0=i_1-i_4 \approx i_{01}-i_{04}$ ), ancaq sorulan buxarın xüsusi həcmi nəzərə çarpacaq qədər artır ( $v_{01} > v_1$ ). Nəticədə həcmi soyutma məhsuldarlığı azalır ( $q_v=q_0/v_{01} < q_0/v_1$ ). Bununla yanaşı maşının da soyutma məhsuldarlığı  $Q_0$  azalır.

Beləliklə, maşının soyutma məhsuldarlığı, onun həcmi soyutma məhsuldarlığı kimi iş rejimindən asılıdır. O isə adətən soyuducu suyun temperaturu və kameranın saxlanılan temperaturunun dəyişməsi ilə dəyişir. Soyuducu suyun temperaturu nə qədər yüksək və kameranın (soyudulan yer) temperaturu nə qədər az olarsa, onda bir o qədər maşının soyutma məhsuldarlığı az olar.

Kataloq və pasportlarda adətən maşının standart rejimdə yaranan «standart» soyutma məhsuldarlığı verilir ( $t_0=-15^\circ\text{C}$ ;  $t=30^\circ\text{C}$ ;  $t_n=25^\circ\text{C}$ ). Fərz edilir ki, maşın sorulan buxarın çox qızması ilə işləyir (ammonyak üçün  $t_s=-10^\circ\text{C}$ , freon üçün  $t_s=15^\circ\text{C}$ ). Hərdən soyutma məhsuldarlığı «normal» rejimdə göstərilir ( $t_0=-10^\circ\text{C}$ ;  $t=25^\circ\text{C}$  və  $t_n=15^\circ\text{C}$ ). Belə məhsuldarlıq "normal" ad-

lanır.

Maşınların soyutma məhsuldarlığını yalnız eyni şəraitdə müqayisə etmək olar. Nəzəri kompressorlu maşınlar üçün «standart» və işçi soyutma məhsuldarlıqları arasındakı asılılığı aşağıdakı kimi təyin edək:

İşçi şəraitdə

$$Q_{oi} = 0,278q_{vi}V_h$$

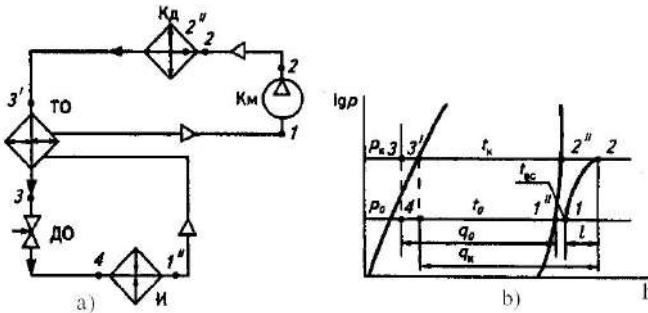
standart şəraitdə

$$Q_{os} = 0,278q_{vs}V_h$$

Bu tənliklərdən aşağıdakı ifadəni tapırıq:

$$\frac{Q_{oi}}{q_{vi}} = \frac{Q_{os}}{q_{vs}} \quad (19.11)$$

Şəkil 19.4-də istilik dəyişənli soyuducu maşının prinsipial sxemi və tsikli verilmişdir. Bu sxemdən görüldüyü kimi soyuducu maşının tsikli aşağıdakı proseslərdən ibarətdir.



**Şək. 19.4. İstilik dəyişənli soyuducu maşının prinsipial sxemi (a) və tsikli (b)**

$1''-1 - p_0 = const$  şərtində buxarın kompressora sorulması zamanı çox qızması;

$1-2 - s = const$  şərtində kompressorda  $p_0$ -dan  $p_k$ -ya kimi adiabatik sıxılma;

$2-2'' - p_k = const$  şərtində kondensatorda qızmanı aşağı salmaq;

$2''-3' - p = const$  şərtində kondensatorda buxarın kondensasiya-

sı;

3'-3 -  $p=const$  şərtində mayenin çox soyuması;  
 3-4 -  $h=const$  şərtində  $p_k$ -dən  $p_0$ -a kimi drossellənmə;  
 4-1'' -  $p_0=const$  və  $t_0=const$  şərtlərində mayenin buxarlandırıl-  
 cıda qaynaması.

Hər bir başlıca nöqtələr üçün bütün termodinamiki parametrlər təyin edilir və onların qiymətlərinin cədvəli qurulur. Nöqtələrin parametrlərini bildikdə nəzəri tsiklin parametrlərini təyin etmək olar.

Soyuducu agentin xüsusi kütləsinin soyutma məhsuldarlığı (kCoul/kq)

$$q_0 = h_{1'} - h_4 \quad (19.12)$$

kompresorda sıxılmanın xüsusi işi (kCoul/kq)

$$l_n = h_2 - h_1 \quad (19.13)$$

kondensatorda xüsusi istilik yükü (kCoul/kq)

$$q_k = h_2 - h_{3'} \quad (19.14)$$

tsiklin soyutma əmsalı

$$\varepsilon_n = \frac{q}{l} \quad (19.15)$$

Soyutma əmsalı  $\varepsilon$  tsiklin faydalı iş əmsalını (f.i.ə.) xarakterizə edir və müxtəlif kompressorlu maşınların səmərəli işini müqayisə etmək üçün istifadə olunur:  $\varepsilon$  nə qədər yuxarı olarsa, tsiklin effektivliyi bir o qədər yuxarı olur. Soyuducu maşının istismarı zamanı çalışırlar ki, mümkün qədər yüksək qaynama temperaturu saxlasınlar, çünki  $t_0$  temperaturunun hər bir dərəcə aşağı düşməsi mexaniki iş sərfini 2...4% artırır.

Nəzəri tsiklin məlum parametrlərindən istifadə edərək həqiqi soyuducu maşının əsas parametrlərini tapmaq olar. Kompresorun nəzəri həcmi soyutma məhsuldarlığı  $V_n$  (m<sup>3</sup>/san) aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$V_n = \frac{\pi D^2}{4} S z n,$$

burada  $D$  – silindrin diametri, m;  
 $S$  – porşenin gedişi, m;  
 $z$  – silindrlərin sayı;

$n$  – fırlanma tezliyi,  $\text{san}^{-1}$ .

Kompresorun həqiqi həcmi soyutma məhsuldarlığı

$$V_h = \lambda V_n,$$

burada  $\lambda$  - həcmi itkiləri nəzərə alan kompresorun verim əmsalındır,  $\lambda \approx 0,5 \dots 0,75$ ;

$V_n$ -nin alınmış qiymətləri əsasında cədvəllərdən kompresor seçilir.

Kompresorun nəzəri həcmi məhsuldarlığını aşağıdakı ifadə ilə təyin etmək olar:

$$V_n = \frac{M_{km} v_{BC}}{\lambda},$$

burada  $v_{BC}$  – sorulan buxarın xüsusi həcmi,  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;

$M_{km} = \sum Q/q$  - lazım olan istilik axınlarının cəmini  
( $\sum Q$ ) seçmək üçün soyuducu agentin kütlə sərfi.

Kompresorun soyutma məhsuldarlığı

$$Q_0 = \sum Q \text{ və ya } Q_0 = M_{km} q_0.$$

Kondensatorda yük

$$Q_k = M_{km} q_k.$$

Kondensatorun nəzəri gücü

$$N_n = M_{km} l_n,$$

burada  $l_n$  - sıxılmanın xüsusi işi.

Həqiqi tələb olunan güc (şəbəkədən)

$$N_e = N_n / \eta_e,$$

burada  $\eta_e$  - kompresorun faydalı iş əmsalındır (kompresorun həqiqi tsikli nəzəri tsikldən fərqləndikdə itkiləri nəzərə alır: sürtünmədə olan itkilər və elektrik mühərrikində olan itkilər).

Həqiqi soyutma əmsalı

$$\varepsilon_h = \frac{Q_0}{N_e}.$$

$\varepsilon_h$  – in həqiqi qiyməti  $\varepsilon_{noz}$ -in nəzəri qiymətindən təxminən 2 dəfə azdır.

### *Yoxlama sualları*

1. Kompresorlu buxar soyuducu maşının nəzəri işçi tsiklinin hesabı üçün hansı temperaturları bilmək lazımdır? 2. Soyuducu maşının nəzəri iş tsikli hansı diaqramla və necə qurulur? 3. Tsiklin soyutma əmsalı, soyuducu agentin saatlıq miqdarı, kompressorla sorulan buxarın həcmi necə təyin olunur? 4. Kompressorda sərf olunan nəzəri güc, kondensatorun istilik yükü necə ifadə olunur? 5. Maşının soyutma məhsuldarlığı nədən asılıdır? 6. Soyuducu maşının tsiklinə hansı proseslər aiddir? 7. Soyuducu maşının əsas parametrləri hansılardır?



XX FƏSİL  
**KOMPRESSORLU BUXAR SOYUDUCU MAŞININ  
HƏQİQİ TSİKLİ**

Kompressorlu buxar soyuducu maşının həqiqi tsikli nəzəri tsikldən kompressorda və onun xaricində həcmi və enerji itkilərinin olması ilə fərqlənir. Həcmi itkilər soyuducu maşının məhsuldarlığını azaldır, enerji itkiləri isə nəzəri ilə müqayisədə güc sərfini artırır. Göstərilən itkilər çoxdur, istilik hesabatlarında onların başlanğıc düzəliş əmsalını nəzərə almaq lazımdır. Ayrı-ayrı faktorların həcmi və enerji itkilərinə təsirini nəzərdən keçirək.

### **20.1. Həqiqi tsikldə həcmi itkilər**

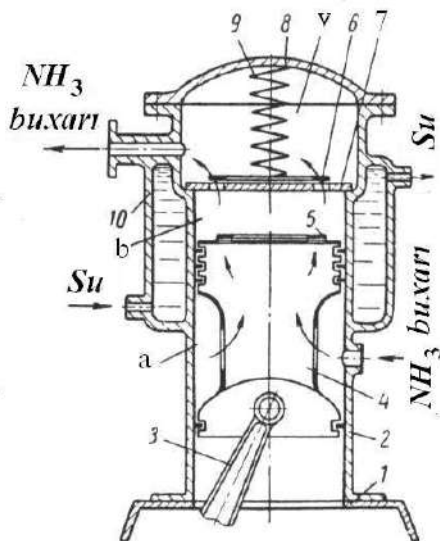
Maşının soyutma məhsuldarlığını azaldan həcmi itkilər əsasən kompressorda yaranır. Soyuduculuq texnikasında porşeni düzxətli – irəliləmə hərəkəti edən porşenli kompressorlar geniş yayılmışdır. Bu tip kompressorlardan biri də VP tipli şaquli – düzxətli kompressordur (şəkl. 20.1).

VP tipli şaquli-düzxətli kompressor aşağıdakı əsas hissələrdən ibarətdir: maşının konstruktiv əsası olan karterdən; silindrdən hansı ki, burada soyuducu agentin buxarlarının sıxılması baş verir; çarxqolu-sürgüqolu mexanizmindən; porşenlərdən; sorucu və qovucu klapanlardan; sürtünən hissələri yağlamaq üçün qurğudan; qoruyucu qurğulardan və başqa hissələrdən.

Şaquli-düzxətli kompressorda işçi proses aşağıdakı kimi gedir. Porşen aşağı hərəkət etdikdə porşen və onun üstündə yerləşən yalançı qapaq arasında boşalma məsafəsi yaranır. Nəticədə porşenin yuxarı hissəsində yerləşən sorucu klapan açılır və soyuducu agent sorucu borudan porşendəki deşikdən keçərək silindrin işçi həcminə daxil olur.

Sorulma prosesi porşen aşağı hərəkət edənə kimi davam edir. Porşen istiqamətini dəyişən kimi, əks təzyiq və ətalət qüvvələrinin təsirindən sorucu klapan bağlanır, silindrdə soyuducu agentin sıxılması baş verir. Silindrdəki təzyiq kondensatordakı təzyiqdən yuxarı olduqda, qovucu klapan açılır və soyuducu agentin buxarları yalançı qapağın yuxarisında yerləşən qovucu ka-

meraya sıxışdırılır və sonra qovucu borudan kondensatora verilir.



**Şək. 20.1. Şaquli – düzaxınlı kompressorun sxemi:**

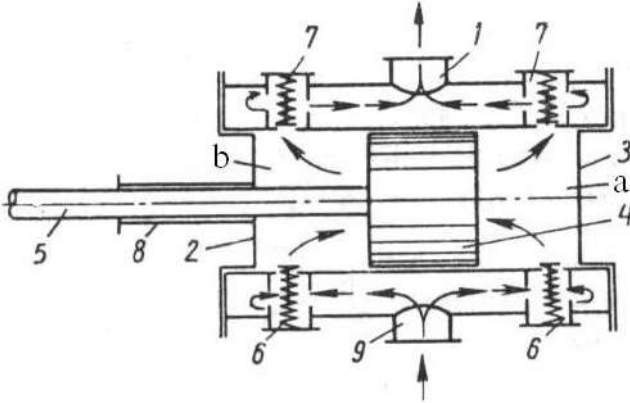
1-karter; 2-silindr; 3- sürgüqolu; 4-porşen; 5-sorucu klapan; 6-qovucu klapan; 7-yalançı qapaq; 8-üst qapaq; 9-bufer yayı; 10-soyuducu su köynəyi; a) silindrin sorucu həcmi; b) silindrin işçi həcmi; v) qovucu kamera

Porşen heç vaxt qapağa tam yaxınlaşmır. Porşenin üstündə kompressorun «ölü» məsafəsi yaranır. Porşenin əks hərəkəti zamanı «ölü» məsafədə qalan buxarlar buxarlandırıcıdakı təzyiqlə genişlənir. Buna porşenin gedişinin bir hissəsi sərf olunur. Bundan sonra yenidən buxarlandırıcıdan buxarın sorulması prosesi başlayır.

Bu tip şaquli kompressorda sorulmada, sıxılmada və qovulmada soyuducu agentin buxarları bir istiqamətdə aşağıdan yuxarıya doğru hərəkət edirlər. Odur ki, bu tipli kompressor şaquli – düzaxınlı kompressor adlanır. Bu kompressor sadə və ya bir təsirlidir, çünki burada iş prosesi porşenin bir tərəfində baş verir.

QD tipli üfqi iki təsirlilə kompressorda (şək. 20.2) silindrə işçi proses porşenin hər iki tərəfində baş verir. Porşenin bir tərəfdən o biri tərəfə, məsələn soldan sağa hərəkəti zamanı,

silindrin sol boşluğunda «ölü» məsafədə qalan buxarın buxarlandırıcıdakı təzyiqindən bir qədər aşağı təzyiqə qədər genişlənməsi baş verir. Sonra sorucu klapın 6 açılır və soyuducu agentin buxarları silindrin sol boşluğuna sorulur.

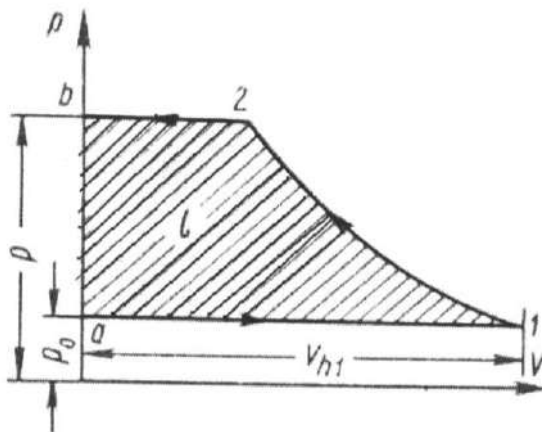


**Şək. 20.2. İki təsirli üfqi kompressorun silindrinin sxemi:**

1-qovucu qısa boru; 2-qabaq qapaq; 3-arxa qapaq; 4-porşen; 5-ştok; 6-sorucu klapınlar; 7-qovucu klapınlar; 8-kipgəc (araqatı); 9-sorucu qısa boru (a və b- silindrin işçi boşluqları)

Porşenin əks hərəkətində sol sorucu klapın bağlanır, buxar kondensatordakı təzyiqdən bir qədər yüksək təzyiqə qədər sıxılır, sonra qovucu klapından 7 kondensatora itələnir. Sağ boşluqda da həmin proseslər baş verir. Silindrin sol boşluğunda sıxılma yaranıqda sağ tərəfdə sorulma baş verir. İki təsirli üfqi silindrde soyuducu agentin silindrde hərəkəti bir istiqamətdə baş vermir, porşenin hərəkəti ilə istiqamətini dəyişir. Bu kompressor düzaxınlı deyil.

Şəkil 20.3-də itkisiz kompressorun nəzəri indikator diaqramı verilir. Fərz edilir ki, kompressorun «ölü» məsafəsi yoxdur. Kompressordan əvvəl sorulan buxarın saatlıq həcmi porşenin saatlıq işçi həcminə bərabərdir. *a-1* xətti buxarlandırıcının təzyiqinə bərabər olan,  $p_0$  sabit təzyiqdə baş verən buxarın sovurulma prosesidir; *1-2* xətti – adiabatik sıxılma xətti və *2-b* xətti – kondensatorun təzyiqinə bərabər olan sabit təzyiqdə baş verən itələmə prosesidir.



**Şək. 20.3. Nəzəri indikator diaqramı**

«Ölü» məsafə kompressorun işçi prosesini dəyişir və bir çox itkilərə gətirib çıxarır. Bu itkilər həqiqi indikator diaqramında aydın görünür (şək. 20.4). Diaqramda  $C$  kəsiyi (parçası) ilə verilən «ölü» məsafədə həmişə sıxılmış buxar qalır. Qalan buxar porşenin əks gedişində sorulma təzyiqinə (xətt  $da$ ) kimi genişlənərək əlavə  $C_1$  həcmi tutur. Yalnız bundan sonra sorucu klapan açılır və buxar buxarlandırıcıdan kompressorun silindrinə sorulur (xətt  $ab$ ). Deməli «ölü» məsafə sorulan soyuducu agentin miqdarını azaldır və kompressorun məhsuldarlığını aşağı salır. Həcm itkisi  $C_1$  ilə göstərilir və aşağıdakı bərabərlikdən təyin edilir.

$$\frac{C_1 + C}{C} = \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{m}},$$

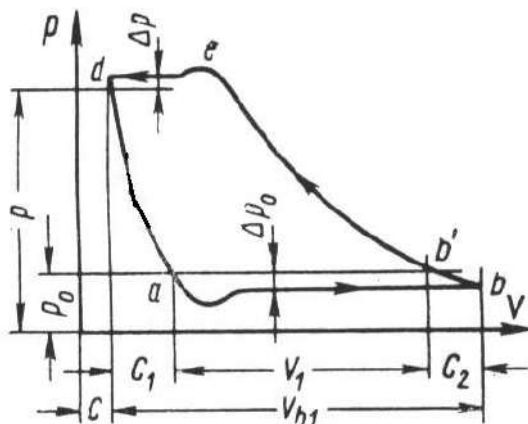
burada  $m$ - genişlənmə prosesinin politrop göstəricisidir.

«Ölü» məsafənin itkiləri həcmi göstəricilərlə nəzərə alınır

$$\lambda_c = \frac{V_{h1} - C_1}{V_{h1}} = 1 - C_0 \left[ \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right], \quad (20.1)$$

burada  $V_{h1}$ - kompressorda silindr boşluğunun işçi həcmi;

$C_0=C/V_{h1}$ - zərərli (ölü) məsafənin nisbi qiyməti, kompressordan asılı olaraq  $C_0=0,02\dots0,08$  olur.



**Şək. 20.4. Həqiqi indikator diaqramı**

Kompressorda «ölü» məsafə lazımdır, o çarxqolu – sürgüqolu mexanizminin qızmadan uzanması zamanı kompressoru qəzadan qoruyur və «nəmli gediş» halında isə hidravliki zərbə təhlükəsini azaldır. Bütün konstruktiv xüsusiyyətləri nəzərə almaqla kompressorun «ölü» məsafəsinin ölçüsü minimal olmalıdır.

Klapanlarda, silindrin kanallarında və boru kəmərlərində yaranan hidravliki müqavimət kompressordakı həcmi itkilərə təsir edir. Hidravliki müqavimətlər nəticəsində sorulma zamanı təzyiq (xətt  $ab$ ) buxarlandırıcıdakı təzyiqdən  $\Delta p_0$  qədər aşağı olur, qovma zamanı isə (xətt  $ed$ ) kondensatordakı təzyiqdən  $\Delta p$  qiyməti qədər yüksək olur. Sorma zamanı təzyiqlərin aşağı düşməsi sorulan buxarın sıxlığını və miqdarını azaldır. Hidravliki müqavimətlərin təsirindən itki  $C_2$  hissəsinə uyğun gəlir və bu hissə boyunca silindrdəki buxar buxarlandırıcıdakı  $p_0$  təzyiqinə qədər sıxılır ( $b$  nöqtəsindən  $b'$  nöqtəsinə kimi). Təzyiqlər fərqlinin artması  $\Delta p_0$  və sorulma təzyiqinin azalması ilə, yəni qaynama temperaturu  $t_0$  aşağı düşdükdə  $C_2$ -nin qiyməti uyğun olaraq artır.

Sorulma zamanı müqavimətlər nəticəsində həcmi itkilər

drossellənmə əmsalı ilə qiymətləndirilir.

$$\lambda_{dr} = \frac{V_{h1} - C_1 - C_2}{V_{h1} - C_1}.$$

$C_0=4\%$  olduqda müxtəlif qaynama temperaturları üçün  $\lambda_{dr}$ -nın təxmini qiymətləri aşağıdakılardır:

Temperatur $t_0^{\circ}\text{C}$	0	-15	-30	-50
$\lambda_{dr} \Delta p_0=0,005\text{MN/m}^2(\sim 0,05 \text{ kq/sm}^2)$	0,99	0,98	0,95	0,86
$\lambda_{dr} \Delta p_0=0,01\text{MN/m}^2(\sim 0,10 \text{ kq/sm}^2)$	0,97	0,95	0,91	0,72

$C_1$  və  $C_2$  itkiləri indikator sorulma əmsalı ilə nəzərə alınır:

$$\lambda_i = \lambda_c \lambda_{dr}.$$

Silindrin divarları və soyuducu agent arasında daxili istilik mübadiləsindən yaranan itkilər də həqiqi kompressor üçün xarakterikdir.

Sıxılma prosesində buxarın temperaturu nisbətən qalxır və istilik buxardan silindrin divarlarına, porşen və başqa hissələrə keçir. Sorulma zamanı, əksinə, soyuq buxar isinmiş hissələrə dəyərək özü isinir. Nəticədə silindrə az buxar daxil olur, çünki isinmə zamanı onun xüsusi həcmi artır. Buxarlandırıcıdan nəmli buxar daxil olduqda daxili istilikdəyişmənin mənfi təsiri daha da böyüyür, maye hissəciklərinin silindrin daxilində buxara çevrilməsi bilavasitə buxarlandırıcıdan sorulan buxarın miqdarını azaldır.

İstilik mübadiləsi nəticəsində itki qızdırma (isitmə) əmsalı ilə ( $\lambda_{\omega}$ ) nəzərə alınır. Təzyiqlər nisbəti  $p/p_0$  nə qədər çox olarsa və ya sorulmanın əvvəlindən sıxılmanın sonunadək temperatur hüdudu nə qədər çox olarsa, buxar və divarlar arasındakı istilik mübadiləsi bir o qədər çox olar. Kompressorun dirsəkli valının fırlanma tezliyi artdıqda gediş vaxtı azalır və nəticədə istilik mübadiləsi də azalır. İstilik mübadiləsi zamanı itkilər təcrübi yolla təyin edilir. Şaquli tipli düzaxınlı kompressorlar üçün (İ.İ.Levinin empirik düsturu):

$$\lambda_{\omega} = \frac{T_0}{T}, \quad (20.2)$$

burada  $T_0$  və  $T$  – uyğun olaraq qaynama və kondensasiyanın mütləq temperaturlarıdır.

Kompressorda həmçinin qeyri kiqlik nəticəsində sorucu və qovucu klapanlarda, porşen halqalarında, kipiçlərdə, qapaqlarda itkilər baş verir. Bu itkilər sıxlıq əmsalı ( $\lambda_s$ ) ilə xarakterizə edilir, maşının konstruksiyası və köhnəlmə dərəcəsiindən asılıdır. Düzgün texniki istismar zamanı birləşmələrdə yaranan qeyri kiqliklərdə itkilər cüzi olur.

Praktiki şəraitdə bütün növ həcmi itkilər vermə (verim) əmsalı ilə nəzərə alınır:

$$\lambda = \lambda_t \lambda_w \lambda_s. \quad (20.3)$$

Vermə əmsalı silindrin işçi həcmindən istifadə dərəcəsinə xarakterizə edir. Bu əmsal kompressorla həqiqi sorulan buxar həcmi ( $V$ , m<sup>3</sup>/saat) saatlıq işçi həcminə nisbəti ilə təyin edilir:

$$\lambda = \frac{V}{V_h}. \quad (20.4)$$

Əgər sorulan buxarın həcmi məlumdursa, onda kompressorun uyğun saatlıq işçi həcmi

$$V_h = \frac{V}{\lambda}. \quad (20.5)$$

Vermə əmsalı təcrübi yolla təyin edilir. O, kompressorun konstruksiyası və ölçülərindən, təzyiqlər nisbətindən  $p/p_0$ , temperaturlar nisbətindən  $T/T_0$ , «ölü» məsafədən, sorulmadan əvvəl buxarın çox qızmasından, silindrin soyudulması üçün qurğunun olmasından və s. faktorlarından asılıdır. Müəyyən tip ammonyaklı və freonlu kompressorlar üçün  $\lambda$ -nın qiyməti cədvəllərdə və qrafiki asılılıqlar  $\lambda = f(p/p_0)$  şəklində verilir (şək. 20.5).

Şaquli və V-şəkilli ammonyaklı soyuducu köynəkli kompressorların «quru gediş» şəraitində vermə əmsalı İ. Badılkesin düsturu ilə təyin edilir:

$$\lg \lambda = (0,012 + 0,473C_0) \left( 1 - \frac{p}{p_0} \right). \quad (20.6)$$

Su soyuducu köynəyin istifadəsi quru gedişdə vermə əmsalını təxminən 5 % artırır. Kondensatorun «nəm gediş» işində suyun

temperaturu köynəkdən keçdikdə aşağı düşür və kompressorun iş-çi əmsalları əksinə azalır.

Kompressorla sorulan buxarın həcminə  $V_h = V_h \lambda$  ( $m^3/saat$ ) və  $q_v$  ( $kCoul/m^3$ ) qiymətinə əsaslanaraq maşının həqiqi soyutma məhsuldarlığı təyin edilir:

$$Q_0 = 0,278q_v V_h \lambda, \quad \text{Vt}; \quad (20.7)$$

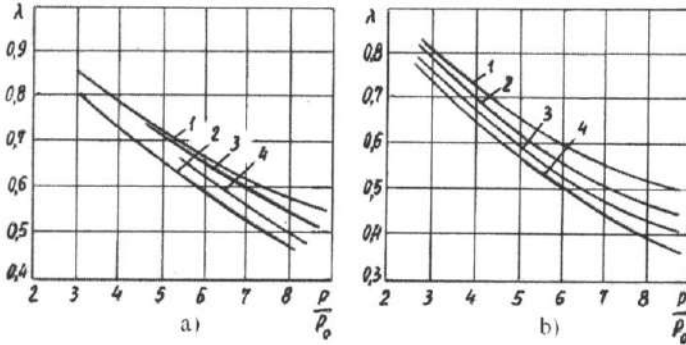
$$\left. \begin{aligned} V_h &= \frac{\pi D^2}{4} S n z \cdot 60 \quad (\text{sadə təsirli kompressorlar üçün}) \\ V_h &= \frac{\pi}{4} (2D^2 - d^2) S n z \cdot 60 \quad (\text{iki təsirli kompressorlar üçün}) \end{aligned} \right\}, \quad (20.8)$$

burada  $D$ - kompressorun silindrinin diametri, m;

$S$ - porşenin gedişi, m;

$d$ - ştokun diametri, m;

$z$ - silindrlərin sayı.



**Şək. 20.5. Sadə təsirli düzaxınlı kompressorların  $\lambda$ -nın  $p/p_0$ -dan asılılığı:**

a)  $n=480$  dövr/dəq-də (1 və 2- 4AU-15 kompressoru üçün  $C_0=5,35\%$  və  $C_0=7,63\%$  olduqda; 3 və 4- 2AB-27 kompressoru üçün  $C_0=3,92\%$  və  $C_0=4,92\%$  olduqda); b) müxtəlif fırlanma tezliyində (1 və 2- 4AU-8 kompressoru üçün  $C_0=5,85\%$  və  $n=960$  dövr/dəq və  $n=750$  dövr/dəq olduqda; 3 və 4 - 2AU-8 kompressoru üçün  $C_0=6,27\%$  və  $n=950$  dövr/dəq və  $n=720$  dövr/dəq olduqda).

(20.7) tənliyinin köməyi ilə həqiqi prosesdə «işçi» və «standart» soyutma məhsuldarlıqları arasındakı asılılıqları müəyyən et-



mək olar.

İşçi və standart şərait üçün

$$\left. \begin{aligned} Q_{oi} &= 0,278q_{vi}V_h\lambda_i \\ Q_{os} &= 0,278q_{vs}V_h\lambda_s \end{aligned} \right\}, \quad (20.9)$$

buradan

$$\frac{Q_{oi}}{q_{vi}\lambda_i} = \frac{Q_{os}}{q_{vs}\lambda_s}$$

və ya

$$Q_{oi} = Q_{os} \frac{q_{vi}\lambda_i}{q_{vs}\lambda_s}, \quad Q_{os} = Q_{oi} \frac{q_{vs}\lambda_s}{q_{vi}\lambda_i}, \quad (20.10)$$

burada  $\lambda_p, \lambda_s$ - işçi və standart şəraitdə vermə əmsalları;

$q_{vi}, q_{vs}$ - həmin şəraitdə nəzəri həcmi soyutma məhsuldarlıqları.

Maşının istehsal etdiyi soyuqluğun hamısı məhsulların soyudulmasına və ya soyuducu kameralarda aşağı temperaturun saxlanmasına sərf olunmur. Soyuqluğun bir hissəsi soyuducu maşının özündə (borularla istilik axını nəticəsində) və başqa köməkçi mexanizmlərdə itir. Belə mexanizmlərə mayenin dövr etməsi üçün nasoslar, qarışdırıcılar və soyuducu kameralarda ventilyatorlar aiddir.

Məhsulların soyudulması və kameralarda aşağı temperaturun saxlanması üçün lazım olan soyutma məhsuldarlığı faydalı və ya «netto» soyutma məhsuldarlığı adlanır. Maşının istehsal etdiyi ümumi soyuqluğun miqdarı «brutto» soyutma məhsuldarlığı adlanır.

İtki əmsalı  $\varphi = Q_{0netto} / Q_{0brutto}$  boru kəmərlərinin izolyasiya keyfiyyətindən, uzunluğundan, soyutma sistemindən, maşının məhsuldarlığından, işin temperatur rejimindən və s. asılıdır. Duzlu məhlulla soyutmada  $\varphi = 0,85 \dots 0,9$ ; bilavasitə soyutmada  $\varphi = 0,9 \dots 0,95$  olur.

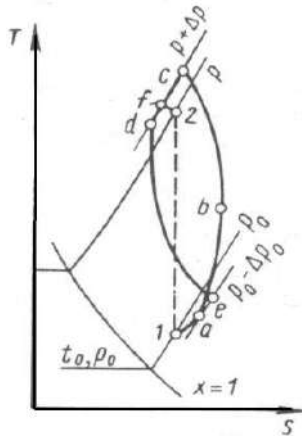
## 5.2. Enerji itkiləri

Nəzəri proses ilə müqayisədə həqiqi prosesdə sıxılma işinin

artması əsasən kompressorun silindrində istilik mübadiləsinin və buxarın sorulması və qovulması zamanı hidravliki müqavimətlərin olması nəticəsində baş verir.

Həqiqi kompressorun silindrində işçi maddə halının dəyişməsi və itkiləri  $s$ - $T$ - diaqramında göstərilmişdir (şək. 20.6). Fərz edək ki, buxarlandırıcıdan kompressora bir qədər çox qızmış buxar daxil olur, onun halı  $p_0$  izobarında 1 nöqtəsi ilə təyin edilir. Nəzəri sıxma prosesi adiabat ( $s=const$ ) 1-2 düz xətti ilə göstərilir. Həqiqi prosesdə silindrdə sıxılmadan əvvəl soyuducu agentin halı  $a$  nöqtəsi ilə göstərilir. Sorulma zamanı hidravliki müqavimətlər nəticəsində  $a$  nöqtəsində 1 nöqtəsinə nisbətən buxarın təzyiqi az olacaq ( $\Delta p_0$  qiymətinə qədər). Temperatur isə, əksinə, silindrin isti divarları ilə toxunmasından, eləcə də «ölü» məsafədəki buxarla sorulan buxarın silindrdə qarışması zamanı ( $t_a > t_i$ ) isinməsindən bir qədər yüksək olacaqdır.

Həqiqi prosesdə buxarın sıxılması  $a$ - $b$ - $c$  əyrisi üzrə gedir ki, bu da  $m$  dəyişən göstəricili politropdur. Onun miqdarı buxar və silindrin divarları arasındakı daxili istilik mübadiləsi intensivliyindən və istilik axınının istiqamətindən asılıdır.



**Şək. 20.6. Həqiqi kompressorda proseslər**

$a$ - $b$  sahəsində sıxılma prosesi silindrin isti divarlarından agentə istilik axını ilə xarakterizə edilir; bununla əlaqədar politrop

göstəricisi  $m$  bu sahədə adiabat göstəricisi  $k$ -dan böyük olacaq – politrop sağa əyilir.  $b$  nöqtəsində sıxılan buxarın temperaturu silindr divarının temperaturu ilə bərabərləşir ( $m=k$ ). Sonra  $b-c$  sahəsində temperaturun yenidən artması nəticəsində istilik əks istiqamətə, yəni soyuducu agentdən silindrin divarlarına keçir. Bununla əlaqədar sıxılma politropu sola meyillənir, çünki onun göstəricisi adiabat göstəricisindən az olur ( $m < k$ ).

Kompressorun basqı (qovma) tərəfindəki müqavimətlərə görə (qovucu klapanlarda və boru kəmərlərində) silindrdəki buxarın təzyiqi kondensatordakı təzyiqdən bir qədər yüksək təzyiqə  $\Delta p$  qiymətinə qədər sıxılır. Sıxılmanın sonunda buxar halı  $c$  nöqtəsi ilə təyin edilir. Bundan sonra sıxılmış buxar silindrdən kondensatora qovulur, bu zaman silindrin daxilindəki istilikdəyişmə davam edir, silindrin divarları qızdırılır, buxar isə qismən soyudulur. Ölü məsafədə qalan buxar halına  $d$  nöqtəsi uyğun gəlir və buradan genişlənmə prosesi başlayır ( $d-e$  xətti). Genişlənmənin sonunda ( $e$  nöqtəsi) buxarın temperaturu sorulan buxarın temperaturundan yüksək olub, bu da onun sıxılmasından əvvəl isinməsinə səbəb olur.

Göstərilən hadisələr nəticəsində həqiqi prosesdə istifadə edilən iş nəzəri ilə müqayisədə artır.  $s-T$ - diaqramında işin artması  $a-b-c$  həqiqi sıxma prosesi xətti ilə və  $1-2$  adiabat arasındakı sahəyə bərabərdir.

Həqiqi prosesdə işin artması indikator faydalı iş əmsalının köməyi ilə nəzərə alınır və aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\eta_i = \frac{l}{l_h}, \quad (20.11)$$

burada  $l$ - 1 kq soyuducu agentin adiabatik sıxılmasına sərf edilən nəzəri iş;

$l_h$ - 1 kq agentin sıxılmasına sərf olunan həqiqi iş.

$\eta_i$  əsasən kompressorda daxili istilikdəyişmənin intensivliyindən, sorulma ( $\Delta p_0$ ) və qovma ( $\Delta p$ ) zamanı təzyiqlər fərqiinin dəyişməsindən asılıdır. İstilikdəyişmə intensivliyi kompressorda sıxılma dərəcəsiindən və başqa faktorlardan asılıdır.

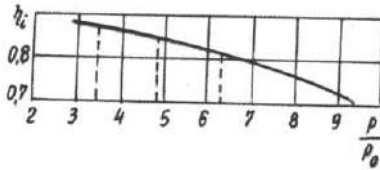
$\eta_i$ -nin artırılması üçün kompressorların silindrlərinin soyudulması üçün qurğulardan: su soyuducu köynəklərdən, soyuducu

qabırğalardan istifadə edilir. Bunlardan istifadə zamanı soyuducu agent və silindrin divarları arasındakı daxili istilik mübadiləsi azalır.

İndikator gücü aşağıdakı tənliklə hesablanır.

$$N_i = \frac{N_n}{\eta_i}. \quad (20.12)$$

Hər növ kompressor üçün  $p/p_0$  nisbətindən asılı olaraq  $\eta_i$ -nin qiyməti eksperimental tədqiqatlar yolu ilə müəyyən edilir. Ammonyaklı VP və UP tipli kompressorlar üçün (silindrlərin şaquli və maili yerləşməsi)  $\eta_i$ -nin təxmini qiymətləri şəkil 20.7-də verilmişdir.



**Şək. 20.7.**  $\eta_i$  əmsalının sıxılma dərəcəsiindən asılılığı

$\eta_i$ -nin təxmini qiymətinin hesablanması üçün professor İ.İ.Levinin empirik düsturundan istifadə edilir:

$$\eta_i = \lambda_\omega + bt_0, \quad (20.13)$$

burada  $\lambda_\omega$ - isinmə əmsalı;

$t_0$ - qaynama temperaturu;

$b$ - əmsal (üfiqi ammonyaklı maşınlar üçün  $b=0,002$ , şaquli üçün  $b=0,001$ , şaquli freonlu maşınlar üçün  $b=0,0025$ ).

Mexaniki faydalı iş əmsalı  $\eta_m$  kompressorun hərəkət edən hissələrində sürtünmədən yaranan itkiləri nəzərə alır və kompressorun indikator gücünün onun effektiv gücünə olan nisbətini ifadə edir:

$$\eta_m = \frac{N_i}{N_e} = \frac{N_i}{N_i + N_s}. \quad (20.14)$$

Sürtünmə gücü  $N_s$  əsasən kompressorun ölçülərindən asılıdır. Buna görə də mexaniki faydalı iş əmsalı verilən kompressor üçün

əsasən onun yüklənməsindən asılıdır. Yükün artması ilə  $\eta_m$  artır. Müasir şaquli və maili silindrlı kompressorların mexaniki faydalı iş əmsalı  $\eta_m=0,85\dots0,9$ , üfiqilərdə isə  $\eta_m=0,8\dots0,85$ -dir.

Kompressora lazım olan tam və ya effektiv güc

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_m} = \frac{N_n}{\eta_i \eta_m} = \frac{N_n}{\eta_e}, \quad (20.15)$$

burada  $\eta_e$ - effektiv faydalı iş əmsalıdır.

**Məsələ.** Ammonyaklı soyuducu maşınının 4AU-15 kompressorunda  $V_h=285 \text{ m}^3/\text{saat}$  ( $n=480$  dövr/dəq).

Standart şəraitdə və aşağıdakı iş rejimində maşının soyutma məhsuldarlığını və kompressorun mühərrikinin gücünü təyin edin.

Qaynama temperaturu  $t_0=-20^\circ\text{C}$ ; kondensasiya temperaturu  $t=30^\circ\text{C}$ ; çox soyuma temperaturu  $t_c=25^\circ\text{C}$ .

Maşının soyutma məhsuldarlığını hesablamaq üçün (20.9) tənzimindən istifadə edirik.

Ammonyakın nəzəri xüsusi həcmi soyutma məhsuldarlığını cədvəldən götürürük (Əlavə 3). Standart şərait üçün ( $t_0=-15^\circ\text{C}$ -də və  $t_n=25^\circ\text{C}$ -də)  $q_{vs}=528,9 \text{ kkal/m}^3=2210 \text{ kCoul/m}^3$ , işçi şərait üçün ( $t_0=-20^\circ\text{C}$ -də və  $t_n=25^\circ\text{C}$ -də)  $q_{vi}=428,8 \text{ kkal/m}^3=1800 \text{ kCoul/m}^3$ .

Standart və işçi şəraitdə vermə əmsalını qrafikdən (şək. 20.5.a) tapırıq. Əvvəlcədən ammonyakın doymuş buxar cədvəlindən (Əlavə 4) təzyiqlər nisbətini  $p/p_0$  tapırıq.

Standart şərait üçün ( $t=30^\circ\text{C}$  və  $t_0=-15^\circ\text{C}$ )

$$\frac{p}{p_0} = \frac{11,895}{2,41} = 4,94.$$

İşçi şərait üçün ( $t=30^\circ\text{C}$  və  $t_0=-20^\circ\text{C}$ )

$$\frac{p}{p_0} = \frac{11,895}{1,94} = 6,13.$$

Vermə əmsallarının müvafiq qiymətləri

$$\lambda_s=0,72 \text{ və } \lambda_i=0,66.$$

Maşının standart və işçi soyutma məhsuldarlığını təyin edirik:

$$Q_{os} = 0,278 \cdot 2210 \cdot 285 \cdot 0,72 = 126000 \text{ Vt};$$

$$Q_{oi} = 0,278 \cdot 1800 \cdot 285 \cdot 0,66 = 94000 \text{ Vt}.$$

Standart şərait üçün (19.15) tənliyindən

$$\varepsilon_{noz} = \frac{q_0}{l} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{397 - 128}{452,5 - 397} = 4,86;$$

$$N_{noz} = \frac{126000}{1000 \cdot 4,86} = 25,8 \text{ kVt}.$$

Verilmiş işçi rejimdə

$$\varepsilon_{noz} = \frac{q_0}{l} = \frac{395 - 128}{459 - 395} = 4,2;$$

$$N_{noz} = \frac{94000}{1000 \cdot 4,2} = 22,4 \text{ kVt}.$$

Qrafikdən indikator faydalı iş əmsalı (şək. 20.7) təyin edilir: standart rejim üçün ( $p/p_0=4,94$ -də)  $\eta_i=0,84$ ; verilmiş işçi rejim üçün ( $p/p_0=6,13$ -də)  $\eta_i=0,81$ . Mexaniki faydalı iş əmsalı  $\eta_m=0,85$  qəbul edirik.

Kompresorun intiqalı üçün lazım olan tam güc:

Standart rejimdə

$$N_e = \frac{25,8}{0,84 \cdot 0,85} = 36,1 \text{ kVt}.$$

Verilmiş işçi rejimdə

$$N_e = \frac{22,4}{0,81 \cdot 0,85} = 32,5 \text{ kVt}.$$

### 20.3. Soyuducu maşının xarakteristikaları

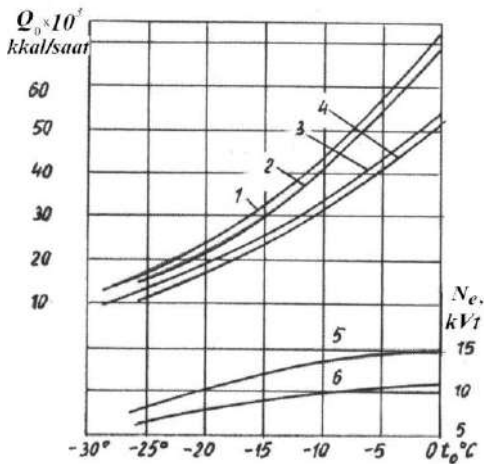
Maşının soyutma məhsuldarlığı  $Q_0$  (20.7) tənliyindən göründüyü kimi tək kompressorun ölçülərindən ( $V_h$ -dan) deyil, həmçinin istifadə edilən agentin həcmi soyutma məhsuldarlığından  $q_v$  və vermə əmsalından  $\lambda$  asılıdır. Axırını iki qiymətlər soyuducu maşının iş rejimindən, yəni qaynama, kondensasiya və çoxsoyuma temperaturlarından asılıdır.

Maşının işinə sərf olunan güc də dəyişən qiymətə malik olub,

$p$  və  $p_0$  təzyiqlərinin (və ya  $t$  və  $t_0$  temperaturlarının) nisbətindən asılıdır. Müəyyən edilmişdir ki, soyuducu agentlərin əksəriyyəti üçün soyuducu maşında maksimal güc sərfi  $p_0=1/3p$  təzyiqləri nisbətində alınır. Kondensasiya təzyiqi artdıqca güc sərfi müvafiq olaraq artır.

Kompresorun soyutma məhsuldarlığının və istifadə edilən gücün temperatur rejimindən asılılıqları soyuducu maşının xarakteristikaları adlanır. Hər bir maşına konstruktiv xüsusiyyətlər, işçi maddənin xassələrini nəzərə alan müəyyən xarakteristikalar aiddir.

Şəkil 20.8-də ammonyaqlı AU-30 (4AU-8) kompressorlu AKAU-30 soyuducu maşının xarakteristikası verilmişdir.



**Şək. 20.8. AU-30 (4AU-8) kompressorlu AKAU-30 kompressor-kondensator aqreqatlı ammonyaqlı soyuducu maşının xarakteristikası:**

Maşının soyutma məhsuldarlığı,  $Q_0$ :

- 1 -  $n=960$  dövr/dəq və  $t=25^\circ\text{C}$ ;
- 2 -  $n=960$  dövr/dəq və  $t=30^\circ\text{C}$ ;
- 3 -  $n=720$  dövr/dəq və  $t=25^\circ\text{C}$ ;
- 4 -  $n=720$  dövr/dəq və  $t=30^\circ\text{C}$ ;

Kompresorun gücü,  $N_e$ :

- 5 -  $n=960$  dövr/dəq və  $t=30^\circ\text{C}$ ;
- 6 -  $n=720$  dövr/dəq və  $t=30^\circ\text{C}$ .

Absis oxu ilə qaynama temperaturu, ordinat oxu ilə maşının soyutma məhsuldarlığı  $Q_0$  və kompressorun valının gücü  $N_e$  verilir.

Xarakteristikalardan istifadə edərək soyuducu maşının müxtəlif işçi şəraitdə əsas göstəriciləri haqda müəyyən fikirlər söyləmək olar.

### *Yoxlama sualları*

1. Kompessorlu buxar soyuducu maşının həqiqi tsikli nədir? 2. Kompessorlu buxar soyuducu maşının həqiqi tsikli nəzəri tsikldən nə ilə fərqlənir? 3. Şaquli-düzaxınlı kompressorlar hansı kompressorlardır və hansı hissələrdən ibarətdir? 4. Şaquli-düzaxınlı kompressorda işçi proses necə gedir? 5. Kompessorun «ölü» məsafəsi nədir və harada yaranır? 6. Şaquli-düzaxınlı kompressorun iki təsirliliyi üfqi kompressordan fərqi nədədir? 7. İstilik mübadiləsi zamanı itkilər necə təyin edilir? 8. Həcmi itkilər necə təyin olunur? 9. İtki əmsali nədən asılıdır? 10.  $\eta_i$  əmsalının sıxılma dərəcəsindən asılılığı necə müəyyən edilir?



## XXI FƏSİL ÇOXPİLLƏLİ SOYUDUCU MAŞINLAR

### 21.1. Çoxpilləli maşınların istifadə edilmə sahələri

Soyuducu maşınlar tez-tez aşağı qaynama temperaturunda qida məhsullarının dondurulmasında, dondurma hazırlıqda, sublimasiyalı qurutmada və s. işləyirlər. Bununla bərabər soyuducu agentin kondensasiya temperaturu yüksək ola bilər. Belə olduqda soyuducu maşının iş rejimi böyük  $p/p_0$  nisbəti ilə və  $p-p_0$  böyük təzyiqlər fərqi ilə xarakterizə edilə bilər. Bu şəraitdə birpilləli maşından istifadə etmək sərfəli deyil. Təcrübə göstərir ki, çoxpilləli – əsasən iki və üçpilləli maşınların istifadəsi daha məqsədəuyğundur.

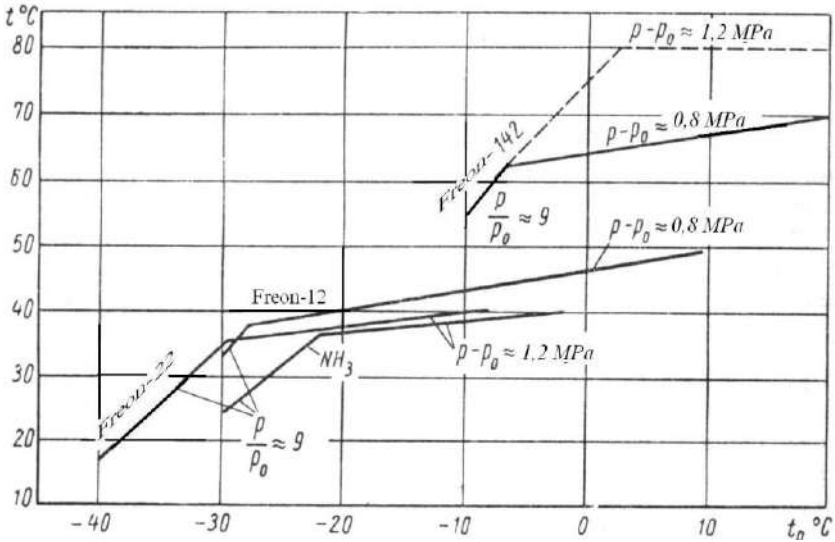
İkipilləli maşınlarda buxarlandırıcıdan buxar birinci pillə kompressora sorulur, adiabatik sıxılır və aralıq çənə verilərək su və ya maye soyuducu agentlə soyudulur. Soyudulan buxar ikinci pillə kompressorla sıxılaraq kondensatora qovulur. Üçpilləli maşınlarda üç pilləli sıxılmadan istifadə olunur.

Termodinamiki cəhətdən çoxpilləli maşın birpilləlidən sərfəlidir. Buxarın pillələr arasında soyuması onun həcmnin azalması ilə müşahidə edilir, bu da sonrakı pillələrdə iş sərfinin azalmasına gətirib çıxarır.

Çoxpilləli maşının üstünlükləri əsasən həqiqi tsikldə görünür. Hər pillədə işçi təzyiqlərin azalması vermə əmsalının və indikator faydalı iş əmsalının artmasına səbəb olur.

Birpilləli ammonyaklı maşınlar qaynama temperaturu 0- dan  $-30^{\circ}\text{C}$ -yə və kondensasiya temperaturu  $40^{\circ}\text{C}$ -dən yuxarı həddə,  $p/p_0 \leq 9$  və  $(p-p_0) \leq 1,2$  MH/m<sup>2</sup> olduqda işləyə bilər. Birpilləli freon-12 ilə işləyən maşınlar qaynama temperaturu 10-dan  $-30^{\circ}\text{C}$ -yə kimi, kondensasiya temperaturu  $0^{\circ}\text{C}$ -yə kimi, təzyiqlər nisbəti  $p/p_0 \leq 9$  və təzyiqlər fərqi  $(p-p_0) \leq 0,8$  MH/m<sup>2</sup> olduqda işləyə bilər.

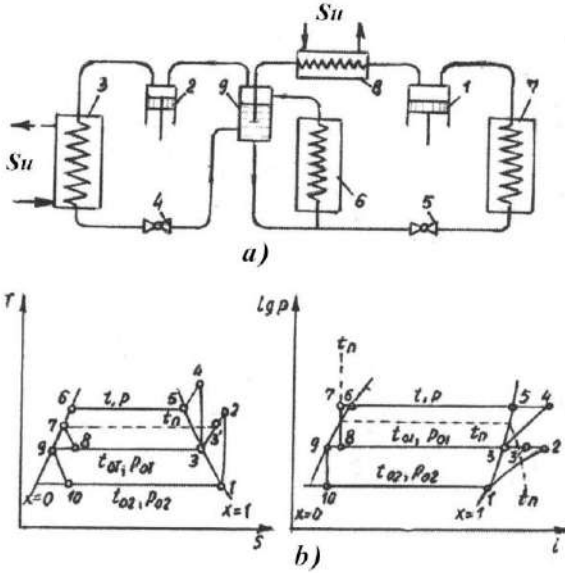
Şəkil 21.1-də temperatur sahəsini zonalara bölən xətlər verilmişdir. Xətlərin aşağısındakı zonalar üçün birpilləli maşınlardan, xətlərin üstündəki zonalar üçün isə iki və ya üçpilləli maşınlardan istifadə etmək lazımdır.



**Şək. 21.1. Bir və çoxpilləli kompressorların istifadə zonalarının təyin edilməsi üçün sərhəd xətləri**

İkipilləli maşınlar  $-60^{\circ}\text{C}$  qaynama temperaturunda istifadə olunur. Burada buxarın pillələr arasında soyuması tam və ya natamam ola bilər. Birinci halda buxar əvvəlcə soyuq su ilə, sonra isə doymuş buxar halına kimi soyuducu agentlə soyudulur. İkincidə soyudulmaq üçün yalnız sudan istifadə olunur. Soyudulan buxar doymuş hala gətirilir. Maye nizamlayıcı ventildən əvvəl su ilə çox soyudulur və daha çox maye soyuducu agentlə soyudulur.

Şəkil 21.2-də ikipilləli maşının sxemi və işçi tsikli verilmişdir. Sxemdə müxtəlif qaynama temperaturu iki buxarlandırıcı nəzərdə tutulur. Aşağı  $p_{02}$  təzyiqli  $t_{02}$  temperaturu quru buxar buxarlandırıcıdan aşağı təzyiqli kompressorla sorulur (diaqramda nöqtə 1) və adiabatik olaraq aralıq  $p_{01}$  təzyiqə kimi sıxılır (proses 1-2). Çox qızmış buxar (nöqtə 2) aralıq su soyuducusuna verilir və burada  $p_{01}$  sabit təzyiqdə 3' nöqtəsi ilə təyin edilən hala kimi soyudulur (proses 2-3'). Sonra həmin təzyiqdə buxar aralıq çəninə verilərək maye soyuducu agentlə  $t_{01}$  temperaturuna kimi soyudulur (proses 3'-3), yəni doymuş halını (nöqtə 3) alır.



**Şək. 21.2. Tam aralıq soyuduculu və iki pillədə nizamlanan ikipilləli soyuducu maşın:**

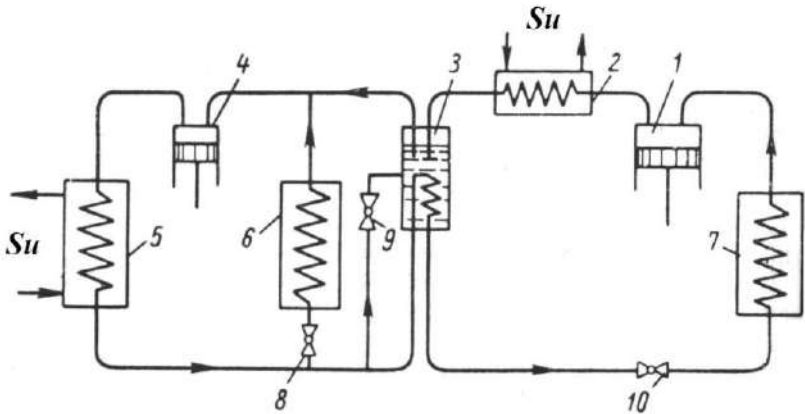
a) soyuducu maşın: 1-aşağı təzyiqli kompressoru; 2-yüksək təzyiqli kompressoru; 3-kondensator; 4,5-nizamlayıcı ventillər; 6,7-aralıq və aşağı təzyiqli buxarlandırıcıları; 8-su soyuducusu; 9-aralıq çəni; b) işçi tsiklin istilik diaqramları

Yüksək təzyiqli kompressor aralıq çəndən doymuş halda: a) aşağı təzyiqli kompressordan verilən və çəndə soyudulan buxarı; b) aralıq təzyiqli buxarlandırıcıdan verilən buxarı; c) birinci nizamlayıcı ventildə drossellənmədən sonra ayrılan buxarı; d) soyudulan buxarın istiliyi hesabına bilavasitə aralıq çəndə yaranan buxarı sorur.

Müəyyən miqdarda buxar 3-4 adiabatı ilə  $p$  təzyiqinə kimi (nöqtə 4) sıxılır və çox qızmış halda kondensatora verilir. Burada  $p=const$ -da buxarın doymuş halına kimi soyuması (proses 4-5), sonra isə kondensasiyası (proses 5-6) və mayenin çox soyuması (proses 6-7) baş verir. Çox soyumuş maye kondensatordan birinci nizamlayıcı ventillə aralıq çəninə  $p_{01}$  təzyiqə və  $t_{01}$  temperaturuna kimi drossellənir (proses 7-8, nöqtə 8).

Drossellənmədən sonra aralıq çəmində ayrılan quru doymuş buxar yüksək təzyiqli kompressoru ilə sorulur, çənin alt hissəsində çökən maye (nöqtə 9) isə oradan iki istiqamətdə çıxır. Bir axın aralıq təzyiqli buxarlandırıcıya, o biri isə nizamlayıcı ventildən (proses 9-10) aşağı təzyiqli buxarlandırıcıya verilir. Soyudulan cisimlərdən istiliyin alınması ilə müşahidə olunan mayenin qaynama prosesi müvafiq izotermirlə (izobarlarla) 9-3 və 10-1 xarakterizə olunur. Hər buxarlandırıcının soyutma məhsuldarlığı və onlara verilən mayenin miqdarı texnoloji şərtlərlə təyin edilir.

Yuxarıda göstərilən maşının çatışmayan cəhətləri bunlardır: buxarlandırıcılar yağ ilə çirklənir; aralıq çəmindən buxarlandırıcı sistemə mayenin verilməsinin nizamlanma çətinliyi. Ammonyakla işləyən maşınlar üçün tam aralıq soyuduculu və bir pillədə nizamlanan ikipilləli soyuducu geniş yayılmışdır (şək. 21.3). Bu sxemdə birinci pillənin kompressoru ilə sıxılmış buxar su soyuducusundan aralıq çənə verilir. Bura drossellənmədən sonra kondensatordan bir qədər maye daxil olur.



**Şək. 21.3. Maye soyuducu agentlə işləyən ikipilləli soyuducu maşın:**

1-aşağı təzyiqli kompressoru; 2-su soyuducusu; 3-aralıq çəni; 4-yüksək təzyiqli kompressoru; 5-kondensator; 6,7-aralıq və aşağı təzyiqli buxarlandırıcıları; 8, 9,10-nizamlayıcı ventillər

Bu maye buxarlanaraq çox qızmış buxarı soyudur, həmçinin ilanvari borudan keçən mayenin əsas hissəsini çox soyudur. So-

yudulmuş buxar çəndən yüksək təzyiqli kompressoruna verilir və kondensasiya temperaturuna kimi sıxılır, ilanvari boruda çox soyumuş maye isə ikinci nizamlayıcı ventillə tam drossellənərək soyuqluq istehsalı üçün aşağı təzyiqli buxarlandırıcıya verilir.

İlanvari borulu aralıq çəni mayenin soyudulması üçün çox vacibdir. Aşağı təzyiqli kompressorundan yağ buxarlandırıcıya keçməyərək, aralıq çəndə çökdürülür və vaxtaşırı oradan çıxarılır. Buxarlandırmadan qabaq drossellənmədə təzyiqlərin tam fərqi buxarlandırıcıların yerləşdiyi səviyyədən asılı olmayaraq mayenin verilməsinin nizamlanmasını asanlaşdırır. Sistem rahat avtomatlaşdırılır.

## 21.2. İkipilləli maşının hesabı

Ammonyakla işləyən ikipilləli maşının hesabı aşağıdakı kimi aparılır.

Maşının hesabı üçün verilənlər:

$t_{b1}$ - aralıq təzyiqli buxarlandırıcısı ilə soyudulan mühitin temperaturu;

$t_{b2}$ - aşağı təzyiqli buxarlandırıcısı ilə soyudulan mühitin temperaturu;

$t_w$ - aralıq su soyuducusunun, maye ammonyakı çox soyudanın və kondensatorun soyudulması üçün istifadə olunan suyun temperaturu;

$Q_{01}$ - aralıq təzyiqli buxarlandırıcısının qaynama temperaturunda maşının soyuqluq məhsuldarlığı,  $Vt$ ;

$Q_{02}$ - aşağı təzyiqli buxarlandırıcısının qaynama temperaturunda maşının soyuqluq məhsuldarlığı,  $Vt$ ;

Verilmiş soyudulan mühitlərin və suyun temperaturlarından asılı olaraq soyuducu maşının işçi rejimini müəyyən edirik. Qəbul edirik:

$t_{01}, p_{01}$ - aralıq təzyiqli buxarlandırıcısında qaynama temperaturu və təzyiqli;

$t_{02}, p_{02}$ - aşağı təzyiqli buxarlandırıcısında qaynama temperaturu və təzyiqli;

$t, p$ - kondensasiya temperaturu və təzyiqli;

$t_n$ - nizamlayıcı ventildən əvvəl mayenin temperaturu;  
 $t_{on}$ - aralıq su soyuducusundan sonra soyudulan buxarın temperaturu.

Qəbul olunur ki, soyuducu maşın eyni qaynama temperaturunda işlədikdə aşağı və yüksək təzyiqli kompressorlarda sıxılma dərəcəsi eynidir, yəni

$$\frac{p_{01}}{p_{02}} = \frac{P}{P_{01}},$$

buradan

$$p_{01} = \sqrt{p\rho_{02}}. \quad (21.1)$$

Aşağı təzyiqli buxarlandırıcıda dövr edən ammonyakın miqdarını hesablamaq olar:

$$G_{02} = 3,6 \frac{Q_{02}}{q_{02}} = 3,6 \frac{Q_{02}}{i_1 - i_{10}} \text{ kq/saat}. \quad (21.2)$$

Aralıq təzyiqli buxarlandırıcısında dövr edən ammonyakın miqdarı:

$$G_{01} = 3,6 \frac{Q_{01}}{q_{01}} = 3,6 \frac{Q_{01}}{i_3 - i_9} \text{ kq/saat}. \quad (21.3)$$

Buxarın əlavə soyudulması üçün aralıq çəndən buxarlanan ammonyakın miqdarı:

$$G_0 = \frac{G_{02}(i_{3'} - i_3)}{i_3 - i_9} \text{ kq/saat}. \quad (21.4)$$

Aralıq çəndə sərf olunan mayenin ümumi miqdarı:

$$G_c = G_{02} + G_{01} + G_0 \text{ kq/saat}. \quad (21.5)$$

Yüksək təzyiqli kompressorlarda dövr edən ammonyakın miqdarı:

$$G = \frac{G_c}{1 - x_1} = \frac{G_{02} + G_{01} + G_0}{1 - x_1} \text{ kq/saat}, \quad (21.6)$$

burada  $x_1$ - birinci drossellənmədən sonra ammonyakın buxar tutumu.

Aşağı və yüksək təzyiqli kompressorlarına daxil olan ammonyak buxarının həcmi

$$\left. \begin{aligned} V_H &= G_{02} v_1 \\ V_b &= G v_3 \end{aligned} \right\} m^3 / \text{saat} , \quad (21.7)$$

burada  $v_1$ - aşağı təzyiqli kompressorundan əvvəl buxarın xüsusi həcmi (nöqtə 1, şəkl.6.2);

$v_3$ - yüksək təzyiqli kompressorundan əvvəl buxarın xüsusi həcmi (nöqtə 3).

Kompressorların saatlıq həndəsi həcmələri

$$\left. \begin{aligned} V_{h^H} &= \frac{V_H}{\lambda_H} \\ V_{h^b} &= \frac{V_b}{\lambda_b} \end{aligned} \right\} m^3 / \text{saat} , \quad (21.8)$$

burada  $\lambda_H, \lambda_b$ - aşağı və yüksək təzyiqli kompressorlarında verilmə əmsalları

$$\lambda_H = f\left(\frac{p_{01}}{p_{02}}\right);$$

$$\lambda_b = f\left(\frac{p}{p_{01}}\right).$$

$V_{hH}$  və  $V_{hb}$  qiymətlərinə əsasən hər iki pillənin kompressorlarının miqdarı və markası seçilir.

Kompressorların elektrik mühərrikinin nəzəri gücü

$$\left. \begin{aligned} N_{nozH} &= \frac{G_{02}(i_2 - i_1)}{3600} \\ N_{noz b} &= \frac{G(i_4 - i_3)}{3600} \end{aligned} \right\} kVt. \quad (21.9)$$

Kompressorların vallarında olan güc

$$\left. \begin{aligned} N_{eH} &= \frac{N_{nozH}}{\eta_{iH} \eta_{mH}} \\ N_{eb} &= \frac{N_{noz b}}{\eta_{ib} \eta_{mb}} \end{aligned} \right\} kVt , \quad (21.10)$$

burada  $\eta_i$  və  $\eta_m$ - indikator və mexaniki faydalı iş əmsalı.

İstilik yükləri:  
su soyuducusunun

$$Q_{b0} = \frac{G_{02}}{3,6} (i_2 - i_{3'}) Vt ; \quad (21.11)$$

kondensatorun

$$Q = \frac{G}{3,6} (i_4 - i_7) Vt . \quad (21.12)$$

Aralıq çəninin ilanvari borusunun istilik yükü:

$$Q_3 = \frac{G_{02}}{3,6} (i_{3'} - i_3) Vt . \quad (21.13)$$

### 21.3. Üçpilləli və kaskadlı soyuducu maşınlar

Qaynama temperaturu -55-dən -70°C-yə qədər olduqda üçpilləli soyuducu maşınlardan istifadə olunur. Üçpilləli maşın üç buxarlandırıcı ilə işləyə bilər.

Əgər maşın bir qaynama temperaturunda bir buxarlandırıcı ilə işləyirsə (şək. 21.4), onda aralıq təzyiqlər:

$$\frac{P}{P_{01}} \approx \frac{P_{01}}{P_{02}} \approx \frac{P_{02}}{P_{03}} . \quad (21.14)$$

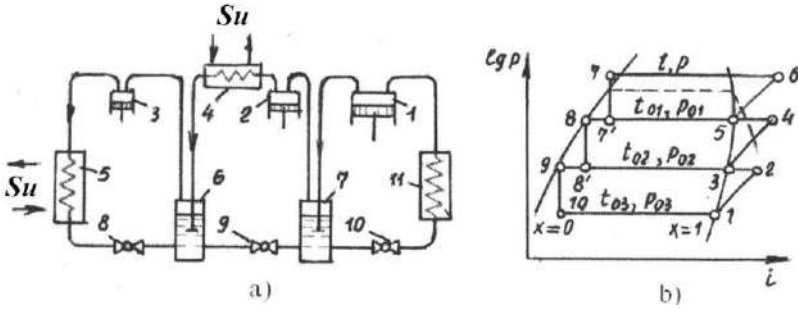
Üçpilləli soyuducu maşınların tsiklləri ikipilləli maşınların tsikli ilə eynidir. İş aralıq soyudulma, pilləli drossellənmə və aralıq çəndən buxarın çıxarılması ilə yerinə yetirilir.

Bir soyuducu agentlə, hətta çox pilləli maşınlarda aşağı temperaturun alınması hərdən mümkün olmur və ya əlverişli olmur. Aşağı təzyiqdə ammoniyakın qaynama və donma (-77,9°C) temperaturları yaxın olduğundan onun istifadəsi -70°C temperaturları kimi mümkün olur. Yüksək təzyiqli soyuducu agent (freon-13, freon-23) buxarlandırıcı tərəfdən yüksək təzyiq təmin edə bilərlər. Bu soyuducu agentlərə aşağı kritiki temperaturlar məxsusdur. Adi temperaturlu soyuducu sularda bunların istifadəsi mümkün olmur.

Bu halda kaskadlı soyuducu maşınlardan istifadə olunur. Kaskadlı soyuducu maşın müxtəlif qaynama temperaturunda işləyən



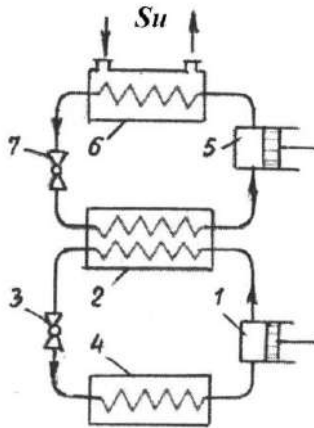
iki maşından ibarətdir (şək. 21.5).



**Şək. 21.4. Eyni qaynama temperaturu və aralıq soyuduculu üçpilləli maşının sxemi (a) və  $i-lgp$  diaqramında tsikli (b):**

1,2,3-aşağı, orta və yüksək təzyiqli kompressorlar; 4-su soyuducusu; 5-kondensator; 6,7-aralıq çənləri; 8,9,10-nizamlayıcı ventillər; 11-buxarlandırıcı.

Hər maşında özünəməxsus qapalı bir və ya ikipilləli soyutma tsikli baş verir. Maşınlar ümumi istilikdəyişənlə birləşir. Bu istilikdəyişən buxarlandırıcı-kondensator adlanır. Hər budaq üçün lazım olan işçi maddədən istifadə olunur.



**Şək. 21.5. Kaskadlı soyuducu maşın:**

1,5-alt və üst kaskadların kompressorları; 2-buxarlandırıcı kondensator; 3,7-nizamlayıcı ventillər; 4-alt kaskad buxarlandırıcısı; 6-üst kaskad kondensatoru

Alt budaqda qaynama və donma temperaturu aşağı olan soyuducu agentdən istifadə etmək məqsədəuyğundur. Bu, buxarlandırıcılarda atmosfer təzyiqinə yaxın təzyiq almağa imkan verir. Bundan başqa nəzəri həcmi soyutma məhsuldarlığının artması hesabına kompressorların ölçülərini azaltmağa imkan verir. Alt kaskadın işçi maddəsi çox da yüksək olmayan kritiki temperatura malik ola bilər, çünki bu kaskadda kondensasiya su ilə deyil buxarlandırıcı-kondensatorda baş verir.

Üst budaq üçün orta təzyiqli soyuducu agentlər daha əlverişlidir. Adətən birpilləli maşınlarda istifadə edilən ammoniyak, freon-12, freon-22-dən istifadə olunur.

Alt budağında freon-13, üst budağında freon-22 ilə işləyən kaskadlı soyuducu maşınlar geniş yayılmışdır. Kaskadlı soyuducu maşınların hesabı alt budağın verilən soyuqluq məhsuldarlığı ilə aparılır.

### *Yoxlama sualları*

1. Çoxpilləli maşınlar hansı maşınlardır? 2. Hansı şəraitdə çoxpilləli maşınlardan istifadə edilir? 3. Hansı temperaturu əldə etmək üçün çoxpilləli maşınlardan istifadə olunur? 4. Bu maşınların çatışmamazlıqları hansılardır? 5. Ammoniyakla işləyən ikipilləli maşının hesabına hansı parametrlər daxildir? 6. Soyudulan mühitlərin və suyun temperaturlarından asılı olaraq soyuducu maşının işçi rejimi necə müəyyən edilir? 7. Kaskadlı soyuducu maşınlardan nə zaman istifadə olunur?

XXII FƏSİL  
**BUXAR SOYUDUCU MAŞINLARIN  
KOMPRESSORLARININ KONSTRUKSİYALARI**

Kompressor – soyuducu maşının əsas hissələrindən biridir. O soyuducu agentin buxarlarının buxarlandırıcıdan sorulması, sıxılması və kondensatora qovulması üçündür.

Soyuducu maşının səmərəli işinə əsas enerji istehlakçısı olan kompressorun işi təsir edir. İstifadə olunan kompressorlar sərfəli, etibarlı, sadə və ucuz olmalıdırlar.

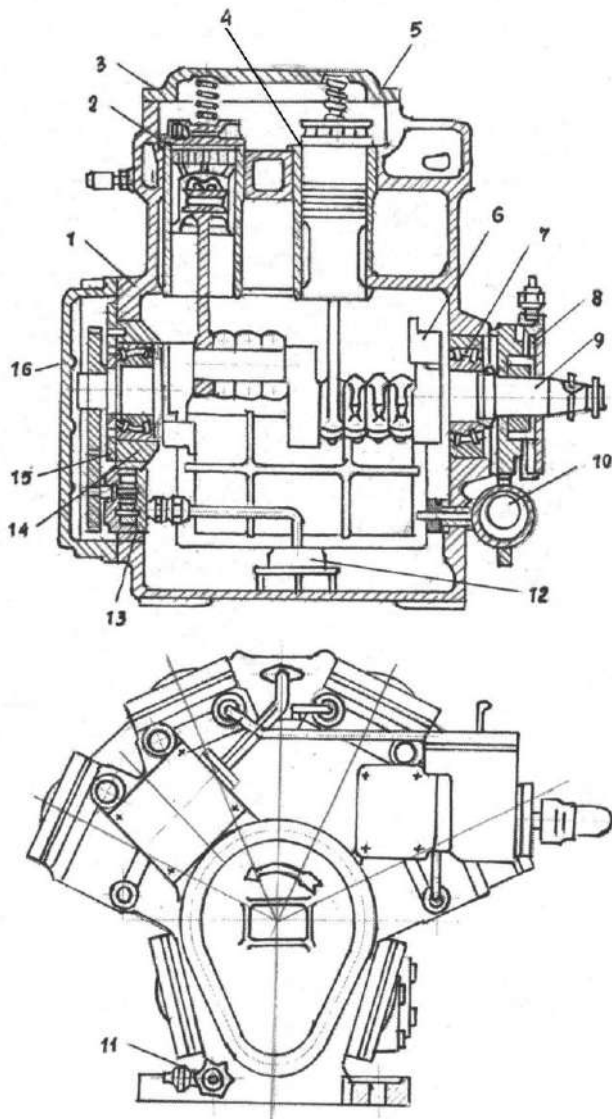
Soyuduculuq texnikasında a) porşenli; b) rotorlu; c) mərkəzdənqaçma və ya turbokompressorlardan istifadə olunur. Qida sənayesində ən geniş yayılmış kompressorlar porşenli kompressorlardır.

### **22.1. Porşenli kompressorlar**

Kompressorlar soyuducu qurğular sistemində qaynama temperaturu  $+5^{\circ}\text{C}$ -dən  $-30^{\circ}\text{C}$ -yə kimi və kondensasiya temperaturu  $+40^{\circ}\text{C}$ -yə kimi olan həddə işləmək üçün nəzərdə tutulur. Bu halda porşenin qovma və sorma təzyiqlərinin fərqi 1,2 MPa və bu təzyiqlərin nisbəti 9-dan yuxarı olmamalıdır.

Kompressorların avtomatik qoruyucuları olurlar: sovurma təzyiqinin artmaması üçün təzyiq relesi, yağlamanın verilməsi dayandıqda yağlama üçün nəzarət relesi, sorma təzyiqi artdıqda temperatur relesi. Kompressorlar iki vakuummətlə təchiz olunur ki, onlar karterdəki təzyiqə və yağın təzyiqinə nəzarət edirlər. Sorma və qovmaya nəzarət etmək üçün manometr və manovakuummətr üçün yerlər nəzərdə tutulur.

Kompressorun blok-karteri 1 çuqundan tökmə şəklində hazırlanır (şək. 22.1). Blok-karterdə sorucu və qovucu boşluqlar olur. Burada bağlayıcı ventillər yerləşir. AU45, AUU90, 22FU45 və 22FUU90 kompressorlarında qovucu boşluqlar xarici kollektorla birləşir. Bu da maşının ümumi qızmasını və sorulan buxarın zərərli isinməsinə azaldır. Blok-karterdə çarxqolu-sürgüqlü mexanizminə baxmaq üçün yan qapaqları olur.

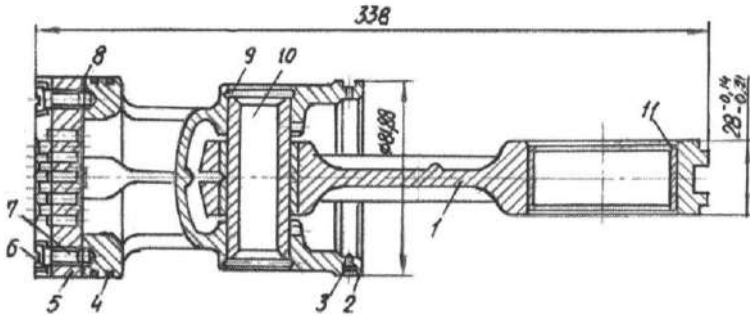


**Şək. 22.1. 22 FUU 90 tipli kompressor:**

1-blok-karter; 2-klapan; 3-silindrin qapağı; 4-gilz; 5-porşen; 6-əks yük;  
 7-yastıq; 8-kiqpəç; 9-dirsəkli val; 10-yağ süzgəci; 11-buraxıcı ventill;  
 12-torlu süzgəç; 13-yağ nasosu; 14-yastığın gövdəsi; 15-dayaq flənsi;  
 16-qapaq

Ön qapaq yağ nasosunun intiqalının dişli çarxlarına baxmaq üçün, üst qapaq isə kompressorun sorma və qovma klapanlarına baxmaq üçündür. Qapaqların birində yağın səviyyəsinə nəzarət üçün baxış aynası yerləşir. Silindrin üst hissəsində su köynəkləri olur. Dirsəkli val 9 iki dirsəkli, iki dayaqlıdır. Dirsəklər bir müstəvidə 180° bucaq altında yerləşir. Val iki yastıqda dayanır.

Sürgüqolu 1 poladdan hazırlanır(şək. 22.2). Onun alt başlığında polad içliklər yerləşir. Onlar babbitlə örtülür. Çəp kəsikli üst başlığa bürünc oymaqlar preslənir. Porşenin 2 üst hissəsində iki kipləşdirici yağ sıyırın, alt hissəsində isə bir üzük olur. Bunlar silindrlərin sıxma kamerasından qazın çıxmasının və karterdən silindrə yağın axmasının qarşısını alır. Üzülər qıfıllı hazırlanır. Sorucu klapan 5 lentlidir, vintlərlə porşenə bərkidilir.



**Şək. 22.2. Kompresorların porşen-sürgüqolu qrupu:**

1-sürgüqolu; 2-porşen; 3-yağ üzüyü; 4-təzyiq üzüyü; 5-sorucu klapan; 6-qıfıl; 7-vint; 8-araqatı; 9-yaylı üzük; 10-barmaq; 11-sürgüqolunun içliyi

Porşen barmağının 10 içi boşdur, ox boyunca hərəkətdən onu təsbitedici üzülər saxlayır. Barmaq və silindrin divarları püskürmə ilə yağlanır.

Süzgəc 12 kompressorun karterində, yağ süzgeci 10 isə kompressorun xaricində kipiğəcin altında yerləşir. Qoruyucu klapan kompressorun sorucu boşluğunda qurulur, açılmada təzyiq 1,6 MPa-a, bağlanmada isə 1,5 MPa-a nizamlanır. Qovma boşluğunda təzyiq artdıqda soyuducu agentin buxarları qovma boşluğundan sorma boşluğuna keçir.

Şaquli və V şəkilli ammoniyaklı və freonlu kompressorların texniki xarakteristikası cədvəl 22.1 və 22.2-də verilmişdir.

Cədvəl 22.1

**Ammonyaklı porşenli bir pilləli düzaxınlı blok karterli kompressorların texniki xarakteristikaları**

Göstəricilər	AV100/1D	AV100/3D	AV22	AU45	AUU90	P110
Soyutma məhsuldarlığı, kCoul/saat: qaynama temperaturu-15°C, kondensasiya +30°C olduqda	42000	315000	$\frac{69300}{98700}$	$\frac{138600}{197400}$	$\frac{277200}{394800}$	462000
Silindrlərin sayı	2	2	2	4	8	4
Silindrin diametri, mm	150	150	82	82	82	150
Rotorun fırlanma tezliyi, dövr/dəq	960	720	$\frac{960}{1440}$	$\frac{960}{1440}$	$\frac{960}{1440}$	1470
Kompressorun kütləsi	1105	1105	525	745	1335	1050

İki pilləli sıxılan aqreqatlar (ADS) iki ədəd birpilləli rotorunun fırlanma tezliyi 1440...1460 dövr/dəq (aşağı təzyiqli kompressor) olan AB100 (AB22, AU45, AUU90) və fırlanma tezliyi 970 dövr/dəq-dən yüksək təzyiqli AB22 (AU45) kompressorlarla komplektləşir. Aqreqata iki yağayıncı və bir aralıq çəni daxildir.

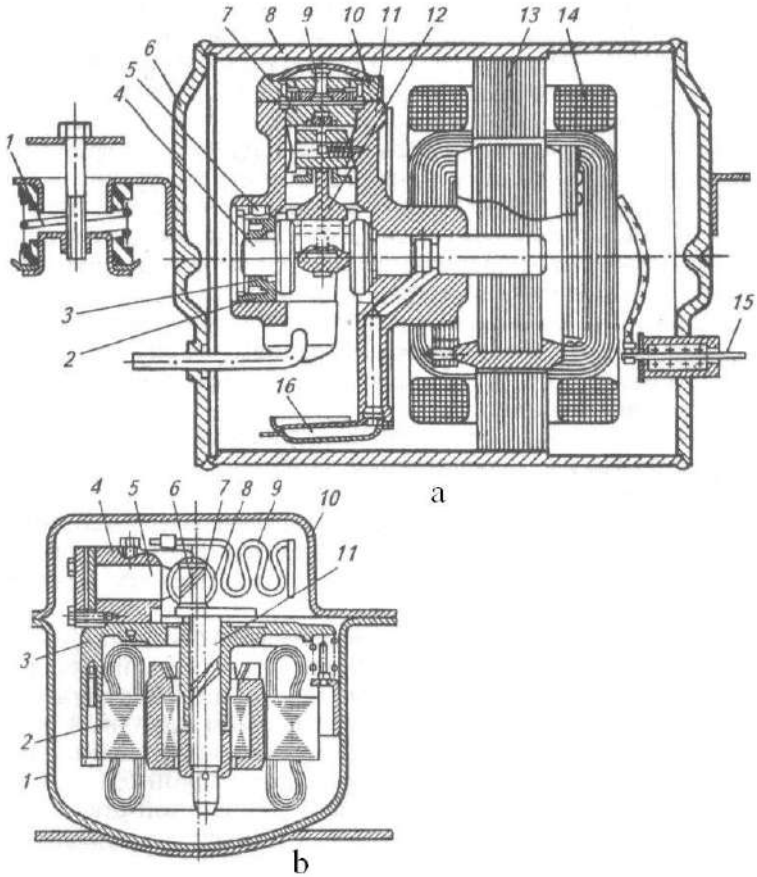
Məişət soyuducuları və dondurucularında birsilindrlı porşenli germetik kompressorlardan (motor-kompressorlardan) istifadə olunur (şək. 22.3). XKB, DX və FQ tipli kompressorlar R12 və ozon təhlükəsi olmayan soyuducu agentlə işləyir və elektrik mühərriki ilə bir valda birləşir. DX tipli kompressorların çarxqolu-sürgüqolu mexanizmi, üfiqi valı və daxili asqısı, FQ, XKB tipli kompressorların iş çarxqolu-sürgüqolu mexanizmi, şaquli valı və daxili asqısı olur.

Kompressorun elektrik mühərrikinin işə düşməsi və müdafiəsi rele ilə yerinə yetirilir. DX və FQ tipli kompressorların texniki xarakteristikası cədvəl 22.3-də verilmişdir.

**Freonlu porşenli birpilləli düzaxınlı blok – karterli  
kompresorların texniki xarakteristikası**

Göstəricilər	FV6	FU40	FU40RG	FUU80	22FV22	22FU45	22FUU90
Soyutma məhsuldarlığı, kCoul/saat: -qaynama temperaturu-15°C, ətraf hava temperaturu +20°C olduqda	11970	134400	178500	336000	100800	201600	403200
-qaynama temperaturu +5°C, soyudan suyun temperaturu +22°C olduqda	-	281400	382200	71400	-	-	-
Silindrlərin sayı	2	4	4	8	4	4	8
Silindrlərin diametri, mm	41	82	82	82	82	82	82
Rotorun fırlanma tezliyi, dövr/dəq	1430	970	1450	1460	1440	1440	1440
Freonun kütləsi, kq	10	140	160	315	140...170	300...340	350
Yağın kütləsi, kq	3,4	20	20	30	5	5	35
Kütlə, kq	35	270	270	450	265	515	455

Asqı daxilində olduqda kompressor və elektrik mühərrikinin statoru 14 ümumi silindrik köynəyə 8 yerləşdirilir və vintlərlə çəkilir (şək. 22.3.a). Köynək iki tərəfdən metal silindrə qaynaq edilmiş qapaqlarla örtülür.



**Şək. 22.3. Germetik kompressorlar:**

a) xarici aşqılı: 1-yaylı aşqı; 2-qıfıllı üzük; 3-valm qabaq yastığı; 4-dirsəkli val; 5-yastığın stoporu; 6-köynəyin qapağı; 7-porşen; 8-köynək; 9-pərçim; 10-başlıq; 11-gövdə; 12-sürgüqolu; 13-rotor; 14-elektrik mühərrikinin statoru; 15-keçid kontaktları; 16-yağ qəbuledicisi; b) FQ-0,100: 1-köynək; 2-stator; 3-gövdə; 4-silindr; 5-porşen; 6-çarxqolu; 7-kulis; 8-sürüngəc; 9-borulu səsboğan; 10-köynəyin qapağı; 11-val

Elektrik mühərrikinə gərginlik vermək məqsədilə 15 və soyuducu aqreقاتı yağla və soyuducu agentlə doldurmaq üçün qapaqların birinə keçid kontaktları və ştuser (və ya doldurma borusu) lehirlənir.



**Kompressorların texniki xarakteristikası**

<b>Göstəricilər</b>	<b>DX-1010</b>	<b>DX2-1010</b>	<b>FQ-0,100</b>	<b>FQ-0,225</b>
Soyutma məhsuldarlığı, Vt	165	140	116	145
İstifadə olunan güc, Vt	180	160	135	150
Rotorun fırlanma tezliyi, dəq <sup>-1</sup>	1450	1450	2920	2920
Silindrin diametri, mm	27	27	21	23
Porşenin gedişi, mm	16	14	14,2	14,2
Həcmi məhsuldarlıq, V·10 <sup>5</sup> , m <sup>3</sup> /san	22,2	19,4	12,2	14,4
Kütlə :				
yağın, qr	430	430	350	350
kompressorun, kq	14	14	9	9,5

Kompressorun köynəyi çərçivəyə yaylarla 1 asılır. Yaylı asqı soyuducu şkaflın silikəlməsinə dəf edir, çünki kompressor nə qədər tarazlansa elektrik mühərrikinin işə düşmə və əsasən dayanması zamanı titrəmələr baş verir.

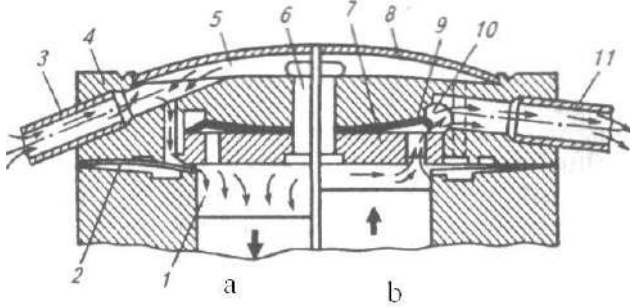
DX tipli kompressorlarının əsas hissəsi çuqundan tökülmüş gövdədir 11. Gövdənin üst hissəsində silindr yerləşir. Onun bir tərəfində altdan dirsəkli valın 4 yastığı, o biri tərəfdən isə qabaq yastığın 3 yuvası yerləşir. Yastıq yuvaya stoporla 5 və qıfıllı üzük ilə 2 bərkidilir. Dirsəkli vala elektrik mühərrikinin rotoru 13 geydirilir. Silindrin yuxarisına isə klapan qurğusu və səsboğanlı başlıq 10 vintlərlə bərkidilir.

Polad başlığın gövdəsi iki kameradan ibarətdir (şək. 22.4). Sorma kamerası 5 sorucu qısaboru 3 və sorucu səsboğanlı köynəklə birləşir. Sorma kamerasının üstündə səsboğanı olur.

Qovma kamerasından çıxan qovucu qısa boru 11 səsboğanlı silindrlə yəhərdə 7 dairəvi yerləşən deşiklər vasitəsilə birləşə bilər. Yəhər başlığın 4 gövdəsinə preslənir və qovucu klapanla birgə ortasında gövdə ilə pərçim 6 vasitəsilə birləşir. Klapanın hər ikisi lövhəlidir və yüksək karbonlu poladdan hazırlanır.

Kompressorun klapanları aşağıdakı kimi işləyir: porşenin aşağı hərəkətində silindrə 1 yaranan seyrəkləmə nəticəsində yəhərə 2 dairəvi sıxılan sorucu klapan 2 açılır (şək. 22.4.a). Soyuducu agentin buxarları kompressorun köynəyindən sorucu qısa

boru 3 və səsboğandan keçərək sorma kamerasına 5 və sonra başlığın yarıqlarından keçərək silindrə daxil olur. Porşenin əks gedişində sorucu klapın soyuducu agentin qovma kamerasına çıxmasına mane olur (şək. 22.4,b).



#### Şək. 22.4. Klapanların işləmə sxemi:

a-sorma; b-qovma; 1-silindr; 2-sorucu klapın; 3-sorucu qısa boru; 4-başlığın gövdəsi; 5-sovurucu kamera; 6-pərçim; 7-klapanların yəhəri; 8-sorma kamerasının səsboğanı; 9-qovucu klapın; 10-qovma kamerası; 11-qovucu qısa boru

Soyuducu agentin sıxılmış buxarları çevrə boyunca qovucu klapını 9 qaldıraraq qovma kamerasına 10 daxil olur və oradan isə qovucu qısa boru 11 və səsboğandan keçərək qovucu borucuğa daxil olur.

Sorma və qovma tərəflərində səsboğanın olması kompressorun işi zamanı onun səsini azaldır. Sorma səsboğanı iki, qovma səsboğanı isə dörd kameradan ibarətdir.

Soyuducu agentin buxarları köynəkdən səsboğana iki boru vasitəsilə verilir. Bu hər borunun en kəsiyini azaltmağa imkan verir, bu da səs azalmasına gətirib çıxarır.

Sorucu, qovucu borular və həmçinin səsboğın silindrin başlığının gövdəsinə mislə lehirlənir.

Kompressorun porşeni poladdan hazırlanır və iki kipləşdirici yarığı olur. Sürgüqolu isə çuqundan hazırlanır. Alt başlıq söküləndir. Sürgüqolunun alt və üst başlıqları iki boltla birləşir. Sürgüqolunun üst başlığına stopor vasitəsilə porşen barmağı bərkidilir.

Dirsəkli val poladdan hazırlanır, iki dayaqlıdır. Arxa ana boy-

nunda eksentrikli hazırlanmış oymaq olur. Bura yay vasitəsilə plunjer sıxılır. Yarıq rotor, plunjer isə yağ nasosunun pəri kimi xidmət edir.

Kompressorun yağlanması aşağıdakı kimi baş verir. Köynəyin alt hissəsində yerləşən yağ nasosla yağqəbuledici və giriş kanallarından yastığın yarığına verilir. Yağ valın yarığından keçərək qabaq yastığına verilir, eyni zamanda sürgüqolunun alt başlığı yağlanır. Qabaq yastıqdan yağ silindrin yarığına keçir. Poşen hərəkət etdikdə silindirdəki yağ yarıqdan keçərək barmağı yağlayır. Yağ nasosunun normal işləməsi üçün yağqəbuledici həmişə yağın içində olmalıdır.

Daxili asqılı çarxqolu-kulis tipli kompressorların fırlanma tezliyi  $50 \text{ san}^{-1}$ -dir. Belə kompressorların üstünlükləri kiçik kütlə və qabarit ölçülərinə malik olması, səsin və titrəmənin az olmasıdır.

Çarxqolu-kulis mexanizmlı FQ-0,100 (şək.7.3.b) tipli kompressoru şaquli vallı olaraq 11 qapalı 10 polad köynəkdə 1 yerləşir. Elektrik mühərrikinin statoru 2 boltlarla gövdəyə 3 bərkidilir. Rotor kompressorun valında 11 yerləşir. İş prinsipi: çarxqolu 6 sürgüngəci 8 kulisdə 7 hərəkətə gətirir. Sürüngəc porşenə 5 lehirlənmişdir. Val 11 eyni zamanda mərkəzdənqaçma tipli yağ nasosunun rolunu da yerinə yetirir. Yağ şaquli yarığa daxil olaraq mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən çarxqolunun ana boynunda olan spiralvari yarığa keçir. Səsin azalması üçün sorucu, qovucu və borulu 9 səsboğanlar nəzərdə tutulur.

Germetik kompressorun örtüyü 2 MPa təzyiqdə möhkəmliyini qoruyub saxlamalıdır. İş rejimində kompressorun səs səviyyəsi 43 dBA-dan çox olmamalıdır.

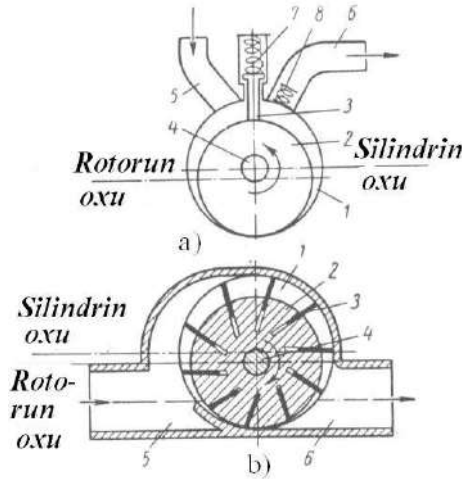
## **22.2. Rotorlu kompressorlar**

Soyuduculuq texnikasında əsasən iki tip rotorlu kompressorlardan istifadə olunur: diyirlənən rotorlu-porşenli və fırlanan rotorlu lövhəli kompressorlar. Rotorlu kompressorların əsas hissələri tərpənməyən silindr-stator, diyirlənən və ya fırlanan porşen-rotor, lövhələr, rotorun intiqal valı və klapanlardan ibarətdir (şək. 22.5).

Diyirlənən rotorlu kompressorun porşen-rotoru silindrin oxuna nəzərən eksentrik yerləşir və silindrin gövdəsində yerləşən

mərkəzi valın eksentrikinin köməyi ilə iş salınır. Porşenin diametri silindrin diametrindən azdır. Eksentrik fırlandıqda porşen fırlanır, silindrin daxili səthi üzrə diyirlənir. Bu zaman oraşəkilli məsafə yaranır. Silindr və porşen-rotor arasındakı bu məsafə lövhə ilə sorucu və qovucu boşluğa bölünür. Rotor yuxarıya doğru hərəkət etdikdə sorucu boşluq artır. Buxarlandırıcıdan gələn buxar bu boşluğa tədricən doldurur. Bu vaxt rotor qovucu boşluqdakı buxarı sıxaraq kondensatora verir. Eksentrik valın bir dövründə kompressorun tam iş tsikli, yəni buxarın sorulması, sıxılması, kondensatora qovulması baş verir.

Diyirlənən porşenli RKF-0,9 kompressoru soyutma məhsuldarlığı 1050 Vt (~900 kkal/saat) olan soyuducu qurğular üçün nəzərdə tutulur (şək. 22.6).



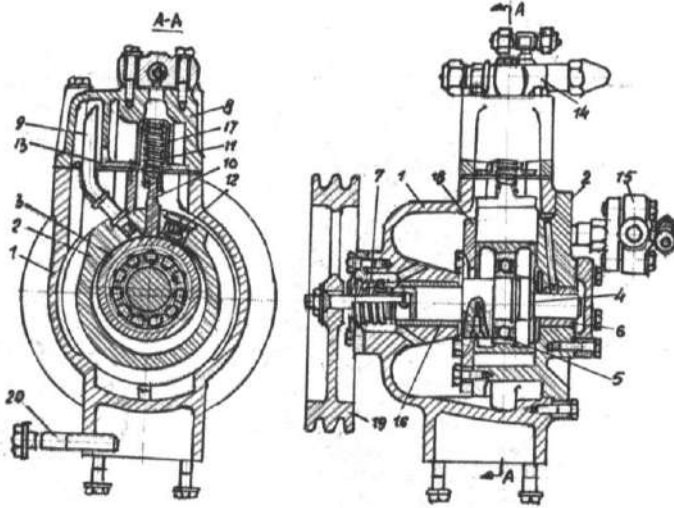
**Şək. 22.5. Rotorlu kompressorların sxemi:**

a) diyirlənən rotorlu kompressor; b) fırlanan rotorlu kompressor (lövhəli); 1-silindr, 2-rotor; 3-lövhələr; 4-val; 5-sorucu qısa boru; 6-qovucu qısa boru; 7-yay; 8-qovucu klapən

Eşer Fiss firması (İsveçrə) diyirlənən rotorlu Rotasko tipli kompressorlar buraxır. Bunların soyutma həcmi məhsuldarlığı 10- dan 2800 m<sup>3</sup>/saata kimidir. Diyirlənən porşenli kompressorlar enerji göstəricilərinə görə müasir porşenli kompressorlara yaxın-

dır. Bu kompressorlar aşağı sürtünmə işi ilə, kiçik qabarit ölçüləri və az metal tutumluluğu ilə fərqlənirlər.

Fırlanan rotorlu kompressorda silindrdə eksentrik yerləşən rotor-porşen öz oxu istiqamətində fırlanır.

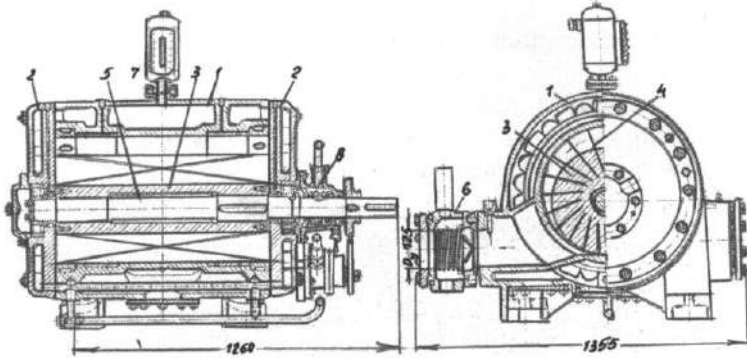


**Şək. 22.6. Diyirlənən porşenli RKF-0,9 freonlu rotorlu kompressorun sxemi:**

1-kompressorun gövdəsi; 2-silindr; 3-rotor; 4-eksentrik val;5-kürəli yas-tıq; 6-silindrin bürünc tıxacı; 7-silfon kipiç; 8-kompressorun başlığı; 9-sorucu boru; 10-pər; 11-pərin yayı; 12-qovucu klapın; 13-yağayırcısının qapağı; 14-sorucu ventili; 15-qovucu ventili; 16-gövdənin bürünc tıxacı; 17-yayın dayaq stəkani; 18-silindrin qapağı; 19-nazimçarx; 20- sıxıcı bolt

Rotorda radial istiqamətdə yarıqlar olur. Bu yarıqlara sürüşən lövhələr yerləşdirilir. Rotor fırlandıqda onlar mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsiri nəticəsində silindrin səthinə sıxılır. Bunun hesabına buxarın sorulması və sıxılması baş verir, eyni ölçü və fırlanma tezliyində bu kompressorların həcmi məhsuldarlığı diyirlənən rotorlu kompressorların həcmi məhsuldarlığından 2 dəfə yuxarı olur. Lövhəli rotorlu kompressorlar böyük həcmdə buxarı hərəkətə gətirmək üçün çox əlverişlidir (şək. 22.7). Rotorlu kompressorlar hərəkətdəci hissələrinin az olması ilə sadə olmaq-

la, istismarı etibarlıdır.



**Şək. 22.7. Rotorlu çoxlövhəli buster-kompresor:**

$Q_0=300\text{Mkal/saat}$ ,  $t_0=-40^\circ\text{C}$ ,  $V_h=2050\text{m}^3/\text{saat}$ ,  $n=720$  dövr/dəq

1-silindr-stator; 2-yastıqlı qapaq; 3-rotor; 4-lövhlər; 5-val; 6-qovucu klappan; 7-yağ çəni; 8-kipgəc

RAB-300 ammonyaklı rotorlu kompressorun soyutma məhsuldarlığı  $Q_0=350000$  Vt  $\approx 300000$  kkal/saat, iki pilləli qurğularda alt pillə kimi işlədikdə  $V_h=530$  m<sup>3</sup>/saatdır. Bu kompressor  $-60^\circ\text{C}$  temperaturda da işləyə bilər.

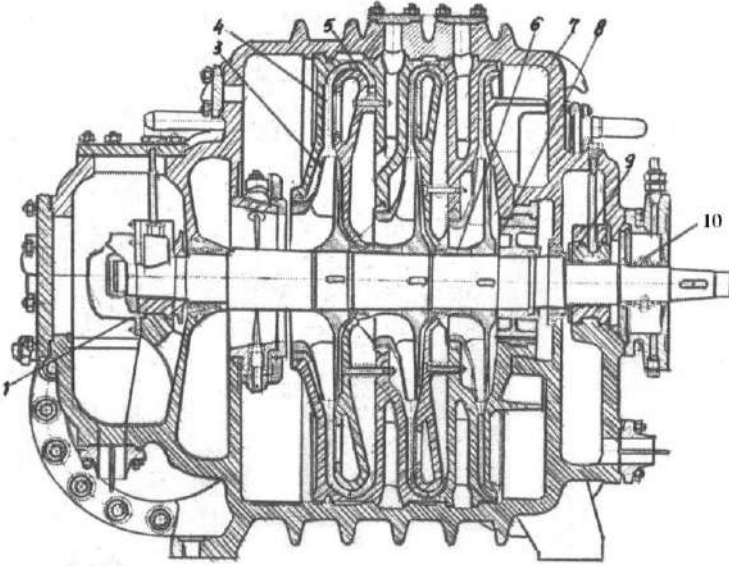
### 22.3. Mərkəzdənqaçma kompressorları (turbokompressorlar)

Mərkəzdənqaçma tipli kompressorun əsas hissələri gövdə, vala geyindirilmiş işçi pərlər, diffuzor, əks istiqamətləndirici aparatlar, ilbis, yastıqlar, yağlayıcı və kipləşdirici qurğulardan ibarətdir (şək. 22.8).

Kompressor aşağıdakı kimi işləyir.

Buxarlandırıcıdan buxar sorucu kameraya verilir və oradan fırlanan pərlərlə yaranan kanallara keçir. Mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsiri nəticəsində buxar işçi çarxın kənarlarına verilir, qazın təzyiqi və mütləq sürəti artır. İşçi çarxdan buxar diffuzora verilir. Keçid kəsiyinin böyüməsi nəticəsində diffuzorda qazın sürəti düşür. Burada kinetik enerji potensial enerjiyə çevrilir və

qazın təzyiqi artır. Sonra əks istiqamətləndirici aparatın kanalları ilə buxar o biri işçi çarxa tərəf ötürülür. Buxar bir neçə işçi çarxdan keçərək lazımi təzyiqə kimi sıxılır. Bir işçi çarxı, diffuzor və əks istiqamətləndirici aparat kompressorun bir pilləsidir. Axırncı pillədən sonra ilbis yerləşir. O, buxarın qovucu boru kəmərinə verilməsinə xidmət edir. İlbisdə buxarın sürəti tədricən azalır, statiki basqı isə əlavə olaraq artır.



**Şək. 22.8. Freonlu turbokompresor:**

1,9-yastıqlar; 2-fırlanan pərlər mexanizmi; 3-işçi çarx; 4- pərsiz diffuzor; 5-əks istiqamətləndirici aparat; 6-labirint; 7-ilbis; 8-boşaldıcı porşen; 10-kipgəc

Kompresorun işçi çarxlar geyindirilmiş valı dayaq yastıqlarında yerləşir. Valın o biri tərəfi örtüyün çıxışında kipiçə vasitəsilə kipləşdirilir. Yastıqlar və kipiçə xüsusi yağ nasosu ilə yağlanır.

Mərkəzdənqaçma kompressorunun pillələrinin sayı bir çarxla yaradılan basqıdan asılıdır. Axırncı isə öz növbəsində işçi çarxın fırlanma sürətindən, pərlərin formasından və soyuducu agentin fi-

ziki xassələrindən asılıdır. Adətən  $n=3500\dots1500$  dövr/dəq və xətti sürəti  $200\dots300$  m/san olduqda pillələrin sayı 4-dən yuxarı olmur.

İşçi çarxlarının sayı az olan kompressorlarda yüksək molekulyar kütləli və  $p/p_0$  az olan soyuducu agentdən istifadə olunur. Ağır soyuducu agentlərdən istifadə etdikdə ( $\rho=\mu/22,4$ ) bir pillədə yaranan sıxılma dərəcəsi artır. Məsəl üçün çevrə boyunca sürəti  $u=200$  m/san olan çarxda havanı ( $\mu=29$ ) sıxdıqda bir pillənin sıxılma dərəcəsi  $\varepsilon=1,3$ ; freon-12 ( $\mu=121$ ) sıxdıqda isə  $\varepsilon=2,6\dots2,8$  olur. Freon-12 ilə işləyən kompressorlarda qaynama temperaturu 0-dan  $5^\circ\text{C}$ -yə kimi və kondensasiya temperaturu  $t=30^\circ\text{C}$  olduqda buxarı bir pillədə sıxmaq kifayətdir, qaynama temperaturu  $t_0=-40^\circ\text{C}$  üçün isə üç pillə tələb olunur.

Kiçik mərkəzdənqaçma kompressorlarında az həcmi soyutma məhsuldarlıqlı  $q_v$  soyuducu agentlərdən istifadə etmək sərfəlidir. Bu halda kompressorda sorulan buxarın həcmi və keçid kəsikləri artır, bu da onun faydalı iş əmsalının artmasına səbəb olur.

Göstərilən tələblərə bir çox freonlar cavab verir. Qaynama temperaturu 5-dən  $-10^\circ\text{C}$ -yə qədər olduqda, məsələn, havanın soyudulması və ya istilik nasosları üçün freon-11, freon-113, freon-142-dən istifadə olunur. Daha aşağı temperaturlar üçün  $-20$ -dən  $-30^\circ\text{C}$ -yə kimi olduqda freon-114 və freon-21-dən istifadə olunur,  $-30$ -dan  $-60^\circ\text{C}$ -yə kimi freon-12,  $-50$ -dən  $-80^\circ\text{C}$ -yə kimi freon-22 və  $-80$ -dən  $-120^\circ\text{C}$ -yə kimi olduqda freon-13-dən istifadə olunur.

Yüksək faydalı iş əmsalı olan mərkəzdənqaçma kompressorunun işləməsi üçün ( $n=5000\dots10000$  dövr/dəq) axırncı pillənin çarxından çıxan buxarın həcmi  $800\dots1000$  m<sup>3</sup>/saat olmalıdır. Bu halda freon-11 istifadə etdikdə mərkəzdənqaçma kompressorunun işi sərfəli olur: freon-11 ilə işlədikdə 200000 kkal/saat; freon-21-də 300000 kkal/saatdan çox; freon-142-də 600000 kkal/saatdan yuxarı; freon-12-də isə 800000 kkal/saatdan yuxarı.

Porşenlilərlə müqayisədə mərkəzdənqaçma kompressorlarının aşağıdakı üstünlükləri vardır: maşının nisbətən az kütləyə və kiçik qabarit ölçülərinə malik olması, maşının yüksək tarazlığı, tez yeyilən hissələrin olmaması, soyuducu agentdə yağlama materialının olmaması, soyutma məhsuldarlığının geniş hüdudda ni-



zamlanması imkanının olması, çoxpilləli sıxmanın rahatlığı. Göstərilən üstünlüklər soyuducu istehsalında mərkəzdənqaçma kompressorlarından geniş istifadə edilməsinə səbəb olur.

### ***Yoxlama sualları***

1. Soyuduculuq texnikasında hansı kompressorlardan istifadə olunur?
2. Kompressorların hansı avtomatik qoruyucuları olur?
3. Hansı porşenli kompressorlar var?
4. Rotorlu kompresorlar hansı tiptə olur?
5. Diyirlənən rotorlu kompressorlar hansı hissələrdən ibarətdir?
6. Fırlanan rotorlu kompressorlar hansı hissələrdən ibarətdir?
7. Diyirlənən rotorlu kompressorlar fırlanan rotorlu kompressorlardan nə ilə fərqlənir?
8. Mərkəzdənqaçma tipli kompressorun quruluşu və iş prinsipi necədir?
9. Porşenli kompressorlarla müqayisədə mərkəzdənqaçma kompressorları hansı üstünlüklərə malikdir?

XXIII FƏSİL  
**SOYUDUCU MAŞINLARIN İSTİLİK MÜBADİLƏSİ  
APARATLARI**

**23.1. Soyuducu aparatlarda istilik ötürmə**

Soyuducu aparatlarda (kondensatorlarda, buxarlandırıcılarda, soyuducu batareyalarda və s.) gedən proseslər istiliyin yüksək temperaturlu mayelərdən aşağı temperaturlu mayələrə ötürülməsi ilə bağlıdır. İstilik mübadiləsi mayeləri ayıran arakəsmədən keçərəkən və ya başqa hallarda bilavasitə toxunma nəticəsində baş verir.

**Arakəsmə ilə ayrılan mayələr arasında istilik mübadiləsi.** Eyni cinsli  $F$  sahəli səthlə ayrılan  $t_1$  və  $t_2$  temperaturlu mayenin istilik axını (şək. 23.1)

$$Q = kF(t_1 - t_2), Vt, \quad (23.1)$$

burada  $k$  – istilikötürmə əmsalındır,  $Vt/(m^2dər.)$ .

Xüsusi istilik axını

$$q_f = \frac{Q}{F} = k(t_1 - t_2) = \frac{t_1 - t_2}{R}, Vt/m^2. \quad (23.2)$$

Xüsusi istilik axını temperaturlar basqısına düz mütənasib və tam termiki müqavimətə tərs mütənasibdir.

Tam termiki müqavimət

$$R = \frac{1}{k} = R_1 + R_d + R_2 = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}, m^2 dər/Vt. \quad (23.3)$$

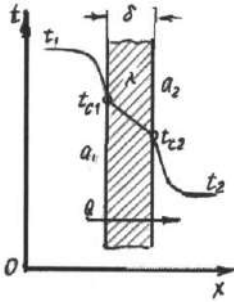
$R_1 = 1/\alpha_1$  və  $R_2 = 1/\alpha_2$  (istilikvermə əmsallarının tərsi) qızdıran və qızdırılan mayələr tərəfindən termiki müqavimətlərdir.  $R_d = \sum \delta/\lambda$  - divarın termiki əmsalındır, materialın qalınlığı və istilik keçirməsi ilə təyin edilir.

Ümumi termiki müqavimət bunların hər birindən böyükdür, yəni

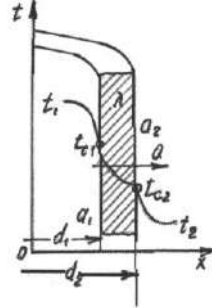
$$\frac{1}{k} > \frac{1}{\alpha_1}; \quad \frac{1}{k} > \sum \frac{\delta}{\lambda}; \quad \frac{1}{k} > \frac{1}{\alpha_2}; \quad k < \alpha_1; \quad k < \frac{\lambda}{\delta}; \quad k < \alpha_2.$$

Yəni istilikötürmə əmsalı həmişə istilikvermə ( $\alpha_1$  və  $\alpha_2$ ) əmsallarından kiçikdir:

$$k = \frac{I}{\frac{I}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{I}{\alpha_2}}.$$



Şək. 23.1. Mayelərdə və onları ayıran divarda temperaturun dəyişmə əyrisi



Şək. 23.2. Mayelərdə və onları ayıran silindrik divarda temperaturun dəyişmə əyrisi

Divarların temperaturlarını təyin etmək üçün  $t_{s1} = t_1 - \frac{q_f}{\alpha_1}$ ;

$$t_{s2} = t_1 - q_f \left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} \right);$$

$$t_{c2} = t_2 + \frac{q_f}{\alpha_2}. \quad (23.4)$$

Divarın temperaturu həmişə  $\alpha$  əmsalı yüksək olan mayenin temperaturuna yaxındır.

Əgər mayələr arasındakı istilik mübadiləsi borunun divarından keçərək baş verirsə, (şək. 8.2) onda 1 m borunun uzunluğuna xüsusi istilik axını

$$q_n = \frac{\Gamma_n}{l} = k_n(t_1 - t_2) = \frac{t_1 - t_2}{R_n}, \quad \text{Vt/m}, \quad (23.5)$$

burada  $k_n$  – istilikötürmə əmsalı,  $\text{Vt}/(\text{m} \cdot \text{dər})$ ;

$R_l$  – termiki müqavimət,  $m \cdot dər/Vt$ ;

$R_l$  müqaviməti mayələrin istilikvermə və boru divarının müqavimətləri cəmindən ibarətdir:

$$R_\ell = R_{\ell,1} + R_{\ell,d} + R_{\ell,2};$$

$$R_{\ell,1} = \frac{1}{\alpha_1 F_1} = \frac{1}{\alpha_1 \pi d_1};$$

$$R_{\ell,2} = \frac{1}{\alpha_2 F_2} = \frac{1}{\alpha_2 \pi d_2};$$

$$R_{\ell,d} = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1},$$

burada  $d_1, d_2$ - borunun daxili və xarici diametrləri,  $m$ . Beləliklə,

$$R_\ell = \frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2}.$$

İstilikötürmə əmsalı

$$k_\ell = \frac{1}{\frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2}}, Vt/(m \cdot dər). \quad (23.6)$$

Bütün boru boyunca ötürülən istilik miqdarı

$$Q_\ell = k_\ell \ell (t_1 - t_2) = \frac{\ell (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2}}, Vt. \quad (23.7)$$

Çoxlaylı (örtüklü) borudan istiliyin ötürülməsində borunun divarlarının termiki müqaviməti

$$R_\ell = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}.$$

Silindrik divarın səthinin temperaturları

$$\left. \begin{aligned} t_{s1} &= t_1 - q_\ell R_{\ell,1} = t_1 - \frac{q_\ell}{\pi d_1 \alpha_1} \\ t_{s2} &= t_2 + q_\ell R_{\ell,2} = t_2 + \frac{q_\ell}{\pi d_2 \alpha_2} \end{aligned} \right\}. \quad (23.8)$$

Maye ilə bərk cisimlər arasında konvektiv istilikdəyişmə intensivliyini xarakterizə edən  $\alpha$  istilikvermə əmsalının təyini soyuducu aparatların hesabında müəyyən çətinliklər yaradır.

İstilikvermə əmsalı çoxdəyişənli mürəkkəb funksiya olub istilikdəyişmə səthinin ölçülərindən, formasından, temperaturlarından, mayenin hərəkət sürətindən və fiziki xüsusiyyətlərindən, yəni özlülüyündən, istilikkeçirmə qabiliyyətindən, sıxlığından, istilik tutumundan asılıdır.

Təcrübə göstərmişdir ki, istilikvermə əmsalının qiyməti müxtəlif istilikdəyişmə şəraitlərində çox geniş həddə dəyişir (cədvəl 23.1).

Cədvəl 23.1

**Müxtəlif istilikdəyişmə şəraitlərində istilikvermə əmsalının qiyməti**

<b>İstilikdəyişmə şəraitləri</b>	<b>Qiyməti, <math>\alpha</math>, Vt/m<sup>2</sup>·dər</b>
Havanın qızdırılması və soyudulmasında	1...60
Çox qızdırılmış buxarın qızdırılması və soyudulmasında	60...1200
Üzvi mayelərin qızdırılması və soyudulmasında	60...1800
Suyun və duz qarışığının qızdırılması və soyudulmasında	250...12000
Mayelərin qaynamasında	600...50000
Su buxarının kondensasiyasında	4500...18000
Ammonyak buxarının kondensasiyasında	2000...10000
Üzvi maye (freonlar) buxarının kondensasiyasında	600...2500

İstilikvermə əmsalının ( $\alpha$ ) analitik təyini ilə çox mürəkkəb və bir çox həlledilməz məsələlər qarşıya çıxır. Ona görə də istilikvermə əmsalı  $\alpha$  eksperimental yolla və oxşarlıq nəzəriyyəsinə istifadə edərək konkret hal üçün təyin edilir. Maye və bərk cismin səthi arasındakı konvektiv istilikdəyişmə intensivliyini Nusselt ( $Nu$ ) oxşarlıq kriteriyası xarakterizə edir, bu da oxşarlıq nəzəriyyəsində tapılan kəmiyyət olub Reynolds ( $Re$ ), Prandtl ( $Pr$ ), Qraşqof ( $Gr$ ), Qaliley ( $Ga$ ) kriteriyalarından asılıdır.

Əgər Nusselt kriteriyası tapılırsa, onda

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{l_0}, \quad (23.9)$$

burada  $\lambda$ - mayenin istilikkeçiriciliyi,  $Vl/(m \cdot d\alpha r)$ ;  
 $l_0$ - təyinedici ölçü, m.

Stasionar rejimdə oxşarlıq kriteriyaları arasındakı əlaqə funksiyanal asılılıq şəklində verilir.

Sərbəst hərəkətdə

$$Nu = f(Gr, Pr).$$

Məcburi turbulent hərəkətdə

$$Nu = f(Re, Pr).$$

Məcburi hərəkətdə və sərbəst hərəkətin nisbətən aşağı sürətlərində əhəmiyyətli təsir olur:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr).$$

Biratomlu qazlar üçün  $Pr=0,67$ ; ikiatomlu üçün  $Pr=0,72$ ; üçatomlu üçün  $Pr=0,8$ ; dörd və çoxatomlular üçün  $Pr=1$ . Sərbəst hərəkətdə bu qazlar üçün  $Nu=f(Gr)$ , məcburi hərəkətdə  $Nu=f(Re)$ .

Oxşarlıq kriteriyaları arasındakı empirik asılılıqlar aşağıdakı şəkildədir:

$$Nu = CGr^m Pr^n; Nu = CRE^m Pr^n,$$

burada  $C, m, n$  – sabitlərdir.

Soyuducu maşınların aparatlarının hesabı zamanı  $\alpha$  əmsalının təyini üçün qəbul edilən bir neçə kriteriya tənliklərini qeyd edək.

Böyük həcmdə mayenin sərbəst hərəkəti zamanı konvektiv istilikvermə əmsalı Prandtl və Qrasqof kriteriyalarının, funksiyaları olub, cismin ölçü və formasından zəif asılıdır.

Laminar rejimdə,  $(Gr \cdot Pr)_m = 1 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^2$  olduqda

$$Nu_m = 1,18(Gr \cdot Pr)_m^{\frac{1}{8}}. \quad (23.10)$$

Keçid rejimində  $(Gr \cdot Pr)_m = 5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$  olduqda

$$Nu_m = 0,54(Gr \cdot Pr)_m^{\frac{1}{4}}.$$

Burulğanlı rejimdə  $(Gr \cdot Pr)_m > 2 \cdot 10^7$  olduqda

$$Nu_m = 0,135(Gr \cdot Pr)_m^{\frac{1}{3}}.$$

Nusselt və Qrasqof kriteriyalarının hesabatı zamanı təyin olunan xətti ölçü konvektiv axın istiqamətində götürülür.

## **23.2. Kondensatorlar və buxarlandırıcılar**

Soyuducu aqrekatın kondensatoru – soyuducu maşının əsas elementi olub, istiliyin kənarlaşdırılması və soyuducu agentin kondensasiyası üçün nəzərdə tutulur. Qurğunun xarakteristikası və iş rejimi kondensatorun istilik mübadiləsinin effektivliyi ilə müəyyən edilir. Belə ki, kondensatorlarda temperaturun  $1^{\circ}\text{C}$  aşağı düşməsi 3...4% enerjiyə qənaət edir və kompressorun hissələrinin ömrünü artırır.

Kondensatorun istilik halına ən çox təsir edən ətraf havanın temperaturudur.

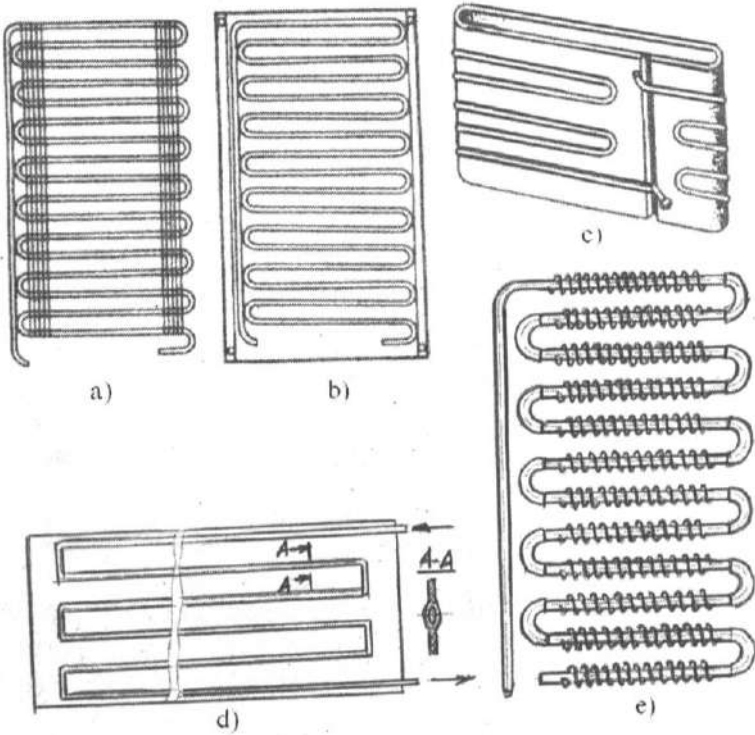
Məişət soyuducularının kondensatorları soyuqluq üsuluna, qabırğaların tip və konstruksiyasına görə siniflərə bölünürlər.

**23.2.1. Təbii konveksiya kondensatorları.** Bu növ kondensatorlar üç qrupa bölünürlər: qabırğalı – borulu (təbəqəli qabırğalarla); naqillli- borulu (naqillli qabırğalarla), təbəqəli borulu.

Qabırğalı – borulu (təbəqəli boruları olan) kondensator bir cərgəli, hərdən ikicərgəli ilanvari borudan və ona perpendikulyar oturdulmuş düzbucaqlı formasında olan qabırğalardan ibarətdir. İlanvari borunun oxu üfqi yerləşir. Qabırğalanma əmsalı 7...20 olub istilikkeçirmə səthlərinin ümumi sahəsinin borunun xarici səthinin sahəsinə nisbətidir. Bəzi konstruksiyalarda ilanvari boru U- şəkilli boru kimi hazırlanır. Kondensatorların əksəriyyəti xarici diametri 6...12 mm və 6...10 mm olan ilanvari boru polad borudan, qabırğaları isə polad lentdən hazırlanır. Bəzi firmalar ilanvari borunu 6...16 mm diametrlə misdən, qabırğaları isə 0,2...0,3 mm qalınlığında alüminiumdan hazırlayır.

Qabırğalı – borulu kondensatorlar (şək. 23.3.e) “Calex” (Çexiya), “Bosch” və “Konti Elektro” (Almaniya), “Qlügn”, “Tekumseh” (ABŞ), “Danfoss” (Danimarka) firmalarında istehsal olunur və həmin firmaların məişət soyuducularında istifadə edilir.

İkinci qrup kondensatorlar (şək. 23.3.a) – naqilli-borulu (naqilli qabırğalarla) bir cərgəli ilanvari borudan ibarətdir. İlanvari borunun hər iki tərəfindən elektrik qaynağı ilə 1,2...2,5 mm və 1,5...1,6 mm diametrində polad naqillər qaynaqlanmışdır. İlanvari borunun addımı 40...60 mm, qabırğalarının addımı 6...9 mm, qabırğalanma əmsalı 3...10 olur.



**Şək. 23.3. Soyuducu aqreqatın kondensatorları:**

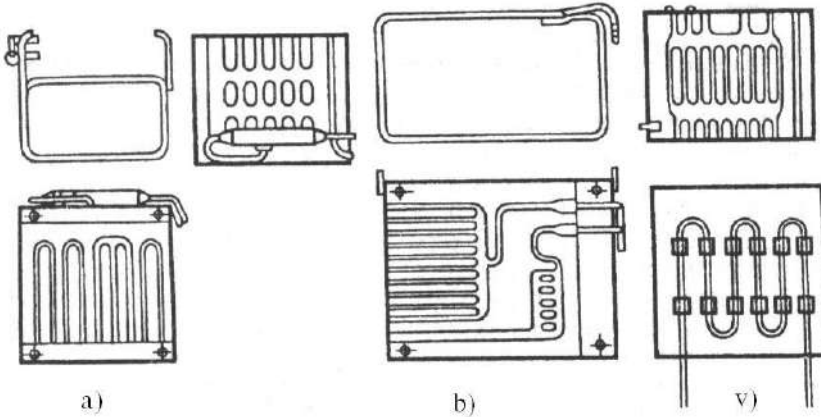
a-naqilli borulu; b-təbəqəli borulu; c-qaynaqlı hazır; d-üfiqi yerləşən qaynaqlı-borulu; e-spiral-dolaqlı qabırğalı

Üçüncü qrup kondensatorlar – təbəqəli boruludur (şək. 23.3. b, c, d). Burada borulara qabırğa rolu oynayan təbəqə bərkidilir. Hal-hazırda bu qrup kondensatorlardan istifadə olunmur, çünki materialın qiyməti və kondensatorun hazırlanması onların maya



dəyərinin 80 %-ni təşkil edir.

**23.2.2. Buxarlandırıcılar.** Buxarlandırıcılar soyudulan obyektdən qaynayan soyuducu agentə istiliyin ötürülməsi üçün nəzərdə tutulur, yəni buxarlandırıcılar soyudulan mühitin istiliyini udur. Buxarlandırıcılar təbii konvektiv və havası məcburi hərəkət edən istilikdəyişənli olurlar (şək. 23.4).



**Şək. 23.4. Buxarlandırıcılar:**

a) U-şəkilli; b) O-şəkilli; v) təbəqəli borulu

Absorbsiyalı soyuducularda (“Kristal-4”) buxarlandırıcının konstruksiyası qabırğalı – borulu polad səthdən hazırlanır. Buxarlandırıcıda mayenin qaynaması deyil buxarlanması baş verir, çünki orada ammoniyak buxarının təzyiği aparatdakı ümumi təzyiçdən aşağıdır.

Buxarlandırıcının səthi aşağıdakı tənliklə hesablanır.

$$F_u = \frac{Q_{0brutto}}{k\theta}, m^2,$$

burada  $Q_{0brutto}$  - lazım olan işçi brutto soyuqluq məhsuldarlığı, Vt;

$k$  – istilikkeçirmə əmsalı, Vt/(m<sup>2</sup>·dər);

$\theta$  - orta loqarifmik temperaturlar fərqi, adətən

$\theta=5^{\circ}\text{C}$  qəbul edilir;

$q_f=k\theta$  - xüsusi istilik yükü (cədvəl 23.2).

Verilənlərdən istifadə edərək buxarlandırıcının istilikkeçirmə səthini təyin edirik

$$F_u = \frac{Q_{0brutto}}{q_f}.$$

Cədvəl 23.2

### Buxarlandırıcıların istilikkeçirmə əmsalları və xüsusi istilik yükləri

Buxarlandırıcıların növü	İstilikkeçirmə əmsalları, $k$		Xüsusi istilik yükü, $q_f$		Qeydlər
	Vt/(m <sup>2</sup> dər)	kkal/(m <sup>2</sup> saat dər)	Vt/m <sup>2</sup>	kkal/(m <sup>2</sup> saat)	
Ammonyaklı					
Şaquli borulu	470...580	400...500	2300...2900	2000...2500	$\theta=5^{\circ}\text{C}$ olduqda
Təbəqəli-borulu	520...580	450...500	2000...2900	2200...2500	$\theta=5^{\circ}\text{C}$ olduqda
Köynəkli-borulu	470...520	400...450	2300...2600	2000...2200	$\theta=5-6^{\circ}\text{C}$ olduqda
Freonlu					
Köynəkli-borulu və köynəkli-ilanvari borulu	1100...1400	1000...1200	5800...7000	5000...6000	$\theta=5-6^{\circ}\text{C}$ olduqda

Soyuduculuq texnikasında havanın soyudulmasında da buxarlandırıcılardan istifadə olunur. Bu batareyalar, hava soyuducuları və kondisionerlərdir.

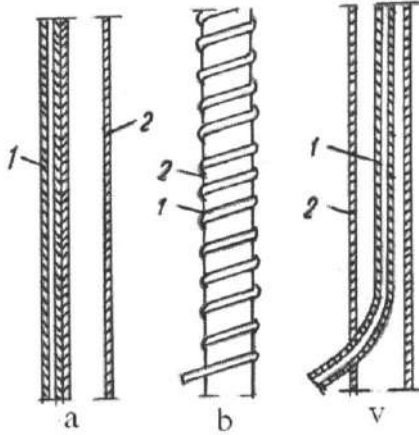
### 23.3. İstilikdəyişənlər və süzgəc-quruducular

**23.3.1. İstilikdəyişənlər.** Sorucu boru kəməmindən və kapilyar borularından ibarət olan əks axımlı istilikdəyişən aparat regenerativ istilikdəyişən aparat adlanır.

Buxarlandırıcıdan çıxan yağ – freon məhlulunun hissəcikləri-

nin buxarlanması və kompressorda sorulmaya verilən buxarın çox qızması üçün istilikdəyişən aparat lazım olur ki, bu da soyuducu maşının xüsusi və mütləq soyutma məhsuldarlığını artırır və soyuducuda enerji sərfini azaldır.

İstilikdəyişənlərin konstruksiyaları sadədir və onlar əsasən konstruktiv və texnoloji cəhətdən fərqlənirlər. Şəkil 23.5-də istilikdəyişənlərin konstruksiyalarının üç variantı verilmişdir.



**Şək. 23.5. Müxtəlif növ istilikdəyişənlər:**

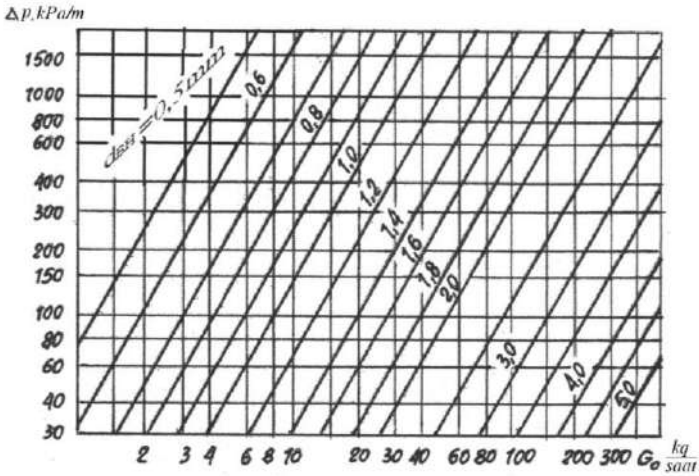
- a) kapilyar borusu 1 sorucu borunun uzunluğuna boyunca lehimlənib; b) kapilyar boru sorucu boruya sarınıb; v) kapilyar boru sorucu borunun içində keçir

Birinci variant çox vaxt orta və yüksək məhsuldarlıqlı soyuducularda istifadə edilir. Burada kapilyar və sorucu borular 1...1,5 m uzunluğunda lehimlənmişdir. Şəkil 23.5 b-də verilmiş istilikdəyişənlər hündür olmayan soyuducularda istifadə edilir. Kapilyar borunu sorucu boruya sarıyaraq lehimləyirlər. Üçüncü variantda kapilyar boru sorucu borunun içərisi ilə keçir.

Əgər kapilyar borunun əvvəlində çox soyuma məlumdursa, onda 1 m uzunluqda soyuducu agentin basqı itkisini şəkil 23.6-dakı qrafik ilə təyin etmək olar. Deməli, kondensatordan başlayaraq kapilyar borunun buraxıla bilən uzunluğunu təyin

etmək olar. Buxarlanmanın istilikdəyişən aparatdan əvvəl başlaması üçün bu sahənin uzadılması tövsiyə edilmir. Qısaltmaq da olmaz, çünki maye soyuducu agent istiliyi ətraf mühitə verməkdə davam edir və havanın temperaturuna kimi soyuyur.

Kompressorda qızdırılan isti hava axını ilə kapilyar boruların üfürülməsinin qarşısını almaq lazımdır. Kondensasiya temperaturu 40°C olduqda hər bir çoxsoyuma dərəcəsinə doyma təzyiqinin 0,24 MPa/sm<sup>2</sup> azalması uyğun gəlir.

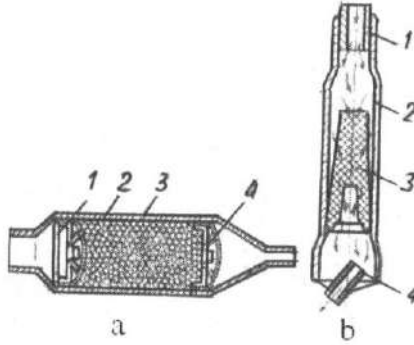


Şək. 23.6. Bir metr uzunluğunda kapilyar boru ilə maye soyuducu agent (R12) axdıqda təzyiqin  $\Delta p$  qədər aşağı düşməsinin təyini qrafiki

**23.3.2. Süzgəc-quruducular.** Süzgəc-quruducular soyuducu agentdən nəmliyin udulmasına xidmət edir və nizamlayıcı qurğuda (kapilyar borularında) suyun donmasının qarşısını alır. Süzgəc gövdəsi 2 (şək. 23.7.a) uzunluğu 103...135 mm və 18...22 mm diametri olan metal borudan ibarətdir. Onun deşiklərinə soyuducu agentin müvafiq boru kəmərləri lehirlənir. Süzgəcin və çıxışında quraşdırılan torlar və daraqlar arasında gövdəsi adsorbent 3 (sintetik seolit) yerləşir.

Quruducu element gövdəsi polad, mis və ya alüminium boru-

lardan hazırlanır. Seolitli quruducu elementlər kapilyar borunun girişində, yəni süzgəc olan yerdə yerləşdirilir. Bu halda quruducu element süzgəclə birləşdirilir (süzgəc - quruducu).



**Şək. 23.7. Süzgəc – quruducular:**

a) metalkeramikasız: 1-süzgəcin torlu darağı; 2-gövdə; 3-adsorbent; 4-süzgəcin toru; b) metalkeramikalı: 1-kondensatorun borusu; 2-gövdə; 3-süzgəc; 4-kapilyar boru.

Mis tor ilə yanaşı metal keramikadan da istifadə olunur. Süzgəc 0,25 mm diametrlili çox sayda bürünc kürəciklərdən ibarət olub, bir-biri ilə birləşərək konus formalı sütun yaradır (şək. 23.7.b). Kürəciklər arasındakı məsafələr çox saylı labirentlər yaradır və bunlarla maye soyuducu agent axır. Süzgəcin səthinin artırılması üçün konusun böyük oturacağında bir tərəfli deşik olur. Süzgəcin girişinə 2 kondensatorun borusu 1, çıxışına isə – kapilyar boru 4 lehimlənir.

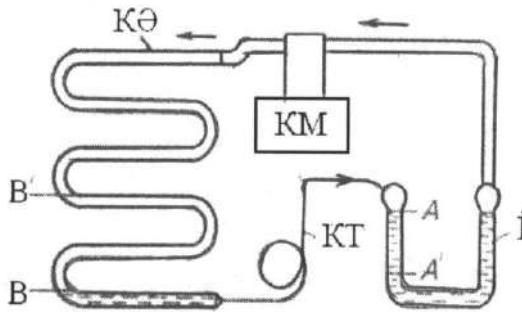
**23.3.3. Kapilyar borular.** Sabit kəsikli drosseldə, yəni kapilyar boruda soyuducu agentin qaynama və kondensasiya təzyiqlərinin fərqi hidravliki müqavimət hesabına yaranır. DKPXT, DKPXM, DKRBT, B-M2-T, HDM2 və s. borularından istifadə olunur.

Kapilyar boru daxili diametri 0,66 mm və uzunluğu 2800...8500 mm olan mis boru kəməridir. O, soyuducu aqreqat sistemində aşağı və yuxarı təzyiqli tərəfləri birləşdirir. Kapilyar

borunun buraxış qabiliyyəti 3,5...8,5 //dəq təşkil edir və havaya görə buraxış qabiliyyəti  $\pm 5\%$  DÜİST-ə uyğun normallaşır.

Kapilyar borudan istifadə etdikdə nizamlayıcı təsir tərəfindən təzyiqin əlavə olaraq öz-özünə bərabərləşməsi baş verir (şək. 23.8). Kompresor dayandırıldıqda mayenin hamısı buxarlandırıcıya axır (sistem buxarlandırıcının 90% həcminə qədər soyuducu agentlə doldurulur).

Borunun ölçüləri və onun buraxış qabiliyyəti kompressorun kütlə məhsuldarlığına bərabər soyuducu agentin axmasını təmin edir. Kapilyar borunun keçidi həmişə açıq olur və nizamlanmır.



**Şək. 23.8. Buxarlandırıcının kapilyar borudan keçən agentlə dolması:**

KM- kompressor; KT- kapilyar boru; KƏ- kondensator; İ-buxarlandırıcı

Rejimdən kənara çıxdıqda, məsələn ətraf havanın temperaturunun azalmasında,  $t_h$  25°C-dən 15°C-yə kimi və kondensatorda müvafiq olaraq temperaturun və təzyiqin aşağı düşməsində, kapilyar borudan keçən maye sərfi azalır. Kompresorun soyuqluq məhsuldarlığı əksinə artır, buxarlandırıcıda mayenin səviyyəsi azalmağa başlayır. Bu halda buxarlandırıcıya istilik axını, qaynama təzyiqi  $p_0$  azalacaq və kompressorun məhsuldarlığı aşağı düşəcəkdir. Eyni vaxtda buxarlandırıcının səviyyəsi A-dan A'-ə düşdükdə kondensatorun səviyyəsi B-dən B'-ə kimi artır. Buxarın kondensasiya səthi azalır, kondensasiya təzyiqi  $p_k$  və kapilyar borudan mayenin verilməsi  $p_k - p_0$  fərqi hesabına artır (nizamlayıcı

təsir tərəfindən öz-özünə bərabərləşmə). Səviyyənin sonrakı aşağı düşməsi dayanır. Maşın, buxarlandırıcının tam dolmamış yeni rejimində işləyir.

**Məsələ 1.** Quru ammoniyakla işləyən hava soyuducusunun istilik ötürmə səthini və ventilyatorun məhsuldarlığını tapın.

Hava soyuducusunun soyutma məhsuldarlığı  $Q_{oh}=23200\text{Вт} = 20000\text{ kkal/saat}$ , kamerada havanın temperaturu  $t=0^{\circ}\text{C}$ , nisbi rütubət  $\varphi=90\%$ , hava soyuducusunda havanın hərəkət sürəti  $\omega=4\text{ m/san}$ .

Qəbul edirik: hava soyuducusuna daxil olan hava üçün  $t_1=1^{\circ}\text{C}$ ;  $\varphi=90\%$ ; hava soyuducusunun çıxışındakı hava üçün  $t_2=-3^{\circ}\text{C}$ , ammoniyakın qaynama temperaturu, yəni soyudulmuş havanın temperaturundan  $8^{\circ}\text{C}$  aşağı.

$$\varphi \approx 100\%; i_1 = 2,42 \text{ ккал/кг} = 10 \text{ кЖоул/кг};$$

$$i_2 = 2,42 \text{ ккал/кг} = 10 \text{ кЖоул/кг}.$$

İstilik ötürmə əmsali

$$k = 12 \text{ ккал}(\text{м}^2 \cdot \text{caam} \cdot \text{dər}) \approx 14 \text{ Вт}(\text{м}^2 \cdot \text{dər}).$$

1) temperaturların orta loqarifmik fərqi

$$\theta = \frac{[t_1 - t_0] - [t_2 - t_0]}{2,3 \lg \frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0}};$$

$$\theta = \frac{[1 - (-11)] - [-3 - (-11)]}{2,3 \lg \frac{12}{8}} = 9,7^{\circ}\text{Ж};$$

2) hava soyuducusunun istilik ötürmə səthi

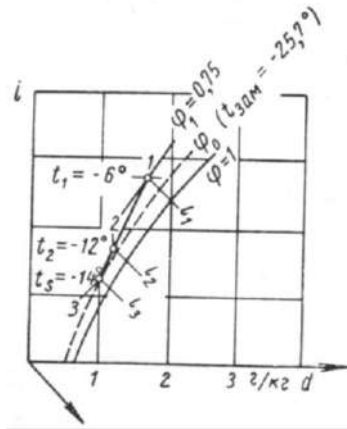
$$F_h = \frac{Q_{oh}}{k\theta} = \frac{23200}{14 \cdot 9,7} = 172 \text{ м}^2.$$

Ventilyatorun məhsuldarlığı

$$V_h = \frac{3,6 Q_{oh}}{\rho(i_1 - i_2)} = \frac{3,6 \cdot 23200}{1,3(10 - 4,6)} = 11700 \text{ м}^3 / \text{caam},$$

burada  $\rho$  - hava soyuducusunda havanın sıxlığı,  $\text{kg/m}^3$ .

**Məsələ 2.** Soyutma məhsuldarlığı  $Q_{oh}=34900 \text{ Vt} = 30000 \text{ kkal/saat}$  olan keramik həlqəli taxması olan suvarıcı tipli hava soyuducusunu hesablayın. Havanın soyuducuya girişindəki parametrləri  $t_1=-6^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_1=75\%$ . Soyuducu mühit  $\text{CaCl}_2$  məhlulu, aparata girişdə məhlulun temperaturu  $t_{s1}=-15^\circ\text{C}$ , məhlulun sıxlığı  $\rho=1220 \text{ kq/m}^3$  (donmağa başlama temperaturu  $t_d=-25,7^\circ\text{C}$ ). Məhlulun hava soyuducusunda təxminən  $2^\circ\text{C}$ -yə kimi isinməsini nəzərə alaraq  $t_s=-14^\circ\text{C}$  qəbul edirik (şək. 23.9).



**Şək. 23.9. Suvarılan hava soyuducularında havanın soyudulmasının  $di$  diaqramı**

Soyudulmanın sonunda havanın temperaturunu  $t_2=-12^\circ\text{C}$  qəbul edirik.

$$i_1 = -1,84 \text{ Bt/(M}^2 \cdot \partial \text{ap)}; \quad i_2 = -9,3 \text{ Bt/(M}^2 \cdot \partial \text{ap)}.$$

1) dövr edən havanın həcmi təpəq

$$V_h = \frac{3,6 Q_{oh}}{\rho(i_1 - i_2)} = \frac{3,6 \cdot 34900}{1,3(-1,84 + 9,3)} = 12700 \text{ M}^3 / \text{caam};$$

2) həlqələrin şəbəkəsinin səthi ( $\omega=1 \text{ m/san}$  olduqda)

$$F^* = \frac{V_h}{\omega \cdot 3600} = \frac{12700}{1 \cdot 3600} = 3,6 \text{ M}^2;$$

3) quru istilik ötürmə əmsalı



$$k^* = \frac{Q_{oh}}{F^* \theta \xi};$$

$$\theta = \frac{\theta_1 - \theta_2}{2,31g \frac{\theta_1}{\theta_2}} = \frac{(-6 + 13) - (-12 + 15)}{2,3 \frac{-6 + 13}{-12 + 15}} = 4,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

nəmlik ayırma əmsalı

$$\xi = \frac{i_1 - i_2}{c(t_1 - t_2)} = \frac{-1,84 + 9,3}{0,24 \cdot 4,187 \cdot (-6 + 12)} = 1,23;$$

$$k^* = \frac{Q_{oh}}{F^* \theta \xi} = \frac{34900}{3,6 \cdot 4,7 \cdot 1,23} = 1670 \text{ } \text{Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{dər});$$

4) dövr edən məhlulun miqdarı

$$V_p = \frac{3,6Q_{oh}}{c_s \rho_s (t_{s2} - t_{s1})} = \frac{3,6 \cdot 34900}{2,9 \cdot 1220(-13 + 15)} = 18 \text{ } \text{M}^3 / \text{caam};$$

5) suvarma intensivliyi

$$H_\omega = \frac{V_p}{F^*} = \frac{18}{3,6} = 5 \text{ } \text{M}^3 / (\text{M}^2 \cdot \text{caam});$$

6) Həlqələrin suvarılan layının eni  $\delta=0,22 \text{ m}$ .

7) Həlqələrin suvarılan layının müqaviməti

$$\begin{aligned} \Delta p &= [44\delta + (0,75 + 4,6\delta)H_\omega](\omega\rho)^{(2,4-d)} = \\ &= [44 \cdot 0,22 + (0,75 + 4,6 \cdot 0,22) \cdot 5] \cdot (1 \cdot 1,22)^{(2,4-0,22)} =; \\ &= 34 \text{ } \text{MM cy cqr} \end{aligned}$$

8) təzyiq itkisi  $\delta'=0,1 \text{ m}$  olduqda

$$\Delta p = 33 \cdot \delta' \cdot \omega^{1,88} = 33 \cdot 0,1 \cdot 1^{1,88} = 3,3 \text{ } \text{mm su süt}$$

### **Yoxlama sualları**

1. Soyuducu aparatlarda istilik mübadiləsi necə baş verir? 2. İstilikvermə əmsalı nələrdən asılıdır? 3. Maye və bərk cismin səthi arasındakı konvektiv istilik mübadiləsi intensivliyi hansı kriteriya ilə təyin edilir? 4. Soyuducu aqreqatın kondensatoru nə üçün nəzərdə tutulur? 5. Hansı növ kondensatorlar var? 6. İstilikdəyişənlərin konstruksiyaları necədir?

XIV FƏSİL  
**SOYUDUCULARIN KÖMƏKÇİ APARATLARI, BORU  
KƏMƏRLƏRİ VƏ ARMATUR**

**24.1. Köməkçi aparatlar**

Köməkçi aparatlara yağayırıcılar, yağyıgıcılar, maye ayırانlar, havatəmizləyicilər, çirkyiğan süzgülər, resiverlər, quruducular aiddir.

Köməkçi aparatlar soyuducu qurğunun uzunmüddətli fasiləsiz işi üçün lazımi şərait yaradır, işçi prosesin nizamlanması asanlaşdırır, qurğunun səmərəli işini artırır.

**Yağayırıcılar** soyuducu agentin buxarı ilə kompressordan aparılan yağ tutur və onun istilikdəyişmə aparatlarına – kondensator və buxarlandırıcıya çox miqdarda düşməsinə imkan vermir. Yağayırıcılar qovucu boru kəmərinə kompressor və kondensator arasında quraşdırılır.

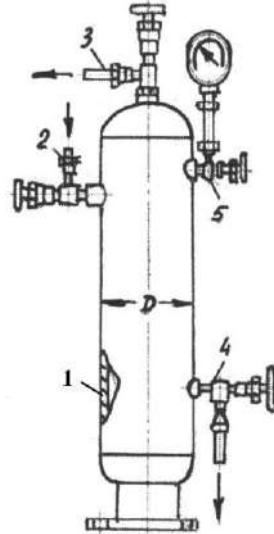
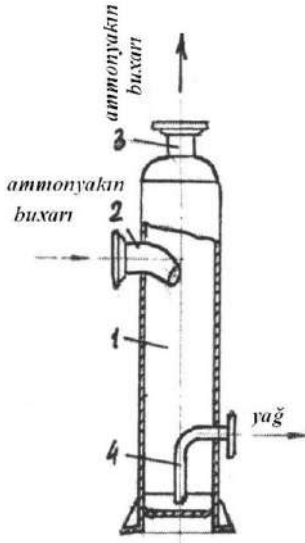
İçi boş yağayırıcılarında (şək. 24.1) yağın ayrılması buxarın hərəkətinin kəskin dəyişməsi və bununla eyni vaxtda sürətin düşməsi (0,7...0,8m/san-yə kimi) nəticəsində baş verir. Ayrılan yağ hissəcikləri yağayıranın divarlarına yığılaraq onun alt hissəsinə axır. İçi boş yağayırıcıları az effektivlidir. Ən kiçik hissəciklər agentlə kondensatora aparılır. Yağ yağayırıcısından bəzi hallarda kompressorun karterinə axıdılır, ancaq əksər hallarda süzmək üçün xaricə çıxarılır.

Böyük soyuducu qurğularda yağ yağayırıcısından əvvəlcə yağyıgıcısına (şək. 24.2), oradan isə daha aşağı təzyiqlə, xaricə çıxarılır. Belə üsulla yağyıgıcılarının boşalması ammoniakın uçmasını azaldır. Yağyıgıcıda aşağı təzyiq yaratmaq üçün onu sorucu boru kəməri ilə birləşdirirlər. Bir aparatdan o birinə və kənara yağın verilməsi təzyiqin azalması hesabına yerinə yetirilir.

Barbotajlı yağayırıcılarında (şək. 24.3) yağ hissəciklərini aparın buxarları maye soyuducu agent layından keçirirlər. Bu halda buxarşəkilli yağ maye layında kondensasiya edilir və onun ən xırda hissəcikləri də burada qalır. Yağın ayrılma dərəcəsi 95...97%-dir.

Barbotajlı yağayırıcı şaquli silindrik çəndən ibarət olub ona

kondensatordan maye ammonyak verilir.



**Şək. 24.1. İçi boş yağayırıcısı:**

1-gövdə; 2-kompressordan ammonyak vermək üçün qısa boru; 3-ammonyakı kondensatora çıxarmaq üçün qısa boru; 4-yağın yağyığıcısına verilməsi üçün qısa boru

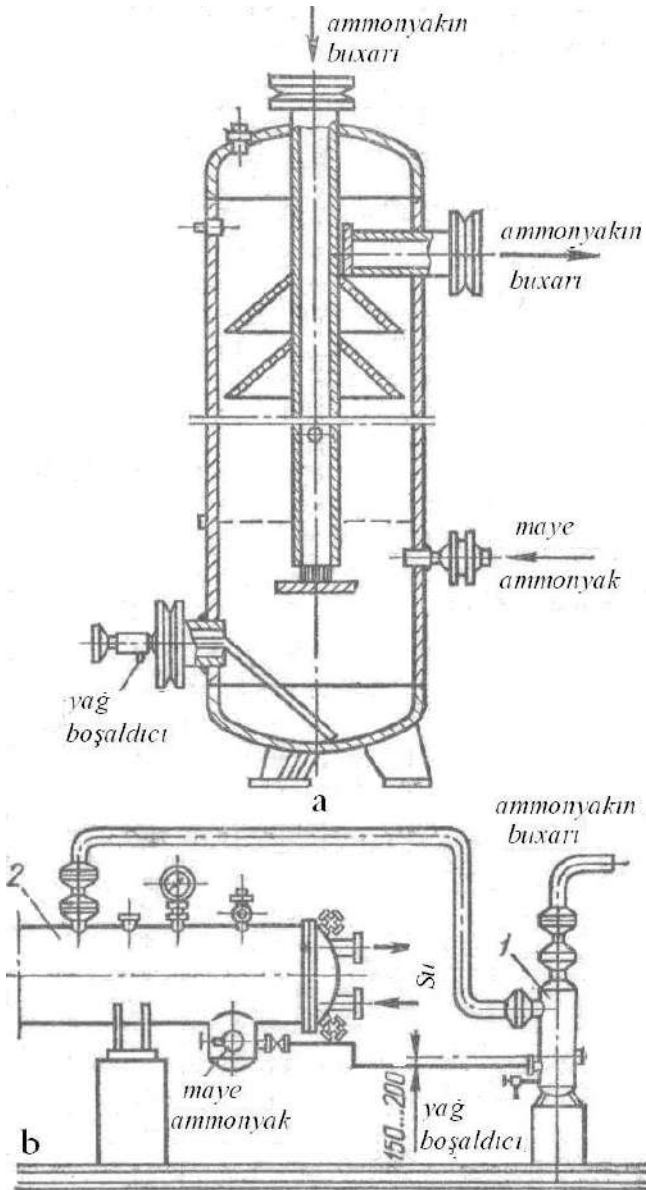
**Şək. 24.2. Yağyığıcısı:**

1-gövdə; 2-yağın yağayırıcısına verilməsi üçün qısa boru; 3-ammonyakın sorucu boruya buraxılması üçün qısa boru; 4-yağ buraxmaq üçün ventill; 5-manometr üçün ventill

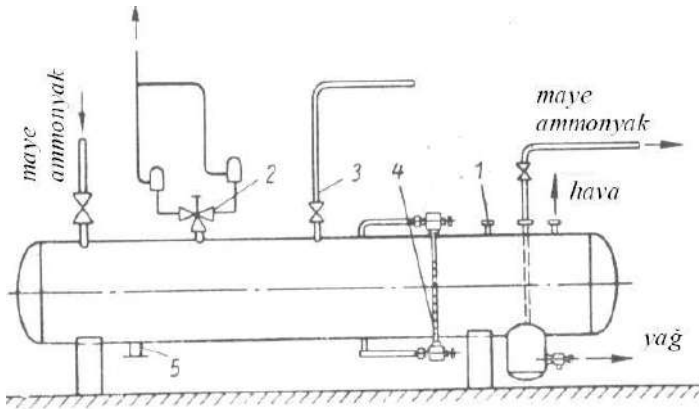
Yağayırıcıdan çıxmazdan əvvəl ammonyak buxarı gövdənin daxilində yerləşən qaytarıcı lövhədən keçir. Onlar buxarla aparılan maye ammonyakın damcılarını ayırırlar.

Yağyığıcılar yağayırıcıdan və ya başqa aparatlardan yağın axıdılması üçün istifadə olunur. Yağyığıcı ştuserli silindrik çəndən ibarətdir.

**Resiverlər** (xətti) maye soyuducu agent ehtiyatını yaratmaq üçün nəzərdə tutulur. Bilavasitə soyudulan soyuducu qurğularda drenajlı resiverlərdən istifadə olunur. Bura müvəqqəti olaraq maye soyuducu agent tökülür. Xətti resiverlərin həcmi təxminən soyuducuda dövr edən soyuducu agentin saatlıq miqdarının yarısına bərabərdir (şək. 24.4).



**Şək. 24.3. OMM markalı barbotajlı yağayıricısının sxemi:**  
1-yağayıricı; 2-kondensator



**Şək. 24.4. Xətti resiver:**

1-manometr üçün qısa boru; 2-iki qoruyuculu klapanlı üçgedişli ventili; 3-bərabərləşdirici boru; 4-səviyyə göstəran; 5-çöküntüləri çıxarmaq üçün qısa boru

Drenajlı resiverlərin həcmi bilavasitə buxarlandırıcı batareyaların həcminə bərabərdir.

Dövri resiverlərdən nasos sistemlərində istifadə olunur (cədvəl 24.1). Konstruktiv olaraq resiverlər üfiqi və ya şaquli polad çənlər şəklində hazırlanır.

Cədvəl 24.1

**Ammonyaklı şaquli drenajlı və dövri resiverlər**

Marka	Həcmi, m <sup>3</sup>	Gövdənin diametri, mm	Divarı qalınlığı, mm	Hündürlüyü, mm	Kütləsi, kq
1,5RDV	1,68	800	8	3300	785
2,5RDV	2,7	1000	10	3990	1285
3,5RDV	3,41	1200	12	3565	1645

Xətti resiver adətən kondensatorun altında quraşdırılır. Bu halda kondensatorun və resiverin buxar boşluğunu birləşdirən bərabərləşdirici boru kəməri çəkilir və soyuducu agent resiverə öz axını ilə tökülür.

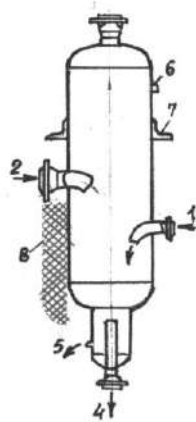
Aqreqatlaşdırılmış freonlu qurğularda resiver kondensatordan yuxarıda yerləşdirilir. Bu halda bərabərləşdirən buxar xətti çəkil-

mir və freon resiverə döyünən axınla daxil olur. Xətti resiverlərdə hava ayırıcıları quraşdırılır. Resiverlərdə səviyyəni göstərən və yağlı buraxan ştuserlər nəzərdə tutulur.

Drenajlı və dövri resiverlərdə məsafəli səviyyə göstərən ştuserlər var, dövri resiverlərdə əlavə olaraq səviyyə nizamlanması üçün də ştuserlər olur.

**Maye ayıranlar** buxarlandırıcıdan buxarla aparılan maye soyuducu agentin damcılarını tutmaq və maye hissəciklərinin kompressorun silindrinə keçməsinin qarşısını almaq üçün nəzərdə tutulur. Proses sürətinin birdən birə 0,5 m/san-yə kimi düşməsinə və soyuducu agentin hərəkət istiqamətinin dəyişməsinə əsaslanır.

Maye ayıran şaquli silindrik çəndən ibarətdir(şək. 24.5). Buxarşəkilli və maye ammoniyak üçün çən giriş və çıxış ştuserləri ilə təchiz olunmuşdur. O, kompressorun quru gedişinin əldə edilməsi üçün olub sorucu magistralda buxarlandırıcı ilə kompressorun arasında qoyulur. Buxarlandırıcıdan çıxan buxarın mayedən ayrılması onun hərəkət istiqamətinin və axın sürətinin kəskin (0,5 m/san-yə kimi) dəyişməsi nəticəsində baş verir.



**Şək. 24.5. Maye ayırıcı:**

1,2-nizamlayıcı ventildən ammoniyakın verilməsi və batareyalardan ammoniyak buxarlarının qayıtması üçün borular; 3-kompressorun sorucu xəttinə buxarın verilməsi üçün qısa borucuq; 4-mayeni batareyalara vermək üçün qısa boru; 5,6-yağ çıxaranın və manometrin ştuseri; 7-dayaqlar; 8-izolyasiya

Maye ayırıcısından, həmçinin nizamlayıcı ventildən buxarlandırıcı sistemə maye ammonyak verilir. Bu halda drossellənmə zamanı əmələ gələn buxar maye ayırıcısından kompressorun sorucu xəttinə verilir, maye isə aparatın alt hissəsinə axaraq buxarlandırıcı sistemə daxil olur.

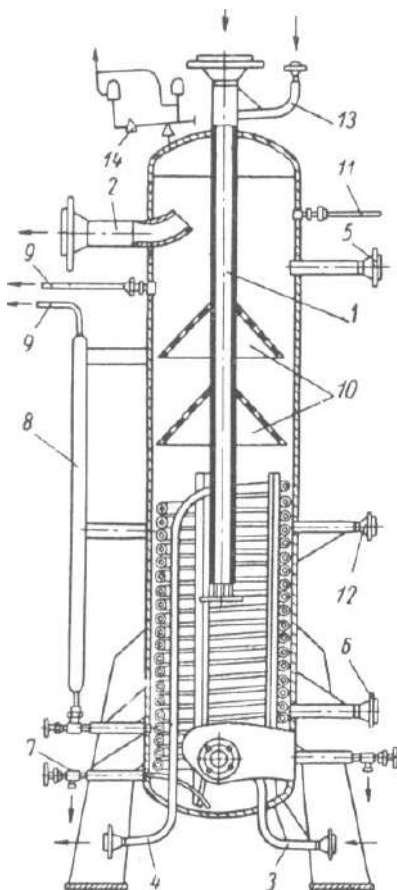
Maye ayıran aparatın altında yığılan yağ vaxtaşırı olaraq yağ-yığıcıya boşaldılır. Maye ayırıcısının xarici örtüyü istilik izolyasiyalıdır.

Aralıq çənləri (şək. 24.6) istilikdəyişən aparatdan ibarət olub iki və üç pilləli ammonyaklı maşınlarda istifadə olunur. Onlar ammonyak buxarlarının aşağı və orta təzyiqli kompressorlarda sıxılmasından sonra soyudulmasına xidmət edir. Burada kondensatordan aralıq çənin alt hissəsindəki ilanvari boru ilə nizamlayıcı ventillə hərəkət edən mayenin çox soyuması baş verir.

Aparatın gövdəsinə kondensatordan bir qədər maye ammonyak drossellənir. Soyudulan buxar axınlarından və mayedən ayrılan istiliyin təsirindən bu ammonyak çəndə aralıq təzyiqlə uyğun gələn temperaturda buxarlanır. Soyuducu mayenin səviyyəsi elə olmalıdır ki, onun səviyyəsi çəndəki ilanvari borunu örtmüş olsun. Beləliklə, ilanvari boru ilə axan maye ammonyakın soyudulması baş verir. Aralıq təzyiqli buxarın soyudulması maye ammonyakda barbotajı zamanı baş verir. Aralıq çəndə ilk pillə kompressorlarından buxarla daxil olan yağın ayrılması baş verir. Barbotaj zamanı əmələ gələn maye damcılarının buxarla aparılmasının qarşısını almaq üçün konuslu dəşikli qaytarıcılar nəzərdə tutulur. Çənin kəsiyində buxarın sürəti 0,5 m/san-dən çox olmamalı, ilanvari boruda mayenin sürəti 0,5...0,7 m/san, ilanvari borunun səthinin təyini üçün temperatur fərqi 4...5°C, istilikötürmə əmsalı  $k=580...700 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{dər}) \approx 500...600 \text{ kkal}/(\text{m}^2 \cdot \text{saat} \cdot \text{dər})$ .

Havanı sistemdən kənarlaşdırmaq üçün **hava ayırıcılarından** istifadə edilir. Hava ayırıcılarının iş prinsipi şəkil 24.7-də verilmişdir.

Ammonyak-hava məhlulu hava çox toplanan yerdən keçərək aparatın borulararası məsafəsinə verilir və burada daxili soyuq boruya toxunaraq soyudulur. Bu borudan nizamlayıcı ventildən buxarlandırıcı sistemə soyuducu agent gedir.



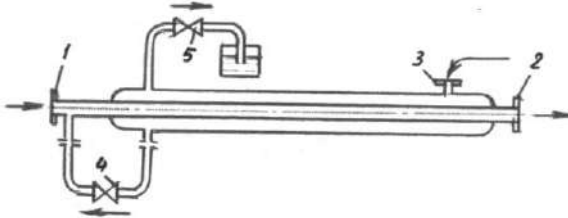
**Şək. 24.6. Mayenin çox soyuması üçün aralıq çəni:**

1-aşağı təzyiqli kompressordan ammonyak buxarlarını vermək üçün boru; 2-yüksək təzyiqli kompressora ammonyak buxarlarının sorulması üçün qısa boru; 3-kondensatordan ilanvari boruya maye ammonyakın verilməsi üçün qısa boru; 4-maye ammonyakı nizamlayıcı ventillə buraxmaq üçün qısa boru; 5,6-bərabərləşdirici qısa borular; 7-yağ buraxmaq üçün qısa boru; 8-səviyyə göstərən; 9-məsafəli səviyyə göstərənin qısa borusu; 10-konusvari qaytarıcı; 11-manometr borusu; 12-üzgəclə nizamlayıcıdan çənə maye vermək üçün qısa boru; 13-maye ammonyakın püskürülməsi üçün qısa boru; 14- qoruyucu klapanlı üç gedişli ventillər

Ammonyak-hava məhlulundakı ammonyak kondensasiya edir, sonra daxili boruya və buxarlandırıcı sistemə verilir. Təsirsiz



qazlı hava borulararası məsafənin üst hissəsindən, ventildən qarbarcıqların çıxmasına nəzarət etmək və daxil olan ammonyak buxarlarını udmaq üçün şüşə çənə doldurulmuş su səviyyəsinin altından buraxılır.



**Şək. 24.7. Hava ayırıcının iş sxemi:**

1-nizamlama ventildən maye ammonyakı vermək üçün qısa boru; 2-buxarlandırıcıya tərəf yönəlmiş qısa boru; 3-mamonyak-hava məhlulunun verilməsi üçün qısa boru; 4-buraxıcı ventill; 5-hava buraxmaq üçün ventill

Soyuducularda çirktutan süzğəc və freon quruducularından da istifadə olunur.

**24.2. Nasoslar və ventilyatorlar**

Soyuducu maşında nasoslar duzlu məhlulun, suyun və ammonyakın verilməsinə xidmət edir. Elektrik mühərrikinin və nasosun seçilməsində aşağıdakılar vacibdir:  $H$ - lazım olan basqı;  $\rho$ - mayenin sıxlığı;  $V$ - nasosun məhsuldarlığı;  $N$ - nasosun gücü.

Mərkəzdənqaçma nasosunun yaratdığı basqı şəbəkədə hidravliki itkilərin cəmi və mayenin qalxma hündürlüyü ilə təyin edilir.

Məhsuldarlıq nasosun təyinatından asılı olaraq texnoloji şərtlərlə təyin edilir. Duzlu məhlul ilə işləyən sistemlər üçün müəyyən temperatura malik olan xəttə iki eyni tipli nasos nəzərdə tutulur ki, birgə iş zamanı onlar tələb olunan maksimum məhsuldarlığı təmin etsinlər.

Soyuducu qurğularda 2900 dövr/dəq fırlanma tezliyinə malik mərkəzdənqaçma nasoslarından istifadə olunur. Onlar qayıq ötürməsi ilə birbaşa elektrik mühərrikindən işə salınır. Nasosun məh-

suldarlığının, basqısının, gücünün fırlanma tezliyindən asılılığı aşağıdakı kimidir:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}; \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2; \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3. \quad (24.1)$$

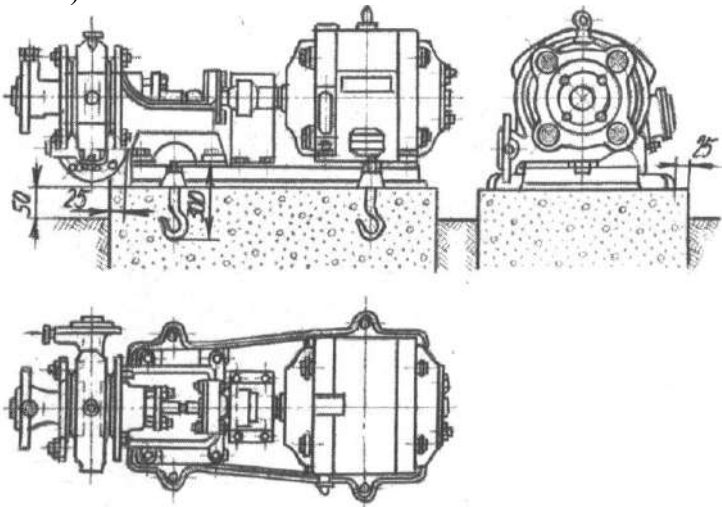
Nasosun gücü aşağıdakı düsturla hesablanır

$$N_e = \frac{V \rho g H}{3,6 \cdot 10^6 \eta} \text{ kVt} , \quad (24.2)$$

burada  $\eta$ - nasosun faydalı iş əmsalı olub nasosun konstruksiyasından və iş rejimindən asılıdır ( $\eta=0,5\dots0,8$ ).

Ən geniş yayılmış ÜNQ-70M nasoslar birpilləli üfiqi nasoslardır. ÜNQ-70M-1 nasosu işçi çarxdan və spiralvari gövdədən ibarətdir. İki, üç pilləli (ÜNQ-70M-2; ÜNQ-70M-3) nasoslarda gövdəyə, işçi çarx və istiqamətləndirici aparat əlavə edilir. Verilən mayenin nasosun soyudulması üçün elektrik mühərrikinin statorunun köynəyində suyun verilməsi və ayrılması üçün iki bobışka nəzərdə tutulmuşdur.

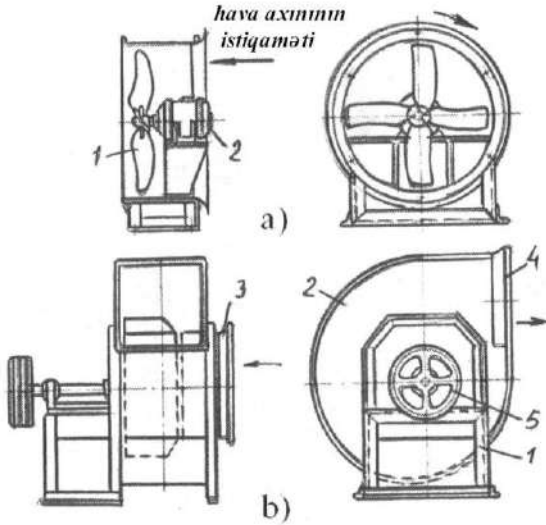
Duzlu məhlul və ya buzlu suyun dövr etməsi üçün birpilləli mərkəzdənqaçma K tipli (konsol) nasoslarından istifadə olunur (şək. 24.8).



Şək. 24.8. K tipli mərkəzdənqaçma nasosu

Nasoslar kataloqlardan seçilir.

**Ventilyatorlar.** Havanın məcburi dövr etməsi və ventilyasiyası üçün oxlu və mərkəzdənqaçma ventilyatorlarından istifadə olunur (şək. 24.9).



**Şək. 24.9. Ventilyatorlar:**

a) oxlu ÜAQİ tipli: 1-pərli çarx; 2-elektrik mühərriki; b) mərkəzdənqaçma: 1-özül; 2-ilbiz; 3-sorucu boru; 4-çığış borusu; 5-qasnaq

Oxlu ventilyatorlarda hava pərlər vasitəsilə ventilyatorun oxu istiqamətində hərəkət edir. Bu ventilyatorların hazırlanması və istifadəsi sadədir və böyük həcmdə havanı hərəkətə gətirə bilirlər, ancaq nisbətən az basqı (30...40 mm su süt.) yaradırlar. Oxlu ventilyatorlardan ən yaxşısı ÜAQİ propellerli ventilyatorlar sayılır.

Mərkəzdənqaçma ventilyatorlarında hava köynəyin yarığından sorulacaq və fırlanan pərli çarxla yaranan mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən radial istiqamətdə ventilyatorun çıxışına qovulur. Mərkəzdənqaçma tipli ventilyatorlar müxtəlif məhsuldarlıqlı olurlar. Quruluşuna görə oxlulardan mürəkkəbdir, ancaq səmərəlidir və yüksək başqı (300 mm su süt-a kimi) yarada bilir.

lər.

Ü-4-70 tipli ventilyatorlar özüldən, köynəkdən, çarxdan, kollektordan və elektrik mühərrikindən ibarətdir (cədvəl 24.2).

Cədvəl 24.2

### Ü-4-70 tipli ventilyatorların texniki xarakteristikası

Göstəricilər	№25	№3	№4	№5	№6
Fırlanma tezliyi, dövr/dəq	$\frac{1400}{2800}$	$\frac{1400}{2850}$	$\frac{935}{1410}$	$\frac{930}{1420}$	$\frac{930}{1440}$
Elektrik mühərrikinin gücü, kVt	$\frac{0,18}{0,6}$	$\frac{0,27}{1,5}$	$\frac{0,4}{0,8}$	$\frac{0,8}{2,2}$	$\frac{1,5}{5,5}$
Qabarit ölçüləri, mm: uzunu eni hündürlüyü	471 421 461	559 430 580	747 510 770	926 650 930	1102 760 1100
Kütləsi, kq	$\frac{27,6}{30,9}$	$\frac{34,3}{43,3}$	$\frac{68}{69,5}$	$\frac{107,3}{125}$	$\frac{179}{218}$

VQ seriyalı ventilyatorlar su sorucularından havanı və buxarı sormağ üçün nəzərdə tutulur. Onlar işçi çarxdan, intiqaldan, stasionar aerodinamik elementlərdən və dayaqdan ibarətdir. İntiqal flanslı elektrik mühərrikindən və planetar reduktordan işə salınır.

Ventilyatorun məhsuldarlığı, basqısı, gücü və fırlanma tezliyi arasında asılılıq (24.1) mərkəzdənqaçma nasoslarındakı kimidir.

Ventilyatorun gücü aşağıdakı düsturla hesablanır.

$$N_e = \frac{Vp}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_v}, \text{ kVt}, \quad (24.3)$$

burada  $V$ - ventilyatorun məhsuldarlığı, m<sup>3</sup>/saat;

$p$ - ventilyatorun yaratdığı basqı, N/m<sup>2</sup>;

$\eta_v$ - ventilyatorun faydalı iş əmsalı.

Mərkəzdənqaçma ventilyatoru üçün elektrik mühərrikini seçdikdə ehtiyat əmsalı qəbul olunur, az güclü mühərriklər üçün (2 kVt-a kimi) 1,5...1,3; yüksək güclü mühərriklər üçün isə 1,2...1,1 qəbul olunur.

Səs və titrəmələri azaltmaq üçün ventilyatorlar vibrouducu (elastik) araqaqların (ağac, rezin, amortizatorlar və s.) üzərində quraşdırılır.

### 24.3. Boru kəmərləri və armatur

Soyuducu maşının bütün əsas və köməkçi elementləri (kompessorlar, soyuducu batareyalar, kondensatorlar, yağayrıcıları və s.) boru kəmərləri ilə birləşir. Ammonyaklı soyuducu maşınlarda tikişsiz polad borulardan istifadə olunur: uzunluğu 4...12,5 m, xarici diametri 57...426 mm (DÜİST 8732-58) və 9 m-ə kimi uzunluğu olan və xarici diametri 20...50 mm (DÜİST 8734-58). Borular 4 MN/m<sup>2</sup> hidravliki təzyiqə və 2,5 MN/m<sup>2</sup> şərti işçi təzyiqə hesablanır.

Az məhsuldarlıqlı freonlu maşınlar üçün şərti keçidi 3-dən 20 mm-ə kimi olan mis borulardan istifadə olunur. Orta və yüksək məhsuldarlıqlı maşınlarda isə tikişsiz polad borulardan istifadə olunur.

Aparatların hazırlanmasında borular elə emal olunmalıdır ki, çürümənin qarşısı alınmalı və onun səthi yağsızlaşdırılmalıdır.

Birləşdirici boru kəmərinin diametri hərəkət edən mayenin həcmindən və boru kəmərinə buraxıla bilən sürətdən asılı olaraq hesablanır.

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi\omega}}, m, \quad (24.4)$$

burada  $V$  - hərəkət edən maye və ya buxarın həcmi, m<sup>3</sup>/san;

$\omega$  - mayenin boru kəmərinə sürəti, m/san.

Sanitar norma və qaydalarına görə SNiP III-31-78 soyuducu boru kəmərləri qrup və kateqoriyalara bölünür (cavabdehlik dərəcəsi): hərəkət edən mayenin xarakterinə, yəni zəhərli və partlayış yaratma təhlükəsinə görə və hərəkətin işçi parametrlərinə, yəni təzyiq, temperatur, konsentrasiyaya görə.

Soyuducu qurğularda istifadə olunan boru kəmərlərinin təsnifatı cədvəl 24.3-də verilmişdir.

Ammonyaklı maşınların sorucu xətlərində sürət 10...20 m/san qəbul olunur.

**Soyuducu qurğularda istifadə olunan boru kəmərlərinin təsnifatı**

Qrup	Mühit	Boru kəmərinin kateqoriyası					
		I		II		V	
A	Amonyak	Asılı olmayaraq		-	-	-	-
A	Freon -12	-	-	1,6-ya kimi	300-ə kimi	-	-
	Freon -22	Yuxarı	Yuxarı	-	-	-	-
B	Soyuqluq daşıyanlar	-	-	-	-	1,6-ya kimi	120-yə kimi
B	Su	-	-	-	-	1,6-ya kimi	120-yə kimi

Buraxılabilən hidravliki müqavimət qaynama temperaturundan asılıdır:  $t_0 < -30^\circ\text{C}$  –də müqavimət  $\Delta p \leq 0,005 \text{ MN/m}^2$ ;  $t_0$  0-dan  $-30^\circ\text{C}$ -yə kimi olduqda  $\Delta p = 0,02 \dots 0,005 \text{ MN/m}^2$ . Qovucu borularda sürət  $12 \dots 25 \text{ m/san}$  olduqda  $\Delta p = 0,014 \dots 0,028 \text{ MN/m}^2$ .

Freonlu maşınlarda sorma zamanı buxarın sürəti  $8 \dots 15 \text{ m/san}$  qəbul olunur, qovmada isə  $10 \dots 18 \text{ m/san}$ . Maye ammonyak və freon boru kəmərlərində sürət  $0,5 \dots 1 \text{ m/san}$ , düz məhlulu olan boru kəmərlərində isə  $1,0 \dots 1,5 \text{ m/san}$  qəbul olunur.

**Armatür** soyuducu boru kəmərlərində və aparatlarda quraşdırılır. O dörd xarakteristikadan ibarət şərti işarədir. Birinci xarakteristika (iki rəqəm) məlumatın növünü bildirir: 10- buraxıcı kran; 11- boru kəməri üçün kran; 12- səviyyə göstərən; 14, 15- ventillər; 16, 17- əks qaldırıcı, qəbuledici, qoruyucu klapınlar; 30, 31- siyirtmə.

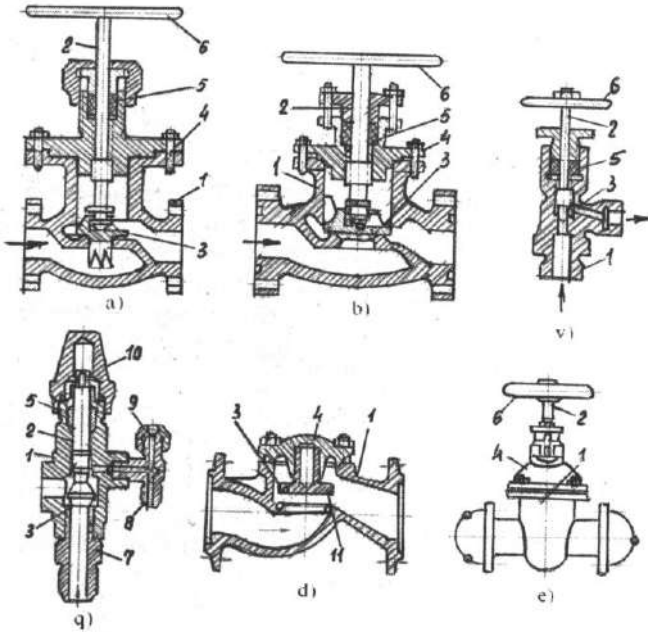
İkinci xarakteristika armatürün gövdəsinin hazırlanma materialını göstərir: C-karbonlu polad; LS-legirlənmiş polad; NJ-paslanmayan və turşulara davamlı polad; Ç-boz çuqun; K-döyülən çuqun; B- latun, bürünc.

Üçüncü xarakteristika müəyyən tip həddində armatürün xüsusiyyətlərini bildirir. Xarakteristika bir və ya iki rəqəmdən ibarətdir, intiqal olduqda isə – üç rəqəmdən. Birinci rəqəm intiqalın növünü göstərir; 3- sonsuz vint ötürməsi; 6- pnevmatik; 7- hidrav-

liki; 8- elektromaqnitli; 9- elektrik.

Dördüncü xarakteristika armaturun kipləşdirici səthləri hazırlanan materialı göstərir: BR- bürünc, NJ- paslanmayan polad, BT- babbıt. Armatura fərqləndirici rəng vurulur. Kərpəs, qapaq, kipiğəc karbonlu poladdan hazırlandıqda-boz rəng, legirlənmiş-göy rəng, paslanmayan poladdan-mavi rəng vurulur, çuqundan-qara rəng. Əlvan metallardan hazırlanan hissələr rənglənmir. Armaturun ling və çarxı rənglənmir. Bürünc və latun-qırmızı, paslanmayan polad-mavi, babbıt-sarı rənglə rənglənmir.

Bağlayıcı və nizamlayıcı armaturun elementləri şəkil 24.10-da verilmişdir.



**Şək. 24.10. Armatur:**

- a) ammonyaklı nizamlayıcı ventili; b) ammonyaklı bağlayan keçid ventili;
- v) ammonyaklı bağlayan bucaq ventili; q) freonu bağlayan bucaq ventili;
- d) elastiki əks klapan; e) məhlul rəzəsi: 1-gövdə; 2-şpindel; 3-klapan;
- 4-qapaq; 5-kipgəc; 6-nazimçarx; 7-ştuser; 8-üçlük; 9-üçlüyün qaykası;
- 10-qapaq; 11-babbıtli taxma

Əks klapınlar kompressorun qovucu xəttində yağayırıcısından sonra quraşdırılır. Soyuducu agentin buxarları əks klapandan kondensatora tərəf yalnız bir istiqamətdə gedə bilər. Kompresor və yağayırıcı arasındakı sahədə hər hansı bir nasazlıq baş verdikdə qazın əks istiqamətdə axması mümkün olmayacaqdır.

### *Yoxlama sualları*

1. Soyuducuların köməkçi aparatlarına nələr daxildir? 2. Yağayırıcılar və resiverlər nə üçün nəzərdə tutulmuşdur? 3. Maye və hava ayırıcılar nə üçün nəzərdə tutulmuşdur? 4. Soyuducu maşınlarda hansı nasos və ventilyatorlardan istifadə olunur? 5. Ventilyatorun məhsuldarlığı, basqısı, gücü və fırlanma tezliyi arasında asılılıq necə təyin edilir? 6. Soyuducu maşının hansı elementləri boru kəmərləri ilə birləşir? 7. Ammonyaklı soyuducu maşınlarda hansı borulardan istifadə olunur? 8. Boru kəmərinin hansı kateqoriyaları var? 9. Armatür harada quraşdırılır və hansı xarakteristikalardan ibarətdir?



XXV FƏSİL  
**ABSORBSİYALI VƏ BUXAR EJEKTORLU  
SOYUDUCU MAŞINLAR**

**25.1. Absorbsiyalı soyuducu maşınlar**

**25.1.1. Su-ammonyaklı absorbsiyalı maşın.** Absorbsiyalı soyuducu maşınlarda işçi maddə kimi eyni təzyiqdə müxtəlif qaynama temperaturu olan iki komponentdən ibarət məhluldan istifadə olunur. Soyuducu agent kimi aşağı temperaturlu komponentdən istifadə olunur. Qaynama temperaturu yuxarı olan ikinci komponent isə absorbent adlanır. Adətən soyuducu agent kimi ammonyakdan, absorbent kimi isə ammonyak buxarlarını udma qabiliyyətinə malik olan sudan istifadə olunur.

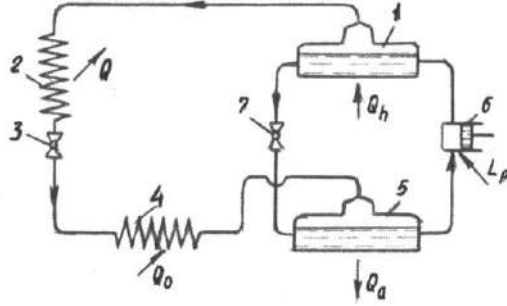
Su-ammonyaklı absorbsiyalı soyuducu maşının prinsiplial sxemi şəkil 25.1-də verilmişdir. Bu maşında soyuqluq buxarlandırıcıda ammonyakın aşağı temperaturda qaynaması hesabına əldə edilir. Ammonyak buxarı kondensatorda 2 kondensasiya etdikdən sonra maye ammonyak nizamlayıcı ventildə 3 drossellənir və sonra soyudulan mühitdən ayrılan istilik  $Q_0$  hesabına buxarlandırıcıda buxarlanır.

Soyuducu agentin buxarlarının buxarlandırıcıdan kondensatora keçməsi, absorber və qaynadıcı (generator) arasında fasiləsiz dövr edən absorbentin köməyi ilə baş verir. Buxarlandırıcıdan ammonyakın buxarları fasiləsiz olaraq absorberə 5 sorulur. Burada, qaynadıcıdan çıxan buxar nizamlayıcı ventildən 7 keçərək zəif su-ammonyak məhlulu ilə udulur. Bu proses istiliyin  $Q_0$  ayrılması ilə müşahidə olunur və soyuducu suyun köməyi ilə absorberdən kənarlaşdırılır.

Absorberdə əmələ gələn qatı məhlul nasosla 6 qaynadıcıya verilir. Mayenin absorberdən - aşağı təzyiq  $p_0$  sahəsindən qaynadıcıya - yuxarı təzyiq  $p$  sahəsinə verilməsinə  $I_p$  işi sərf olunur.

Qaynadıcıda su-ammonyak məhlulu kondensatorun təzyiqindən bir qədər yuxarı olan sabit təzyiqdə buxarlanır. Bunun üçün qızdırıcı su buxarından alınan  $Q_h$  istiliyi sərf olunur. Qaynama nəticəsində ammonyak buxarları ayrılır, kondensatora daxil olaraq burada suyun təsirindən sıxılır. Bundan başqa əmələ gələn zəif

məhlul nizamlayıcı ventildə 7 drossellənərək aşağı təzyiqdə buxarlandırıcıdan ammonyak buxarını udmaq üçün yenidən absorberə qayıdır.



**Şək. 25.1. Absorbsiyalı maşının sxemi:**

1-qaynadıcı generator; 2-kondensator; 3,7-nizamlayıcı ventillər; 4-buxarlandırıcı; 5-absorber; 6-məhlul üçün nasos

Beləliklə, bu maşında ammonyak əsas elementlər arasında fasiləsiz olaraq dövr edir – kondensator, nizamlayıcı ventil, buxarlandırıcı, absorber – qaynadıcı sistemi. Eyni zamanda absorber, nasos, qaynadıcı və nizamlayıcı ventil arasında su-ammonyak məhlulu dövr edir. Absorbsiyalı maşının istilik balansını tənliyi aşağıdakı kimidir:

$$Q + Q_a = Q_0 + Q_h + l_p, \quad (25.1)$$

burada  $Q$ - kondensatordan su ilə ayrılan istilik;

$Q_a$ - absorberdən su ilə ayrılan istilik;

$Q_0$ - buxarlandırıcının istilik yükü;

$Q_h$ - qaynadıcıya verilən istilik;

$l_p$ - nasosun işi.

$l_p$  - nin qiyməti çox kiçik olduğundan, hesabatlarda adətən nəzərə alınmır.

Ümumi sərf olunan enerjini  $Q_h + l_p = Q_\omega$  ilə işarə etsək, onda istilik balansını tənliyi aşağıdakı kimi olacaq

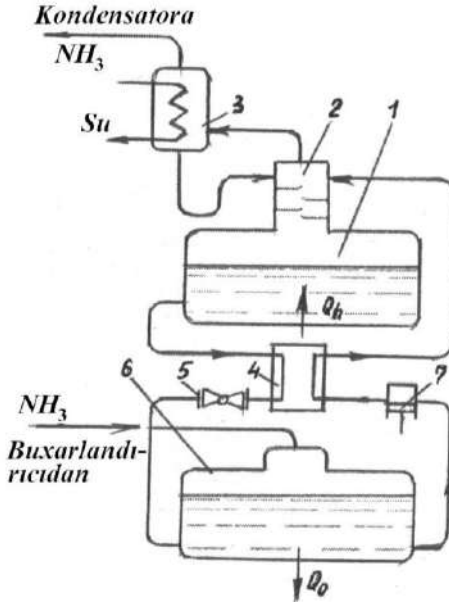
$$Q + Q_a = Q_0 + Q_\omega.$$

Absorbsiyalı soyuducu maşının səmərəli işi istilik əmsalı ilə xarakterizə olunur.

$$\varepsilon_a = \frac{Q_0}{Q_w}, \quad (25.2)$$

burada  $Q_w$ - sərf edilən istilik sərfi.

Təcrübədə istilik dəyişənli, rektifikatorlu və defleqatorlu absorbsiyalı su-amonyaklı maşınlardan istifadə olunur (şək. 25.2).



**Şək. 25.2. İstilikdəyişənli, rektifikatorlu və defleqatorlu absorbsiyalı soyuducu maşının sxemi:**

1-qaynadıcı; 2-rektifikator; 3-defleqator; 4-istilikdəyişən; 5-nizamlayıcı ventily; 6-absorber; 7-məhlul vermək üçün nasos

İstilikdəyişən-qaynadıcıya verilən qatı məhlulu, qaynadıcıdan absorberə daxil olan zəif məhlulla soyuma hesabına, qızdırmaq üçündür. O, qaynadıcıda qızdırıcı buxarın və absorberdə soyuducu suyun sərfini azıdır.

Rektifikator – məhlulun qaynadıcıda əmələ gələn absorbent buxarlarını soyuducu agentin buxarlarından ayırmaq üçündür. So-

yuducu agent və absorbent buxarları qaynadıcıdan rektifikatora daxil olur və orada buxarlandırılma üçün verilən qatı məhlula təsir edir. Maye soyudulur və soyuducu agentin qatılığı artır.

Su ilə soyudulan defleqmatör – soyuducu agent buxarının absorbent buxarından təmizlənməsi üçündür. İşçi maddəsi ammoniyak+su olan maşınlarda defleqmatördən sonra qatılığı  $\xi=0,995$  olan təmiz ammoniyak alınır və kondensatora verilir.

Ammonyak buxarlarının defleqmatördə su buxarından tam təmizlənməməsi buxarlandırıcı sistemin dayanıqlı temperatur rejimini pozur. Bundan başqa lazım olan temperaturu almaq üçün buxarlandırıcıda və absorberdə aşağı təzyiqdə işləmək lazım gəlir ki, bu da sərfəli deyil.

Absorbsiyalı soyuducu maşının istilik əmsalı kompressorlu buxar soyuducu maşınının soyutma əmsalından çox aşağıdır. Absorbsiyalı maşının üstünlüyü onun ucuz istilik mənbələrindən istifadə etməsidir – işlənmiş buxar, çıxan qazlar, isti su, günəş enerjisi və s. Həqiqətdə absorbsiyalı soyuducu maşın kompressorludan çox sərfəli ola bilər. Aşağı temperaturalarda ( $-35^{\circ}\text{C}$ ) işlədikdə, hətta xüsusi tikilmiş qazanxanadan buxarla təmin edildikdə bu maşın kompressorlulardan sərfəlidir.

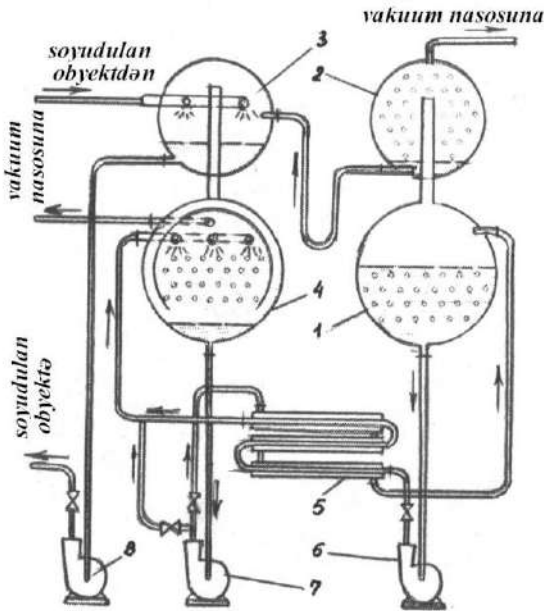
Absorbsiyalı maşında kompressorluya nisbətən su sərfi çoxdur. Ancaq işlənmiş suyun temperaturu yüksək olduğundan o, yeyinti istehsalında məişət və texnoloji tələbatlar üçün istifadə olunur. Absorbsiyalı su-ammonyak maşınlarının geniş yayılmaması onların kompressorlu maşınlarla nisbətən yüksək metal tutumu ilə bağlı olmasıdır.

**25.1.2. Brom-litiumlu absorbsiyalı maşın.** Qaynama temperaturu  $t_0 > 0^{\circ}\text{C}$  üçün geniş yayılmış brom-litiumlu absorbsiyalı maşınlardan istifadə olunur. Su-ammonyaklı maşınlarla müqayisədə bu maşınlar daha yığcam olub az kütləyə malikdirlər.

Absorberdən qaynadıcıya nasosla su ilə doymuş brom-litium məhlulu verilir (şəkl.10.3). Burada qızdırıcı buxarın və ya qaynar suyun hesabına məhlulun buxarlanması baş verir. Rektifikasiyası tələb olunmayan təmiz su buxarı ayrılaraq kondensatora daxil olur. Soyuq suyun təsirindən buxar kondensasiya edir. Buraya so-

yudulan obyektədən ilıq su daxil olur və xüsusi forsunkaların köməyi ilə püskürülür. Buxarlandırıcı absorberlə birləşir. Absorberdə olan brom – litium məhlulu üzərindəki su buxarının elastikliyi buxarlandırıcıda olan doymuş su buxarının elastikliyindən aşağıdır. Buna görə də orada suyun qismən buxarlanması və onun qalan miqdarının  $+3^{\circ}\text{C} \dots +5^{\circ}\text{C}$ -yə kimi soyuması baş verir.

Soyudulan su buxarlandırıcıdan soyudulan obyektə verilir. Yaranan su buxarı isə absorberə sorulur və brom-litium məhlulu ilə udulur. Absorbsiya prosesi nəticəsində ayrılan istilik soyuducu su ilə çıxarılır.



**Şək. 25.3. Brom-litiumlu absorbsiyalı maşının sxemi:**

1-qaynadıcı; 2-kondensator; 3-buxarlandırıcı; 4-absorber; 5-istilikdəyişən; 6 və 7-məhlul üçün nasoslar; 8-soyudulmuş su üçün nasos

Su ilə doymuş brom-litium məhlulu absorberdən nasosla iki xəttə verilir: məhlulun az hissəsi istilikdəyişəndən keçərək buxarlanma üçün qaynadıcıya verilir, qalan miqdarı isə qaynadıcıdan gələn və istilikdəyişəndən keçən məhlulla qarışır və püskü-

rücü forsunkalardan absorberə daxil olur.

Brom-litium maşınların aparatları nazik divarlı borulardan hazırlanır. Qaynadıcı və absorberin boruları mis-nikel ərintisindən və ya paslanmayan poladdan hazırlanır. Aparatların köynəkləri içəridən nikel layı ilə örtülür.

Soyutma məhsuldarlığı 400...3500 kVt olan brom-litium maşınları hava soyuducu qurğularında və suyun soyudulması üçün müxtəlif istehsalatlarda istifadə olunur.

**25.1.3. Məişət absorbsiyalı soyuducular.** Məişət absorbsiyalı soyuducular qida məhsullarının soyudulmuş və dondurulmuş halda saxlanması, içkilərin soyudulması və buzun alınması üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bu tip soyuduculara səssiz işləmə və hərəkət edən hissələrin olmaması məxsusdur. Bu da kompressorlu maşınlarla müqayisədə onların uzun müddətli işini təmin edir.

Bununla bərabər absorbsiyalı soyuducular kompressorlu soyuduculardan bir sıra göstəricilərinə görə geri qalırlar:

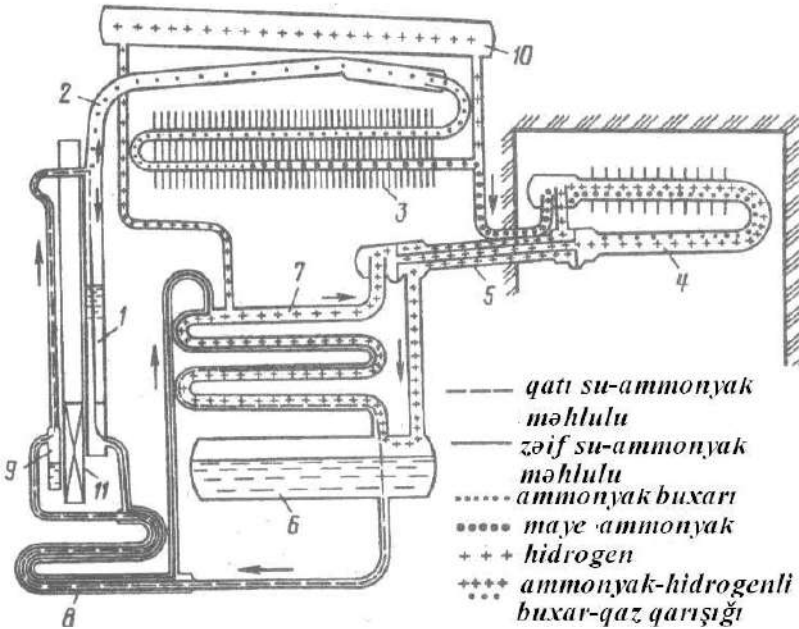
- elektrik qızdırıcısının daima işləməsi nəticəsində bu soyuducuların istismarı zamanı enerji sərfi yüksək olur;
- absorbsiyalı soyuducuların soyuqluq məhsuldarlığı kompressorlu soyuducuların məhsuldarlığından aşağıdır;
- buxarlandırıcıda mənfi temperaturun alınma müddəti kompressorlu maşınlarla nisbətən çoxdur.

Məişət absorbsiyalı soyuducu maşının sxemi şəkil 25.4-də verilmişdir.

Aparat və boru kəmərlərinin germetik sistemi su-ammonyak məhlulu ilə doldurulur. Bundan başqa sistemə yüngül təsirsiz qaz – hidrogen əlavə olunur. Hidrogen və ammonyak buxarının təzyiqlərinin cəmi  $(14...15) \cdot 10^5$  Pa-dır.

Elektrik qızdırıcısı 11 işlədikdə termosifonda 9 olan su-ammonyak məhlulundan ammonyak buxarlanaraq maye məhlulu generator-qaynadıcıya 1 aparır, burada qızdırılma nəticəsində ammonyakın məhluldan buxarlanaraq ayrılması davam edir. Ammonyak buxarı və qisəmən də su buxarı mayeli rektifikator-boruya 2 daxil olur. Su buxarları burada kondensasiya edir və yenidən generatora axır, ammonyak buxarları isə irəli kondensatora 3 tərəf hərəkət edir və konvektiv soyuma nəticəsində mayeyə çevri-

lərək buxarlandırıcıya daxil olur.



**Şək. 25.4. Məişət tipli absorbsiyalı soyuducunun sxemi:**

1-generator-qaynadıcı; 2-rektifikator; 3-kondensator; 4-buxarlandırıcı; 5-qaz istilikdəyişən; 6-absorberin çəni; 7-absorber; 8-mayeli istilikdəyişən; 9-termosifon; 10-hidrogen çəni; 11-elektrik qızdırıcısı

Məhlulun qızdırılması zamanı generatorda ammonyakın təzyiqi qalxdıqda buxarlandırıcıda ammonyak buxarının təzyiqi düşür, çünki generatorda qalan zəif məhlul istilikdəyişəndən 8 keçərək absorberin 7 yuxarı hissəsinə daxil olur və borularla axdığı müddətdə amonyak buxarlarını buxarlandırıcıdan soraraq udur. Absorberdən çıxan və qaz istilikdəyişəndən 5 keçən hidrogen buxarlandırıcının üst hissəsinə dolur.

Buxarlandırıcı və absorberdəki hidrogen və ammonyak buxarının təzyiqləri cəmi generatordakı ammonyak buxarının təzyiqinə bərabərdir. Ancaq ammonyakın buxarlanma temperaturu qeyd olunan təzyiqlər cəminə yox, ammonyak buxarlarının parsial təzyiqinə, yəni  $(2...3) \cdot 10^5$  Pa-a təvafüq edir. Maye ammonyakın

kondensatordan buxarlandırıcıya daxil olması, oradan mayenin buxarlanaraq absorberə sorulması zamanı baş verir. Burada ni-zamlayıcı ventillə tələb olunmur.

Absorbsiyalı məişət soyuducularında mayenin absorberdən generatora verilməsində nasos olmur, çünki bu aparatlarda bərabər təzyiqdə qabların əlaqələnməsi prinsipi ilə maye bir aparatdan o birinə axa bilər. Qatı məhlul termosifondan generatora keçdikdə onun yerinə absorberin çəmindən məhlulun yeni porsiyaları daxil olur. Generatorda yığılan zəif məhlul absorberin üst hissəsinə axır.

İnqibitorun məhlulda təyinatı – boruların və istilikdəyişənlərin daxili səthlərini korroziyadan qorumaqdır. Adətən məhlula 2 % miqdarında natrium xromat ( $Na_2CrO_4$ ) əlavə olunur.

Məhlulda hidrogenin təyinatı – buxarşəkilli soyuducu agentə (ammonyak) əks təzyiq yaratmaqdır. Bu halda kondensatora daxil olan hidrogenin təzyiqi buxarşəkilli soyuducu agentin təzyiqinə nisbətən aşağı olur. Distillə edilmiş su ilə udulan ammonyak buxarları su-ammonyak məhlulu əmələ gətirir. Soyuducu aqreqatda su-ammonyak məhlulu və hidrogen 1,47...2,1 MPa təzyiqdə doldurulur.

Məişət soyuducularında absorbsiyalı-diffuziyalı təsirli soyuducu aqreqatlardan istifadə olunur. Temperaturu nizamlama sistemi kompressorlu soyuducularda istifadə olunan termonizamlayıcılarla yerinə yetirilir.

## 25.2. Buxar ejektorlu soyuducu maşın

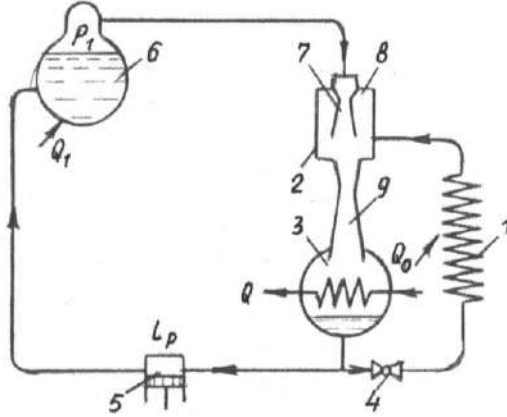
Buxar ejektorlu soyuducu maşının əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onun işləməsi üçün işçi buxarın axın cərəyanının (şirnağının) kinetik enerjisindən istifadə olunur.

Şəkil 25.5-də buxar ejektorlu soyuducu maşının sxemi verilmişdir. Buxarlandırıcıda 1 soyudulan mühitdən verilən istilik  $Q_0$  hesabına soyuducu agent aşağı təzyiq  $p_0$  və temperaturda  $t_0$  qaynayır.

Buxar buxarlandırıcıdan ejektorun 2 təsiri hesabına sorulur. Ejektor qarışma kamerasından və diffuzordan ibarətdir. Ejektorda  $Q_1$  istilik sərfi nəticəsində buxar qazanında əmələ gələn nisbətən



yüksək təzyiqli ( $p_1$ ) buxardan istifadə olunur.



**Şək. 25.5. Buxar ejetorlu soyuducu maşının prinsipial sxemi:**

1-buxarlandırıcı; 2-ejetor; 3-kondensator; 4-nizamlayıcı ventili; 5-qidalandırıcı nasos; 6-buxar qazanı; 7-ucluq; 8-qarışma kamerası; 9-diffuzor

Buxar qazandan ejetorun ucluğuna yönəldilir və burada genişlənir. Buxarın təzyiqi buxarlandırıcıdakı təzyiqə qədər aşağı düşür, sürəti isə əksinə qalxır. İşçi buxar şırnağı buxarlandırıcıdan buxarı götürərək onunla qarışır və diffuzora tərəf yönəlir.

Diffuzorun genişlənən hissəsində kinetik enerjinin işə çevrilməsi hesabına qarışıq kondensatordakı təzyiqə ( $p$ ) qədər sıxılır. Kondensatorda 3 buxar soyudulan suya kondensasiya istiliyini  $Q$  verərək  $t$  temperaturunda kondensasiya edir. Kondensasiya əmələ gələn maye iki axına ayrılır. Onun bir hissəsi nizamlayıcı ventildə 4  $p_0$  təzyiqinə kimi drossellənir və buxarlandırıcıya verilir. Burada soyuqluq yaranır. Qalan hissəsi  $l_p$  işi sərf olunaraq qidalandırıcı nasosun 5 köməyi ilə buxar qazanına qayıdır.

Buxar ejetorlu maşının istilik balansını aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$Q = Q_0 + Q_1 + l_p = Q_0 + Q_\omega, \quad (25.3)$$

burada  $Q_\omega = Q_1 + l_p$  - işçi prosesdə ümumi enerji sərfi.

Absorbsiyalı maşınlarda olduğu kimi  $l_p$ -nin qiyməti  $Q_1$  ilə müqayisədə çox kiçikdir.

Buxar ejetorlu maşının istilik əmsalı

$$\varepsilon_n = \frac{Q_0}{Q_\omega} , \quad (25.4)$$

burada  $Q_0$ - alınan soyutma məhsuldarlığı;

$Q_\omega$ - ümumi istilik sərfi.

Beləliklə, buxar ejektorlu soyuducu maşının işləməsi üçün dairəvi tsiklin daxilində mexaniki işə çevrilən istilik formasında enerji sərf olunur. Buxar ejektorlu maşının üstünlüyü istilik formasında enerjiden istifadə edilməsi imkanından və mürəkkəb buxar kompressorunun olmamasından ibarətdir. Buxar ejektorlu maşınların xüsusiyyəti buxarlandırıcıda aşağı təzyiqdə işləmə imkanının olmasıdır. Bu, buxar ejektorlu maşınlarda işçi maddə kimi sudan istifadə olunmasına imkan verir. Buxar ejektorlu soyuducu maşının da işçi buxar sərfi yüksəkdir. O, maşının iş şəraitindən asılıdır.

Buxar ejektorlu maşının kondensatorunun su sərfi kompressorlu buxar soyuducu maşınınkından 3-4 dəfə çoxdur. Bu baxımdan buxar ejektorlu maşının istifadəsi yalnız ucuz soyuq su mənbəyi olduqda sərfəlidir.

### *Yoxlama sualları*

1. Absorbsiyalı soyuducu maşınlarda işçi maddə kimi hansı mahluldan istifadə olunur? 2. Su-ammonyaklı absorbsiyalı soyuducu maşının quruluşu və iş prinsipi. 3. Absorbsiyalı maşının istilik balansını necə təyin edilir? 4. Absorbsiyalı soyuducu maşının səmərəli işi nə ilə xarakterizə olunur? 5. Qaynama temperaturunun hansı qiymətlərində brom-litiumlu absorbsiyalı maşınlardan istifadə olunur? 6. Su-ammonyaklı maşınlarla müqayisədə brom-litiumlu absorbsiyalı maşınlar hansı xüsusiyyətə malikdirlər? 7. Absorbsiyalı soyuducular kompressorlu soyuduculardan hansı göstəricilərinə görə geri qalırlar? 8. Buxar ejektorlu soyuducu maşının əsas xüsusiyyəti nədən ibarətdir? 9. Buxar ejektorlu maşının istilik balansını necə ifadə olunur? 10. Buxar ejektorlu maşının istilik əmsalı necə təyin edilir?

**SOYUDUCU QURĞULAR VƏ SOYUDUCULAR**

XXVI FƏSİL

**YEYİNTİ MƏHSULLARININ SOYUDULMASI,  
DONDURULMASI VƏ SOYUQ SAXLANMASI**

**26.1. Yeyinti məhsullarının soyudulması**

Yeyinti məhsulunun temperaturunun krioskopik temperatura kimi aşağı düşmə prosesinə soyutma prosesi deyilir. Soyudulan məhsulların son temperaturu  $0...5^{\circ}\text{C}$  arasında olur. Soyudulmuş məhsullar öz ilkin keyfiyyətini uzun müddət saxlaya bilir. Balıq soyudulmuş halda 10 günə kimi, ət 20...30 gün, meyvə və yumurta bir neçə ay saxlanıla bilər. Məhsulların yaxşı saxlanması üçün onları mümkün qədər tez soyutmaq lazımdır.

Məhsulların soyudulmasında Furiye qanununa riayət olunur. Əvvəlcə üst qat, sonra isə daxili qatlar soyudulur. Bir müddətdən sonra cismin bütün hissələrində temperatur eyni olub ətraf mühitin temperaturuna bərabər olur.

Məhsulların soyudulması üçün məhsulun təbii xüsusiyyətlərindən asılı olaraq müxtəlif soyuducu mühitlərdən istifadə olunur.

Havada soyutma üsulu universal sayılır. Bu üsulun çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, istilikvermə əmsalının aşağı olması nəticəsində prosesin sürəti də müəyyən qədər aşağı olur. Havada soyutmada istilik mübadiləsi konveksiya, şüalanma və məhsulun üst səthindən nəmliyin buxarlanması yolu ilə baş verir. Nəmliyin buxarlanması məhsulun qurumasına və daxili görünüşünün pisləşməsinə gətirir. Soyutma müddəti azaldıqca quruma nəticəsində baş verən itkilər azalır.

Soyutma prosesini sürətləndirmək üçün havanın temperaturunu azaltmaq  $t_h$  və soyuducu kamerada onun dövr etmə sürətini artırmaq lazımdır.

Maye mühitdə soyutma (soyuq su, duz qarışığı) havaya nisbətən tez, əsasən də prosesin ilkin mərhələlərində, istilik məhsulun daxili qatlarından üst qatına intensiv keçdiyi zaman baş verir.

Bir çox məhsullar üçün maye mühitdə soyutmadan istifadə etmək əlverişli hesab edilmir. Bundan başqa buz və buz-duz məhlulu ilə soyutma da mümkündür.

Ət, quş ətri, yumurta, meyvələr, süd məhsulları, qənnadı məmulatları hava mühitində soyudulur. Soyuq mayelərlə balığı, quş cəsədi, butulkalarda şərabı, istilikdəyişən aparatlar vasitəsilə südü, xamanı, şirələri, şərabı və başqa mayeləri soyudurlar. Əriyən buzla balıq, quş əti, butulkada içkilər və s. soyudulur.

Ətin soyudulmasında – cəmdəyin daxilindəki temperatur  $+4^{\circ}\dots-1^{\circ}\text{C}$ -yə kimi azalmalıdır. İlk mikrobioloji toxumların olmasından, pH və bir sıra başqa faktorlardan asılı olaraq saxlama müddəti 5...16 sutkadır.

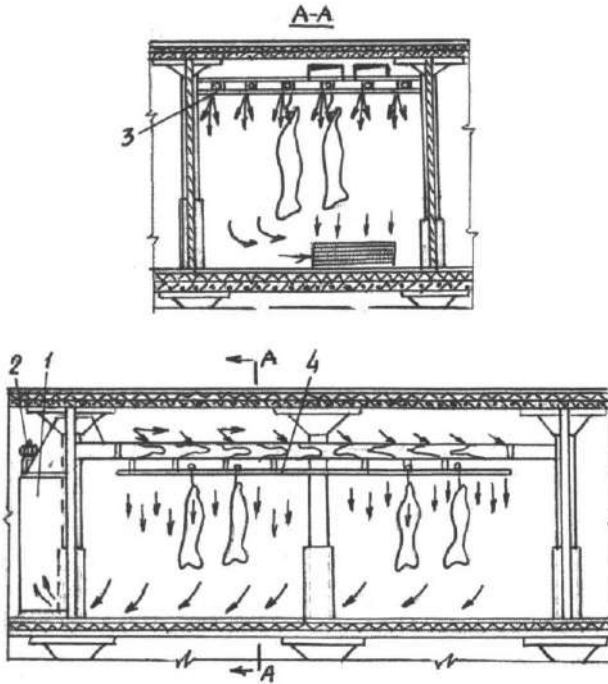
**26.1.1. Ətin soyudulması.** Ət xüsusi cihazlarla təchiz edilmiş, havası intensiv dövr edən soyuducu kameralarda asqı yollarında soyudulur. Asqı yollarının (monorelslər) arasındakı məsafə 0,8...1 m, yolun yüklənməsi 280 kq/m nəzərdə tutulduğundan bu da kameranın sahəsinin  $250\text{ kq/m}^2$  orta yüklənməsinə uyğun gəlir. İçalat məhsulları soyuducu kameranın asqı və ya hərəkət edən rəflərində taralarda yerləşdirilərək soyudulur. Soyudulma zamanı havanın temperaturu  $-1^{\circ}$ -dən  $0^{\circ}\text{C}$ -yə kimi, nisbi rütubət 92...95 % olmalıdır. Bu parametrlərdə və havanın intensiv dövr etməsində mal ətinin soyudulması təxminən bir sutkadır.

Əzələlərdə temperatur  $4^{\circ}\text{C}$ -dən aşağı olduqda, üzərində işə quruma qabığı əmələ gəldikdə ətin soyudulması başa çatmış hesab olunur.

Soyuma zamanı ətin qurumasında yaranan itkilər 1...1,5 % təşkil edir. Ətin soyudulması üçün adətən quru hava soyuducularından istifadə olunur. Havanın tavandan paylanması kameralarında (şək. 26.1) hava soyudulduqdan sonra tavanda yerləşən kanala qovulur. Buradan hava dəşiklərdən təzyiqlə çıxaraq kameraya daxil olur və monorelslərdə asılan ət cəmdəklərini soyudur. Bu sistem havanın kamerada bərabər yayılmasını və cəmdəklərin bərabər soyudulmasını təmin edir. Cəmdəklər arasında havanın sürəti 0,7...0,8 m/san-yə çatır.

Soyudulma üçün tam soyutma sərfi nəzəri olaraq soyudulan

məhsulun miqdarının prosesin əvvəlində və axırında istilik tutumu fərqi haqqında bərabərdir.



**Şək. 26.1. Ətin soyudulması kamerası (havanın tavandan paylanması):**

1-havasoyudan; 2-ventilyator; 3-hava axımı üçün deşik; 4-asqı yolu

**26.1.2. Quşun və yumurtanın soyudulması.** Quş cəmdəkləri əsasən hava mühitində soyudulur. Kağıza bükülmüş quş cəmdəklərini standart yeşiklərdə və şahmat şəklində soyuducu kamerasının döşəməsinə yığırlar.

Kamerada havanın temperaturu  $0^{\circ}\text{C}$ -dən  $-1^{\circ}\text{C}$ -yə kimi, nəmliyi 85...90 %, havanın hərəkət sürəti 1...1,5 m/san olmalıdır. Kameranın yüklənməsi təxminən  $180...200 \text{ kq/m}^2$  olur.

Soyudulmanın sonunda cəmdəyin temperaturu  $2...3^{\circ}\text{C}$ -dən çox olmamalıdır. Soyutma müddəti 12...24 saat olmalıdır. Soyudulma zamanı quruma 1,2 %-dən çox olmamalıdır.

Tunel tipli kameralarda quş ətinin soyudulması daha təkmilləşdirilmişdir. Burada havanın temperaturu  $-2^{\circ}\text{C}$ -yə qədər işləyən soyuducularda nisbi rütubət 85...90 % və havanın dövr etmə sürəti 4...5 m/san təşkil edir. Bu halda soyuma müddəti 4-6 saat təşkil edir.

Xarici ölkələrdə quş cəmdəyini xüsusi zənbillərdə buzlu suya salmaqla soyudurlar. Bu üsulla soyutma müddəti 2...3 saata kimi azalır və quruma tam aradan qaldırılır. Yükləmə əməliyyatları tam mexanikləşdirilir.

Yumurtalar əsasən hazırlayıcı soyuducuların kameralarında şahmat şəklində yığılaraq soyudulur. Soyutma kameralarında temperatur  $0^{\circ}\text{C}$ -dən  $-2^{\circ}\text{C}$  –yə kimi, nisbi rütubət 75-80 % saxlanılır. Əmtəəlik yumurtaları quş fabrikinin anbarlarında saxlamaq üçün aralıq soyuqluq daşıyıcısı olan (*NaCl* su məhlulu) freon soyuducu qurğudan istifadə olunur. Anbarda batareyalar vasitəsilə  $+8...12^{\circ}\text{C}$  temperatur saxlanılır.

İnkubatorlarda havanın soyudulması üçün soyutma məhsuldarlığı 25200 kCoul/saat (inkubasiya yumurtaları üçün), 12600 kCoul/saat (növləşdirilməmiş yumurtalar üçün) olan freon soyuducularından istifadə olunur. İnkubasiya və növləşdirilməmiş yumurta anbarlarında buxarlandırıcı batareyalar vasitəsilə  $+8...12^{\circ}\text{C}$  temperatur saxlanılır.

**26.1.3. Balığın soyudulması.** Balıq tutulduqdan sonra onun tez soyudulması məhsulun keyfiyyətinin saxlanması üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir. Balığı bilavasitə balıqtutan gəmilərdə və ya liman soyuducularında soyudurlar. Soyutma üçün soyuq sudan, buzdan və ya 3...4 %-li duz qarışığından istifadə olunur. Havada soyudulmada məhsul quruyur və əmtəə şəklini itirir.

Balığın çölləklərdə və ya yeşiklərdə xırdalanmış buz səpməklə lay – lay soyudulması geniş yayılmışdır. Bu üsul bir qədər çətinliklər yaradır.

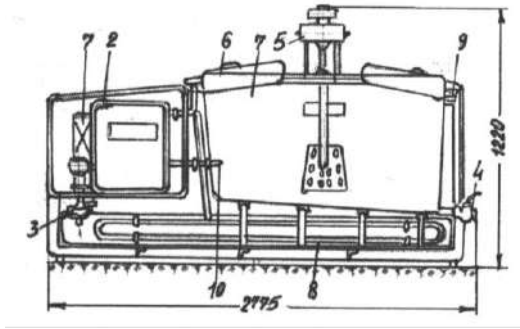
Balıq tutan gəmilərdə ən rahat və səmərəli üsul balığın soyuducu qurğularda soyudulmuş dəniz suyu ilə soyudulmasıdır. Dəniz suyu balığın qida keyfiyyətinə və təmizinə heç bir mənfi təsir etmir. Dəniz suyunu  $-2^{\circ}\text{C}$  temperaturla kimi soyutmaq olar. Təcrübə

bə göstərir ki, təbii dövr etmə zamanı dəniz suyunda soyudulmanın sürəti xırdalanmış buzunkundan 2,9 dəfə, məcburi dövretmədən isə 5 dəfə çoxdur. Balığın dəniz suyunda soyudulma müddəti balığın ölçüləri və suyun dövr etmə intensivliyindən asılı olaraq bir neçə dəqiqədən 1,5 saata kimidir.

Şirin suda soyutma o qədər intensiv getmir, çünki onu dəniz suyu kimi aşağı temperatura qədər soyutmaq olmur. Şirin sudan istifadə etdikdə ona 3...4 % xörək duzu əlavə edirlər.

Dövretməli soyuducularda balıq soyuq dəniz suyu ilə soyudulur. Bu aparatlara balıq yüklənir və soyudulmuş yarımfabrikat çıxarılır. Dövretməli balıq soyuducuları xırda balığı soyutmaq üçün əlverişlidir.

**26.1.4. Sütün və süd məhsullarının soyudulması.** Süd və süd məhsullarının soyudulması üçün yerli şəraitdən asılı olaraq müxtəlif soyutma mənbələrindən istifadə edilir. Fermalarda süd çənlərdə və fləqlərdə buz, duz qarışığı və soyuq su ilə soyudulur. Sütün saxlanması və soyudulması üçün BO-1000 vannasından (şək. 26.2) istifadə edilir.



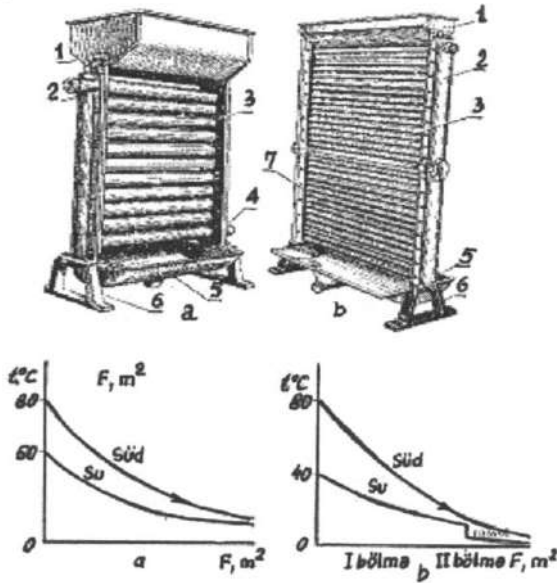
**Şək. 26.2. Sütün saxlanması və soyudulması üçün BO-1000 vannası:**

1-vanna; 2-maşın hissəsi; 3-buzlu su üçün nasos; 4-boşaldıcı kran; 5-qarışdırma mexanizmi; 6-vannanı süd ilə doldurma boğazcığı; 7-soyuducu aqre-qat; 8-buxarlandırıcı; 9-deşikli boru; 10-termobalon

Vanna paslanmayan poladdan hazırlanıb ikidivarlıdır, xaric-

dən istilik izolyasiyasına malikdir. Divarlararası məsafədə vannə boyunca həlqəvi boru suvarıcı yerləşir. Vannanın altında İF-56 freon soyuducusu ilə birləşən buxarlandırıcı yerləşir. Buxarlandırıcıdan 15...20 mm yuxarı səviyyədə yerləşən su 0°C temperatürə kimi soyudulur və püskürücü boruya verilir. Soyuducu aqreقات südün verilməsindən 1,5 saat əvvəl işə salınır. Vannada süd qarışdırıcı ilə qarışdırılaraq, 1,5...2 saat ərzində 4...5°C-yə qədər soyudulur. Süd soyudulduqdan sonra vannada az müddət ərzində qalır, temperatur artdıqca soyuducu aqreقات avtomatik olaraq işə salınır. Süd istehsalı müəssisələrində südün pasterezasiyadan sonra soyudulması üçün (suvarma) lövhəli soyuduculardan istifadə olunur.

Şəkil 26.3- də yastı suvarma əksaxınlı soyuducular, birböl-  
məli və ikibölməli soyuducuların işinin temperatur qrafiki göstə-  
rilmişdir.



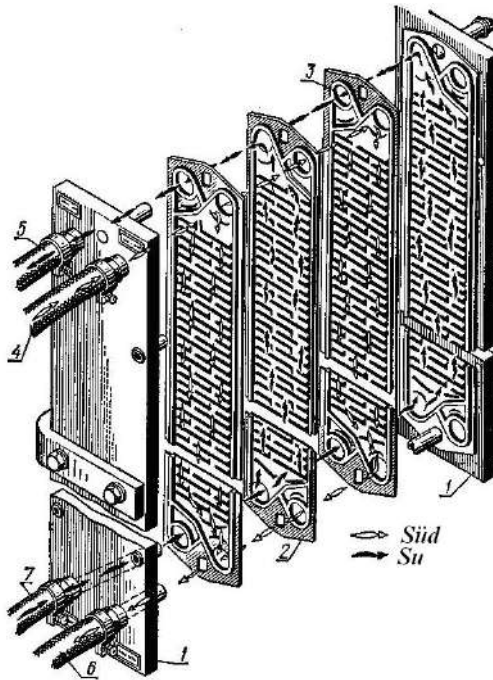
**Şək. 26.3. Yastı suvarma əksaxınlı soyuducular və onların işinin temperatur qrafiki:**

a) birbölməli; b) ikibölməli; 1-kollektor; 2-üst nov; 3-soyutma səthi; 4-giriş qırsaborusu; 5-alt nov; 6-dayaq; 7-duzlu su bölməsinin iş səthi



Süd üst novun 1 dibindəki torun deşiklərindən keçir və nazik pərdə şəklində üfüqi borular cərgəsindən ibarət olan soyuducunun iş səthi ilə axır. İki kollektorlu borular spiral əmələ gətirir ki, onunla əks axınla soyuqluqdaşıyıcı hərəkət edir. Soyudulmuş süd alt nova 5 daxil olur, oradan boşaldıcı qısa boru vasitəsilə süd yığılan qaba gedir.

İş sxemi şəkil 26.4-də göstərilmiş lövhəşəkilli soyuducu, soyuqluq daşıyıcı kimi mənfi temperatūra qədər soyudulmuş duzlu sudan istifadə edilərsə paralelaxınlı rejimdə də işləyə bilər (südü soyuducuda donmasının qarşısını almaq üçün).



**Şək. 26.4. Lövəşəkilli soyuducunun iş sxemi:**

1-yan tərəflər; 2-lövələr; 3-araqatları; 4-isti suyu aparan rezin boru; 5-süd gətirən rezin boru; 6-soyuq su gətirən rezin boru; 7-soyudulmuş südü aparan rezin boru

Əksaxınlı soyuducunun hesablanma düsturu aşağıdakı kimidir:

$$2,303lg \frac{(nc_b - c)(t_H - t_0) + c\tau_k}{c_b n \tau_k} = \frac{nc_b - c}{nc_b} \cdot \frac{Fk}{Mc},$$

burada  $n$ - soyuducunun su miqdarı, yəni aparatdan vahid vaxtda keçən soyuducu mayenin və südün miqdarı nisbətidir (2- duzlu su üçün və 3- su üçün);

$c_b$ - soyuducu mayenin istilik tutumu, Coul/(kq·dər);

$c$ - südün istilik tutumu, Coul/(kq·dər);

$t_H$ - soyudulan südün başlanğıc temperaturu, dər;

$t_0$ - soyuducu mayenin başlanğıc temperaturu, dər;

$k$ - ümumi istilikötürmə əmsalı, (Vt/(m<sup>2</sup>·dər C);

$\tau_k$ - soyudulmuş südlə  $t_k$  soyuducu maye  $t_0$  arasındakı temperatur fərqi, dər;

$F$ - soyuducunun iş səthi, m<sup>2</sup>;

$M$ - soyuducunun məhsuldarlığıdır, kq/san.

Avtomatik idarə olunan yüksək məhsuldarlıqlı lövhəşəkili OOT-M süd soyuducusunun məhsuldarlığı 3000 dm<sup>3</sup>/saat, onun qabarit ölçüləri 1400x700x1300 mm, kütləsi 412 kq, elektrik mühərrikinin gücü 1,5 kVt-dır.

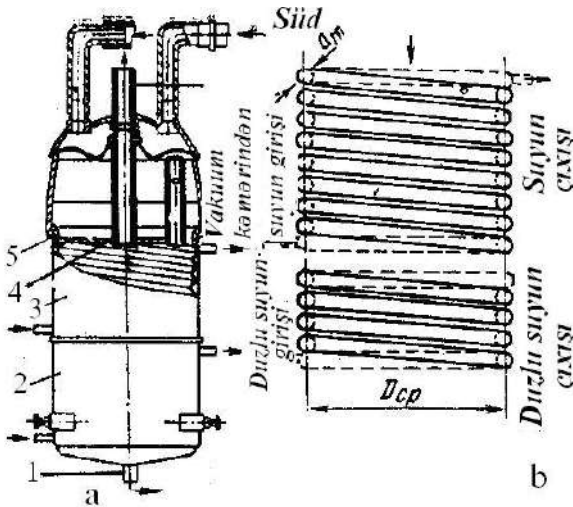
Əksaxınlı soyuducular südü soyuducu mayenin başlanğıc temperaturundan 3°C artıq temperatura qədər soyuqluqğa hesablanmışdır. İstehsalat ehtiyacları üçün soyuducular aparatın işlək səthinin tələb olunan qiymətinə görə seçilməlidir.

Süni soyuqluqğa qənaət etmək məqsədilə soyudulan südün temperaturunun aşağı qiymətlərini almaq üçün ikipilləli soyutma tətbiq olunur (şək. 26.3). Üst bölmə su kəməmindən axan su ilə, alt bölmə soyuducu qurğularda soyudulmuş duzlu və ya adi su ilə qidalandırılır.

Vakuum soyuducusu tutum daxilində yerləşdirilmiş büzməli istilikdəyişdirici səthi olan ikidivərli silindr və ya konus şəklində hazırlanmışdır(şək. 26.5). Suvarma səthi vint xətti üzrə büzməli düzəldilir. Vintli kanalda divarlar arasından (xarici və daxili) soyuducu maye keçir.

Süd soyuducu-təmizləyici separator-südtəmizləyicidən, dörd-bölməli soyuducudan, soyuducu maye üçün mərkəzdənqaçma nasosundan, separatoru və nasosu hərəkətə gətirən elektrik mühər-

rikindən, südqəbuledicidən, soyuducunun üst və alt təknələrin-dən, boşaldıcı qurğudan ibarət olan aqreqatdır (şək. 26.6).

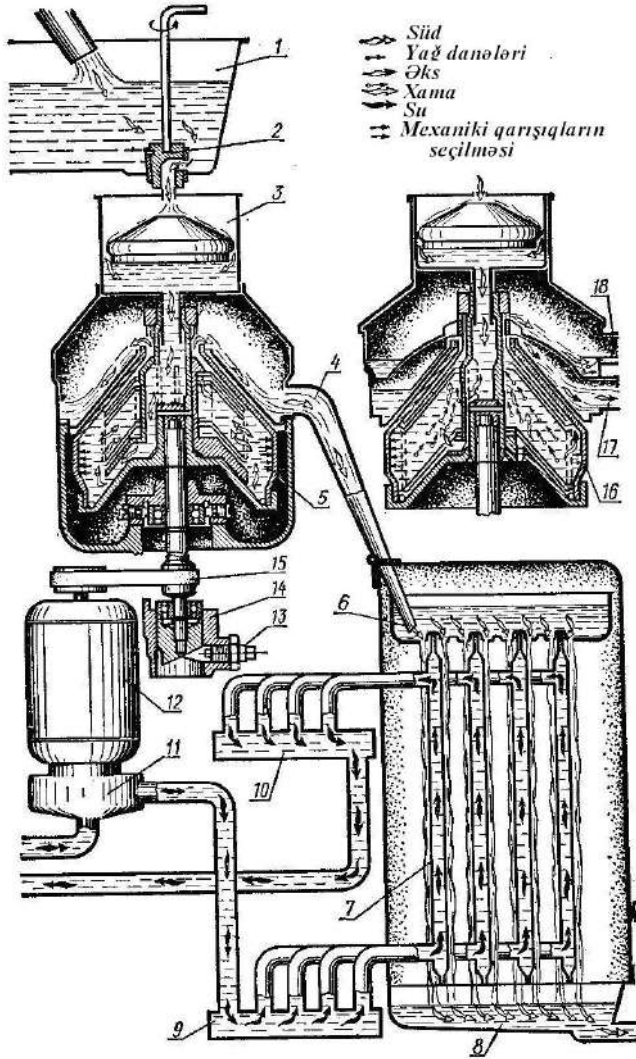


**Şək. 26.5. İkibölməli vakuüm suvarma soyuducusu:**

a) ümumi görünüşü; b) soyuducunun spirali; 1-boşaltma qısaborusu; 2- duzlu su ilə soyutma bölməsi; 3-su ilə soyutma bölməsi; 4- vakuüm kəməri; 5- paylaşdırıcı təknə

Təmizləmə - soyutma sxemi üzrə işlədikdə süd, südqəbuledicidən separator-südtəmizləyicinin üzgəcli kamerasına və separator barabanının boşluğuna keçir, orada mexaniki qarışıqlardan təmizlənilir. Süd barabandan aparıcı borucuq vasitəsilə soyuducunun üst paylaşdırıcı təknəsinə daxil olur, oradan xırdadeşikli tordan istilikdəyişdirici səth üzrə axır və soyumuş halda alt təknəyə daxil olur. Sonra süd saxlamaq üçün tanklara və ya mehtərlərə yığılır. Südün ayrılması lazım gəldikdə separatorun təmizləyici barabanı komplekt süd qabı olan qaymaqayırıcı ilə dəyişdirilir. Üst təknədən yuxarıda texnologiya üzrə hansı məhsulun tez soyudulacağından asılı olaraq qaymaq və ya üzsüz süd üçün axıdıcı borucuq qurulur. Süd qabının ikinci borucuğu yağma çəninə yönəldilir.

Soyuducu aşağıdakı kimi işləyir. Baraban iş fırlanma tezliyini (2,5...3 dəqiqə sonra) aldıqdan sonra südün üzgəcli kameraya keçməsi üçün südqəbuledicinin kranı açılır.

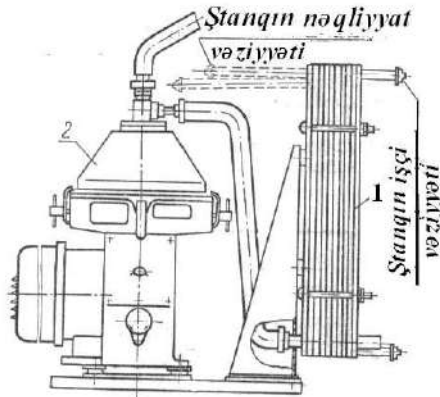


**Şək. 26.6. Süd təmizləyici-soyuducunun sxemi:**

1-süd qəbuledici; 2-kran; 3-üzgöçli kamera; 4-axıtma borucuğu; 5-baraban-südtəmizləyici; 6-paylaşdırıcı təkno; 7-suvarma soyuducu bölməsi; 8-altlıq; 9-soyuducunun kollektoru; 10-axıdılan su kollektoru; 11-su nasosu; 12-elektrik mühərriki; 13- barabanın yığıcılara (qablara) nəzərən hündürliyə görə qurulma vintı; 14-dayaq; 15-intiqal qayışı; 16-baraban-qaymaçayırıcı; 17-üzsüz süd çəni; 18-qaymaq çəni

Su qurğunun nasosu ilə soyuducuya verilir. İş qurtarıqda qalıqın çıxarılması üçün südqəbulediciyə bir qədər üzsüz süd tökülür. Sonra elektrik mühərriki şəkəkdən ayıraraq barabanın tam dayanmasını gözləyirlər. Bundan sonra separatoru söküb yuyurlar. Hissələr soda məhlulunda və isti suda yuyulur və sonra havada qurudulur. Separator işdən qabaq yığılır.

OM-1 təmizləyici - soyuducu üzərində separator-təmizləyici, elektrik mühərriki və lövhəşəkilli soyuducu quraşdırılmış özüləndən ibarətdir (şək. 26.7). Lövhəşəkilli soyuducu izoleədiçi rezin ayaqaltı paslanmayan poladdan ştampllanmış lövhələr komplektidir. Lövhələr iki yan tərəflər arasında boltlarla çəkilib bərkidilmişdir. Daxili kanallar (süd yolları) və soyuducu maye kanalları ayrılmışdır.



**Şək. 26.7. OM-1 təmizləyici – soyuducu:**

1- süd soyuducusu; 2- sentrifuqa

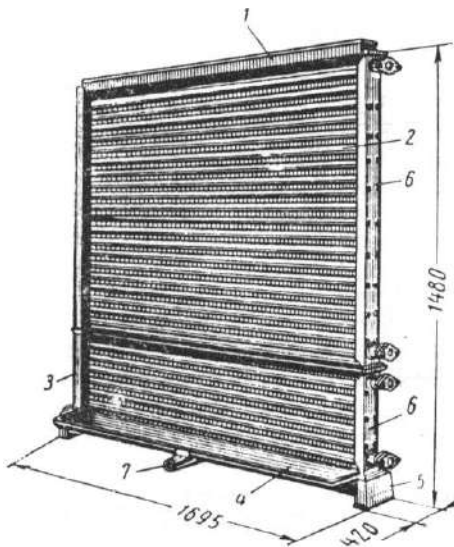
Soyuq su ilə işlədikdə əksaxınlı sxem tətbiq olunur: su qonşu lövhələrarası boşluqdan axan südün istiliyini alaraq lövhələrin arası ilə yuxarıya doğru hərəkət edir. Südün suya qarışmasının qarşısını almaq üçün aparat yığılıqda rezin aqreqlərin vəziyyətinə diqqət yetirmək və lövhələri bərkidən birləşdirici boltları etibarlı çəkib bərkitmək lazımdır.

OM-1 təmizləyicisində baraban  $100 \text{ san}^{-1}$  tezliyi ilə fırlanır və südün hərəkət etdirilməsi üçün lazımi basqını təmin edən basqı diski ilə təchiz edilmişdir. Təmizləyicinin məhsuldarlığı

1000 dm<sup>3</sup>/saat, qabariti 1210x500x750 mm, kütləsi 200 kq-dır. Elektrik mühərrikinin tələb olunan gücü 1,1 kVt-dır.

Müasir yuyucu vasitələr soyuducunun bölmələrini sökmədən aparatı yumağa imkan verir. Lakin uzun müddət sökülüb yuyulmamış soyuducudan çıxan südün bakterial çirklənməsi artır. Ona görə də lövhəşəkilli soyuducular dezinfeksiyaedici vasitələrlə çox diqqətlə yuyulduqdan sonra belə həftədə bir dəfədən az olmayaraq sökülməli və yuyulmalıdır.

Suvarma tipli soyuducularda süd üst hissədə (2/3 hissəsi) soyuq su ilə, alt hissədə isə duzlu su qarışığı ilə -5°C-dən az olmayan temperaturda soyudulur (şək. 26.8). Süd təxminən 4°C-yə kimi soyudulur.



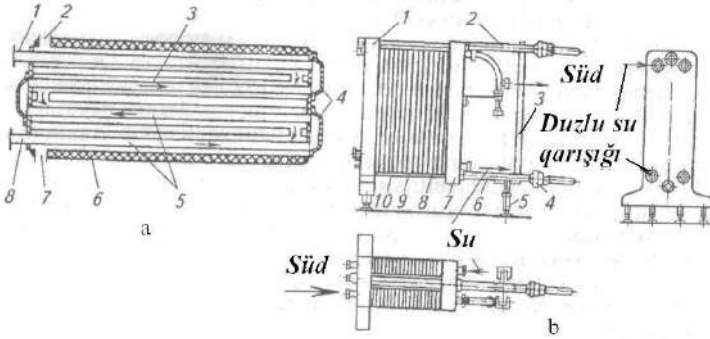
**Şək. 26.8. Suvarma tipli borulu soyuducu:**

1-bölüşdürücü növ; 2-su bölməsi; 3-duzlu su qarışığı bölməsi; 4-yığıcı bölməsi; 5-dayaq; 6-kollektor; 7-süd çıxarmaq üçün qşisa boru

Soyuducunun məhsuldarlığı südün, soyuq suyun və duzlu məhlulun başlanğıc və son temperaturundan asılıdır. Soyuducunun 1 m uzunluğuna normal yüklənmə 1000 dm<sup>3</sup>/saat, 1 dm<sup>3</sup> soyudulmuş südə 2...3 dm<sup>3</sup> su və 1,5...2 dm<sup>3</sup> duzlu su sərf olunur. Bu soyuduculardan həmçinin xamanın və dondurma məhsulunun

soyudulmasında da istifadə olunur.

Südün pasterezasiyasından sonra tez soyudulması üçün borulu və lövhəli tipli qapalı soyuduculardan istifadə olunur (şək. 26.9).



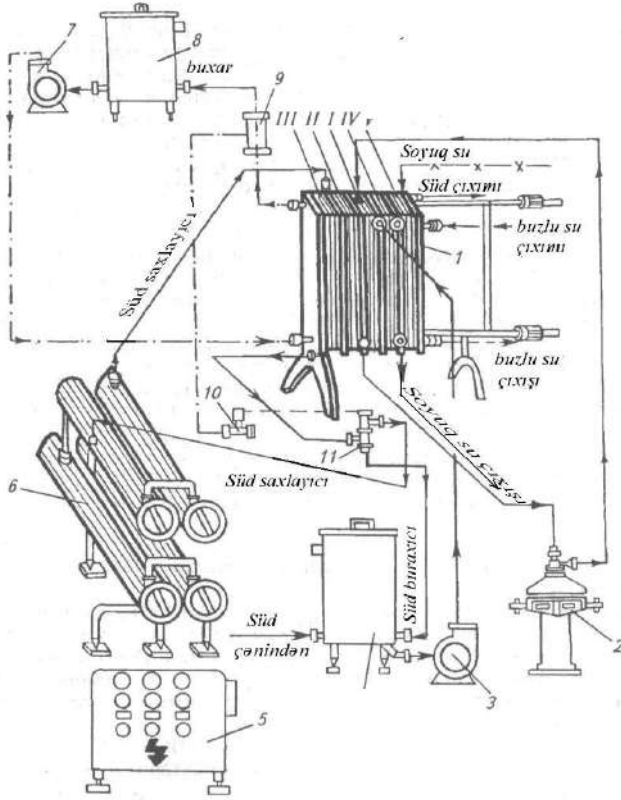
### Şək. 26.9. Qapalı soyuducular:

a) boru tipli soyuducunun sxemi: 1-soyudulan məhsulun çıxması üçün qısa boru; 2,7-soyuqluq daşıyanın giriş və çıxış qısa boruları; 3-xarici borucuqlar; 4-ayrılır; 5-daxili borucuqlar; 6-halqavari kanal; 8-soyudulmuş məhsulun giriş qısa borusu; b) lövhəli tipli soyuducu: 1- əsas dayaq; 2, 6- ştanqlar; 3-dayaq; 4-sıxıcı qayka; 5-bıçaqlar; 7-sıxıcı lövhə; 8-su ilə soyutma; 9-ayırıcı lövhə; 10-duzlu su ilə soyutma bölməsi

Boru tipli soyuducu (şək. 26.9.a) bir-birinin içərisinə geydirilmiş iki borudan ibarətdir. Borular öz növbəsində ümumi izolyasiya edilmiş köynəklə örtülüb. Soyudulan süd mərkəzi boru ilə hərəkət edir. Soyuqluq daşıyan isə əks istiqamətdə halqaşəkili aralıq boru ilə hərəkət edir.

Lövhəli tipli soyuducu (şək. 26.9.b) işçi səthi ayrı – ayrı lövhələrdən hazırlanmış istilikdəyişən aparatdır. O yuxarı və aşağı horizontal (üfiqi) ştanqlara malik əsas dayaqlardan, sıxıcı lövhələrdən və sıxıcı qaykalardan ibarətdir. Üst ştanqda qabırğalı səthi olan istilikdəyişən işçi lövhələr asılır. Onların arasında rezin araqatı hesabına kanallar yaranır ki, bu kanallarla soyudulan məhsul və soyuqluq daşıyan axır. Lövhəli soyuducunu xarakterizə edən əsas parametrlər istilikdəyişən lövhələrin tipi və sayıdır.

Lövhəli soyuducular lövhəsi pasterezəedici-soyuducu qurğulara daxildir. OPF tipli pasterezəedici-soyuducu qurğuya lövhəli soyuducu daxildir (şək. 26.10).



**Şək. 26.10. OPF tipli lövhəli pastemizəyici- soyuducu qurğunun sxemi:**

1-lövhəli aparat; 2-südtəmizləyici separator; 3-süd nasosu; 4-bərabərləşdirən çən; 5-idarəetmə pultu; 6-saxlayıcı; 7-su nasosu; 8-konveksiyaedici çən; 9-injektor; 10-buxarın verilməsini tənzimləyən klapan; 11-elektrik buraxıcı klapan

Lövhəli aparat beş bölməyə bölünür: birinci və ikinci regenerasiya pillələri, pastemizə, artesian suyu və buzlu su ilə soyudulma bölmələri. İstilik mübadiləsi paslanmayan poladdan hazırlanan nazik lövhələrlə ayrılan isti su və süd axımları arasında baş verir. Bölmələr bir-birindən xüsusi arakəsmə plitkələrlə ayrılır.

Yağ, pendir, xama, şor, qatıq və başqa süd məhsullarının hazırlanması texnoloji proseslərində soyutmadan geniş istifadə olu-



nur. Məsələn, yağın hazırlanmasında xama əvvəlcə soyudulur, yağ çalındıqda da onu soyudurlar ki, ayrına qarışmasın; pendirin hazırlanmasında xeyirli və ziyanverici mikrofloranın həyat tərzini tənzimləmək, müxtəlif temperatur şəraiti yaratmaq üçün soyutmadan istifadə olunur; pendirin duzlanmasında duzun pendir kütləsinə bərabər daxil olması üçün yetişmə prosesində – çıxımın artması və qurumanın azalmasının qarşısını almaq üçün soyutmadan istifadə olunur.

Südün tez soyudulması üçün avtomatlaşdırılmış lövhəli soyuducu qurğulardan istifadə olunur. Bu soyuducularda yüksək sanitariya-gigiyenik şərtlərə riayət olunmaqla südün soyudulması prosesi avtomatiki nizamlanmaqla qapalı axında baş verir. Avtomatlaşdırılmış lövhəli soyuducu qurğuların texniki xarakteristikaları cədvəl 26.1-də verilmişdir.

Cədvəl 26.1

**Avtomatlaşdırılmış lövhəli soyuducu qurğuların texniki xarakteristikaları**

Göstəricilər	Qurğunun tipi			
	OOT-M	OOU-M	001-U10	OOU-25
Məhsuldarlıq, //saat	3000	5000	10000	25000
Südün ilkin temperaturu, °C	30...35		20...25	
Soyudulmuş südün temperaturu, °C:	+2...+6			
Soyuqluq daşıyıcısının temperaturu, °C:				
ilkin soyudulma üçün	+8...+12			
son soyudulma üçün	-5...+1			
Sərfiyyat, m <sup>3</sup> /saat:				
artezian suyu	9	15	20	50
buzlu və ya duzlu su	9	15	30	50
Soyuducuda maksimum işçi təzyiq, MPa	0,3			
Soyuducunun ölçüləri, mm:				
uzunu	1300	1510	1600	2000
eni	665	665	700	800
hündürlüyü	1330	1330	1200	1530
Kütləsi, kq:				
soyuducunun	255	327	520	1175
qurğunun	310	382	650	1430

**26.1.5. Soyuducu tanklar.** Sütün soyudulması və +5...+6°C temperaturda müvəqqəti saxlanması üçün soyuducu tanklardan istifadə edilir. Tanklar şaquli silindrik (tutumu 1000, 1200 və 2000*l*) və düzbucaqlı üfiqi (tutumu 1600, 1800 və 2500 *l*) olurlar.

Tank TOM-2a sütün +36°C-dən +6°C-yə kimi soyudulması və saxlanması üçün nəzərdə tutulur. O, soyuducu maşından və elektrik mühərriki ilə işləyən qarışdırıcı süd vannasından ibarətdir. Vannanın divarları alüminiumdan hazırlanıb və xaricdən soyuq su ilə suvarılır. Su vannasının altında yerləşən soyuqluq akkumulyatorundan mərkəzdənqaçma nasos vasitəsi ilə verilir. Su FU12 kompressorlu soyuducu maşınla soyudulur.

Q2-OT2-A markalı tankı silindrik şaquli vannadan ibarətdir. Vannanın üst hissəsində iki qapağı var, dibində isə elektrik mühərriki ilə birləşdirilmiş qarışdırıcı yerləşir. Üzgəc qurğusu vannanı dolmadan qoruyur, yəni nasosun işini avtomatiki olaraq dayandırır. Vanna və silindrik gövdə arasında su köynəyi yerləşir. Köynəkdəki su tank və vannanın dibləri arasında qurulmuş ilanvari borudan daxil olan duzlu su ilə soyudulur.

Tankların texniki xarakteristikaları cədvəl 26.2-də verilmişdir.

Cədvəl 26.2

### Soyuducu tankların texniki xarakteristikaları

Göstəricilər	Soyuducu tanklar	
	Q2-OT2-A	TOM-2a
Həcmi, <i>l</i>	1200	1800
Qarışdırıcının fırlanma tezliyi, dövr/dəq	1000	1400
Elektrik mühərrikinin gücü, kVt	1	6,57
Qabarit ölçüləri, mm:		
uzunu	2075	4040
eni	1465	1670
hündürlüyü	1900	1764
Kütləsi, kq	570	1522

**26.1.6. Meyvə-tərəvəzin soyudulması.** Daşınma və uzun müddətli saxlanma üçün hazırlanan meyvə-tərəvəz havası intensiv dövr edən soyuducu kameralarda əvvəlcədən soyudulur.

Meyvə-tərəvəzin soyudulması üçün kameralar hazırlayıcı

meyvə soyuducularında, meyvə-tərəvəz konserv və şərəbçilik müəssisələrinin soyuducularında qurulur.

Hava soyuducuları vasitəsilə kamerada 0°C-dən -1°C-yə kimi temperatur və 85...95 % nisbi rütubət saxlanılır. Soyuducularda yeşiklər şahmat şəklində yerləşdirilir. Soyutma zamanı kamerada havanın intensiv dövr etməsi təmin edilir (60...120 həcm/saatda). Meyvələrin +25°C-dən +4°C-yə kimi soyudulma müddəti 20 saat təşkil edir.

Kameraların sutkalıq məhsuldarlığı 20000...100000 kq-dır.

Meyvə-tərəvəzin saxlanması üçün (əsasən çərdəklilərin) tən-zimlənen qaz mühitindən istifadə olunur. Karbon qazının qatılığı-nın artırılması və oksigenin azalması meyvələrin tənəffüsünü azaldır, fizioloji xəstəliklərin qarşısını alır, meyvələrin təminin və iynin daha yaxşı saxlanmasına səbəb olur. Burada itkilər 2...3 dəfə azalır, saxlanma müddəti 1,5...2 dəfə artır.

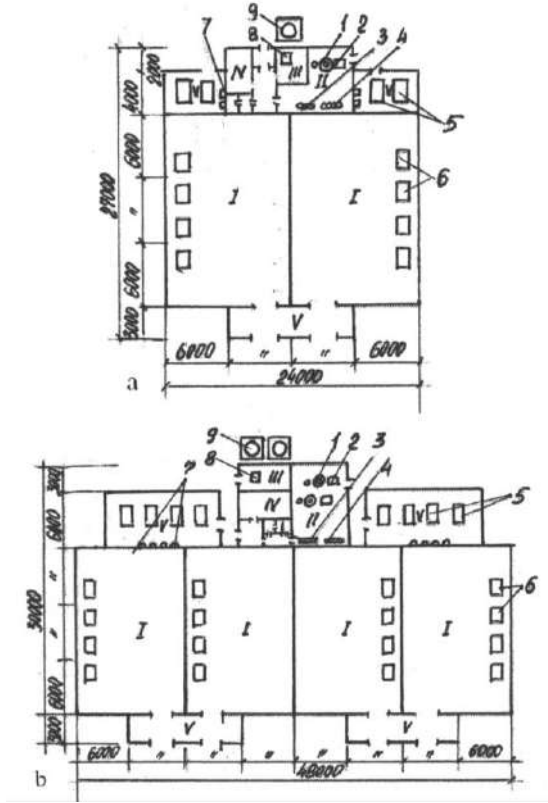
Meyvə və giləmeyvələrin temperatur – nəmlik rejimləri və soyuq saxlama müddətləri Beynəlxalq Soyuqluq İnstitutu tərəfin-dən verilmişdir (cədvəl 26.3).

Cədvəl 26.3

**Meyvə və giləmeyvələrin temperatur – nəmlik rejimləri və soyuq saxlanma müddətləri**

Meyvə və giləmeyvələr	Saxlama temperaturu, °C	Havanın nisbi rütubəti	Təxmini saxlama müddəti
Ərik	-1...0	90	2...4 həftə
Heyva	0...+4	90	2...3 ay
Portağal	+2...7	85...90	1...6 ay
Üzüm	-1...0	85...90	3...5 ay
Gilas	-1...0	85...90	1...4 həftə
Nar	+1...2	90	2...4 ay
Armud	-1,5...+1	90	1...6 ay
Böyürtkən	-1...0	90	5...7 gün
Çiyələk (meşə)	0	85...90	1...5 gün
Əncir	-1...0	90	7...14 gün
Moruq	0	85...90	3...5 gün
Qarağat	0	90	2...3 həftə
Alma	-1...4	90	2...8 ay
Xirnik (xurma)	-0,5...0	85...90	3 həftədən çox

Meyvələrin saxlanması üçün tənzimlənən qaz mühitli xüsusi-  
ləşdirilmiş soyuducular hazırlanır. Bu soyuducuların tutumu 500  
və 1000 tondur. Kameralarda XMF32 soyuducu kompressor-kon-  
densator aqreqlərindən və qaz mühitinin tənzimlənməsi üçün  
URQS-2B qurğusundan istifadə olunur (şək. 26.11).



**Şək. 26.11. Meyvələr üçün 500 (a) və 1000 ton (b) həcmli soyuducuların planı:**

I-qaz mühitinin tənzimlənməsi ilə saxlama kamerası; II-qaz mühitləri stansiyası; III-nasos stansiyası; IV-elektrik lövhəsi; V-çardaqlar; 1-A02B təmizləmə aparatı, 2-QNS2B neytral mühit generatoru, 3-yığıcı kollektor, 4-paylayıcı kollektor, 5- XMF32 kompressor-kondensator aqreqləri, 6-hava soyuducusu, 7-ŞOA5922-3974-U2 idarəetmə şkafları, 8-1A12-50-2A qaz üfürücüsü, 9- QPV-80 qurğusu

İzotermiki vaqonlarda uzaq məsafələrə meyvə-tərəvəzin daşınması zamanı onlar ventilyatorlarla soyuq hava ilə üfürülür.  $-1^{\circ}\text{C}$ -dən  $-2^{\circ}\text{C}$ -yə qədər temperaturda verilən hava meyvə –tərəvəzi 10...12 saat ərzində  $+4^{\circ}\text{C}$  temperaturda saxlamağa imkan verir. Vakuüm soyudulması vakuümdə meyvə-tərəvəzdən nəmliyin bir qismini almaqla yerinə yetirilir. Meyvə tərəvəzdən gizli buxarlanma istiliyi alınır, temperatur aşağı düşür. Vakuüm soyudulması xüsusi metal kameralarda yerinə yetirilir. Vakuüm buxar ejetorları maşınlarında yaranır. Buxarlanan nəmliyin miqdarı 2...3 % təşkil edir. Vakuüm altında soyudulma tez, yəni 20...25 dəqiqə ərzində baş verir.

Hidrosoyudulma meyvə-tərəvəz doldurulmuş zənbillərin buzlu suya salınması və ya suvarılması ilə yerinə yetirilir. Belə soyudulma 10...30 dəqiqə ərzində baş verir. Tez xarab olan, tez tərəvətini itirən tərəvəzlər isti mövsümdə qar (xırda buzla örtülmə) ilə soyudulur.

## 26.2. Yeyinti məhsullarının dondurulması

**26.2.1. Prosesin xarakteristikası.** Yeyinti məhsullarının tərkibində olan nəmliyin tam və ya qismən buza çevrilməsi nəticəsində soyuqluq emalı prosesinə dondurulma prosesi deyilir. Məhsulları (quş əti, balıq, melanj, meyvə, giləmeyvə, tərəvəz, süd məhsulları)  $-15^{\circ}\text{C}$  temperaturda donduraraq uzun müddətli saxlamaq üçün hazırlayırlar. Soyudulmuş məhsuldan fərqli olaraq dondurulmuş məhsullar, susuzlaşdırılma və aşağı temperaturların təsiri nəticəsində mikroorqanizmlərin inkişafının dayandırılmasından daha uzun müddət saxlanıla bilər.

Əsas dondurulan məhsulların krioskopik temperaturu  $-0,5^{\circ}\text{C}$ -dən  $-2,5^{\circ}\text{C}$ -yə kimidir. Dondurulmanın əvvəlində yaranan kristallar əsasən təmiz sudan ibarət olur, şirədə həll olmuş maddələr maye fazasında qalır. Məhsulda olan məhlulun tam donması yalnız kriohidrat və ya evtektik temperaturda baş verir.

Dondurulmuş məhsulun mərkəzindəki sonuncu temperatur

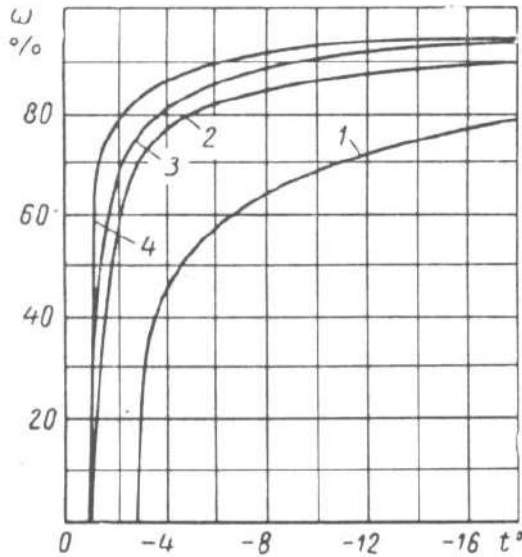
$$t_{os} = \frac{t_{sm} + t_{sü}}{2}, \quad (26.1)$$

burada  $t_{os}$ - dondurulmuş məhsulun orta son temperaturu olub, saxlama kamerasının temperaturuna bərabərdir;

$t_{sü}$ - məhsulun üst qatının son temperaturu  $t_{sü}=(0,8\div 1)t_h$ ;

$t_h$ - dondurma kamerasında havanın temperaturu.

Məhsulda dondurulmuş suyun miqdarı yalnız məhsulun dondurulmasına qədər olan temperaturundan asılıdır. Qrafiki asılılıqlar göstərir ki, məhsulda olan suyun yarısından çoxu  $-4^{\circ}\text{C}$ -dən  $-5^{\circ}\text{C}$ -yə kimi dondurulur (şək. 26.12). Temperaturun sonrakı azalması zamanı dondurulan suyun miqdarı kəskin dərəcədə azalır.



**Şək.26.12. Dondurulmuş su miqdarının temperaturdan asılılığı:**

1-almalar, armudlar, gavalı; 2-ət və quş; 3-balıq; 4-yumurta

Dondurmanın maksimum sürəti prosesin əvvəlində, məhsulun üst qatında olur. Dondurma yavaş (donma sürəti  $0,1\dots 1$  sm/saat), intensiv (sürət  $1\dots 5$  sm/saat) və tez (sürət  $5\dots 20$  sm/saat) olur.

Yavaş donmada hüceyrələrarası məsafədə iri buz kristalları əmələ gəlir. Don açıldıqda belə məhsul öz ilkin formasını almır. Tez dondurulmada məhsulda eyni bərabərdə yayılmış xırda buz kristalları yaranır. Belə məhsulun donu açıldıqda o öz ilkin xassə-

lərini bərpa edir.

**26.2.2. Dondurulma müddətləri.** Dondurulma müddətinin nəzəri təyin etmək çətindir. Bu məsələnin həllində R.P.Plank bir sıra sadələşmələrə yol verir: məhsul donmadan əvvəl bütün həcmi boyu krioskopik temperatura kimi soyudulur; məhsulun üst səthində istilikvermə əmsalı və xarici istilik ayıran mühitin temperaturu sabit olur; məhsulun dondurulmuş hissəsinin istilik tutumu buz əmələgətirmənin istiliyi ilə müqayisədə çox az olur; məhsulun suyu müəyyən temperaturda donur; proses ərzində donmuş layın istilikkeçirmə əmsalı dəyişmir; cismin mərkəzi hissəsində ayırma sərhədlərinin yaxınlaşması ilə proses bitmiş hesab olunur. Bunları nəzərə almaqla Plank məhsulun donma müddətinin müəyyən edilməsi üçün aşağıdakı düsturları əldə etmişdir:

Lövhəşəkilli məhsullar üçün iki tərəfli dondurulmada (ət blokları, yarımcəmdəklər, balıq döşü blokları, ensiz balıqlar)

$$\tau = \frac{q_3 \rho \delta}{29 \lambda_m \Delta t} \left( \delta + \frac{4 \lambda_m}{\alpha} \right), \text{ saat} \quad (26.2)$$

silindr formalı məhsullar üçün (iri balıqlar, cəmdəyin bud hissəsi)

$$\tau = \frac{q_3 \rho \delta}{58 \lambda_m \Delta t} \left( \delta + \frac{4 \lambda_m}{\alpha} \right), \text{ saat} \quad (26.3)$$

şar formalı məhsullar üçün (pendir, meyvə və tərəvəz)

$$\tau = \frac{q_3 \rho \delta}{87 \lambda_m \Delta t} \left( \delta + \frac{4 \lambda_m}{\alpha} \right), \text{ saat}, \quad (26.4)$$

burada  $q_3$ - 1kq məhsulun donma istiliyi ( $q_3 = \varphi \omega r_3$ );

$\varphi$ - məhsulun nəmliyi;

$\omega$ - son orta donma temperaturunda donmuş suyun payı;

$r_3$ - xüsusi bərkimə istiliyi, təcrübi hesabatlarda  $r_3 = 335$  kCoul/kq qəbul olunur.

$\rho$ - məhsulun sıxlığı, kq/m<sup>3</sup>;

$\delta$ - lövhənin eni, silindr və ya şarların diametri, m;

$\lambda_m$ - donma prosesinin orta temperaturunda məhsulun

istilikkeçirmə əmsalı,  $Vt/(m \cdot dər)$ ;

$\Delta t$ - məhsulun krioskopik temperaturu ilə soyudan mühitin temperaturu arasındakı fərqi,  $^{\circ}C$ .

Düzbucaqlı paralelepiped formalı məhsullar üçün (ət və içəlatın, düzbucaqlı metal formalarda dondurulması, qablaşdırılmış məhsullar)

$$\tau = \frac{q_3 \rho \delta}{3,6 \lambda_m \Delta t} \left( R \delta + P \lambda_m \left( \frac{l}{\alpha} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \right), \quad (26.5)$$

burada  $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$  - məhsulun üst səthinin aralıq laylarının və soyu-

dulan mühitin istilik müqavimətlərinin cəmi (metal divarlar, qablaşdırıcılar, hava araqaatları və s.),  $m^2 \cdot dər/Vt$ ;

$\delta$  - lövhənin düzbucaq tərəfinin ən kiçik xətti ölçüsü (paralelepipedin eni),  $m$ ;

$R$  və  $P$ - köməkçi əmsallar.

İstiliyin ikitərəfli ( $R=0,125$ ;  $P=0,5$ ) ayrılmasında (26.5) düsturu (26.2) düsturu ilə analogi olur.

Soyudan mühitin temperaturunun azalması  $t_m$ , dondurulan məhsulun qalınlığının azalması  $\delta$  və məhsuldan mühitə istilikvermə əmsalının artması donma prosesinin sürətlənməsinə həlledici təsir göstərir.

Soyudulan mühtinin temperaturunun azalması dondurma müddətini azaldır, eyni zamanda soyuqluq istehsalı ilə bağlı enerji və sərmayə xərcləri artır. Təcrübədə məhsulların dondurulması üçün  $-20^{\circ}C$ -dən  $-40^{\circ}C$ -yə kimi temperaturdan istifadə olunur.

**26.2.3. Donma üçün sərf olunan soyuğun hesabı.** Məhsulun ilkin temperaturdan krioskopik temperatura qədər əvvəlcədən soyudulmasını nəzərə alsaq dondurulma üçün sərf olunan soyuğun hesabı aşağıdakı kimi olar:

$$Q = G_n \left[ c_0 (t_n - t_{kp}) + \varphi \omega r_3 + c_m (t_{kp} - t_{ck}) \right], \quad kCoul, \quad (26.6)$$

burada  $G_n$ - dondurulmuş məhsulun miqdarı,  $kq$ ;

$c_0$ - donmamış məhsulun istilik tutumu (soyudulmada),



$k_{Coul}/(kq \cdot d\text{ər});$

$c_m$  - donma prosesinin orta temperaturunda donmuş məhsulun istilik tutumu,  $k_{Coul}/kq$ -dərəcə.

Soyuluq sərfi, həmçinin, donmuş məhsulun miqdarının və donma prosesinin əvvəli və sonunda entalpiya fərqinin hasili kimi də hesablanı bilər.

Dondurucu qurğunun soyuducu cihazlarına orta istilik yükü soyuqluq sərfinin prosesin davam etmə müddətinə nisbəti kimi hesablanır.

**26.2.4. Kameralı və tunel tipli dondurucular.** Ət əsasən cəmdəklərdə, yarımcehdəklərdə və dördüdə bir hissə ilə dondurulur. Belə şəkildə əti və müxtəlif növ iri balığı asılı vəziyyətdə kameralı və tunel tipli dondurucularda dondururlar.

Kameralı və tunelli dondurucular aşağı temperatur almaq üçün soyuducu cihazlarla və asqı yolları ilə təchiz edilir.

Soyuducularda təbii dövretməli, hava yolu, divar və tavan batareyalı dondurucu kameralara tez – tez rast gəlmək olar.

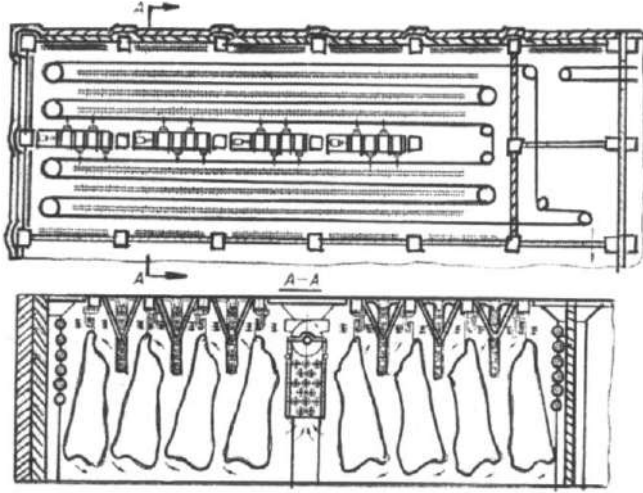
Havası təbii dövretməli dondurucular aşağı temperaturun olmasına baxmayaraq aşağıdakı müvafiq çatışmamazlıqlara malikdirlər: baxmayaraq ki, orada  $-25^{\circ}\text{C}$  temperatur alınır, kameranin daxilində temperaturun olması; məhsulun yavaş-yavaş dondurulması, hansı ki,  $-23^{\circ}\text{C}$  temperaturu almaq üçün azı iki sutka vaxt lazımdır.

Donma müddətini azaltmaq üçün məcburi dövretməli hava kameralı dondurucudan istifadə olunur (ejektorlu soyuqluq sistemi).

Ejektorlu sistemli dondurucularda soyuducu batareyadan başqa hava soyuducuları da quraşdırılır (A.P.Şeffər sistemi). Belə kameralarda donma müddəti havası təbii dövretməli dondurucularla müqayisədə 20...25 % azalır.

Kameralı dondurucunun intensivliyi konstruksiyadan və soyuducu batareyaların yerləşməsindən asılıdır. Bircərgəli batareyalar həm tavanda, həm divarlarda, həm də kameranin hündürlüyü boyu asqı yolları arasında quraşdırıldıqda çox səmərəli olur (şək.26.13). Soyuducu batareyaların belə yerləşməsində donduru-

lan cəmdəklər havanın yüksək dövr edən zonasında, batareyaların yaxınlığında yerləşir. Burada konvektiv və şüa istilik dəyişməsi yaxşılaşır. Sütunlar arasında kameranın uzununu boyunca hava soyuducularından istifadə etdikdə soyuducu batareyaların işini intensivləşdirməyə və onların səthini azaltmağa imkan verir.



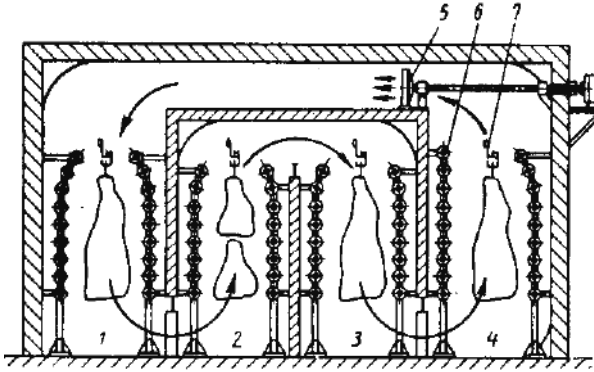
**Şək. 26.13. N.A.Qerasimov sistemi ilə işləyən bircərgəli batareyalı və hava soyuduculu kameralı dondurucu**

Ammonyakın qaynama temperaturu  $-40^{\circ}\text{C}$  və üst zonada havanın dövr etmə sürəti 2 m/san olduqda dondurma müddəti 20...25 saat təşkil edir.

Ət yarımçəmdəklərini və 1/4 cəmdəkləri dondurmaq üçün bəzi soyuducular tunelli dondurucular ilə təchiz olunur (şək.26.14).

Tunellər dondurucu kameranın yük boşluğunda yerləşir.

$6 \times 6 \text{ m}^2$  sahədə asqı yolu olan dörd tunel yerləşir. Tunellər havanın keçməsi üçün deşikli arakəsmələrlə ayrılır. Tunellər boyunca bircərgəli qabırğalı divar batareyaları quraşdırılır. Ventilyatorlarla qovulan hava ardıcıl olaraq tunellərdən 3...3,5 m/san sürətlə keçir. Yaxşı şüa və konvektiv istilikdəyişmə hesabına yükləmə və boşaltmanı nəzərə alsaq  $-35^{\circ}\text{C}$  temperaturda dondurma müddəti 14 saat təşkil edir.



**Şək. 26.14. Tunelli dondurucu:**

1, 2, 3, 4-tunellər; 5-ventilyator; 6-soyuducu batareyalar; 7-asqı yolları

Dondurucunun layihə məhsuldarlığı sutkada 10 ton olduğundan, bu da 1 m<sup>2</sup>-dən 2,8 dəfə çox dondurulmuş ət götürməyə imkan verir. Tunellərin yüklənməsi və boşaldılması mexanikləşdirilib, hər bir dondurucu sahə itələyicili fərdi zəncirli konveyerlə təchiz olunmuşdur. Bunlar da diyircəklərə asılmış ətləri asqı yolu boyunca hərəkət etdirirlər.

### 26.3. Tezdondurucu aparatlar

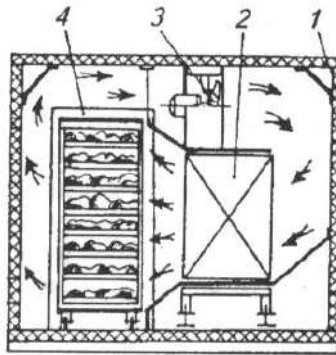
Tezdondurucu aparatlar məhsulun soyudulma üsulundan və onları nəql etdirən vasitələrin növündən asılı olaraq tunelli, arabalı, konveyerli və qravitasialı olurlar.

Tunelli ACMT tezdondurucu aparat dondurucu kameradan, buxarlandırıcılardan, hava soyuducusunun ventilyatorlarından və arabadan ibarətdir (şək.26.15).

Dondurulacaq məhsul yeşiklərə yığılaraq arabalara yüklənir və dondurucu kameraya soyuq hava axınına perpendikulyar yerləşdirilir. Qabırğalı-borulu buxarlandırıcılardan keçən hava -35°C temperatúra kimi soyudulur. Onun dövr etməsi oxlu ventilyator vasitəsilə yerinə yetirilir.

Məhsulun -18°C-yə qədər dondurulması (başlanğıc temperatür 20°C) müddəti 3,4...4 saatdır. Kameranın uzunluğundan asılı

olaraq (2600, 3800, 4400 və 5600 mm) arabaların sayı 3...6-dır.



**Şək. 26.15. ACMT tunnel tipli tezdondurucu aparat:**

1-dondurucu kamera; 2-buxarlandırıcı; 3-ventilyator; 4-məhsulla yüklənmiş araba

ACMT tezdondurucu aparat tsikl prinsipi ilə işləyir – işçi dondurma tsikli hazırlayıcı tsikllə əvəz edilir ki, bu zaman hava soyuducusunun borularına nasosla qar örtüyünü əritmək üçün isti su verilir. Ərimiş su xüsusi altlığa axır.

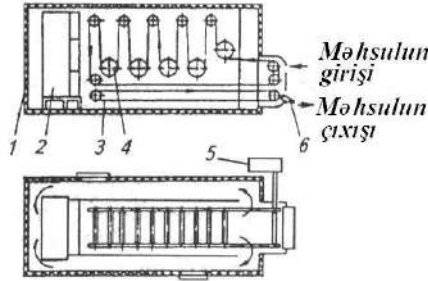
**26.3.1. Arabalı tezdonduran aparat.** Bu aparat konstruktiv cəhətdən aşağı temperaturlu yığma kameradan fərqlənmişdir. Əsas fərqi – daha çox güclü soyuducu sistemdən istifadədədir. Soyuducu aqreqat yalnız ammonyakla işləyir. Çatışmazlıqları aparatın uzunluğundan pis istifadə olunması və yükləmə-boşaltma əməliyyatlarında çoxlu əl əməyindən istifadə edilməsidir.

Konveyerli tezdondurucu aparatlar yükləyici bölmədən və hava soyuducularından ibarətdir. Bu aparatlar konveyerin növünə görə lentli və zəncirli (ziqzaq və spiral şəkilli) konveyerlidir.

Lentli konveyerlərdən adətən qablaşdırılmış məhsul dondurmaq üçün istifadə olunur. Spirallı konveyerli dondurucu aparatlardan ət və balığın dondurulmasında istifadə olunur. Onlar refrijerator – gəmilərdə quraşdırılır. Mürəkkəb konstruksiyasının olmasına baxmayaraq, bu tip aparatlar başqaları ilə müqayisədə kiçik qabaritli və yüksək məhsuldarlıqlıdır.

Ə10-FAU tezdonduran universal aparat dondurucu kamera-

dan, hava soyuducusundan, konveyerlərdən və intiqaldan ibarətdir (şək. 26.16).



**Şək. 26.16. 10-FAU tezdonduran universal aparat:**

1-dondurucu kamera; 2-hava soyuducusu; 3,4-konveyerlər; 5-intiqal; 6-tabaq

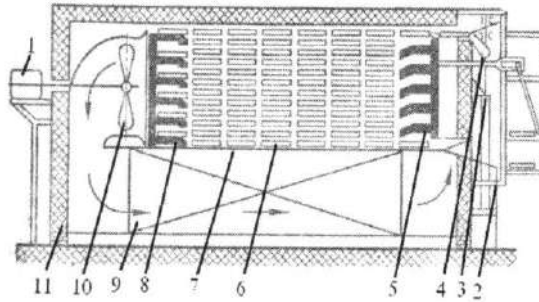
Konveyerlər çox sürətli bir intiqaldan hərəkətə gətirilir. Məhsul konveyerin işçi orqanının iki səthindən birinə yüklənir. Hava borulu buxarlandırıcıda  $-30...-35^{\circ}\text{C}$  temperatúra kimi soyudularaq hərəkət edən məhsulu əhatə edir. Dondurma prosesinin sonunda məhsul alt konveyerə verilir və boşaldıcı tabaqla (lotokla) aparatdan çıxarılır. Dondurulan məhsulun aparatda qalma müddəti konveyerin sürəti ilə nizamlanır və  $0,8...3,5$  saat təşkil edir.

10-FAU aparatında soyuducu agent kimi sistemdə nasos vasitəsi ilə dövr edən ammoniyakdan istifadə olunur. Ətin soyudulmasında aparatın məhsuldarlığı  $500...1000$ , dondurulmasında  $300...500$  kq/saatdır.

**26.3.2. Qravitasiyalı dondurucu aparatlar.** Bu aparatlar heyvan və bitki mənşəli məhsulların blok – formalarda və ya qutularda dondurulmasında istifadə edilir. Blok-formalar yastıqlı xüsusi karetkaya (arabaya) yığılır. Aparatın daxilində karetkalarla hərəkət edir. Hər cərgənin sonunda karetkaya xüsusi mexanizmlə (daraqlar) ağırlıq qüvvəsi təsirindən aşağıdakı istiqamətləndirici (rels) səviyyəsinə endirilir. Aparatın hündürlüyünə görə

istiqlamətləndiricilərin uzunluğunun sıra sayı onun məhsuldarlığını təyin edir (şək. 26.17).

QKA-4 tezdondurucu qravitasiyalı konveyer aparatında məhsuldarlığı (istiqlamətləndiricilərin sayı 12, 10, 8) müvafiq olaraq 21,5; 18,2 və 14 t, başlanğıc temperaturu 18°C olan ət -18°C temperatura kimi soyudulur. Konveyerli tezdondurucularla müqayisədə bu tezdondurucular metal və enerji sərfinə görə daha səmərəlidir.



**Şək.26.17. QKA-4 qravitasiyalı tezdondurucu konveyerli aparat:**

1-elektrik mühərriki; 2-maili törpənməz püpitir (ştativ); 3-qaldırıcı vint; 4-stolun platforması; 5, 8-daraqlar; 6-tava; 7-rəf; 9-soyuducu batareyalar; 10-ventilyator; 11-termoizolyasiyalı kamera

Aparatda hava bir istiqamətdə dövr edir. Yükləyici bölmədən ventilyator havanı soranda soyuducu batareyalara vurur (soyudulan havanın temperaturu -35°C).

## 26.4. Plitkəli soyuducu aparatlar

Bloklarda olan müxtəlif qida məhsullarını plitkəli aparatlarla dondururlar. Eyni məhsuldarlığı olan hava dondurucularla müqayisədə onlar 1,5 dəfə az sahə tuturlar və bu aparatlarda xüsusi enerji sərfi 25...30 % aşağıdır.

Plitkəli aparatların əsas işçi orqanı – soyuducu agentin keçməsi üçün kanalı olan alüminium plitkələrdir.

Hər bir dondurucu plitka soyuducu qurğunun qovucu və sorucu kollektorları ilə yumşaq rezin boru vasitəsilə birləşir. Daxilində soyuducu agent dövr edən dondurucu plitkalar blok-formada yerləşən məhsula sıxılır (5...100 kPa təzyiqlə).

Aralıq soyuqluq daşıyanın olmaması, məhsulun dondurucu plitka ilə yaxşı kontaktı və aparatın yığcamlığı, ətin bloklarda pirlətəli aparatda dondurulması prosesini hava ilə dondurma prosesinə nisbətən 2-3 dəfə intensivləşdirir.

Dondurulmuş blokların qalınlığı 65...100 mm, onların kütləsi 0,2-dən 12 kq-a qədər kimi dəyişə bilər. Adətən dondurma dondurucu plitkalarda soyuducu agentin temperaturu -35...-40°C olduqda aparılır.

Dondurucu plitkaların yerləşməsindən asılı olaraq üfqi, şaquli və rotorlu aparatlar mövcuddur.

Ət və süd kombinatlarında FBM-1 və FBM-2 membranlı aparatlar və MAR, ARSA və URMA avtomatlaşdırılmış rotorlu aparatlar geniş yayılmışdır.

İş prinsiplərinə görə membranlı aparatlar şaquli plitkalılardan fərqlənir, effektivliyinə görə isə rotorlulardan geri qalırlar.

Rotorlu aparatlarda məhsul bloklarda iki və ya üç plitkalı bölmələrdə dondurulur. Bölmələr bir – biri ilə radial birləşərək rotor əmələ gətirir. Boş üfqi val dondurucu plitkalara soyuducu agentin verilməsi üçün istifadə olunur.

Rotorlu aparatlar tsikl prinsipi ilə işləyirlər, yəni bir dondurucu kamerada yükləmə – boşaltma əməliyyatı getdikdə o birilərinə dondurma prosesi gedir. Bəzi rotor aparatlarının texniki xarakteristikaları cədvəl 26.4-də verilmişdir.

Avtomatlaşdırılmış rotorlu dondurucu aparat APCA-10 özüldən, ikipirlətəli dondurucu bölmələri olan rotordan və yükləyici-boşaldıcı qurğudan ibarətdir (şək.26.18). Məhsulun bloklara yığılmasından başqa bütün əməliyyatlar avtomatlaşdırılmışdır. Aparat aşağıdakı kimi işləyir. Yükləmə vəziyyətində dondurucu bölmənin plitkalararası məsafəsinə məhsul yüklənir(dörd xana – blokun hərəsində 10...12 kq). Hər bir xanaya parafinlənmiş perqament kağızı və ya polietilen qoyulur ki, məhsulun plitkaya yapışmasının qarşısı alınsın. Donma prosesi rotorun üç dövrünə baş

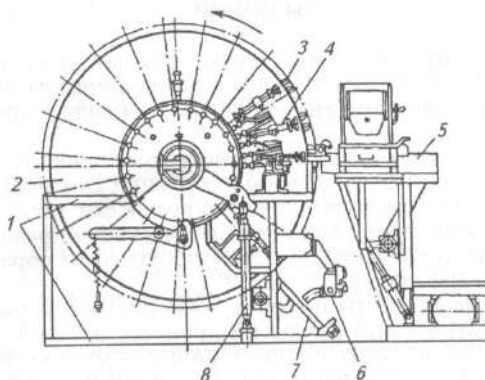
verir.

Cədvəl 26.4

### Rotorlu aparatların texniki xarakteristikaları

Göstəricilər	MAP -8AM	APCA-10	APCA-3-15	URMA
Məhsuldarlığı, kq/saat	460	500	680	680...900
Aparatın tutumu, kq	1012	1080	1320	1320
Sayı:				
dondurucu bölmələrin	23	27	15	15
bölmədədə plitkaların	2	2	3	3
Temperatur, °C:				
soyuducu agentin	-28	-40	-40	-40
blokda məhsulun son				
temperaturu	-18	-18	-23	-22
Dondurma müddəti, dəq	120	60...90	60...80	60...80
Xüsusi soyuqluq sərfi,	105	105	105	116
Vt/kq				
Qabarit ölçüləri, mm	4345x x4000x x2360	4300x 4000x x2340	4900x x4200x x2200	4775x x4000x x2400
Kütləsi, kq	7500	8000	8500	8000

Bundan sonra məhsul boşaldılır və saxlanma yerinə nəql etdirilir.



**Şək. 26.18. APCA-10 avtomatlaşdırılmış rotorlu dondurucu aparat:**

1-özül; 2-rotor; 3-dondurucu plitka; 4-plitkaları açmaq üçün qurğu; 5-yükləyici qurğu; 6-boşaldıcı qurğu; 7-donmuş bloklar üçün qəbul tabağı; 8-rotorun intiqalı



APCA-3-15 və URMA aparatlarında bloklar üç plitkəli bölmələrdə dondurulur.

Universal dondurucu aparat URMA müxtəlif növ qida məhsullarının dondurulması üçün istifadə olunur.

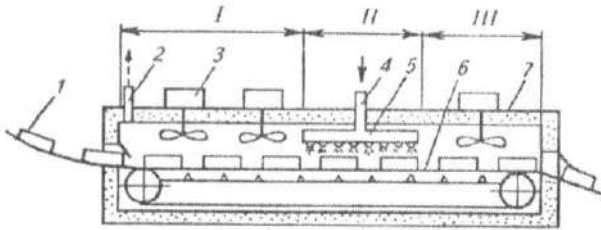
## 26.5. Kriogen dondurucu aparatlar və xətlər

Qida məhsullarını dondurmaq üçün aşağı temperaturlar soyuducu agentin (ammonyak, freonlar) və ya kriogen mayələrin (maye azot, karbon dioksidi) qaynaması nəticəsində alınır.

Kriogen mayələr – bir dəfə istifadə edilən soyuqluq daşıyanlardır. Kriogen aparatlar və xətlər iki qrupa bölünür. Birincidə emal olunan məhsul kriogen maye ilə bilavasitə təmasda olur. İkinci qrup aparatlarda məhsul və kriogen maye arasındakı istilik-dəyişmə əlavə termiki müqaviməti olan elementlərdən (qablaşdırıcı material, blok-formanın metal səthi və ya nəqlədirici konveyer) keçərək baş verir.

Öz növbələrində hər iki qrupun aparatları qaynayan (kriogen mayələr, freonlar) və qaynamayan soyuqluq daşıyıcılı (duzlu məhlullar) olurlar.

Maye azot püskürücülü aparat daxilində yükləyici konveyer, ventilyatorlar, püskürücü qurğu, məhsulun yüklənməsi və boşaldılması üçün konveyerlər olan istilik izolyasiyalı qutudan ibarətdir (şək.26.19). Məhsulun hərəkətinə görə o üç zonaya bölünür.



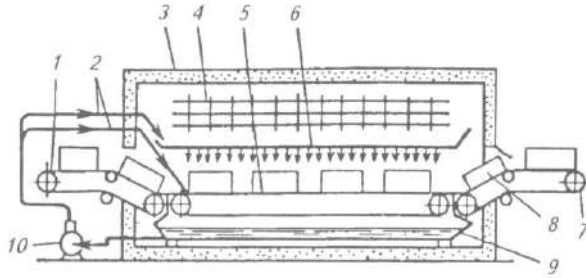
### Şək.26.19. Maye azot püskürücülü aparatın sxemi:

I-məhsulun ilkin soyuma zonası; II-suvarma zonası; III-temperaturun bərabərləşmə zonası; 1-məhsul bloku; 2-qaz şəkilli azotun çıxarılması üçün boru kəməri; 3-ventilyator; 4-maye azotun verilməsi üçün boru kəməri; 5-püskürücü qurğu; 6-yükləyici konveyer; 7-istilik izolyasiyalı qutu

Birinci zona ondan sonraki zonalardan daxil olan soyuducu agentlərin buxarı ilə (-1...-5°C) məhsulun ilkin soyudulması üçündür. Burada ventilyatorların hesabına buxarların hərəkət sürəti 20...30 m/san-yə çatır. Orta zonada məhsul püskürücülər vasitəsilə suvarılaraq son temperatura qədər (-20...30°C) dondurulur. Axırınıcı zonada maye azotun qalıqları buxarlanır və temperatur sahəsi bərabərləşir. Bu zonada da ventilyatorlar quraşdırılır.

Ət üçün xəttin məhsuldarlığı 100...200 kq/saat-dır. 1 kq dondurulmuş məhsula maye azotun xüsusi sərfi 0,8...1,2 kq və enerji sərfi 0,035...0,08 kVt-dır. Saatlıq məhsuldarlığından asılı olaraq avadanlığın kütləsi 1000-dən 2000 kq-a kimidir.

Hal – hazırda freonlu dondurucu aparatlar geniş yayılmışdır (şək. 26.20). Soyuducu agent kimi sərbəst flüordan təmizlənmiş freondan istifadə olunur.



**Şək. 26.20. Freonlu dondurucu aparatın sxemi:**

1-yükləyici konveyer; 2- maye freon verilməsi üçün boru kəməri; 3- istilik izolyasiyalı qutu; 4-kondensator; 5-yük konveyeri; 6-suvarıcı qurğu; 7-boşaldıcı konveyer; 8-dondurulan məhsul bloku; 9-altlıq; 10-nasos

Freonlu dondurucu aparat istilik izolyasiyalı qutudan, kondensatordan, suvarıcıdan, yük konveyerindən, soyuducu agentin verilməsi və çıxarılması sistemindən və həmçinin yükləyici və boşaldıcı konveyerlərdən ibarətdir.

Məhsul konveyerlə soyudulma zonasına, sonra donma zonasına verilir. Burada suvarıcı qurğu ilə maye freon püskürülür. Məhsul dondurulduqdan sonra temperaturun bərabərləşmə zonasına verilir və sonraki emal və saxlama üçün boşaldılır. Yük konteynerinin üst hissəsində freon buxarlarını kondensasiya etmək

üçün soyuducu qurğu ilə soyudulan kondensator yerləşir.

Aparat yığcamdır, yığılması sadədir və donmuş məhsulun kütlə itkisi minimum olur. Freon aparatlarında soyuducu agent bir neçə dəfə istifadə olunur, ancaq istismar zamanı sistemin germetikliyinə diqqət yetirmək və müntəzəm olaraq ona maye freon əlavə etmək lazımdır.

## **26.6. Yeyinti məhsullarının soyuducularda saxlanması**

Soyudulmuş və dondurulmuş məhsullar soyuducuların kameralarında saxlanılır. Saxlama kameralarında quraşdırılan xüsusi avadanlıqlar, yəni soyuducu batareyalar, hava soyuducuları məhsulları maksimum müddətdə saxlamaq üçün temperatur – nəmlik rejimləri yaradır.

**26.6.1. Məhsulların saxlanma şəraiti.** Məhsulların saxlama kameralarında temperatur – nəmlik rejimini saxlamaq lazımdır. Saxlanılan məhsullar əvvəlcədən soyudulur və ya dondurulur. Havanın temperaturu birdən – birə düşdükdə ventilyasiya və havanın qurudulması kifayət qədər olmadıqda nəmlik məhsulun üzərində kondensasiya edə bilər. Bu hal soyudulmuş məhsullar üçün əsasən ziyanlıdır.

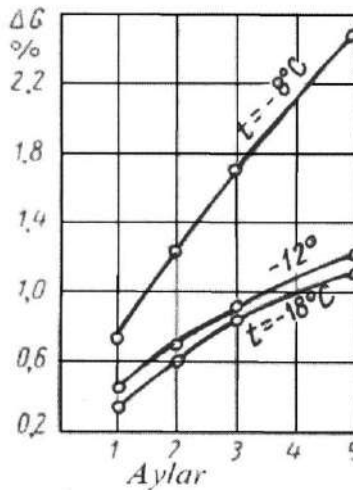
Kameranın havasının temperaturu kifayət qədər aşağı olmalıdır. Bu halda məhsullar az quruyur və mikroorqanizmlərlə zədələnmir. Temperatur nə qədər aşağı olarsa, havanın nisbi rütubəti bir o qədər çox ola bilər.

Soyudulmuş məhsulları adətən krioskopik temperaturdan 0,5...1°C yuxarı temperaturda və havanın nisbi rütubəti 80...90% olan kameralarda saxlayırlar. Nəmlik az olduqda məhsulun çox quruması baş verir, nəmlik çox olduqda isə məhsul kifləyir.

Soyudulmuş ətin qısa müddətli saxlanması (3...5 gün) temperaturu 2...4°C olan kameralarda yerinə yetirilir. Soyudulmuş təzə balıq üçün əlverişli saxlama üsulu quru vəziyyətdə -1°C -dən -2°C-yə kimi temperaturda və nisbi rütubəti 100 % olan yeşiklərdə saxlanmadır. Balığın temperaturu 0°C-dən yuxarı olduqda ona axçalı buz səpirlər. Soyudulmuş balığı tutulandan sonra qısa müd-

dətdə, yəni 10 sutka müddətinə kimi saxlayırlar.

Dondurulmuş məhsulları  $-18^{\circ}\text{C}$ -dən  $-20^{\circ}\text{C}$ -yə kimi temperaturda və nisbi rütubəti 95...100 % olan kameralarda saxlayırlar. Bu halda saxlanmada məhsulların quruması minimum olur (şək. 26.21).



**Şək. 26.21. Donmuş ətin qurumasının saxlanma müddətindən asılılığı**

Saxlanma temperaturundan asılı olaraq dondurulmuş məhsulların buraxılabilən saxlanma müddəti cədvəl 26.5-də verilir.

Cədvəl 26.5

**Temperaturdan asılı olaraq dondurulmuş məhsulların buraxıla bilən saxlanma müddəti (aylarla)**

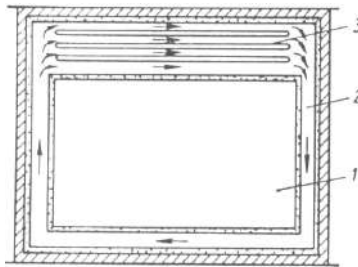
Məhsulun növü	Saxlama temperaturunda saxlanma müddəti, $^{\circ}\text{C}$			
	-10	-12	-15	-18
Məl əti, qoyun əti	7	8,5	12	17
Donuz əti, yağsız balıq	5,5	7	10	14
Toyuq	5	6,5	9	12,5
Qaz, dovşan, yağlı balıq	4	5	7	10
Kərə yağı	7	8	10	12,5

Havanın məcburi dövretməsi yalnız soyudulmuş məhsulların saxlama kameralarında lazımdır. Donmuş məhsulların saxlama kamerasında isə havanın məcburi dövretməsi məhsulun qurumasını artırır. Bu kameralarda təbii ventilyasiyanın olması kifayətdir. Süni ventilyasiya yalnız bəzi soyudulan məhsulların saxlanması (içalat, meyvə, tərəvəz və s.) istifadə olunur.

Kameralarda yaxşı şərait yaratmaq üçün havanı toz və mikroorqanizmlərdən təmizləmək məqsədilə süni ventilyasiya əvəzi havasoyuducu süğəclərdə aktivləşdirilmiş kömürdən istifadə edirlər. Kiflənməyə qarşı ultrabənövşəyi lampalardan istifadə edilir. İylərin qarşısının alınması üçün hava kameraları ozonlaşdırılır.

**26.6.2. Saxlama kameralarının soyuducu cihazları.** Saxlama kameralarında lazım olan temperatur – nəmlik şəraiti soyutma sisteminin düzgün seçilməsi ilə yaradılır. Soyudulmuş ət məhsullarının saxlama kameraları bilavasitə buxarlandırıcı divar batareyaları və hava təmizləyiciləri ilə təchiz edilir: yumurta, meyvə və tərəvəzin saxlama kameraları – yüksək dövretməli quru havasoyuducuları ilə; dondurulmuş məhsulların uzun müddətli saxlama kamerası – bilavasitə buxarlandırıcı divar və tavan batareyaları ilə təchiz olunur. Qurumanın qarşısını almaq üçün soyutma cihazları istilik axını keçən arakəsmələrdə yerləşdirilir.

Xarici istilik axınlarını azaltmaq və havanın yüksək nisbi nəmliyini saxlamaq üçün dondurulmuş məhsulların saxlama kameraları hərdən istilik qoruyucu hava köynəkli qurulur (şək. 26.22).



**Şək. 26.22. İstilik qoruyucu hava köynəkli saxlanma kamerasının sxemi:**

1-saxlama kamerası; 2-istilik qoruyucu köynək; 3-soyuducu batareyalar

Axırncı yaranan sərbəst boşluq hidroizolyasiyalı arakəsmələrin köməyi ilə xarici divar tərəfdən ayrılmış boş məsafədir (eni 0,6 m). Bu boşluqda xaricedən gələn istilik axınlarını söndürmək üçün soyuducu cihazlar qoyulur. Kameranın özündə də daxili istilik axınlarını söndürmək üçün çox böyük olmayan batareyalar quraşdırılır.

Səmərəli və əlverişli soyutma panel soyutma sistemidir. Burada kameranın temperaturu soyuducu agentin qaynama temperaturuna yaxın, nisbi rütubət isə 100%-ə yaxın olur.

## **26.7. Perspektiv soyuducu avadanlıqlar**

Qida məhsullarının soyutma ilə emalı çox baha başa gələn texnoloji əməliyyatlardandır və bir çox ölkələrdə qadağan olunan ozon parçalayıcı maddələrin istifadəsi ilə bağlıdır.

Buna görə də heyvandarlıq məhsullarının soyutma ilə emalı üçün avadanlıqların təkmilləşdirilməsini iki istiqamətdə aparırlar: dondurucu aparatların konstruktiv parametrlərinin yaxşılaşdırılması və yeni soyuqluq alma mənbələrinin qəbul edilməsi.

Birinci istiqamət dondurucu aparatların yaradılmasında onlarda soyudulan məhsul və soyuducu agent arasındakı istilik mübadiləsi prosesinin yaxşılaşması ilə həyata keçirilir. Bu cəhətdən ən perspektivli aparatlar spirallı kondensatorlu, plitkəli və kriogen dondurucu aparatlardır.

İkinci istiqamət ozon təhlükəsi olmayan soyuducu agentlərin (məsələn, R-404a) işlənməsi və turbosoyuducu maşınların təkmilləşdirilməsidir. Axırncılar artıq soyuduculuq texnikasında geniş istifadə olunur və onların bazasında ətin bloklarda dondurulması üçün dondurucu aparat 5AM6, yarımfabrikatların və qablaşdırılmış hazır yeməklərin dondurulmasında, meyvə və tərəvəzi tezdonduran MUM1 tezdondurucu qurğuları və s. buraxılır.

MTXM1 turbosoyuducu maşının bazasında orijinal hərəkət-edicisi soyuducu qurğu işlənməmişdir. Bu qurğu əti, balığı və başqa qida məhsullarını tez dondurmağa imkan verir. O avtomobil mühərrikindən, elektrik mühərrikindən və ya turbosoyuducu maşının çərçivəsində quraşdırılan dizeldən hərəkətə gətirilə bilər. Qurğu ekoloji cəhətdən təmizdir: soyuducu agent və soyuqluq

daşıyan kimi atmosfer havasından istifadə olunur. Hal – hazırda turbosoyuducu maşınların təkmilləşdirilməsində vacib problemlərdən biri onların işi zamanı səmərəliliyinin artırılması və maya dəyərinin azalmasıdır.

## 26.8. Ətin soyutma ilə emalı üçün avadanlıqların texnoloji hesabı

Ətin soyutma ilə emalı üçün avadanlığın seçilmə metodikası məhsulun emalı növündən və bu məqsəd üçün istifadə olunan aparat və maşınların tipindən asılıdır. Soyuducuda texnoloji avadanlıq aşağıdakılardır: cəmdək, yarımcəmdək üçün asqı yolları; ət və ət məhsulları üçün rəflər; əti, içalatı, quşu bloklarda dondurmaq üçün dondurucu aparatlar və s.

Asqı yolunun hesabı onun ümumi  $L_{üm}$  və faydalı  $L_f$  uzunluğunun təyin edilməsindən ibarətdir (m)

$$L_{üm} = l, lL_f = l, l \cdot \frac{AT_{soy}}{g_1 T_{sm}}, \quad (26.7)$$

burada  $T_{soy}$ - məhsulun soyutma ilə emalı müddəti, saat;

$g_1$ - 1m asqı yoluna yük norması, kq.

Soyuqluq, dondurma, saxlama üçün rəflərin sayı rəflərin və ya döşəmənin ümumi sahəsini təyin etməklə  $F_s(m^2)$  hesablanır:

$$F_s = \frac{AT_{soy}}{g_2 T_{sm}}, \quad (26.8)$$

burada  $g_2$ - rəfə və ya döşəməyə düşən yük normasıdır, kq/m<sup>2</sup>.

Tunel tipli tezsoyuducu aparatların sayı (26.8) düsturu ilə hesablanır.

Fasiləsiz təsirli tezdondurucu aparatlar saatlıq məhsuldarlığına görə seçilir. Aparatların sayı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$n_s = \frac{A}{g_s T_{sm}}, \quad (26.9)$$

burada  $g_s$ - bir aparatın saatlıq məhsuldarlığı, kq.

Əgər ətin soyutma ilə emalı üçün avadanlığın texniki xarakteristikasında kameranın tutumu verilsə, onda aparatların sayı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$n_s = \frac{AT_{soy}}{g_{kam}T_{sm}}, \quad (26.10)$$

burada  $g_{kam}$  - aparatın kamerasının tutumudur, kq.

### ***Yoxlama sualları***

1. Məhsulların soyudulması üçün məhsulun təbii xüsusiyyətlərindən asılı olaraq hansı soyuducu mühitlərdən istifadə olunur? 2. Soyutma prosesini sürətləndirmək üçün nə etmək lazımdır? 3. Ət hansı kameralarda soyudulur? 4. Soyudulma zamanı temperatur və nisbi rütubət nə qədər olur? 5. Soyuma zamanı ətin qurumasında yaranan itkilər neçə faiz təşkil edir? 6. Soyutma müddəti nə qədərdir? 7. Ətin soyudulması zamanı quruma nə qədər olur? 8. Quş ətinin soyudulması hansı temperaturda olur? 9. Yumurtaların soyudulması zamanı temperatur və nisbi rütubət nə qədər olur? 10. Balıq hansı soyuducularda soyudulur və soyutma üçün nədən istifadə olunur? 11. Süd və süd məhsullarının soyudulması üçün hansı soyutma mənbələrindən istifadə edilir? 12. Südün soyudulmasında hansı soyuduculardan istifadə olunur? 13. Müxtəlif tipli soyuducuların quruluşu və iş prinsipi. 14. Südün soyudulması və müvəqqəti saxlanması üçün hansı soyuducu tanklardan istifadə edilir? 15. Daşınma və uzun müddətli saxlanma üçün hazırlanan meyvə-tərəvəz məhsulları soyuducu kameralarda nə vaxt soyudulur? 16. Meyvə-tərəvəzin soyudulması hansı kameralarda yerinə yetirilir? 17. Hava soyuducuları vasitəsilə kamerada temperatur və nisbi rütubət nə qədər olur? 18. Dondurulma prosesi nədir? 19. Dondurulma müddətləri necə təyin olunur? 20. Hansı tip dondurucular var? 21. Yeyinti məhsullarının soyuducularda saxlanması hansı şəraitdə yerinə yetirilir? 22. Ətin soyutma ilə emalı üçün avadanlığın seçilmə metodikası nədən asılıdır? 23. Soyuducuda hansı texnoloji avadanlıqlar var? 24. Asqı yolunun hesabı necə təyin olunur?



## XXVII FƏSİL SOYUDUCULAR

### 27.1. Soyuducuların tipləri

Soyuducular – məhsulların soyudulması, dondurulması və aşağı temperaturda saxlanması üçün nəzərdə tutulan sənaye müəssisələridir. Yeyinti sənayesi müəssisələrinin texnoloji prosesləri üçün, sənaye mərkəzlərində məhsulların uzun müddət saxlanması, nəqlədirilməsi və başqa məqsədlər üçün – sənaye, paylayıcı, nəqliyyat və s. soyuducular yaranmışdır. Bundan başqa hazırlayıcı, bazis, yük boşaldıcı soyuducular da vardır.

**27.1.1. Sənaye (istehsal) soyuducuları.** Bu soyuducular yeyinti sənayesinin texnoloji prosesləri üçün nəzərdə tutulur. Onların vəzifəsi – xammal və hazır məhsulun soyudulması, dondurulması və qısa müddətli (10...20 gün) saxlanmasından ibarətdir. Ət, balıq və quş kombinatları, yağ istehsalı zavodlarında bir çox sənaye soyuducuları güclü soyuducu və dondurucu qurğularla təchiz olunur, ancaq onların saxlama kameralarının həcmi kiçikdir. Belə kombinatların məhsulları əsasən istehlak rayonlarına nəql etdirilir. Sənaye soyuducularından 500...5000 ton və məhsuldarlığı sutkada 20...100 ton olan istehsal soyuducuları geniş yayılmışdır. Sənaye soyuducularının soyuducu qurğuları böyük gücə malikdir, onlar tək soyutma, dondurma və saxlama kameralarını deyil, həmçinin başqa sənaye proseslərini də soyuqluqla təmin edirlər.

**27.1.2. Hazırlayıcı soyuducular.** Rayonlarda yerləşdirilən hazırlayıcı soyuducularda yeyinti ərzaq məhsulunun hazırlanmasını, sortlaşdırılmasını, ilkin soyuqluq emalını, eləcə də istifadə məntəqələrinə göndərilənə qədər ərzağın qısa müddətli (10...20 gün) saxlanmasını təmin edir. Bu soyuducular da sənaye soyuducuları kimi güclü soyuducu qurğularla təchiz edilmişdir.

**27.1.3. Paylayıcı soyuducular.** Sənaye və hazırlayıcı soyuduculardan gələn ərzaq məhsullarının mövsümi və cari ehtiyatlarının saxlanması üçün nəzərdə tutulur. Belə soyuducular sənaye

mərkəzlərində əhalinin bütün il boyu müxtəlif çeşidli ərzaqla təchiz edilməsi üçün qurulur. Paylayıcı soyuducuların tutumu 500...35000 tondur. Bu soyuducuların tərkibinə buz zavodları, dondurma fabrikləri, meyvə və tərəvəzin dondurulması və qablaşdırılması, eləcə də yağ, ət və başqa ərzaqların qablaşdırılması üçün sexləri daxil edirlər. Belə soyuducular soyutma kombinatı adlanır.

Ərzaqlar uzunmüddətli vaxtda (3...6 ay və çox) saxlanılır. Yolda daşınma zamanı isinmiş yüklər üçün tam soyudulma və dondurulma üçün kiçik kameralar nəzərdə tutulur.

Paylayıcı (bölüşdürücü) soyuducular universal və xüsusiləşmiş (ət, balıq, meyvə və s.) olurlar.

**27.1.4. Ticarət soyuducuları.** Ticarət bazasına daxil olmuş ərzağın qısamüddətli saxlanması üçün ticarət soyuducularından istifadə olunur. Belə soyuduculara ərzaqlar bölüşdürücü soyuduculardan daxil olur. Soyuducular ərzaq məhsulları bazasının tutumu 10...500 ton və ticarət və ictimai iaişə (mağazalar, yeməxanalar, restoranlar, kafe) müəssisələrinin tutumu 10 tona qədər olmaqla fərqlənirlər.

Ərzaq məhsulları bazasının soyuducularında ərzağın saxlanma müddəti 10...20 günə qədərdir. Ticarət və ictimai iaişə müəssisələrinin soyuducularında 1...5 gün ərzaq ehtiyatı yaradılır. Bu soyuducularda müəyyən miqdarda geniş çeşiddə ərzaqlar saxlayırlar.

**27.1.5. Nəqliyyat soyuducuları.** Bu soyuducular su, dəmir-yol və avtomobil nəqliyyatının bir-biri ilə əlaqələndirilməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Belə tip soyuducular (məsələn, liman soyuducuları) paylayıcı və sənaye soyuducularının vəzifəsini də yerinə yetirir.

Məhsulun yüksək keyfiyyətinin saxlanmasının əsas şərti onun emalından başlayaraq istehlakçıya çatdırılmasına kimi aşağı temperaturun fasiləsiz təsiridir. İnkişaf etmiş soyuduculuq təsərrüfatı ilin mövsümündən asılı olaraq ölkənin hər bir yerinə yüksək keyfiyyətli məhsulların çatdırılmasını təmin edir.

Soyuducunu xarakterizə edən əsas göstərici onun tutumudur.

Soyuducunun tutumu yükün kütləsi (tonla) ilə xarakterizə olunur və eyni vaxtda soyuducunun kameralarında saxlanan yük nəzərdə tutulur.

Yükün həcmi kütləsindən asılı olaraq, onun qablaşdırılması və düzülməsi müxtəlif həcm və sahəni tutur. Belə ki, bu və digər ərzağın yerləşməsi üçün kameranın ölçüləri müxtəlif olur, məsələn, donmuş ət üçün olan tutumun yağ üçün olan tutuma nisbətən 1,5...1,8 dəfə çox olması tələb olunur. Ona görə də tutuma görə soyuducunun ölçüləri haqqında fikir söyləmək olar, tutum şərti tutum ifadəsi kimi qəbul olunmuşdur.

Şərti tutum yükün kütləsini nəzərdə tutur. Şərti tonlarda tutum üzrə soyuducular aşağıdakı qruplara bölünür: çox kiçik (10 tona qədər), kiçik (500 tona qədər), orta (5000 tona qədər), böyük (5000 tondan yuxarı). Ev soyuducularının ölçüləri şkafın (litrlə) daxili həcmi ilə xarakterizə olunur. Buraxılan ev soyuducularının tutumu 80...240 litrdir.

Orta və böyük soyuducuların kameralarında aşağıdakı temperaturun saxlanması məsləhət görülür: dondurma kameralarında  $-30...-35^{\circ}\text{C}$ , donmuş məhsulların saxlanması kamerasında  $-20^{\circ}\text{C}$  və soyudulmuş məhsulların saxlanması və soyutma kamerasında  $0^{\circ}\text{C}$ . Məhsulların müddətli saxlanması temperaturu kiçik soyuducularda uyğun olaraq az, dondurulmuş məhsulların saxlanma temperaturu bir qədər yüksək ola bilər ( $-12...15^{\circ}\text{C}$ ). Ərzaq məhsullarının qısamüddətli saxlanması üçün seçilmiş ticarət müəssisələrinin soyuducularında realizasiyadan qabaq kameralarda temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  ətrafında saxlanılır. Soyuducuların örtüyü elə konstruksiyaya malikdir ki, istilik və nəmlik çalışır ki, daxilə keçsin, ona görə ki, oradakı temperatur ətrafdakı temperaturdan aşağıdır. Bütün örtüklərin tərkibinə istilik və nəmlik izolyasiyalı materialların effektiv təbəqələri daxildir. Bütün soyudulacaq otaqlar və kameralar pəncərəsiz qurulur.

## **27.2. Soyuducuların quruluşu**

Soyuducular bir və ya çox mərtəbəli binalar olub dəmir-beton karkasdan ibarətdir.

Çoxmərtəbəli soyuducularda ərzağın və dəmir-beton örtüklərinin yaratdığı yük sütunlara düşür və bünövrədən keçərək torpağa ötürülür. Birmərtəbəli soyuducularda əsas yük bilavasitə torpağa düşür, sütunlara yalnız üst örtüyünün ağırlığı və asma yollarında soyudulan və dondurulan ət məhsullarının yükü düşür. Soyuducunun divarları öz ağırlığından başqa heç bir yük götürmür. Daxildən gələn istilik və nəmliyin azalması üçün soyuducunun bütün arakəsmələri istilik və buxar izolyasiyalıdır. Dəmir-beton karkasın və arakəsmələrin qurulmasında dəmir beton konstruksiyalar (sökülüb-yığıla bilən) və yerli tikinti materialları geniş istifadə edilir.

Soyuduculuq sərfini azaltmaq üçün kameralar elə yerləşdirilir ki, onların arasındakı temperatur fərqi az olur. Əsas soyuducu kameralardan başqa (soyutma, dondurma və saxlama) köməkçi kameralar da (sortlaşdırıcı, yüklərin az müddətli saxlanması və s.) nəzərdə tutulur. Soyuducular sütun setkasına uyğun olaraq planlaşdırılır (çox mərtəbəlilər üçün 6x6 m, birmərtəbəlilər üçün 6x12 m). Vestibül, dəhliz, pilləkənlər, yük liftləri, soyuducunun ümumi planlaşdırılmasından asılı olaraq bir-birinə birləşdirilir.

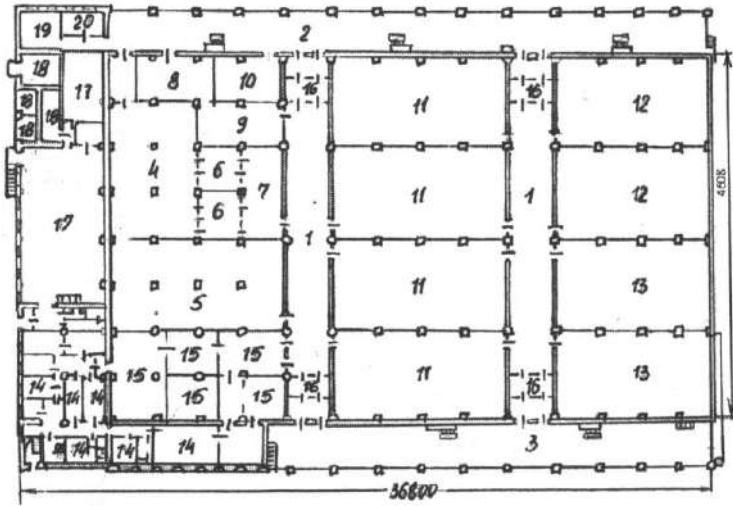
Yükləmə əməliyyatlarını yerinə yetirmək üçün soyuducunun uzununu boyunca dəmir yolu və avtomobil platformaları qurulur.

Böyük paylayıcı çoxmərtəbəli soyuducular (tutumu 10000 tondan çox olan) zirzəmili və zirzəmisiz 5...7 mərtəbəli tikilir. Mərtəbələrin hündürlüyü 3,1-dən 4,5 m-ə kimi olur. Çoxmərtəbəli soyuducuların üstünlükləri: binanın sahəsi az olduğundan xarici istilik axınları azalır (30-40 %); məhsulun quruması nəticəsində itkilər azalır; torpağın donma təhlükəliliyi aradan qaldırılır. Burada alt mərtəbədə mənfi temperaturu tələb etməyən məhsullar yerləşdirilir.

Çoxmərtəbəli soyuducularda mərtəbələrarası arakəsmələrin quraşdırılmasına əlavə beton sərf olunur və bunlar tikintinin davamlılığını artırır. Çoxmərtəbəli soyuducuların ümumi tikinti işlərinin qiyməti birmərtəbəliyə nisbətən çoxdur. Ona görə də əksər hallarda birmərtəbəli soyuducuların tikilməsinə daha çox fikir verilir, hansı ki, tutumu 10000 şərti tona qədər olan soyuducular layihələndirilir. 10000 şərti tondan çox olan soyuducular çoxmərtəbəli layihələndirilir.

Birmərtəbəli soyuducuların öz üstünlükləri var: hündürlüyü 7...7,5 m-ə qədər olan soyuducularda döşəməni 4000 kq/m<sup>2</sup>-ə kimi yükləmək mümkündür. Birmərtəbəli soyuducuların tikinti konstruksiyaları yüngüldür, sadə və ucuzdur, onlar 2-3 dəfə tez tikilir, vaqonların yüklənmə və boşalması rahatdır, liflər və pilləkənlər yoxdur, sahənin istifadə əmsalı yüksəkdir. Birmərtəbəli soyuducularda istilik axını və məhsulun qurumasını azaltmaq üçün qüvvətli istilik izolyasiyasından istifadə edilir.

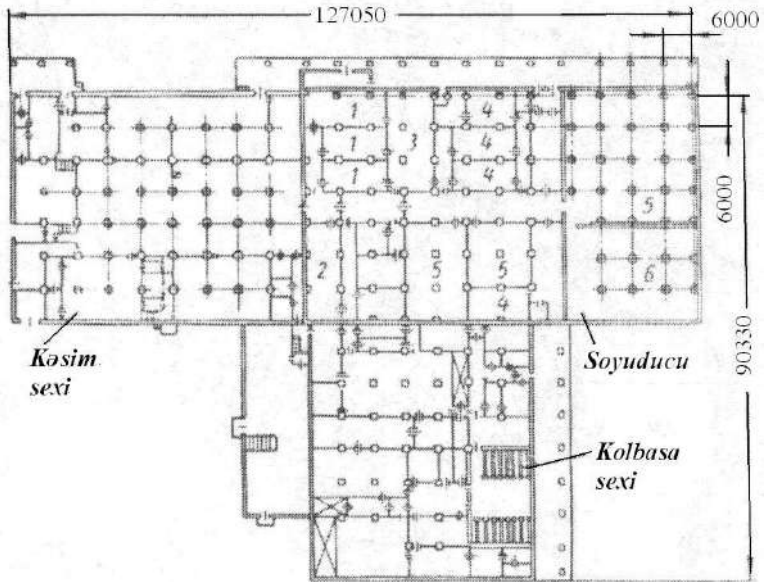
10000 ton tutumu olan paylayıcı soyuducular əsasən birmərtəbəli tikilir. Şəkil 27.1-də 3000 ton tutumu olan paylayıcı soyuducunun planı verilmişdir.



**Şək.27.1. 3000 ton tutumu olan birmərtəbəli paylayıcı soyuducu:**

1-dəhliz; 2-dəmir yol platforması; 3- avtomobil platforması; 4-ət saxlanma yeri; 5-soyudulmuş ət saxlama kamerası; 6-dondurulmuş ət kamerası; 7-boşaltma şöbəsi; 8-balıq qəbulu kamerası; 9-qablaşdırma; 10-məhsulların qısa müddətli saxlanma kamerası; 11-donmuş məhsulların saxlanma kamerası; 12-soyudulmuş yüklərin saxlanma kamerası; 13-universal kamera; 14-qablaşdırma sexləri; 15-ət və yağın qablaşdırılması üçün soyudulan sexlər; 16-tambur; 17-soyuducunun maşınli şöbəsi; 18-elektrotexniki otaq; 19-avadanlığın təmiri və inventar üçün otaq; 20-avadanlığın və inventarların yuyulma otağı

Sənaye soyuducularının planlaşdırılması müəssisənin tipindən və texnoloji proseddə soyuducu ilə bağlı başqa sexlərin yerləşməsindən asılıdır. Ət kombinatlarının soyuducuları 5...7 mərtəbəyə kimi olur. Soyuducunun planlaşdırılması və mərtəbələri sexlərə uyğunlaşmalıdır. Soyuducuda soyutma, dondurma və soyuq saxlama kameraları məhsulun əsas axınına uyğun yerləşdirilir (şək. 27.2).

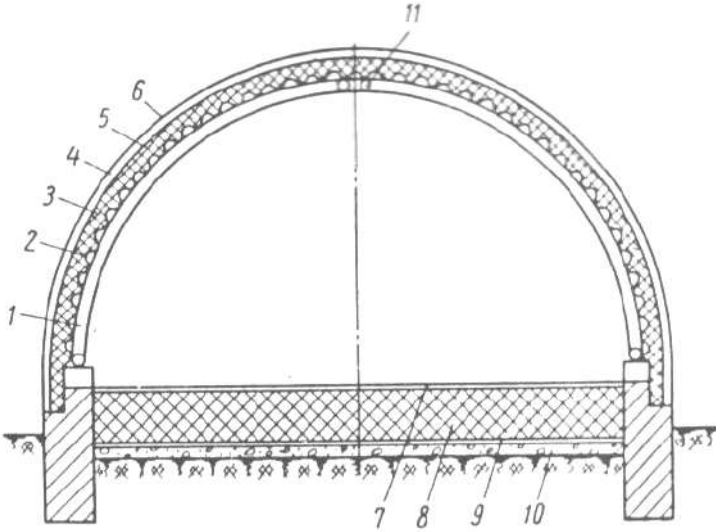


**Şək. 27.2. Birmərtəbəli ət kombinatının planı:**

1-ət soyutma kamerası; 2-əlavə məhsulları soyutma kamerası; 3-soyudulmuş ət saxlama kamerası; 4-ət dondurma kamerası; 5-dondurulmuş ət saxlama kamerası; 6-soyuducunun maşın şöbəsi

Soyuducunun kameralarında aşağı temperatur saxlanılır: soyutma üçün 0-dan  $-23^{\circ}\text{C}$ -yə kimi, dondurucularda isə  $-40^{\circ}\text{C}$ -yə kimi.

Arkalı soyuducularda aparıcı konstruksiya rolunu arka formalı soyuducu batareyalar oynayır. Belə soyuducuların qiyməti dəmir-beton karkaslı soyuducuların qiymətindən aşağıdır (şək. 27.3).



**Şək. 27.3. Aparıcı kameralı birmərtəbəli arkalı soyuducunun sxemi:**

1-aparıcı arkalar (yükgötürən, batareyalar); 2-örtük və ya döşmə (asbosement); 3- izolyasiya; 4- armaturlaşdırılmış örtük; 5-astar; 6-rulon örtük; 7-asfalt layı; 8-şlak; 9- hidroizolyasiya; 10-beton layı; 11-kollektor- arkanın qfılı

Ticarət müəssisələrində tez xarab olan məhsulların cari ehtiyatlarının saxlanması üçün çox böyük olmayan üç-dörd kameralı tutumu 5-8 ton olan soyuducular quraşdırılır. Bu soyuducularda kiçik avtomatlaşdırılmış aqreqatlı freonlu soyuducu qurğular istifadə olunur. Ammonyaklı qurğular yalnız duzlu məhlul sistemli soyudulmada istifadə olunur.

### **27.3. Yükləmə işlərinin mexanikləşdirilməsi**

Soyuducularda böyük həcmdə yükləmə işləri yerinə yetirilir: vaqon və avtomobillərin yüklənməsi; soyuducunun içərisində yüklərin daşınması.

Soyuducularda kiçik ölçülü akkumulyatorlu elektrik yükləyiciləri, ştabelyığıclar (sıraya yığanlar), elektrik arabaları və başqa mexanizmlərdən istifadə olunur. Bunlar yükləmə işlərini 80 %-ə

kimi mexanikləşdirməyə imkan verir.

Paketləşdirilmiş yüklərin yüklənmə – boşaltma işlərinin kompleks mexanikləşdirilməsi sxemi əlverişli olduğundan, daha çox soyuducularda tətbiq edilir. Paket altlığı (poddon) bərkidilmiş üst-üstə ştobelə yığılmış yüklərdən ibarətdir.

Yüklərin paketləşdirilməsi kompleks mexanikləşdirilmədən istifadənin əsas şərtidir. Paylanası yüklər əvvəlcədən paketləşdirilir. İzotermiki vaqonlarda gələn paketləşdirilməmiş yüklər altlıqlarda paketləşdirilir. Üst mərtəbələrə yüklərin qaldırılması üçün liftlərdən istifadə edilir. Birmərtəbəli soyuducularda yükləmə əməliyyatları daha asandır, çünki burada yüklər yalnız üfqi istiqamətdə hərəkət etdirilir.

#### **27.4. Soyuducunun tutumu və soyuducu kameraların sahələrinin hesabı**

Soyuducunun tutumu və dondurucuların məhsuldarlığı soyuducunun gücünün əsas göstəriciləridir.

Məhsulların soyudulması və dondurulması üçün kameraların tələb olunan məhsuldarlığı məhsulların maksimum daxil olmasına görə təyin edilir.

Soyutma emal kameralarının tutumu və sayı soyutma və dondurma prosesləri nəzərə alınmaqla təyin edilir. Bu kameraların tutumu

$$E_o = A \cdot z,$$

burada  $A$  – soyutma və dondurma kamerasının sutkalıq məhsuldarlığıdır, ton/sutka;

$z$  – sutkada yükləmə və boşaltma vaxtını nəzərə alaraq prosesin davamı.

İstehsal soyuducularında soyudulmuş və dondurulmuş məhsullar üçün saxlama kamerasının tutumu kameranın məhsuldarlığına və saxlanma müddətinə görə təyin edilir:

$$E_z = A \cdot m, \quad (27.1)$$

burada  $m$  – ən çox saxlama müddəti, sutka (soyudulmuş məhsullar üçün 3...5 sutka, dondurulmuş məhsullar üçün 20...60 sutka).



Kameraları müxtəlif məhsullarla yükləmək olar.

Hesablanan tutuma və 1 m<sup>2</sup> yükləmə normasına görə soyutma, dondurma və saxlama kameralarının təxmini sahəsini təyin etmək olar. Kameraların tikinti sahəsi (daxili ölçülərə görə)

$$F_{in} = \beta \frac{E \cdot 1000}{N} = F_y + cl + a^2 n + f, \text{ m}^2, \quad (27.2)$$

burada  $\beta$  - sahənin artma əmsalı (kiçik kameralar üçün sahəsi 80 m<sup>2</sup>-ə kimi  $\beta=1,4$ ; orta kameralar üçün sahəsi 300 m<sup>2</sup>-ə kimi  $\beta=1,3$ ; böyük kameralar üçün sahəsi 300 m<sup>2</sup>-dən yuxarı  $\beta=1,2$ );

$E$ - kameraların hesabat tutumu, ton;

$N$ - buraxıla bilən yükləmə hündürlüyünü nəzərə alaraq 1 m<sup>2</sup> sahəyə düşən məhsulların yüklənməsi, kq/m<sup>2</sup>;

$F_y$ - kameranın verilən tutumuna görə yüklü sahəsi, m<sup>2</sup>;  
 $c$ - yüklə divarlar (0,3 m) və divar batareyaları (0,4 m) arasındakı məsafə;

$l$ - divarların və divar batareyalarının uzunluğu, m;

$a$ - sütunun tərəfi (kvadrat en kəsikli) və ya onun diametri, m;

$n$ - kamerada sütunların sayı;

$f$ - ştəbellər arasındakı keçidlərin sahəsi (eni 1,2 m qəbul edilir), m<sup>2</sup>.

Soyutma, dondurma və saxlama kameralarında 1 m<sup>2</sup> sahəyə düşən yük 250 kq/m<sup>2</sup> təşkil edir. Donmuş məhsullar üçün yükü məhsulun növündən və kameraların yüklənmə hündürlüyündən asılı olaraq qəbul edirlər.

Maşın şöbəsi kompressor zalından, aparat şöbəsidən, transformator yarımstansiyasından, köməkçi və məişət otaqlarından ibarətdir. Maşın şöbəsi soyuducu avadanlıqların əsas elementləri seçildikdən sonra layihələndirilir –elektrik mühərrikli kompressorlar, kondensatorlar, buxarlandırıcılar, nasoslar və köməkçi aparatlar. Soyuducuların maşın şöbəsinin təxmini sahələri sorğu ədəbiyyatlarında verilir.

## *Yoxlama sualları*

1. Soyuducuların tipləri hansılardır? 2. Sənaye (istehsal) soyuducuları nə üçündür və onların vəzifəsi nədən ibarətdir? 3. Hazırlayıcı, paylayıcı və ticarət soyuducuları hansı şəraitlər üçün nəzərdə tutulmuşdur? 4. Bu soyuducuların saxlama müddəti nə qədərdir? 5. Soyuducunu xarakterizə edən əsas göstərici nədir? 6. Şərti tutuma görə soyuducular hansı qruplara bölünür? 7. Bir və çox-mərtəbəli soyuducuların quruluşu və vəzifəsi. 8. Soyuducularda yükləmə işləri necə yerinə yetirilir? 9. Soyuducu kameraların tutumu və sahəsi necə təyin edilir?

## XXVIII FƏSİL SOYUDUCULARIN İZOLYASIYASI

### 28.1. İzolyasiyanın təyinatı

Soyuducu maşının istehsal etdiyi soyuğun bir qismi məhsulların soyudulmasına və dondurulmasına, bir qismi isə kameraya ətraf mühitdən daxil olan istilik axınının qarşısının alınmasına sərf olunur. İstilik axınları hər iki tərəfdə temperatur fərqindən yaranır. İstilik axınlarının qarşısının alınmasına sərf olunan soyuqluq soyuducunun tikinti və istismar xərclərini artırır.

Soyuqluq itkisinin qarşısını almaq üçün soyuducular istilik keçirməyən materiallardan hazırlanmış istilik izolyasiyaları ilə örtülür.

İstilik izolyasiyasının etibarlılığı material və layın qalınlığı ilə təyin edilir. İzolyasiya lazımı miqdarda olmadıqda kameralarda durumlu temperatur rejimini yaratmaq çətin olur. Bu halda istismar xərcləri artır. Daha böyük izolyasiya layı da sərfəli deyil, çünki sərmayə xərcləri qənaət edilmiş soyuğun qiymətindən çox ola bilər. Buna görə də kameraların izolyasiyasını layihələndirəndə həm istismar, həm də sərmayə qoyuluşu xərclərini nəzərə alaraq optimal variant seçmək lazımdır.

### 28.2. İstilik izolyasiya materialları

Soyuducunun soyuqluq kamerasına istilik daha isti xarici mühitdən və qruntdan daxil olur. Soyuducunun divarlarının istilikkeçirməsini azaltmaq (divarlar, döşəmə, tavan) üçün həmin divarlar istilik izolyasiya qatı ilə örtülür.

İstilik izolyasiyası divarlardan istiliyin keçməsinə azaldaraq soyuducu avadanlıqlarda istilik yükünü aşağı salır, soyuğa olan tələbatı azaldır və nəticədə kameralarda verilmiş temperatur rejimini saxlamaqla soyuducu qurğuların istismarına xərclər azalır. İstilik izolyasiyasından, eləcə də, məhsulların qurumasının azaldılmasında və onların daha uzun müddətli və yüksək keyfiyyətli saxlanması istifadə olunur.

Soyuducularda qəbul edilən istilik izolyasiya materialları az

istilikkeçiriciliyə, kiçik həcmi kütləyə, müəyyən miqdarda rütubəti özünə çəkmək qabiliyyətinə, su udmaq və buxar keçiricilik qabiliyyətinə, donmaya davamlı, iyləri çıxartma və qəbul etmə qabiliyyətinin olmasına, köbələk və gəmiricilərin dağıtmasına qarşı davamlı, odadavamlı və zərbələrə, istismar vaxtı və nəqliyyat vaxtı titrəmələrə davam gətirməyə imkan verən lazımi mexaniki möhkəmliyə malik olmalıdır. İstilik izolyasiya materialları tapılan və ucuz olmalıdır.

Bütün istilik izolyasiya materialları məsaməli struktura malik olurlar. Quru hərəkətsiz hava çox kiçik istilikkeçirmə əmsalı ilə xarakterizə olunur ( $\lambda=0,023$  Vt/m·dər).

Məsamənin (deşiyin, boşluğun) ölçüləri, forma və xarakteri istilik izolyasiya materialının keyfiyyətini təyin edir.

İstilik izolyasiya materialı effektivliyinə görə bölünür: yüksək keyfiyyətli (istilik keçiricilik əmsalı 0,047 Vt/m·dər - yə qədər və həcmi kütləsi 15...100 kq/m<sup>3</sup>), keyfiyyətli (istilik keçiricilik əmsalı 0,047...0,082 Vt/m·dər - yə qədər və həcmi kütləsi 100...300 kq/m<sup>3</sup>), aşağı keyfiyyətli (istilik keçiricilik əmsalı 0,17...0,35 Vt/m·dər - yə qədər və həcmi kütləsi 600...1000 kq/m<sup>3</sup>). İstilik izolyasiya materialları müddətli işləmə vaxtında ilkin tərkibini saxlamalıdır. İstilik izolyasiya materiallarının tərkibinin pisləşməsinə əsas səbəb onun nəmlənməsidir.

İzolyasiya materialları hazırlanırlar:

- bərk məmulat (plitkalar, bloklar, qabıqlar, sementlər);
- əyilən məmulatlar (həsirlər, rulon materiallar);
- tökülən materiallar (şlak, kəpək, probka, qırıntılar və s.).

Onlar kəsici alətlərlə asan emal olunmalıdır.

Təbii mənşəli izolyasiya materialı, təbii mənşəli süni materialdan (sintetik) və mineral mənşəli materialdan ibarətdir.

Təbii mənşəli istilik izolyasiya materialına probkalı və torflu plitkalar, ağac kəpəyi və s. daxildir.

Sintetik istilik izolyasiya materialına penoplast, penopolistrol, penopoliuretan və miorlar daxildir (cədvəl 28.1).

Mineral tərkibli istilik izolyasiya materialına penobeton, penoşüşə, mineral pambıqlar, şüşə pambıqlar, plitkalar, tuf (tuf daşı) və pemzalar, şlaklar, keramzit xır və başqaları daxildir.

**Penolistrol plitkaların istilik-fiziki xarakteristikaları**

<b>Göstəricilər</b>	<b>PS-1</b>	<b>PS-4</b>	<b>PSB-S</b>			
Həcmi kütlə, kq/m <sup>3</sup>	50...400	35...80	16	20	25	30
Möhkəmlik həddi, MPa:						
sıxılmada	0,3...3	0,17...0,4	0,05	0,07	0,1	0,15
əyilmədə	-	-	0,07	0,14	0,18	0,21
24 saat ərzində nəmliyin udulması:						
həcmi, %	-	-	4	3	2	2
kq/m <sup>3</sup>	0,3	0,6...0,3	-	-	-	-
Quru halda istilik keçiriciliyi, Vt/(m·K) orta temperaturda, °C						
+25	0,038...0,058	0,035...0,038	0,004	0,039	0,037	0,037
-100	-	-	-	0,024	-	-
-150	-	-	-	0,016	-	-
Temperatur sahəsi	-180...+60		-180...+70			

**28.3. Buxar və hidroizolyasiya materialları**

Soyuducunun divar örtüyündən yalnız istilik yox, eləcə də nəmlik və ya rütubət də keçir. Bu atmosfer çöküntülərinin və ya qrunun su damcıları ola bilər. Bunlardan daha səciyyəvi olan soyuducunun divarları üçün ətrafdan su buxarının keçməsidir. Ətrafın isti və daxilin soyuq havasında hissələrə bölünmüş təzyiqlər arasındakı fərqin təsiri altında su buxarı soyuducuya daxil olur.

Buxar izolyasiya materialı buxarın keçirilməsinə qarşı yüksək davamlı olmalıdır, nəmliyi udmamalıdır, materialın çürüməsinin qarşısı alınmalıdır, temperatura davamlı olmalıdır və iyli olmamalıdır.

Əsas buxar izolyasiya materialları bitumlardır. Bu tək və ya xud başqa materialların tərkibində olmaqla işlədilir. Buxar – hidroizolyasiya materialları keyfiyyətində, eləcə də, rulon (ruberoid, hidroizol, perqamin (nazik sarğı kağızı), borulin və plastik (plyonkalar, listlər, səth (üzlük), plitkalar) materiallardan istifadə

edilir.

**Bitumlar.** Onlar təbii olurlar, ancaq onları tez – tez süni yolla nefti qızdırmaqla da alırlar. İzolə edilən səthə ərinmiş vəziyyətdə fırça ilə 1 mm-dən 5 mm-ə qədər qalınlığında bitum çəkirlər.

**Ruberoid.** Üzərinə əvvəlcə yüngül ərinti, sonra ağır (bərk) bitum ərintisi hopdurulmuş kartondan ibarətdir. Onun yapışmasını mühafizə etmək üçün onun üstünə mineral paraşok (qum) səpirlər. Listin (təbəqə) qalınlığı 0,5...0,7 mm-dir.

**Perqamin** (perqament) heyvan dərisindən olub yazı yazmaq üçündür (kağıza oxşar şəffaf, nazik sarğı kağızı). Perqaminə yalnız yüngül bitum hopdurulur, onun üzərinə mineral paraşok səpilmir, ona görə də bu əlamətlərinə görə ruberoiddən fərqlənir. Perqamin böyük elastikliyə malikdir.

**Tol** daş kömür məhlulu hopdurulmuş və hər iki tərəfinə qum səpilmiş kartondan ibarətdir. Tol iy yaradır, ona görə də onu daxili izolyasiya üçün qəbul etmirlər, ancaq onu az cavabdehli obyektlərin hidroizolyasiyası üçün istifadə edirlər.

Ruberoid, perqamin və tol təbii (üzvi) əsaslara malikdir və ona görə də çürüməyə məruz qalırlar.

**Borulin.** Bu material təbii əsaslıdır. Onlar neft bitumlarından, asbest (odadavamlı lifli material) liflərin və rezinlərin yayılması (prokatka) yolu ilə hazırlanır. Listin qalınlığı 1,5...2 mm-dir. Borulin yaxşı buxar izolyasiyası tərkibinə malikdir və çürümə vermir. Soyuducuların ətraf örtüyünün tikinti izolyasiyasında qəbul edilir.

**Hidroizol.** Bu hopdurulmuş asbest kağızdan ibarətdir. Qalınlığı 1 mm-dir. Hidroizol odadavamlıdır.

Rulon buxar və hidroizolyasiya materialları örtüyün səthinə bitum ərintisi və ya bitum mastikasının köməyi ilə yapışdırılır (kleylənir).

**Plastik hidroizolyasiya materialları.** Bu materiallar nazik pərdə şəklində təbəqələrdən və plitkalardan ibarət buraxılır, eləcə də polietilen və polixlorvinil. Bunları hidroizolyasiya, müdafiə və üzləmə materialları kimi ticarət soyuducu avadanlıqlarında, izotermik konteynerdə və ev soyuducularında istifadə edirlər.

## 28.4. Soyuducuların tikinti – izolyasiya konstruksiyaları

Soyuducuların tikinti – izolyasiya konstruksiyaları özü ilə tikinti, buxar izolyasiya (hidroizolyasiya) və istilik izolyasiya materiallarının əlaqəsini yaradır.

İzolyasiya konstruksiyalarına aşağıdakı tələblər qoyulur:

1. İstilik – tikinti izolyasiyanın qalınlığı elə olmalıdır ki, soyuducu qurğuların istismarına və soyuducuların izolyasiyasına çəkilən xərclərin minimum qiymətində tikinti istilikötürmə əmsalı optimal olsun. İstilik izolyasiyasının qalınlığı hesabatla təyin olunur.

2. İstilik izolyasiyası rütubətdən müdafiə olunmalıdır. İstilik izolyasiya təbəqəsinə nəmlik daxil olmasın deyə, daha isti mühitin tərəfləri ilə istilik izolyasiyasından qabaq yerləşdirilmiş izolyasiya konstruksiyalarında buxar və hidroizolyasiya materiallarının təbəqəsinə baxılır.

3. Tikinti – izolyasiya konstruksiyalarında istilik və buxar izolyasiya təbəqələri fasiləsiz olmalıdır.

4. İzolyasiya təbəqəsi mexaniki zədələnmədən müdafiə olunmalıdır. Müdafiə vəzifəsini tikinti konstruksiyasının hissələri yerinə yetirir.

5. Tikinti konstruksiyalarında izolyasiyanın bərkidilməsi etibarlı olmalıdır. İzolyasiya materialları tikinti materiallarına kəp yapışmalı və onlarla sərt birləşməlidir. İzolyasiya altında boşluq buraxılmamalıdır. Ona görə də tikinti konstruksiyalarının səthi izolyasiya təbəqəsi çəkilməmişdən qabaq hamarlanmış olmalıdır.

6. İzolyasiya gəmiricilərdən müdafiə olunmalıdır.

İzolyasiyalara döşəmələrin, divarların, örtüklərin və mərtəbələrarası örtüklərin, qapıların, boruların konstruksiyaları daxildir.

**Döşəmələr.** Qrunt üzərində yerləşmiş döşəmə müxtəlif soyudulan binada temperatur və qrunun tərkibindən asılı olaraq qurulur (tikilir).

Qrunt üzərində yerləşmiş binanın döşəməsi havanın temperaturu 0°C və yuxarı olduqda izolyasiya edilmir. Lakin kənar divarların uzununu boyunca, mənfi temperaturda binanın döşəməsi qeyri-

təbii səpələnən materiallarla izolyasiya edilir. Qalınlığı və eni 0,5 m-dən az olmayaraq izolyasiya edilir. Bunlar kameranı qrunnt təbəqəsinin isinmiş səthinin istilik keçirməsindən müdafiə edəcəkdir.

Temperatur 0 °C-dən aşağı olduqda kameranın döşəməsi bütün səthi boyunca izolyasiya edilir. Buna baxmayaraq qrunnt bu kameralar altında donur. Sıxılmış (kipləşmiş) qrunnt üzərinə beton təbəqəsi (6...8 sm) düzülür. Qrunntdan nəmliyin aşağı temperatur zonasına keçməsində döşəmənin müdafiəsi üçün onun üzərinə rulon hidroizolyator (ruberoid, perqamin) düzülür. Rulon material səpilmiş şlak qatı olan şlakbeton qatının zədələnməsindən müdafiə olunur. Şlak qatının qalınlığı hesabatla təyin olunur. Bunun üstünə armaturlaşdırılmış beton qatı (4...6 sm) və kameradan nəmliyin keçməsində müdafiə üçün şlakbeton qatı ilə hamarlanmış səthə izolyasiya çəkilir.

Təmiz döşəmə su keçirməyən material olan asfalt, keramika plitkası, mozaika beton plitkası və s.-dən salınır.

Gilli və tozlu qruntlarda gil və qum olub, torpaqların məsələlərinin ölçüləri kiçik, bunların donması üçün qrunntdan çıxan əlavə suların keçməsinə imkan vermir. Lakin əmələ gələn duz dənələri (kristalları) qruntların işləməsinə və həcmnin qeyri-bərabər böyüməsinə gətirib çıxarır. Qrunntun şişməsi nəticəsində soyuducular altında çatlar əmələ gəlir və tikinti konstruksiyaları dağılır. Buna görə də mənfi temperaturlu kameralar altında olan qruntların döşəməsinin konstruksiyalarında qrunntun donmadan müdafiəsi üçün qurğu nəzərdə tutulur. Qrunntun yüngül qızmasında döşəmənin izolyasiyası altında havanın dövr etməsi üzrə sənqərlər (döşəmə altında kanallar) sistemi nəzərdə tutulur. Kanallarda havanın təbii dövr etməsi uzunmüddətli olduqda – məcburi sirkulyasiya qəbul edilir.

İstənilən böyük sahəyə malik olan birmərtəbəli soyuducular üçün məqsədyönlü elektrik qızdırıcısı və ya mayeli isti sirkulyasiyalı qızdırılma qəbul edilir.

**Divarlar.** Soyuducunun kənar divarları dəmir – betondan yığılmış paneldən, polad və ya alüminium təbəqədən düzgün profil verilmiş panellərdən, eləcə də kərpicdən tikilir. Divarlar sərbəst bünövrəyə malikdirlər və onlar kənar sıra kolonnasından bir-



mərtəbəli soyuducularda 0,25 m, çoxmərtəbəli soyuducularda 1,5...2 m hündürlüyündə qaldırılır. Arakəsmə örtük plitkalar (mərtəbələrarası) ətraf kənar divarlardan məsafədə olurlar. Bu xarici çevrə ilə fasiləsiz izolyasiya qatı yaradılmağa imkan verir. Divarların dayanıqlığı üçün onları örtük plitkalarına və ya kolonnalara boltlarla və bəndlərlə bərkidirlər. Polad və ya alüminium listlərdən düzgün profil verilmiş panellərdən istifadə etdikdə divarlar asma ola bilirlər (kolonnalara bərkidilirlər). Divarların izolyasiyası üçün ən çox plitkəli materiallardan istifadə edilir.

Yığma panellər zavodlarda izolyasiya edilir və tikinti yerlərində istənilən vaxt izolyasiya materialı qoyulur.

Tikinti yerində divarların izolyasiyasında əvvəlcə divarların səthi hamarlanır. Divarın düz səthinə 2,6...3 mm qalınlığında buxar izolyasiya qatı çəkilir, sonra istilik izolyasiya pilətələri bitum mastikası, emulsiyası və ya xüsusi yapışqanlarla yapışdırılır. Plitkalar arasındakı tikişlərə bitum mastikası izolyasiya materialının qırıntıları ilə çəkilir. Sonrakı qatların plitkaları əvvəlki qatlardakı tikişləri örtür. Birinci qat pilətə başdan – başa bitum qatı ilə kleylənir, ikinci və sonrakı qatlar isə bitum zolaqları və ya ləkələri ilə kleylənir. Beləliklə, fasiləsiz buxar izolyasiya qatı yalnız isti izolyasiya tərəflərindən yaranır ki, bu da izolyasiyanın özünün qurmasına, yəni nəmliyin kamera tərəfə çıxışına imkan yaradır. Kiçik həcmli kütləyə malik olan polistrol pilətələr (izolyasiya edən plastik kütlə) əvvəlcə bloklarda lazımi qalınlıqda yapışdırılır ki, bu da yapışdırılma keyfiyyətini yüksəldir. İzolyasiya plitkaları divara ağac reykalarla sıxılır. Reykaların divarlara bərkidilməsi üçün əvvəlcə sink məftillər və ya ağac pazlarla ona bərkidicilər düzəldirlər (polosa kimi). Reykaları mıxlarla pazlara çalırırlar, sonra onu ilişkənlərlə bərkidirlər. İzolyasiyalı divarların daxili səthlərini metal tor üzərində sement suvaqla və ya asbest – sement listlərlə örtürlər, plastik qatlarla və ya başqa materiallarla üzləyirlər. Tökülən, səpələnən izolyasiyadan istifadə etdikdə divarları ikiqat edirlər. İzolyasiya divarlararası tikişə – yarığa səpilir. İzolyasiya çökdükdə əlavə izolyasiya tökmək üçün divarların yuxarı hissələrində pəncərə saxlayırlar.

**Arakəsmələr.** Penobeton və ya penoşüşə bloklardan ibarət bir və iki qatda penokeramzit arakəsmələri təşkil edir. Belə blok-

lar tikinti və izolyasiya materialının vəzifəsini yerinə yetirir. Bunlar isti sement məhlul üzərində düzülür. Tikişlər bitumlu mastika, izolyasiya materialının qarışığı ilə doldurulur. Arakəsmələrin hər iki tərəfinin səthləri sement – əhəng məhlulu ilə hamarlanır.

Arakəsmələrin vəzifəsini dəmir – beton və metal panel və ya istilik izolyasiya kərpicləri də yerinə yetirə bilər.

Kiçik soyuducularda ağac izolyasiyalı arakəsmələrdən istifadə edilir. Bu soyuducularda sıfır və müsbət temperaturlu kameralar arasındakı temperatur  $4^{\circ}\text{C}$ -ni keçmirsə, onda onların arakəsmələrinin izolyasiya edilməməsinə icazə verilir.

Üst örtük və mərtəbələrarası örtüklər (və ya arakəsmələr),  $6 \times 6$  m kolon torda hamar tavanların örtüklərinə nisbətən üstündür. Hər təbəqə arası örtük (arakəsmə) yuxarıdan və aşağıdan izolyasiya etmək üçün pneopolistrol PST-S və ya penopoliuretan PPU-ZS-dən qəbul edilirsə, onda tavanın səthi üzlənmir. Üzləmə işlərinə yalnız ağartma daxil edilir.

$6 \times 12$ ,  $6 \times 18$  kolon addımlı birmərtəbəli soyuducularda örtük üçün dəmir-beton tirlər və ya metal fermalar istifadə edilir. Tirlər üstünə yığma dəmir-beton plitkalar düzülür, onun üzərinə də istilik izolyasiyası düzülür. Yuxarıdan izolyasiyanı həsirlərlə mühafizə edirlər. Hal-hazırda 15 %-ə qədər olan maillikdə rulon həsirlərin çəkilməsi geniş yayılmışdır. Mailliyi qəbul edilən kolonlar müxtəlif hündürlüyü yarada bilər. Əgər kolonlar eyni hündürlüyə malik olarsa və plitkalar üfqi olarsa, onda örtüyün mailliyi izolyasiya materialının müxtəlif qalınlığının yaradılması yolu ilə alınır.

Hidroizolyasiya örtüyü bir neçə qat (5...7 qat) borulin və hidroizol qatlarından ibarətdir. Yay müddətində rulon örtüyün su ilə sulanması əlverişli olur ki, bu da günəş radiasiyasının təsirini azaldır və örtüklərin keyfiyyətini saxlayır. Rulon örtüklər asbest – sement təbəqəli bitum mastika ilə örtülür.

Birmərtəbəli soyuducularda tirli örtüklər və ya fermalar, eləcə də asma tavanlar istifadə edilir. Belə tavanlar ikiqat penopolistrol PSB-S ( $\delta=200$  mm) və hər iki tərəfi asbest – sement təbəqəsilə tikilmiş izolyasiya panellərindən yığılır. Yanan və çətinyanan izolyasiya materiallarının istifadəsində penobetondan, qazo-

betondan, keramzit betondan və asbest perlitdən istifadə edilir.

**Qapılır.** Söykənilən və diyirlənən qapılar qəbul edilir. Qapıların izolyasiyası üçün polixlorvinil P XV-1 və ya 150 mm qalınlığında penopolistrol istifadə edilir. Metal üzləmə qapıları mexaniki zədələmədən mühafizə edir və buxar izolyatoru adlanır.

**Borular.** Bunlar müxtəlif materialların qabıqları və seqmentləri ilə izolyasiya edilir. Boruların çirkdən və pasdan təmizlənməsindən sonra onlar bitumla rənglənilir. Sonra bunların üzərinə bir neçə qat bitum qarışdırılmış qabıq və seqmentlər yapışdırılır. Bu hesabat qalınlığının alınmasına qədər aparılır. Tikişlər izolyasiya materialının qırıntıları və bitumdan alınmış mastika ilə doldurulur. Borunun üstünə perqamin çəkilir və məftil dolanır. Sonra metal tor bərkidilir və suvanır. Boruların izolyasiyası üçün elastik materialdan da istifadə edilir. Borular hidravliki sınaqdan sonra izolyasiya edilir.

Aparatlar da borular kimi sınaq sistemindən sonra izolyasiya edilir. Aparatlar və borular üçün daha effektiv, örtülü məsaməli strukturlu materiallardan istifadə edilir.

### *Yoxlama sualları*

1. Soyuducularda izolyasiya nə üçün lazımdır? 2. Hansı istilik izolyasiya materiallarından istifadə olunur? 3. İstilik izolyasiya materialları hansı xüsusiyyətlərə malikdir? 4. İstilik izolyasiya materiallarının tərkibi nədən ibarətdir? 5. Buxar və hidroizolyasiya materialları hansılardır? 6. Soyuducuların tikinti-izolyasiya konstruksiyaları hansılardır? 7. İzolyasiya konstruksiyalarına hansı tələblər daxildir? 8. Borular necə izolyasiya edilir?

XXIX FƏSİL  
**SOYUDUCU QURĞULARIN  
AVTOMATLAŞDIRILMASI**

Soyuducuların avtomatlaşdırma cihazlarına aşağıdakılar aiddir: verilmiş temperaturu saxlamaq üçün termonizamlayıcılar; elektrik mühərrikinin avtomatik işə salınması üçün buraxıcı rele; buxarlandırıcının divarlarından qar örtüyünü çıxarmaq üçün avtomatik cihazlar; elektron nəzarət sistemləri.

**29.1. Məişət soyuducu texnikasının termonizamlayıcıları**

Termonizamlayıcılar soyuducuda lazım olan temperaturu saxlamaq üçün nəzərdə tutulur. Temperaturun nizamlanması üçün iki üsuldan istifadə olunur. Birinci üsul havanın sabit temperaturda saxlanmasıdır. Burada termonizamlayıcının həssas elementi soyuducu kamerada yerləşir. İkinci üsul sabit qaynama temperaturunun və ya buxarlandırıcının səthinin sabit temperaturunun saxlanmasıdır. Hər iki üsulun üstünlükləri və çatışmayan cəhətləri vardır. İkinci üsul soyuducu kameranın konvektiv soyudulmasında geniş istifadə edilir. Birinci üsul məcburi sirkulyasiyalı hava ilə işləyən soyuducularda istifadə olunur.

Konvektiv soyudulan soyuducularda kompressorun elektrik mühərrikinə açıb bağlamaq yolu ilə iki vəziyyətli nizamlama qəbul olunmuşdur. Həssas element yuxarı temperatur həddinə çatanda (işəsalma temperaturu) elektrik mühərriki işə düşür, o aşağı həddə çatdıqda (söndürmə temperaturu) söndürülür. Bu temperaturların fərqi cihazın diferensialı adlanır.

Aşağıda geniş yayılmış ikinci üsula əsaslanan termonizamlayıcılar verilmişdir.

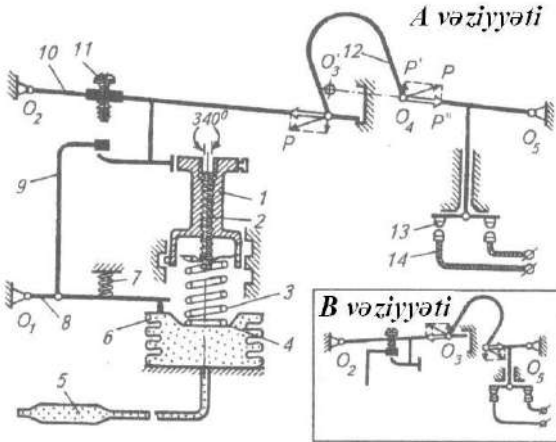
**29.1.1. APT tipli termonizamlayıcı.** APT-2 cihazlarının beş modifikasiyası mövcuddur (cədvəl 29.1).

APT-2 cihazı şəkil 29.1-də verilmişdir. Buxarlandırıcının divarına sıxılan damcı borusunda 5 temperatur artdıqda silfon borusunda olan R12 təzyiqi artır və silfon 6 uzanır. Silfonun 6 dibi 4 yayı 7 sıxır, dibdəki çıxıntı isə dəstəyi 8 dartqı 9 ilə birgə çevirir.

**APT tipli termonizamlayıcıların kontaktların  
temperatur xarakteristikaları (°C)**

Cihaz	Soyuq rejim		Orta rejim		İsti rejim	
	Ayrılməsi	Birləşməsi	Ayrılməsi	Birləşməsi	Ayrılməsi, az olmadan	Birləşməsi, çox olmadan
APT-2-1	-16-dan aşağı	-	-13,5...-11	-6,5...-4	-9,5	0
APT-2-2	-14,5...-12	-6,5...-4	-	-	-7,5	2,5
APT-2-3	-16...-13,5	-8...-5,5	-	-	-8,5	1
APT-2-4	-17,5...-15	-9,5...-7	-	-	-10	0,5
APT-2-5	-18,5...-16	-10,5...-8	-	-	-11,5	0,5
APT-2A	-11...-13,5	-7,5...-10	-	-	-	1
APT-2A-2	-9...-11,5	-5,5...-9	-	-	-	1

Kapilyar borusunda temperatur düşdükdə cihazın təsiri silfon 6 və yayın 7 təsiri ilə əks istiqamətdə gedir. İşə salma və söndürmə temperaturu çubuğun 1, vintin 2 və qaykanın köməyi ilə yayın dartılması nəticəsində nizamlanır.



**Şək. 29.1. APT-2 termonizamlayıcının sxemi:**

1-çubuq; 2, 11-vint; 3-yay; 4-silfonun dibi; 5-kapilyar boru; 6-silfon; 7-yay; 8, 10-dəstəklər; 9-dartqı; 12-arxa yay; 13, 14-kontaktlar

APT-2A termonizamlayıcılar arbsorbsiyalı soyuducular üçün nəzərdə tutulur. Cihazın kütləsi 0,25 kq, APT-2 cihazında birləşdirici kapilyar borunun uzunluğu 0,6 m, APT-2A cihazında isə 1 m-dir.

Dartqı vinti 11 sıxaraq dəstəyi 10 O<sub>2</sub> oxu ətrafında saat əqrəbi əksinə çevirəcək. Yayın təsirindən yaranan P qüvvəsinin A vəziyyətində yuxarı yönələn proyeksiyası P' olur. O<sub>3</sub> noqtəsi O'<sub>3</sub> vəziyyətinə keçdikdə P' sifıra bərabər olacaq, dəstəyin 10 sonrakı hərəkətində P' istiqamətini əks tərəfə dəyişərək və kontaktları 13 aşağı düşərək elektrik zəncirini qapayacaq.

Buxarlandırıcı ilə birləşən kapilyar borunun uzunluğu soyuq lehimpləm yerindən başlayaraq 60 mm-dən az olmamalıdır.

**29.1.2. T tipli şkalasız termonizamlayıcılar.** T tipli cihazların beş modifikasiyası mövcuddur. Bunlara T-110 termonizamlayıcıların modifikasiyaları aiddir.

**T-110 (TPX) termonizamlayıcılar**(şək.29.2.a). Cihaz plastik gövdədə 6 quraşdırılır və aşağıdakı hissələrdən ibarətdir: termohəssas sistem, temperatur düyünü, kontakt qrupu ilə kontaktların və qəliblərin çevrilmə mexanizmi.

Termohəssas sistemin elastiki elementi silfondur. Temperaturu işə salan kontaktların düyünü yaydan 2, sürüngəcdən 3, qaykadan 4, nizamlayıcı vintdən 5 və əks təsirli yaydan 10 ibarətdir.

Qeyri həssas zonanı qəliblərdə 7 yerləşən nizamlayıcı vintlə nizamlayırlar. Kontaktların çevrilmə mexanizmi dəstəklərdən 11, 12, oxdan 13 və tullayıcı yaydan 9 ibarətdir (şək.29.2).

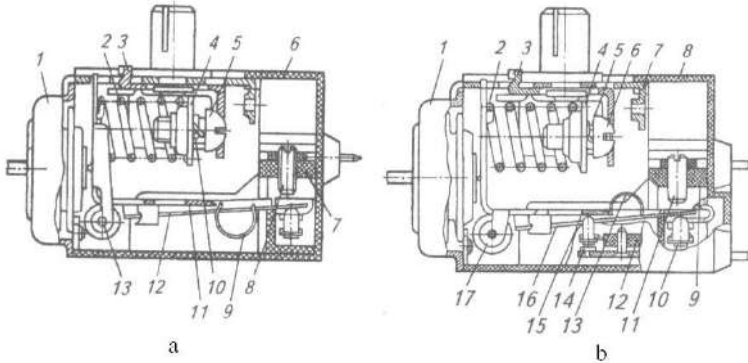
Cihaz aşağıdakı kimi işləyir. Termohəssas sistemin silfonu oxa oynaqlı bərkidilən ikiqollu dəstəyə təsir edir. Termostat rejimində termohəssas sistem və yayın təsiri altında dəstək yayı çəkərək kontaktları qapayır və ya ayırır. Nəzarət edilən mühitin temperaturu qalxdıqda kontaktlar qapanır, temperatur düşdükdə ayrılır.

Ən soyuq rejimdə cihazın dəstəyi saat əqrəbi istiqamətində sona kimi çevrilir, orta soyuqluqda 125° bucaq, ən istidə isə 250° bucaq altında saat əqrəbinin əks istiqamətində çevrilir.

Cihaz həm soyuducunun kamerasında, həm də daxilində, su

düşməyən yerdə quraşdırıla bilər. Kapilyar borunun buxarlandırıcı cihazla birləşmə kontaktının uzunluğu 120 mm-dən az olmalıdır.

**T- 144 termonizamlayıcılardan** (şək.29.2.b) məişət dondurucularında temperatur rejiminin idarə edilməsi və qəza rejiminin siqnalizasiyası üçün istifadə olunur. Cihazın əsas fərqli cəhəti nəzarət edilən mühitin temperaturunun qalxması zamanı qəza rejiminin siqnalizasiyasını təmin edən əlavə kontakt qrupunun olmasıdır.



### Şək. 29.2. Termonizamlayıcılar:

a) T-110: 1-termoəssas sistem; 2-yay; 3-sürünc; 4-qayka; 5,8-nizamlayıcı vintlər; 6-gövdə; 7-qəlib; 9-tullayıcı yay; 10-əks təsir yayı; 11,12-dəstəklər; 13-ox; b) T-144: 1-termoəssas sistem; 2-yay; 3-sürünc; 4-qayka; 5-əks təsir yayı; 6,11-nizamlayıcı vintlər; 7-gövdə; 8-köynək; 9,12-qəliblər; 10,14-siqnalizasiyanın kontakt qrupları; 13-tullayıcı yay; 15-ikiqollu dəstək; 16-dəstək; 17-ox

Cihazlar ətraf mühitin temperaturu  $50^{\circ}\text{C}$ -yə və nisbi rütubət 80 %-ə kimi, həmçinin ətraf havanın temperaturu  $35^{\circ}\text{C}$ -yə və nisbət rütubət 95 %-ə kimi olduqda işləmək üçün nəzərdə tutulur. Cihazın kütləsi 0,1 kq-dır.

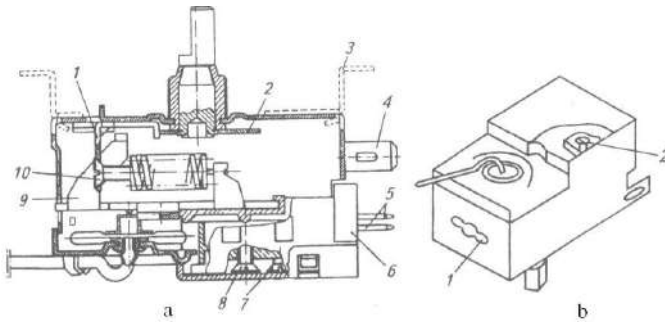
Termonizamlayıcıda termohəssas sistemin elastiklik elementi silfondur.

Temperaturu nizamlayan kontaktlar qrupu yaydan 2, sürüncdən 3, qaykadan 4, nizamlayıcı vintdən 6, əks təsir yayından 5 və başqa elementlərdən ibarətdir. Qeyri həssaslıq zonasını qəlib-

də yerləşən nizamlayıcı vintlə 11 nizamlayırlar. Kontaktları çevirən mexanizm dəstəkdən 16, oxdan 17, dəstək 15 və tullayıcı yaydan 13 ibarətdir. Cihaz aşağıdakı kimi işləyir. Termohəssas sistem 1 oxla oynaq birləşmiş ikiqollu dəstəyə 15 təsir edir. Termostat rejimində termohəssas sistem 1 və yayın 2 təsiri ilə dəstək yaydan keçərək idarəetmə və siqnalizasiya kontaktlarını qapayır və ayırır.

Nəzarət edilən mühitin temperaturu qalxdıqda idarəetmə və siqnalizasiya kontaktları qapanır. Temperatur düşdükdə idarəetmə kontaktları ayrılır.

**29.1.3. K tirli termonizamlayıcılar.** Bir sıra xarici soyuducular və dondurucular Almaniyanın "Ranco" firmasının K seriyalı termonizamlayıcıları ilə təchiz olunur. K seriyalı termonizamlayıcılar – buxardolduruculu həssas elementli kapilyar temperatur nizamlayıcılarıdır (şək. 29.3).



**Şək. 29.3. K tipli termonizamlayıcılar (K50; K54):**

a) kəsik: 1-eksentriklə nizamlanan rəzə; 2-eksentrik; 3-bərkidici pərçim (skoba); 4-torpaqlanmanın kontakt qütbü; 5-çeviricinin qütbləri(3 ədəd siqnal qütbü); 6-çevirici; 7-siqnalı tənzimləyən vint; 8-temperaturun dəyişməsinə tənzimləyən vint; 9-dəstək; 10-söndürmə momentini tənzimləyən vint; b)temperatur hüdudunun nizamlanma vintlərinin yerləşməsi: 1-hüdüdü və 2-işə salınmanın nizamlanma vintlərinin yerləşməsi

Kamerada temperaturun dəyişməsi buxar doldurucunun təzyiqinin dəyişməsinə gətirib çıxarır. Temperatur qalxdıqda sadə bir qütblü çevirici bağlanır.



Həssas elementlərin kapilyar borularının uzunluğu 400-dən 2500 mm-ə kimi uzunluqda hazırlanır.

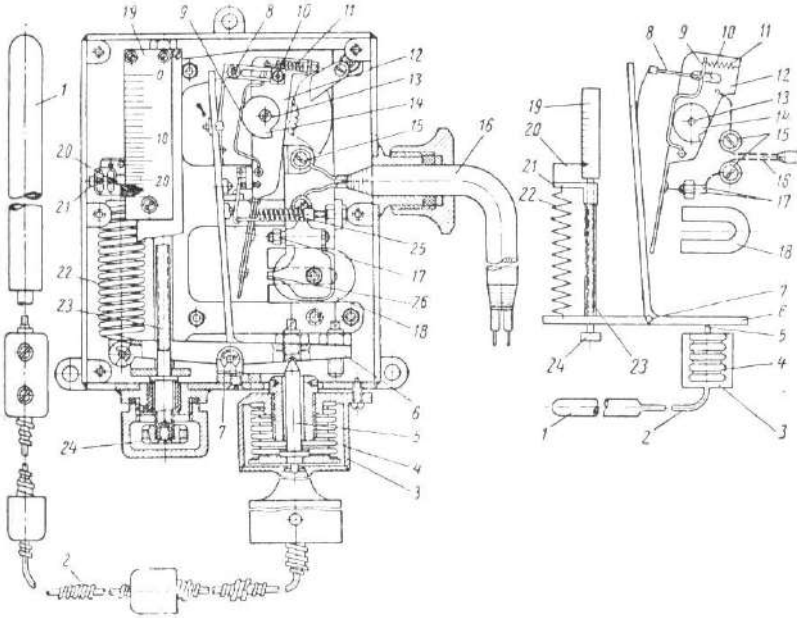
## **29.2. Soyuducu qurğuların avtomatik nizamlanması**

**Soyuducu kameraların temperaturunun nizamlanması.** Soyuducu kameralarda soyuducu batareyaların istilik yükü dəyişsə də, sabit temperaturun saxlanması vacibdir.

Sabit temperatur batareyaların soyuqluq məhsuldarlığının nizamlanması ilə saxlanılır. Sadə və geniş yayılmış üsul ikimövqeli nizamlama sistemidir. Belə sistemdə hər bir kamerada fərdi temperatur relesi quraşdırılır, məsələn, TDDA tipli – ikimövqeli məsafəli termorele (şək.29.4). Maye soyuducu agent və ya duzlu su boru kəmərinə batareyanın girişində solenoid ventili quraşdırılır. Havanın temperaturu yuxarı sərhəd qiymətinə çatanda temperatur nizamlayıcısı avtomatik olaraq solenoid ventilin elektrik dövrəsini qapayır. Ventil tam açılır və soyuducu maye batareyalara daxil olur; kameralar soyudulur. Temperatur aşağı sərhəd qiymətinə çatdıqda, əksinə ventilin dövrəsi açılır, soyuq mayenin batareyalara verilməsi dayanır.

Qismən maye freon-12 doldurulmuş TDDA temperatur nizamlayıcısının termobalonu soyuducu kamerada yerləşdirilir. Termobalonu freonun təzyiqi temperaturdan asılı olub kameradakı havanın temperaturuna bərabərdir. Bu temperatur artdıqca termobalonun təzyiqi artır. Yüksək təzyiq kapilyar boru ilə büzməli boru şəklində olan silfon 4 yerləşən kameraya 3 verilir. Silfon sıxılaraq iynəni 5 hərəkətə gətirir. O isə öz növbəsində 22 yayın müqavimətini dəf edərək bucaq dəstəyini oxun ətrafında saat əqrəbinin əksi istiqamətində fırladır. Dəstək 6 özü ilə dartqı 8 bərkidilmiş lövhəli yayı daşıyır, o da dəstəyin saat əqrəbinin əksi istiqamətində hərəkəti zamanı sola hərəkət edir. Dartqı 8 kontakt lövhəsi 12 yarığında hərəkət edən barmaqla 10 birləşir. Barmaq dəstəyə 9 dəyərək onu və kontakt lövhəsini 12 ox 13 ətrafında çevirir. Bu zaman kontakt lövhəsinin alt hissəsi nalşəkilli sabit maqnitə 18 yaxınlaşaraq onunla çəkilir. Bu halda əsas 17 və qılgılıcı söndürən 26 kontaktlar qapanırlar. Maye xəttində yerləşən solenoid ventilin idarəetmə dövrəsi qapanır, ventil açılır və ma-

ye batareyalara daxil olur.



**Şək. 29.4. TDDA tipli temperatur nizamlayıcısı:**

1-termobalon; 2-kapilyar boru; 3-silfon üçün kamera; 4-silfon; 5-iyinə; 6-bucaq dəstəyi; 7-ox; 8-dartqı; 9-dəstək; 10-barmaq; 11-yay; 12-kontakt lövhəsi; 13-ox; 14-yumruq; 15-qütblər; 16-elektrik naqilləri; 17-əsas kontakt; 18-nalşəkili maqnit; 19-temperatur şkalası; 20-göstərici; 21-karetkə; 22, 25-yaylar; 23-vint; 24-dəstək; 26-qıgılıcı söndürən kontakt

Havanın temperaturu düşdükdə silfon yerləşən kamerada 3 və termobalonda təzyiq azalır və bucaq dəstəyi 6 yayın 22 təsirindən saat əqrəbi istiqamətində çevrilir. Barmaq 10 dəstəkdən 9 kontakt lövhəsindəki 12 yarığının sonuna kimi (sərbəst gediş) hərəkət edir, lövhəni sıxır və maqnit cazibəsini dəf edərək onu saat istiqamətində çevirir. Bu zaman elektrik kontaktları ayrılır, solenoid ventili bağlanır və batareyaya mayenin verimi dayandırılır. Cihazı müəyyən ayırma temperaturuna nizamlamaq üçün temperatur şkalasının 19 müvafiq qiymətinə uyğun olaraq dəstəyi fırladaraq karetkanın 21 yerini dəyişirlər.

Cihaz elektrik kontaktlarının qapanma və ayrılma temperaturalarının müəyyən fərqi nizamlanır. Bu fərq kontakt lövhəsinin yarığında barmağın sərbəst gedişindən asılıdır. Sərbəst gediş işə yumruq 14 ox 13 ətrafında fırlanıqda dəstəyin 9 üst hissəsi yarığın uzununu boyunca hərəkəti zamanı dəyişir. Yumruğun radiusu dəstəyin toxunduğu yerdə nə qədər çox olarsa, bir o qədər sərbəst gediş çox olar və kontaktların qapanma və ayrılma temperaturalarının fərqi də çox olar. TDDA temperatur nizamlayıcısı solenoid ventilinə  $-25^{\circ}\text{C}$  -dən  $0^{\circ}\text{C}$  temperatur sərhədinə kimi söndürülməsini təmin edir. Cihazın minimum diferensialı  $2^{\circ}\text{C}$ , maksimum işə  $8^{\circ}\text{C}$ -dən az deyil. Cihazın kütləsi 3,5 kq, kapilyar borunun uzunluğu 3 m-dir.

**29.2.1. Kompresorların soyutma məhsuldarlığının nizamlanması.** Soyuducu kameranın istilik yükü məhsulların temperaturundan, miqdarından, ətraf mühitin temperaturundan asılıdır. Quraşdırılan kompressorların soyutma məhsuldarlığı tələb olunan temperaturun ən çətin şəraitdə saxlanmasını nəzərə almaqla seçilir.

Kiçik freon qurğularında kompressorun məhsuldarlığı soyudulan obyektin temperaturu ilə birgə nizamlanır.

Duzlu məhlulla soyudulan maşınlarda kompressorun məhsuldarlığını nizamlamaq üçün ən əlverişli parametr məhlulun buxarlandırılmasının çıxışında məhlulun temperaturudur. İstilik yükü azaldıqda buxarlandırıcıda məhlulun temperaturu aşağı verilən həddə kimi düşür və temperatur nizamlayıcısı (TDDA) maqnit işə buraxıcısının dolaq sarğısının dövrəsini açaraq kompressorun elektrik mühərrikini dayandırır. Temperatur yuxarı həddə kimi qalxdıqda kompressor yenidən işə düşür. Buxarlandırıcıya (soyuducu batareyalara) düşən istilik yükü nə qədər çox olarsa, o kompressorun işi bir o qədər çox davam edir. İş müddəti əmsalını dəyişməklə kompressorun lazım olan orta məhsuldarlığı əldə edilir.

Orta və iri qurğularda çox saylı otaqları soyutmaq üçün sistemin çox miqdarda soyuducu batareyası olur. Otaqlarda lazımı temperatur alındıqda batareyaların bir qismi söndürülür və müvafiq olaraq kompressorların soyutma məhsuldarlığı azalır.

Bu halda ən əlverişli nizamlaşma kompressorun pörşenlərinin işçi həcmi dəyişməklə pilləli nizamlaşmadır. Bir neçə kompressorlu qurğularda pilləli nizamlaşma ayrı-ayrı kompressorları söndürüb yandırmaqla əldə olunur. İki eyni kompressorun olması üç pillədə soyutma məhsuldarlığı almağa imkan verir, yəni 100 – 50 – 0 %.

AV-100 və AU-200 kompressorları dörd pillədə 100-67-33-0%) soyutma məhsuldarlığı verir. Çoxsilindrlı kompressorların pilləli nizamlaşması aşağı təzyiqlə relesi ilə idarə edilən xüsusi mexanizmlərlə sorucu klapanları sıxaraq ayrı-ayrı silindrləri söndürməklə mümkündür.

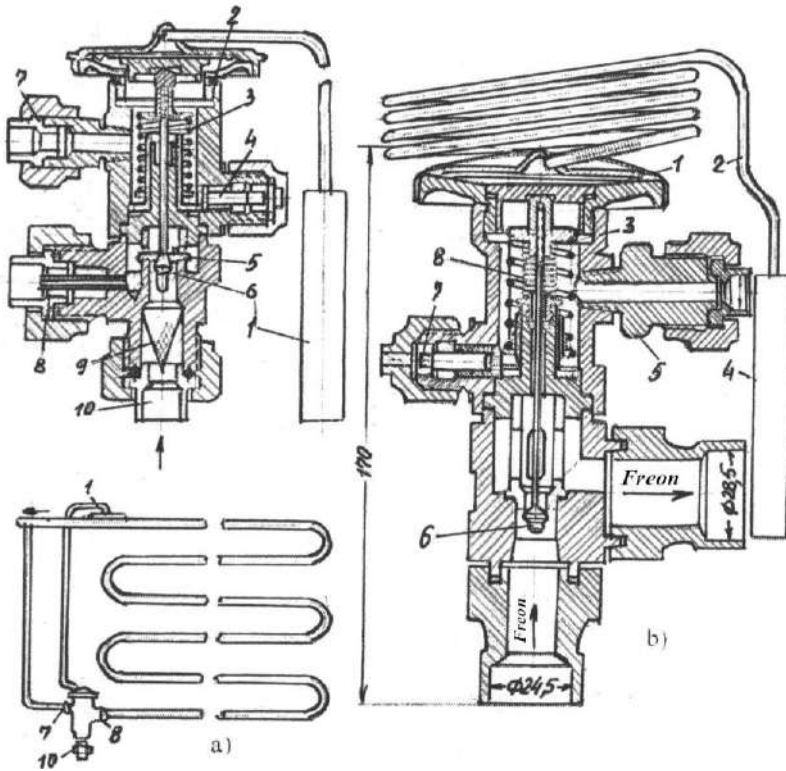
Bəzi hallarda kompressorun məhsuldarlığının tədricən nizamlaşmasından istifadə olunur – sorulan buxarın drossellənməsi ilə və s. Bu üsullar energetik baxımdan əlverişli deyillər. Perspektivli soyuqluq məhsuldarlığının nizamlaşma üsulu kompressorun fırlanma tezliyinin dəyişməsi yolu ilə çox sürətli elektrik mühərriklərindən istifadə etməklə həyata keçirilir.

**29.2.2. Soyuducu agentin buxarlandırıcıya verilməsinin nizamlaşması.** İstilik yükünün qiymətindən asılı olmayaraq avtomatik nizamlaşma cihazları buxarlandırıcının soyuducu agentlə düzgün dolmasını təmin etməlidir. Mayenin buxarlandırıcıda artıq olmasına imkan vermək olmaz, çünki bu sərfəli işin azalmasına və hidravliki zərbənin (nəmli gediş) yaranmasına gətirib çıxarır. Maye az olduqda səthin bir hissəsi istifadə olunmur, bu da buxarlaşma temperaturunun azalması nəticəsində iş rejimini pisləşdirir.

Buxarlandırıcıya verilən mayeni nizamlaşan cihazlar termonizamlayıcı ventillər (TPB) və üzgəclı nizamlaşıcı ventillərdir (PRV). Bu cihazlarda mayenin drossellənmə prosesi də yerinə yetirilir. Hazırlanan termonizamlayıcı ventillərin əsas tipi – membranlıdır. TPB-nin işə salınma sxemi şəkil 29.5-də verilmişdir. Cihazın işi buxarlandırıcıdan çıxan çox qızmış buxardan asılıdır. Çox qızmanın olmaması buxarlandırıcıda həddindən çox nəmin olmasına və onun sorucu xəttə və kompressora dolma imkanına işarə edir.

Bu halda TPB buxarlandırıcıya mayenin verilməsini avtomatik olaraq dayandırır. Sorma zamanı soyuducu agentin buxarının

çox qızması əksinə buxarlandırıcıda onun çatışmamazlığını göstərir. Bu halda TPB mayenin verilməsini artırır.



**Şək. 29.5. Metal gövdəli membranlı termonizamlayıcı ventillər:**

- a) TPBA ammonyaklı: 1-termobalon; 2-membran; 3-yay; 4-vint; 5-yəhər; 6-klapan; 7-ştuser; 8-drossel borusu; 9-süzgəc; 10-maye ammonyak ştuseri; b) TPB - 40 freonlu: 1,2,4-termohəssas sistem; 5-ştuser; 6-klapan; 3,7-nizamlayıcı qurğu; 8-kipləşdirici silfon

TPBA ammonyak ventilinın termobalonu (cihazın həssas elementi) freon 22 ilə doldurulur. Termobalon sorucu boru kəmərinə kipi bərkidilir və onun temperaturu buxarlandırıcıdan çıxan ammonyak buxarının temperaturuna bərabər olur.

Temperatur dəyişdikdə termobalonun təzyiqi dəyişir. Ventilin klapanı membranla mexaniki bağlanır. Membrana yuxarıdan ka-

pilyar boru ilə termobalondan verilən buxar təzyiqi, aşağıdan isə bərabərləşdirici borucuqla ştuserdən 7 keçməklə buxarlandırıcıdan verilən təzyiq təsir edir. Membranın hərəkəti buxarlandırıcının çıxışında buxarın çox qızmasına mütənasib olan təzyiqlərin fərqindən asılıdır, bununla bərabər buxarlandırıcıya verilən mayeni nizamlayan klapanın açılması da. Ammonyak TPBA-ya ştuserlə 10 verilir. Drossellənmə klapan yarığında və qismən drossel borusunda baş verir.

Maşının işi zamanı TPBA buxarın sabit çox qızmasını təmin edir, müvafiq nizamlamalarla çox qızmanın qiymətini 2-dən  $10^{\circ}\text{C}$ -yə kimi dəyişmək olar. Nizamlama vint 4 və onunla bağlı olan dişli çarxlarla yerinə yetirilir.

TPBA qaynama temperaturuları 0-dan  $30^{\circ}\text{C}$ -yə kimi olan müxtəlif tip buxarlandırıcılarda ammonyakın verilməsini etibarlı nizamlayır. Duzlu məhlulun soyudulması üçün köynəkli borulu buxarlandırıcıların qidalanması çox böyük olmayan temperatur fərqində nizamlanır (2-dən  $4^{\circ}\text{C}$ -yə kimi). Soyutma məhsuldarlığı 6-dan 230kVt-a ( $\sim 5\dots 200$  Mkal/saat) qədər olan maşınlar üçün müxtəlif tip TPBA modelləri buraxılır.

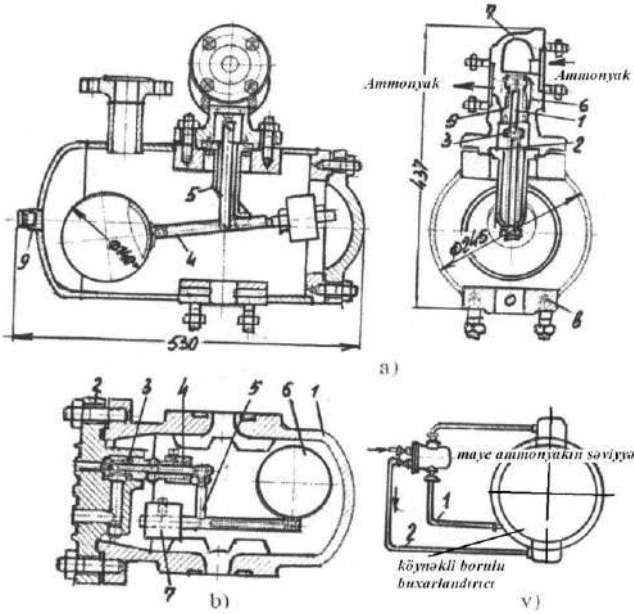
12...190 kVt ( $\sim 10\dots 160$  Mkal/saat) olan freon qurğuları üçün TPB-lər konstruksiyasına görə TPBA tipli ventillərə yaxındır. Kiçik freonlu maşınlarda membranlı bərabərləşdirici xətti olmayan TPB istifadə olunur.

Ammonyakın buxarlandırıcıya və sərbəst səviyyəli çənlərə verilməsinin nizamlanması aşağı təzyiqli üzgəclə nizamlayıcı ventillərlə (PRV) mümkündür (şək.29.6).

PRV buxarlandırıcıda mayenin istənilən səviyyəsində quraşdırılır. Cihazın gövdəsi buxarlandırıcı ilə bərabərləşdirici xətlərlə birləşir. Buxarlandırıcıda mayenin səviyyəsinin dəyişməsi PRV-nin gövdəsində səviyyənin dəyişməsinə gətirib çıxarır. Eyni zamanda gövdənin içərisində üzgəcin vəziyyəti dəyişir, bu da klapanı hərəkət etdirir və kondensatordan buxarlandırıcıya maye axınının en kəşik sahəsini dəyişir.

5PR tipli keçidli ventilin drossel yarığının sahəsi  $5\text{ mm}^2$  və soyutma məhsuldarlığı 12-dən 35 kVt-a qədər ( $\sim 10\dots 30$  Mkal/saat) olan buxarlandırıcılarda istifadə olunur. Aşağı təzyiqli keçidsiz

PRV, 10PR, 20PR, 50PR, 100PR, 200PR ventillər soyutma məhsuldarlığı 55-dən 930 kVt-a qədər (~50...800 Mkal/saat) olan buxarlandırıcılar üçün nəzərdə tutulur.



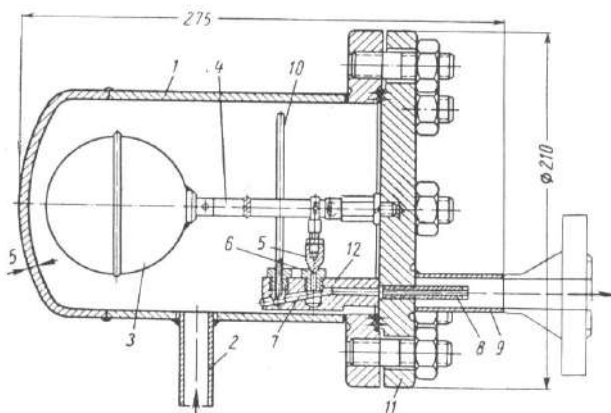
**Şək. 29.6. Üzgəcli amonyaklı nizamlayıcı ventillər:**

- a) 20PR markalı: 1-klapan; 2-asqı; 3-suxarı; 4-manivela; 5- istiqamətləndirici; 6-yəhər; 7-başlıq; 8-kronşteyn; 9-bobışka;
- b) 5PR markalı: 1-gövdə; 2-qapaq; 3-klapanın iynəsi; 4-şpindel; 5-manivelanın dəstəyi; 6-üzgəc; 7-əks yük;
- v) üzgəcli nizamlayıcı ventilin işəsalma sxemi: 1-maye bərabərləşdirici xətt; 2-maye vermək üçün xətt

PRV köynəkli borulu buxarlandırıcılarda boruların ikinci cərgəsinin üstündə quraşdırılır. Yüksək təzyiqli üzgəcli ventillər (PR-1) buxarlandırıcılarda və çənlərdə mayenin səviyyəsini nizamlamaq üçün nəzərdə tutulmuşdur (şək.29.7). Aşağı təzyiqli ventillərindən fərqli olaraq yüksək təzyiqli PR-1 ventillərini buxarlandırıcı və kondensatora nisbətən müxtəlif səviyyələrdə quraşdırmaq olar.

Gövdənin ventilinə ştuser qaynaq edilib. Gövdənin daxilində

dəstəyin köməyi ilə iynəli klapanla bağlı olan üzgəc yerləşir.



**Şək. 29.7. PR-1 tipli yüksək təzyiqli üzgəcli ammonyaklı nizamlayıcı ventily:**

1-ventilin gövdəsi; 2-ştuser; 3-üzgəc; 4-dəstək; 5-iynəli klapan; 6-klapanın yəhəri; 7-kanal; 8-drossel borusu; 9-ştuser; 10-kapilyar boru; 11-ventilin qapağı; 12-qəlib

Ammonyak klapanın yəhərinin yarısından, kanaldan və drossel borusundan keçərək ştuserə tərəf çıxır və oradan da boru kəməmindən buxarlandırıcıya verilir. Ventilin gövdəsinin içərisində kapilyar borusu var. Onun yuxarı hissəsi açıqdır, aşağı hissəsi isə kanallarla drossel borusu ilə birləşir. Ventildə təzyiq kondensatorda olan təzyiqdən az olur. Maye kondensatordan ventilin gövdəsinə keçir. Mayenin təsiri altında üzgəc üzə qalxır. Üzgəcin gövdəsinə nə qədər çox maye verilərsə, buxarlandırıcının klapanı mayenin keçməsi üçün bir o qədər çox açılır. PR-1 tipli ventillərlə istifadədə kondensator mayedən azad olur. Buna görə də sistemdə ammonyakın miqdarı elə olmalıdır ki, ammonyakın buxarlandırıcıya tam axması zamanı mayenin səviyyəsi buxarlandırıcıda birinci və ikinci boru cərgəsinin səviyyəsindən yuxarı olmamalıdır. Belə dolmada maye ammonyakın sorucu xəttə dolmasının qarşısı alınır və buxarlandırıcıda intensiv istilikdəyişmə üçün şərait yaranır.

Kompressorun temperaturunun artmasının qarşısını almaq üçün temperatur relesindən istifadə olunur. O, gövdəyə birləşmiş



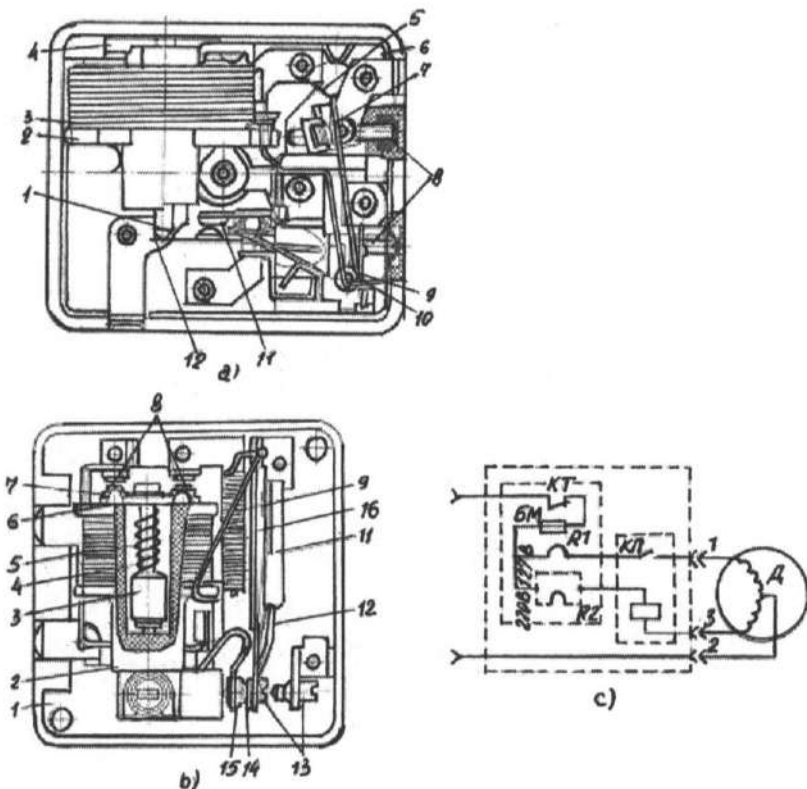
latun borudan ibarətdir. Onun daxilində kontaktlı bərkidilmiş yay yerləşir. Qızdırdıqda boru və yay müxtəlif uzunluqlarda uzanır, bu halda yay uzanaraq kontaktı ayırır. İşə salma temperaturunu nizamlama vintli ilə nizamlayırlar.

Yağlamanın verilməsini nizamlamaq üçün kompressorlarda (PKC) yağlamaya nəzarət relesindən istifadə olunur. O iki hissədən ibarətdir: həssas və icra hissələrindən. Həssas hissəyə bir – biri ilə çubuqla bərk bağlanan iki silfon daxildir. Həssas hissə ötürücü mexanizmin köməyi ilə kontaktları çevirən mexanizmlə bağlanır.

Relenin iş prinsipi cihazın həssas sistemində silindrik vintli yayın deformasiyasının elastikli qüvvəsinə və təzyiqlər fərqi ilə yaranan qüvvənin bərabərləşməsinə əsaslanır. Nəzarət edilən təzyiqlər fərqi dəyişməsi qüvvələrin tarazlığını pozur. Bu, mexanizmin elementlərinin dəyişməsini və ya kompressorun elektrik dövrəsindən işə düşən kontaktların qapanmasına gətirib çıxarır. Yağlamaya nəzarət edən relenin silfonları kompressorun karterinə və kipgəcinə birləşdirilir.

Kompressorun silindrinin soyudulması üçün suyun verilməsi axın relesi RP-12 ilə nizamlanır. O alüminium gövdədən ibarətdir. Gövdə relenin həssas elementi olan rezin membranla iki hissəyə bölünür. Gövdəyə daxil olan su onun membranaltı hissəsindən keçir. Nizamlanan drosseldə təzyiqin düşməsi nəticəsində membran qalxır və yayın müqavimətini dəf edərək itələyicini yuxarı qaldırır. İtələyicinin sonluğu (quyruğu) mikroçeviricinin işini idarə edir. Suyun axması dayandıqda membran aşağı hərəkət edir və klapın mikroçeviricinin kontaktlarını ayırır. Kompresor dayanır. Kompresorun soyudulması üçün su sərfi onun pasport göstəricilərində verilir. Bu sərfiyyat reledə nizamlayıcı vintin çevrilməsi ilə qoyulur. 0,3 MPa təzyiqdə maksimal su sərfi 2,5 m<sup>3</sup>/saatdır.

Məişət soyuducularının elektrik mühərriklərini işə salmaq və onun sarğısını çox yüklənmədən qorumaq üçün işəsalma qoruyucu rellərdən istifadə olunur (şək. 29.8). Bunlar əsasən DXR, RTP, PTK-X, RPZ tipli rellərdir (cədvəl 29.2).



**Şək. 29.8. RTP-1 tipli işəsalma qoruyucu rele:**

1-mil; 2-dolağın gövdəsi; 3-dolaq; 4-araqatı; 5-tullayıcı yay; 6-gövdə; 7-isitilik relesinin kontaktları; 8-nizamlayıcı vintlər; 9-bimetal lövhə; 10-qızdırıcı spiral; 11-buraxıcı relenin tərpnəmz kontaktı; 12-buraxıcı relenin tərpnəmz kontaktının lövhəsi

DXR tipli rele kompressorun çərçivəsinə qaynaq olunmuş xüsusi yerdə yerləşdirilir və pərçimlə bərkidilir. Relenin kontaktları lövbər bərkidilən elastiki lövhənin təsirindən ayrılmış vəziyyətdə olur. Relenin kontaktlarının birdən – birə ayrılması kiçik sabit maqnitlə təmin olunur. Maqnit relenin gövdəsində bilavasitə lövhənin altında bərkidilir. Mühərrikin sarğısının yaxşı soyuması üçün maqnitin olması kontaktların ayrılmış vəziyyətdəki müddətini artırmağa imkan verir.

**İşəsalma qoruyucu relelərin texniki xarakteristikaları**

Tip	Modifikasiya	Gərginlik, V	Cərəyan, a		Kompres-sorun tipi	Relenin yerləşdiyi yer
			işləmə	buraxma		
DXR	DXR	127	5,7	4,3	DXR	Çərçivədə
	DXR -3	127	4,8	3,4	DXR -3	
	DXR -5	220	3	2,1	DXR -5	
RTP	RTP-1	127	4,7	3,7	DXR -3	Çərçivədə və ya kontaktlarında
	RTP-1	220	2,7	2,1	DXR -5	
RTK-X	PTK-X	127	4,5	3,8	DXR -3	Keçid kontaktlarında
	PTK-X	220	2,7	2,2	DXR -5	
RPZ	RPZ-23	220	2,9	2,5	FQ-0,100	Çərçivədə
	RPZ-24	220	3,5	3,1	FQ-0,125	
	RPZ-25	220	4,1	3,7	FQ-0,150	

Qoruyucu relenin iş prinsipi aşağıdakı kimidir. Bimetal lövhə 9, ayırıcı kontaktlar 7 və qızdırıcı spiral 10 elektrik mühərrikinin işçi dolağının dövrəsinə ardıcıl birləşir. Rele elə işə salınır ki, buraxıcı sarğını işə saldıqda qızdırıcı spiraldan hər iki sarğının ümumi cərəyanı keçsin. Cərəyan şiddəti artdıqda qızdırıcı spiral bimetal lövhəyə təsir edərək onu əyilməyə məcbur edir, bu halda kontaktlar ayrılır və elektrik mühərriki dayanır. Soyuduqda bimetal lövhə normal vəziyyət alır, relenin kontaktları qapanır və aqre-qatın elektrik mühərriki işə düşür.

***Yoxlama sualları***

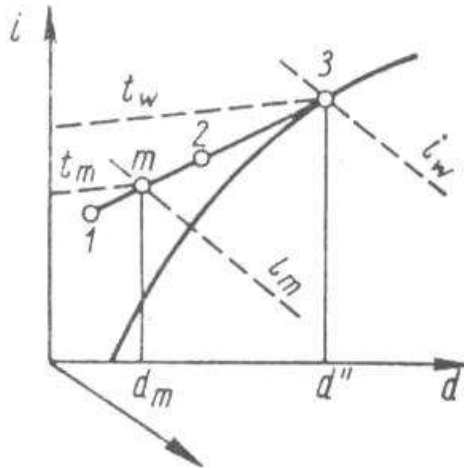
1. Soyuducuların avtomatlaşdırma cihazlarının təyinatı. 2. Termonizamlayıcılar nə üçün nəzərdə tutulur? 3. Temperaturun nizamlanmasında hansı üsullardan istifadə olunur? 4. Soyuducu qurğuların avtomatik nizamlanması necə yerinə yetirilir? 5. Pilləli nizamlamadan hansı hallarda istifadə olunur? 6. Soyuducu agentin buxarlandırıcıya verilməsinin nizamlanması necə və hansı cihazlarla yerinə yetirilir? 7. Hansı tip işəsalma qoruyucu relelərdən istifadə olunur?

XXX FƏSİL  
QRADİRNYALAR

30.1. Qradirnyada soyudulan suya havanın təsiri

Soyuducu maşınların kondensatorlarının soyudulmasına çoxlu su tələb olunur. Su kəməmindən gələn su kondensatorun soyudulmasından sonra adətən kanalizasiyaya axıdılır. Suya sərf olunan xərclər istismar xərclərinin çox hissəsini təşkil edir. İstismar xərclərini azaltmaq və suya qənaət etmək məqsədi ilə onun xüsusi soyuducularda (qradirnyalarda) soyudulduqdan sonra yenidən istifadəsi daha əlverişlidir.

Qradirnyada su xarici hava ilə konvektiv istilikdəyişmə yolu ilə soyudulur. Soyutma prosesi yalnız o vaxt baş verir ki, nəmli termometrlə müəyyən edilən havanın temperaturu suyun temperaturundan aşağı olsun. Havanın soyudulan su ilə təmasda olması zamanı halının dəyişməsi  $d-i$  -diaqramında verilmişdir (şək.30.1). Havanın temperaturu və nəmliyi nə qədər aşağı olarsa, suyun soyudulması bir o qədər intensiv baş verir.



Şək. 30.1. Suyun soyudulması zamanı havanın  $d-i$  -diaqramı:

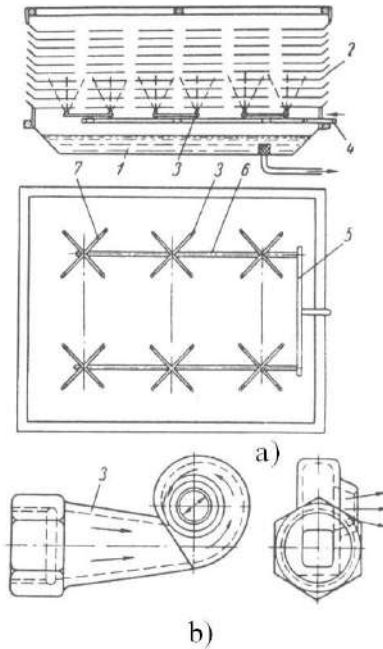
1-havanın ilkin halı; 2-prosesin sonunda havanın halı; 3-suyun üzərində doymuş havanın halı;  $m$ - aparatda havanın halı

Suyun temperaturu nəmli termometrin temperaturuna bərabər olarsa suyun temperaturu dəyişməz.

### 30.2. Qradirnyaların konstruksiyası və hesabı

Dövr edən suyun soyudulması üçün aşağıdakı tip qradirnyalardan istifadə olunur: forsunkalı püskürücülü; damcılı və ventilyatorlu qradirnya.

Forsunkalı püskürücülü qradirnyalar (hovuzlar) dövr edən suyun miqdarı  $2000 \text{ m}^3/\text{saata}$  qədər olan soyuducu qurğuların kondensatorlarında istifadə olunur. Köynəkli borulu və elementli kondensatorlardan istifadədə püskürücülü hovuzlar torpaqda yerləşir (şək. 30.2).



**Şək. 30.2. Torpaqda yerləşən püskürücülü hovuz:**

a) sxem; 1-hovuzun altlığı; 2-jalyüzlü örtük; 3-forsunkalar; 4-nasodan suyu qovmaq üçün boru kəməri; 5-kollektor; 6-paylayıcı borular; 7-forsunkaya ötürücülər, b) forsunka

Hovuz su keçirməyən altlıqdan (dəriniyi 1,0...1,5 m), dövr etdirici nasosdan və forsunkalardan ibarətdir. Su forsunkalara verilirək püskürülür. Su soyudulur və altlığa tökülür. Soyudulan su oradan nasosla kondensatora verilir. Su isindikdə həmin nasosla yenidən püskürücü hovuzda soyudulmağa qaytarılır. Kondensatordan çıxdıqda suyun qalıq təzyiqi 0,05 MN/m<sup>2</sup> təşkil edir.

Su forsunkalara supaylayıcı kollektorlarla verilir. Kollektorların arasında məsafəsi 4 m, forsunkaların arasındakı məsafə isə 2 m-dir. Forsunkalar hovuzdan 1...1,5 m hündürlükdə yerləşir. İş zamanı suyun bir qismi küləklə sorulur (3...4 %). Bunu azaltmaq üçün örtükdən istifadə olunur. Torpaqda yerləşən hovuzları su ehtiyatı çəni kimi də istifadə etmək olar.

Suvarıcı və köynəkli borulu kondensatorlardan istifadə etdikdə püskürücü hovuzlar onların üstündə yerləşdirilir.

Hovuzun məhsuldarlığı istilik və hidravliki yüklərin qiyməti ilə təyin edilir. İstilik yükü  $Q$  (Vt) 1 saat ərzində hovuzda dövr edən suyun verdiyi istiliyə bərabərdir. Praktiki olaraq bu istilik kondensatorların istilik yükünə bərabərdir. Hovuzun hidravliki yükü 1 saat ərzində orada dövr edən suyun miqdarı ilə təyin olunur. Hidravliki yükü aşağıdakı tənliklə hesablayırıq:

$$W = \frac{3,6Q}{10^3 c \Delta t_{\omega}} \quad m^3/saat, \quad (30.1)$$

burada  $c$ - suyun istilik tutumu, kCoul/(kq·dər);

$\Delta t_{\omega}$ - kondensatordan verilən və hovuzda soyumuş suların temperatur fərqi ( $\Delta t_{\omega} = t_{\omega 2} - t_{\omega 1}$ , dər).

Soyumuş suyun temperaturu

$$t_{\omega_1} = t_{nt} + 3\Delta t_{\omega}, \quad (30.2)$$

burada  $t_{nt}$ - nəmli termometrə ölçülən havanın temperaturu.

Temperaturlar fərqi təxmini aşağıdakı kimi hesablanılır:

$$\Delta t_{\omega} = 0,239u(i_{\omega} - i), \quad (30.3)$$

burada  $u$ - soyutma əmsalidir, küləyin sürətindən və forsunkalarda havanın təzyiqindən asılıdır;

$i_{\omega}$ - suyun orta temperatur qiymətində doymuş havanın istilik tutumu, kCoul/kq;

$i$ - ətraf havanın istilik tutumu, kCoul/kq.

Temperaturlar fərqi  $\Delta t_{\omega}=2...4^{\circ}\text{C}$  qəbul olunur. Xüsusi hidravliki yük (suvarma sıxlığı) 1 saat ərzində  $1 \text{ m}^2$  hovuzla püskürülən suyun miqdarıdır. Onun qiyməti ümumi hidravliki yükədən  $H_{\omega}$  asılıdır və  $H_{\omega}=0,5...1,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{saat})$  qəbul olunur.

Püskürücülük hovuzun sahəsi material balansını tənzimləyən təyin edilir

$$F = \frac{W}{H_{\omega}} \text{ m}^2 \quad (30.4)$$

və ya hovuzun istilik balansını tənzimləyən

$$F = \frac{3,6Q}{10^3 cH_{\omega}\Delta t_{\omega}} \text{ m}^2. \quad (30.5)$$

Püskürülən suya təmiz havanın yaxşı verilməsi üçün hovuzun eni 40 m-dən çox olmamalıdır.

Püskürücülük hovuzun  $1 \text{ m}^2$  sahəsinə düşən istilik yükü xüsusi istilik yükü adlanır və aşağıdakı kimi ifadə olunur:

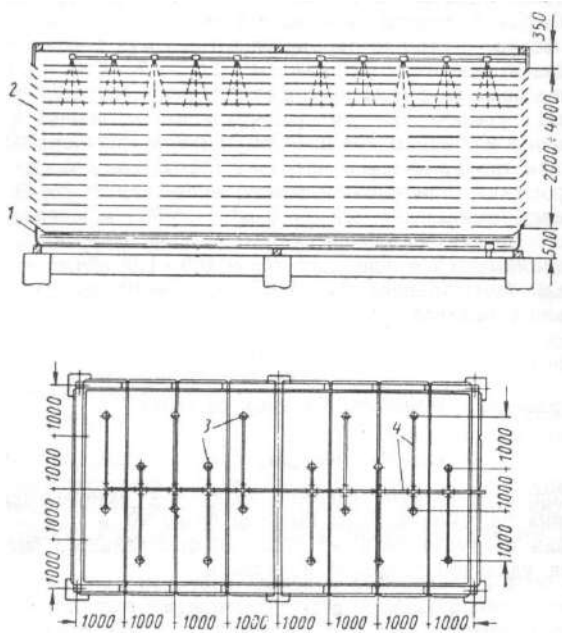
$$q_f = \frac{Q}{F} = \frac{10^3 cH_{\omega}\Delta t_{\omega}}{3,6} \text{ Vt/m}^2. \quad (30.6)$$

Təcrübədən püskürücülük hovuz üçün  $q_f=1750...4650 \text{ Vt/m}^2$  [ $1,5...4 \text{ Mkal}/(\text{m}^2\cdot\text{saat})$ ] qəbul olunmuşdur.

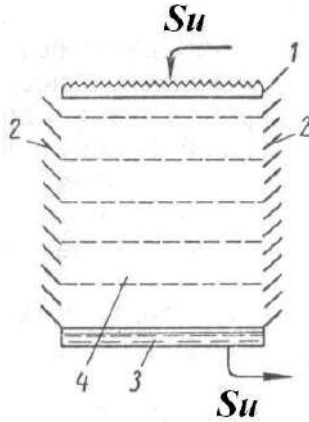
Açıq tipli qülləli qradirnyalar iki cür olur: püskürücülük və damcılı. Püskürücülük qradirnyalarda suyun püskürülməsi nəticəsində hava ilə təmasda olan su soyudulur (şək.30.3). Soyumuş su altlığa axaraq dövr etdirici nasosa verilir. İş prinsipinə görə açıq tipli püskürücülük qradirnya püskürücülük hovuzla eyni olub, daha intensiv işləyir. Suvarma sıxlığı  $H_{\omega}=2,5...3,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{saat})$  olduqda xüsusi istilik yükü  $q_f=6...16 \text{ kVt/m}^2$ -dir.

Açıq püskürücülük qradirnyalar düzbucaqlı və ya kvadrat formasında hazırlanır.  $\Delta t_{\omega}=3...4^{\circ}\text{C}$  olduqda məhsuldarlığı 1-dən 400  $\text{m}^3/\text{saata}$  qədər olur. Bu tip kiçik qradirnyalarda ( $W\approx 20 \text{ m}^3/\text{saat}$ )  $H_{\omega}=4...5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{saat})$  qəbul olunur.

Damcılı qradirnya (şək.30.4) supaylayıcı qurğudan, suvarıcı səthdən, altlıqdan və jalyüzdən ibarətdir. Su əsas paylayıcı nova, oradan da dişli novlara verilir. Novlarda damcı şəklində su suvarılan səthə axır. Qradirnyanın eni 2...6 m, hündürlüyü 5...9 m-dir.



**Şək. 30.3. Açıq tipli püskürücülü qradirnyalar:**  
 1-altlıq; 2-jalyüz-örtük; 3-forsunkalar; 4-paylayıcı borular



**Şək. 30.4. Damcılı qradirnya:**  
 1-paylayıcı qurğu; 2-jalyüz; 3-altlıq; 4-suarıcı elementlər



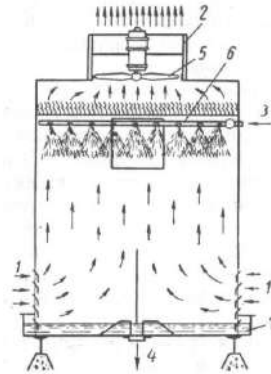
Qradirnya iki paylayıcı qurğu ilə təchiz edilir. Qışda alt paylayıcıdan istifadə edirlər ki, suvarılan səth donmasın.

Damcılı qradirnyaların məhsuldarlığı  $5...1500 \text{ m}^3/\text{saat}$ dır. Suyun soyutma əmsalı və çox soyuması ( $\Delta t_{\omega} \approx 3...5^{\circ}\text{C}$ ) qradirnyanın ölçülərindən və hündürlüyündən asılıdır.  $H_{\omega} = 3...5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{saat})$  olduqda xüsusi istilik yükü  $q_f = 7...23 \text{ kVt/m}^2$ -dir.

Damcılı qradirnyanın suvarılan səthi üçbucaqlı və ya düzbucaqlı formasında hazırlanaraq  $10...12$  rəflərdə yerləşdirilir. Rəflərin araməsafəsi  $0,5...1 \text{ m}$ -dir. paylayıcıdan rəflərə süzülən su damcı şəklində alt rəfə tökülür, bu zaman su damcılarının sürəti və istiqaməti dəyişir.

Ventilyatorlu qradirnyalar (şək.30.5) yığcam olması ilə fərqlənir. Burada sabit hava sürəti nəticəsində suyun daha yaxşı soyudulması baş verir. Əlavə edilən suyun miqdarı  $0,5 \%$  təşkil edir. Ventilyatorlu qradirnyaların çatışmayan cəhəti ventilyatorun işləməsinə sərf olunan elektrik enerjisidir.

Ventilyatorlu qradirnyalar püskürücülü (forsunkalı), damcılı və plyonkalı olur. Plyonkalı qradirnyaların üstün cəhətləri ondan ibarətdir ki, burada hava axınının müqaviməti azdır, istilikdəyişmə intensivliyi yüksəkdir.  $1 \text{ m}^2$  səth üçün ventilyatorun orta məhsuldarlığı  $0,3...0,4 \text{ kVt}$ -dir.



### Şək. 30.5. Püskürücülü ventilyatorlu qradirnya:

1-havanın daxil olması üçün jalyüz; 2-havanın çıxması üçün baca; 3-suyun daxil olması üçün qısa boru; 4-suyun çıxması üçün qısa boru; 5-ventilyator; 6-püskürücü; 7-altlıq

Son zamanlar kapilyar taxması olan plynkalı qradirnyalardan istifadə olunur. Bunlar yüksək effektivli olub kiçik ölçülü və kiçik kütləlidir. Ventilyatorlu qradirnyaların hesabı üçün istilik balansı tənliyi aşağıdakı kimi qurulur:

$$Q = \frac{1}{3,6} G_{\omega} c (t_{\omega 2} - t_{\omega 1}) = \frac{A}{3,6} G_b (i_2 - i_1), \quad (30.7)$$

burada  $Q$ - qradirnyanın istilik yükü, Vt;

$G_{\omega}$ - soyudulan suyun miqdarı, kq/saat;

$t_{\omega 2}$  və  $t_{\omega 1}$ - soyudulmadan əvvəl və sonra suyun temperaturu, dər;

$c$ - suyun istilik tutumu, kCoul/(kq·dər);

$G_b$ - dövr edən havanın miqdarı, kq/saat;

$i_1$  və  $i_2$ - havanın qradirnyadan əvvəl və sonrakı entalpiyası, kCoul/kq;

$A$ - buxarlanan suyun ilkin entalpiyasını nəzərə alan əmsal.

$t_{\omega 1}$  və  $t_{\omega 2}$  temperaturlarını təyin etmək üçün  $\Delta t_{\omega} = 2 \dots 4^{\circ}\text{C}$  qəbul edilir

$$t_{\omega 1} = t_{nt} + 1,5 \Delta t_{\omega}, \quad (30.8)$$

burada  $t_{nt}$ - nəmli termometrə ölçülən havanın hesabat temperaturu.

Soyudulan suyun temperaturu  $t_{\omega 1} = 25 \dots 30^{\circ}\text{C}$ -də  $A = 0,96$ ;  $t_{\omega 1} = 30 \dots 35^{\circ}\text{C}$ -də  $A = 0,95$  olur.

$\Delta i = i_2 - i_1$  hesablanaraq (30.7) tənliyindən dövr edən havanın miqdarı  $G_b$  tapılır (şək. 30.6).

Suvarılan səth hava və su arasındakı istilik və nəmlik mübadiləsi tənliyi əsasında hesablanılır:

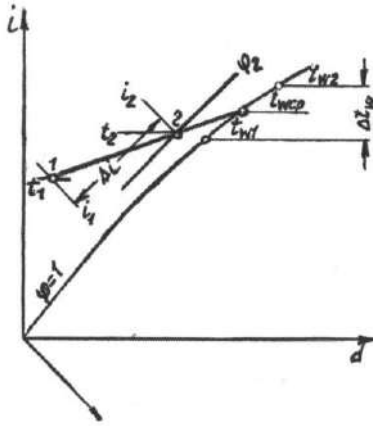
$$Q = \frac{1}{3,6} A \sigma F \Delta i_m, \quad (30.9)$$

burada  $Q$ - qradirnyanın verilən istilik yükü, Vt;

$\sigma$ - kütlədəyişmə (buxarlanma) əmsalı, kq/(m<sup>2</sup>·saat);

$F$ - qradirnyanın istilik ötürən səthi, m<sup>2</sup>;

$\Delta i_m$ - havanın istilik tutumunun orta loqarifmik fərqi, kCoul/kq.



**Şək. 30.6. Qradirnyadan sonra havanın son halının təyin edilməsi üçün  $d$ - $i$ - diaqramı:**

1-qradirnyanın girişində havanın halı; 2-qradirnyanın çıxışında havanın halı

Əks axınlı qradirnya üçün  $\Delta i_m$  temperaturaların orta loqarifmik fərqi kimi hesablanır:

$$\Delta i_m = \frac{(i_{\omega 1} - i_1) - (i_{\omega 2} - i_2)}{2,303 \lg \frac{i_{\omega 1} - i_1}{i_{\omega 2} - i_2}}, \quad (30.10)$$

burada  $i_{\omega 2}$  və  $i_{\omega 1}$ - qradirnyanın girişində suyun  $t_{\omega 2}$  temperaturunda və qradirnyanın çıxışında  $t_{\omega 1}$  temperaturunda doymuş havanın istilik tutumu.

Qradirnyanın vahid en kəsiyinə onu xarakterizə edən bütün xüsusi göstəriciləri aiddir: havanın sürəti, suvarma intensivliyi, xüsusi istilik yükü, kütlədəyişmə əmsalı.

### **Yoxlama sualları**

1. Qradirnya nədir? 2. Qradirnyada su necə soyudulur? 3. Qradirnyaların hansı konstruksiyaları var? 4. Dövr edən suyun soyudulması üçün hansı tip qradirnyalardan istifadə olunur? 5. Hovuzun məhsuldarlığı necə təyin edilir? 6. Ventilyatorlu qradirnyalar digər qradirnyalardan nə ilə fərqlənir? 7. Qradirnyanın vahid en kəsiyinə onu xarakterizə edən hansı göstəricilər aiddir?

XXXI FƏSİL  
**MAYE VƏ QURU BUZUN İSTİFADƏ EDİLMƏSİ VƏ  
İSTEHSALI**

Maye və quru buz maşın istifadə edilmədən süni soyutmanın yaranmasına imkan verir. Maşınsız soyutma üsuluna baxmayaraq ondan daha geniş istifadə edilir. Buz istifadə ediciləri-dəmiryol nəqliyyatı, balıq sənayesi, ət və süd sənayesinin kiçik müəssisələri və eləcə də satış müəssisələridir. Maşınsız soyutmada keyfiyyətli soyutma üçün maye buz, buz-duz qarışığı və quru buz-bərk karbon qazından istifadə edilir. Bu maddələr aşağı temperaturda axıdılan sublimasiya və ərimə proseslərində böyük miqdarda istiliyin udulması xassəsini əmələ gətirir.

### 31.1. Maye buz

Maye buz atmosfer şəraitində aşağıdakı xassələrlə xarakterizə olunur:

Ərimə temperaturu, $t_{pl}$	°C	0
Ərimə istiliyi, $\tau_{pl}$	kCoul/kq	335
İstilik keçiriciliyi, $\lambda$	Vt/mK	2,2
Bütöv buzun sıxlığı, $\rho$	kq/m <sup>3</sup>	917

Buz parçasının həcmi kütləsi onun hissəciklərinin ölçülərindən asılı olaraq 500...600 kq/m<sup>3</sup>, qar buzununku isə 300...350 kq/m<sup>3</sup>-dir. Suyun donub buz halına keçməsində onun həcmi 9 % artır.

Atmosfer təzyiqində 0°C temperaturu buzun soyutma məhsuldarlığı onun ərimə istiliyindəkinə uyğundur (335 kCoul/kq). Əgər buzun temperaturu 0°C-dən aşağıdırsa, onda onun məhsuldarlığı buzun 0°C ərimə temperaturuna qədər qızdırılması üçün lazım olan istiliyin miqdarı qədər artır.

Keyfiyyətinə görə buzlar: bulanlıq, şəffaf, yeyinti və antiseptik, eləcə də, dəniz və distillə edilmiş sulardan olan buzlara ayrılırlar.

Əgər donan suda hava, duzlar, qum, lil şəklində qatışıqlar

olursa, onda bu zaman bulanlıqlı buzlar əmələ gəlir.

Şəffaf buzlar hava və qatışıqlardan təmizlənmiş sulardan alınır. Şəffaf buz qaynamış sulardan da almaq olar. Yeyinti (ərzaq) üçün olan buz içməli sulardan alınır. Belə buzlar şəffaf olmalıdırlar. Bunlardan restoranlarda, kafe və yeməxanalarda ayrı-ayrı yeməklərin və içkilərin soyudulmasında və eləcə də ev şəraitində istifadə edilir.

Antiseptik buz (dezinfeksiya dərmanları) o sulardan hazırlanır ki, onların tərkibinə bakterial preparatlar daxil edilmiş olur. Bunlar üçün hətta antibiotiklər qəbul edilir.

Dəniz suyundan alınmış buzlar aşağı ərimə temperaturuna malik olurlar ( $-0,5^{\circ}\text{C} \dots -2^{\circ}\text{C}$ ).

## **31.2. Təbii buzun hazırlanması və saxlanması**

Təbii buzun hazırlanmasında üç əsas üsuldan istifadə edilir: hovuzlarda buzun hazırlanması, laylara görə buzun dondurulması, soyuducu qurğularda buz salxımlarının (lülə) dondurulması.

**31.2.1. Hovuzlarda (su tutanlar) buzun hazırlanması.** Qışda çayların, göllərin və ya dənizlərin səthində əmələ gəlmiş buzların deşilməsi, çıxarılması və ya kəsilməsi yolları ilə buz hazırlanır. Su tutan hovuzlar istənilən qədər təmiz suya, dərinliyi 0,75m- dən az olmayan və buzun çıxarılması üçün əlverişli sahələyə malik olmalıdır.

Buz qışın ikinci yarısında hazırlanır, hansı ki, bu vaxt onun qalınlığı 20...30 sm-ə qədər çatmış olsun. Daha düz bərabər buz tirlərinin alınması üçün əvvəlcə buz sahəsi  $0,8 \times 0,6$  və ya  $1,0 \times 0,7 \text{ m}^2$  ölçülərində düzbucaqlı şəkildə qeyd olunur (xətlənir) və sonra ling (lom) vasitəsilə deşilir və ya mişarla kəsilir. Sonra sudan çıxarılaraq saxlanma yerinə daşınır.

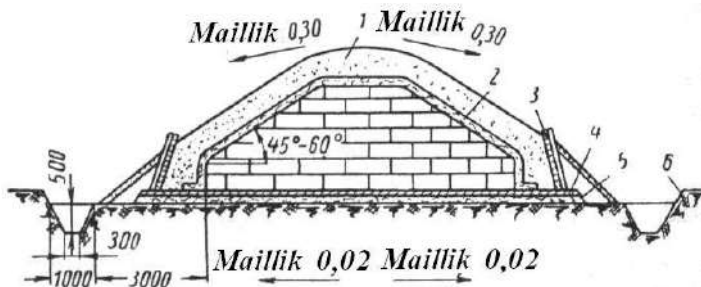
Bu hazırlanma üsulunun çatışmamazlıqları su tutan hovuzların və buzun daşınması vaxtı çirklənməsinə görə buzun keyfiyyətinin aşağı olması, buz tirlərinin sıx yığılması nəticəsində saxlamada böyük itkilər, eləcə də başlanğıcda böyük əmək sərfələrinin olmasından ibarətdir.

**31.2.2. Laylara görə dondurulan buzun hazırlanması.** Buzların hazırlanması elə sahələrdə aparılır ki, həmin sahələr istifadə yerlərinə yaxın olsun.

Buz sahələrdə monolit massiv kimi yetişdirilir. Buz yetişdirilən sahələr düzbucaqlı formaya malikdir. Həmin sahələrə qalınlığı 15 sm-dən aşağı olmayan lay (qat) şəklində şlak və qrafiy (çınqıl) tökülür. Sonra onun üstündən köhnə taxtalar düzülür. Bu taxtalarla ərimiş suyun axması üçün maililik yaradırlar. Ərimiş suyun yığılması və kənarlaşdırılması üçün sahənin bütün ətrafından 1 m məsafədə dərinliyi 0,5 m olan arx çəkilir. Sahənin ətrafı ilə hündürlüyü təxminən 0,5 m olan bort qoyulur və nazik təbəqə şəklində rezin borudan (şlanqdan) su tökülür.

Bu layın qalınlığının sutka ərzində donması havanın temperaturundan və hərəkət sürətindən asılıdır. Belə ki, küləyin 1 m/san sürətində havanın temperaturu  $-5^{\circ}\text{C}$  olduqda sutka ərzində buz layı 15 mm,  $-10^{\circ}\text{C}$ -də 30 mm,  $-15^{\circ}\text{C}$ -də 50 mm və  $-20^{\circ}\text{C}$ -də 70mm qalınlığında dona bilər. Küləkli havada donma intensivliyi 2...3 dəfə artır. Nə vaxt ki, layın qalınlığı bortun yuxarı kənarına çatır, onda ağac bort aralanır və onu həmin kənarlardan təxminən bortun hündürlüyü qədər məsafədə donmuş buz layının səthinə quraşdırırlar. Bundan sonra növbəti buz layının donmasına başlanılır. Nəticədə pilləli buz plitkaları alınır.

Dondurulmanın sonunda buz dəstlərinin (buntlar) üstünün örtülməsi üçün onu formaya salırlar (şək. 31.1).



**Şək. 31.1. Örtülü buz buntı:**

1-ağac yonqarları; 2-saman döşəmələri; 3-dayaq; 4-kipləşdirilmiş qar; 5-şlak; 6-əridilmiş suyun axılması üçün arx

Böyük buz dəstlərinin (buntlarının) donmasında hidromexanikləşdirilmiş üsulun istifadə olunması məqsəddəuyğundur. Bu vaxt su dondurulacaq sahəyə forsunkalarla çilənir. Su kranının idarəetmə pultu sahəyə yaxın yerləşən isti budkada quraşdırılır. Hidromexanikləşdirilmiş üsulla dondurulmuş buz sahədə əl ilə hazırlanan buza nisbətən 2 dəfədən çox ucuzdur, su tutan hovuzlarda hazırlanmış buzdən isə 4...5 dəfə ucuzdur. Buz təmiz alınır, dondurulub hazırlanmasındakı çatışmamazlıqlar isə bütöv buzların deşilməsində əmək sərfi və buzun parçalanması zamanı olan itkinin olmasıdır.

Bu üsullar soyuq və orta iqlim zonalarında tətbiq edilir. Burada 3...5 m hündürlüyündə buntlar dondurmaq olur.

**31.2.3. Buz-duz qarışığının fiziki xassələri.** Buza duzların əlavə edilməsində qarışığın ərimə temperaturu təmiz buzun ərimə temperaturu ilə müqayisədə aşağı düşür. Müxtəlif duzların və müxtəlif qüvvəli qarışıqların istifadə edilməsi ilə istənilən geniş həddə  $0^{\circ}\text{C}$ -dən aşağı temperaturu almaq olar. Qarışığın temperaturunun aşağı düşməsi, qarışıqdan götürülən istiliyin udulması ilə keçən bəzi duzların su ilə qarışması prosesində əldə edilir. Yerlərdə buzun duzla toxunmasında qarışıq yaranır ki, bu qarışıqlar duzların su ilə qarışmasında və buzun əriməsində istiliyin udulması nəticəsində soyuyur. Bu zaman buz da 0-dan aşağı temperaturda soyuyur.

Buza duzların əlavə edilməsində qarışığın ərimə temperaturu, qarışığın ən aşağı ərimə temperaturu ilə xarakterizə olunan kriohidrat nöqtəsinə qədər aşağı düşür. Yenidən duzların əlavə edilməsində ərimə temperaturu aşağı düşməyib, əksinə yüksəlir.

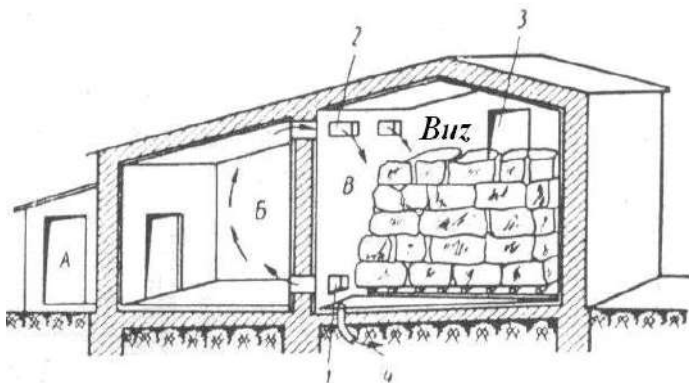
Müxtəlif duzlu qarışıqlı sulu məhlulun dondurulmasında kriohidrat nöqtə yaranır ki, bu zaman buz alınır və bu evtektiv buz adlanır.

### **31.3. Buz və buz-duz ilə soyutma qurğuları**

Buz və buz-duz ilə soyudan qurğulara buzxanalar, buz anbarları, qəfəsli (şəbəkəli) bölməli (cibli) və metal çənli soyuducular,

eləcə də duzlu su dövr edən soyuducular daxildir.

**31.3.1. Buzxana.** Bu maye buzla soyudulan sadə stasionar bina­dır. Qışın sonunda bütün yay-yaz dövründə buzxanaların soyu­dulması üçün lazım olan qədər təbii buzla buzxanalar doldurulur (şək.31.2). Buzxanalarda temperatur 4...8°C və havanın nisbi rü­ tubəti 90 % ətrafında saxlanılır.



**Şək. 31.2. Buzxana:**

A-tambur; B-məhsul kamerası; V-buz şöbəsi; 1-soyudulmuş hava üçün pəncərə; 2-isinən havanın qaytarılması üçün pəncərə; 3-buz yükləmə pəncərəsi; 4-suyun axıdılması üçün boru

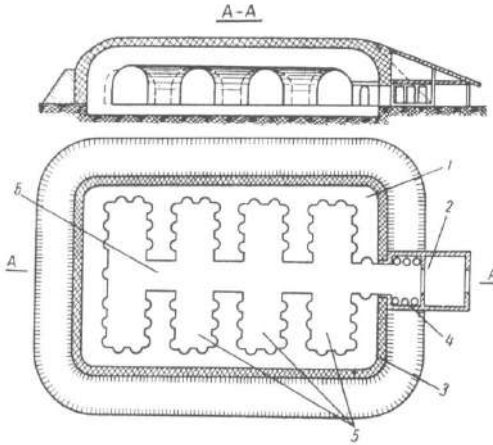
Daxilində və kənarlarında buzlar yerləşən buzxanalar geniş yayılmışdır. Buzxanaların xarici kənarının örtüyü istilik izolyasiyasına malikdir. Buz üçün şöbələr üzrə kameralara bölən divar nəmliyin düşməsinin qarşısını almaq üçün izolə edilir. Daxili divarda aşağıda və yuxarıda havanın dövr etməsi üçün pəncərələr qurulur. Bilavasitə buzla toxunmada hava soyudulur. Kameraların qabağında şimala tərəf çıxışı olan tambur qurulur.

Buzxanaların buzla doldurulması üçün xüsusi pəncərələrdən istifadə edilir. Buz üçün şöbələrdə ərimiş suyun qayıtması və axması üçün döşəmə maili, su keçirməyən düzəldilir. Döşəmənin üstündə qəfəslər (reşotkalar) və ya uzun çör-çöplər düzülür. Sonra buz havanın dövr etməsi üçün divardan bir qədər aralı, sıx dü-



zülərək yığılır.

**31.3.2. Buz anbarları.** Buz anbarlarının əsas növünü Krılov anbarı (sklad) təşkil edir (şək. 31.3). O buzun özünün dondurulması yolu ilə tikilir. Bu özlüyündə soyutma üsulu və tikinti materialı kimi olur. İri bütöv buzda soyuducu kameralar, birləşdirilmiş ümumi dəhlizlər nəzərdə tutulmuşdur.



**Şək. 31.3. M.M.Krılov sistemli buz anbarı:**

1-buz; 2-tambur; 3-izolyasiya; 4-buz-duz soyuqluq cihazları; 5-kameralar; 6-dəhliz

Anbarın əsası katlovanda dondurulan qalınlığı 0,8 m olan buz sahələridir. Divar və tavanın qurulması üçün sahələrdə taxta qəliblər tikilir, hansı ki, lazımi ölçülü iri buzun alınması üçün buz dondurulur. Donmadan sonra taxta qəlib sökülür. Kameranın sahəsi 24...30 m<sup>2</sup>, dəhlizin eni 3 m, divarda dəhlizin və kameranın hündürlüyü 2,8 m, mərkəzdə 3,2 m, divarın qalınlığı 2...3 m, tavan 2 m-dir.

İri buz kütləsi kənardan qalınlığı 1 m-dən az olmayan izolyasiya materialı təbəqəsi ilə örtülür. İzolyasiya düzülərkən su ilə suvarılır və dondurulur. Bu buz kütləsinin xaric (ətraf) tərəfdən ərیمəsini müdafiə edir, ona görə ki, ilin isti vaxtlarında xaricdən daxil olan istiliyi izolyasiya təbəqəsi özündə saxlayır və izolya-

siyada buzun əriməsinə sərf olunur. Örtüyün aşağı hissəsində torpaq mailliyi yaradılır, ondan ötrü ki, izolyasiya sürüşməsin. Tambura çıxış izolə edilmiş qapılarla bağlanır, çıxışına isə brezent asılır.

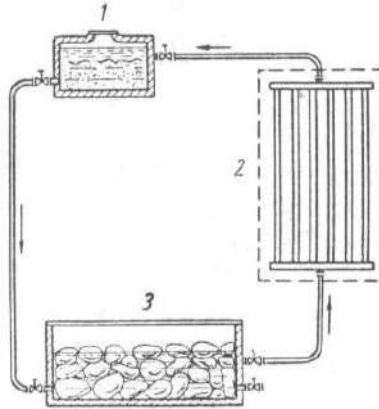
Daxildən buz kütləsinin əriməsini saxlamaq üçün anbarda temperatur  $-0,5...1,5^{\circ}\text{C}$ -də saxlanılır. Bunun üçün kamera və dəhlizlərin divarları qəfəsli, bölməli, cibli quraşdırılır, hansı ki, bura buz-duz qarışığı doldurulur. Belə ciblər tamburda da yerləşir. Ciblərin altında buz-duz qarışığının əriməsində yaranan duzlu suyun yığılması üçün çəlləklər qoyulur. Buz-duz qarışığının köməyi ilə temperaturu anbarda  $2...6^{\circ}\text{C}$ -yə qədər, soyuq rayonlarda isə  $-12^{\circ}\text{C}$ -yə qədər endirmək olar. Soyudulan buz kamera və dəhlizlərin döşəməsindən qopardılır. Ona görə də hər il qış vaxtında anbarların döşəmələri dondurulur. Buz anbarlarının soyuq iqlim zonalarında tikilməsi məsləhət bilinir. Buz anbarlarının binalarının qiyməti 5-6 dəfə adi maşınli soyutma soyuducularından azdır. Buz anbarları tikintisində sərf olunan bütün xərclərin ödənmə müddəti 2-3 ildir, onların istismarı 6...8 ildir. Buz anbarlarında maşınli soyutmadan istifadə etmək olar.

**31.3.3. Duzlu su dövr edən soyuducular.** Kameranın soyudulması ayrıca qondarılan çəndə buz-duz qarışığının əriməsində yaranan soyuq duzlu su ilə yerinə yetirilir. Soyuducunun kamerasından kənarda buz-duz qarışığı üçün çıxarılmış tutum imkan verir ki, onların həcmələrindən daha səmərəli istifadə edilsin.

Bu buz-duz soyuqluq sistemində duzlu suyun (rassolun) dövr etməsi məcburi və təbii olur. Məcburi dövretmə ilə buz-duz soyutma sistemi – "Friqator" sistemi adlanır. Bu sistemdə soyuq duzlu su buz və duzlarla doldurulmuş çəndə yaranır və hansı ki, bu soyuq generator və ya friqator adlanır. Generatorun çəni izolə edilmişdir. Onun üstündə qəfəs qoyulmuşdur ki, bu qəfəsə buz doldurulur. Çənin aşağı hissəsində soyuq duzlu su yığılır. Generatordan soyuq duzlu su nasosla sorulur və soyutma kamerasında yerləşən adi duzlu su batareyasına verilir. Qızdırılmış duzlu su yenidən suvarma kanalından keçərək generatora qayıdaraq buzu suvarır, soyudur və çənin aşağı hissəsinə tökülür. Qatılığın bərpası

üçün duzlu suyun qızdırılmış hissəsi üçgediqli krandan keçərək duz konsentratora qaytarılır. Duzlu suyun artıq hissəsi boşaldıcı borudan keçərək kanalizasiyaya axıdılır.

Təbii (öz-özünə) dövr etməli duzlu su buz-duz soyutma sistemində (Kleymonov sistemi) elektrik enerji sərfi tələb olunur (şək. 31.4).



**Şək. 31.4. Təbii dövr etməli buz-duz soyutma sistemi (İ.A.Kleymonov sistemi):**

1-duzlu su konsentratoru; 2-soyuducu batareya; 3-soyuqluq generatoru

Təbii dövr etməli buz-duz soyutma sistemində nasos olmur, qarışdırılmış və qatılaşıdırılmış duzlu su arasındakı fərqlərdən yaranan basqının təsiri altında duzlu suyun öz-özünə dövr etməsi baş verir.

### 31.4. Quru buz

Quru buz özü ilə karbon 4 – oksidin və ya karbon qazının bərk fazasını təmsil edir. Onu karbon qazı adlandırmaq qəbul olunmuşdur. Karbon qazının fərqləndirici xüsusiyyəti onun üçqat nöqtələridir: bu o deməkdir ki, 0,536 MPa təzyiqində və uyğun olaraq temperatur  $-56,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduqda karbon qazı həmin an üç vəziyyətdə ola bilər: bərk, maye və qaz halında. Daha aşağı

təzyiqdə, yəni atmosfer təzyiqində ancaq iki vəziyyətdə ola bilər: bərk və qaz halında.

Beləliklə, atmosfer şəraitində bərk karbon qazı maye fazasını örtərək, birbaşa qaz halına keçir. Buradan bərk karbon "quru buz" adlandırılmağa başlandı. 0,1 MPa təzyiqdə quru buz  $-78,9^{\circ}\text{C}$ -də sublimasiya edir. Təzyiqin azalmasında sublimasiya temperaturu aşağı düşür. Normal şəraitdə karbon qazının sıxlığı  $1,877 \text{ kq/m}^3$ -dir. Bu qaz havadan 1,529 dəfə ağırdır. Bərk karbon qazı  $1560 \text{ kq/m}^3$  sıxlığa malikdir və özünü şüşəyəbənzər cisim kimi təmsil edir.

Atmosfer təzyiqində və  $-78,9^{\circ}\text{C}$  sublimasiya temperaturunda quru buzun soyutma məhsuldarlığı  $574 \text{ kCoul/kq}$ -dir.  $0^{\circ}\text{C}$ -yə qədər buxarın sublimasiyasında yaranmış istilik hesabına quru buzun soyutma məhsuldarlığı  $633 \text{ kCoul/kq}$  olacaqdır.

Beləliklə, quru buzun kütləvi soyutma məhsuldarlığı maye buzdan 1,7 dəfə ( $574:335$ ) çoxdur. Orta həcmi kütləli quru buzun həcmi soyuqluq məhsuldarlığı  $1400 \text{ kq/m}^3$  olaraq maye buzdan təxminən 3 dəfə ( $574 \cdot 1400/335 \cdot 900$ ) çoxdur.

Karbon qazı metallara qarşı neytraldır və nisbətən zərərsiz qazdır.

İstifadə etmək üçün quru buz əlverişlidir və  $-60\dots -70^{\circ}\text{C}$ -yə qədər temperaturu almağa daha yaxşı imkan yaradır. Yüksək qiymətə malik olmasına baxmayaraq (maye buzdan 10 dəfə bahadır) quru buz sənayenin çox sahələrində istifadə edilir. Adətən dondurmaların satışında və daşınmasında onun saxlanması üçün quru buzlardan daha geniş istifadə edilir (istehsal olunan quru buzun ümumi miqdarının 90 %). 1 kq dondurmanın realizə edilməsinə 100 q quru buz buraxılır.

Quru buzun istehsal prosesi təmiz karbon qazından, maye karbonatın və quru buzun alınmasından ibarətdir. Təmiz karbon qazı tərkibində istənilən qədər böyük miqdarda  $\text{CO}_2$  olan qazlar qarışığından alınır. Bunun üçün təbii və süni mənbələrdən istifadə etmək olar.

Təbii mənbələr təbii karbonat Qavqazda və Kuril adalarında yerləşir. Tərkibində yüksək  $\text{CO}_2$  (98 %-ə qədər) olmasına baxmayaraq praktiki olaraq onlar quru buzun istifadə mərkəzlərindən

uzaqlarda olmasına və yerli enerji bazasının çatışmamazlığına görə istifadə olunmur.

Süni mənbələrə müxtəlif təsərrüfatların müxtəlif qazşəkilli tullantıları daxildir: spirtli qıvcırmalar, kimyəvi tullantılar, sənaye qazanxanalarının dəm qazları.

Buzun saxlanması sublimasiya nəticəsində onun itkiləri imkan daxilində az olmalıdır. Havada quru buz aktiv sublimasiya edir. Ona görə də quru buzı yaxşı izolə edilmiş buz anbarlarında saxlayırlar. Quru buzun saxlanması və daşınması üçün konteynerlər qapaqlı iri anbar şəklində hazırlanır. Konteynerin divarları və qapaqları 250 mm-ə qədər olan istilik izolyasiyasına malikdir. Göstərilən tədbirlərə baxmayaraq quru buzun saxlanması zamanı sutka ərzində 3...4 %-i itir. Buz anbarları 2-3 gün ərzində quru buzun saxlanması üçün hesablanır.

### ***Yoxlama sualları***

1. Maye və quru buzdan harada və hansı müəssisələrdə istifadə olunur? 2. Maye buz atmosfer şəraitində hansı xassələrlə xarakterizə olunur? 3. Keyfiyyətinə görə buzlar hansı qruplara bölünür? 4. Hovuzlarda buzun hazırlanması necə yerinə yetirilir? 5. Laylara görə dondurulan buzun hazırlanması necə yerinə yetirilir? 6. Buz-duz qarışığının fiziki xassələri hansılardır? 7. Buz və buz-duz ilə soyutma qurğuları hansılardır? 8. Quru buz nədir?

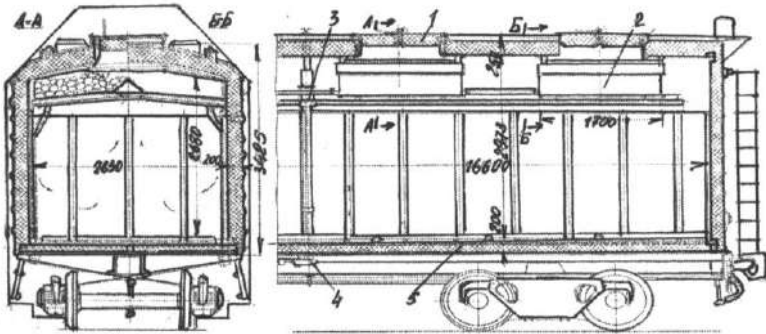
## XXXII FƏSİL NƏQLİYYAT SOYUDUCULARI

Soyudulmuş və dondurulmuş qida məhsullarının dəmir yolu, avtomobil və su yolu ilə daşınması üçün nəqliyyat soyuducularından istifadə olunur. Onlara vaqonlar, seksiyaqlar və qatar soyuducuları (avtorefrejatorlar) daxildir. Xüsusi halda nəqliyyat soyuducuları hazırlayıcı və istehsal soyuducuları kimi istifadə olunur.

### 32.1. Dəmir yolu nəqliyyatı soyuducusu

Dəmir yolu nəqliyyatı soyuducusu tez xarab olan qida məhsullarını uzaq məsafələrə daşımaq üçün əsas nəqliyyat növüdür. Soyutma üsuluna görə izotermiki vaqonlar buz və buz – duzla soyudulan, maşınla soyudulan vaqonlara, soyudulmayan vaqon-sistemlərə (istilik izolyasiyalı) bölünürlər.

İzotermiki vaqonların 90 %-ni buxana vaqonları təşkil edir. Bunlardan ən əlverişlisi tavandan soyudulanlardır (şək.32.1). Daşınan yüklərin növünə görə iki tip vaqon mövcuddur: müxtəlif yüklərin daşınması üçün universal (soyudulan, soyudulmayan, dondurulmuş) və bir növ məhsulun daşınması üçün xüsusiləşmiş (süd, meyvə, diri balıq və s.) vaqonlar.



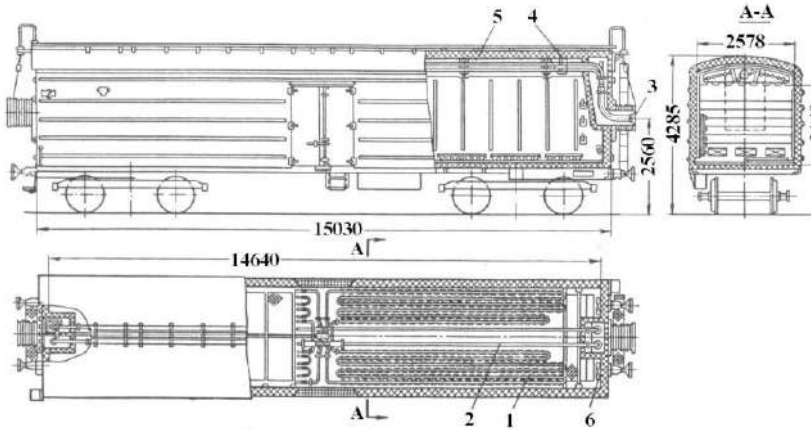
**Şək. 32.1. Tavandan soyutma cihazlı buxana-vaqon:**

1-buz və duz yükləmə pəncərəsi; 2-buz və duz məhlulu üçün çən; 3-duzlu suyun axması üçün boru; 4-hidravliki rəzə; 5-döşəmə şəbəkələri

Bu növ universal vaqonlarda ətraf havanın temperaturu  $35^{\circ}\text{C}$  olduqda vaqon daxilində  $-8^{\circ}\text{C}$  temperatur saxlanıla bilər. Universal buxana-vaqon daxilədən və xaricədən taxta ilə örtülmüş metal karkasdan ibarətdir. Vaqonun kuzovu mpor ilə izolyasiya edilmişdir. Vaqonun döşəməsi və divarlarının aşağı hissəsi sinkləşdirilmiş metalla örtülmüşdür. Tavanın altında bir-biri ilə birləşən 12 metal çən yerləşir. Çənlərin ümumi həcmi 5,5 ton buz tutur, bu da 3-4 gün üçün kifayət edir. Vaqon iki pənsərə vasitəsi ilə ventilyasiya edilir.

Refrerjator – qatarlar qida məhsullarını uzaq məsafəyə daşımaq üçün istifadə olunur. O 20 soyuducu vaqonlardan, maşın bölməsindən ibarət olan vaqondan, dizel-elektrik stansiyası vaqonundan və xidmət personalı vaqonundan ibarətdir. Dizel-elektrik stansiyası vaqonunda hər biri 60 kVt olan generatorlu iki dizel və 30 kVt generatorlu köməkçi dizel yerləşir.

Maşın bölməsi vaqonunda soyutma məhsuldarlığı 102 kVt olan iki ammonyaklı kompressor yerləşir. Bundan başqa burada hava ilə soyudulan iki kondensator ( $800\text{ m}^2$ ), iki köynəkli-borulu buxarlandırıcı, nasoslar və köməkçi avadanlıq yerləşir. Soyuducu vaqonların yükqaldırma qabiliyyəti 30000 kq-dır (şək. 32.2).



**Şək. 32.2. Refrerjator-qatarının soyuducu vaqonu:**

1-qabırğalı duzlu su batareyaları; 2-duzlu su boru kəmərləri; 3-boru kəmərlərinin elastik birləşmələri; 4-ventilyator; 5-hava kanalı; 6-elektrik sobası

Vaqonlar mipor ilə izolyasiya edilib və  $-10^{\circ}\text{C}$  temperaturun saxlanması üçün (ətraf havanın temperaturu  $+30^{\circ}\text{C}$  olduqda) nəzərdə tutulur. Vaqonların soyudulması üçün tavan tipli qabırğalı duzlu su soyuducu batareyalarından istifadə olunur. Havanın ventilyasiyası və dövr etməsi üçün elektrik ventilyatorları quraşdırılır.

Qış mövsümündə müsbət temperaturu saxlamaq üçün elektrik qızdırıcı cihazlarından istifadə olunur. Vaqonlar ölçü-nəzarət və avtomat cihazlarla təchiz olunur.

Son zamanlar qida məhsullarının daşınması seksiyalarla yerinə yetirilir. 12 vaqonlu seksiya refrejerator-vaqonu kimi təchiz olunmuşdur. Vaqonda  $-12$ -dən  $+12^{\circ}\text{C}$ -yə kimi temperaturu saxlamaq olur. 5 vaqonlu seksiya freonlu soyuducu qurğularla təchiz olunmuşdur. Hər vaqonda soyuqluq məhsuldarlığı 10,2 kVt olan iki soyuducu qurğu quraşdırılır. Vaqonlar  $-12^{\circ}\text{C}$ -dən  $+12^{\circ}\text{C}$ -yə kimi temperatur üçün nəzərdə tutulur. Soyudulma hava ilə yerinə yetirilir.

Tez xarab olan yüklərin daşınması  $-20^{\circ}\text{C}$  temperaturda izotermiki vaqonlarda yerinə yetirilir. Bu vaqonlar iki freon aqreqlə təchiz olunub, soyutma sistemi hava ilədir.

## **32.2. Avtomobil nəqliyyatı soyuducusu**

Avtomobil nəqliyyatı soyuducusu tək şəhərdaxili daşımalar üçün deyil, həm də uzun marşrutlara, 300 km-ə kimi qida məhsullarının daşınması üçün də istifadə edilir.

Avtonəqliyyat soyuducularının əsas növləri avtomobil soyuducuları və ya avtorefrejeratorlar, yarımqoşqu və qoşqu soyuducularıdır. Bunlardan ən geniş yayılmışı avtorefrejeratorlardır. Onlar iki növ olur: soyudulan və soyudulmayan kuzov ilə.

Avtorefrejeratorların hazırlanmasında mipor, alfol qofrlu kartondan istifadə olunur. Kuzovun soyudulması üçün buz-duz məhlulundan və quru buzdan, evtektiv qarışıqlardan, kompressorlu soyuducu qurğulardan istifadə olunur. Soyutma üsulundan asılı olaraq kuzovun daxilində 4-dən  $-20^{\circ}\text{C}$ -yə qədər temperaturu saxlamaq olar.

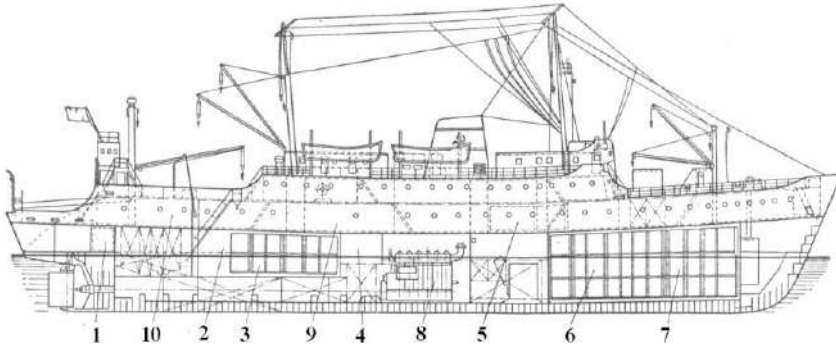


### 32.3. Su nəqliyyatı soyuducusu

Su nəqliyyatı soyuducusu (dəniz və çay nəqliyyatı) refrejerator-gəmilərlə müxtəlif tez xarab olan məhsulları, import, eksport və ölkə daxilində daşımaq üçün istifadə olunur.

Balıq sənayesində xüsusi refrejerator-gəmilərdən istifadə olunur: balığın tutulması, emalı və nəql etdirilməsi üçün traulerlər (balıq gəmisi), başqa gəmilərdən balığı qəbul edən, donduran və soyudan və sahilə nəql etdirən gəmilər, üzən balıq zavodları.

Böyük balıq donduran traulerlər (BMRT) ən müasir balıq refrejerator gəmilərindəndir (şək. 32.3).



#### Şək. 32.3. Balıq donduran trauler:

1-tərəvəz anbarı; 2-balıq unu hazırlayan qurğu üçün yer; 3,6,7-soyudulan anbarlar; 4-soyuducu maşın bölməsi; 5-qida məhsulları kamerası; 8-əsas maşın; 9-balıq donduran; 10-balıq emalı otağı

Çay refrejerator-gəmiləri dəniz gəmilərindən fərqli olaraq aşağı yükləmə qabiliyyətinə malikdirlər. Gəminin gövdəsinin izolyasiyası üçün plitka şəklində probkadan, mifordan, penoplastdan, şüşə pambıqdan istifadə olunur. Refrejerator gəmilərinin soyudulması üçün ammonyaklı və freonlu soyuducu qurğulardan istifadə olunur.

Freonlu soyuducu qurğular əsas maşın bölməsində yerləşdirilir. Ammonyak qurğuları yaxşı ventilyasiya edilən yerdə yerləşdirilir. Yük-sərnişin gəmilərində ammonyak qurğularından istifadə olunmur.

Anbarların soyudulma sistemi refrejerator-gəminin təyinatından asılıdır. Soyudulmuş məhsulları daşdıqda hava ilə soyudulmadan, donmuş məhsulların daşınmasında duzlu su ilə soyudulmadan istifadə olunur. Bilavasitə soyudulma sistemindən yalnız dondurucu aparatların soyudulmasında istifadə olunur. Gəmi soyuducuları kiçik, yığcam olmalı və normal işləməlidir.

Böyük refrejerator gəmilərinin qurğularının soyutma məhsuldarlığı 1100...1200 kVt-a çatır.

### *Yoxlama sualları*

1. Soyudulmuş və dondurulmuş qida məhsullarının daşınması üçün hansı nəqliyyat soyuducularından istifadə olunur? 2. Dəmir yolu nəqliyyatı soyuducusu hansı məhsulların daşınması üçün nəzərdə tutulmuşdur? 3. Soyutma üsuluna görə vaqonlar hansı qruplara bölünürlər? 4. Avtonəqliyyat soyuducularının əsas növləri hansılardır? 5. Su nəqliyyatı soyuducusu hansı məhsulların daşınması üçün nəzərdə tutulmuşdur?

XXXIII FƏSİL  
**MƏİŞƏT SOYUDUCULARI**

Məişət elektrik kompressorlu, absorbsiyalı və termoelektrik soyuducular DÜİST 16317-76, DÜİST 14087-80, DÜİST 26678-85, DÜİST 16317-87-yə uyğun hazırlanırlar. Soyüuducular aşağı temperaturlu bölmədə (HTO) uzun müddətli saxlama və soyuducu kamerada qısa müddətli saxlama üçün və buz hazırlamaq üçün nəzərdə tutulur. Faydalı həcmi 60...500 dm<sup>3</sup> olan bir, iki, üç və dördkamaralı soyuducular istehsal olunur. Təyinatına görə soyuducular donduruculara (M) və soyuducu donduruculara (MX) bölünür.

Soyuqluq istehsalına görə soyuducular olurlar: kompressorlu (K), absorbsiyalı (A) və termoelektriki (TG); qurulma üsullarından asılı olaraq şkaf tipli döşəmə üzərinə qoyulma (Ş), stol tipli döşəmə üzərinə qoyulma (C), divardan qurulma tipli (H), bloklarla qurulma tipli (B); komfortluq dərəcəsinə görə – adi və yüksək komfortlu (P); kameraların sayına görə – bir, iki (D) və üçkamaralı (T); konstruktiv quruluşuna görə, KŞ – bir kameralı şkaf tipli, KC – bir kameralı stol tipli, KŞD – ikikamaralı şkaf tipli, KŞT – üçkamaralı şkaf tipli, MKŞ – şkaf tipli dondurucular, KŞMX – kombinə edilmiş şkaf tipli soyuducu dondurucular. Soyuducu kamerada termonizamlayıcısının qiymətləri: U (mülayim iqlim) – ətraf havanın temperaturu 16...32°C olduqda soyuducu kamerada orta temperatur 0-dan 5°C-yə kimi; T (tropik iqlim) ətraf havanın temperaturu 18...43°C, soyuducu kamerada 0-dan 7°C-yə kimi temperatur saxlanılır.

Ətraf mühitin temperaturuna görə soyuducuların cihazları aşağıdakı siniflərə bölünür:

<b>Soyuducular</b>		<b>Dondurucular və soyuducu – dondurucular</b>	
SN, N	32		
ST	38	N	32
T	43	T	43

SN və N tipli soyuducular üçün soyuducu kamerada orta temperatur 5°C-

dən, ST və T tipli soyuducular üçün isə 7°C-dən çox olmamalıdır.

#### **Soyuducu cihazların ümumi (brutto) həcmi, dm<sup>3</sup>:**

Soyuducular:	
<i>absorbsiyalı</i>	80...320
<i>kompresorlu</i>	120...450
Dondurucular	80...300
Soyuducu-dondurucular	200...450

#### **Soyuducuların ölçüləri (mm):**

eni	480, 580, 600
dərinliyi	600
hündürlüyü	850...2100
stol tipli soyuducuların və dondurucuların hündürlüyü	850

### **33.1. Kompresorlu məişət soyuducuları**

Kompresorlu soyuduculara "Saratov", "Zil", "Apşeron", "Çinar", "Minsk" və s. aiddir.

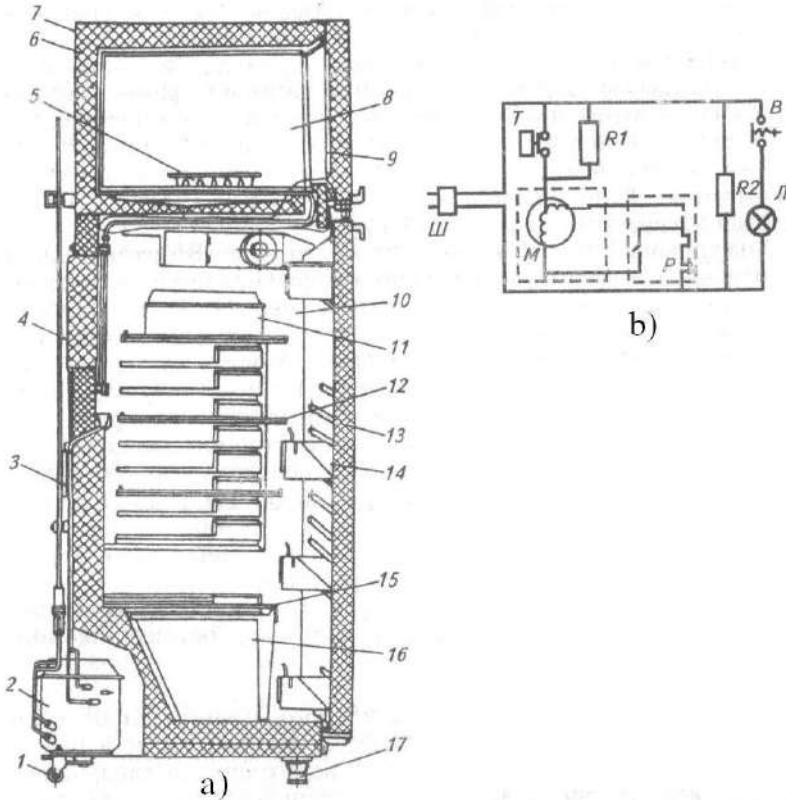
Birkameralı "Apşeron-2E" KŞ-240P düzbucaqlı formasında metal şkafdan ibarətdir. Soyuducunun daxili kamerası da metaldan hazırlanır. Konstruksiyası rəflərin hündürlüyünü dəyişməyə imkan verir.

Soyuducunun qapısı maqnitli kipləşdiricilidir. Üst hissədə aşağı temperatur bölməsi yerləşir. İstilik izolyasiyası şüşə pambıqdır. Soyuducunun kompressor aqreqatı R12 soyuducu agent və XF 12-16 mineral yağla işləyir. "Apşeron-2E" soyuducusunun elektrik sxemi kompressorun elektrik mühərrikindən, buraxıcı qoruyucu P3 və ya RP3P-24 tipli reledən, T-110-1 tipli termonizamlayıcıdan, TO-11 yarımavtomatik əriməni idarəetmə cihazından, DXK tipli qapıda olan elektrik açarından, PH220-15-1 tipli lampadan və naqıldən ibarətdir.

"Çinar" soyuducuları bir və ya iki kameralı hazırlanır. Bir kameralı soyuducuların KŞ-240P və KŞD-220/40 tipli iki kameralı modifikasiyaları olur.

"Çinar-7" KŞD-220/40 tipli soyuducu şkaf tipli hazırlanıb, aşağı temperatur və soyuducu kamerasından ibarətdir (şək. 33.1).

Soyuducu kameranın istilik izolyasiyası – şüşə pambıqdır, aşağı temperatur hissəsinin izolyasiyası isə penopoliuretandır.



**Şək. 33.1. "Çinar - 7" KŞD- 220/40 soyuducusu:**

a) ümumi görünüş: 1-diyircəkli dayaq; 2-soyuducu aqreqat; 3-ərimiş su boşaltma sistemi; 4-istilik nizamlayıcısı (şüşə pambıq); 5-buz üçün forma; 6-istilik izolyasiyası (penopoliuretan); 7-xarici şkafl; 8-aşağı temperaturlu kamera; 9-aşağı temperaturlu kameranın qapısı; 10-soyuducu kamera; 11-ət və balıq üçün qapaqlı çən; 12-metal rəf; 13-soyuducu kameranın qapısı; 14-qapının panelinin rəfi; 15-şüşə rəf; 16-meyvə və tərəvəz üçün çən; 17-qaykalı dayaq; b) elektrik sxemi

Soyuducunun konstruksiyasında buxarlandırıcının avtomatik əriməsi və ərimiş suyun kameradan kənarlaşdırılması nəzərdə tutulur. Soyuducunun qapıları maqnit taxmalı elastiki polivinilxlorid

kipləşdiricisinə malikdir. Soyuducunun üst hissəsində aşağı temperaturu kamera yerləşir. Diyircəkli dayaqlar soyuducunun hərəkətini asanlaşdırır. Aşağı temperaturu kamerada  $-18^{\circ}\text{C}$  temperatur saxlanılır.

"Çinar-7" soyuducusunun elektrik sxemi (şək.33.1.b) aşağıdakı elementlərdən ibarətdir: kompressorun M elektrik mühərrikinədən (GDP-24 tipli), P3 tipli buraxıcı qoruyucu reledən P, T-130-2 tipli termonizamlayıcıdan T, BOK-2 qapı elektrik açarından B, PH 220-15-1 tipli lampadan L, buxarlandırıcının elektrik qızdırıcısından R1, köndələn elektrik qızdırıcısından R2 və naqildən Ş ibarətdir.

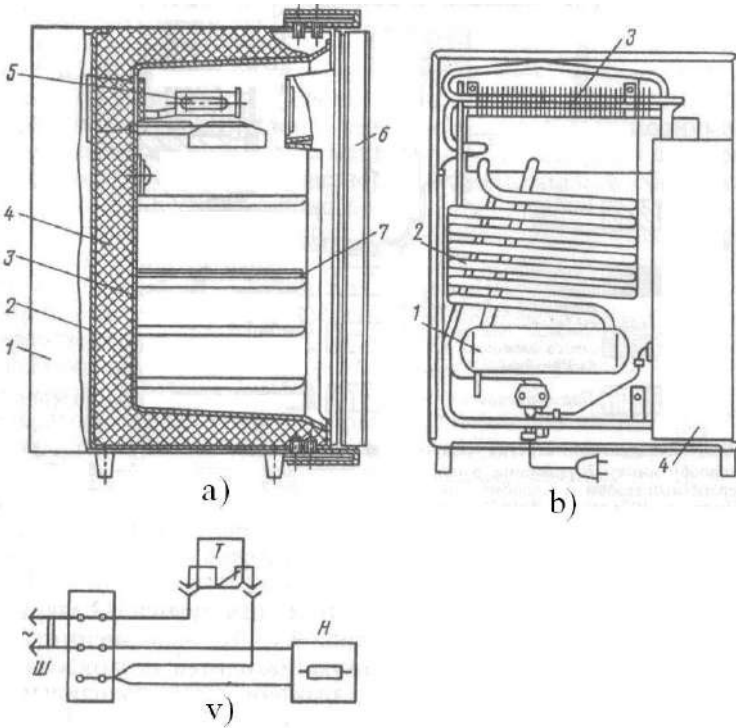
### 33.2. Absorbsiyalı məişət soyuducuları

Absorbsiyalı soyuduculara "Morozko", "Sadko", "Kristal", "Ladoqa", "Sputnik" soyuducuları daxildir.

"Morozko-3M" AŞ-30 tipli soyuducu ML-12 markalı emalla örtülmüş metal şkof 1 (şək.33.2.a),daxili soyuducu kamera 3 vakuuma emal olunmuş UPS-0803L markalı polistroidan hazırlanır. İstilik izolyasiyası PSB-4FR markalı penopolistroidan, qapının paneli isə UPS-0803L markalı polistroidan hazırlanıb, böyük divarların istilik izolyasiyasının eni 51 mm, arxa divarının 61mm, qapının istilik izolyasiyasının eni isə 45 mm-dir. Kameranın içərisində termonizamlayıcı yerləşir. Soyuducu kamera ərimiş suyu yığmaq üçün altlıqla təchiz olunur. Soyuducu aqreqata buxarlandırıcı 5, kondensator 3, (şək. 33.2.b), generator, maye istilikdəyişən, absorber 2, absorberin çəni 1 və elektrik qızdırıcısı daxildir. Absorbsiyalı-diffuziyalı təsirli soyuducu aqreqat  $450\text{m}^3$  miqdarda su-ammonyak məhlulu ilə və  $1,81...1,88\text{ MPa}$  təzyiqli hidrogenlə doldurulur.

Soyuducunun elektrik avadanlığı (şək. 33.2.v) NGX-1-1 tipli 75 Vt gücü olan elektrik qızdırıcısından H, T-110-5 tipli termonizamlayıcıdan T, qapının elektrik açarından, lampadan, naqildən Ş ibarətdir.

Su-ammonyak məhlulunun dövr etməsi termosifonla 10 yerinə yetirilir (şək. 33.3).

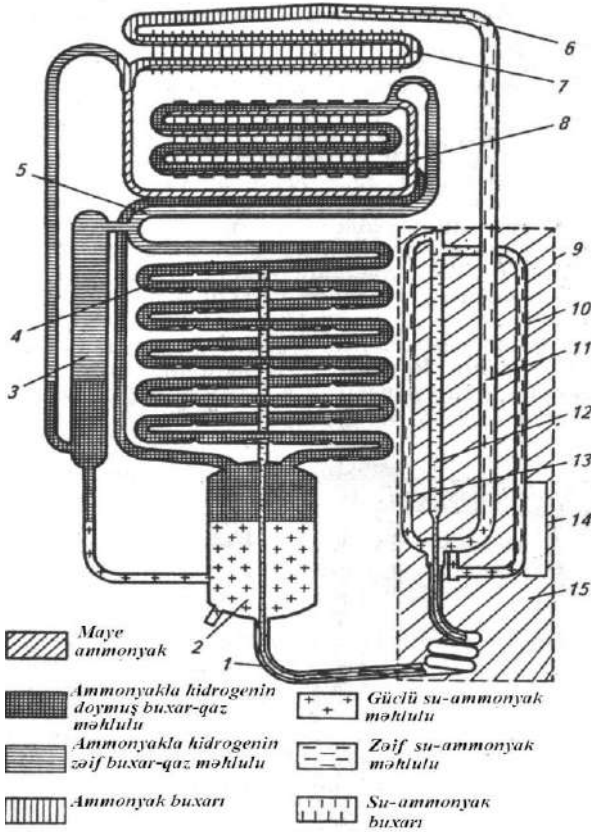


**Şək. 33.2. "Morozko-3M" AŞ-30 soyuducusu:**

a) kəsiyi: 1-xarici ş kaf; 2-xarici örtük; 3-daxili kamera; 4-istilik izolyasiyası; 5-buxarlandırıcı; 6-qapı; 7-metal rəf; b) arxadan görünüş: 1-absorberin çəni; 2-absorber; 3-kondensator; 4-elektrik qızdırıcısı və generatorun örtüyü; v) elektrik sxemi

Termosifon alt hissəsindən elektrik qızdırıcısı ilə qızdırılan kiçik diametrlı boru şəklində hazırlanır. Generator 9, elektrik qızdırıcısı 14, termosifon 10, zəif məhlul borusu 12 və buxar borusu 13 metal örtüklə 4 örtülür. Örtüyün istilik izolyasiyası şüşə pambıqdandır.

Soyuducu aqreqatın iş prinsipi aşağıdakı kimidir. R717-nin 33% qatılıqlı su-ammonyak məhlulu generatorun 9 termosifonunda 10 165...175°C-yə kimi elektrik qızdırıcısı 14 ilə qızdırılır. Qaynama zamanı əmələ gələn buxar-məhlulə termosifonla qalxır.



**Şək. 33.3. "Morozko-3M" AŞ-30 markalı soyuducunun soyuducu aqreqatı:**

1-istilik dəyişən; 2-məhlul yığan; 3-hidrogen akkumlyatoru; 4-absorber; 5-regenerativ qaz istilik dəyişəni; 6-defleqmatör; 7-kondensator; 8-buxarlandırıçı; 9-generator; 10-termosifon; 11-generator; 12-zəif məhlul borusu; 13-buxar borusu; 14-elektrik qızdırıcısı; 15-istilik izolyasiyası

Termosifonun çıxışında buxar-maye məhlulundan su-ammonyak məhlulu ayrılır, zəif su-ammonyak məhlulu zəif məhlul borusu ilə və istilikdəyişənlə absorberə 4 verilir. Su-ammonyak buxarı buxar borusu ilə regeneratörə 11, sonra isə defleqmatördən 6 keçərək kondensatörə 7 verilir.

Qatı məhlulla soyudulma nəticəsində regeneratördə 11 buxa-



rın qatılığının artması baş verir. Buxarın ətraf hava ilə əlavə soyudulması, buxarın qatılığının maksimal artması üçün deflektorda fleqmanın əmələ gəlməsi və ondan suyun ayrılması baş verir. Ammonyak buxarı kondensatora 7, fleqma - regeneratora 11 verilir.

Absorbsiyalı soyuducu aqreqlarda su buxarı olan ammonyak buxarları ətraf hava ilə soyudulması zamanı generatorda deflektasiya prosesi baş verir. Bu zaman fleqma (qatı ammonyak məhlulu) ammonyak buxarından ayrılırlar, yəni buxar su qarışığından təmizlənir. Su buxarı fleqma ilə generatora qayıdır.

Ammonyak buxarı kondensatorda kondensasiya edir. Əmələ gələn maye ammonyak buxarlandırıcıya 8 verilir, burada buxarlanır. Buxarlanma soyuducu kameradan istiliyin udulması ilə müşayiət olunur. Buxarlandırıcı və absorber arasında yüksək təzyiqli hidrogen-ammonyak məhlulu dövr edir. Buxarlandırıcıda ammonyak buxarı diffuziya edərək buxar-hidrogen məhluluna çevrilir.

Ammonyak buxarı ilə doymuş buxar-hidrogen məhlulu regenerativ qaz istilikdəyişənindən 5 keçərək məhlul çəninə 2 yığılır. Maye ammonyakın buxarlanmayan hissəsi də oraya verilir. Ammonyakla doymuş buxar-hidrogen məhlulu hərəkət edərək absorbsiya prosesində buxarlandırıcıda alınan ammonyakı əks istiqamətdə hərəkət edən zəif buxar-ammonyak məhluluna verir.

Ammonyakın çox hissəsindən təmizlənərək qatılığı azalmış zəif buxar-hidrogen məhlulu buxarlandırıcıdan verilən doymuş ağır qaz məhlulu ilə çıxarılır və regenerativ istilikdəyişənə 5 verilir. Burada o, buxarlandırıcıdan verilən doymuş buxar-hidrogen məhlulu ilə soyudulur. Soyumuş zəif buxar-hidrogen məhlulu buxarlandırıcıya daxil olur. Absorberdə ammonyakla zənginləşmiş su-ammonyak məhlulu məhlul çəninə 2 yığılır, sonra məhlul istilikdəyişənə 1 axaraq, burada o, generatordan qayıdan zəif su-ammonyak məhlulu ilə qızdırılır. Qızdırılmış doymuş su-ammonyak məhlulu termosifona 10 daxil olur. Soyuducu aqreqlatın prosesləri fasiləsiz baş verir. Generatora qaynama elektrik qızdırıcısından istiliyin udulması ilə müşayiət olunur, məhlul qaynayır və su-ammonyak buxarı əmələ gəlir.

Hidrogen akkumulyatoru 3 hidrogenin və qaz şəkilli ammon-

yakın yığılması üçün nəzərdə tutulur və ətraf mühitin temperaturu artdıqda soyuducu aqreqatın işini nizamlayır.

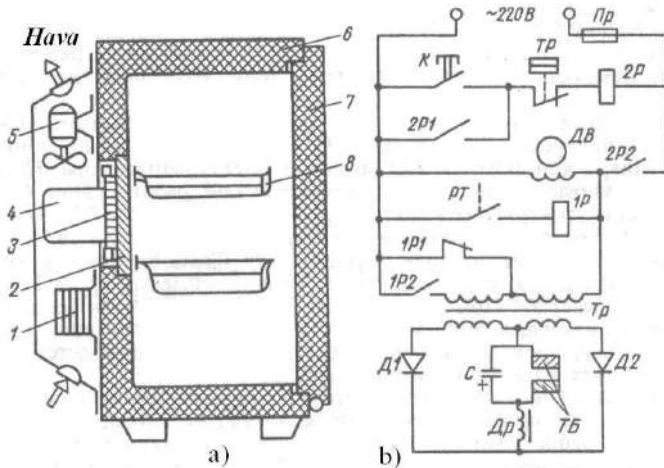
### 33.3. Termoelektriki və burulğanlı soyuducular

Termoelektriki və burulğanlı soyuducular avtomobil nəqliyyatı soyuducularında istifadə olunur. Bundan başqa kondisionerlərdə və içki soyuducularında da istifadə olunur.

Termoelektriki soyuduculara TGX-40 "Çayka" məişət soyuducusu, XATG-12M, XATG-24 UXL4, "Xolodok", XTGP-13,8 PR avtomobil soyuducuları aiddir.

Burulğanlı soyuduculara isə TBX-15 və TBX-14 nəqliyyat soyuducuları aiddir.

Məişət tipli TGX-40 "Çayka" soyuducusu (şək.33.4) 0,8 mm qalınlığında polad vərəqdən hazırlanıb və sintetik plyonka ilə emal olunur, daxili 3 mm enində alüminium təbəqədən hazırlanıb, həcmi 40 dm<sup>3</sup>-dir. İstilik izolyasiyası-penopoliuretandır. Kameranın daxilində rəflər yerləşir. Qapısı aşağı açılır və stol kimi istifadə oluna bilər.



**Şək. 33.4. TGX-40 "Çayka" soyuducusu:**

a) kəsik: 1-T<sub>p</sub> transformatoru; 2-istilik keçidi bloku; 3-elektrik termobatareyası TB; 4-qabırğalı radiator; 5-ventilyator; 6-izolyasiya; 7-qapı; 8-rəflər; b) elektrik sxemi

Soyuducunun arxa divarında iki elektrik batareyasından 3 ibarət olan qidalandırıcı blok yerləşir. Hər bir batareyaya ardıcıl olaraq 60 termoelement birləşir. Batareyalar yanında istilik keçidi blokları 2 yerləşir. Onlar batareyalarla şkaftan alınan istiliyi xaricə verir. Termoelektriki batareyalarla təmasda olan səthlər anod elektrik izolyasiyalı plyonka və istilik keçirən pasta ilə örtülür. Radiatordan istilik ventilyatorlarla 5 çıxarılır.

Termoelektriki batareyaların elektrik qidalandırıcı bloku iki güc transformatorundan 1, iki germanium diodlarından  $D_1$  və  $D_2$  (D-305 tipli), drosseldən  $D_r$ , tutumu 50 mkF-a kimi olan iki kondensatordan və düyməli iki reledən MKU-48C ibarətdir.

TGX-40 termoelektriki soyuducunun kamerasında 2...5°C temperatur saxlanılır.

K düyməsi ilə soyuducunu işə salanda aralıq relesi 2P işə düşür. 2P-1 kontaktı ilə o öz-özünə qidalanmağa keçir, 2P2 kontaktı ilə isə ventilyatorun DV mühərrikini işə salır və 1P dövrəsini avtomatik işə hazırlayır. Şkafta temperatur qalxdıqda  $t_{sk}$  temperatur relesi PT 1P-i işə salır. 1P1 kontaktı ayrılır, 1P2 kontaktı isə qapanır, yəni transformatorun  $T_p$  hər iki bölməsi işə düşür. Termobatareyaya TB tam gücü ilə işləyir (73 kVt).  $t_{sk}=2^\circ\text{C}$ -yə çatdıqda PT 1P-i ayırır. Bu zaman 1P2 kontaktı transformatorun bir bölməsini ayırır, 1P1 kontaktından isə yalnız bir bölmə qidalanır. Batareyanın soyutma məhsuldarlığı iki dəfə azalır, şkafta temperatur 5°C-yə kimi artır. Radiatorun temperaturu 70°C-yə çatdıqda temperatur relesi soyuducunu söndürür. Kamerada 5°C temperatur üç saatdan sonra alınır. Soyuducunun dövrəsində 2 A cərəyan qüvvəsi üçün nəzərdə tutulmuş qoruyucu quraşdırılır.

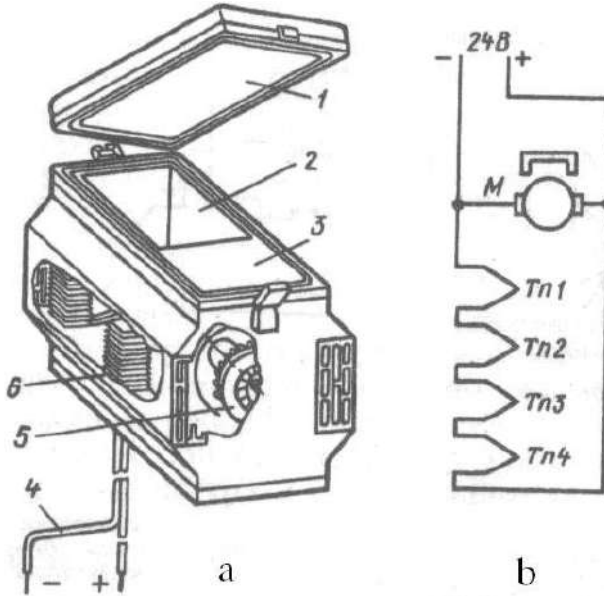
XATG-24UXL4 avtomobil soyuducusu yük maşınlarının kabinasında qurulur. O qida məhsullarının və içkilərin soyudulması və qısa müddətli saxlanması üçündür.

Soyuducu gövdədən, qapaqdan, dörd termoəqreqatdan, ventilyatordan və naqildən ibarətdir (şək.33.5). Gövdə polad vərəqdən hazırlanır və süni dəri ilə örtülür. İstilik izolyasiyası penopolistroidur. Soyuducu kamera alüminiumdan hazırlanmış çəndir. Soyuducu kameranın qarşı-qarşıya olan divarlarına ardıcıl cüt termoəqreqlər birləşir. Hər termoəqreqlər termoelektriki batareyaya

lardan və istilikdəyişəndən ibarət olan blokdir.

Elektrik cərəyanı keçdikcə termoelektriki batareyanın bir səthi isinir, o biri səthi isə soyuyur. Termobatareyaların soyuq tərəfi kameraya tərəf sıxılır. İsti tərəfinə termobatareyadan istiliyi almaq üçün istilikdəyişənlər sıxılır. İstilikdəyişənlər ventilyatorla yaranan hava axını ilə soyudulur.

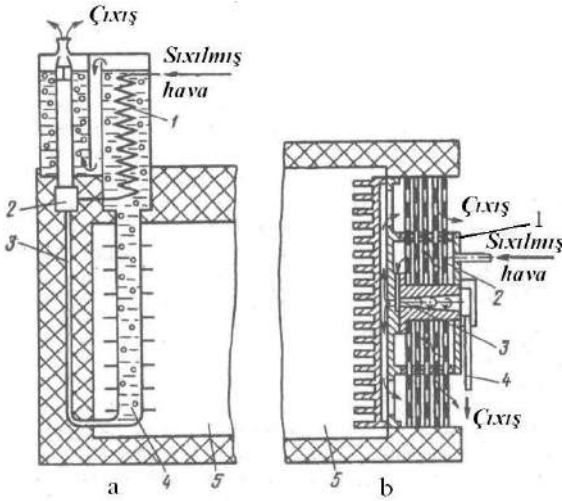
XATG-24 UXL4 soyuducusunun elektrik avadanlığı elektrik mühərrikindən M, dörd termoelektriki aqreqlardan Tn1...Tn4 və elektrik naqilindən ibarətdir.



### Şək. 33.5. XATG-24 UXL4 soyuducusu:

a) ümumi görünüşü: 1-qapaq; 2-soyuducu kamera; 3-gövdə; 4-elektrik naqili; 5- ventilyator; 6- termoaqreqlat; b) elektrik sxemi: M- elektrik mühərriki; Tn1...Tn4- termoelektriki aqreqlatlar

TBX-15 və TBX-14 burulğanlı soyuducular böyük həcmli yük daşıyan avtomobillərdə, teplovozlarda qida məhsulları və içkiləri soyutmaq üçün istifadə olunur. Dizel qatarlarında maşinistin kabinasında, KamAZ avtomobillərinin kabinasında quraşdırılır (şək. 33.6).



**Şək. 33.6. Burulğanlı nəqliyyat soyuducuları:**

- a) TBX-14 soyuducusunun prinsipal sxemi: 1-sıxılmış havanın ilkin soyudulması üçün ilanvari boru; 2-burulğanlı kamera; 3-soyuq havanın keçməsi üçün kanal; 4-barbotajlı soyutma akkumlyatoru; 5-soyutma kamerası;  
 b) TBX-15 soyuducusu: 1-halqalı araqlar; 2-pərforasiyalı lövhələr; 3-burulğanlı kamera; 4-isti havanı çıxaran boru; 5-soyuducu kamera

TBX-14 və TBX-15 burulğanlı soyuducuların texniki xarakteristikaları cədvəl 33.1-də verilmişdir.

Cədvəl 33.1

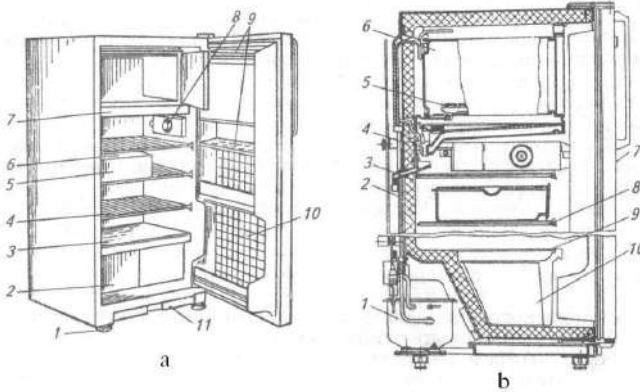
**Burulğanlı nəqliyyat soyuducularının texniki xarakteristikaları**

Göstəricilər	TBX-14	TBX-15
Faydalı həcmi, dm <sup>3</sup>	14,3	15,5
Qabarit həcmi, dm <sup>3</sup>	39,3	39,3
Kütləsi, kq	13	12
İstilik izolyasiyası	PSB-S	PPU-309
Soyuducu kameraya istilik izolyasiyasından xüsusi istilik axını, Vt/K	0,5	0,5
İlkin mütləq təzyiqi 0,9 MPa olan sıxılmış hava sərfi, kq/saat:		
fasiləsiz işdə	10,8	7,2
70 % işləmə müddətində	7,6	5,0
Kabina və soyuducuda maksimal temperatur fərqi, °C	30...32	32...36
Burulğanlı kameranın diametri, mm	5	4

### 33.4. "Minsk" soyuducuları

"Minsk" soyuducuları bir və iki kameralı olur. Bir kameralı soyuduculara "Minsk-212", "Minsk-212-0", "Minsk-216" və "Minsk-216-0" aiddir. Bu soyuducular oxşar konstruksiyalıdır. "Minsk-212-0" və "Minsk-216-0" R134A soyuducu agentı ilə, "Minsk-212" və "Minsk-216" R12 soyuducu agentı ilə doldurulur. Soyuducu şkaflar panel konstruksiyalıdır, daxili şkaflı plastik materialdan hazırlanır. İstilik izolyasiyası kimi sərt penopoliuretan PPU 309M (R12-dən istifadə etdikdə) və ya Elastopor SH210 (R134a-dan istifadə etdikdə) materialdan istifadə olunur.

Soyuducu aqreqat germetik kompressorla (KL6-İS və ya C-KM140H5) təchiz olunmuşdur. Kapilyar boru sorucu borunun içərisindən keçərək regenerativ istilik mübadiləsi əmələ gətirir. Soyuducu aqreqatı R134a soyuducu agentı ilə doldurulduqda NaA-2MM-AT markalı seolitli süzgəc-quruducudan və XFS-134 yağından istifadə olunur. "Minsk-16" KŞ-280 düzbucaqlı şkaflı şəkildə hazırlanır (şək. 33.7).

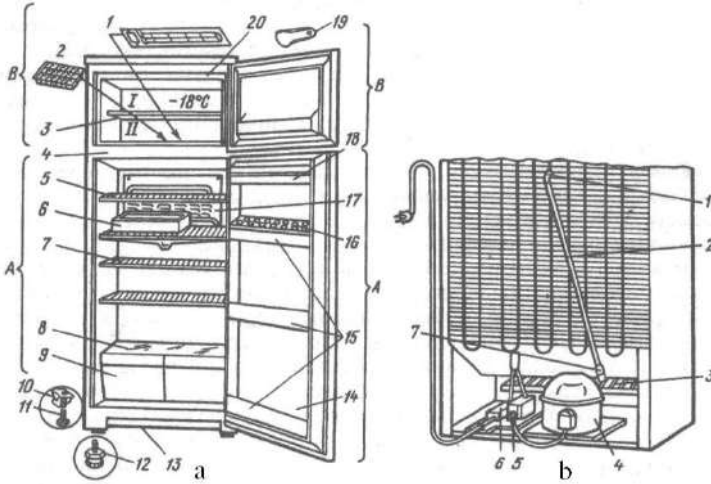


**Şək. 33.7. "Minsk-16" KŞ-280 soyuducusu:**

a) ümumi görünüşü: 1-dayaq; 2-meyvə-tərəvəz üçün altlıqlar; 3-şüşə rəf; 4-metal rəf; 5-balıq üçün çən; 6-çənin qapağı; 7-altlıq; 8-termonizamlayıcının dəstəyi; 9-yumurta qabı; 10-qapı; 11-ərimiş su çəni; b) kəsiyi: 1-soyuducu aqreqat; 2-xarici şkaflı; 3-daxili kamera; 4-istilik izolyasiyası; 5-buz üçün forma; 6-buxarlandırıcı; 7-qapı; 8-metal rəf; 9-şüşə rəf; 10-meyvə və tərəvəz üçün qab

İki kameralı "Minsk" soyuducularına "Minsk-15" və "Minsk-15M" KŞD-260/45 və "Minsk-125" aiddir. Bu soyuducular düzbucaqlı formada hazırlanır (şək.33.8). Xarici (metal) və daxili (plastmass) divarları arasına poliuretan qoyulur. Daxili şkaflı üfqi istilik izolyasiyası ilə iki hissəyə bölünür: üst – 45 dm<sup>3</sup> həcmə malik aşağı temperatur hissə, alt – soyuducu hissə.

Soyuducu şkaflı kameraları qapaqlarla bağlanır. Qapı rezin kipləşdirici ilə təchiz olunur. Şkaflı arxa divarında iki temperaturu buxarlandırıcı üçün xüsusi pəncərə yerləşir. Şkaflı daxilində havanın və məhsulun soyudulması soyuducu aqreqatla yerinə yetirilir. Soyuducu aqreqat germetik kompressordan, kondensatordan, kapilyar borudan və iki temperaturu buxarlandırıcıdan ibarətdir. Germetik sistem R12 soyuducu agentlə doldurulmuşdur.

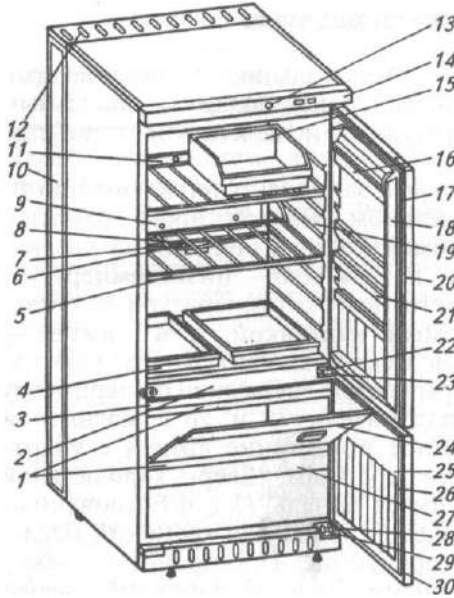


**Şək. 33.8. "Minsk-15M" KŞD-260/45 soyuducusu:**

a) ümumi görünüşü: A-soyuducu kamera; B-dondurucu kamera; 1-reşotka; 2-buz üçün forma; 3-rəf; 4-arakəsmə; 5-fiqurlu rəf; 6-ət və ya balıq üçün qapaqlı çən; 7-rəf; 8-şüşə rəf; 9-meyvə və tərəvəz üçün çən; 10-diyircək; 11-bolt; 12-qaykalı dayaq; 13-ərimiş su çəni buxarlandırıcısı; 14-qapının paneli; 15-rəflər; 16-taxma; 17-soyuducu kameranın buxarlandırıcısı; 18-çən; 19-kürək; 20-dondurucu kameranın çərçivəsi; b) arxadan görünüşü: 1-qısa boru; 2-borü; 3-ərimiş su çəni buxarlandırıcısı; 4-kompressor; 5-buraxıcı qoruyucu relc; 6-klemanın qəlibi; 7-ucluq

Soyuducunun üst hissəsində aşağı temperatur kamerası, alt hissəsində soyuducu kamera yerləşir. Soyuducu aqreqat R12 ilə işləyir. R12 soyuducu agentin miqdarı  $103\pm 2$  q, XF 12-16 mineral yağın miqdarı 350 qramdır. Elektrik mühərriki GDP-24, germetik kompressor XKB6-1LBU tiplidir. Kompresor dayandıqda buxarlandırıcının su damcıları əmələ gəlir və boru ilə ərimiş su üçün çənə 3 axır və orada buxarlanır.

İkikameralı "Minsk-125" KŞD-350/80 soyuducusunun şkaflı siyirtməli aralıq divarı ilə iki hissəyə bölünür: soyuducu üst hissə və aşağı temperaturlu alt hissə. Üst kamerada yuxarı temperaturlu "ağlayan" buxarlandırıcı yerləşir, alt kamerada soyuducu aqreqatın aşağı temperaturlu buxarlandırıcısı yerləşir. Hər iki kamera qapı ilə örtülür (şək. 33.9).



**Şək. 33.9. "Minsk125" KŞD-350/80 soyuducusu:**

1-buxarlandırıcı; 2-aralıq divarı; 3-qab; 4-çən; 5-rəf; 6-bonka; 7-paz; 8-lotok; 9-yığıma bəzək; 10,12-dayaqlar; 11-vint; 13-dəstək; 14-kronşteyn; 15,16-qablar; 17,26-kipləşdiricilər; 18,25-daxili panellər; 19-şkaf; 20,30-xarici panellər; 21-rəf; 22,28-rəzənin oxları; 23-bolt; 24-panel; 27-zənbil; 29-məhdudlaşdırıcı



Qapıların daxili və xarici panellərinin arası istilik izolyasiya materialı ilə – penopoliuretanla doldurulmuşdur.

Soyutma və aşağı temperatur kamerasında havanın soyuması germetik kompressordan, kapilyar borudan, kondensatordan, iki temperaturlu buxarlandırıcıdan ibarət olan soyuducu aqreqlə yerinə yetirilir.

Aşağı temperaturlu buxarlandırıcının soyuması sistemdə dövr edən soyuducu agentin drossellənməsi hesabına və onun buxarlandırıcıda aşağı temperaturda qaynaması hesabına baş verir. Soyuducu kamerasının buxarlandırıcısının soyuması kompressordan sorulan soyuducu agentin buxar axını hesabına baş verir. Soyuducunun kameralarında lazım olan temperaturun saxlanması T-132-1 termonizmləyici vasitəsilə yerinə yetirilir.

Kapilyar boruların tutulmasının və donmasının qarşısını almaq üçün borunun girişində süzgəc-quruducu quraşdırılır. Elektrik mühərrikinin işə salınması və onun sarıqlarının istilikdən qorunması buraxıcı-qoruyucu P4-2 tipli rele ilə yerinə yetirilir.

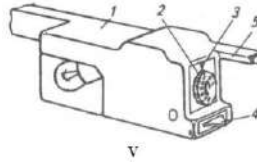
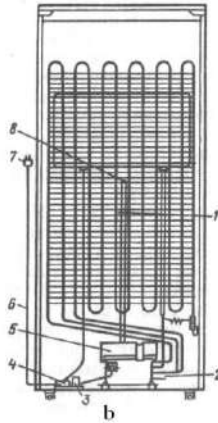
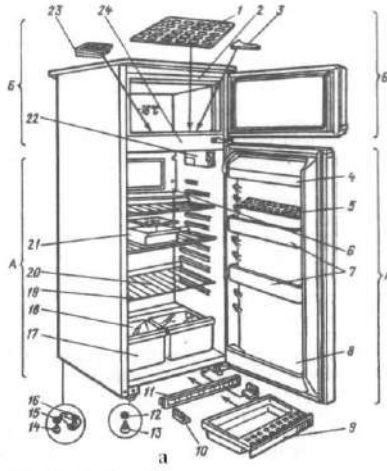
Buxarlandırıcının əriməsi prosesi avtomatik rejimdə elektrik qızdırıcısının işi nəticəsində baş verir. Aşağı temperaturlu kameralarda ərimə yalnız soyuducunu söndürdükdə baş verir.

### **33.5. "Nord" soyuducuları**

"Nord" soyuducuları şkaflı şəkildə hazırlanır. İstilik izolyasiyası – penopoliuretandır (PPU). Soyuducuda ərzaqların soyulması R12 və ya R134a soyuducu agent ilə işləyən germetik kompressorlu soyuducu aqreqlə yerinə yetirilir.

"Nord-416", "Nord-431", "Nord-517", "Nord-417" soyuducuları birkameralıdır. Soyuducunun üst hissəsində dondurucu kamera yerləşir. Burada  $-12^{\circ}\text{C}$  temperatur saxlanılır. Alt hissədə yerləşən soyuducu kameralarda  $5^{\circ}\text{C}$  temperatur yaranır. Döşəmədə rahat hərəkət etməsi üçün soyuducu iki diyircəklə təchiz olunmuşdur.

"Nord-214-1" iki kameralı soyuducudur, ərzaqların dondurulması, saxlanması və buzun hazırlanması üçün nəzərdə tutulmuşdur (şək. 33.10).

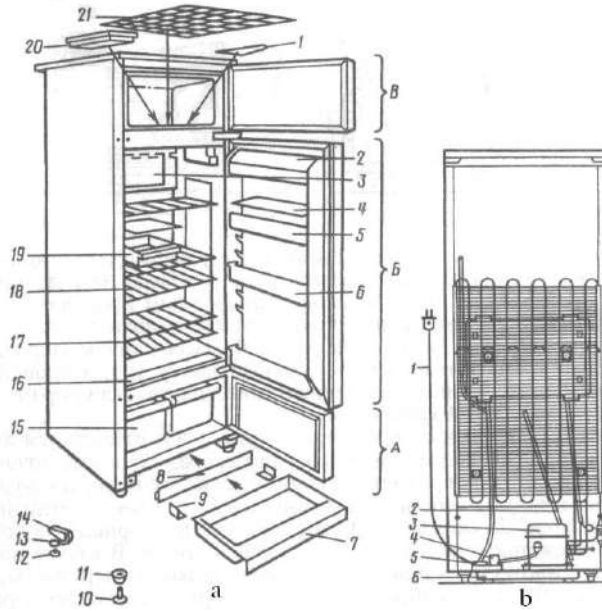


**Şək. 33.10. "Nord-214-1" KŞD-280/45 soyuducusu:**

a) ümumi görünüşü: A-soyuducu kamera; B-dondurucu kamera; 1-şadara (reşotka); 2-dondurucu kameranın buxarlandırıcısı; 3-kürək; 4-qapaqlı çən; 5-taxma; 6-soyuducu kameranın buxarlandırıcısı; 7-rəflər; 8-soyuducu kameranın qarısı; 9-ərimiş su çəni; 10-bucaq; 11-planka (tamasa); 12-qayka; 13-dayaq; 14, 15-boltlar; 16-diyircək; 17-meyvə-tərəvəz çəni; 18-şüşə rəf; 19-rəfin çərçivəsi; 20-rəf; 21-qapaqlı çən; 22-cihazlar bloku; 23-buz üçün forma; 24-aralıq; b) arxadan görünüşü: 1-su çıxaran; 2-kompresor; 3-buraxıcı-qoruyucu rele; 4- klemmanın qəlibi; 5- ərimiş su çəni; 6-birləşdirici naqil; 7-çəngəl; 8-qısa boru; v) cihazlar bloku: 1-plafon; 2-termonizamlayıcının dəstəyi; 3-göstərici; 4-kamerada işığı söndürən elektrik açarı; 5-panel

Soyuducunun üst hissəsində dondurucu kamera (MX), alt hissəsində isə soyuducu kamera (XK) yerləşir. Soyuducunun divarında TAM-133-1-1 termonizamlayıcı, lampa və kameranın işığını söndürən elektrik açarı olur. Dondurucu kamerada avtomatik olaraq temperatur  $-18^{\circ}\text{C}$ -də saxlanılır. Dondurulmuş ərzaqların sutkalıq norması 3 kq-dır. "Nord-233", "Nord-232", "Nord-240-3", "Nord-320", "Nord-239" iki kameralı soyuducular analoji quruluşa malikdirlər və kameralarının həcminə görə fərqlənirlər.

"Nord-225" KŞT-350/45/45- üç kameralı soyuducudur (şək. 33.11).



**Şək. 33.11. "Nord-225" KŞT-350/45/45 soyuducusu:**

a) kameraların yerləşməsi: A-meyvə-tərəvəz saxlamaq üçün kamera; B-soyuducu kamera; V-dondurucu kamera: 1-kürək; 2-qapaqlı çən; 3-soyuducu kameranın buxarlandırıcısı; 4-taxma; 5, 6-rəflər; 7-ərimiş su çəni; 8-planka; 9-ucluq; 10-dayaq; 11-dayağın qaykısı; 12,13-boltlar; 14-diyircək; 15-meyvə-tərəvəz çəni; 16-pərdə; 17-rəfin çərçivəsi; 18-rəf; 19-qapaqlı çən; 20-buz üçün forma; 21-şadara; b) arxadan görünüşü: 1-birləşdirici naqıl; 2-su çıxaran; 3-kompressor; 4-buraxıcı qoruyucu rele; 5-klemanın qəlibi; 6-ərimiş su çəni

A kamerası meyvə-tərəvəzin saxlanması üçün, B soyuducu, V dondurucu kameradır. Soyuducunun cihazlar blokunun yerləşməsi "Nord-214-1" soyuducusu ilə analojidir.

Soyuducuda bir soyuducu aqreqatdan istifadə olunur. Burada XKB-8 və ya XKB6-1M tipli kompressordan 3, GDP-125 və ya DAO-131-120 elektrik mühərrikindən, termonizamlayıcıdan (TAM-133-1-1), buraxıcı qoruyucu reledən (PTK-3M-07) istifadə olunur. Buxarlandırıcının qar örtüyü kompressorun dayanma müddətində avtomatikə əriyir. Bu zaman buxarlandırıcı su damcılarını ilə örtülür. Su suçixaranla ərimiş su çəninə yığılır və hava temperaturunda buxarlanır.

"Nord-226" KŞT-325/45/45 üç kameralı soyuducu soyuducu (XK) kamerasından (orta temperatur 5°C), dondurucu (MK) kameradan (orta temperatur -18°C) və krioskopikə yaxın (BK) kameradan (orta temperatur -3°C) ibarətdir.

Soyuducu aqreqat "Nord-225" ilə analojidir.

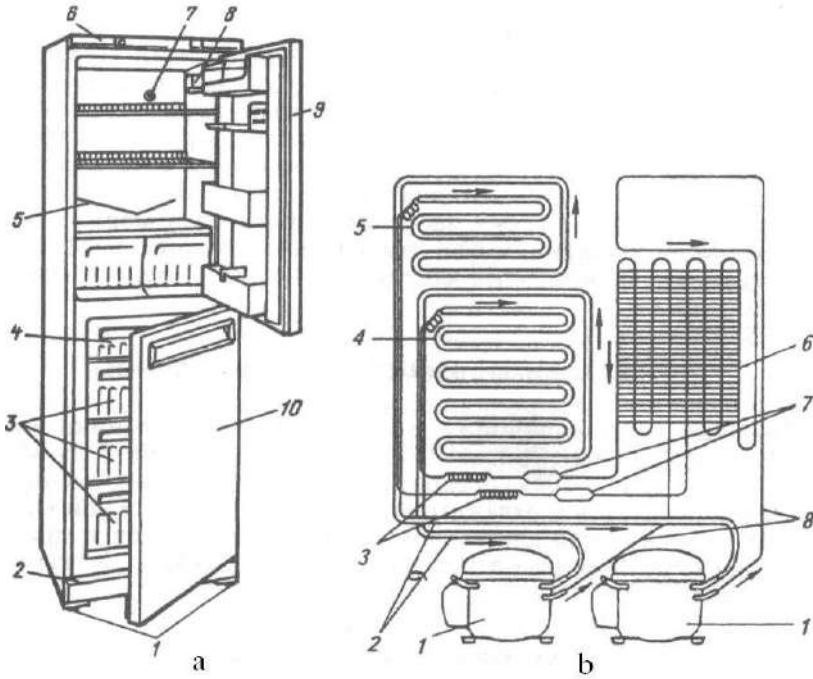
### **33.6. "Stinol" soyuducu-dondurucuları**

Məişət tipli kompressorlu "Stinol-101", "Stinol-102", "Stinol-103", "Stinol-107", "Stinol-123", "Stinol-124" və "Stinol-104" soyuducuları ərzaq məhsullarının soyuducu kamerasında qısa müddətli saxlanması və dondurucu kamerada ərzaqların dondurulması və uzun müddətli saxlanması üçün nəzərdə tutulmuşdur. Soyuducu agent kimi R12, R134a-dan istifadə olunur. "Stinol-103" KŞMX-340/200 soyuducu-dondurucu iki kameralıdır (şək. 33.12). İstilik izolyasiyası materialı kimi penopoliuretandan (PPU) istifadə olunur.

Soyuducu-dondurucu iki soyuducu aqreqatla təchiz olunur. Soyuducu kameranın buxarlandırıcısı arxa divara bərkidilir. Dondurucunun buxarlandırıcısı sinklənmiş polad borudan ibarətdir və dondurucu kameranın rəflərinə bərkidilir. Soyuducu kameranın buxarlandırıcısı mis borudan hazırlanır.

Soyuducu aqreqatların kompressorları metal traversdə, şkaflın arxa divarında isə kondensator yerləşir. Onun borularının bir his-

səsi birinci soyuducu aqreqatın sistemə, o biri hissəsi isə ikinci sistemə daxil olur.



**Şək.33.12."Stinol-103" KŞMX 340/200 soyuducu-dondurucusu:**

a) ümumi görünüşü: 1-nizamlanan dayaqlar; 2-dayaq; 3-dondurulmuş ərzaqların saxlanma bölməsi; 4-dondurma bölməsi; 5-su axıdan; 6-idarəetmə paneli; 7-termonizamlayıcının kapilyar borusunun bərkidicisi; 8-ışığıqlanma bloku; 9-soyuducu kameranın qapısı; 10-dondurucu kameranın qapısı;

b) soyuducu aqreqatın işləmə sxemi: 1-kompresor; 2-sorucu boru; 3-ka-pilyar boru; 4-soyuducu kameranın buxarlandırıcısı; 5-dondurucu kamera-nın buxarlandırıcısı; 6-kondensator; 7-süzgəş-quruducu; 8-qovucu boru

Drossellənmə qurğusu kimi kapilyar borularından istifadə olunur. Hər iki aqreqatda quruducu-süzgəclər nəzərdə tutulmuşdur.

Soyuducu kameranın sağ tərəfində ışıqlanma bloku, üst hissəsində isə idarəetmə paneli yerləşir. O, iki termonizamlayıcıdan və iki yaşıl siqnal lampasından ibarətdir. TH1 və TH2 termonizamlayıcılarla soyuducu aqreqatların elektrik sxemlərinə gərginlik verir.

lır və orada lazım olan temperatur alınır.

RA1 və RA2 buraxıcı relelər CO1 və CO2 kompressorlarını işə salır, onlar da sistemdə soyuducu agentin dövr etməsini təmin edir. RH1 və RH2 qoruyucu relelər kompressoru çox yükləmədən qoruyur. Soyuducu və dondurucu kameralarda istənilən temperatur yarandıqda termonizamlayıcılar kompressorları söndürür.

"Stinol-104" KŞT-305 üç kameralı soyuducu-dondurucusu soyuducu, dondurucu və meyvə-tərəvəzi saxlama kameralarından ibarətdir. Dondurucu kamera soyuducunun üst hissəsində yerləşir və qarsız sistemlə (NoFrost) təchiz olunur. Soyuducu kamera buxarlandırıcıdan soyudulur. Soyuducu kameranın altında meyvə-tərəvəzin saxlanması üçün kamera-konteyner olur. Kameraların soyudulması iki buxarlandırıcı sistemlə yerinə yetirilən soyuducu aqreqatla təmin olunur.

Dondurucu kameranın radiator tipli buxarlandırıcısı "NoFrost" sisteminin əsas elementidir. Buxarlandırıcı və dondurucu kamera arasında havanın dövrəni hərəkətini təmin etmək üçün buxarlandırıcının arxasında elektrik ventilyatoru yerləşir.

Hər 10...12 saatdan bir buxarlandırıcıya bərkidilən elektrik qızdırıcısı avtomatik olaraq işə düşür və buxarlandırıcının əriməsini təmin edir.

Soyuducu aqreqatın kompressoru şkafın arxa hissəsində yerləşir. Arxa divara kondensator bərkidilir. Drossellənməni kapilyar boruları yerinə yetirir. Sistemin təmizlənməsi və qurudulması üçün süzgəc-quruducu nəzərdə tutulur.

### **33.7. "Bosch" soyuducuları**

"Bosch" (Almaniya) soyuducu və dondurucularında FCKW-dan (karbohidratın fluor-xlor birləşmələri) istifadə olunmur. Bundan başqa "Bosch" cihazlarının 80 %-də FKW-dan (karbohidratın fluor birləşmələri) istifadə edilmir (cədvəl 33.2).

Soyuducuların rəfləri sınımayan şüşədən hazırlanır. Bəzi iki kameralı soyuducularda temperatur nizamlanması ayrı-ayrılıqda yerinə yetirilir.

Soyuducuların hamısında buxarlandırıcı arxa divarın arxa tə-

rəfində yerləşir. Buna görə də soyuducu kameranın divarları sı-ğallıdır. Bu da təmizləmə üçün rahatlıq yaradır. Dondurulmuş ər-zaqların saxlanma kamerasında  $-18^{\circ}\text{C}$  temperatur yaranır. Dondu-ruca kamerada temperatur  $-18\dots-24^{\circ}\text{C}$ -dir.

**KSV 2802 soyuducusu** – iki kameralıdır. Soyuducunun üst hissəsində dondurucu kamera ( $60\text{ dm}^3$ ), alt hissəsində soyuducu kamera ( $215\text{ dm}^3$ ) yerləşir. Soyuducunun gövdəsinin tilləri ha-marlanmış (müasir stil "soft line"). Soyuducu kameranın qapısı maqnitli bağlayıcıdır. Soyuducuda dörd metal, bir şüşə rəf nəzər-də tutulmuşdur.

**KGE 3501 soyuducusu** – iki kameralıdır. Üst hissəsində so-yuducu kamera ( $237\text{ dm}^3$ ), alt hissəsində – dondurucu kamera ( $90\text{ dm}^3$ ) yerləşir. Dondurulmanı idarəetmə sistemi avtomatiki-dir, soyuducu kameranın işıqlandırılması halogenlidir. Soyuducuda dörd rəf nəzərdə tutulmuşdur. Dondurucu kamerada dondurulmuş ərzaqları saxlamaq üçün üç siyirtməli boks yerləşir.

**KGS 3702 və KGS 3202 soyuducuları** – iki kameralıdır. Üst hissədə soyuducu kamera ( $222$  və  $187\text{ dm}^3$ ), alt hissədə dondu-ruca kamera ( $88\text{ dm}^3$ ) olur. Buxarlandırıcının ərimeəsi avtomatiki-olub soyuducu kameralar rəflərlə təchiz olunmuşdur.

**KGS 4200 soyuducusu** iki kameralı soyuducu olub soyuducu kameradan ( $299\text{ dm}^3$ ) və dondurucu kameradan ( $86\text{ dm}^3$ ) ibarət-dir. Soyuducu kameranın halogenli işıqlandırılması nəzərdə tutu-lur. Üç şəbəkəli rəflər ərzaqların yerləşdirilməsi üçündür. Buxar-landırıcı avtomatiki ərividilir, dondurucu kamerada superdondurma rejimi və aktiv xəbərdarlıq sistemli avtomatik dondurma rejimi nəzərdə tutulur. Dondurulmuş ərzaqların saxlanması üçün üç tu-tum olur.

**KGU 4101** iki kameralı soyuducusunun üst hissəsində soyu-ducu kamera ( $296\text{ dm}^3$ ), alt hissəsində dondurucu kamera ( $89\text{ dm}^3$ ) olub, işıqlanması halogenlidir. Buxarlandırıcı avtomatiki ərividilir. Ərzaqları yığmaq üçün dörd şadərəli rəflər nəzərdə tutu-lmuşdur. Dondurucu kamerada hava ilə soyudulma "NoFrost" sis-temindən istifadə olunub, superdondurma rejiminə malikdir. Ər-zaqları saxlamaq üçün üç tutumdan ibarətdir.

**KGV 3603** iki kameralı soyuducusunun üst hissəsində soyu-

ducu kamera (230 dm<sup>3</sup>), alt hissəsində dondurucu kamera (90 dm<sup>3</sup>) yerləşir. Soyuducu kamerada "batmış" soyuqluq generatoru (buxarlandırıcı), daxili işıqlanma və buxarlandırıcının avtomatik əriməsi nəzərdə tutulmuşdur. Ərzaqları yığmaq üçün dörd şadralı və bir şüşə rəf olur. Ərimiş suyun axıdılması nəzərə alınmışdır. Dondurucu kamera ərzaq yerləşdirmək üçün üç siyirtməli həcmli təchiz olunmuşdur.

### **33.8. "Ariston" kompressorlu soyuducuları və dondurucuları**

"Ariston" (İtaliya) soyuducularının texniki xarakteristikası cədvəl 33.3 -də verilmişdir.

**370 B Combi soyuducu-dondurucusu** iki kameralıdır. Üst hissəsində faydalı həcmi 242 dm<sup>3</sup> olan soyuducu kamera, alt hissəsində həcmi 128 dm<sup>3</sup> olan dondurucu kamera yerləşir. Hər kameranın öz soyuducu aqreqatı var. İki termonizamlayıcı hər kamerada temperaturu müstəqil nizamlamağa imkan verir. Dondurucu kameranın əriməsi avtomatik yerinə yetirilir. Qapılar maqnit kipləşdiricilərlə təchiz olunmuşdur.

**NF 330 3T EL soyuducu-dondurucu.** Bu soyuducu-dondurucuda ilin dörd fəslinə müvafiq dörd iqlim zonası nəzərdə tutulmuşdur. "Qış" zonasının həcmi 59 dm<sup>3</sup>, "Yaz" zonası-152, "Payız" zonası-23, "Yay" zonası -70 dm<sup>3</sup>-dir. Hər zonada temperaturun nizamlanması elektron sistemlə yerinə yetirilir.

"Qış" zonasında (dondurucu kamera) havanın məcburi ventilyasiyası ilə "NoFrost" sistemindən istifadə olunur ki, bu da buz bağlamanın qarşısını alır. Dondurucu kamerada -18°C temperatur saxlanılır. Təbii konvektiv istilikdəyişmə hesabına "Yaz" bölməsində 5°C temperatur saxlanılır. "Payız" bölməsi (temperatur 0°C) soyuducunun qalan hissəsindən tam izolyasiya olunmuşdur. Soyuq hava onu xaricdən əhatə edir. Siyirtməli qapaq bu bölməni germetik bağlayır və bunun nəticəsində ərzaqlar öz tərəvətini itirmir. "Yay" bölməsində 5...7°C temperatur saxlanılır. Bu bölmədə soyuq hava axını ərzaqlarla bilavasitə təmasda olur.



## "Bosch" iki kamerah kompressorlu soyuducuların texniki xarakteristikaları

Göstəricilər	KSV 2802	KGS 4200	KGV 4101	KGV 3603	KGE 3501	KGS 3702	KGS 3202
Enerjiyə qənaət sinfi	D	G	G	C	B	C	C
Faydalı həcmi, dm <sup>3</sup> ümumi	265	385	385	320	327	310	275
soyuducu kameranın	215	299	296	230	237	222	187
dondurucu kameranın	60	86	89	90	90	88	88
365 gündə enerji sərfi, kvt	526	1040	1040	529	456	558	529
Dondurucu kamerada temperatur, °C	-18°C-dən aşağı						
Ərimə sistemi	Avtomatik						
Dondurma məhsuldarlığı, kq/sut	4	15	12	9	15	15	17
Söndürüldükdə ərzaqların saxlanma müddəti, saat	14	19	12	23	24	18	18
Qabarıq ölçüləri (hündür- lüyü, eni, dərinliyi), mm	1560x550x 600	1870x710x 660	1870x710x 660	1860x600x 600	1950x600x 600	1860x600x 600	1710x600x 600

**"Ariston " soyuducularının texniki xarakteristikaları (İtaliya)**

Göstərici	370 B Combi	NF 330 3T EL	RF 300 3P NLEL	ENF 330 3T B	ENF 300 NFEL	"Bomb ato" ERF 352X	ERF374	"Bomb ato" EDF 335X	"Bomb ato" EDF 290X	OK-DF 290 NFL
Hecmi, dm <sup>3</sup>	370	304	296	329	304	315	368	340	292	276
Ümumi dondurucu kameranın merkezi kameranın soyuducu kameranın meyve – tərəvəz ka- merasının	128 - 242	59 23 152	77 46 173	74 - 184	80 48 176	90 - 225	132 - 236	75 - 265	62 - 230	62 - 214
Elektrik enerjisinin sərfi, kVt·saat/sut	1,9	2,1	-	1,47	2,78	1,75	2,0	1,21	1,1	1,9
Dondurma məhsul- darlığı, kq/sut	-	-	-	5,5	5,0	10	11	5,5	4,5	4,0
Buxarlandırıcının əriməsi	Avtomatik									
Qabarit ölçüləri, mm hündürlüyü eni derinliyi	1800 600 600	1700 600 600	1770 600 600	1700 600 600	1770 600 600	1650 600 600	1800 600 600	1500 600 600	1500 600 600	1500 600 600

**RF 300 3P NL EL soyuducu-dondurucusu** üç kameralı soyuducudur. Üst hissəsində soyuducu kamera, mərkəzdə  $-18...+3^{\circ}\text{C}$ -yə kimi temperaturu nizamlanan universal kamera ( $46\text{ dm}^3$ ), alt hissəsində dondurucu kamera yerləşir.

Dondurucu kamerada "NoFrost" məcburi ventilyasiya sistemindən istifadə olunur. Bundan başqa elektrik enerjisi kəsildikdə dondurucu kamerada müəyyən vaxt ərzində aşağı temperaturu saxlamaq üçün soyutma akkumlyatorları nəzərdə tutulmuşdur.

Soyuducu-dondurucu temperaturu nizamlayan elektron sistemlə, qapılar isə maqnit kipləşdiricilərlə təmin olunmuşdur.

**ENF 330 3T B soyuducusu** üç kameralıdır. Üç iqlim zonası və ümumi həcmi  $329\text{ dm}^3$  olan üç kamerası vardır. Soyuqluq sisteminin iki termonizamlayıcısı olur. Buzun əriməsi və suyun çıxarılması avtomatiki yerinə yetirilir. Üstdə yerləşən dondurucu kamerada  $-18...-25^{\circ}\text{C}$  temperatur saxlanılır. Buz konteynerləri asqılı olduğundan bu da dondurmanı asanlaşdırır. Həcmi  $71\text{ dm}^3$  olan meyvə-tərəvəz bölməsində  $5...12^{\circ}\text{C}$  temperatur saxlanılır.

**ENF 300 NF EL soyuducu-dondurucu** üç kameralıdır. ENF 330 3T B modeli ilə analojidir.

Həcmi  $48\text{ dm}^3$  olan mərkəzi hissədə tam soyuma rejimində  $3^{\circ}\text{C}$ , qismən dondurma rejimində  $0...-3^{\circ}\text{C}$  və tam dondurma rejimində  $-18^{\circ}\text{C}$  ("NoFrost" sistemindən istifadə etdikdə) temperatur saxlanılır. Həcmi  $80\text{ dm}^3$  olan dondurucu kamerada havanın məcburi dövr etməli "No Frost" soyutma sistemindən istifadə olunur. Soyuducu-dondurucu kamera temperaturu nizamlayan elektron sistemlə təmin olunmuşdur. Dondurucu kamera pultla idarə olunur. Soyuducu kamera üst hissədə, dondurucu isə alt hissədə yerləşir.

**"Bombato" ERF 352X soyuducusu** iki kameralıdır. Soyuducu kamera üst, dondurucu kamera isə alt hissədə yerləşir. Hər kameranın öz soyuducu aqreqatı vardır. Soyuducu agent kimi ozon təhlükəsi olmayan agentdən istifadə olunur. Tez ərimə rejimlidir.

**ERF 374 soyuducusu** -iki kameralıdır. Soyuducu kamera üst, dondurucu isə alt hissədə yerləşir. Burada da hər kameranın öz soyuducu aqreqatı olur, hər kameranın temperaturu ayrı-ayrılıqda nizamlanır. Buzun əriməsi və suyun çıxarılması avtomatik yerinə

yetirilir.

**"Bombato" EDF 335X və "Bombato" EDF 290X soyuducuları** iki kameralı olub, hər kamera öz soyuducu aqreqatı ilə təmin olunmuşdur. Avtomatik ərimə sistemlidir. Soyuducuların gövdəsi ağ rənglidir. Soyuducuların qapısı istənilən vaxt sağ və sol tərəfdən açıla bilər.

**OK-DF 290 NF L soyuducusu.** Soyuducunun üst hissəsində həcmi 62 dm<sup>3</sup> olan dondurucu kamera yerləşir. Minimal dondurma temperaturu -24°C-dir. Dondurucu kamerada "No Frost" sistemindən istifadə olunur. Soyuducu avtomatik olaraq əridilir. Soyuducu aqreqat ozon təhlükəsi olmayan soyuducu agentlə işləyir. Temperaturu 0°C olan soyuducu kameralar siyirtməli qapaqlı həcmli təchiz olunur.

### **33.9. "DAEWOO" kompressorlu soyuducuları** (*Cənubi Koreya*)

**FR-490 soyuducusu** -iki kameralıdır. Soyuducunun faydalı həcmi 486 dm<sup>3</sup> olub, üst hissəsində dondurucu, alt hissəsində isə soyuducu kamera yerləşir. Avtomatik ərimə, işə salma və temperatur nizamlama sistemindən istifadə olunur. Soyuducu "No Frost" sistemi ilə təchiz olunub, tez dondurma rejimlidir. Elektron idarəetmə sistemi ilə təmin edilmişdir. İdarəetmə paneli maye kristallı displeydir. Nasazlıqlar baş verdikdə kompüter onların xarakterini təyin edir və monitora xəbər göndərir. Soyuducu kamerada işıqlandırma lampası vardır. Soyuducuya saat quraşdırılmışdır. Qabarit ölçüləri (mm): hündürlüyü 1771, eni 750, dərinliyi 640 mm-dir.

**FR-540 soyuducusu** -iki kameralıdır. Faydalı həcmi 538 dm<sup>3</sup> olub, dondurucu kamera üst, soyuducu kamera isə alt hissədə yerləşir. Avtomatik ərimə, işə salma və temperatur nizamlama sistemi ilə təchiz olunaraq "No Frost" sistemində işləyir.

Soyuducuda çox axınlı ventilyasiya sistemindən ("Multi Flow") istifadə olunur. Tez donma rejimi nəzərdə tutulmuşdur. Soyuducunun idarə olunması yarım avtomatikdir: temperaturun nizamlanması və ərimə kompüterlə yerinə yetirilir; sistemin nasazlığı barədə xəbər verilir; qapı açıq qaldıqda signal səsi

gəlir. Tez və ya sərfəli donma rejimləri əl ilə nizamlanır. Əməliyyatlar maye kristallı displeyi olan sensor (hissedic) paneli ilə yerinə yetirilir. Soyuducuya saat quraşdırılır.

Soyuducu aqreqat ozon təhlükəsi olmayan soyuducu agentlə işləyir. Kompresorun səs səviyyəsi 25 dBA-dan çox deyil, bu da nazik və möhkəm izolyatordan istifadə etməklə əldə edilir. Soyuducu kameranın elektrik işıqlanması vardır. Qabarit ölçüləri (mm): hündürlüyü 1768, eni 770 və dərinliyi 700 mm-dir.

### 33.10. "Beko" kompressorlu soyuducuları (Türkiyə)

Soyuducuların texniki xarakteristikaları cədvəl 33.4-də verilmişdir.

Cədvəl 33.4

#### "Beko" soyuducularının texniki xarakteristikaları

Xarakteristika	CRF-4810 "Combi"	RRF-4760	NRF-5000	RRF-4260
Həcmi, dm <sup>3</sup> :				
ümumi	270	428	409	332
soyuducu kameranın	140	330	330	175
tərəvəz kamerasının	-	-	-	90
dondurucu kameranın	96	90	75	67
Temperatur, °C:				
dondurucu kamerada	-24	-24	-24	-24
soyuducu kamerada				
orta temperatur	5	+5	+5	+5
Ərimə sistemi	Ərimiş suyun avtomatik çıxarılması			
Qabarit ölçüləri, mm				
hündürlüyü	1560	1810	1810	1860
eni	600	700	700	600
dərinliyi	600	660	660	600

**CRF-4810 "Combi" soyuducusu** -iki kameralıdır. Üst hissəsində həcmi 140 dm<sup>3</sup> olan soyuducu, alt hissəsində həcmi 96 dm<sup>3</sup> olan dondurucu kamera yerləşir. Soyuducunun xarici idarəetmə paneli olur. Soyuducu kameranın üç rəfi olur və orada 5°C temperatur saxlanılır. Soyuducunun qapısı da rəflərlə təchiz olunur. Dondurucu kameranın üç bölməsi olub, orada -24°C temperatur saxlanılır. Buzun əriməsi və suyun çıxarılması avtomatiki yerinə

yetirilir. Kameraların qapılarının dəstəkləri gövdənin qabaritlərindən kənara çıxmır. Qapının açılma istiqamətini dəyişmək mümkündür.

**RRF-4760 soyuducusu** -iki kameralıdır. Üst hissədə dondurucu ( $90 \text{ dm}^3$ ), alt hissədə soyuducu kamera ( $330 \text{ dm}^3$ ) yerləşir. Ərimə sistemi və suyun çıxarılması avtomatikdir. Dondurucu kamera dörd temperatur rejimində işləyir, ən aşağı temperatur  $-24^\circ\text{C}$ -də olur. Soyuducu xarici idarəetmə panellidir. Qapının açılma istiqamətini dəyişmək mümkündür.

**RRF-5000 soyuducusu** -iki kameralıdır. Üst hissədə həcmi  $75 \text{ dm}^3$  olan dondurucu kamera yerləşir. Burada  $-24^\circ\text{C}$  temperatur saxlanılır. "No Frost" sistemindən istifadə olunur, tez dondurma və buz hazırlama bölmələri vardır. Soyuducunun alt hissəsində həcmi  $330 \text{ dm}^3$  olan soyuducu kamera yerləşir. Burada orta temperatur  $5^\circ\text{C}$ -dir. İdarəetmə paneli xaricidir. Qapının açılma istiqamətini dəyişmək mümkündür.

**RRF-4260 soyuducusu**— iki kameralıdır. Üst hissəsində həcmi  $67 \text{ dm}^3$  olan dondurucu kamera yerləşir. Burada dörd temperatur rejimi saxlanılır və ən aşağı temperatur  $-24^\circ\text{C}$ -dir. Soyuducunun orta hissəsində həcmi  $175 \text{ dm}^3$  olan soyuducu kamera olur ki, burada orta temperatur  $5^\circ\text{C}$ -dir. Soyuducu kamerada dörd şüşə rəf yerləşir. Qapılar rəflərlə təchiz olunmuşdur. Alt hissədə isə  $90 \text{ dm}^3$  həcmə malik siyirtməli meyvə-tərəvəz kamerası vardır. Buxarlandırıcılar daxili divarın uzununa yerləşdirilmişdir. Soyuducu aqreqat avtomatik rejimə işləyir və ərimiş suyu soyuducudan kənara çıxarır. Temperatur rejimləri soyuducunun xaricində yerləşən termonizamlayıcının köməyi ilə nizamlanır. Soyuducunun hər iki qapısının açılma istiqamətini dəyişmək mümkündür.

### **33.11. Soyuducularda baş verən nasazlıqlar və onların aradan qaldırılma üsulları**

*Buxarlandırıcının üzərində qar örtüyü artır*

Qapının kipliyi pozulmuşdur - Qapını nizamlamaq və kipləşdiricinin bütün perimetrdə olmasını yoxlamaq. Əgər qapı yaxşı örtülməzsə, qapını dəyişmək

*Kipləşdirici qapıya yaxşı oturmur*

Vizual müəyyən edilir

Qapını nizamlamaq və kipləşdiricinin bütün perimetrdə olmasını yoxlamaq. Əgər qapı yaxşı örtülməzsə, qapını dəyişmək

*Soyuducu kamera yaxşı soyutmur. Soyuducu fasiləsiz işləyir*

Soyuducu aqreqatda soyuducu agentin qismən uçması baş verir

Buxarlandırıcının çıxış kanallarını və kondensatorun isinməsinə yoxlamaq. Kanallar donmazsa və kondensator az qızarsa kompressorun gücünü yoxlamaq. Güc aşağı olduqda soyuducu agentin axan yerləri və səbəbini yağ ləkələri ilə müəyyən etmək. Axının qarşısını almaq. Soyuducu aqreqatı vakuumlaşdırmaq, soyuducu agentlə doldurmaq. Axan yeri yoxdursa, deməli kapilyar boru çirklənib. Kapilyar borunu quru hava və ya soyuducu agentlə üfürmək. Aqreqatı vakuumlaşdırmaq və soyuducu agentlə doldurmaq

Soyuducu aqreqatda soyuducu agentin miqdarı azdır. Kondensator zəif isinir, elektrik mühərrikinin gücü aşağıdır (120 Vt-dan azdır)

Axmanı yoxlamaq, soyuducu agent axmırsa aqreqatı normaya qədər soyuducu agentlə doldurmaq

Buxarlandırıcıda yağ vardır. Buxarlandırıcının qismən əriməsi orada yağın olmasını göstərir

Buxarlandırıcının donmasını vizual yoxlamaq. Soyuducu agent axmırsa buxarlandırıcını çıxarmaq, soyuducu agentlə yumaq, şəh nöqtəsi -60°C-dən çox olmayan hava ilə üfürmək, yerini lehımləmək

*Soyuducu kamera tam soyutmur. Soyuducu fasiləli işləyir*

Termonizamlayıcının silfon borusu buxarlandırıcıya yaxşı bərkidilməyib

Termonizamlayıcının silfon borusunun bərkimə vintlərini çəkmək

*Elektrik mühərriki işləyir, buxarlandırıcı soyutmur*

Kapilyar boru çirklənib. Soyuducu işlədikdə kapilyar borunun giriş hissəsinin temperaturunu öl ilə yoxlamaq. Çirklənmə baş verdikdə kapil-

Buxarlandırıcı, sorucu və kapilyar borularını çıxarmaq, yumaq, üfürmək. Əgər çirklənmə aradan qaldırılmazsa yenisi ilə əvəz etmək

yar borunun girişinin temperaturu süzgəc-quruducunun temperaturundan aşağı olur

*Buxarlandırıcı öz-özünə əriyir*

Kapilyar borunda su donub. Kompresor işləyəndə zaman kapilyar borunun çıxışını qızdırdıqda buxarlandırıcıya axan soyuducu agentin sıyrıltılı səsi eşidiləcək

*Kameranın temperaturu yüksəkdir*

Kompresor nasazdır. Kompresoru dəyişmək  
Kompresorun soyutma məhsuldarlığı kifayət etmir, kondensatorun temperaturu artır. Soyuducu fasiləsiz işləyir və ya normal temperaturda iş vaxtı əmsalı artıqdır

*Elektrik mühərriki səs edir və işə salınmır*

Kompresor kiplənmişdir. Şəbəkənin gərginliyi aşağıdır  
Kompresoru dəyişmək, gərginliyi yoxlamaq. Gərginlik 187...242 V arasında olmalıdır

Buraxıcı-qoruyucu rele nasazdır  
Saz rele ilə kompresoru işə salmaq. Əgər işə düşsə, releni dəyişmək

Kompresorun elektrik mühərriki nasazdır  
Kompresoru dəyişmək

*Kompresor işə düşmür və ya pis işə düşür*

Kompresorun elektrik mühərrikinin işə salma momenti aşağıdır, buraxılış cərəyanı normadan aşağıdır  
Yuxarıdakı kimi

Elektrik dövrəsində qırıq vardır  
Dövrənin elektrik sxeminə uyğun olmasını yoxlamaq. Elektrik naqillərini təmir etmək



Buraxıcı qoruyucu rele nasazdır	Buraxıcı-qoruyucu releni dəyişmək
Termonizamlayıcı nasazdır Kompessorun elektrik mühərriki nasazdır və ya kompressorun sürtünən cütü kipləşir	Termonizamlayıcıni dəyişmək Kompessoru dəyişmək
<i>Elektrik enerjisinin sərfi yüksəkdir</i>	
Soyuducu aqreqat sistemində hava vardır	Soyuducu aqreqatın sistemindən soyuducu agentini kənarlaşdırmaq, aqreqatı vakuumlaşdırmaq, soyuducu agentlə doldurmaq
Soyuducu qızdırıcı cihazlara yaxın yerləşir. Şkafın arxa divarı ilə hava dövr etmir	Soyuducunu düzgün yerləşdirmək.
Qapı örtüldükdə işıqlandırıcı lampə sönmür	Qapını nizamlamaq
Termonizamlayıcı nasazdır	Saz termonizamlayıcı birləşdirib iş vaxt əmsalının fərqlərini müqayisə etmək, termonizamlayıcı nasaz olduqda onu yenisi ilə əvəz etmək
Soyuducu aqreqatda soyuducu agentin miqdarı kifayət qədər deyil	Aqreqatı soyuducu agentlə doldurmaq
Aqreqatın soyutma məhsuldarlığı kifayət qədər deyil	Kompessorun istifadə gücünü yoxlamaq. Lazım gəldikdə kompressoru dəyişmək
Kompessorun hərəkət edən hissələrinin sürtünməsi artıqdır	Kompessorun örtüyünün temperaturu 90°C-yə kimi artdıqda, soyuducunu işə saldıqdan 5...8 dəqiqə sonra istifadə edilən gücü ölçmək. Gücün 200 Vt-dan çox olması sürtünmənin artmasına işarə edir. Kompessoru dəyişmək
Elektrik mühərrikinin sarıqlararası qapanması baş verir	Kompessoru dəyişmək

Sistem qismən çirklənib Çirklənmə baş verdikdə kapilyar borunun girişində temperatur süzgəc-quruducusunun temperaturundan aşağı olur. Süzgəc-quruducusunu dəyişmək, amma bundan əvvəl kapilyar borunun süzgəc-quruducusuna birləşən hissəsini 100...150 mm qısaltmaq və ya buxarlandırıcını tam dəyişmək

Qapının kiçikliyi pozulub Nasazlığı aradan qaldırmaq

Termonizamlayıcı silfonun borusu və buxarlandırıcı arasındakı kontaktı kifayət qədər deyil Termonizamlayıcı silfonun borusunun bərkitmə vintlərini çəkmək

Kompresorun elektrik mühərrikinin istifadə etdiyi gücü artırmaq Sistemdə hava yoxdursa, istifadə olunan güc 150 Vt-dan çox olmur. Göstəricilər yuxarı olduqda kompressoru dəyişmək

*Düyməni basdıqda ərimə sistemi işə düşmür*

Ərimənin idarəetmə dövrəsində qırıq olur Elektrik sxemi ilə müvafiq dövrəni yoxlamaq və qüsuru aradan qaldırmaq

*İşçi tsiklin əvvəlində kompressorun örtüyündə metal səslərin olması*

Kompressorda sürtünən cütlərin işlənməsi Kompresoru dəyişmək

*Yüksək səsin olması, titrəmələr*

Borular bir-birinə dəyir Boruların soyuducu şkafla, kondensatorla və ya öz aralarında bir-birinə dəyməsini müəyyən etmək və ehtiyatla borunu əyərək nasazlığı aradan qaldırmaq

*Kompressoru söndürdükdən sonra da örtüyün daxilində davam edən fışıltili səslərin olması*

Kompressorun örtüyünün daxilində qovma qısa borusunun sınıması və ya qovucu klapanın kip oturmaması Kompresoru dəyişmək

*Soyuducu işə düşmür*

Elektrik naqili düzgün Elektrik sxeminə uyğun olaraq elektrik dövrəsi-

yığılmayıb

ni yoxlamaq və qüsuru aradan qaldırmaq

*Qapı açıldıqda soyuducu kamerada işıq yanmır*

Lampa yanıb

Lampanı dəyişmək

Elektrik naqili qopub

Qüsuru aradan qaldırmaq

Elektrik açarı nasazdır

Kontaktları yoxlamaq, lazım gəldikdə elektrik açarını dəyişmək

## Quru doymuş su buxarı (temperatur üzrə)

$t$	$p$	$v'$	$v''$	$i'$	$i''$	$r$	$s'$	$s''$
0	0,006228	0,0010002	206,3	0	597,3	597,3	0	2,1865
1	0,006695	0,0010001	192,6	1,01	597,7	596,7	0,0037	2,1802
2	0,007193	0,0010001	172,9	2,01	598,2	596,2	0,0073	2,1739
3	0,007724	0,0010001	168,2	3,02	598,6	595,6	0,0109	2,1677
4	0,008289	0,0010001	157,3	4,02	599,1	595,1	0,0146	2,1615
5	0,008891	0,0010001	147,2	5,03	599,5	594,5	0,0182	2,1554
6	0,009532	0,0010001	137,8	6,03	599,9	593,9	0,0218	2,1493
7	0,010210	0,0010001	129,1	7,03	600,4	593,4	0,0254	2,1433
8	0,010932	0,0010002	121,0	8,04	600,8	592,8	0,0290	2,1373
9	0,011699	0,0010003	113,4	9,04	601,3	592,3	0,0326	2,1314
10	0,012514	0,0010004	106,42	10,04	601,7	591,7	0,0361	2,1256
15	0,017377	0,0010010	77,97	15,04	603,9	588,9	0,0536	2,0972
20	0,02383	0,0010018	57,84	20,04	606,0	586,0	0,0708	2,0699
25	0,03229	0,0010030	43,40	25,03	608,2	583,2	0,0877	2,0438
30	0,04325	0,0010044	32,93	30,02	610,4	580,4	0,1043	2,0188
35	0,05733	0,0010061	25,24	35,01	612,6	577,6	0,1206	1,9948
40	0,07520	0,0010079	19,55	40,01	614,7	574,7	0,1367	1,9719
45	0,09771	0,0010099	15,28	45,00	616,8	571,8	0,1525	1,9499
50	0,12578	0,0010121	12,04	49,99	619,0	569,0	0,1681	1,9287
55	0,1605	0,0010145	9,578	54,98	621,1	566,1	0,1834	1,9084
60	0,2031	0,0010171	7,678	59,98	623,2	563,2	0,1985	1,8889
65	0,2550	0,0010199	6,201	64,98	625,2	560,2	0,2134	1,8701
70	0,3178	0,0010228	5,045	69,98	627,3	557,3	0,2281	1,8521
75	0,3931	0,0010258	4,133	74,99	629,3	554,3	0,2426	1,8347
80	0,4829	0,0010290	3,408	80,00	631,3	551,3	0,2568	1,8180
85	0,5894	0,0010324	2,828	85,02	633,3	548,3	0,2709	1,8018
90	0,7149	0,0010359	2,361	90,04	635,2	545,2	0,2848	1,7862
95	0,8619	0,0010396	1,982	95,07	637,2	542,1	0,2986	1,7712
100	1,0332	0,0010435	1,673	100,10	639,1	539,0	0,3122	1,7566
105	1,2318	0,0010474	1,419	105,14	640,9	535,8	0,3256	1,7426
110	1,4609	0,0010515	1,210	110,19	642,8	532,6	0,3388	1,7289
115	1,7239	0,0010558	1,036	115,25	644,6	529,4	0,3519	1,7157
120	2,0245	0,0010603	0,8917	120,3	646,4	526,1	0,3649	1,7029
125	2,3666	0,0010649	0,7704	125,4	648,1	522,7	0,3777	1,6905
130	2,7544	0,0010697	0,6683	130,5	649,8	519,3	0,3904	1,6784
135	3,192	0,0010747	0,5820	135,6	651,4	515,8	0,4029	1,6667
140	3685	0,0010798	0,5087	140,7	653,0	512,3	0,4154	1,6553
145	4,237	0,0010851	0,4461	145,8	654,5	508,7	0,4277	1,6442
150	4,854	0,0010906	0,3926	151,0	656,0	505,0	0,4399	1,6333

Əlavə 1-in davamı

155	5,540	0,0010962	0,3466	156,2	657,5	501,3	0,4520	1,6227
160	6,302	0,0011021	0,3068	161,3	658,7	497,4	0,4640	1,6124
165	7,146	0,0011081	0,2725	166,5	666,0	493,5	0,4759	1,6022
170	8,076	0,0011144	0,2426	171,8	661,3	489,5	0,4877	1,5923
175	9,101	0,0011208	0,2166	177,0	662,4	485,4	0,4994	1,5825
180	10,225	0,0011275	0,1+39	182,3	663,6	481,3	0,5110	1,5730
185	11,456	0,0011344	0,1739	187,6	664,6	477,0	0,5225	1,5636
190	12,800	0,0011415	0,1564	192,9	665,5	472,6	0,5340	1,5543
195	14,265	0,0011489	0,1409	198,2	666,3	468,1	0,5454	1,5452
200	15,857	0,0011565	0,1272	203,6	667,1	463,5	0,5567	1,5362
205	17,585	0,0011644	0,1151	209,0	667,7	458,7	0,5679	1,5273
210	19,456	0,0011726	0,1043	214,4	668,3	453,9	0,5791	1,5185
215	21,477	0,0011812	0,09465	219,9	668,8	448,9	0,5903	1,5098
220	23,659	0,0011900	0,08606	225,4	669,1	443,7	0,6014	1,5011
225	26,007	0,0011992	0,07837	230,9	669,3	438,4	0,6124	1,4925
230	28,531	0,0012087	0,07147	236,5	669,5	433,0	0,6234	1,4840
235	31,239	0,0012187	0,06527	242,2	669,7	427,5	0,6344	1,4756
240	34,140	0,0012291	0,05967	247,8	669,5	421,7	0,6454	1,4671
245	37,244	0,0012399	0,05462	253,0	669,4	415,8	0,6563	1,4587
250	40,56	0,0012512	0,05006	259,3	669,0	409,7	0,6672	1,4503
255	44,10	0,0012631	0,04591	265,2	668,5	403,3	0,6782	1,4418
260	47,87	0,0012755	0,04215	271,1	667,9	396,8	0,6891	1,4334
265	51,87	0,0012886	0,03872	277,1	667,3	390,2	0,7000	1,4249
270	56,14	0,0013023	0,03560	283,1	666,3	383,2	0,7109	1,4163
275	60,66	0,0013168	0,03274	289,2	665,2	376,0	0,7219	1,4077
280	65,46	0,0013321	0,03013	295,4	663,9	368,5	0,7328	1,3990
285	70,54	0,0013483	0,02774	301,7	662,4	360,7	0,7439	1,3902
290	75,92	0,0013655	0,02554	308,1	660,7	252,6	0,7550	1,3812
295	81,60	0,0013839	0,02351	314,6	658,8	344,2	0,7662	1,3720
300	87,61	0,0014036	0,02164	321,2	656,6	335,4	0,7774	1,3626
305	93,95	0,001425	0,01992	328,0	654,2	326,2	0,7888	1,3530
310	100,64	0,001447	0,01832	334,9	651,4	316,5	0,8003	1,3431
315	107,69	0,001472	0,01683	342,0	648,3	306,3	0,8120	1,3328
320	115,12	0,001499	0,01545	349,2	644,9	295,7	0,8239	1,3221
325	122,95	0,001529	0,01417	356,7	641,0	284,3	0,8360	1,3111
330	131,18	0,001562	0,01297	364,5	636,7	272,2	0,8484	1,2996
335	139,85	0,001599	0,01184	372,5	631,8	259,3	0,8612	1,2875
340	148,96	0,001639	0,01078	380,9	626,2	245,3	0,8743	1,2745
345	158,54	0,001686	0,009771	389,8	619,9	230,1	0,8881	1,2604
350	168,63	0,001741	0,008805	399,2	612,5	213,3	0,9025	1,2448
355	179,24	0,001807	0,007869	409,4	603,6	194,2	0,9181	1,2273

Əlavə 1-in davamı

360	190,42	0,001894	0,006943	420,7	592,6	171,9	0,9354	1,2069
365	202,21	0,00202	0,00599	434,1	578,2	144,1	0,9556	1,1814
370	214,68	0,00222	0,00493	452,0	556,7	104,7	0,9825	1,1453
371	217,26	0,00229	0,00468	456,8	550,5	93,7	0,9898	1,1352
372	219,88	0,00238	0,00440	462,6	542,9	80,3	0,9986	1,1230
373	222,53	0,00251	0,00405	470,3	532,6	62,4	1,0102	1,1067
374	225,22	0,00280	0,00347	485,3	512,7	27,4	1,0332	1,0755

Kritik parametrlər

Temperatur .....374,15°C  
 Təzyiq.....225,65 kQ/sm<sup>2</sup>  
 Həcm.....0,0031 m<sup>3</sup>/kq.

## Quru doymuş su buxarı (təzyiq üzrə)

$p$	$t$	$\nu'$	$\nu''$	$i'$	$i''$	$r$	$s'$	$s''$
0,010	6,698	0,0010001	131,6	6,73	600,2	593,5	0,0243	2,1451
0,020	17,204	0,0010013	68,25	17,25	604,9	587,6	0,0612	2,0851
0,030	23,772	0,0010027	46,52	23,81	607,8	584,0	0,0835	2,0501
0,040	28,641	0,0010040	35,46	28,67	609,8	581,1	0,0998	2,0255
0,050	32,55	0,0010052	28,72	32,57	611,5	578,9	0,1126	2,0065
0,060	35,82	0,0010063	24,19	35,83	612,9	577,1	0,01232	1,9909
0,070	38,66	0,0010074	20,91	38,67	614,1	575,4	0,1324	1,9779
0,080	41,16	0,0010084	18,45	41,16	615,2	574,0	0,1404	1,9667
0,090	43,41	0,0010093	16,50	43,41	616,1	572,7	0,1475	1,9568
0,10	45,45	0,0010101	14,95	45,45	617,0	571,6	0,1539	1,9480
0,20	59,67	0,0010169	7,789	59,65	623,1	563,4	0,1975	1,8902
0,30	68,68	0,0010220	5,324	68,66	626,8	558,1	0,2242	1,8568
0,40	75,42	0,0010261	4,066	75,41	629,5	554,1	0,2438	1,8333
0,50	80,86	0,0010296	3,299	80,86	631,6	550,7	0,2592	1,8152
0,60	85,45	0,0010327	2,782	85,47	633,5	548,0	0,2722	1,8004
0,70	89,45	0,0010355	2,408	89,49	635,1	545,6	0,2833	1,7879
0,80	92,99	0,0010381	2,125	93,05	636,4	543,3	0,2931	1,772
0,90	96,18	0,0010405	1,903	96,26	637,6	541,3	0,3018	1,7677
1,0	99,09	0,0010428	1,725	99,19	638,8	539,6	0,3097	1,7593
1,5	110,79	0,0010522	1,181	110,99	643,1	532,1	0,3409	1,7268
2,0	119,62	0,0010600	0,9018	119,94	646,3	526,4	0,3639	1,7039
3,0	132,88	0,0010726	0,6169	133,4	650,7	517,3	0,3976	1,6717
4,0	142,92	0,0010829	0,4709	143,7	653,9	510,2	0,4226	1,6488
5,0	151,11	0,0010918	0,3817	152,1	656,3	504,2	0,4426	1,6309
6,0	158,08	0,0010998	0,3214	159,3	658,3	498,9	0,4594	1,6164
7,0	164,17	0,0011071	0,2778	165,7	659,9	494,2	0,4738	1,6039
8,0	169,61	0,0011139	0,2448	171,4	661,2	489,8	0,4868	1,5931
9,0	174,53	0,0011202	0,2189	176,5	662,3	485,8	0,4983	1,5834
10,0	179,04	0,0011262	0,1980	181,3	663,3	482,1	0,5088	1,5748
12,0	187,08	0,0011373	0,1663	189,8	664,9	475,1	0,5273	1,5597
14,0	194,13	0,0011476	0,1434	197,3	666,2	468,9	0,5434	1,5468
16,0	200,43	0,0011572	0,1261	204,0	667,1	463,1	0,5577	1,5354
18,0	206,14	0,0011662	9,1125	210,2	667,8	457,6	0,5705	1,5253
20,0	211,38	0,0011749	0,1015	215,9	668,5	452,6	0,5822	1,5161
24,0	220,75	0,0011914	0,08486	226,2	669,2	443,0	0,6031	1,4998
26,0	224,99	0,0011992	0,07838	230,9	669,4	438,5	0,6124	1,4925
28,0	228,98	0,0012067	0,07282	235,4	669,5	434,1	0,6212	1,4857
30,0	232,76	0,0012142	0,06797	239,6	669,6	430,0	0,6295	1,4794
35,0	241,42	0,0012321	0,05819	249,5	669,5	420,0	0,6485	1,4647

Əlavə 2-nin davamı

40,0	249,18	0,0012493	0,05077	258,4	669,0	410,6	0,6654	1,4517
50,0	262,70	0,0012825	0,04026	274,3	667,5	393,2	0,6950	1,4288
60,0	274,29	0,0013147	0,03313	288,3	665,4	377,1	0,7203	1,4089
70,0	284,48	0,0013466	0,02798	301,0	662,6	361,6	0,7428	1,3911
80,0	293,62	0,0013787	0,02405	312,8	659,3	346,5	0,7631	1,3745
90,0	301,92	0,0014115	0,02096	323,8	655,7	331,9	0,7818	1,3587
100,0	309,53	0,0014453	0,01846	334,2	651,7	317,5	0,7992	1,3440
110,0	316,58	0,001480	0,01638	344,2	647,2	303,0	0,8158	1,3294
120,0	323,15	0,001517	0,01463	353,9	642,5	288,6	0,8315	1,3151
130,0	329,30	0,001557	0,01313	363,4	637,2	273,8	0,8467	1,3012
140,0	335,09	0,001600	0,01182	372,7	631,7	259,0	0,8614	1,2873
150,0	340,56	0,001644	0,01066	381,9	625,6	243,7	0,8758	1,2728
160,0	345,74	0,001693	0,009625	391,1	618,9	227,8	0,8901	1,2580
170,0	350,66	0,001748	0,008681	400,4	611,5	211,1	0,9045	1,2422
180,0	355,35	0,001812	0,007803	410,1	602,8	192,7	0,9192	1,2257
190,0	359,82	0,001890	0,00697	420,4	593,0	172,6	0,9347	1,2074
200,0	364,08	0,001987	0,00618	431,3	581,4	150,1	0,9514	1,1848
210,0	368,16	0,00213	0,00535	444,5	565,9	121,4	0,9713	1,1606
220,0	372,1	0,00238	0,00436	463,0	542,3	79,3	0,9993	1,1214
222,0	372,8	0,00247	0,00412	468,0	535,4	67,3	1,0070	1,1095
224,0	373,6	0,00267	0,00373	479,0	524,7	45,7	1,0240	1,0880



## Əlavə 3

Materialın adı	$\gamma$ , kQ/m <sup>3</sup> ilə	$t$ , °C ilə	$\lambda$ , kkal/m·saat °C ilə	$C$ kkal/kq °C ilə	$a \cdot 10^3$ m <sup>2</sup> /saat ilə
İzolyasiya, tikinti və digər materiallar					
Asbest (vərəqə)	770	30	0,10	0,195	0,712
Asbest (lifli)	470	50	0,095	0,195	1,04
Asfalt	2110	20	0,60	0,50	0,57
Beton	2300	20	1,10	0,27	1,77
Qum (quru)	1500	20	0,28	0,19	9,85
Qum (nəm)	1650	20	0,07	0,50	1,77
Qar	560	-	0,40	0,50	1,43
Gön	1000	30	0,137	-	-
Daş kömür	1400	20	0,16	0,312	0,37
Ərp (buxar qazanı)	-	65	1,3-2,70	-	-
Zonolit	200	100	0,085	-	-
Kecə	330	30	0,045	-	-
Kərpic (izolyasiya)	550	100	0,12	-	-
Kərpic (tikinti)	800-1500	20	0,20-0,25	-	-
Kərpic (kərborund)	1000	-	9,7	0,162	6,0
Gil (odadavamlı)	1845	450	0,89	0,26	1,855
Gips	1650	-	0,25	-	-
Linoleum	1180	20	0,16	-	-
Portland-sement	1900	30	0,26	0,27	0,506
Palıd ağacı liflərə II	800	20	0,178	0,42	0,53
Palıd ağacı liflərə I	800	20	0,312	-	-
Rezin	1200	0	0,14	0,33	0,353
Slüda	290	-	0,5	0,21	8,2
Sovelit	450	100	0,084	-	-
Torpaq (quru)	1500	-	0,119	-	-
Torpaq (nəm)	1700	-	0,565	0,48	0,693
Çınqıl	1840	20	0,31	-	-
Şüşə	2500	20	0,64	0,16	1,6
Şüşə pambığı	200	0	0,032	0,16	1,0
Şlak pambığı	250	100	0,06	-	-
Şam ağacı liflərə II	448	20	0,092	-	-
Şam ağacı liflərə I	448	20	0,22	-	-
Metallar					
Aliminum	2670	0	175,0	0,22	328,0
Bürünc	8000	20	55,0	0,091	75,0
Qalay	7230	0	55,0	0,054	141
Gümüş	10500	0	394	0,056	670,0

## Əlavə 3-ün davamı

Mis	8800	0	330,0	0,091	412,0
Nikel	9000	20	50,0	0,11	50,5
Polad	7900	20	39,0	0,11	45,0
Tunc	8600	0	73,5	0,090	95,0
Çuqun	7220	20	54,0	0,12	62,5
Civə	13600	0	6,8	0,033	15,3

Ammonyak döymüş buxarlarının parametrləri (NH<sub>3</sub>)

Temperatur	Mütləq təzyiç, $P$	Xüsusi həcm		Sixıxq		Məyeni <i>i'</i>		Entalpiya		Buxar <i>i''</i>	Buxarəmələgətir- mə istiliyi, $r$	
		$v'$ , dm <sup>3</sup> /kq	$v''$ , m <sup>3</sup> /kq	Məyedi <i>i'</i>	Buxar <i>i''</i>	Məyeni <i>i'</i>	Buxar <i>i''</i>	Məyeni <i>i'</i>	Buxar <i>i''</i>			
	MN/m <sup>2</sup>	Kq/sm <sup>2</sup>	Məyedi <i>i'</i>	Buxar <i>i''</i>	Məyeni <i>i'</i>	Buxar <i>i''</i>	K Cou/kq	Kla/kq	K Cou/kq	Kla/kq	K Cou/kq	Kla/kq
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
					$\rho'$ , kq/m <sup>3</sup>	$\rho''$ , kq/m <sup>3</sup>						
-60	0,02190	0,2233	1,4010	4,699	713,8	0,2128	150,7	36,0	1591,0	380,0	1440,3	344,0
-54	0,03209	0,3272	1,4150	3,288	706,7	0,3041	176,7	42,2	1601,5	382,5	1424,8	340,3
-50	0,04087	0,4168	1,4245	2,623	702,0	0,3812	193,9	46,3	1608,1	384,1	1414,3	337,8
-48	0,04595	0,4686	1,4293	2,351	699,6	0,425	202,6	48,4	1611,5	384,9	1409,3	336,6
-46	0,05154	0,5256	1,4342	2,112	697,2	0,473	211,0	50,4	1614,9	385,7	1403,8	335,3
-44	0,05709	0,5822	1,4392	1,901	694,8	0,526	219,8	52,5	1618,2	386,5	1398,4	334,0
-42	0,06441	0,6568	1,4442	1,715	692,4	0,583	228,6	54,6	1621,6	387,3	1392,9	332,7
-40	0,07177	0,7318	1,4493	1,550	690,0	0,645	237,8	56,8	1624,9	388,1	1387,1	331,3
-39	0,07569	0,7719	1,4519	1,4752	688,8	0,678	242,1	57,82	1626,4	388,49	1384,4	330,67
-38	0,07798	0,8137	1,4545	1,4045	687,5	0,712	240,9	58,88	1628,2	388,88	1381,6	329,99
-37	0,08407	0,8573	1,4571	1,3377	686,3	0,748	251,0	59,94	1629,7	389,27	1378,4	329,31
-36	0,08853	0,9028	1,4597	1,2746	685,1	0,785	255,4	61,01	1631,4	389,65	1375,9	328,63
-35	0,09319	0,9503	1,4623	1,2151	683,9	0,823	254,0	62,08	1633,0	390,03	1373,1	327,95
-34	0,09806	0,9999	1,4649	1,1589	682,6	0,863	264,4	63,15	1634,6	390,41	1370,2	327,26
-33	0,10312	1,0515	1,4676	1,1058	681,4	0,905	268,8	64,21	1636,2	390,79	1367,3	326,57
-32	0,10838	1,1052	1,4703	1,0555	680,1	0,948	273,3	65,28	1638,1	391,17	1364,4	325,88
-31	0,11386	1,1610	1,4730	1,0080	678,9	0,992	277,8	66,35	1639,2	391,54	1361,5	325,19

Əlavə 4-ün davamı

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
-30	0,11954	1,2190	1,4757	0,9630	677,7	1,038	282,2	67,42	1640,8	391,91	1358,6	324,49
-29	0,12543	1,279	1,4784	0,9204	676,4	1,086	286,8	68,49	1642,4	392,28	1355,6	323,79
-28	0,13160	1,342	1,4811	0,8801	675,2	1,136	291,2	69,56	1644,0	392,64	1352,7	323,08
-27	0,13798	1,407	1,4739	0,8418	673,9	1,188	295,7	70,63	1645,4	393,00	1349,7	322,37
-26	0,14465	1,475	1,4867	0,8056	672,6	1,242	300,2	71,71	1646,9	393,36	1346,7	321,66
-25	0,15163	1,546	1,4895	0,7712	671,4	1,297	304,7	72,78	1648,4	393,72	1343,7	320,94
-24	0,15877	1,619	1,4923	0,7386	670,1	1,354	309,2	73,86	1649,9	394,07	1340,8	320,22
-23	0,16622	1,695	1,4951	0,7076	668,8	1,413	313,7	74,93	1651,3	394,42	1337,6	319,49
-22	0,17397	1,774	1,4980	0,6782	667,6	1,474	318,2	76,01	1652,9	394,77	1334,6	318,76
-21	0,18201	1,856	1,5008	0,6502	666,3	1,538	322,8	77,09	1654,3	395,12	1331,5	318,03
-20	0,19025	1,940	1,5037	0,6235	665,0	1,604	327,3	78,17	1655,7	395,46	1328,4	317,29
-19	0,19878	2,027	1,5066	0,5983	663,7	1,672	331,8	79,25	1657,2	395,80	1325,3	316,55
-18	0,20763	2,117	1,5096	0,5742	662,4	1,742	336,3	80,33	1658,5	396,13	1322,2	315,80
-17	0,21683	2,211	1,5125	0,5513	661,1	1,814	340,8	81,41	1659,9	396,46	1319,1	315,05
-16	0,22543	2,309	1,5155	0,5295	659,8	1,889	345,4	82,50	1661,1	396,79	1315,8	314,29
-15	0,23634	2,410	1,5185	0,5087	658,5	1,966	350,0	83,59	1662,7	397,12	1312,7	313,53
-14	0,24654	2,514	1,5215	0,4889	657,2	2,046	353,7	84,68	1664,0	397,44	1309,5	312,76
-13	0,25704	2,621	1,5245	0,4700	655,9	2,128	359,1	85,76	1665,3	397,75	1306,2	311,99
-12	0,26792	2,732	1,5276	0,4520	654,6	2,213	363,6	86,85	1666,6	398,06	1303,0	311,21
-11	0,27920	2,847	1,5307	0,4348	653,3	2,300	368,2	87,94	1667,9	398,37	1299,7	310,43
-10	0,29087	2,966	1,5338	0,4184	652,0	2,390	372,7	89,03	1669,2	398,67	1296,4	309,64
-9	0,30293	3,089	1,5369	0,4028	650,7	2,483	377,3	90,12	1670,4	398,97	1293,1	308,85
-8	0,31541	3,216	1,5400	0,3878	649,3	2,579	381,9	91,21	1671,7	399,27	1289,8	308,06
-7	0,32823	3,347	1,5432	0,3735	648,0	2,678	386,4	92,30	1672,9	399,56	1286,4	307,25

Əlavə 4-ün davamı

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
-6	0,34138	3,481	1,5464	0,3599	646,7	2,779	391,0	93,40	1674,1	399,85	1283,0	306,45
-5	0,35490	3,619	1,5496	0,3469	645,3	2,883	395,6	94,50	1675,3	400,14	1279,6	305,64
-4	0,36883	3,761	1,5528	0,3344	644,0	2,991	400,2	95,59	1676,5	400,42	1276,3	304,83
-3	0,38324	3,908	1,5561	0,3225	642,6	3,102	404,8	96,69	1677,3	400,70	1272,8	304,01
-2	0,39815	4,060	1,5594	0,3111	641,3	3,216	409,4	97,79	1678,8	400,98	1269,4	303,19
-1	0,41354	4,217	1,5627	0,3002	639,9	3,332	414,0	98,89	1680,0	401,25	1265,9	302,36
0	0,42943	4,379	1,5660	0,2897	638,6	3,452	418,7	100,00	1681,1	401,52	1262,4	301,52
+2	0,46248	4,716	1,5727	0,2700	635,8	3,703	427,9	102,21	1683,3	402,04	1255,4	299,84
+4	0,49748	5,073	1,5796	0,2520	633,1	3,969	437,1	104,43	1685,4	402,55	1248,3	298,13
+6	0,53446	5,450	1,5866	0,2353	630,3	4,250	446,5	106,65	1687,4	403,04	1240,9	296,39
+8	0,57359	5,849	1,5936	0,2200	627,5	4,546	455,8	108,87	1689,3	403,50	1233,6	294,63
+10	0,61398	6,271	1,6008	0,2058	624,7	4,859	465,2	111,11	1691,3	403,95	1223,2	292,84
+12	0,65867	6,715	1,6081	0,1927	621,8	5,189	474,6	113,35	1693,0	404,38	1218,5	291,03
+14	0,70442	7,183	1,6156	0,1706	619,0	5,537	484,0	115,59	1694,8	404,79	1210,8	289,20
+16	0,75285	7,677	1,6231	0,1694	616,1	5,904	493,4	117,85	1696,4	405,19	1203,0	287,34
+18	0,80375	8,196	1,6308	0,1591	613,2	6,289	502,9	120,11	1698,0	405,57	1195,2	285,46
+20	0,85716	8,741	1,6386	0,1494	610,3	6,694	512,4	122,38	1699,6	405,93	1187,2	283,55
+21	0,88496	9,024	1,6426	0,1449	608,0	6,904	517,2	123,52	1700,2	406,10	1183,1	282,58
+22	0,91340	9,314	1,6466	0,1405	607,3	7,119	521,9	124,66	1701,0	406,27	1179,1	281,61
+23	0,94252	9,611	1,6507	0,1363	605,8	7,339	526,7	125,80	1701,6	406,43	1174,9	280,63
+24	0,97230	9,915	1,6546	0,1322	604,3	7,564	531,5	126,94	1702,2	406,59	1170,8	279,65
+25	1,0027	10,225	1,6588	0,1283	602,8	7,795	536,3	128,09	1703,0	406,75	1166,7	278,66
+26	1,0340	10,544	1,6630	0,1245	601,3	8,031	541,1	129,24	1703,6	406,89	1162,5	277,66

Əlavə 4-ün davamı

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
+28	1,0985	11,201	1,6714	0,1174	598,3	8,521	550,7	131,54	1704,8	407,17	1154,0	275,64
+29	1,1324	11,546	1,6757	0,1140	596,8	8,775	555,5	132,69	1705,3	407,30	1149,8	274,62
+30	1,1665	11,895	1,6800	0,1107	595,2	9,034	560,4	133,84	1705,8	407,43	1145,5	273,59
+32	1,2370	12,617	1,6888	0,1045	592,1	9,573	570,1	136,16	1706,8	407,67	1136,7	271,50
+34	1,3115	13,374	1,6977	0,0986	589,0	10,138	579,8	138,48	1707,7	407,88	1127,9	269,39
+36	1,3891	14,165	1,7069	0,0932	585,9	10,731	589,6	140,82	1708,5	408,06	1118,9	267,24
+38	1,4700	14,990	1,7162	0,0881	582,7	11,353	599,4	143,16	1709,2	408,23	1109,8	265,06
+40	1,5545	15,850	1,7257	0,0833	579,5	12,005	609,3	145,52	1709,8	508,37	1100,5	262,85

Diftordixlormetanın doymuş buxarlarının parametrləri CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> (Freon -12)

Temperatur	Mütləq təzyiqlik, P		Xüsusi həcm		Sıxlıq		Entalpiya		Buxarın i'' K CouI/kq	Buxarın i' K CouI/kq	Buxarın i''' K CouI/kq	Buxarın ələgətir- mə istiliyi, r
	MN/m <sup>2</sup>	Kq/sm <sup>2</sup>	v' d m <sup>3</sup> /kq	v'' m <sup>3</sup> /kq	Mayenin p' kq/m <sup>3</sup>	Buxarın p'' kq/m <sup>3</sup>	K CouI/kq	K CouI/kq				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
-60	0,02270	0,2315	0,6349	0,6394	1,575	1,564	367,1	87,68	544,3	130,00	173,2	42,32
-55	0,03006	0,3065	0,6406	0,4930	1,561	2,028	371,1	88,63	546,7	130,59	175,7	41,96
-50	0,03922	0,3999	0,6468	0,3854	1,546	2,595	375,1	89,59	549,2	131,18	174,1	41,59
-48	0,04346	0,4432	0,6493	0,3504	1,540	2,854	376,7	89,97	550,2	131,42	173,5	41,45
-46	0,04808	0,4900	0,6515	0,3193	1,535	3,132	378,3	90,36	551,2	131,65	172,9	41,29
-44	0,05304	0,5409	0,6540	0,2914	1,529	3,432	380,0	90,76	552,2	131,89	172,2	41,13
-42	0,05843	0,5958	0,6566	0,2665	1,523	3,753	381,6	91,15	553,2	132,13	171,6	40,96
-40	0,06424	0,6551	0,6592	0,2441	1,517	4,097	383,9	91,55	554,2	132,36	170,9	40,81
-39	0,06732	0,6865	0,6605	0,2337	1,514	4,279	384,1	91,75	554,7	132,48	170,5	40,73
-38	0,07050	0,7189	0,6618	0,2239	1,511	4,466	385,0	91,95	555,2	132,60	170,2	40,65
-37	0,07378	0,7523	0,6631	0,2146	1,508	4,666	385,8	92,15	555,7	132,72	169,9	40,57
-36	0,7723	0,7875	0,6645	0,2057	1,505	4,862	386,7	92,35	556,1	132,83	169,5	40,48
-35	0,08079	0,8238	0,6658	0,1973	1,502	5,069	387,5	92,55	556,6	132,95	169,1	40,40
-34	0,08443	0,8610	0,6671	0,1894	1,499	5,280	388,4	92,76	557,1	133,07	168,8	40,31
-33	0,08826	0,9000	0,6684	0,1818	1,496	5,501	389,2	92,96	557,6	133,19	168,4	40,23
-32	0,09218	0,9400	0,6698	0,1747	1,493	5,724	390,0	93,16	558,2	133,30	168,1	40,14
-31	0,09628	0,9818	0,6711	0,1678	1,490	5,960	390,9	93,37	558,7	133,43	167,7	40,06

Əlavə 5-in davamı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
-30	0,10047	1,0245	0,6725	0,1613	1487	6,200	391,8	93,57	559,1	133,54	167,3	39,97	
-29	0,10475	1,0688	0,6739	0,1551	1484	6,447	392,6	93,78	559,6	133,66	167,0	39,88	
-28	0,10933	1,1149	0,6752	0,1492	1481	6,702	393,5	93,98	560,1	133,77	166,6	39,79	
-27	0,11397	1,1622	0,6766	0,1436	1478	6,964	394,3	94,19	560,6	133,90	166,3	39,71	
-26	0,11875	1,2109	0,6780	0,1382	1475	7,236	395,2	94,40	561,1	134,01	165,8	39,61	
-25	0,12369	1,2616	0,6793	0,1331	1472	7,513	396,1	94,61	561,6	134,13	165,5	39,52	
-24	0,12886	1,3140	0,6807	0,1282	1469	7,800	396,9	94,81	562,0	134,24	165,1	39,43	
-23	0,13414	1,3678	0,6821	0,1235	1466	8,097	397,8	95,02	562,5	134,36	164,7	39,34	
-22	0,13952	1,4227	0,6835	0,1190	1463	8,403	398,7	95,23	563,0	134,47	164,3	39,24	
-21	0,14519	1,4805	0,6854	0,1147	1459	8,718	399,6	95,44	563,5	134,59	163,9	39,15	
-20	0,15098	1,5396	0,6868	0,1107	1456	9,034	400,5	95,65	564,0	134,71	163,5	39,06	
-19	0,15695	1,6005	0,6882	0,1067	1453	9,372	401,4	95,87	564,5	134,83	163,1	38,96	
-18	0,16305	1,6627	0,6897	0,1030	1450	9,709	402,3	96,08	565,0	134,95	162,7	38,87	
-17	0,16941	1,7275	0,6911	0,09938	1447	10,06	403,1	96,29	565,5	135,06	162,3	38,77	
-16	0,17593	1,7940	0,6925	0,09597	1444	10,42	404,0	96,50	565,9	135,17	161,9	38,67	
-15	0,18262	1,8622	0,6940	0,09268	1441	10,79	404,9	96,72	566,4	135,29	161,5	38,57	
-14	0,18947	1,9321	0,6954	0,08952	1438	11,17	405,8	96,93	566,9	135,40	161,1	38,47	
-13	0,19662	2,0050	0,6973	0,08650	1434	11,56	406,7	97,15	567,4	135,52	160,6	38,37	
-12	0,20390	2,0793	0,6988	0,08361	1431	11,96	407,6	97,36	567,9	135,63	160,2	38,27	
-11	0,21138	2,1555	0,7003	0,08082	1428	12,37	408,5	97,58	568,4	135,75	159,8	38,17	
-10	0,21910	2,2342	0,7018	0,07812	1425	12,80	409,5	97,80	568,9	135,87	159,4	38,07	
-9	0,22700	2,3148	0,7032	0,07558	1422	13,23	410,4	98,02	569,3	135,98	158,9	37,96	
-8	0,23520	2,3984	0,7047	0,07313	1419	13,68	411,3	98,23	569,8	136,09	158,5	37,86	



Əlavə 5-in davamı

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
-6	0,25214	2,5712	0,7062	0,06852	1413	14,60	413,1	98,67	570,7	136,32	157,5	37,65
-5	0,26087	2,6602	0,7092	0,06635	1410	15,08	414,0	98,89	571,2	136,43	157,2	37,54
-4	0,26999	2,7531	0,7107	0,06427	1407	15,57	415,0	99,11	571,7	136,54	156,7	37,43
-3	0,27929	2,8479	0,7127	0,06226	1403	16,07	416,0	99,36	572,1	136,65	156,3	37,32
-2	0,28869	2,9439	0,7143	0,06028	1400	16,59	416,7	99,53	572,6	136,77	155,8	37,21
-1	0,29857	3,0446	0,7158	0,05844	1397	17,11	417,8	99,78	573,1	136,88	155,3	37,10
0	0,30856	3,1465	0,7173	0,05667	1394	17,65	418,7	100,00	573,6	136,99	154,9	36,99
+2	0,32934	3,3583	0,7205	0,05330	1388	18,76	420,6	100,45	574,5	137,21	153,9	36,76
+4	0,35112	3,5804	0,7241	0,05012	1381	19,95	422,4	100,90	575,4	137,43	152,9	36,53
+6	0,37395	3,8135	0,7273	0,04721	1375	21,18	424,3	101,35	576,3	137,65	152,0	36,30
+8	0,39797	4,0582	0,7310	0,04450	1368	22,47	426,2	101,80	577,2	137,86	151,0	36,06
+10	0,42301	4,3135	0,7342	0,04204	1362	23,79	428,1	102,26	578,1	138,08	150,0	35,82
+12	0,44942	4,5828	0,7380	0,03970	1355	25,19	430,1	102,72	579,0	138,29	148,9	35,57
+14	0,47669	4,8621	0,7413	0,03751	1349	26,66	432,0	103,18	579,8	138,49	147,8	35,31
+16	0,50553	5,1550	0,7452	0,03547	1342	28,19	434,0	103,65	580,7	138,70	146,7	35,06
+18	0,53549	5,4605	0,7491	0,03354	1335	29,87	435,9	104,12	581,6	138,91	145,6	34,79
+20	0,56669	5,7786	0,7524	0,03175	1329	31,50	437,9	104,59	582,5	139,12	144,5	34,53
+22	0,59931	6,1112	0,7570	0,03005	1321	33,28	439,9	105,06	583,3	139,31	143,4	34,25
+24	0,63336	6,4584	0,7605	0,02848	1315	35,11	441,8	105,53	584,1	139,50	142,2	33,97
+26	0,66856	6,8175	0,7645	0,02700	1308	37,04	443,8	106,01	584,9	139,70	141,1	33,69
+28	0,70542	7,1933	0,7692	0,02560	1300	39,06	445,9	106,49	585,7	139,89	139,8	33,40
+30	0,74345	7,5810	0,7734	0,02433	1293	41,11	447,9	106,97	586,5	140,08	138,6	33,11
+32	0,78352	7,9897	0,7782	0,02309	1285	43,31	449,9	107,45	587,2	140,25	137,3	32,80

Өлвө 5-ин давамт

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
+36	0,86766	8,8475	0,7874	0,02083	1270	48,01	454,0	108,43	588,6	140,61	134,7	32,18
+38	0,91190	9,2989	0,7918	0,01980	1263	50,51	456,0	108,92	589,4	140,77	133,3	31,85
+40	0,95816	9,7707	0,7968	0,01882	1255	53,13	458,1	109,41	590,1	140,94	132,0	31,53
+42	1,0059	10,257	0,8019	0,01789	1247	55,90	460,2	109,91	590,7	141,10	130,6	31,19
+44	1,0555	10,763	0,8071	0,01700	1239	58,83	462,3	110,41	591,4	141,25	129,1	30,84
+46	1,1065	11,283	0,8130	0,01614	1230	61,95	464,4	110,91	592,0	141,40	127,7	30,49
+48	1,1599	11,828	0,8190	0,01533	1221	65,24	466,5	111,41	592,6	141,54	126,1	30,13
+50	1,2146	12,386	0,8244	0,01459	1213	68,56	468,5	111,91	593,1	141,66	124,6	29,75

### Ammonyakın nəzəri həcmi soyutma məhsuldarlığı, $q_v$ , kCoul/m<sup>3</sup> (möterizədə – kkal/m<sup>3</sup>)

Qaynama temperaturu, °C	Nizamlayıcı ventillən q ab aq $t_n$ temp eraturunda $q_v$ -nin qiyməti									
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5		
-60	277,8 (66,5)	273,8 (65,4)	268,8 (64,2)	264,2 (63,1)	259,2 (61,9)	254,5 (60,8)	249,5 (59,6)	244,5		
-55	377,6 (90,2)	368,7 (88,6)	364,7 (87,1)	358,0 (85,5)	351,7 (84,0)	345,0 (82,4)	338,3 (80,8)	331,6		
-50	505,3 (120,7)	497,0 (118,7)	488,2 (116,6)	479,8 (114,6)	471,0 (112,5)	462,2 (110,4)	453,4 (108,3)	444,6		
-45	665,3 (158,9)	654,8 (156,4)	643,9 (153,8)	632,6 (151,1)	621,3 (148,4)	610,0 (145,7)	598,3 (142,9)	586,6		
-40	866,2 (206,9)	851,6 (203,4)	837,4 (200,0)	822,7 (196,5)	807,6 (192,9)	793,0 (189,4)	778,3 (185,9)	763,2		
-37,5	982,2 (234,6)	965,4 (230,7)	949,6 (226,8)	932,8 (222,8)	916,1 (218,8)	899,3 (214,8)	882,6 (210,8)	865,8		
-35	1111,0 (265,5)	1093,0 (261,1)	1075,0 (256,7)	1056,0 (252,2)	1037,0 (247,7)	1018,0 (243,2)	999,3 (238,7)	980,1		
-32,5	1234,0 (299,4)	1233,0 (294,4)	1212,0 (289,4)	1191,0 (284,4)	1170,0 (279,4)	1148,0 (274,3)	1127,0 (269,2)	1106,0		
-30	1411,0 (337,0)	1387,0 (331,4)	1364,0 (325,8)	1344,0 (320,2)	1317,0 (314,5)	1293,0 (308,8)	1269,0 (303,1)	1245,0		
-27,5	-	1557,0 (371,8)	1530,0 (365,5)	1504,0 (359,2)	1478,0 (352,9)	1451,0 (346,5)	1424,0 (340,1)	1397,0		
-25	-	1743,0 (416,2)	1713,0 (409,2)	1683,0 (402,1)	1654,0 (395,1)	1624,0 (388,0)	1595,0 (380,9)	1494,0		
-22,5	-	-	1912,0 (456,7)	1879,0 (448,9)	1846,0 (441,0)	1813,0 (433,1)	1780,0 (425,2)	1747,0		
-20	-	-	2130,0 (508,8)	2094,0 (500,1)	2057,0 (491,4)	2021,0 (482,6)	1984,0 (473,8)	1946,0		
-17,5	-	-	-	2327,0 (555,7)	2286,0 (546,0)	2246,0 (536,3)	2204,0 (526,5)	2163,0		
-15	-	-	-	2580,0 (616,3)	2536,0 (605,6)	2491,0 (594,9)	2446,0 (584,1)	2400,0		
-12,5	-	-	-	-	2805,0 (670,0)	2755,0 (658,1)	2705,0 (646,2)	2656,0		
-10	-	-	-	-	3099,0 (740,1)	3044,0 (727,0)	2989,0 (713,8)	2933,0		
-7,5	-	-	-	-	-	3354,0 (801,0)	3293,0 (786,6)	3232,0		
-5	-	-	-	-	-	3689,0 (881,1)	3622,0 (865,2)	3474,0		
-2,5	-	-	-	-	-	-	3965,0 (947,1)	3895,0		
0	-	-	-	-	-	-	-	4358,0 (1040,8)	4278,0	

Əlavə 6-nin davamı

Qaynama temperaturu, °C	Nizamlayıcı ventillərin qab ağı $t_n$ temperaturunda $q_v$ -nin qiyməti									
	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40		
-60	(58,4)	239,5 (57,2)	234,5 (56,0)	229,4 (54,8)	224,4 (53,6)	219,4 (52,4)	213,9 (51,1)	208,9 (49,9)		
-55	(79,2)	324,9 (77,6)	318,2 (76,0)	311,5 (74,4)	304,8 (72,8)	297,7 (71,1)	291,0 (69,5)	283,9 (67,8)		
-50	(106,2)	435,8 (104,1)	426,6 (101,9)	417,0 (99,8)	408,6 (97,6)	399,4 (95,4)	390,2 (93,2)	381,0 (91,0)		
-45	(140,1)	574,8 (137,3)	562,7 (134,4)	550,6 (131,5)	538,4 (128,6)	526,3 (125,7)	514,1 (122,8)	502,0 (119,9)		
-40	(182,3)	748,2 (178,7)	733,1 (175,1)	717,6 (171,4)	702,1 (167,7)	686,6 (164,0)	671,1 (160,3)	655,2 (156,5)		
-37,5	(206,8)	849,1 (202,8)	832,3 (198,8)	814,8 (194,6)	797,2 (190,4)	779,6 (186,2)	762,0 (182,0)	744,0 (177,7)		
-35	(234,1)	960,9 (229,5)	941,6 (224,9)	922,3 (220,3)	902,7 (215,6)	882,6 (210,8)	862,9 (206,1)	842,4 (201,2)		
-32,5	(264,1)	1084,0 (259,0)	1063,0 (253,8)	1090,0 (248,6)	1019,0 (243,4)	996,9 (238,1)	974,3 (232,7)	951,2 (227,2)		
-30	(297,4)	1221,0 (291,6)	1197,0 (285,8)	1172,0 (279,9)	1147,0 (274,0)	1122,0 (268,0)	1097,0 (262,0)	1071,0 (255,9)		
-27,5	(333,7)	1370,0 (327,3)	1343,0 (320,8)	1315,0 (314,2)	1288,0 (307,6)	1259,0 (300,9)	1232,0 (294,2)	1203,0 (287,4)		
-25	(373,7)	1492,0 (366,4)	1504,0 (359,2)	1473,0 (351,8)	1442,0 (344,4)	1411,0 (337,0)	1379,0 (329,4)	1347,0 (321,8)		
-22,5	(417,2)	1713,0 (409,2)	1680,0 (401,2)	1645,0 (393,0)	1611,0 (384,7)	1576,0 (376,4)	1541,0 (368,1)	1506,0 (359,7)		
-20	(464,9)	1909,0 (456,0)	1872,0 (447,0)	1833,0 (437,9)	1795,0 (428,8)	1756,0 (419,5)	1717,0 (410,2)	1678,0 (400,8)		
-17,5	(516,7)	2122,0 (506,9)	2080,0 (496,9)	2039,0 (486,9)	1996,0 (476,8)	1953,0 (466,5)	1910,0 (456,2)	1866,0 (445,8)		
-15	(573,2)	2353,0 (562,1)	2308,0 (551,2)	2261,0 (540,1)	2214,0 (528,9)	2167,0 (517,6)	2119,0 (506,1)	2071,0 (494,6)		
-12,5	(634,3)	2605,0 (622,3)	2554,0 (610,1)	2503,0 (597,8)	2451,0 (585,5)	2400,0 (573,0)	2345,0 (560,0)	2293,0 (547,7)		
-10	(700,6)	2878,0 (687,3)	2821,0 (673,9)	2765,0 (660,3)	2708,0 (646,7)	2650,0 (633,0)	2592,0 (619,0)	2533,0 (605,0)		
-7,5	(772,0)	3171,0 (757,4)	3109,0 (742,6)	3047,0 (727,8)	2984,0 (712,8)	2922,0 (697,8)	2857,0 (682,5)	2793,0 (667,0)		
-5	(849,2)	3488,0 (833,2)	3421,0 (817,0)	3352,0 (800,7)	3283,0 (784,2)	3214,0 (767,7)	3144,0 (751,0)	3073,0 (734,0)		
-2,5	(930,3)	3823,0 (913,2)	3752,0 (896,2)	3679,0 (878,8)	3605,0 (861,0)	3530,0 (843,0)	3453,0 (824,7)	3375,0 (806,1)		
0	(1021,7)	4197,0 (1002,5)	4117,0 (983,1)	4034,0 (963,3)	3952,0 (943,8)	3869,0 (924,0)	3784,0 (903,9)	3700,0 (883,7)		

Diftordixlormetanın nəzəri həcmi soyutma məhsuldarlığı (freon-12),  $q_n$ , kCoul/m<sup>3</sup> (mötərizədə kkal/m<sup>3</sup>)

Qaynama temperaturu, °C	Nizamlayıcı ventildən qabaq $t_n$ temp eraturunda $q_n$ -nin qiyməti									
	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10		
-70	127,5 (30,44)	123,5 (29,51)	119,5 (28,56)	115,5 (27,60)	111,5 (26,64)	107,4 (25,65)	103,2 (24,66)	98,8		
-65	173,5 (41,36)	167,6 (40,13)	162,5 (38,86)	157,3 (37,57)	151,9 (36,28)	146,4 (34,96)	140,8 (33,63)	135,2		
-60	231,5 (55,35)	224,9 (53,72)	217,9 (52,05)	210,9 (50,36)	203,6 (48,65)	196,5 (46,92)	189,1 (45,17)	181,7		
-55	305,5 (72,98)	296,7 (70,87)	286,7 (68,70)	287,5 (66,51)	269,2 (64,30)	260,9 (62,05)	250,4 (59,78)	240,8		
-50	397,3 (94,89)	386,0 (92,19)	374,3 (89,41)	362,7 (86,61)	350,7 (83,78)	337,9 (80,90)	326,6 (78,00)	314,1		
-45	509,9 (121,8)	495,8 (118,4)	481,4 (114,9)	466,3 (111,4)	451,4 (107,8)	436,2 (104,2)	420,8 (100,5)	405,3		
-40	647,3 (154,6)	629,6 (150,40)	611,4 (146,0)	592,8 (141,6)	574,0 (137,1)	554,4 (132,4)	535,9 (128,0)	516,2		
-35	813,4 (194,3)	791,6 (189,1)	768,7 (183,6)	746,1 (178,2)	722,6 (172,6)	699,1 (167,0)	675,3 (161,3)	651,0		
-30	1011,0 (241,4)	983,4 (234,9)	955,8 (228,3)	928,0 (221,6)	899,9 (214,8)	870,5 (207,9)	841,5 (201,0)	811,9		
-25	1243,0 (296,6)	1211,0 (289,1)	1177,0 (281,1)	1143,0 (273,0)	1109,0 (264,8)	1073,0 (256,4)	1038,0 (248,0)	1002,0		
-20	-	1477,0 (352,8)	1404,0 (343,2)	1396,0 (333,4)	1355,0 (323,6)	1313,0 (313,6)	1270,0 (303,4)	1226,0		
-17,5	-	-	1585,0 (378,6)	1541,0 (368,0)	1495,0 (357,2)	1449,0 (346,2)	1403,0 (335,1)	1355,0		
-15	-	-	1742,0 (416,1)	1693,0 (404,6)	1644,0 (392,7)	1594,0 (380,7)	1543,0 (368,6)	1492,0		
-12,5	-	-	-	1861,0 (444,5)	1807,0 (431,6)	1753,0 (418,6)	1697,0 (405,4)	1649,0		
-10	-	-	-	2041,0 (487,5)	1983,0 (473,5)	1923,0 (459,3)	1863,0 (444,9)	1801,0		
-7,5	-	-	-	-	2169,0 (518,1)	2105,0 (502,6)	2039,0 (487,1)	1972,0		
-5	-	-	-	-	-	-	2225,0 (531,8)	2156,0		
-2,5	-	-	-	-	-	-	2434,0 (581,4)	2354,0		
0	-	-	-	-	-	-	2648,0 (632,6)	2556,0		
+2,5	-	-	-	-	-	-	2883,0 (688,6)	2792,0		
+5	-	-	-	-	-	-	3138,0 (749,4)	3038,0		
+7,5	-	-	-	-	-	-	-	3293,0		

Əlavə 7-nin davamı

Qaynama temperaturu, °C	Nizamlavıcı ventildən q ab aq $t_n$ temperaturunda $q_1$ -nin qiyməti									
	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45		
-70	(23,6)	94,59 (22,6)	90,44 (21,6)	85,3 (20,5)	81,63 (19,5)	-	-	-	-	
-65	(32,3)	129,3 (30,9)	123,5 (29,5)	117,6 (28,1)	111,3 (26,7)	-	-	-	-	
-60	(43,4)	174,2 (41,6)	166,2 (39,7)	166,1 (37,9)	150,7 (36,0)	-	-	-	-	
-55	(57,5)	230,7 (55,1)	220,6 (52,7)	210,6 (50,3)	200,5 (47,9)	-	-	-	-	
-50	(75,0)	301,4 (72,0)	288,6 (69,0)	275,9 (65,9)	262,9 (62,8)	-	-	-	-	
-45	(96,8)	389,4 (93,0)	373,1 (89,1)	356,7 (85,2)	340,4 (81,3)	-	-	-	-	
-40	(123,3)	496,7 (118,6)	476,4 (113,8)	456,0 (108,9)	425,5 (104,0)	415,0 (99,1)	-	-	-	
-35	(155,5)	626,9 (149,7)	601,5 (143,7)	577,0 (137,8)	551,4 (131,7)	525,4 (125,5)	-	-	-	
-30	(193,9)	781,5 (186,7)	751,7 (179,5)	721,0 (172,2)	689,4 (164,7)	658,3 (157,2)	626,4 (149,6)	-	-	
-25	(239,4)	965,9 (230,7)	929,0 (221,9)	892,0 (213,1)	854,3 (204,1)	816,3 (195,0)	748,1 (178,7)	738,0 (176,3)	-	
-20	(293,1)	1183,0 (282,7)	1139,0 (272,1)	1094,0 (261,4)	1049,0 (250,6)	1003,0 (239,7)	956,9 (228,5)	910,0 (217,3)	-	
-17,5	(323,6)	1307,0 (312,2)	1258,0 (300,6)	1209,0 (288,9)	1160,0 (277,1)	1110,0 (265,3)	1059,0 (253,1)	1008,0 (240,8)	-	
-15	(356,4)	1407,0 (343,9)	1386,0 (331,2)	1333,0 (318,5)	1279,0 (305,6)	1224,0 (292,4)	1168,0 (279,2)	1112,0 (265,7)	-	
-12,5	(391,7)	1582,0 (378,0)	1525,0 (364,3)	1467,0 (350,4)	1408,0 (336,3)	1350,0 (322,4)	1289,0 (307,9)	1227,0 (293,2)	-	
-10	(430,2)	1739,0 (415,3)	1676,0 (400,4)	1613,0 (385,3)	1545,0 (369,9)	1484,0 (354,5)	1418,0 (338,8)	1352,0 (322,8)	-	
-7,5	(471,0)	1906,0 (455,2)	1836,0 (438,6)	1767,0 (422,2)	1697,0 (405,5)	1628,0 (388,9)	1556,0 (371,8)	1483,0 (354,4)	-	
-5	(515,0)	2083,0 (497,5)	2009,0 (479,9)	1930,0 (462,1)	1859,0 (444,0)	1782,0 (425,5)	1704,0 (406,9)	1625,0 (388,1)	-	
-2,5	(562,3)	2274,0 (543,3)	2195,0 (524,2)	2114,0 (505,0)	2032,0 (485,4)	1951,0 (466,0)	1867,0 (445,9)	1781,0 (425,5)	-	
0	(612,8)	2480,0 (592,4)	2393,0 (571,7)	2307,0 (550,9)	2218,0 (529,7)	2128,0 (508,1)	2036,0 (486,4)	1944,0 (464,4)	-	
+2,5	(667,0)	2700,0 (644,9)	2607,0 (622,6)	2513,0 (600,1)	2417,0 (577,3)	2320,0 (554,1)	2222,0 (530,7)	2123,0 (506,9)	-	
+5	(725,5)	2937,0 (701,6)	2857,0 (677,6)	2735,0 (653,3)	2632,0 (628,6)	2529,0 (604,1)	2423,0 (578,8)	2316,0 (553,1)	-	
+7,5	(787,0)	3188,0 (761,3)	3079,0 (735,4)	2969,0 (709,3)	2859,0 (682,8)	2752,0 (657,2)	2637,0 (629,9)	2521,0 (602,2)	-	
+10	(852,0)	3452,0 (824,5)	3335,0 (796,6)	3218,0 (768,6)	3098,0 (740,0)	2981,0 (711,9)	2858,0 (682,6)	2733,0 (652,9)	-	

**Əlavə 8**  
**Sistemdən kənar ölçü vahidləri və onların Sİ sisteminə**  
**keçirilməsi**

Kəmiyyətlər	Vahidlər		Sİ sisteminə keçirilməsi
	Adı	İşarəsi	
Uzunluq	Mikron (mikrometr)	mkm	$1 \cdot 10^{-6}$ mkm
	Anqstrem	°A	$1 \cdot 10^{-10}$ m
	Astronomiki vahid	a.v.	$1,496 \cdot 10^{11}$ m
	İşıq ili	i.i	$9,4605 \cdot 10^{15}$ m
	Parsek	pk	$3,086 \cdot 10^{16}$ m
Sahə	Hektar	ha	$1 \cdot 10^4$ m <sup>2</sup>
Həcm	Litr	l	1 dm <sup>3</sup> = $1 \cdot 10^{-3}$ m <sup>3</sup>
Zaman	Dəqiqə	dəq	60 s
	Saat	saat	3600 s
	Sutka	sut	86400 s
Fırlanma tezliyi	Dövr saniyədə	dövr/s	1 s <sup>-1</sup>
	Dövr dəqiqədə	dövr/dəq	$1/60$ s <sup>-1</sup> = = 0,01666667 s <sup>-1</sup>
Kütlə sərfi	Kiloqram saatda	Kq/saat	$277,8 \cdot 10^{-6}$ kq/s
Həcm sərfi	Litr saniyədə	l/s	$10^{-3}$ m <sup>3</sup> /s
Təzyiq	Texniki atmosfer	at	98066,5 Pa
	Kiloqram qüvvə santimetr kvadratda	Kqq/sm <sup>2</sup>	9,80665 Pa
	Fiziki atmosfer	atm	101325 Pa
	Millimetr su sütunu	Mm.su süt	9,80665 Pa
	Millimetr cıvə süt.	Mm.c. süt.	133,322 Pa
	Bar	bar	$1 \cdot 10^5$ Pa
İş və enerji	At qüvvəsi saat	a.q.saat	$2,64780 \cdot 10^6$ Coul
	Kilovat -saat	kvt.saat	$3,6 \cdot 10^6$ Coul
	Elektron- volt	eV	$1,60210 \cdot 10^{-19}$ Coul
Güc	At qüvvəsi	a.q.	735,499 Vt
İstilik miqdarı	Kalori	kal	4,1868 Coul
Elektrik miqdarı	Ampere - saat	A.saat	$3,6 \cdot 10^3$ kl
Xüsusi elektrik müqaviməti	Om-millimetr kvadrat metrədə	Om·mm <sup>2</sup> /m	$10^{-6}$ Om·m
Kütlə	Atom kütlə vahidi	a.k.v.	$1,6597 \cdot 10^{-27}$ kq
	Ton	t	1000 kq
	Mol	mol	$M \cdot 10^{-3}$ kq (M- nisbi molekulyar kütlə)

Beynəlxalq Sİ sistemində bəzi fiziki kəmiyyətlər

Kəmiyyət	Vahidin			
	Adı	İşarəsi		
		Azərbaycan	Rus	Beynəlxalq
<b>Əsas vahidlər</b>				
Uzunluq	metr	m	m	m
Kütlə	kiloqram	kq	kq	kq
Zaman	saniyə	san	s	s
Elektrik cərəyanının qüvvəsi		A	A	A
Termodinamiki temperatur Kelvin	Kelvin	K	K	K
İşıq qüvvəsi	kandella	kd	kd	cd
<b>Əlavə vahidlər</b>				
Səthi bucaq	radian	rad	rad	rad
Cismi bucaq	steradian	sr	sr	sr
<b>Törəmə vahidlər</b>				
Sahə	kvadrat metr	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Həcm, tutum	kub metr	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Sıxlıq	kiloqram/kubmetr	kq/m <sup>3</sup>	kq/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Sürət	metr/saniyə	m/san	m/s	m/s
Bucaq sürəti	radian/saniyə	rad/san	rad/s	rad/s
Qüvvə, ağırlıq qüvvəsi	Nyuton	N	N	N
Təzyiq, mexaniki gərginlik	Paskal	Pa	Pa	Pa
İş, enerji, istilik miqdarı	Coul	Coul	Dj	J
Güc, istilik axını	Vatt	Vt	Vt	W
Elektrik miqdarı, elektrik yükü	Kulon	Kl	Kl	C
Elektrik gərginliyi, elektrik potensialı, elektrik potensiallarının fərqi, elektrik hərəkətedici qüvvə	Volt	V	V	V
Elektrik müqaviməti	Om	Om	Om	Ω
Elektrik keçiriciliyi	Simens	Sm	Sm	S
Elektrik tutumu	Farad	F	F	F
Xüsusi istilik tutumu	Coul/kiloqramKelvin	Coul/(kq·K)	Dj/(kq·K)	C/(kg·K)
İstilik keçiriciliyi	Vat/metrKelvin	Vt/(m·K)	Vt/(m·K)	W/(m·K)
İşıqlanma	lyuks	/lk	/lk	/lx



## Rum rəqəmlərinin yazılması

Onluq mərtəbələrini üçün rum rəqəmlərində dörd işarə (I-bir, X- on, C-yüz və M-min) və onların yarısını göstərmək üçün üç rəqəm (V- beş, L-əlli, D- beşyüz) var.

I	1	XVI	16	LIX	59	CC	200
II	2	XVII	17	LX	60	CCC	300
III	3	XVIII	18	LXV	65	CD	400
IV	4	XIX	19	LXIX	69	D	500
V	5	XX	20	LXX	70	DC	600
VI	6	XXV	25	LXXV	75	DCC	700
VII	7	XXIX	29	LXXIX	79	DCCC	800
VIII	8	XXX	30	LXXX	80	CM	900
IX	9	XXXV	35	LXXXV	85	M	1000
X	10	XXXIX	39	LXXXIX	89	MD	1500
XI	11	XL	40	XC	90	MM	2000
XII	12	XLV	45	XCV	95	MMM	3000
XIII	13	XLIX	49	XCIX	99	M $\bar{B}$	4000
XIV	14	L	50	C	100		
XV	15	LV	55	CL	150		

Rum rəqəminin üzərində qoyulan xətt onun qiymətini min dəfə artırır:  $\bar{V}$ - 5000,  $M\bar{B}$  -4000,  $\bar{D}$ -500000,  $\bar{M}$ -1000000.

## ƏDƏBİYYAT

1. *Məmmədov Q. B.* Soyuduculuq texnikası, Bakı: Elm, 2007, 284 s.
2. *Məmmədov Q. B.* Kənd təsərrüfatı məhsullarının emal maşınları və avadanlıqları. -Bakı: Elm, 2005, 120 s.
3. *Məmmədov Q. B.* Yeyinti istehsalının prosesləri və aparatları. -Bakı: Elm, 2005, 112 s.
4. *Məmmədov Ə. M., Hüseynzadə Ə. H.* Ümumi istilik texnikası, Bakı, Maarif, 1973. 264 s.
5. *Məmmədova M. C.* İstilik texnikası, Azərneşr, Bakı, 1963, 240 s.
6. *Naziyev Y. M.* İstilik texnikası. Bakı, 2003.
7. *Naziyev Y. M., Allahverdiyev A. M.* Texniki termodinamika, Bakı, Maarif, 1987.
8. *Афанасьева И. А., Лукин А. И.* Применение озонобезопасных смесевых хладагентов в бытовых холодильных приборах // Холодильная техника. 1996, № 7, с. 27-28
9. *Алексеев Г.Н.* Общая теплотехния, Москва, Высшая школа, 1980.
10. *Бабакин Б. С.* Электротехнология в холодильной промышленности. -М.: Агропромиздат, 1990, 208 с.
11. *Бабакин Б. С., Выгодин В. А.* Бытовые холодильники и морозилники / 2-е изд., испр. и доп. -М.: Колос, 2000, 656 с.: ил. (Справочник).
12. *Гак А.* Фреоны в холодильной технике // Холодильная техника. 1990, № 5, с. 11-14.
13. *Гальперин Д. М.* Монтаж и эксплуатация холодильных установок в сельском хозяйстве. -М.: Колос, 1984, 301 с.
14. *Гордеев А. С., Горшенин В.И., Завражнов А. И., Хмыров В. Д.* Сооружения и оборудование для хранения продукции растениеводства, М.Ж. Родник, ж-л Аграрная наука, 1999, 288 с.
15. *Захаров А. А.* Применение теплоты в сельском хозяйстве, 3-е издание перераб. и доп., М.: Агропромиздат, 1986, 288 с. (Учебники и учебные пособия для высш. с.х.

учеб. заведений)

16. *Зеликовский И. Х., Каплан Л. Г.* Малые холодильные машины и установки. -М.: Агропромиздат, 1989, 672 с.

17. *Кавецкий Г. Д., Васильев Б. В.* Процессы и аппараты пищевой технологии. -М.: Колос, 2000, 551 с.

18. *Каплан Л. Г.* Торговое холодильное оборудование: Справочник. -М.: Колос, 1995, 303 с.

19. *Кочетков Н. Д.* Холодильная техника. -М.: Машиностроение, 1966, 408 с.

20. *Курочкин А. А., Ляшенко В. В.* Технологическое оборудование для переработки продукции животноводства / Под ред. В.М.Баутина. -М.: Колос, 2001, 440 с.

21. *Ляшков В. И.* Теоретические основы теплотехники, 2-е изд., Москва, Машиностроение-1, 2005, 260 с.

22. *Нащочкин В. В.* Техническая термодинамика и теплопередача, Москва, Высшая школа, 1980.

23. *Рогов И. А., Бабакин Б. С., Выгодин В. А.* Электрофизические методы в холодильной технике и технологии. -М.: Колос, 1996, 336 с.

24. *Шелашова С. Л., Барыкина Г. П.* Эффективные теплоизоляционные конструкции в бытовой холодильной технике // Холодильная техника. 1990, № 5, с. 14-16.

# MÜNDƏRİCAT

Giriş.....	3
I Hissə. <b>İstilik texnikası</b> .....	5
İstilik texnikasıvə onun inkişaf tarixi.....	5
I Bölmə. <b>Texniki termodinamika</b> .....	7
I Fəsil. <b>Hal parametrləri və hal tənlikləri</b> .....	7
1.1. Təzyiq.....	7
1.2. Temperatur.....	9
1.3. Xüsusi həcm.....	11
1.4. İdeal qazlar üçün hal tənliyi.....	12
1.5. İdeal qaz qanunları.....	14
1.5.1. Boyle-Mariot qanunu.....	14
1.5.2. Gey-Lüssak qanunu.....	15
1.5.3. Şarl qanunu.....	15
1.5.4. Avogrado qanunu.....	15
1.6. Qaz qarışıqları.....	18
1.6.1. Dalton qanunu.....	18
1.6.2. Qaz qarışığının götürülmüş çəki hissəsi və götürülmüş həcm hissəsi... ..	19
II Fəsil. <b>Termodinamikanın birinci qanunu və tətbiqi</b> .....	23
2.1. İstilik və işin ekvivalentliyi.....	23
2.2. Termodinamikanın birinci qanununun riyazi ifadəsi.....	24
2.3. Dönən və dönməyən proseslər.....	27
2.4. İşçi cismin daxili enerjisi və xarici işi.....	29
2.5. Qazların istilik tutumu.....	31
2.6. Orta və həqiqi istilik tutumları.....	35
2.7. İstilik tutumunun temperaturdan asılılığı.....	37
2.8. Qarışığın istilik tutumu.....	40
III Fəsil. <b>Qaz halının dəyişməsi prosesləri</b> .....	42
3.1. İzoxor prosesi.....	42
3.2. İzobar prosesi.....	44
3.3. Mayer düsturu.....	45
3.4. Entalpiya və ya istilik funksiyası.....	48
3.5. İzotermik proses.....	49
3.6. Adiyabatik proses.....	52
3.7. Politropik proses.....	56
IV Fəsil. <b>Termodinamikanın ikinci qanunu</b> .....	60
4.1. Dairəvi proses və ya tsikl.....	60

4.2. Karno tsikli.....	61
4.3. Əks dairəvi Karno tsikli.....	65
4.4. Termodinamikanın ikinci qanunu.....	66
4.5. Entropiya.....	68
4.6. İdeal qazların entropiyasının hesablanması.....	72
4.7. İstilik diaqramı.....	74
4.8. Regenerativ tsikli.....	75
V Fəsil. <b>İstilik mühərriklərinin tsiklləri</b> .....	79
5.1. Daxili yanma mühərriklərinin tsiklləri.....	79
5.2. Yanma prosesi sabit həcmdə aparılan daxili yanma mühərriklərinin (dym) tsiklləri.....	80
5.3. Yanma prosesi sabit təzyiqdə aparılan daxili yanma mühərriklərinin tsiklləri.....	86
5.4. Daxili yanma mühərrikində (dym) həqiqi proseslər.....	91
VI Fəsil. <b>Yanacaqaların xassələri və yanma nəzəriyyəsinin əsasları</b> .....	94
6.1. Yanacaq və onun əsas xassələri.....	94
6.2. Yanma nəzəriyyəsinin elementləri.....	97
6.3. Yanmanın texniki hesabı.....	101
6.4. Qazanxana avadanlıqları.....	104
6.4.1. Quruluşu və təyinatı.....	104
6.4.2. Elektrik qazanlar.....	105
6.4.3. Qaz qazanları.....	105
6.4.4. Bərk yanacaq qazanlar.....	106
6.4.5. Maye yanacaq qazanlar.....	106
VII Fəsil. <b>Buxarlar</b> .....	108
7.1. Buxarlar haqqında ümumi məlumat.....	108
7.2. Van-der-Vaals tənliyinin buxarlara tətbiqi.....	109
VIII Fəsil. <b>Doymuş mayenin, quru doymuş buxarın, nəm buxarın və çox qızmış buxarın hallarını təyin edən əsas parametrlər</b> .....	113
8.1. Doymuş mayenin halını təyin edən əsas parametrlər.....	113
8.1.1. Qaynama temperaturu ilə təzyiq arasındakı asılılıq.....	113
8.1.2. Doymuş mayenin həcmi.....	114
8.1.3. Doymuş mayenin istiliyi.....	115
8.1.4. Doymuş mayenin entalpiyası.....	115
8.1.5. Doymuş mayenin entropiyası.....	116
8.2. Quru doymuş buxarın halını təyin edən əsas parametrlər.....	116
8.2.1. Gizli buxarlanma istiliyi.....	117
8.2.2. Quru doymuş buxarın entalpiyası.....	117
8.2.3. Quru doymuş buxarın entropiyası.....	118
8.2.4. Quru doymuş buxarın xüsusi həcmi.....	119

8.3. Nəm buxarın halını təyin edən əsas parametrlər.....	120
8.4. Buxarla gedən proseslər.....	120
8.4.1. İzotermik proses.....	120
8.4.2. İzoxor prosesi.....	121
8.4.3. Adiabatik proses.....	122
8.4. İzbar prosesi.....	122
<b>IX Fəsil. Real qazlar.....</b>	<b>124</b>
9.1. Termodinamik diferensial tənliklər haqqında.....	124
9.1.1. Termik əmsallar.....	125
9.2. Real qazların hal tənlikləri.....	125
9.3. Real qazlar üçün professor M.P.Vukaloviçin hal tənliyi.....	129
9.4. Van-der-Vaals tənliyindəki sabit kəmiyyətlərin təyini.....	130
<b>X Fəsil. Nəm hava.....</b>	<b>133</b>
10.1. Əsas məlumat.....	133
10.2. Nəm tutumu.....	135
10.3. Mütləq nəmlik, nisbi nəmlik və doyma dərəcəsi.....	136
10.4. Nəm havanın qaz sabiti və xüsusi çəkisi.....	139
10.5. Nəm havanın istilik tutumu və entalpiyası.....	140
10.6. Nəm hava üçün $I-d$ diaqramı.....	141
<b>II Bölmə. İstilikötürmə.....</b>	<b>145</b>
<b>XI Fəsil. İstilikkeçirmə.....</b>	<b>145</b>
11.1. Ümumi anlayışlar və əsas qanun.....	145
11.1.1. Temperatur sahəsi.....	145
11.1.2. İzotermik səth.....	146
11.1.3. Temperatur qradienti.....	146
11.1.4. İstilik seli.....	147
11.1.5. İstilikkeçirmənin əsas qanunu- Furiye qanunu.....	148
11.1.6. İstilikkeçirmə əmsalı.....	148
11.2. Yastı divarın istilikkeçirməsi.....	155
11.2.1. Birtəbəqəli yastı divar.....	155
11.2.2. Yastı divarda temperaturun dəyişmə qanunu.....	157
11.2.3. Çoxtəbəqəli yastı divar.....	158
11.3. Silindrik divarın istilikkeçirməsi.....	161
11.3.1. Birtəbəqəli silindrik divar.....	161
11.3.2. Çoxtəbəqəli silindrik divar.....	163
<b>XII Fəsil. Konvektiv istilik mübadiləsi.....</b>	<b>167</b>
12.1. İstilikvermənin əsas tənliyi- Nyuton qanunu.....	167
12.1.1. İstilikvermə əmsalı.....	167
12.2. İstilikvermə prosesinə təsir göstərən amillər.....	168

XIII Fəsil. <b>Şüalanma</b> .....	174
13.1. Ümumi anlayışlar.....	174
13.2. Kirxohf qanunu.....	177
13.3. Stefan-Bolsman qanunu.....	178
13.4. Vin-Qolitsinin yerdəyişmə qanunu.....	178
13.5. Plank düsturu.....	179
13.6. İki cismin arasında şüalanma ilə istilikötürmə.....	180
XIV Fəsil. <b>İstilikötürmə</b> .....	183
14.1. Yastı divar vasitəsi ilə istilikötürmə.....	183
14.2. Silindrik divar vasitəsi ilə istilikötürmə.....	187
14.3. Qabırğalı divarın istilikötürməsi.....	190
XV Fəsil. <b>İstilikdəyişdirici aparatlar</b> .....	193
15.1. İstilikdəyişdirici aparatların növləri.....	193
15.2. Su ekvivalenti və temperaturun dəyişmə əyriləri.....	195
15.3. İstilikdəyişdiricilərin hesablanması.....	197
II Hissə. <b>Soyutma texnikası</b> .....	200
Soyutma texnikasının inkişaf tarixi.....	200
III Bölmə. <b>Soyuducu maşınlar və aparatlar</b> .....	202
XVI Fəsil. <b>Süni soyutmanın termodinamiki əsasları</b> .....	202
16.1. Süni soyutma üsulları.....	202
16.2. Cismin hal parametrləri.....	206
16.3. Cismin faz dəyişiklikləri.....	208
16.4. Soyuducu agentlərin termodinamiki diaqramları.....	210
16.5. Əks dairəvi proses.....	212
XVII Fəsil. <b>Kompressorlu soyuducu maşınların tsiklləri</b> .....	217
17.1. Hava ilə işləyən soyuducu maşınlar.....	217
17.2. Kompressorlu buxar soyuducu maşınlar.....	219
XVIII Fəsil. <b>Kompressorlu buxar soyuducu maşınlarda işçi cisimlər</b> ....	226
18.1. Soyuducu agentlər.....	226
18.1.1. Soyuducu agentlərə olan əsas tələblər və termodinamiki xüsusiyyətlər.....	226
18.1.2. Fiziki-kimyəvi xüsusiyyət.....	227
18.1.3. Fizioloji xüsusiyyət.....	228
18.2. Soyuducu agentlərin əsas xassələri.....	228
18.3. Ammonyak və freonların istismar xüsusiyyətləri.....	230
18.3.1. Xladon-12 (R12) diftovdixlormetan.....	231

18.3.2. Xladon-22 (R22) diftorxlormetan.....	233
18.3.3. Soyuducu agent R502.....	234
18.3.4. Soyuducu agent R11.....	234
18.4. Ozon təhlükəsi olmayan soyuducu agentlər.....	234
<b>XIX Fəsil. Kompessorlu buxar soyuducu maşının nəzəri işçi Tsiklinin hesabati.....</b>	<b>237</b>
19.1. Tsiklin verilən işçi parametrlərlə qurulması.....	237
19.2. Tsiklin hesabati.....	238
19.3. Maşının iş rejiminin soyutma məhsuldarlığına təsiri.....	242
<b>XX Fəsil. Kompessorlu buxar soyuducu maşının həqiqi tsikli.....</b>	<b>248</b>
20. 1. Həqiqi tsikldə həcmi itkilər.....	248
20.2. Enerji itkiləri.....	256
20.3. Soyuducu maşının xarakteristikaları.....	261
<b>XXI Fəsil. Çoxpilləli soyuducu maşınlar.....</b>	<b>264</b>
21.1. Çoxpilləli maşınların istifadə edilmə sahələri.....	264
21.2. İkipilləli maşının hesabati.....	268
21.3. Üçpilləli və kaskadlı soyuducu maşınlar.....	271
<b>XXII Fəsil. Buxar soyuducu maşınların kompressorlarının konstruksiyaları.....</b>	<b>274</b>
22.1. Porşenli kompressorlar.....	274
22.2. Rotorlu kompressorlar.....	282
22.3. Mərkəzdənqaçma kompressorları (turbokompressorlar).....	285
<b>XXIII Fəsil. Soyuducu maşınların istilik mübadiləsi aparatları.....</b>	<b>289</b>
23.1. Soyuducu aparatlarda istilik ötürmə.....	289
23.2. Kondensatorlar və buxarlandırıcılar.....	294
23.2.1. Təbii konveksiyalı kondensatorlar.....	294
23.2.2. Buxarlandırıcılar.....	296
23.3. İstilikdəyişənlər və süzgəc-quruducular.....	297
23.3.1. İstilikdəyişənlər.....	297
23.3.2. Süzgəc-quruducular.....	299
23.3.3. Kapilyar borular.....	300
<b>XXIV Fəsil. Soyuducuların köməkçi aparatları, boru kəmərləri və armatur.....</b>	<b>305</b>
24.1. Köməkçi aparatlar.....	305
24.2. Nasoslar və ventilyatorlar.....	312
24.3. Boru kəmərləri və armatur.....	316



<b>XXV Fəsil. Absorbsiyalı və buxar ejetorlu soyuducu maşınlar</b> .....	320
25.1. Absorbsiyalı soyuducu maşınlar.....	320
25.1.1. Su-ammonyaklı absorbsiyalı maşın.....	320
25.1.2. Brom-litiumlu absorbsiyalı maşın.....	323
25.1.3. Məişət absorbsiyalı soyuducular.....	325
25.2. Buxar ejetorlu soyuducu maşın.....	327
<b>IV Bölmə. Soyuducu qurğular və soyuducular</b> .....	330
<b>XXVI Fəsil. Yeyinti məhsullarının soyudulması, dondurulması və soyuq saxlanması</b> .....	330
26. 1. Yeyinti məhsullarının soyudulması.....	330
26.1.1. Ətin soyudulması.....	331
26.1.2. Quşun və yumurtanın soyudulması.....	332
26.1.3. Balığın soyudulması.....	333
26.1.4. Südün və süd məhsullarının soyudulması.....	334
26.1.5. Soyuducu tanklar.....	345
26.1.6. Meyvə-tərəvəzin soyudulması.....	345
26.2. Yeyinti məhsullarının dondurulması.....	348
26.2.1. Prosesin xarakteristikası.....	348
26.2.2. Dondurulma müddətləri.....	350
26.2.3. Donma üçün sərf olunan soyuğun hesabı.....	351
26.2.4. Kameralı və tunel tipli dondurucular.....	352
26.3. Tezdondurucu aparatlar.....	354
26.3.1. Arabalı tezdonduran aparat.....	355
26.3.2. Qravitasiyalı dondurucu aparatlar.....	356
26.4. Plitkəli soyuducu aparatlar.....	357
26.5. Kriogen dondurucu aparatlar və xətlər.....	360
26.6. Yeyinti məhsullarının soyuducularda saxlanması.....	362
26.6.1. Məhsulların saxlanma şəraiti.....	362
26.6.2. Saxlama kameralarının soyuducu cihazları.....	364
26.7. Perspektiv soyuducu avadanlıqlar.....	365
26.8. Ətin soyutma ilə emalı üçün avadanlıqların texnoloji hesabı.....	366
<b>XXVII Fəsil. Soyuducular</b> .....	368
27.1. Soyuducuların tipləri.....	368
27.1.1. Sənaye (istehsal) soyuducuları.....	368
27.1.2. Hazırlayıcı soyuducular.....	368
27.1.3. Paylayıcı soyuducular.....	368
27.1.4. Ticarət soyuducuları.....	369
27.1.5. Nəqliyyat soyuducuları.....	369
27.2. Soyuducuların quruluşu.....	370
27.3. Yükləmə işlərinin mexanikləşdirilməsi.....	374

27.4. Soyuducunun tutumu və soyuducu kameraların sahələrinin hesabı.....	375
<b>XXVIII Fəsil. Soyuducuların izolyasiyası.....</b>	<b>378</b>
28.1. İzolyasiyanın təyinatı.....	378
28.2. İstilik izolyasiya materialları.....	378
28.3. Buxar və hidroizolyasiya materialları.....	380
28.4. Soyuducuların tikinti – izolyasiya konstruksiyaları.....	382
<b>XXIX Fəsil. Soyuducu qurğuların avtomatlaşdırılması.....</b>	<b>387</b>
29.1. Məişət soyuducu texnikasının termonizamlayıcıları.....	387
29.1.1. APT tipli termonizamlayıcı.....	387
29.1.2. T tipli şkalasız termonizamlayıcılar.....	389
29.1.3. K tipli termonizamlayıcılar.....	391
29.2. Soyuducu qurğuların avtomatik nizamlanması.....	392
29.2.1. Kompresorların soyutma məhsuldarlığının nizamlanması.....	394
29.2.2. Soyuducu agentin buxarlandırıcıya verilməsinin nizamlanması.....	395
<b>XXX Fəsil. Qradirnyalar.....</b>	<b>403</b>
30.1. Qradirnyada soyudulan suya havanın təsiri.....	403
30.2. Qradirnyaların konstruksiyası və hesabı.....	404
<b>XXXI Fəsil. Maye və quru buzun istifadə edilməsi və istehsalı.....</b>	<b>411</b>
31.1. Maye buz.....	411
31.2. Təbii buzun hazırlanması və saxlanması.....	412
31.2.1. Hovuzlarda (su tutanlar) buzun hazırlanması.....	412
31.2.2. Laylara görə dondurulan buzun hazırlanması.....	413
31.2.3. Buz-duz qarışığının fiziki xassələri.....	414
31.3. Buz və buz-duz ilə soyutma qurğuları.....	414
31.3.1. Buzxana.....	415
31.3.2. Buz anbarları.....	416
31.3.3. Duzlu su dövr edən soyuducular.....	417
31.4. Quru buz.....	418
<b>XXXII Fəsil. Nəqliyyat soyuducuları.....</b>	<b>421</b>
32.1. Dəmir yolu nəqliyyatı soyuducusu.....	421
32.2. Avtomobil nəqliyyatı soyuducusu.....	423
32.3. Su nəqliyyatı soyuducusu.....	424
<b>XXXIII Fəsil. Məişət soyuducuları.....</b>	<b>426</b>
33.1. Kompresorlu məişət soyuducuları.....	427
33.2. Absorbsiyalı məişət soyuducuları.....	429
33.3. Termoelektriki və burulğanlı soyuducular.....	433

33.4. "Minsk" soyuducuları.....	437
33.5. "Nord" soyuducuları.....	440
33.6. "Stinol" soyuducu-dondurucuları .....	443
33.7. "Bosch" soyuducuları.....	445
33.8. "Ariston" kompressorlu soyuducuları və dondurucuları.....	447
33.9. "DAEWOO" kompressorlu soyuducuları ( <i>Cənubi Koreya</i> ).....	451
33.10. "Becko" kompressorlu soyuducuları ( <i>Türkiyə</i> ).....	452
33.11. Soyuducularda baş verən nasazlıqlar və onların aradan qaldırılma üsulları.....	453
<i>Əlavələr</i> .....	459
<i>Ədəbiyyat</i> .....	481

**Мамедов Габиль Балакиши оглы**  
*доктор технических наук, профессор*  
**Аллахвердиева Гахира Музаффар кызы**  
*доктор философии по технике*

**ТЕПЛО-ХЛАДОТЕХНИКА**  
(учебник)

Баку - «ЭЛМ» - 2011