

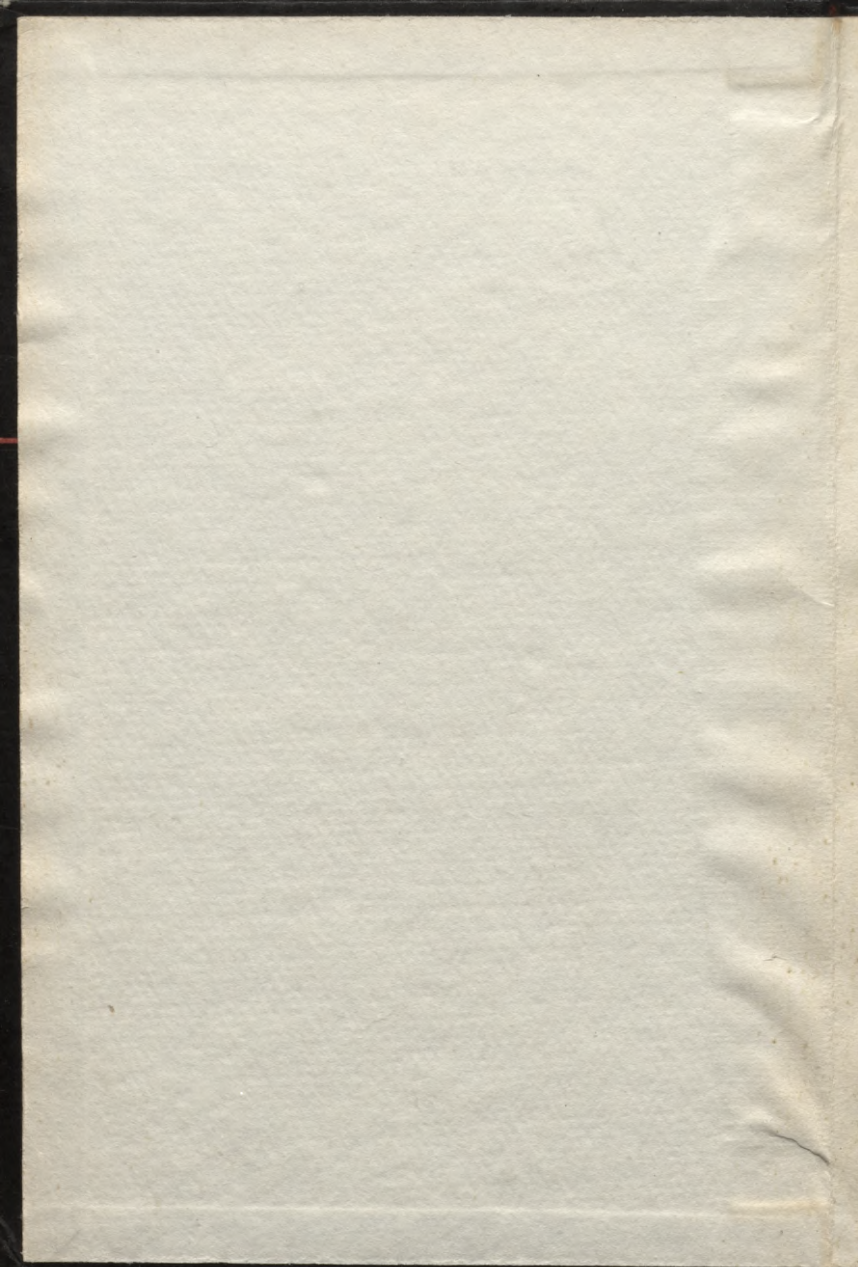
72-4  
L 137

I. Reiņikovs, E. Jurēvics

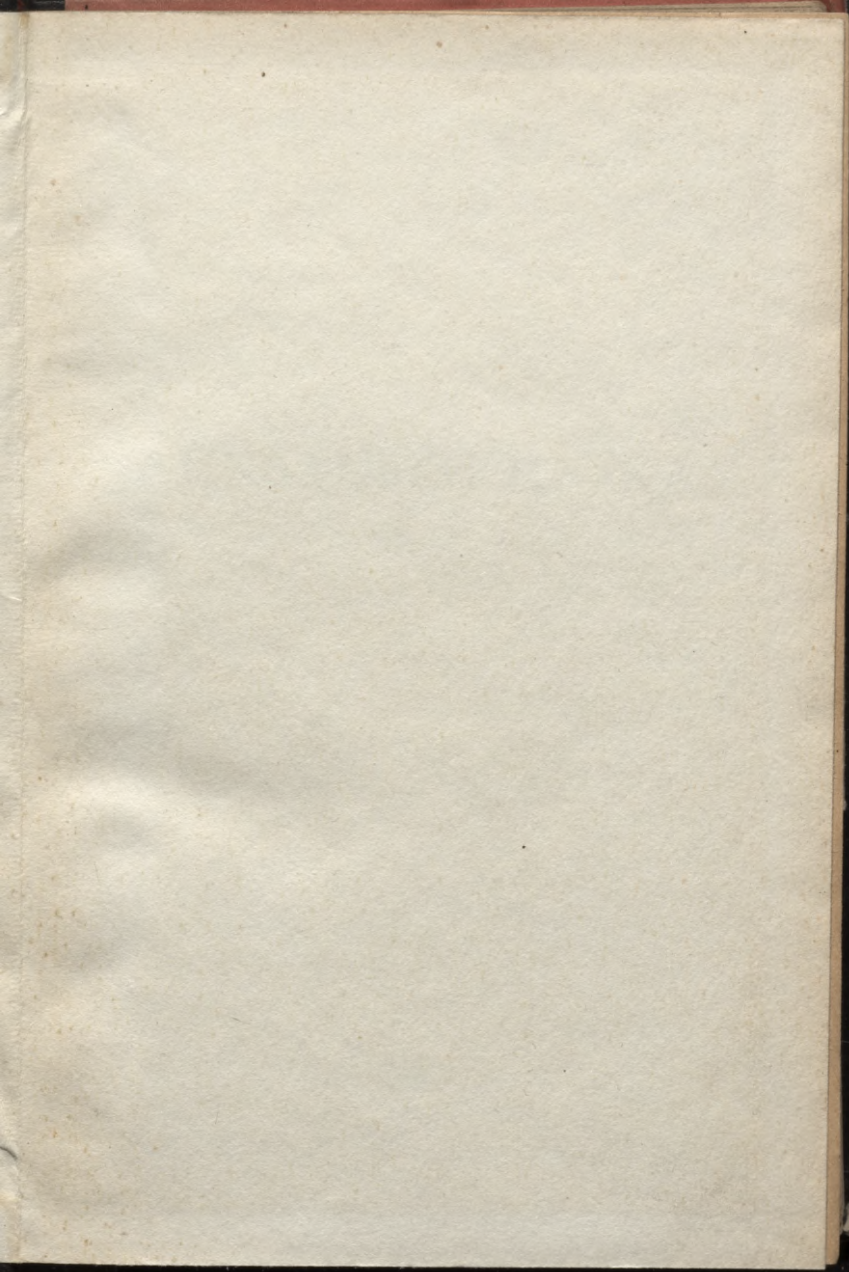
# AUKSTUMTEHNĪKA

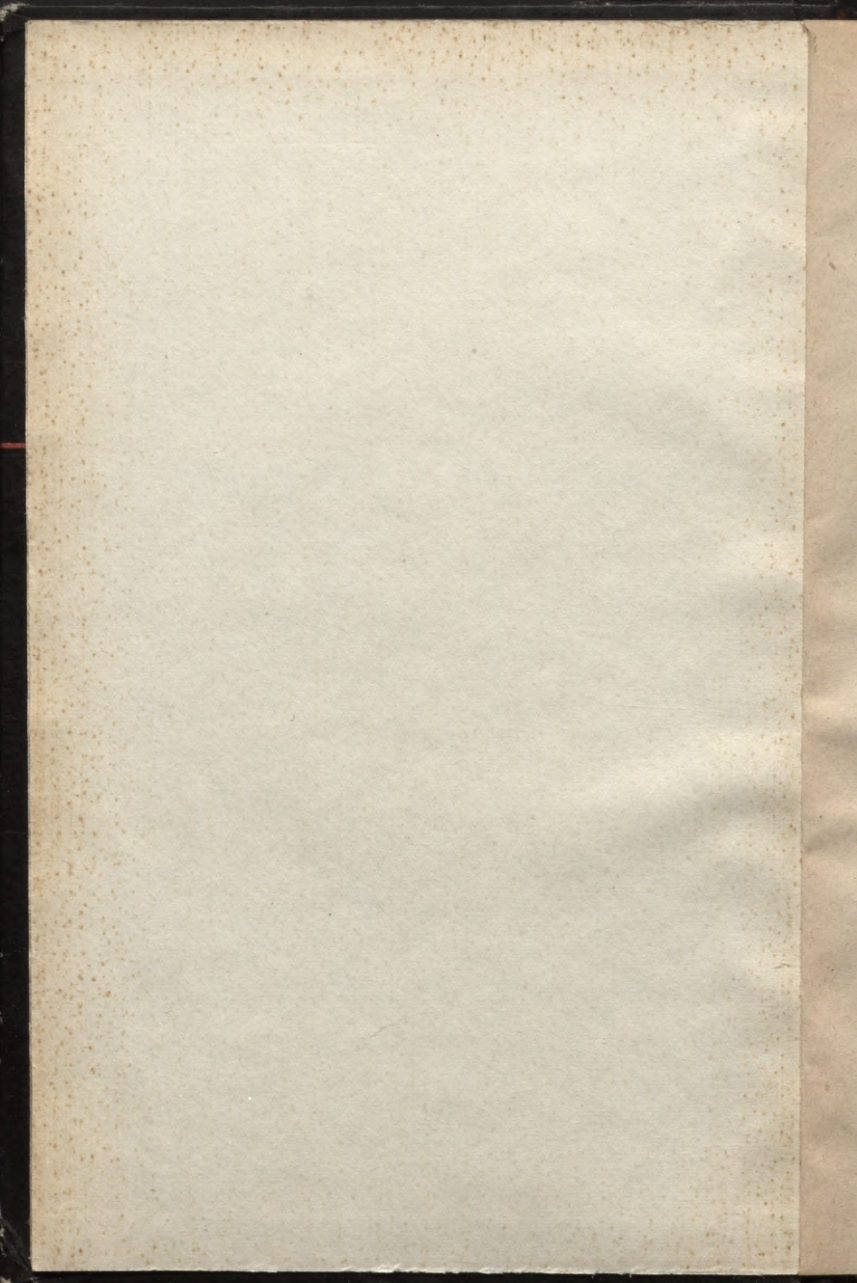
---











72-4  
137

621

I. REIŅIKOVŠ, E. JUREVICS

# AUKSTUMTEHNIKA

i  
i  
r  
-  
a  
s  
-  
s  
-  
a  
-  
s  
-  
o



IZDEVNIECIBA «ZVAIGZNE»  
RIGĀ 1972



Книга «Холодильная техника» является учебным пособием для студентов факультета технологии пищевой промышленности Латвийской сельскохозяйственной академии. Она может служить учебным пособием также для учащихся других высших и средних специальных учебных заведений, которые изучают курс холодильной техники.

Кроме того, книгу могут использовать специалисты пищевой промышленности и все работающие в области холодильных установок.

В книге 211 иллюстраций, 58 таблиц и 40 библиографических названий.

## PRIEKSVārds

Grāmata «Aukstumtehnika» domāta kā mācību līdzeklis ar Darba Sarkanā Karoga ordeni apbalvotās Latvijas Lauksaimniecības akadēmijas Pārtikas rūpniecības tehnoloģijas fakultātes studentiem. To var izmantot par mācību līdzekli arī citu augstskolu studenti un, tehnikumu audzēkņi, kuru mācību plānā ir aukstumtehnika, kā arī pārtikas rūpniecības un citu nozaru speciālisti, kas praktiskajā darbā izmanto aukstuma iekārtas.

Grāmatā aplūkoti aukstuma mašīnu darbības teorētiskie pamati, amonjaka un freona aukstuma mašīnu konstrukcijas un aprēķinu metodika. Sīkāk iztirzātas pārtikas rūpniecības, tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos visplašāk lietojamās aukstuma iekārtas un to automatizācijas un ekspluatācijas jautājumi. Sniegts arī īss saldētavu raksturojums un to aprēķina metodika. Tabulās un diagrammās sakopoti dati, kuri nepieciešami, projektējot aukstuma iekārtas un saldētavas.

Visas formulas un aprēķini doti starptautiskajā mērvienību sistēmā (SI). Tā kā praksē aukstumtehnikā plaši lieto ārpussistēmas mērvienības, tad dotas arī sakarības starp tām un SI sistēmas mērvienībām.

Grāmatas I, III, VI un IX nodaļu uzrakstījis docents E. Jurēvics, pārējo nodaļu autors ir docents I. Reiņikovs.

## IEVADS

Mākslīgo aukstumu lieto daudzās tautas saimniecības nozarēs. Aukstums ir ļoti labs konservēšanas līdzeklis, kas kavē sīkbūtnu attīstību, vienlaikus saglabājot pārtikas produktu sākotnējās īpašības, tāpēc to plaši izmanto visās pārtikas rūpniecības nozarēs. Gaļas, zivju, augļu un dārzeņu pārstrādāšanas rūpniecībā produktus atdzesē, sasaldē un uzglabā zemās temperatūrās; piena rūpniecībā aukstumu lieto piena, sviesta un piena produktu atdzesēšanai, uzglabāšanai, kā arī siera nogatavināšanai. Konditorejas izstrādājumu rūpniecībā nepieciešams atdzesēt izejvielas, pastu un gatavo produkciju. Aukstumu lieto arī alus un vīna ražošanas tehnoloģijā.

Bez tam mākslīgo aukstumu izmanto ķīmiskajā rūpniecībā, celtniecībā, metālapstrādē, metalurģijā, farmaceitiskajā rūpniecībā, naftas pārstrādē, gaisa kondicionēšanai ražošanas telpās un sabiedriskajās telpās, kā arī transporta līdzekļos, medicīnā, lauksaimniecībā, tirdzniecībā, sabiedriskajā ēdināšanā, mājsaimniecībā un zinātniskās pētniecības darbā.

Pēckara periodā Padomju Savienībā rekonstruētas vecās un uzceltas daudzas jaunas saldētavas. Pēc saldētavu ietilpības mūsu valsts ieņem otro vietu pasaulē. Uzlaboti produktu termiskās apstrādes un uzglabāšanas režīmi, lietojot pazeminātas temperatūras. Mūsu mašīnbūves rūpniecība pašreiz ražo kompakus ātrgaitas kompresorus, kas nodrošina visu rūpniecības nozaru prasības jebkurā aukstuma mašīnu ražīguma un temperatūru diapazonā.

Aukstuma mašīnu teorijas attīstību un mākslīgā aukstuma ieviešanu tautas saimniecībā sekmēja padomju autoru V. Čidzika, N. Komarova, F. Kasatkina, I. Levina, V. Glagoljeva, C. Gerša, I. Badiļkasa un citu darbi.

Partija un valdība velta lielu uzmanību lauksaimniecības produktu ražošanas apjoma palielināšanai, lai pilnībā apmierinātu darbaļaužu augošo pieprasījumu pēc gaļas, piena produktiem, augļiem un dārzeņiem. Pārtikas rūpniecībai jānodrošina plaša sortimenta augstvērtīgu produktu izlaide. Lai uzglabātu arvien pieaugošo produktu daudzumu, saldētavu ietilpība jāpalielina vairākas reizes. Kolhozos un padomju saimniecībās jāuzceļ atdzesējamās noliktavas svaigu ābolu uzglabāšanai. Jāpalielina saldējuma, sasaldētu augļu un ogu izlaide, jāizveido cehi, kuros ražotu gaļas produktus, sviestu un kulinārijas izstrādājumus nelielā iesaiņojumā.



# P I R M Ā D A Ļ A

## AUKSTUMA MAŠINAS UN APARĀTI

### I n o d a ļ a

#### MĀKSLĪGĀS DZESĒŠANAS TERMODINAMISKIE PAMATI

##### 1. Aukstuma jēdziens

Visi fizikālie ķermeņi sastāv no molekulām, kuras atrodas nepārtrauktā kustībā. Molekulu kustības enerģija raksturo ķermeņa spēju veikt darbu. Siltums ir viens no enerģijas veidiem. Siltuma enerģija ķermenī izmainās, molekulu kustībai paātrinoties vai palēninoties ārējās iedarbības rezultātā. Siltumu pievadot, molekulu kustība paātrinās un ķermeņa temperatūra paaugstinās, bet, siltumu aizvadot, t. i., dzesējot, molekulu kustība palēninās un ķermeņa temperatūra pazeminās. Saskaņā ar termodinamikas likumiem ķermeņa temperatūras maiņa rada arī tā spiediena un tilpuma izmaiņas. Aukstumtehnika ir speciāla siltumtehnikas daļa, kas pēta likumsakarības un procesus, ja darba vielas temperatūra ir zemāka par apkārtējās vides temperatūru. Sekmīgai aukstumtehnikas apgūšanai nepieciešamas zināšanas termodinamikā un siltumtehnikā elementārā kursa apmērā.

Tātad aukstums ir relatīvs jēdziens, kas raksturo mazu siltuma saturu ķermenī. *Aukstums* ir siltuma daudzums, kuru aizvada no ķermeņa, lai to atdzesētu vai sasaldētu. Aukstums un siltums pēc fizikālās dabas ir pilnīgi vienādi. Par molekulu kustību kā siltuma un aukstuma cēloni rakstīja jau lielais krievu zinātnieks M. Lomonosovs savā darbā «Pārdomas par siltuma un aukstuma cēloņiem» (1750).

Siltuma aizvadīšanas process, t. s. dzesēšana, kurai raksturīga temperatūras pazemināšanās, vienlaikus notiek vismaz starp diviem ķermeņiem: dzesējamo vidi un dzesējošo vielu. Siltuma daudzums, kuru spēj uzņemt dzesējošā viela jeb *darba viela*, raksturo tā *dzesēšanas spēju—efektu*. Fāzu pārejās, kuras notiek izotermiski ( $t = \text{const}$ ), uzņemot ievērojamu siltuma daudzumu (šķidrums vārīšanās-iztvaikošana, ledus kušana u. c.), rodas samērā liels dzesēšanas efekts. Tā, piemēram, lai izkausētu 1 kg ledus 0°C temperatūrā,

jāpatērē 335 kJ siltuma, tātad ledus kušanas dzesēšanas efekts ir 335 kJ/kg. Turpretim, ja ledus nekūst, bet to tikai sasilda par 1 °C, dzesēšanas efekts ir daudz mazāks — 2,1 kJ/kg.

Fizikāla ķermeņa sasiluma pakāpi raksturo tā *temperatūra*, kas ir viens no ķermeņa stāvokļa pamatparametriem.

Starptautiskajā mērvienību sistēmā (SI) temperatūras mērīšanai pieņemta termodinamiskā temperatūras skala ar mērvienību *kelvins* (K). Temperatūru starpību arī mēra kelvinos agrāk lietotā grāda (deg) vietā.

Praktiskos temperatūras un temperatūru starpības mērījumos var lietot arī starptautisko praktisko temperatūras skalu, kuras mērvienība ir *Celsija grāds* (°C). Šajā skalā ledus kušanas temperatūra normālā (atmosfēras) spiedienā pieņemta 0 °C, bet ūdens vārīšanās temperatūra — 100 °C. Temperatūras virs 0 °C apzīmē ar «+» zīmi, bet temperatūras zem 0 °C — ar «-» zīmi.

Darba vielu fāzu pārejas temperatūra ir atkarīga no spiediena. Starptautiskajā mērvienību sistēmā spiedienu mēra paskālos (Pa). *Paskāls* ir spiediens, ko rada 1 ņūtonu (N) liels spēks, vienmērīgi darbojoties uz 1 m<sup>2</sup> lielu virsmu. Praksē bieži lieto spiediena mērvienību kgf/cm<sup>2</sup>; 1 kgf/cm<sup>2</sup> = 98 066,5 Pa.

Enerģijas daudzuma, to skaitā arī siltuma un aukstuma daudzuma mērvienība SI sistēmā ir *džouls* (J). Tehnikā lieto 1000 reižu lielāku mērvienību *kilodžouls* (kJ). Siltuma plūsmu laika vienībā (sekundē) mēra *vatos* (W) un *kilovatos* (kW). Viens vats ir viens džouls sekundē (W = J/s).

Praksē bieži siltuma daudzumu (arī aukstuma daudzumu) mēra ārpus sistēmu mērvienībās *kalorijās* (cal) vai *kilokalorijās* (kcal). Starp minētajām mērvienībām pastāv šādas sakarības: 1 kcal = 4,187 kJ; 1 kJ = 0,24 kcal; 1 kcal/h = 1,163 W un 1 W = 0,86 kcal/h.

## 2. Zemu temperatūru iegūšanas paņēmieni

Saskaņā ar otro termodinamikas likumu patvaļīgā dabiskā procesā siltums pāriet no vides ar augstāku temperatūru uz vidi ar zemāku temperatūru. Ķermeņa temperatūras pazemināšanās, līdz apkārtējās vides (gaisa vai ūdens) temperatūrai ir dabisks process, un to sauc par dabisko dzesēšanu. Ja ķermenis jāatdzesē zemāk par apkārtējās vides temperatūru, dabiskās dzesēšanas paņēmienus vairs nevar lietot, bet jālieto *mākslīgā dzesēšana*.

Mākslīgās dzesēšanas iekārtas principiālā shēma parādīta I-1. attēlā. Dzesēšana ir siltuma apmaiņas process, kura laikā notiek siltuma pāreja no dzesējamā ķermeņa uz darba vielu, ko aukstumtehnikā sauc arī par *aukstuma aģentu*. Darba viela, kas atrodas dzesējošajā ķermenī 1, uzņem siltuma daudzumu  $Q_0$  no dzesējamā ķermeņa, kura temperatūra ir  $T_1$ . Lai darba viela siltumu uzņemtu, tās temperatūrai  $T_0$  jābūt zemākai par dzesējamā ķermeņa tempera-

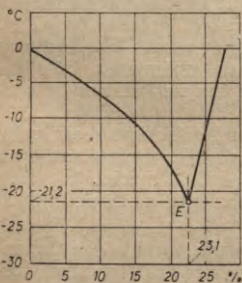


tūru  $T_1$ , t. i.,  $T_0 < T_1$ . Aizvadāmais siltuma daudzums  $Q_0$  atkarīgs ne vien no dzesējamā ķermeņa parametriem, bet arī no siltuma pieplūdes caur izolācijas slāni no apkārtējās vides, kuras temperatūra  $T > T_1$ . Siltuma pārvejas ietekmē darba vielu raksturojošie parametri nepārtraukti mainās. Izmaiņu raksturs atkarīgs no dzesēšanas paņēmiena fizikālās dabas. Visbiežāk darba viela maina agregātstāvokli, uzņemot ievērojamu siltuma daudzumu. Siltuma daudzumu, kuru uzņem 1 kg darba vielas (aukstuma aģenta), sauc par *darba vielas īpatnējo masas aukstuma ražīgumu* un apzīmē ar  $q_0^*$  (kJ/kg).

Viens no vienkāršākajiem mākslīgās dzesēšanas paņēmieniem ir *dzesēšana ar ledu*. Ledum kūstot, vides temperatūra pazeminās, jo ledus uzņem latento kušanas siltumu (335 kJ/kg vai 80 kcal/kg). Viszemākā temperatūra, kuru ar šādu paņēmieni var iegūt, ir ledus kušanas temperatūra (atmosfēras spiedienā tā ir 0°C).

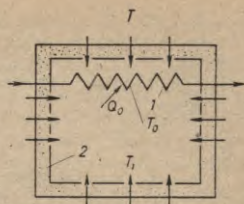
Zemāku temperatūru sasniegšanai var izmantot *dzesējošos maisījumus*, jo tajos siltumu patērē sāļu izšķīdināšanai ūdenī vai skābēs. Visbiežāk lieto sasmalcināta ledu un sāļu maisījumus, kuru kušanas temperatūra atkarīga no lietotā sāls veida un tā koncentrācijas maisījumā. Palielinoties sāls koncentrācijai, maisījuma kušanas temperatūra pazeminās, bet, sasniedzot noteiktu koncentrāciju, atkal paaugstinās. Tā, piemēram, vāramā sāls un ledu maisījums zemāku kušanas temperatūru, t. s. eitektiskā punkta temperatūru (-21,2°C), sasniedz, ja NaCl koncentrācija ir 23,1% (I-2. att.). Maisījuma aukstuma ražīgums ir mazāks nekā tīra ledu aukstuma ražīgums, jo daļa aukstuma nepieciešama komponentu atdzesēšanai līdz maisījuma kušanas temperatūrai.

Ja pagatavo eitektiskajam punktam atbilstošas koncentrācijas



I-2. att. NaCl un ledu maisījuma kušanas temperatūra atkarībā no sāls koncentrācijas:  
E — eitektiskais punkts.

\* Parasti lielumus, kas attiecināti uz 1 kg darba vielas (piemēram, pievadīto siltuma daudzumu  $q$ , gāzu saspišanas darbu  $l$ ), pieņemts apzīmēt ar mazajiem burtiem, bet jebkuram darba vielas daudzumam atbilstošos lielumus — ar burtiem  $Q, L$  utt.



I-1. att. Mākslīgās dzesēšanas iekārtas principiālā shēma:

1 — dzesējošais ķermenis; 2 — siltumizolācijas kārtā;  $T$  — apkārtējās vides temperatūra;  $T_0$  — darba vielas (aukstuma aģenta) temperatūra;  $T_1$  — dzesējamās vides temperatūra.



sāls šķīdumu ūdenī, tad iegūst *eitektisko šķīdumu*. To sasaldējot, veidojas homogēns ledus, kura kušanas temperatūra vienāda ar eitektiskā punkta temperatūru.

Biežāk lietojamo eitektisko šķīdumu fizikālās īpašības sakopotas I-1. tabulā.

I-1. tabula

Eitektisko šķīdumu fizikālās īpašības

Sāls nosaukums	Ķīmiskā formula	Sāls saturs šķīdumā (%)	Šķīduma blīvums (kg/m <sup>3</sup> )	Eitektiskā kušanas temperatūra (°C)	Kušanas siltums	
					kJ/kg	kcal/kg
Cinka sulfāts	ZnSO <sub>4</sub>	27,2	1250	— 6,5	213	50,8
Kālija hlorīds	KCl	19,7	1150	—11,1	301	71,9
Amonija hlorīds	NH <sub>4</sub> Cl	18,7	1060	—15,8	286	68,4
Nātrija hlorīds	NaCl	23,1	1175	—21,2	236	56,4
Kalcija hlorīds	CaCl <sub>2</sub>	29,9	1280	—55	213	50,8

Vēl zemāku temperatūru var sasniegt, *dzēsējot ar «saušo» ledu*, kuru iegūst no ogļskābās gāzes (CO<sub>2</sub>), to saspiežot kompresorā un pēc tam atdzēsējot speciālās iekārtās.

Atmosfēras spiedienā «sausais» ledus, uzņemot siltumu no apkārtējās vides, sublimējas, t. i., tieši iztvaiko, nepārvēršoties šķīdumā. Sublimācijas siltums ir 574 kJ/kg (137 kcal/kg), bet iegūto tvaiku (CO<sub>2</sub> gāzes) temperatūra ir —78,9 °C. Tā ir zemākā temperatūra, kādu var sasniegt, dzēsēšanai izmantojot «saušo» ledu.

Praksē vides atdzēsēšanai un pastāvīgas zemās temperatūras nodrošināšanai, lietojot minētos dzēsēšanas paņēmienus, būtu nepieciešami lieli darba vielu krājumi. Tādēļ šos paņēmienus lieto tikai gadījumos, ja aukstuma patēriņš ir neliels un īslaicīgs.

Ilgstoši ar nelielu darba vielas daudzumu aukstumu var ražot aukstuma mašīnā, kurā darba viela nepārtraukti cirkulē, atņemot siltumu dzēsējamam ķermenim un atdodot to apkārtējai videi. Darba vielas parametri, tai plūstot pa noslēgtu sistēmu, cikliski mainās un atgriežas sākotnējā stāvoklī.

Aukstuma mašīnās visbiežāk izmanto dažu darba vielu (amonjaka, freona, ogļskābās gāzes u. c.) īpašību *vārities* (iztvaikot) *zemās temperatūrās*. Šī īpašība izmantota izplatītajās tvaika kompresijas un absorbcijas aukstuma mašīnās.

Bez tam aukstuma mašīnās var iegūt aukstumu, arī ļaujot saspiegtajai gāzei (darba vielai) *adiabātiski izplesties*. Adiabātiski izplešoties, visu ārējo darbu gāze veic uz iekšējās enerģijas rēķina, tādēļ tās temperatūra ievērojami pazeminās. Ja saspiegtai gāzei sākumā ir apkārtējās vides temperatūra, tad pēc izplešanās (spiediena pazemināšanās) tās temperatūra pazeminās, un gāze uzņem

siltumu no apkārtējās vides. Tā darbojas gāzu (gaisa) kompresijas aukstuma mašīnas.

Ļoti zemu temperatūru sasniegšanai lieto aukstuma ciklus, kas pamatojas uz saspiestu gāzu *zmaudzi* jeb *droselēšanu* (spiediena reducēšanu). Šāds process notiek, ja spēji samazinās gāzes plūsmas brīvais šķērsgriezums, kā rezultātā strauji pazeminās gāzes spiediens. Ārējo darbu gāze neveic, un tādēļ droselēšanas procesā gāzes entalpija nemainās ( $i_1 = i_2$ ). Enerģija, kas tiek patērēta berzes pārvarēšanai kanāla sašaurinājumā, pārvēršas siltumā, kurš paliek gāzē.

Ideālai gāzei konstantas entalpijas gadījumā arī temperatūra nemainās, bet reālām gāzēm droselēšanas procesā temperatūra mainās (tas ir t. s. zmaudzes jeb Džoula—Tomsōna efekts). Gandrīz visas gāzes, izņemot ūdeņradi un hēliju, parastajās temperatūrās droselēšanas rezultātā atdziest. Tomēr zemu temperatūru iegūšana pēc šīs metodes saistīta ar lieliem enerģētiskajiem zudumiem, tādēļ to izmanto tikai dziļās dzesēšanas tehnikā gāzu sašķidrināšanai. Dzesēšanas efektu var novērot arī t. s. *virpuļu caurulē*, kas sadala saspiestu gaisu divās plūsmās — karstā un aukstā.

Aukstumtehnikā arvien plašāku nozīmi iegūst perspektīvais *termoelektriskās dzesēšanas paņēmieni*. Ja noslēgtā ķēdē, kas sastāv no diviem dažādiem vadītājiem (termoelementā), plūst elektriskā strāva, viens no vadītāju savienojumiem atdziest, bet otrs *sasilst*. So parādību atklāja Peltjē (1834), un to var izmantot aukstuma iekārtu izveidošanai, it sevišķi, ja lieto pusvadītāju termoelementus. Šādu iekārtu galvenā priekšrocība ir tā, ka sistēmā nav kustīgu detaļu un nav vajadzīga darba viela (aukstuma aģents).

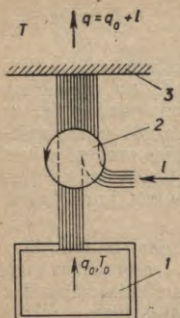
Pašreizējā tehnikas attīstības līmenī praksē vislielākā nozīme ir dzesēšanas iekārtām, kurās izmanto kompresijas un absorbcijas aukstuma mašīnas.

### 3. Otrais termodinamikas likums kā aukstuma mašīnas darbības pamats

Enerģijas nezūdamību raksturo pirmais termodinamikas likums. Otrais termodinamikas likums norāda, kādos apstākļos iespējams siltumu pārvērst darbā, kādā virzienā noris process. Viens no tā formulējumiem ir šāds: *patvaļīgā dabiskā procesā siltums pāriet no ķermeņa ar augstāku temperatūru uz ķermeni ar zemāku temperatūru — un nekad otrādi*. Lai realizētu siltuma pāreju pretējā virzienā, t. i., no ķermeņa ar zemāku temperatūru uz ķermeni ar augstāku temperatūru, jālieto speciālas aukstuma mašīnas, kuru darbināšanai nepieciešams mehāniskais darbs vai siltums.

Aukstuma mašīnas darbības principiālā shēma parādīta I-3. attēlā. No dzesējamā ķermeņa I (piemēram, pārtikas produktiem vai saldētavas kameras gaisa) darba viela ar zemu temperatūru  $T_0$





1-3. att. Aukstuma mašīnas darbības principiālā shēma:

1 — dzesējamais ķermenis; 2 — aukstuma mašīna; 3 — apkārtējā vide;  $q_0$  — dzesējamā ķermeņa aizvadītais siltuma daudzums;  $l$  — aukstuma mašīnas darbināšanai patērētais darbs;  $q$  — apkārtējai videi pievadītais siltuma daudzums;  $T_0$  — darba vielas temperatūra.

atņem siltuma daudzumu  $q_0$  un atdod to videi, kuras temperatūra  $T$  ir augstāka nekā darba vielas temperatūra. Siltuma uzņēmēja vide var būt, piemēram, ūdens vai apkārtējais gaiss. Šādu procesu iespējams realizēt tikai ar aukstuma mašīnu. Tās darbināšanai jāpatērē siltuma enerģija vai arī darbs  $l$ , kuru siltuma veidā kopā ar siltuma daudzumu  $q_0$  uzņem darba viela. Tātad kopējais siltuma daudzums, kuru uzņem ārējā vide no darba vielas, ir šāds:

$$q = q_0 + l. \quad (I-1)$$

Aukstuma mašīnas darba efektivitāti raksturo dzesēšanas koeficients  $\epsilon$ , kuru var izteikt ar dzesējamam ķermenim atņemtā siltuma daudzuma  $q_0$  attiecību pret patērēto darbu  $l$ , t. i.,

$$\epsilon = \frac{q_0}{l}. \quad (I-2)$$

Dzesēšanas koeficients skaitliski vienāds ar siltuma daudzumu, kuru aizvada no dzesējamā ķermeņa, patērējot vienu darba vienību. Tātad dzesēšanas koeficients izsaka aukstuma mašīnas ipatnējo aukstuma ražīgumu.

#### 4. Apgrieztie cikli

Kā zināms no termodinamikas, visas termiskās spēka mašīnas, piemēram, iekšdedzes dzinēji, darbojas pēc tiešā cikla, patērēto siltumu pārvēršot mehāniskajā darbā. Aukstuma mašīnā notiek pretējs process — tās darbināšanai patērētā darba pārvēršana siltuma enerģijā. Aukstuma mašīnā cirkulējošās darba vielas parametru izmaiņas atbilst apgrieztajam procesam, tātad aukstuma mašīna strādā pēc apgrieztā jeb aukstuma cikla. Pievadot darba vielai siltumu no dzesējamā ķermeņa, tā iztvaiko zemā temperatūrā. Pēc saspiešanas kompresorā (temperatūra paaugstinās) darba vielu atdzesē (kondensē), aizvadot siltumu apkārtējā vidē, kuras temperatūra ir augstāka nekā dzesējamā ķermeņa temperatūra. Realizējot aukstuma (apgriezto) ciklu, siltumu no ķermeņa ar zemāku temperatūru novada uz ķermeni ar augstāku temperatūru.

Aukstuma ciklus attēlo temperatūras-entropijas ( $T-s$ ) un spiediena-entalpijas ( $p-i$ ) diagrammās (1-4. att.). Temperatūras-entropijas jeb  $T-s$  diagrammu (1-4. att. a) veido adiabatās ( $s = \text{const}$ ), izoterms ( $T = \text{const}$ ) un robežlīknes. Kreisā apakšējā robežlīkne ( $x=0$ ) diagrammā atdala apgabalu, kurā darba viela atrodas šķidrā stāvoklī (pa kreisi no apakšējās robežlīknes), no mitra piesātinātā



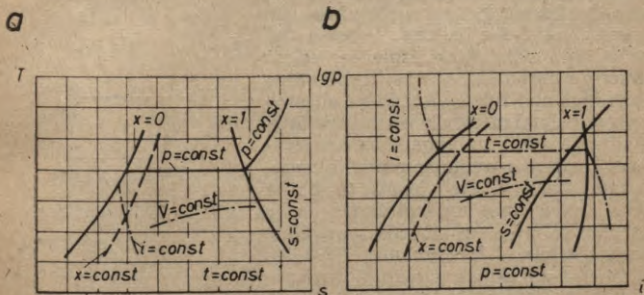
tvaika apgabala (pa labi no liknes  $x=0$ ). Labā augšējā robežlikne ( $x=1$ ) raksturo darba vielas sausa piesātināta tvaika stāvokli un atdala mitra piesātināta tvaika apgabalu (pa kreisi no augšējās robežliknes) no pārķarsēta tvaika apgabala (pa labi no liknes  $x=1$ ). Bez tam  $T$ - $s$  diagrammā attēlotas arī izobāras ( $p=\text{const}$ ), izohoras ( $v=\text{const}$ ), izoentalpijas ( $i=\text{const}$ ) un tvaika satura linijas ( $x=\text{const}$ ).

Spiediena-entalpijas jeb  $p$ - $i$  diagrammu (I-4. att. b) veido izoentalpijas ( $i=\text{const}$ ), izobāras ( $p=\text{const}$ ) un robežliknes ( $x=0$  un  $x=1$ ), kā arī pārējās darba vielas tvaika parametrus raksturojošās liknes. Mitra tvaika apgabalā izobāras un izoterms linijas sakrīt. Lai samazinātu spiediena-entalpijas diagrammu izmērus, bieži uz ordinātu ass spiediena  $p$  vietā atliek lielumu  $\lg p$ .

Temperatūras-entropijas diagrammā siltuma daudzumu raksturo laukums [ $q=T(s_2-s_1)$ ], bet spiediena-entalpijas diagrammā — taisnes nogrieznis ( $q=i_2-i_1$ ). Tādēļ aprēķiniem ērtāk izmantot  $p$ - $i$  (vai  $\lg p$ - $i$ ) diagrammu, bet uzskatāmāk process attēlojas  $T$ - $s$  diagrammā.

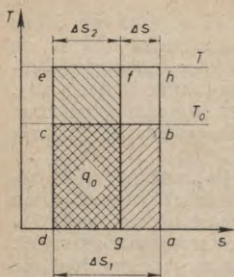
Izmantojot otro termodinamikas likumu, aprēķināsim darbu  $l$ , kāds nepieciešams aukstuma cikla realizēšanai.

Pieņemsim, ka siltuma daudzumu  $q_0$ , kas  $T$ - $s$  diagrammā (I-5. att.) attēlots ar laukumu  $a$ - $b$ - $c$ - $d$ , novada no dzesējamā ķermeņa ar darba vielas starpniecību, kuras temperatūra ir  $T_0$ , un pievada citam ķermenim, kura temperatūra ir  $T$ , pie tam  $T > T_0$ . (Ideālā gadījumā, siltumu uzņemot, darba vielas temperatūra  $T_0$  varētu būt vienāda ar dzesējamā ķermeņa temperatūru, bet reālos apstākļos, lai notiktu dzesēšana, darba vielas temperatūrai  $T_0$  jābūt zemākai. Tāpat arī siltuma atdeve no darba vielas uz ķermeni ar augstāko temperatūru reālos apstākļos var notikt tikai tad, ja darba vielas temperatūra  $T$  ir augstāka nekā ķermeņa temperatūra, bet ideālos apstākļos pieņem, ka šīs temperatūras ir vienādas.) Laukums  $d$ - $e$ - $f$ - $g$ ,



I-4. att. Diagrammas:

a —  $T$ - $s$  diagramma; b —  $\lg p$ - $i$  diagramma.



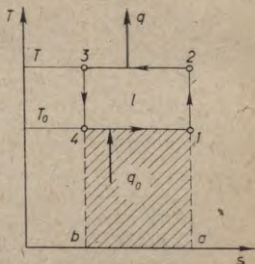
1-5. att. Dzesēšanas cikla darba aprēķināšana, izmantojot  $T$ - $s$  diagrammu.

lielumu  $\Delta s = \Delta s_1 - \Delta s_2$ . Tātad jāpastāv sakarībai  $\frac{l}{T} \geq q_0 \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)$ .

No šejienes var aprēķināt minimālo darbu, kāds nepieciešams aukstuma mašīnas darbināšanai, t. i.,

$$l = \frac{q_0}{T_0} (T - T_0). \quad (1-3)$$

Nav grūti pārliecināties, ka darbs, kuru aprēķina pēc vienādības (1-3), ir vienāds ar apgrieztā Karno cikla veikšanai nepieciešamo darbu. Karno cikls (1-6. att.) sastāv no divām izotermām un divām adiabatām. Izotermiskā procesā 4-1 ( $T_0 = \text{const}$ ) darba viela no dzesējamā ķermeņa novada siltuma daudzumu  $q_0$ , kuru attēlo laukums 1-a-b-4-1. Adiabatiskā procesā 1-2 darba viela saspiež, patērējot darbu  $l_{1,2}$ , pie tam tās temperatūra paaugstinās no  $T_0$  līdz  $T$ . Pēc tam izotermiskā procesā 2-3 darba viela plūst gar dzesētāju, kura temperatūra  $T$ , un pievada tam siltuma daudzumu  $q$ , kas aprēķināms pēc laukuma a-2-3-b-a lieluma. Procesā 3-4 darba viela adiabatiski izplešas, veicot lietderīgu darbu  $l_{3,4}$ , un tās temperatūra pazeminās no  $T$  līdz  $T_0$ . Rezultātā siltuma  $q_0$  aizvadišanai no zemākas temperatūras  $T_0$  siltuma avota uz augstākas temperatūras  $T$  siltuma avotu ir patērēts mehāniskais darbs  $l$ , kas vienāds ar darba vielas saspiešanas un izplešanās darbu starpību ( $l = l_{1-2} - l_{3-4}$ ). Sis patērētais darbs atbilst laukumam 1-2-3-4-1, un to var aprēķināt, izmantojot vienādību (1-3). Apvienojot formulas (1-2) un (1-3), iegūst apgrieztā Karno cikla dzesēšanas koeficientu



1-6. att. Apgrieztais Karno cikls.



$$\epsilon_{\text{K}} = \frac{q_0}{l} = \frac{T_0}{T - T_0}, \quad (\text{I-4})$$

un tas nav atkarīgs no darba vielas (aukstuma aģenta) īpašībām, bet tikai no absolūtajām temperatūrām  $T$  un  $T_0$ . Dzesēšanas koeficients ir jo lielāks, jo mazāka ir starpība starp augstākās temperatūras siltuma avota temperatūru un zemākās temperatūras siltuma avota temperatūru, t. i.,  $T - T_0$ .

Praktiski zemākās temperatūras siltuma avots ir dzesējamā telpa vai produkti, bet augstākās temperatūras siltuma avots — apkārtējā vide (gaiss vai dzesējošais ūdens). Ekonomisku apsvērumu dēļ nav vēlams produktus atdzesēt (vai sasaldēt) zemāk par nepieciešamo temperatūru, jo tas saistīts ar papildu mehāniskā darba veikšanu. Tāpat arī nav vēlama apkārtējās vides temperatūras  $T$  paaugstināšanās (piemēram, vasaras periodā), jo tas palielina darba patēriņu. Šis apgrieztā Karno cikla īpašības ir spēkā jebkuram reālam aukstuma mašīnas darba ciklam. Tāpat kā siltuma mašīnām tiešais Karno cikls ir ideāls cikls ar visaugstāko termisko lietderības koeficientu, aukstuma mašīnām apgrieztais Karno cikls ir ideāls aukstuma cikls ar vismazāko mehāniskā darba patēriņu un vislielāko dzesēšanas koeficientu.

Visi reālie cikli ir vairāk vai mazāk neatgriezeniski, t. i., to realizēšanai patērē vairāk enerģijas un dzesēšanas koeficients ir mazāks nekā apgrieztajam Karno ciklam. Ciklu neatgriezeniskums rodas berzes dēļ un tādēļ, ka tiek izjaukts sistēmas termiskais un mehāniskais līdzsvars. Tā, piemēram, lai notiktu siltuma apmaiņas process, nepieciešama temperatūru diference, kas izjauc sistēmas termisko līdzsvaru. Darba vielas temperatūrai  $T_0$ , uzņemot siltumu, jābūt vienmēr zemākai nekā dzesējamā ķermeņa temperatūra par kādu galīgu lielumu  $\Delta T_0$ . Savukārt, atdodot siltumu apkārtējai videi, darba vielas temperatūrai  $T$  jābūt augstākai nekā apkārtējās vides temperatūra par kādu lielumu  $\Delta T$ . Pazeminot temperatūru  $T_0$  un palielinot darba vielas temperatūru starpību  $T - T_0$ , aukstuma mašīnas darba apstākļi pasliktinās.

## 5. Aukstuma mašīnu klasifikācija

Par aukstuma mašīnu sauc noslēgtu sistēmu, kas strādā, realizējot apgrieztu (aukstuma) ciklu. Sistēmā cirkulē darba viela (aukstuma aģents), kam atmosfēras spiedienā ir zema vārišanās temperatūra. Mašīnas darba gaitā darba viela, veicot noslēgtu ciklu, rada dzesēšanas efektu, t. i., atņem siltumu vēsākam ķermenim un atdod to ķermenim ar augstāku temperatūru, pie tam cikla veikšanai jāpatērē mehāniskā enerģija vai siltuma enerģija, kuru pievada no ārienes.



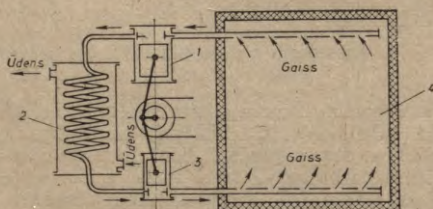
Atkarībā no darbināšanai patērētā enerģijas veida aukstuma mašīnas var iedalīt divās grupās: 1) mašīnas, kurās aukstuma cikla realizēšanai patērē mehānisko enerģiju [gāzu (gaisa) un tvaika kompresijas aukstuma mašīnas]; 2) mašīnas, kurās aukstuma cikla realizēšanai patērē siltuma enerģiju (absorbcijas un tvaika ežekcijas aukstuma mašīnas). Gāzu kompresijas aukstuma mašīnās aukstuma ražošanai izmanto spiestu gāzu adiabātisko (izoentropisko) izplešanos. Tvaika kompresijas un absorbcijas aukstuma mašīnu darbība pamatojas uz darba vielas vārišanos (iztvaikošanu) zemās temperatūrās.

## 6. Gāzu kompresijas aukstuma mašīnas cikls

Gāzes spiedienam strauji samazinoties, tās temperatūra ievērojami pazeminās, ja gāze iepriekš atdzesēta zemāk par inversijas temperatūru (vairumam gāzu inversijas temperatūra augstāka par 800 K). Šī parādība izmantota gāzu kompresijas aukstuma mašīnās.

Aukstumtehnikas attīstības sākumā rūpnieciskai aukstuma ieguvei par darba vielu izmantoja visvieglāk iegūstamo gāzu maisījumu — gaisu. Gāzu kompresijas aukstuma mašīnas galvenās sastāvdaļas ir kompresors, dzesētājs un izplešanās cilindrs (detenders).

Gāzu kompresijas aukstuma mašīnas darbības princips ir šāds. Gaisu no dzesējamās telpas 4 (1-7. att.) pa gaisa vadu iesūc kompresorā 1 un tur adiabātiski saspiež, paaugstinot tā temperatūru. Saspiesto gaisu no kompresora cilindra aizvada uz dzesētāju 2, kur to izobāriski (nemainot spiedienu) atdzesē ar ūdeni. Tālāk atdzesētais gaiss nonāk izplešanās cilindrā jeb detenderā 3, kur tas veic lietderīgu darbu (līdzīgi tam, kā tvaiks darbina tvaika mašīnu), adiabātiski izplešoties līdz sākotnējam spiedienam. Gaisa temperatūra ievērojami pazeminās, pat līdz  $-60$ ,  $-70$  °C, un to ievada atpakaļ dzesējamā telpā 4.



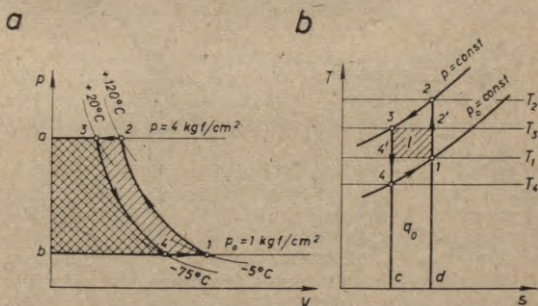
1-7. att. Gāzu kompresijas aukstuma mašīnas shēma:

1 — kompresors; 2 — dzesētājs; 3 — izplešanās cilindrs (detenders); 4 — dzesējamā telpa.

Gaisa kompresijas aukstuma mašīnas cikls  $p-v$  un  $T-s$  koordinātēs parādīts 1-8. attēlā. Līnija 1-2 attēlo gaisa adiabatisku saspiešanu kompresorā; līnija 2-3 — gaisa izobārisku atdzesēšanu dzesētājā; līnija 3-4 — gaisa adiabatisku izplešanos detenderā, bet līnija 4-1 attēlo gaisa izobārisku sasilšanu, ņemot siltumu no dzesējamās telpas. Šāda aukstuma cikla realizēšanai jāpatērē mehāniskais darbs. 1-8. attēlā  $a$  diagrammas laukums 1-2- $a$ - $b$ -1 atbilst gaisa saspiešanas darbam kompresorā  $l_k$ , bet laukums 3-4- $b$ - $a$ -3 — lietderīgajam darbam  $l_e$ , kuru gaisa, adiabatiski izplešoties, veic izplešanās cilindrā 3. Starpība  $l=l_k-l_e$ , kas atbilst cikla laukumam 1-2-3-4-1, ir gāzu kompresijas aukstuma mašīnas darbināšanai patērētais darbs.

$T-s$  diagrammā siltuma daudzumu  $q_0$ , ko no dzesējamā ķermeņa (telpas) uzņem 1 kg gaisa, t. i., darba vielas īpatnējo masas aukstuma ražīgumu, attēlo laukums  $c$ -4-1- $d$ - $c$ , bet siltuma daudzumu  $q$ , kuru gaisa atdod dzesējošajam ūdenim (videi ar augstāku temperatūru  $T_3$  nekā dzesējamās telpas temperatūra  $T_1$ ), raksturo laukums  $d$ -2-3- $c$ - $d$ . Gāzu kompresijas aukstuma mašīnas cikla realizēšanai nepieciešamais darbs  $l=q-q_0$  atbilst laukuma 1-2-3-4-1 lielumam. No diagrammas redzams, ka patērētais darbs  $l$  ir ievērojami lielāks nekā apgrieztā Karno cikla realizēšanas darbs, kas atbilst laukumam 1-2'-3-4'-1 (veido divas adiabātas 1-2'; 3-4' un divas izotermas 2'-3; 4'-1 atbilstoši dzesējošā ūdens un dzesējamās telpas temperatūrām  $T_3$  un  $T_1$ ). Tas nozīmē, ka gāzu kompresijas aukstuma mašīnas teorētiskā cikla dzesēšanas koeficients ir mazāks nekā apgrieztā Karno cikla dzesēšanas koeficients.

Gāzu kompresijas aukstuma mašīnu trūkums ir to lieli gabarīzēri. Tā kā gaisa īpatnējais siltums ir mazs [ $c_p=0,996$  kJ/(kg·K) = = 0,238 kcal/(kg·K)], tad mašīnai jāpārsūknē liels gaisa daudzums. Tādēļ, piemēram, gaisa kondicionēšanas iekārtās virzuļkompresoru vietā lieto turbokompresorus.



1-8. att. Gaisa kompresijas aukstuma mašīnas cikls:

$a$  —  $p-v$  diagramma;  $b$  —  $T-s$  diagramma.



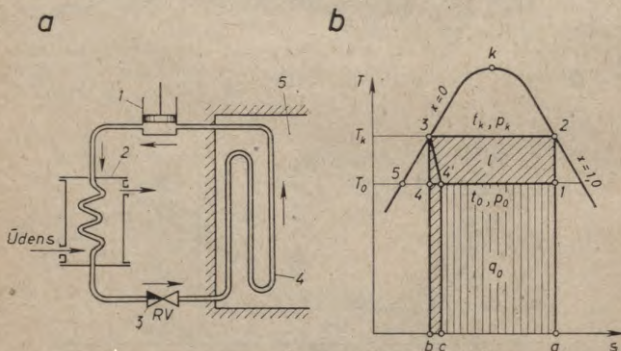
## 7. Tvaika kompresijas aukstuma mašīnas cikls

Tvaika kompresijas aukstuma mašīna sastāv no kompresora, kondensatora, spiedienu regulējošā (zmaudzes) ventiļa (RV) un iztvaikotāja, kuri ar cauruļvadiem savienoti noslēgtā sistēmā. Kompresoram darbojoties, šādā sistēmā cirkulē darba viela — viegli sašķidrināma gāze. Galvenā tvaika kompresijas aukstuma mašīnu priekšrocība salīdzinājumā ar gāzu kompresijas aukstuma mašīnām ir tā, ka darba cikls galvenokārt notiek mitra tvaika apgabalā, t. i., starp robežlīknēm. Līdz ar to iespējams tvaika kompresijas aukstuma mašīnas ciklu tuvināt apgrieztajam Karno ciklam, jo mitra tvaika apgabalā izobāras un izoterms sakrīt.

Dzesējamā telpā 5 novietots speciāls no caurulēm izveidots siltumapmaiņas aparāts — iztvaikotājs 4 (I-9. att.). Iztvaikotājā ieplūst darba viela (aukstuma aģents) mitra tvaika veidā, kurš satur daudz šķidrās fāzes ( $x > 0$ ).  $T-s$  diagrammā darba vielas parametrus brīdī, kad tā ieplūst iztvaikotājā, raksturo cikla punkts 4. Šajā aparātā pastāvīga spiediena  $p_0$  un atbilstoši zemas temperatūras  $T_0$  apstākļos šķidrums vārās, iztvaikošanai nepieciešamo siltumu uzņemot no dzesējamās vides, tādēļ telpa atdziest.  $T-s$  diagrammā iztvaikošanas procesu attēlo līnija 4-1.

Tvaiku, kas rodas iztvaikotājā, raksturo  $T-s$  diagrammas punkta 1 parametri. Kompresors šo tvaiku iesūc, adiabatiski saspiež ( $T-s$  diagrammā process 1-2) un novada kondensatorā. Kompresorā pieaug gan tvaika spiediens ( $p_k > p_0$ ), gan arī temperatūra ( $T_k > T_0$ ).

Kondensatorā darba vielas tvaiki pie konstanta spiediena  $p_k$  atdod daļu siltuma dzesējošajai videi (ūdenim, gaisam) un kondensējas, t. i., sašķidrinās. Kondensācijas laikā darba vielas temperatūra



I-9. att. Tvaika kompresijas aukstuma mašīna:

a — shēma; 1 — kompresors; 2 — kondensators; 3 — regulējošais ventīlis; 4 — iztvaikotājs; 5 — dzesējamā telpa; b — darba cikls.



$T_k$  nemainās. Šo procesu  $T$ - $s$  diagrammā attēlo līnija 2-3. Kondensācijas temperatūra un spiediens ir atkarīgi no dzesējošās vides temperatūras. Jo zemāka ir dzesējošās vides temperatūra, jo zemāka ir kondensācijas temperatūra un arī spiediens.

Atšķirībā no gāzu kompresijas aukstuma mašīnām tvaika kompresijas aukstuma mašīnās izplešanās cilindrs (detenders) ir aizstāts ar spiedienu regulējošo (redukcijas) ventili (RV), caur kuru, plūstot no kondensatora uz iztvaikotāju, droselēšanas rezultātā sašķidrinātās darba vielas spiediens pazeminās. Kā zināms, droselēšanas process ir neatgriezenisks un to raksturo nemainīga entalpija ( $i = \text{const}$ ), tādēļ  $T$ - $s$  diagrammā to attēlo ar līniju 3-4'.

Tānad tvaika kompresijas aukstuma mašīna nedarbojas pēc Karno cikla, jo adiabatiskās izplešanās vietā notiek spiediena pazemināšanās regulējošajā ventilī, pie tam pirms un pēc ventiļa darba vielas entalpijas ir vienādas, t. i.,  $i_3 = i_{4'} = \text{const}$ . Regulējošais ventīlis ļauj vienkārši regulēt aukstuma mašīnas iztvaikotājam pievadāmās darba vielas daudzumu.

Aizstājot šķidrums adiabatisku izplešanos ar spiediena pazemināšanu regulējošajā ventilī, nedaudz samazinās darba vielas īpatnējais masas aukstuma ražīgums, jo, plūstot caur ventili, neliela daļa šķidrums iztvaiko. Šķidrums iztvaikošanu regulējošajā ventilī  $T$ - $s$  diagrammā raksturo nogrieznis 4-4'. Aukstuma ražīguma zudumi  $\Delta q_0$  nosakāmi pēc laukuma  $b$ -4-4'- $c$ - $b$  lieluma. Vienlaikus palielinās darba patēriņš, un vairumam darba vielu tā pieaugums vienāds ar laukuma 3-4-5-3 lielumu. Vismazākie aukstuma ražīguma zudumi regulējošajā ventilī ir amonjaka aukstuma mašīnās, jo amonjakam ir lielāks īpatnējais siltums un iztvaikošanas siltums nekā pārējiem aukstuma aģentiem.

Tā kā aukstuma mašīnai ar regulējošo ventili darba vielas īpatnējais masas aukstuma ražīgums ir mazāks, bet īpatnējais darba patēriņš lielāks nekā atbilstošajam Karno ciklam, tad arī tās cikla dzesēšanas koeficients  $\epsilon$  ir mazāks nekā Karno cikla dzesēšanas koeficients  $\epsilon_K$ .

Tvaika kompresijas aukstuma mašīnām ar regulējošo (redukcijas) ventili 1 kg darba vielas aukstuma ražīgumu  $q_0$  vienam ciklam aprēķina kā laukumu  $c$ -4'-1- $a$ - $c$ , darba patēriņu  $l$  — kā laukumu 1-2-3-5-1, bet dzesēšanas koeficientu  $\epsilon$  aprēķina kā šo laukumu attiecību.

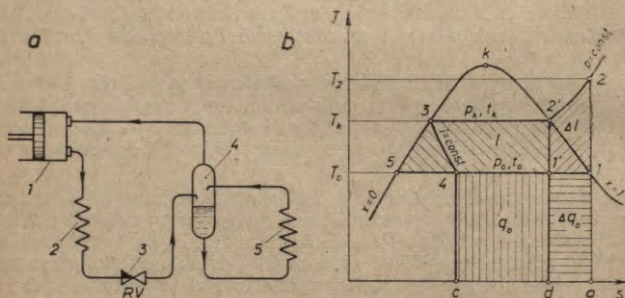
Attīstoties aukstumtehnikai, tika izdarīti pētījumi, kā palielināt darba vielu īpatnējo masas aukstuma ražīgumu un uzlabot mašīnu ekspluatācijas apstākļus. Rezultātā noskaidrojās, ka to var panākt, izmainot mašīnas teorētiskā cikla darba apstākļus. Raksturīga aplūkotā tvaika kompresijas aukstuma mašīnas cikla īpatnība ir darba vielas mitra tvaika iesūkšana kompresorā un tā adiabatiska saspiešana līdz sausa piesātināta tvaika stāvoklim jeb t. s. kompresora «mitrais gājiens». Teorētiski šāds darba režīms ir izdevīgāks, jo aukstuma mašīnas cikls tuvojas apgrieztajam Karno ciklam.

Taču mitrais tvaiks kompresorā var radīt hidrauliskos triecienus, kā arī notiek intensīva siltuma pāreja no kompresora cilindra sienām uz darba vielu, kas nav vēlama, jo pazemina darba vielas īpatnējo masas aukstuma ražīgumu un palielina darba patēriņu.

Praktiski tomēr izdevīgāks ir kompresora «sausais gājiens», kad kompresors mitra tvaika vietā iesūc sausu piesātinātu tvaiku. Lai to realizētu, aukstuma mašīnas sistēmā starp iztvaikotāju un kompresoru uzstāda palīgaparātu, t. s. šķidruma atdalītāju (1-10. att.).

No iztvaikotāja darba vielas tvaiks kompresorā nonāk caur šķidruma atdalītāju, kur tas atbrīvojas no šķidruma pilieniņiem. Šķidrumu novada atpakaļ uz iztvaikotāju, bet sauso piesātināto tvaiku, ko  $T-s$  diagrammā raksturo punkta 1 parametri, iesūc kompresorā. Kompresorā tvaika saspiešana notiek adiabatiski ( $s = \text{const}$ ) pa līniju 1-2 pārkarsēta tvaika apgabalā līdz krustpunktam ar izobāru 2'-2. Tvaika temperatūra  $T_2$  ir augstāka nekā kondensācijas temperatūra  $T_k$ , jo pārkarsēta tvaika apgabalā izoterms un izobāras nesakrīt, kā tas ir mitra tvaika apgabalā. Pārkarsētu tvaiku (raksturo punkts 2) ievada kondensatorā, kur tas vispirms atdziest līdz piesātināta tvaika temperatūrai (līnija 2-2') un pēc tam kondensējas (līnija 2'-3), temperatūrai nemainoties. Tvaika atdziesēšana un kondensācija kondensatorā notiek izobāriski ( $p = \text{const}$ ). Sašķidrīnātā darba viela no kondensatora plūst caur regulējošo ventili (līnija 3-4) uz iztvaikotāju, notiek iztvaikošana (līnija 4-1'-1), un cikls atkārtojas.

Mainot aukstuma mašīnas darba režīmu, t. i., pārejot no kompresora «mitrā gājienu» un «sausu gājienu», viena cikla darba vielas īpatnējais masas aukstuma ražīgums palielinās par lielumumu  $\Delta q_0$ , kuru izsaka laukums  $d-1'-1-a-d$ , un darba patēriņš palielinās par lielumumu  $\Delta l$ , ko attēlo laukums  $1'-1-2-2'-1'$ . Salīdzinājumā ar



1-10. att. Tvaika kompresijas aukstuma mašina ar šķidruma atdalītāju: a — shēma; 1 — kompresors; 2 — kondensators; 3 — regulējošais ventils; 4 — šķidruma atdalītājs; 5 — iztvaikotājs; b — kompresora «mitrā gājienu» un «sausā gājienu» diagramma; k — kritiskais punkts.

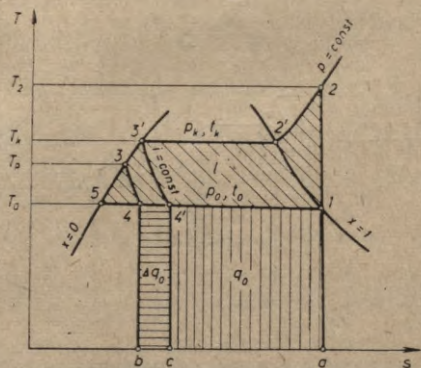


Karno ciklu dzesēšanas koeficients tomēr pazeminās, jo darba patēriņa pieaugums ir lielāks nekā aukstuma ražīguma pieaugums. No teorētiskā viedokļa pārejai uz «sauso gājienu» nav lielas nozīmes, tomēr praktiskās priekšrocības (samazinās siltuma pāreja no kompresora cilindra sienīnām uz darba vielu, hidraulisko triecienu novēršana) nodrošināja šī darba režīma ieviešanu praksē.

Tvaika kompresijas aukstuma mašīnas darbā liela nozīme ir arī darba vielas šķidrums pārdzesēšanai pēc kondensācijas. Kondensatorā sašķidrināto darba vielu, neizmainot tās spiedienu, ar ūdeni vai gaisu atdzesē zemāk par kondensācijas temperatūru. *Pārdzesēšanas process* var notikt pašā kondensatorā, ja darba viela un dzesējošā viela plūst pretplūsmā, vai arī speciālā aparātā — *pārdzesētājā*. *T-s* diagrammā (I-11. att.) pārdzesēšanas procesu attēlo pastāvīga spiediena līnija 3'-3, kas praktiski sakrīt ar apakšējo robežlīkni  $x=0$ .

Pārdzesēšanas rezultātā šķidrās darba vielas entalpija pirms regulējošā ventiļa samazinās, tādēļ droselēšanas procesā darba viela mazāk iztvaiko un neatgriezeniskie siltuma zudumi samazinās. Bez tam vēl, nepalielinoties darba patēriņam, 1 kg darba vielas aukstuma ražīgums palielinās par  $\Delta q_0$ , kas atbilst laukumam  $b-c-4'-4-b$ . Sevišķi stipri pārdzesēšana ietekmē aukstuma ražīgumu, ja darba vielas kritiskā temperatūra ir samērā zema, t. i., tuva darba režīma temperatūrai. Tādā gadījumā pat neliela pārdzesēšana dod ievērojamu aukstuma ražīguma palielināšanās efektu.

Tvaika kompresijas aukstuma mašīnas shēma un tās teorētiskais darba cikls, ņemot vērā visas aplūkotās īpatnības, parādīts I-12. attēlā. Cikla realizēšanai patērēto darbu raksturo laukums  $1-2-2'-3'-$



I 11. att. Sašķidrinātas darba vielas pārdzesēšanas process *T-s* diagrammā.



-5-1, darba vielas īpatnējo masas aukstuma ražīgumu  $q_0$  — laukums  $a-1-4-b-a$ , bet cikla procesus attēlo kontūra 1-2-2'-3'-3-4-1. Teorētiskā cikla dzesēšanas koeficientu aprēķina pēc laukumu attiecības

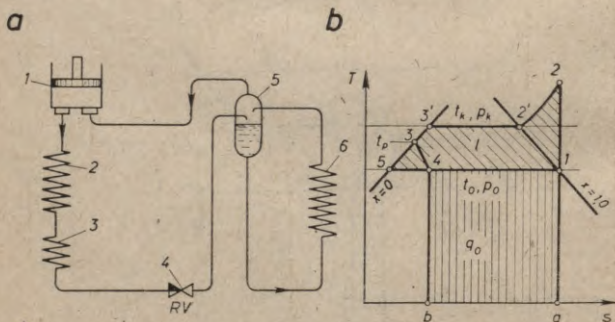
$$\epsilon_t = \frac{q_0}{l} = \frac{\text{laukums } a-1-4-b-a}{\text{laukums } 1-2-2'-3'-5-1}.$$

Aukstuma mašīnas teorētiskā cikla dzesēšanas koeficients ir mazāks nekā apgriezta Karno cikla dzesēšanas koeficients ( $\epsilon_t < \epsilon_K$ ), ko var izskaidrot ar iepriekš minētajām teorētiskā cikla īpatnībām, kā arī ar to, ka siltuma nodrošināšanai siltumapmaiņas aparātos — kondensatorā un iztvaikotājā — nepieciešama noteikta temperatūru starpība.

Darba vielas kondensācijas temperatūrai vienmēr jābūt augstākai nekā kondensatoru dzesējošās vielas temperatūra, bet darba vielas vārīšanās temperatūrai iztvaikotājā jābūt zemākai nekā dzesējamo produktu vai telpas temperatūra. Kondensācijas un vārīšanās temperatūru var paaugstināt vai pazemināt, palielinot vai samazinot spiedienu kondensatorā un iztvaikotājā. Palielinoties kondensācijas un vārīšanās temperatūru starpībai, pieaug darba patēriņš, kāds nepieciešams viena un tā paša aukstuma daudzuma ražošanai. Tātad aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums ir atkarīgs no tās darba apstākļiem.

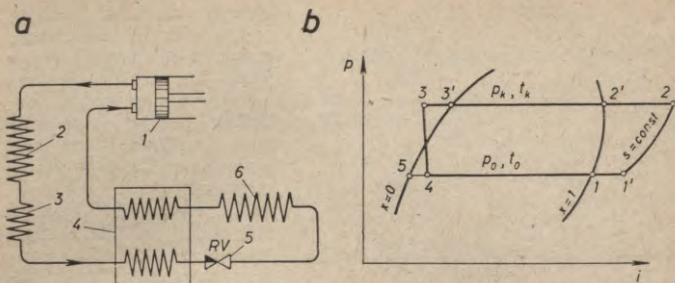
Bez jau minētajām četrām galvenajām sastāvdaļām (kompresora, kondensatora, regulējošā ventiļa un iztvaikotāja) praksē tvaika kompresijas aukstuma mašīnām nepieciešami arī dažādi palīgaparāti, piemēram, šķidrums atdalītāji, eļļas atdalītāji, gaisa atdalītāji, filtri, resiveri, sūkņi, ventilatori u. c.

Aukstuma mašīnai nepieciešamie palīgaparāti atkarīgi no lietojamās darba vielas īpašībām. Tā, piemēram, freona aukstuma



1-12. att. Tvaika kompresijas aukstuma mašīnas shēma un teorētiskais cikls  $T$ - $s$  diagrammā:

$a$  — shēma; 1 — kompresors; 2 — kondensators; 3 — pārdzesētājs; 4 — regulējošais ventīlis; 5 — šķidrums atdalītājs; 6 — iztvaikotājs;  $b$  — teorētiskais cikls.



1-13. att. Freona aukstuma mašīnas shēma ar reģeneratīvo siltumapmainītāju: a — shēma; 1 — kompresors; 2 — kondensators; 3 — pārdzesētājs; 4 — reģeneratīvais siltumapmainītājs; 5 — regulējošais ventīlis; 6 — iztvaikotājs; b — cikls  $p$ - $i$  diagrammā.

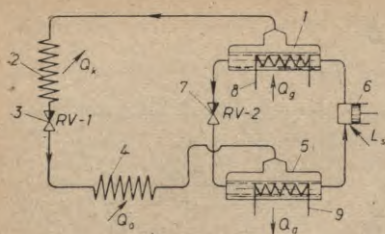
mašīna strādā labāk, ja uzstādīts *reģeneratīvais siltumapmainītājs* 4, kurā no iztvaikotāja uz kompresoru plūstošo freona tvaiku pārkarsē no pārdzesētāja uz regulējošo ventili plūstošais šķidrās freons, atdodot tvaikam daļu sava siltuma (I-13. att.). Rezultātā samazinās droselēšanas zudumi regulējošajā ventīlī, jo šķidrās darba vielas pārdzesēšanas pakāpe ir lielāka. Taču vienlaikus palielinās tvaika saspiešanas darbs, jo kompresora cilindrā ielūst pārkarsēts freona tvaiks. Šādas aukstuma mašīnas cikls  $p$ - $i$  diagrammā parādīts I-13. attēlā b. Freona tvaika adiabatisku saspiešanu kompresorā pārkarsēta tvaika apgabalā attēlo līnija  $1'-2$  ( $s = \text{const}$ ). Izobārisku pārkarsēta tvaika atdzesēšanu kondensatorā līdz sausa piesātināta tvaika parametriem raksturo taisnes nogrieznis  $2-2'$ , kondensāciju —  $2'-3'$ , šķidrā freona pārdzesēšanu pārdzesētājā un reģeneratīvajā siltumapmainītājā —  $3'-3$ . Spiediena samazināšanos regulējošajā ventīlī droselēšanas dēļ ( $i = \text{const}$ ) attēlo līnija  $3-4$ . Freona izobārisku vārišanos iztvaikotājā raksturo līnija  $4-1$ , bet tvaika pārkarsēšanu reģeneratīvajā siltumapmainītājā —  $1-1'$ .

Visplašāk praksē lieto amonjaka un freona tvaika kompresijas aukstuma mašīnas, kurām ir augsts dzesēšanas koeficients, nelieli gabarītmēri un samērā vienkārša un droša tehniskā ekspluatācija.

## 8. Absorbcijas aukstuma mašīnas

Absorbcijas aukstuma mašīnas galvenās sastāvdaļas ir ģenerators, absorbers, kondensators, regulējošie ventīļi RV-1 un RV-2, iztvaikotājs un sūknis. Absorbcijas aukstuma mašīnas darbojas ar binārajiem maisījumiem, kuru termodinamiskās īpašības atšķiras no viendabīgu vielu īpašībām. Derīgi tikai tādi binārie maisījumi, kuru komponentiem vienāda spiediena apstākļos ir krasi atšķirīgas vārišanās temperatūras. Vieglāk gaistošais komponents, kuram





1-14. att. Absorbcijas aukstuma mašīnas shēma:

1 — ģenerators; 2 — kondensators; 3 — RV-1; 4 — iztvaikotājs; 5 — absorbers; 6 — sūkņš; 7 — RV-2; 8 — sildītājs; 9 — dzesētājs.

daudzumu  $Q_g$  pievada ar ūdens tvaiku vai no cita enerģijas avota. Sildīšanas rezultātā ģeneratorā rodas vieglāk gaistošā komponenta (amonjaka) tvaiks, kuru pa cauruli aizvada uz kondensatoru 2, un atšķaidīts amonija hidroksīda šķīdums, kuru droselē regulējošajā ventilī 7 (RV-2) un ievada absorberā 5. Kondensatorā, kur cirkulē aukstais ūdens, notiek amonjaka tvaika izobāriska kondensācija. Dzesējošais ūdens no kondensatora aizvada siltuma daudzumu  $Q_k$ . Šķidrās amonjaks no kondensatora caur regulējošo ventili 3, pazeminoties spiedienam līdz  $p_0$ , ieplūst iztvaikotājā 4, kur tas vārās (iztvaiko), uzņemot siltuma daudzumu  $Q_0$  no dzesējamās vides. Amonjaka tvaiks no iztvaikotāja nepārtraukti nonāk absorberā 5, kur tas absorbējas atšķaidītajā amonija hidroksīda šķīdumā, kuru absorberā ievada no ģeneratora. Spiediens absorberā praktiski vienāds ar spiedienu iztvaikotājā. Amonjaka tvaikam absorbējoties vājas koncentrācijas šķīdumā, izdalās absorbcijas siltums  $Q_a$ , kuru no absorbera aizvada dzesējošais ūdens. Amonija hidroksīda šķīduma koncentrācija absorberā pieaug, un šo šķīdumu ar sūkni 6 pārsūknē uz ģeneratoru, kur spiediens ir augstāks nekā absorberā. Sūkņa darbināšanai patērē mehānisko darbu  $L_s$ .

Tāpat absorbcijas aukstuma mašīnā darba viela cirkulē sistēmā kondensators — RV-1 — iztvaikotājs — absorbers — sūkņš — ģenerators — kondensators, bet absorbents cirkulē sistēmā absorbers — sūkņš — ģenerators — RV-2 — absorbers. Absorbcijas aukstuma mašīnas darba cikla realizēšanai nepieciešama siltuma enerģija ģeneratora sildīšanai, mehāniskā enerģija sūkņa darbināšanai un auksts ūdens kondensatora un absorbera dzesēšanai.

Absorbcijas aukstuma mašīnas siltuma bilances vienādojums ir šāds:

$$Q_k + Q_a = Q_0 + Q_g + L_s, \quad (I-5)$$

kur  $Q_k$  — ar dzesējošo ūdeni no kondensatora aizvadītais siltuma daudzums;



$Q_a$  — ar dzesējošo ūdeni no absorbera aizvadītais siltuma daudzums;

$Q_0$  — siltuma daudzums, ko iztvaikotājs uzņem no dzesējamās vides;

$Q_g$  — ģeneratoram pievadītais siltuma daudzums;

$L_s$  — sūkņa darbināšanai patērētā enerģija.

Sūkņa darbināšanai patērētā enerģija  $L_s$  ir maza, tādēļ to var neņemt vērā.

Absorbcijas aukstuma mašīnas darba efektivitāti raksturo dzesēšanas koeficients  $\epsilon_a$ , kas vienāds ar iztvaikotāja uzņemtā siltuma daudzuma  $Q_0$  un patērētā siltuma daudzuma  $Q_g$  attiecību, t. i.,

$$\epsilon_a = \frac{Q_0}{Q_g} \quad (I-6)$$

Absorbcijas aukstuma mašīnu dzesēšanas koeficients ir ievērojami zemāks nekā tvaika kompresijas aukstuma mašīnu dzesēšanas koeficients, bet absorbcijas mašīnām var izmantot lētus siltuma avotus — sekundāro tvaiku, aizplūstošās dūmgāzes, karstu ūdeni, saules enerģiju utt. Praksē sastopamas gan ļoti liela, gan arī maza ražīguma absorbcijas aukstuma mašīnas.

## 9. Tvaika ežekcijas aukstuma mašīnas

Tvaika ežekcijas aukstuma mašīnas (I-15. att.) galvenās sastāvdaļas ir tvaika katls 1, iztvaikotājs 2, kondensators 3, tvaika ežektoru, regulējošais ventils 7, ūdens cirkulācijas sūkņi 8 un 11. Tie savā starpā savienoti ar cauruļvadiem.

Tvaika katlam 1 pievadot siltuma daudzumu  $Q_1$ , iegūst primāro tvaiku (spiediens  $p_1$ ), kuru novada uz tvaika ežektoru.

Iztvaikotājs 2 ir hermētiska cilindriska tvertne, kuras augšējā daļā novietotas caurules ar izsmidzināšanas sprauslām. Caurulēm pievadītais ūdens, plūstot caur sprauslām, izsmidzinās un sakrājas iztvaikotāja tvertnes apakšējā daļā. Mašīnas darba laikā iztvaikotāja tvertnē rodas retinājums (spiediens  $p_0$ ), tādēļ ūdens vārišanās temperatūra ievērojami pazeminās un notiek intensīva iztvaikošana, kuras rezultātā ūdens iztvaikotājā atdziest. Atdzesēto ūdeni (aukstuma aģentu) no iztvaikotāja ar sūkni 8 aizvada uz telpā 9 novietotajiem dzesējošajiem ķermēņiem 10, kur tas sasilst, uzņemot siltuma daudzumu  $Q_0$ . Pēc tam ūdeni no jauna izsmidzina iztvaikotājā. Vārišanās iztvaikotājā notiek, tam uzņemot siltuma daudzumu  $Q_0$  no dzesējamās telpas 9.

Sekundāro tvaiku, kas rodas iztvaikotājā, nosūc ar ežektoru, kas sastāv no sprauslas 4, tvaiku sajaukšanās kameras 5 un difuzora 6.

Primārais tvaiks, plūstot caur sprauslu 4, izplešas, tā spiediens pazeminās, bet plūsmas ātrums palielinās, t. i., plūstot caur sprauslu,

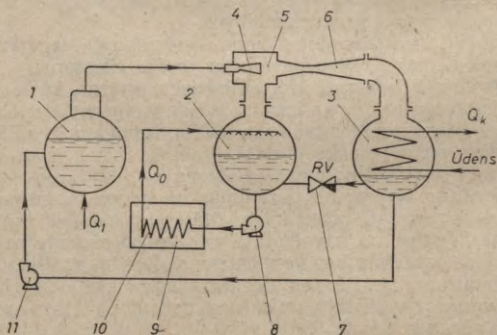
tvaika potenciālā enerģija (spiediena enerģija) pārveidojas kinētiskajā enerģijā. Izplūstot no sprauslas, tvaika spiediens praktiski ir nedaudz zemāks par spiedienu iztvaikotājā  $p_0$ . Tādēļ un arī tvaika plūsmas lielā ātruma dēļ sajaukšanās kamerā tiek iesūkti aukstais tvaiks no iztvaikotāja, un te izveidojas tvaiku maisījums, ko ievada difuzorā 6. Difuzora konusa šķērsriezuma laukumam palielinoties, tvaiku maisījuma plūsmas ātrums strauji samazinās un tvaika kinētiskā enerģija atkal pārveidojas potenciālajā enerģijā. Rezultātā tvaika spiediens pieaug no  $p_0$  līdz kondensācijas spiedienam  $p_k$  kondensatorā 3. Tātad difuzorā notiek tvaiku maisījuma saspiešana.

Kondensatorā tvaiku maisījums kondensējas, atdodot siltuma daudzumu  $Q_k$  ūdenim, kas dzesē kondensatoru. Daļu kondensāta caur regulējošo ventili 7 novada uz iztvaikotāju, bet pārējo ar sūkni 10 iesūknē tvaika katlā. Sūkņa darbināšanai tiek patērēts darbs  $L_s$ . Tvaika ežektorā tiek patērēta siltuma enerģija, bet difuzorā notiek siltuma enerģijas pārveidošanās mehāniskajā darbā, kas saspiež tvaiku maisījumu.

Tvaika ežekcijas aukstuma mašīnā it kā apvienota aukstuma un siltuma mašīna, jo tajā realizējas tiešais cikls, kurā siltums pārvēršas darbā, un apgrieztais cikls, kas nodrošina siltuma pāreju no vēsākā ķermeņa uz siltāko (ūdens temperatūra iztvaikotājā zemāka nekā kondensatorā).

Tvaika ežekcijas aukstuma mašīnas siltuma bilanci izsaka vienādojums

$$Q_1 + Q_0 + L_s = Q_k, \quad (I-7)$$



I-15. att. Tvaika ežekcijas aukstuma mašīnas shēma:

1 — tvaika katls; 2 — iztvaikotājs; 3 — kondensators; 4 — sprausla; 5 — sajaukšanās kamera; 6 — difuzors; 7 — regulējošais ventils; 8 — dzesējošā ūdens (aukstuma aģenta) cirkulācijas sūkņš; 9 — dzesējamā telpa; 10 — dzesējošais ķermenis (baterija); 11 — kondensāta sūkņš.



kur  $Q_1$  — tvaika katlam pievadītais siltuma daudzums;  
 $Q_0$  — no dzesējamās telpas aizvadītais siltuma daudzums;  
 $L_s$  — sūkņa darbināšanai patērētais darbs, kas izteikts siltuma vienībās;

$Q_k$  — siltuma daudzums, kuru kondensatorā no darba vielas aizvada ar dzesējošo ūdeni.

Kopējais siltuma patēriņš aukstuma mašīnas darba ciklā

$$Q = Q_1 + L_s. \quad (I-8)$$

Tvaika ežekcijas aukstuma mašīnas cikla dzesēšanas koeficientu aprēķina kā no dzesējamās telpas aizvadītā siltuma daudzuma un kopējā siltuma patēriņa attiecību, t. i.,

$$\varepsilon_e = \frac{Q_0}{Q}. \quad (I-9)$$

Sajās aukstuma mašīnās ir liels tvaika un ūdens patēriņš. Zemu temperatūru sasniegšanai iztvaikotājā jārada dziļš vakuums.

Tvaika ežekcijas aukstuma mašīnu priekšrocības ir šādas: darba viela (ūdens) ir viegli iegūstama, lēta, nekaitīga, droša, tai ir liels iztvaikošanas siltums; mašīnas darbināšanai nepieciešama tikai siltuma enerģija (mehāniskās enerģijas  $L_s$  patēriņš salīdzinājumā ar  $Q_1$  ir ļoti mazs); konstrukcija ir samērā vienkārša un lēta.

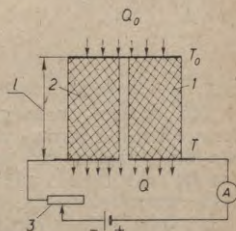
Tvaika ežekcijas aukstuma mašīnas izmanto galvenokārt gaisa kondicionēšanai un liela daudzuma ūdens atdzesēšanai tehnoloģiskajām vajadzībām.

## 10. Termoelektriskās dzesējošās baterijas

Sakarā ar Peltjē efektu metāla termoelementus var izmantot kā termoelektriskās dzesējošās ierīces, kas patērē elektrisko strāvu. Termoelementiem, kas izveidoti no metāla vadītājiem, lietderības koeficients ir ļoti zems, jo tajos notiek liela siltuma noplūde no karstās sakausējuma vietas uz auksto. Tāpēc šādus termoelementus mākslīgā aukstumā ražošanai nelieto.

Daudz lielāks dzesēšanas efekts ir elektriskajām ķēdēm, kurās ar metāla vadītājiem savienoti daži speciāli izgatavoti pusvadītāju sakausējumi (sastāv no Te, Bi, Sb un Se). Tie ir pusvadītāju termoelementi (I-16. att.), no kuriem var izveidot termoelektriskās dzesējošās baterijas.

Darba režīmā, kad termoelements strādā ar vislielāko dzesēšanas koeficientu  $\varepsilon_{\max}$ , tas vislielāko aukstuma



I-16. att. Termoelektriskās dzesējošās baterijas shēma: 1, 2 — pusvadītāji; 3 — reostats.

ražīgumu  $Q_{0 \max}$  sasniedz, ja  $\Delta T = 0,5\Delta T_{\max}$ , kur  $\Delta T_{\max}$  — maksimālā temperatūru starpība starp termoelementa karsto un auksto virsmu.

Termoelektriskās dzesējošās baterijas *maksimālo aukstuma ražīgumu* var izteikt šādi:

$$Q_{0 \max} = \frac{E^2 M T_v^2}{2R(M+1)^2}, \quad (\text{I-10})$$

kur  $E$  — baterijas termoelektrodzinējspēks;  
 $R$  — pretestība;  
 $T_v$  — aukstās un karstās virsmas vidējā temperatūra;  
 $M$  — bezdimensionāls lielums;

$$M = \sqrt{1 + 0,5zT_v}. \quad (\text{I-11})$$

Ar  $z$  apzīmē termoelementa labumu, un to var aprēķināt šādi:

$$z = \frac{a^2 \sigma}{\lambda}, \quad (\text{I-12})$$

kur  $a$  — īpatnējais termoelektrodzinējspēks (V/K);  
 $\sigma$  — īpatnējā elektrovadītspēja ( $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ );  
 $\lambda$  — siltumvadītspējas koeficients [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ].

Vairumam tagad lietojamo pusvadītāju materiālu termoelementa labums  $z = (2 \dots 3) \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$ .

Teorētiski optimālo strāvas stiprumu, pie kura termoelementam ir maksimālais dzesēšanas koeficients, var aprēķināt šādi:

$$I_{\text{opt}} = \frac{a\sigma F}{l} T_0, \quad (\text{I-13})$$

kur  $F$  — pusvadītāja elementa šķērsriezuma laukums;  
 $l$  — pusvadītāja elementa garums.

Maksimālo temperatūru starpību starp karsto un auksto virsmu aprēķina šādi:

$$\Delta T_{\max} = T_0^2 \frac{z}{2}, \quad (\text{I-14})$$

kur  $T_0$  — aukstās virsmas temperatūra.

Kā redzams, maksimālā temperatūru starpība nav atkarīga no termoelementa formas un ģeometriskiem izmēriem, bet no aukstās virsmas temperatūras un lieluma  $z$ . Pēdējais ir svarīgs termoelementu raksturojošs rādītājs, kas ņem vērā termoelementa materiāla termoelektriskās, elektriskās un termiskās īpašības.

Pašreiz, lietojot labākos termoelementus, vēl nevar izveidot lielas aukstuma iekārtas, kuru enerģētiskā efektivitāte (enerģijas patēriņš uz ražoto aukstuma daudzumu) līdzinātos kompresijas aukstuma mašīnu enerģētiskajai efektivitātei. Tādēļ nepieciešams



tālāk pilnveidot pusvadītāju enerģētiskos rādītājus. Mazās aukstuma iekārtās termoelektriskās dzesēšanas enerģētiskā efektivitāte jau tagad ir tuva kompresijas aukstuma mašīnu enerģētiskajai efektivitātei. Tā kā šīm iekārtām nav kustīgu detaļu, nav jālieto darba viela un ir vienkārša konstrukcija, tās ir ļoti perspektīvas rūpniecībā.

Praksē termoelektriskās dzesēšanas ierīces lieto medicīnā, mājsaimniecībā lietojamos saldēšanas skapjos, transporta līdzekļos un zinātniskās pētniecības darbā.

Turpmākajās nodaļās sīkāk aplūkotas galvenokārt tvaika kompresijas aukstuma mašīnas, kā arī jautājumi, kas saistīti ar to aprīkojumiem un ekspluatāciju.

## II nodaļa

### TVAIKA KOMPRESIJAS AUKSTUMA MAŠINU DARBA VIELAS (AUKSTUMA AĢENTI)

#### 1. Vispārīgas ziņas

Aukstuma mašīnas darba efektivitāte, izmēri un konstrukcija lielā mērā atkarīga no darba vielas īpašībām. Viena no pirmajām aukstuma mašīnu darba vielām bija ūdens; tagad to lieto tikai tvaika strūkļas agregātos. Vēlāk sāka lietot amonjaku (1874. g.), ogļskābo gāzi (1881. g.), sēra dioksīdu (1874. g.) un metilhlorīdu (1878. g.). Pēdējā laikā aukstuma aģentu skaits ievērojami palielinājies, tomēr tikai daži no tiem tiek plašāk izmantoti.

Liela un vidēja ražīguma aukstuma mašīnās par darba vielu visvairāk lieto amonjaku ( $\text{NH}_3$ ). Sēra dioksīdu un metilhlorīdu to kaitīguma dēļ tikpat kā nelieto, bet ogļskābo gāzi lieto tikai par izejvielu «sausā» ledus ražošanai.

Mūsu gadsimta 30. gados parādījās liela grupa aukstuma aģentu — freoni, kas ir piesātināto ogļūdeņražu (metāna  $\text{CH}_4$ , etāna  $\text{C}_2\text{H}_6$  u. c.) un halogēnu (fluora, hlora, broms) atvasinājumi. Pazīstams liels skaits dažādu freonu, kas atšķiras ar oglekļa, fluora, hlora un ūdeņraža atomu skaitu molekulā. Daudzveidīgās freonu termodinamiskās īpašības un samērā labās fizikāli ķīmiskās un fizioloģiskās īpašības sekmē to plašu lietošanu dažādos mākslīgā aukstuma ražošanas apstākļos.

Visvairāk praksē lieto freonus, kas atvasināti no metāna, piemēram, difluordihlormetānu —  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ , difluormonohlormetānu  $\text{CHF}_2\text{Cl}$ , monofluortrihlormetānu —  $\text{CFCl}_3$ , trifluormonohlormetānu  $\text{CF}_3\text{Cl}$ . No etāna atvasinājumiem lieto savienojumus  $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$  un dažus citus. Lai vienkāršotu freonu apzīmēšanu, Starptautiskā standartizācijas organizācija 1968. gadā noteica to numurāciju pēc sistēmas  $(m-1)(n+1)p$ . Freona numura pirmais cipars vienāds ar  $m-1$ , kur  $m$  — oglekļa atomu skaits freona molekulā; otrais cipars —  $n+1$ , kur  $n$  — ūdeņraža atomu skaits; trešais (pēdējais) cipars  $p$  apzīmē fluora atomu skaitu. Tā, piemēram, freonam  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  ir numurs 012 vai vienkārši 12 (nulli skaitļa priekšā neraksta), un tā apzīmējums ir freons-12; attiecīgi  $\text{CHF}_2\text{Cl}$  — fre-



ons-22;  $\text{CFCl}_3$  — freons-11;  $\text{CF}_3\text{Cl}$  — freons-13;  $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$  — freons-114;  $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$  — freons-142 utt. Lietojot freonu starptautisko saīsināto apzīmējumu, pirms skaitļa liekams burts R (*Refrigerant*), piemēram, R-12 — freons-12.

## 2. Aukstuma aģentu fizikālās īpašības

Visi lietojamie aukstuma aģenti pēc to vārīšanās temperatūras  $t_0$  normālos apstākļos (pie  $p = 760 \text{ mm Hg} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ) iedalāmi trīs pamatgrupās: 1) aukstuma aģenti ar augstu vārīšanās temperatūru, kuriem  $t_0 > 0^\circ\text{C}$  (kondensācijas spiediens  $p_k \leq 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  pie  $30^\circ\text{C}$ ); 2) aukstuma aģenti ar vidēju vārīšanās temperatūru, kuriem  $t_0$  ir no  $0^\circ\text{C}$  līdz  $-50^\circ\text{C}$  (kondensācijas spiediens  $3 \cdot 10^5 < p_k < 20 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ); 3) aukstuma aģenti ar zemu vārīšanās temperatūru, kuriem  $t_0 < -50^\circ\text{C}$  (kondensācijas spiediens  $p_k = (20 \dots 70) \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ). Parastāko aukstuma aģentu fizikālās īpašības dotas II-1. tabulā.

Freona vārīšanās temperatūra normālos apstākļos atkarīga no tā kārtas skaitļa  $z$ , t. i.,

$$t_0 = f(z) \dots$$

Kārtas skaitli iegūst, ievietojot freona ķīmiskajā formulā atbilstoši atomu skaitam to kārtas skaitļus pēc Mendeļejeva periodiskās sistēmas tabulas. Tā, piemēram, freona-12 kārtas skaitlis  $z = 6 + 2 \cdot 17 + 2 \cdot 9 = 58$ . Samazinoties freona kārtas skaitlim, tā vārīšanās temperatūra normālos apstākļos pazeminās. Tāpat zemāka vārīšanās temperatūra ir tiem freoniem, kuru molekulā ietilpst vairāk vieglo fluora atomu. Aizvietojot vienu hlora atomu ar fluora atomu, vārīšanās temperatūra freonam pazeminās apmēram par  $50^\circ\text{C}$ . Vārīšanās temperatūra normālos apstākļos freonam-12 ir par  $53,5^\circ\text{C}$  zemāka nekā freonam-11; freonam-22 — par  $49,7^\circ\text{C}$  zemāka nekā freonam-21.

Pārtikas rūpniecībā lieto mākslīgo aukstumu plašā temperatūru diapazonā — no  $0^\circ\text{C}$  līdz  $-70^\circ\text{C}$ . Pēc vārīšanās temperatūras normālos apstākļos un sacietēšanas temperatūras vairums tabulā doto aukstuma aģentu atbilst praktiskajām vajadzībām. Dažādiem tehnoloģiskajiem apstākļiem atkarībā no aukstuma mašīnas darba temperatūru režīma jāizvēlas vispiemērotākie aukstuma aģenti.

Ogļskābajai gāzei un freonam-13 ir samērā zema kritiskā temperatūra. Lietojot kondensatora dzesēšanai pat ļoti aukstu ūdeni, aukstuma mašīnas ar šiem aukstuma aģentiem strādā tuvu pie kritiskā punkta. Šādos darba apstākļos ievērojami palielinās zudumi regulējošajā ventilī, palielinās darba patēriņš aukstuma ražošanai un atbilstoši samazinās teorētiskā cikla dzesēšanas koeficients. Bez tam darba cikls (tuvu kritiskajam punktam) notiek pie pārāk augsta spiediena, kas sarežģī aukstuma mašīnas konstrukciju.

Aukstuma aģentu fizikālās īpašības

Aukstuma aģents	Ķīmiskā formula	Molekulmasa $\mu$ (g)	Vārīšanās temperatūra (pie $p=760$ mm Hg) ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kritiskā punkta parametri			Inertais tilpums $v_{kr}$ ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )	Sācētāsanas temperatūra ( $^{\circ}\text{C}$ )	Adiabātas pakāpes rādītājs $k = \frac{c_p}{c_v}$
				temperatūra $t_{kr}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	spiediens $p_{kr}$				
					$10^{-5}$ Pa	$\text{kgf}/\text{cm}^2$			
Amonjaks	$\text{NH}_3$	17,03	-33,4	132,4	112,98	115,2	-77,7	1,3	
Ogļskābā gāze	$\text{CO}_2$	44,01	-78,5	31,0	73,75	75,2	-56,6	1,3	
Sēra dioksīds	$\text{SO}_2$	64,06	-10,08	157,2	78,73	80,82	-75,2	1,26	
Metilhlorīds	$\text{CH}_3\text{Cl}$	50,49	-23,74	143,1	66,77	68,09	-97,6	1,20	
Freons-11	$\text{CFCl}_3$	137,39	23,7	198,0	43,74	44,60	-111,0	1,13	
Freons-12	$\text{CF}_2\text{Cl}_2$	120,92	-29,8	112,0	41,15	41,96	-155,0	1,14	
Freons-13	$\text{CF}_3\text{Cl}$	104,47	-81,5	28,78	38,60	39,36	-180,0	—	
Freons-21	$\text{CHFCl}_2$	102,92	8,90	178,5	51,66	52,68	-135,0	1,16	
Freons-22	$\text{CHF}_2\text{Cl}$	86,48	-40,8	96,0	49,36	50,33	-160,0	1,20	
Freons-23	$\text{CHF}_3$	70,01	-82,2	—	—	—	-163,0	1,21	
Freons-114	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$	170,91	3,5	145,8	32,75	33,4	-94,0	1,107	
Freons-142	$\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$	100,48	-9,25	137,0	41,19	42,0	-130,8	1,135	
Etāns	$\text{C}_2\text{H}_6$	30,06	-88,6	32,1	49,40	50,3	-183,2	1,25	
Prōpāns	$\text{C}_3\text{H}_8$	44,10	-42,17	96,8	42,50	43,39	-187,1	1,13	



Zemas vārišanās temperatūras aukstuma aģentiem ir arī zema kritiskā temperatūra. Šādus aukstuma aģentus visizdevīgāk lietot zemu temperatūru iegūšanai kaskādes tipa aukstuma mašīnās, kurās kondensatoru dzesē ar citu aukstuma mašīnu, kas strādā ar augstāku vārišanās temperatūru. Kritiskās absolūtās temperatūras un vārišanās (normālos apstākļos) absolūtās temperatūras attiecība  $\frac{T_{kr}}{T_0}$  (Guldberga skaitlis) vairumam aukstuma aģentu atrodas nelielās robežās 1,587...1,517. Zinot aukstuma aģenta kritisko temperatūru, var aptuveni noteikt tā vārišanās temperatūru normālos apstākļos.

### 3. Aukstuma aģentu termodinamiskās īpašības

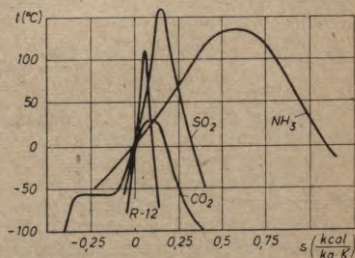
Aukstuma aģentu termodinamiskās īpašības ir ļoti atšķirīgas. Par to liecina aukstuma aģentu robežliķņu izvietojums temperatūras-entropijas diagrammā (II-1. att.).

Aukstuma aģenta molekulmasa  $\mu$ , iztvaikošanas siltums  $r_0$  un vārišanās temperatūra  $T_0$  normālos apstākļos saistīti savā starpā ar šādu formulu:

$$\Theta = \frac{\mu r_0}{T_0} [\text{kJ}/(\text{mol} \cdot \text{K})],$$

kur lielumu  $\Theta$  sauc par *Trutona skaitli*. Vairumam aukstuma aģentu  $\Theta = 85 \dots 95$ . Aptuveni vienādām  $T_0$  vērtībām vielām ar mazu molekulmasu ( $\text{NH}_3$ ) ir liels iztvaikošanas siltums, un, otrādi, vielām ar lielu molekulmasu (freoni) ir mazs iztvaikošanas siltums. Atbilstoši tam mainās arī attālums starp dažādu aukstuma aģentu robežliķņiem.

Svarīgi aukstuma aģentu termodinamiskie parametri ir *darba spiedieni*  $p_k$  un  $p_0$  aukstuma mašīnas aparātos (kondensatorā un iztvaikotājā). II-2. tabulā doti dažādu aukstuma aģentu absolūtie darba spiedieni, to starpība  $p_k - p_0$ , no kuras atkarīgs kompresora kustošos daļu sloģojums un enerģijas zudumi berzes dēļ, kā arī attiecība  $\frac{p_k}{p_0}$ , kas raksturo darba patēriņu kompresorā. Šie lielumi atkarīgi no aukstuma aģenta vārišanās temperatūras normālos apstākļos  $T_0$ . Palielinoties temperatūrai  $T_0$ , lielumi  $p_k$ ,  $p_0$ ,  $p_k - p_0$  samazinās,



II-1. att. T-s diagramma ar aukstuma aģentu robežliķņiem.

bet kompresijas pakāpe  $\frac{p_k}{p_0}$ , t. i., kompresorā saspiebtā un iesūktā tvaika spiedienu attiecība, palielinās.

Mašīnās, kas darbojas ar ogļskābo gāzi, darba spiedieni ir ļoti lieli. Tas izskaidrojams ar to, ka CO<sub>2</sub> kritiskā punkta temperatūra atrodas tuvu darba temperatūrām. Strādājot ar amonjaku, freonu-12, freonu-22 un metilhlorīdu, darba spiedieni kompresorā ir mēreni.

Strādājot ar pārējiem aplūkotajiem aukstuma aģentiem, iztvaikotājā rodas vakuums, ja vārīšanās temperatūra zemāka par -10°C. Tas nav vēlams, jo caur neblīvumiem sistēmā ieplūst gaiss un arī mitrums, kas veicina metālu koroziju.

II-2. tabula

Absolūtie spiedieni aukstuma mašīnas aparātos, aukstuma mašīnai strādājot ar dažādiem aukstuma aģentiem (vārīšanās temperatūra  $t_0 = -15^\circ\text{C}$ ; kondensācijas temperatūra  $t_k = 30^\circ\text{C}$ )

Aukstuma aģents	Spiediens iztvaikotājā $p_0$		Spiediens kondensatorā $p_k$		$p_k - p_0$		Kompresijas pakāpe $\frac{p_k}{p_0}$
	10 <sup>-5</sup> Pa	kgf/cm <sup>2</sup>	10 <sup>-5</sup> Pa	kgf/cm <sup>2</sup>	10 <sup>-5</sup> Pa	kgf/cm <sup>2</sup>	
CO <sub>2</sub>	22,89	23,34	71,92	73,34	49,03	50,0	3,14
NH <sub>3</sub>	2,36	2,41	11,67	11,895	9,31	9,485	4,94
Freons-22	2,97	3,03	12,02	12,26	9,05	9,23	4,05
Freons-12	1,83	1,862	7,43	7,581	5,60	5,719	4,07
CH <sub>3</sub> Cl	1,44	1,47	6,59	6,72	5,15	5,25	4,57
SO <sub>2</sub>	0,807	0,823	4,57	4,656	3,76	3,833	5,66
Freons-142	0,796	0,812	3,94	4,013	3,14	3,201	4,94
Freons-114	0,466	0,475	2,55	2,598	2,08	2,123	5,47
Freons-21	0,362	0,369	2,16	2,198	1,80	1,829	5,95
Freons-11	0,201	0,205	1,26	1,286	1,06	1,081	6,27

Svarīgs aukstuma aģentu raksturojošs lielums ir aukstuma aģenta tvaika īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums, kas vienāds ar aukstuma aģenta īpatnējā masas aukstuma ražīguma  $q_0$  attiecību pret iesūcamā tvaika īpatnējo tilpumu  $v_1$ , t. i.,

$$q_v = \frac{q_0}{v_1} \quad (\text{kJ/m}^3).$$

Lielums  $q_v$  ir siltuma daudzums, ko no dzesējamā ķermeņa aiznes 1 m<sup>3</sup> aukstuma aģenta tvaika, kura spiediens vienāds ar sūkšanas spiedienu kompresorā.

No II-3. tabulas redzams, ka, jo lielāks ir  $q_v$ , jo mazāki kompresora izmēri. No tabulā dotajiem aukstuma aģentiem vislielākais īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums ir CO<sub>2</sub> gāzei, tāpēc ogļskābās gāzes kompresora cilindram ir vismazākie izmēri. Tomēr pārāk augstie darba spiedieni ogļskābās gāzes aukstuma mašīnas aparātos ierobežo tās lietošanu par aukstuma aģentu.



Aukstuma aģentu īpatnējie aukstuma ražīgumi  
un kompresoru cilindru relatīvie izmēri  
(pie  $t_0 = -15^\circ\text{C}$  un  $t_k = 30^\circ\text{C}$  bez šķidruma pārdešanas)

Aukstuma aģents	Izvaikošanas sil- tums $r_0$		Sausuma pakāpe pēc drošēšanas $x$ (%)	Īpatnējais masas aukstuma raži- gums $q_0$		Sausa pie- sātināta tvaika īpatnējais tilpums $v_0$ ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )	Īpatnējais tilpuma aukstuma raži- gums $q_v$		Kompresoru cilindru re- latīvie izmēri $V_h$ $V_h(\text{CO}_2)$
	$\text{kJ/kg}$	$\text{kcal/kg}$		$\text{kJ/kg}$	$\text{kcal/kg}$		$\text{kJ/m}^3$	$\text{kcal/m}^3$	
$\text{CO}_2$	273,2	65,26	52,8	129,0	30,80	0,0166	7763,8	1854,4	1,0
$\text{NH}_3$	1312,7	313,53	16,0	1078,5	263,58	0,5087	2167,1	517,6	3,58
Freons-22	217,7	52,0	26,0	161,1	38,47	0,0778	2068,3	494,0	3,75
Freons-12	161,5	38,57	26,6	118,6	28,32	0,0927	1279,5	305,6	6,07
$\text{CH}_2\text{Cl}$	420,7	100,49	16,9	349,7	83,52	0,291	1202,9	287,3	6,45
$\text{SO}_2$	391,9	93,6	15,5	331,3	79,14	0,405	816,8	195,1	9,50
Freons-142	229,5	54,82	25,2	171,1	40,86	0,2585	661,5	158,0	11,8
Freons-114	141,8	33,88	30,1	99,4	23,73	0,2627	377,7	90,2	20,6
Freons-21	254,7	60,84	18,4	190,9	45,59	0,5705	364,3	87,0	21,3
Freons-11	191,1	46,7	19,2	158,1	37,75	0,771	204,7	48,9	38,0

Starp minētajiem aukstuma aģentiem visizdevīgākie pēc kompresora cilindra izmēriem ir amonjaks, freons-22 un freons-12, t. i., aukstuma aģenti ar vidējām vārīšanās temperatūrām. Virzuļkompresoru aukstuma mašīnās tie ir visbiežāk lietojamie aukstuma aģenti.

Paaugstinoties freonu vārīšanās temperatūrai normālos apstākļos, to īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums ievērojami samazinās, bet kompresora cilindra tilpums pieaug. Tāpēc freoni ar augstu vārīšanās temperatūru normālos apstākļos (freons-114, freons-21, freons-11, freons-113 u. c.) nav piemēroti virzuļkompresoriem, it sevišķi darbam pazeminātās temperatūrās. Tā kā šiem freoniem ir liela molekulas masa un mazs īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums, tie ir ļoti piemēroti lietošanai turbokompresoros, kuri spējīgi pārvietot lielus tvaika tilpumus no iztvaikotāja uz kondensatoru.

Aukstuma aģenta *termodinamiskais lietderības koeficients*  $\eta_t$  raksturo enerģijas patēriņu reālajā ciklā salīdzinājumā ar ideālo (Karno) ciklu. To nosaka teorētiskā darba cikla un ideālā apgrieztā Karno cikla dzesēšanas koeficientu attiecība, t. i.,

$$\eta_t = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_K}$$

ja vārīšanās un kondensācijas temperatūras abos ciklos ir vienādas. II-4. tabulā doto aukstuma aģentu, izņemot ogļskābo gāzi, termodinamiskie lietderības koeficienti  $\eta_t$  ir samērā augsti. Ogļskābā gāze ir aukstuma aģents ar mazu termodinamisko lietderības

II-4. tabula

Aukstuma aģentu dzesēšanas koeficienti  
un termodinamiskie lietderības koeficienti  
( $t_0 = -15^\circ\text{C}$  un  $t_k = 30^\circ\text{C}$  bez šķidruma pārdzesēšanas)

Aukstuma aģents	Īpatnējais masas aukstuma ražīgums teorētiskajā darba ciklā $q_0 = i_1 - i_4$		Saspiešanas darbs $Al = i_2 - i_1$		Dzesēšanas koeficienti		Termodinamiskais lietderības koeficients $\eta_t$
	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	$\epsilon_t = \frac{q_0}{Al}$	$\epsilon_K = \frac{T_0}{T - T_0}$	
CO <sub>2</sub>	129,0	30,80	46,89	11,2	2,75	5,73	0,48
CH <sub>3</sub> Cl	349,7	83,52	75,66	18,07	4,62	5,73	0,81
Freons-22	161,1	38,47	34,54	8,25	4,65	5,73	0,81
Freons-12	118,6	28,32	25,25	6,03	4,70	5,73	0,82
Freons-142	171,1	40,86	36,01	8,6	4,71	5,73	0,82
Freons-114	99,4	23,73	21,06	5,03	4,73	5,73	0,83
NH <sub>3</sub>	1078,5	263,58	231,11	55,2	4,77	5,73	0,83
SO <sub>2</sub>	331,3	79,14	68,04	16,25	4,87	5,73	0,85
Freons-11	158,1	37,75	31,61	7,55	5,00	5,73	0,87
Freons-21	190,9	45,59	37,72	9,01	5,07	5,73	0,89



koeficientu, tāpēc ogļskābo gāzi par aukstuma aģentu praksē nelieto. Lielās  $\eta_i$  vērtības freonam-21 un freonam-11 padara tos perspektīvus lietošanai turbokompresoru agregātos.

Lai gan amonjaka un freona-12 termodinamiskie lietderības koeficienti gandrīz vienādi, tomēr reālajā ciklā līdzīgos apstākļos freona-12 aukstuma mašīnās darba patēriņš ir par 10...12% lielāks nekā amonjaka aukstuma mašīnās.

#### 4. Aukstuma aģentu fizioloģiskās īpašības

Par aukstuma aģentu iedarbību uz dzīvu organismu var spriest pēc II-5. tabulas datiem, kur salīdzināts dažādu aukstuma aģentu kaitīgums. Aukstuma aģenta indīguma pakāpi nosaka ar vielas procentuālo koncentrāciju gaisā, kura nāvējoša dzīvnieka organismam. Visbīstamākais aukstuma aģents ir sēra dioksīds. Tam seko amonjaks. Mazāk kaitīgs ir freons-11, freons-22, bet pavisam nekaitīgs freons-12 un freons-114. Šo vielu kaitīgā fizioloģiskā darbība izpaužas skābekļa trūkumā, kuru izspiež smagākā gāze — aukstuma aģents.

II-5. tabula

Aukstuma aģentu kaitīgums

Aukstuma aģents	Kaitīguma grupa	Izraisa nāvi vai smagu saindēšanos	
		aukstuma aģenta saturs gaisā pēc tilpuma (%)	iedarbības laiks
SO <sub>2</sub>	1	0,5...1,0	5 min.
NH <sub>3</sub>	2	0,5...1,0	30 min.
CH <sub>3</sub> Cl	3	2,5...3,0	1 h
Freons-21, freons-142	4	20...25	1 h
Freons-11, freons-22, CO <sub>2</sub>	5	25...30	1 h
Freons-12, freons-114	6	30	2 h

Sēra dioksīdu tā kaitīguma un metālu korozijas dēļ aukstumtehnikā vairs nelieto. Metilhlorīds starp pārējiem aukstuma aģentiem kaitīguma ziņā ieņem vidēju stāvokli. Līdz freonu ieviešanai to lietoja galvenokārt mazās automatizētās aukstuma iekārtās, bet tagad nelieto. Galvenie metilhlorīda trūkumi ir tā kaitīgums (uzkrājoties organismā, izraisa pēkšņu nāvi) un sprādziennedrošība maisījumā ar gaisu, ja tā koncentrācija gaisā 8,1...17,2% (pēc tilpuma).

Visi aplūkotie aukstuma aģenti, izņemot amonjaku, smagāki par gaisu, un to maksimālā koncentrācija ir telpas lejasdaļā, kas jāņem vērā, ierīkojot ventilāciju.

Aukstuma mašīnās ar virzuļkompresoriem, kas pašreiz ir visizplatītākie pārtikas rūpniecības aukstuma iekārtās, plaši lieto trīs aukstuma aģentus ar vidēju vārīšanās temperatūru normālos apstākļos — amonjaku, freonu-12 un freonu-22.

Pētot daudzveidīgās aukstuma aģentu īpašības, var secināt, ka pašreiz nav tāda aukstuma aģenta, kas būtu derīgs visiem darba režīmiem, tāpat nav aukstuma aģenta, kam būtu tikai pozitīvas īpašības dotajā darba režīmā. Izvēloties darba vielu, jāanalizē tās īpašību ietekme uz faktoru kompleksu, kas raksturo aukstuma mašīnas darbu, dodot priekšroku labākajām aukstuma aģenta īpašībām dotajos apstākļos un cenšoties mazināt tā negatīvās īpašības.

Padomju zinātnieki devuši ievērojamu ieguldījumu aukstuma iekārtu darba vielu pētījumos. Sākot ar D. Mendeļejeva pētījumiem par sakarībām starp gāzu parametriem, kas nosaka to termodinamisko stāvokli, padomju zinātnieki veikuši daudz teorētisku un eksperimentālu pētījumu. M. Vukaloviča un U. Novikova ūdens tvaika pētījumiem bija ievērojama loma darba vielu teorijas attīstībā. Daudzu pētījumu rezultātā konstruētas visu aukstuma aģentu termodinamiskās diagrammas.

Aukstumtehnikā liela nozīme ir ne tikai jau zināmo vielu pētījumiem, bet arī iespējai noteikt tādu maz pazīstamu vielu īpašības, kuras vēl netiek lietotas. Šeit svarīga nozīme ir *termodinamiskās līdzības teorijai*. Profesors I. Levins izveidojis metodi, pēc kuras ar minimāliem eksperimentāliem datiem var dot pietiekami sīku pētāmās vielas fizikālo raksturojumu un konstruēt tās termodinamisko diagrammu. Profesors U. Badiķess izstrādājis maz pazīstamu darba vielu termodinamisko rādītāju aprēķinu metodi, pamatojoties uz termodinamiskās līdzības teoriju. Ja vienas vielas (etālona) termodinamiskās īpašības zināmas, tad, pielietojot līdzības teoriju, var noteikt citas maz pazīstamas vielas termodinamiskās īpašības.

## 5. Izplatītāko aukstuma aģentu ekspluatācijas īpašības

**Amonjaks** — aukstuma aģents ar augstu termodinamisko lietderības koeficientu. Spiediens amonjaka mašīnas kondensatorā nepārsniedz (12...14)  $10^5$  Pa vai 12...14 kgf/cm<sup>2</sup>, bet iztvaikotājā tikai zem  $-33,4^\circ\text{C}$  spiediens kļūst zemāks par atmosfēras spiedienu. Amonjakam ir liels īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums  $q_v$  un lieli siltuma atdeves un vadītspējas koeficienti, tāpēc kompresoriem un siltumapmaiņas aparātiem ir samērā nelieli izmēri. Amonjaks ir vislētākais aukstuma aģents. Amonjaks neizraisa melno metālu koroziju, bet mitruma klātbūtnē tas korodē varu un tā sakausējumus, kurus nedrīkst lietot amonjaka aukstuma iekārtu konstrukcijās. Amonjaks jūtami neiedarbojas uz eļļām; eļļas un amonjaks savā starpā praktiski nešķīst.

Amonjaks un ūdens viens otram ļoti labi šķīst, kas izslēdz iespēju sasalt ūdenim, kurš iekļuvis aukstuma iekārtas sistēmā. Tomēr ūdens klātbūtnē amonjaka aukstuma iekārtas sistēmā ir ļoti nevēlama. Amonija hidroksīds ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), kas veidojas, ūdenim reaģējot ar amonjaku, ar laiku ietekmē mašīnas darba režīmu. Bez



tam, iedarbojoties uz eļļām, amonija hidroksīds rada nogulsnes, kas piesārņo sistēmu.

Amonjaku plaši lieto vienpakāpes un divpakāpju vidēja un liela ražīguma aukstuma mašīnās vārišanās temperatūrām no  $+5^{\circ}\text{C}$  līdz  $-70^{\circ}\text{C}$ .

Atzīmējami divi galvenie amonjaka trūkumi. Amonjaks maisījumā ar gaisu, ja koncentrācija 11... 15% (pēc tilpuma), deg ar dzeltenu liesmu, bet, ja koncentrācija 16... 25% (pēc tilpuma), rada sprāgstošu maisījumu. Amonjaks ļoti kaitīgs — izraisa acu un elpošanas ceļu spēcīgu iekaisumu. Ieelpojot amonjaku lielā koncentrācijā, nāvējoši saindējas viss organisms. Eksploatējot amonjaka aukstuma iekārtas, stingri jāievēro drošības tehnikas noteikumi.

**Freons-12** (difluordihlormetāns  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) — aukstuma aģents, kas pēdējos gados tiek ļoti plaši lietots. Freonam-12 ir labas termodinamiskās īpašības, tas ir nekaitīgs, bez smakas, nedeg un nerada sprāgstošus maisījumus.

Freons-12 ir viens no galvenajiem aukstuma aģentiem lielās, vidējās un mazās virzulkompresoru aukstuma iekārtās. Šo aukstuma aģentu lieto vārišanās temperatūrām līdz  $-70^{\circ}\text{C}$  un kondensācijas temperatūrām līdz  $+70^{\circ}\text{C}$ . Turbokompresoru aukstuma iekārtās ar to var sasniegt vēl zemākas vārišanās temperatūras.

Freons-12 sevišķi izplatīts aukstuma iekārtās, kurās nav pieļaujama asa smaka un kurām uzstādītas paaugstinātas drošības tehnikas prasības (gaisa kondicionēšanas iekārtās, tirdzniecības tīklā, refrīžeratorkuģos, mājsaimniecībā lietojamās saldēšanas skapjos utt.).

Atzīmējamās šādas freona-12 īpatnības. Temperatūrā virs  $400^{\circ}\text{C}$  freons-12 sadalās, veidojot kaitīgus savienojumus — fluorūdeņradi un hlorūdeņradi, kā arī nēcīgu daudzumu ļoti indīgā savienojuma fosgēna. Tāpēc nav vēlams atklātas liesmas lietošana freona aukstuma iekārtu telpās.

Ūdens šķīdri freonā šķīst ļoti vāji —  $0^{\circ}\text{C}$  temperatūrā ne vairāk kā 0,006%. Lai pasargātu metālu no korozijas un novērstu ūdens sasalšanu caurplūdes kanālos, it sevišķi regulējošajā ventilī, ūdens saturs freonā nedrīkst pārsniegt 0,004%.

Freons-12 ķīmiski neiedarbojas uz eļļām, bet ļoti labi tajās šķīst. Freona-12 šķīdības kritiskā temperatūra ir  $-45^{\circ}\text{C}$ . Sajā un augstākā temperatūrā freons šķīst eļļā jebkurā attiecībā, veidojot viendabīgu divkomponentu maisījumu. Zemākā temperatūrā freonam-12 ir ierobežota šķīdība, un maisījumā ar eļļu veidojas divi noslāņojušies šķīdumi ar dažādām koncentrācijām. Šķīduma slānis ar lielāko eļļas saturu uzpeld virspusē, jo eļļa vieglāka par šķīdru freonu-12.

Freona tvaiks arī šķīst eļļā (absorbējas), tvaika šķīdība palielinās, ja spiediens paaugstinās un temperatūra pazeminās. Freonā izšķīdusi eļļa ietekmē aukstuma mašīnas darba režīmu. Freona un eļļas šķīduma vārišanās temperatūra augstāka nekā tīra freona

vārišanās temperatūra (pie vienāda spiediena). Tāpēc, lai eļļas klātbūtnē iztvaikotājā iegūtu vajadzīgo temperatūru, nepieciešams uzturēt zemāku darba spiedienu, kas savukārt pazemina aukstuma mašīnas darba ekonomiskumu. Bez tam eļļa palielina darba vielas viskozitāti un samazina siltuma pārejas intensitāti, bet tas savukārt palielina metāla patēriņu siltumapmaiņas aparātu konstrukcijām.

Freons-12 spēj izspiesties cauri vismazākajiem sistēmas savienojuma neblivumiem un pat cauri metāla porām, tāpēc aukstuma iekārtas sistēmai jābūt ļoti hermetizētai.

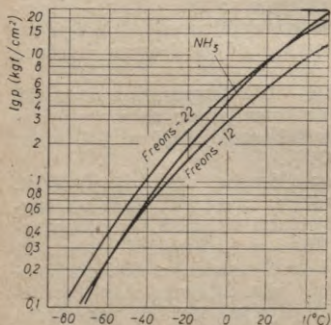
Šķidr freons-12 labi noskalo no metāla virsmām visus netīrumus (oksīdus, veidzemi u. c.). Šie netīrumi, cirkulējot kopā ar freonu-12, sistēmā var radīt aizsprostojumus, tādēļ visas metāla detaļu virsmas, kas saskaras ar freonu, pirms montāžas rūpīgi jānotīra.

Šķidr freons-12 vairāk nekā divas reizes, bet piesātināts freona-12 tvaiks 5...8 reizes (atkarībā no temperatūras) smagāks par amonjaku. Lai samazinātu pretestību vārstos un cauruļvados un ar to saistīto jaudas patēriņu, freona-12 kustības ātrumu cauruļvados salīdzinājumā ar amonjaku samazina 2...2,5 reizes.

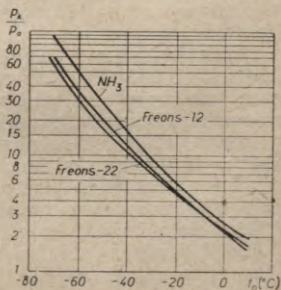
Freons-12 pagaidām dārgāks nekā amonjaks, bet pēdējos gados tā izmaksa ievērojami pazemināta.

**Freons-22** (difluormonohlorometāns  $\text{CHF}_2\text{Cl}$ ) — samērā jauns aukstuma aģents ar labām termodinamiskām īpašībām un ekspluatācijas īpašībām, kurš tiek arvien plašāk lietots praksē.

Plašā temperatūru diapazonā, kādu lieto aukstumtehnikā, piesātināta tvaika spiediena līknes freonam-22 atrodas augstāk nekā



11-2. att. Piesātināta tvaika spiediena līknes freonam-22, freonam-12 un amonjakam.



11-3. att. Freona-22, freona-12 un amonjaka aukstuma mašīnas kompresijas pakāpju atkarība no vārišanās temperatūras, ja  $t_k = 30^\circ\text{C}$ .



atbilstošās liknes freonam-12 un amonjakam (II-2. att.). Freona-22 vārīšanās temperatūra normālos apstākļos ir  $-40,8^{\circ}\text{C}$ . Temperatūrās līdz  $-40^{\circ}\text{C}$ , kas visai raksturīgas pārtikas rūpniecības uzņēmumu aukstuma iekārtās, spiediens mašīnas iztvaikošanas sistēmā ir lielāks nekā atmosfēras spiediens.

Zemu temperatūru aukstuma mašīnās ar zemiem spiedieniem iztvaikotājā ir liela kompresijas pakāpe  $\frac{p_k}{p_0}$  kompresorā. Kompresijas pakāpes palielināšana paaugstina tvaika temperatūru saspiešanas beigās, samazina kompresora padeves un enerģētiskos koeficientus, kā arī pazemina aukstuma mašīnas darba ekonomiskumu. Šādos gadījumos mērķtiecīgi pāriet uz saspiešanu divpakāpju kompresorā.

Freona-22 aukstuma mašīnas kompresijas pakāpe, strādājot dažādos temperatūru režīmos, salīdzinājumā ar amonjaka un freona-12 mašīnām ir vismazākā (II-3. att.). Freona-22 tvaika temperatūra saspiešanas beigās zemāka nekā amonjakam. Minētās īpašības dod iespēju ar vienkāpes freona-22 aukstuma mašīnām iegūt zemākas atdzesēšanas temperatūras nekā ar freona-12 un amonjaka aukstuma mašīnām. Temperatūru diapazons salīdzinājumā ar amonjaku paplašinās par  $6 \dots 8^{\circ}\text{C}$ .

Ja kondensācijas temperatūra nav liela ( $t_k = 25^{\circ}\text{C}$ ), vienkāpes freona-22 aukstuma mašīnā var sasniegt vārīšanās temperatūru  $-40^{\circ}\text{C}$  un pat zemāku. Divpakāpju aukstuma mašīnas lieto temperatūrām līdz  $-80^{\circ}\text{C}$ .

Termodinamiskais lietderības koeficients  $\eta_t$ , kompresora cilindra izmēri un kompresorā saspiebtā tvaika spiediens freonam-22 ir tāds pats kā amonjakam. Īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums freonam-22 ir 1,6 reizes lielāks nekā freonam-12; freona-22 kompresors ir kompaktāks nekā freona-12 kompresors, ja vienādi aukstuma ražīgumi.

Freons-22, tāpat kā freons-12, nav indīgs un degošs, tas neizraisa metālu koroziju, izņemot magniju saturošus sākausējumus. Udens freonā-22 šķīst labāk nekā freonā-12, tomēr tā šķīdība ir maza.

Freons-22 labi šķīst eļļā. Šķīdības kritiskā temperatūra atkarīga no eļļas fizikālajām īpašībām. Kondensatorā šķidr freons-22 un eļļa savstarpēji šķīst jebkurā attiecībā, jo kondensācijas temperatūra atrodas virs ierobežotās šķīdības zonas. Zemā temperatūrā (iztvaikotājā) šķīdram freonam-22 ir ierobežota šķīdība eļļā, tāpēc rodas divi atsevišķi noslāņojušies šķīdumi — eļļas kārtā ar freona piejaukumu aparāta augšdaļā un šķīdrā freona kārtā ar eļļas piejaukumu aparāta lejasdaļā. Zemās temperatūrās freona-22 iekārtās eļļa var sasalt, it īpaši, aukstuma aģentam plūstot caur regulējošo ventili. Tāpēc eļļas atdalīšanai un tās markas izvēlei jāpievērš sevišķa uzmanība.

Freonu-22 ērti lietot iekārtās, kurās nevar izmantot toksiskus

aukstuma aģentus (gaisa kondicionēšanas iekārtās, kuģu saldētavās utt.).

Freonam-22 ir liela tecētspēja, kas aprūtinā tā lietošanu lielās aukstuma iekārtās ar sazarotu komunikācijas tīklu. Perspektīvs lietošanai virzuļkompresoros ir freona-22 un freona-115 ( $C_2F_5Cl$ ) azeotropais maisījums, kas nemaina savu sastāvu iztvaikojot. Maisījumam, kas sastāv no 48,8% freona-22 un 51,2% freona-115, dots apzīmējums freons-502. Šī maisījuma vārišanās temperatūra  $t_0 = -45,63^\circ C$  zemāka nekā atsevišķo komponentu vārišanās temperatūras, bet īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums  $q_0$  ir lielāks nekā atsevišķiem komponentiem. Maisījumam ir pietiekami augsti enerģētiskie rādītāji, tas nedeg, nerada ar gaisu sprāgstošu maisījumu un ir tikpat nekaitīgs organismam kā freons-12.

## 6. Aukstuma aģentu baloni

Ķīmiskajās rūpnīcās aukstuma aģentus pēc sašķidrināšanas iepilda tērauda balonos.

Balona augšdaļā iespiesta rūpnīcas marka, balona kārtas numurs, svars, tilpums, darba un pārbaudes spiedienu, kā arī izgatavošanas datums un tehniskās kontroles zīmogs.

11-6. tabula

Aukstuma aģentu balonu raksturojums

Aukstuma aģents	Balona tilpums (l)	Pildījums (kg/l)	Darba spiediens (kgf/cm <sup>2</sup> )	Hidrauliskās pārbaudes spiediens (kgf/cm <sup>2</sup> )	Balona krāsa
Amonjaks	12...25	0,57	30	45	Dzeltena
Freons-12	5...50	1,12	13	20	Sudrabota
Ogļskābā gāze	12...25	0,75	125	190	Melna

Ekspluatācijā esošie baloni ne retāk kā reizi piecos gados jāpārbauda, apskatot to virsmu, nosakot svaru, tilpumu un izdarot hidraulisko pārbaudi. Aizliegts remontēt un tīrīt papildītus balonus, baloni jāšargā no triecieniem. Aizliegts balonus uzglabāt saulē.

Lielus amonjaka daudzumus pārvadā dzelzceļa cisternās un patēriņa vietās uzglabā speciālās tvertnēs — resiveros.

Freonu-11 un freonu-113 pārvadā un uzglabā tērauda mucās.

## 7. Aukstuma nesēji

Aukstuma nesēji ir šķidrums, kas noder par starpniekiem siltuma aizvadīšanai no dzesējamās vides uz aukstuma aģentu. Aukstuma nesējus lietderīgi lietot, ja dažādu iemeslu dēļ nav iespējama dzesēšana ar tiešo aukstuma aģenta iztvaikošanu, piemēram,



drošības tehnikas noteikumi neatļauj dzesēšanai lietot aukstuma aģentu (gaisa kondicionēšanas iekārtās), liels attālums starp mašīnu un aukstuma patērētājiem, dzesējošo ķermeņu sistēma ļoti sazarota.

Par aukstuma nesējiem lieto ūdeni, dažu sāļu ūdens šķīdumus, organisko vielu ūdens šķīdumus u. c. Bez tam par aukstuma nesējiem var būt arī daži aukstuma aģenti (freons-30, freons-11).

Aukstuma nesējiem vēlamas šādas fizikāli ķīmiskās īpašības:

1) zema sasalšanas temperatūra un maza viskozitāte zemā temperatūrā;

2) liels īpatnējais siltums, lieli siltumvadītspējas un siltuma atdeves koeficienti;

3) nedegoši, nesprāgstοši un nekaitīgi;

4) neizraisa metālu koroziju.

**Ūdens** atbilst sanitārajām prasībām, to lieto par aukstuma nesēju gaisa kondicionēšanai, piena, alus dzesēšanai u. c. Tā kā ūdenim ir augsta sasalšanas temperatūra, to nedzesē zemāk par  $+2^{\circ}\text{C}$ .

**Sāls** šķīdums atkarībā no izšķīdinātā sāls veida un koncentrācijas var būt šķidrā stāvoklī arī zem  $0^{\circ}\text{C}$ . Par aukstuma nesējiem lieto nātrija hlorīda ( $\text{NaCl}$ ), kalcija hlorīda ( $\text{CaCl}_2$ ) un magnija hlorīda ( $\text{MgCl}_2$ ) ūdens šķīdumus. Palielinot sāls koncentrāciju, šķīduma sasalšanas temperatūra pazeminās līdz eitektiskajam punktam, kurā visas fāzes atrodas līdzsvarā un šķīdums sasilst viendabīgā masā. Šādu sāls šķīdumu ar viszemāko sasalšanas temperatūru sauc par eitektisko maisījumu. Tālāka sāls koncentrācijas palielināšana sasalšanas temperatūru paaugstina. Palielinot sāls koncentrāciju, palielinās šķīduma blīvums un viskozitāte, bet īpatnējais siltums un siltumvadītspēja samazinās. Kopīgais sāls šķīdumu trūkums — izraisa metālu koroziju, veidojot nosēdumus, kas kavē siltuma pāreju. Šis trūkums mazāk piemīt sāļu šķīdumiem ar dažādu organisko vielu piemaisījumiem. Šādus aukstuma nesējus ražo ar dažādiem nosaukumiem.

Nātrija hlorīda šķīdumu lieto, ja aukstuma nesēja temperatūrai nav jābūt zemākai par  $-16^{\circ}\text{C}$ , bet temperatūrām līdz  $-45^{\circ}\text{C}$  lieto kalcija hlorīda šķīdumu. Šo šķīdumu īpašības dotas pielikuma 8. un 9. tabulā.

**Propilēnglikola** ūdens šķīdums nerada metālu koroziju un ir bez smakas. Sakarība starp propilēnglikola koncentrāciju šķīdumā un sasalšanas temperatūru ir šāda:

propilēnglikola saturs (procentos pēc tilpuma)	30	40	50	60
sasalšanas sākuma temperatūra ( $^{\circ}\text{C}$ )	-12,8	-20,8	-32,2	-52,0

**Dihlormetāns**  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  (freons-30) tā mazās viskozitātes dēļ zemās temperatūrās ir visai efektīvs aukstuma nesējs. To lieto temperatūrās līdz  $-75^{\circ}\text{C}$  un transportē metāla mucās.

**Etilēnglikola** ūdens šķīdums ir bez smaržas un krāsas. To var lietot par aukstuma nesēju temperatūrās līdz  $-60^{\circ}\text{C}$ . Tas ir indīgs un izraisa metālu koroziju.

### III nodaļa

## TVAIKA KOMPRESIJAS AUKSTUMA MAŠINU CIKLA APRĒĶINS

### 1. Cikla konstruēšana pēc darba parametriem

Tvaika kompresijas aukstuma mašīnas darbības efektivitāti dažādos apstākļos vislabāk var salīdzināt un novērtēt, konstruējot un aprēķinot mašīnas darba ciklu. Zinot galveno procesu temperatūras, var konstruēt tvaika kompresijas aukstuma mašīnas teorētisko ciklu un veikt tā aprēķinu, nosakot 1 kg darba vielas teorētisko aukstuma ražīgumu, kompresora darba patēriņu, no kondensatora aizvadāmo siltuma daudzumu, dzesējošā ūdens daudzumu un citus lielumus.

Visērtāk cikla aprēķiniem izmantot grafisko metodi, konstruējot aukstuma mašīnas darba ciklu  $T$ - $s$  un  $p$ - $i$  diagrammās. Aprēķinos var lietot arī darba vielu piesātināta tvaika parametru tabulas. Biežāk sastopamo darba vielu raksturīgo parametru tabulas un diagrammas dotas pielikumā.

Aukstuma mašīnas teorētiskā darba cikla konstruēšana  $T$ - $s$  diagrammā aplūkota I nodaļā (I-12. att.). Šajā diagrammā darba viela iztvaikotājā pievadīto siltuma daudzumu un no tās aizvadīto siltuma daudzumu kondensatorā, kā arī kompresora darbu tvaika saspiešanai aprēķina pēc attiecīgo laukumu lieluma. Praktiski noteikt laukumu lielumu ir grūti, tāpēc ērtāk aprēķiniem izmantot darba ciklu, kas konstruēts  $p$ - $i$  diagrammā, kurā viegli nolasīt darba vielas entalpijas cikla raksturīgos punktus.

Darba vielas raksturīgo parametru (temperatūras, spiediena, entalpijas, entropijas u. c.) līnijas  $T$ - $s$  un  $p$ - $i$  diagrammās parādītas I-4. attēlā.

Lai konstruētu tvaika kompresijas aukstuma mašīnas teorētisko darba ciklu un veiktū siltumtehnikos aprēķinus, jāzina darba vielas vārīšanās (iztvaikošanas) temperatūra iztvaikotājā  $t_0$ , kondensācijas temperatūra  $t_k$  un sašķidrinātās darba vielas pārdzesēšanas temperatūra  $t_p$ . Šīs temperatūras izvēlas atkarībā no dzesējamās telpas temperatūras un ārējās vides (dzesējošā ūdens vai gaisa) temperatūras. Tiešās iztvaices aukstuma iekārtās darba vielas vārīšanās temperatūrai jābūt par 8...10°C zemākai nekā dzesējamās

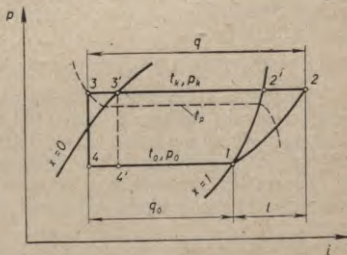


kameras gaisa temperatūra, lai nodrošinātu siltuma pāreju no kameras gaisa uz darba vielu iztvaikotājā. Ja izmanto *netiešās iztvaices aukstuma iekārtas*, kurās telpu dzesē aukstuma nesējs — iztvaikotājā atdzesēts sāls šķīdums —, tad vārišanās temperatūrai  $t_0$  jābūt par  $5 \dots 7^\circ\text{C}$  zemākai nekā sāls šķīduma temperatūra, kam savukārt jābūt par  $8 \dots 10^\circ\text{C}$  zemākai nekā dzesējamās kameras gaisa temperatūra. Darba vielas kondensācijas temperatūrai  $t_k$  jābūt par  $8 \dots 10^\circ\text{C}$  augstākai nekā kondensatoru dzesējošā aukstā ūdens temperatūrā, bet pārdzesēšanas temperatūrai  $t_p$  jābūt par  $3 \dots 4^\circ\text{C}$  augstākai nekā dzesējošā ūdens temperatūra.

Aukstuma mašīnas teorētisko darba ciklu  $p-i$  diagrammā konstruē šādi (III-1. att.). Zinot vārišanās temperatūru  $t_0$  un tai atbilstošo spiedienu iztvaikotājā  $p_0$ , uz augšējās robežliknes  $x=1$  atrod punktu 1, kas raksturo darba vielas sausa piesātināta tvaika stāvokļa parametrus iesūkšanas brīdī kompresorā. Tvaika saspiešana kompresorā notiek adiabatiski. Lai attēlotu šo procesu diagrammā, no punkta 1 velk adiabātu ( $s=\text{const}$ ) pārkarsēta tvaika apgabalā līdz krustpunktam ar pastāvīga spiediena līniju  $p_k$ , kas atbilst dotajai kondensācijas temperatūrai  $t_k$ . Iegūtais punkts 2 raksturo darba vielas tvaika parametrus pēc saspiešanas, tai izplūstot no kompresora. Kondensatorā notiekošo izobārisko procesu ( $p_k=\text{const}$ ) attēlo taisne 2-3. Taisnes nogrieznis 2-2' parāda, kā mainās darba vielas parametri, pārkarsēto tvaiku atdzesējot līdz kondensācijas temperatūrai  $t_k$ .

Kondensācijas laikā temperatūra nemainās, tādēļ šo procesu attēlo taisnes nogrieznis 2'-3'. Kondensējoties mainās darba vielas tvaika saturs no  $x=1$  (punktā 2') līdz  $x=0$  (punktā 3'). Tālāk notiek šķidruma pārdzesēšana līdz temperatūrai  $t_p < t_k$ ; to attēlo taisnes nogrieznis 3'-3. Punkts 3 raksturo darba vielas parametrus pirms regulējošā ventīļa, to atrod kā izobāras  $p_k$  krustpunktu ar izotermu  $t_p$  šķidruma apgabalā. Regulējošajā ventilī droselēšanas rezultātā samazinās darba vielas spiediens no kondensācijas spiediena  $p_k$  līdz spiedienam iztvaikotājā  $p_0$ , darba vielai neveicot ārējo darbu un nenotiekot siltuma apmaiņai ar ārējo vidi. Diagrammā droselēšanas process attēlojas kā vertikāla taisne 3-4 ( $i=\text{const}$ ), un punkts 4 atrodas šīs taisnes un izobāras  $p_0=\text{const}$  krustpunktā mitra tvaika apgabalā, jo regulējošajā ventilī notiek daļēja darba vielas iztvaikošana.

Punkts 4 raksturo iztvaikotājā ieplūstošās darba vielas parametrus. Iztvaikoša-



III-1. att. Tvaika kompresijas aukstuma mašīnas teorētiskais darba cikls  $p-i$  diagrammā.

nas procesu iztvaikoņā (nemainoties spiedienam  $p_0$ ) attēlo diagrammas līnija 4-1. Kā redzams, visi aukstuma mašīnas teorētiskā darba cikla procesi, izņemot tvaika saspiešanu kompresorā,  $p-i$  diagrammā attēlojas ar taisnām līnijām. Galvenó aprēķiniem nepieciešamo darba ciklu raksturojošo parametru lielumus iegūst, izmērot taisnes nogrieņņus uz diagrammas koordinātu asīm.

## 2. Teorētiskā darba cikla aprēķins

Aprēķinot aukstuma mašīnu darba ciklu ar grafisko metodi, jāievēro šāda secība: izejas datu un lielumu noteikšana; projektējamās aukstuma mašīnas darba cikla konstruēšana  $T-s$  vai  $p-i$  diagrammā; darba vielas parametru noteikšana raksturīgajos cikla punktos un cikla siltumtehnikais aprēķins. Aprēķina izejas dati parasti ir šādi: nepieciešamais mašīnas aukstuma ražīgums  $Q_0$  (W vai kcal/h); aukstuma mašīnas darba temperatūras: darba vielas vārišanās temperatūra  $t_0$ , kondensācijas temperatūra  $t_k$ , darba vielas pārdzesēšanas temperatūra  $t_p$ .

Aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums  $Q_0$  vienāds ar siltuma daudzumu, kuru aukstuma mašīnā cirkulējošā darba viela iztvaikošanas procesā uzņem no dzesējamās vides laika vienībā.

Starptautiskajā mērvienību sistēmā aukstuma ražīguma mērvienība ir vats (W). Praksē visbiežāk aukstuma ražīgumu mēra kilokalorijās uz stundu (kcal/h). Starp abām aukstuma ražīguma mērvienībām pastāv šāda sakarība:  $1 \text{ W} = 0,86 \text{ kcal/h}$ .

Siltuma daudzumu, kas jāpatērē 1 kg darba vielas iztvaicēšanai nemainīgā vārišanās temperatūrā, sauc par *darba vielas īpatnējo masas aukstuma ražīgumu*. To apzīmē ar  $q_0$  (kJ/kg).

Tvaika kompresijas aukstuma mašīnas teorētiskā darba cikla aprēķinam izmantosim jau aplūkotās  $T-s$  un  $p-i$  diagrammas (I-12. un III-1. att.). Darba vielas īpatnējais masas aukstuma ražīgums jeb siltuma daudzums, kuru 1 kg darba viela uzņem no dzesējamās vides iztvaikošanas procesā, vienāds ar entalpiju starpību punktos 1 un 4, t. i.,

$$q_0 = i_1 - i_4 \text{ (kJ/kg)}. \quad \text{(III-1)}$$

Spiediena-entalpijas ( $p-i$ ) diagrammā darba vielas īpatnējo masas aukstuma ražīgumu atrod kā izobāras nogriežņi 4-1. Ja nenotiek darba vielas pārdzesēšana, tad īpatnējais masas aukstuma ražīgums ir mazāks un to aprēķina kā nogriežņi 4'-1.

Teorētiski nepieciešamo darbu 1 kg darba vielas adiabatiskai saspiešanai kompresorā aprēķina kā punktu 2 un 1 entalpiju starpību:

$$l = i_2 - i_1 \text{ (kJ/kg)}. \quad \text{(III-2)}$$

$p-i$  diagrammā darbam  $l$  atbilst adiabatās 1-2 projekcija uz abscisu ass. [Tehniskajā mērvienību sistēmā darba mērvienība ir  $\text{kgf} \cdot \text{m}$ ,



tāpēc darba izteikšanai siltuma mērvienībās — kilokalorijās — jālieto darba termiskais ekvivalents  $A=1/427$  kcal/(kgf·m). Tādā gadījumā darba aprēķināšanas formula ir šāda:  $Al=i_2-i_1$  (kcal/kg). SI sistēmā  $A=1$ .]

Saskaņā ar enerģijas nezūdamības likumu siltuma daudzums, kuru no 1 kg darba vielas kondensatorā aizvada dzesējošais ūdens vai gaiss (izobāra 2-3), vienāds ar 1 kg darba vielas iztvaicēšanai no dzesējamās vides iztvaikotājam pievadītā siltuma daudzuma un šī tvaika daudzumā saspiēšanai kompresorā patērētā darba summu, t. i.,  $q_k=q_0+l$  (kJ/kg). To var izteikt arī kā darba vielas entalpiju starpību, t. i.,

$$q_k=i_2-i_3 \text{ (kJ/kg)}. \quad (\text{III-3})$$

Spiediena-entalpijas diagrammā no kondensatora aizvadāmais siltuma daudzums nosakāms kā taisnes nogriežņa 2-3 garums.

*Teorētiskā darba cikla dzesēšanas koeficients*

$$\varepsilon_t = \frac{q_0}{l} = \frac{i_1-i_4}{i_2-i_1}. \quad (\text{III-4})$$

Sistēmā cirkulējošās darba vielas daudzumu, kuru 1 sekundes laikā iesūc kompresora cilindrā, var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$G = \frac{Q_0}{1000q_0} \text{ (kg/s)}, \quad (\text{III-5})$$

kur  $Q_0$  — aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums vatos (W).

*Kompresorā 1 sekundes laikā iesūcamās darba vielas tvaika tilpums*

$$V = Gv_1 \text{ (m}^3\text{/s)}, \quad (\text{III-6})$$

kur  $v_1$  — iesūcamā tvaika īpatnējais tilpums ( $\text{m}^3\text{/kg}$ ), kuru atrod pēc diagrammas (caur punktu 1 ejošā izohora) vai arī darba vielas piesātinātā tvaika tabulās (pielikuma 2. un 3. tab.).

Ievietojot  $G$  izteiksmi (III-5) formulā (III-6), iegūstam šādu izteiksmi:

$$V = \frac{Q_0}{1000q_0} \cdot v_1 = \frac{Q_0}{1000q_0} \text{ (m}^3\text{/s)}, \quad (\text{III-7})$$

kur  $q_0$  ( $\text{kJ/m}^3$ ) ir darba vielas tvaika īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums (pielikuma 4. un 5. tab.).

Atkarībā no tvaika tilpuma  $V$  lieluma aprēķina aukstuma mašīnas teorētiskā kompresora galvenos izmērus.

Kompresora darbināšanai nepieciešamā teorētiskā jauda

$$N_t = Gl = \frac{Q_0}{1000\varepsilon_t} \text{ (kW)}. \quad (\text{III-8})$$

No siltuma bilances izsakot, kondensatora kopējā siltuma slodze

$$Q_k = Q_0 + N_t \cdot 1000 = Q_0 + \frac{Q_0}{\varepsilon_t} = Q_0 \frac{\varepsilon_t + 1}{\varepsilon_t} \text{ (W)}. \quad (\text{III-9})$$

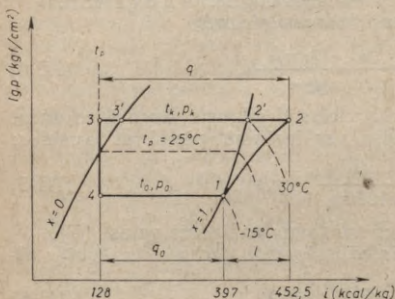
Ja kondensatorā notiek darba vielas pārdzesēšana, tad no kondensatora aizvadītais siltuma daudzums

$$Q'_k = Q_k + Q_p \text{ (W)}, \quad (\text{III-10})$$

pie tam pastāv šāda attiecība:

$$\frac{Q_k}{Q_p} = \frac{i_2 - i_3'}{i_3' - i_3} \quad (\text{III-11})$$

Spiedienu attiecību kondensatorā un iztvaikotājā  $p_k/p_0$  nosaka pēc diagrammas vai darba vielas piesātināta tvaika parametru tabulām. Šo attiecību izmanto kompresora reālo darba apstākļu raksturojošo koeficientu noteikšanai, kuri nepieciešami kompresoru aprēķinos.



III-2. att. Amonjaka aukstuma mašīnas teorētiskais darba cikls (1. piemēram).

talpiju pēc regulējošā ventiļa (pēc droselēšanas)  $i_3 = i_4 = 128$  kcal/kg = 536 kJ/kg.

Sos datus izmanto pārējo lielumu aprēķināšanai.

Amonjaka īpatnējais masas aukstuma ražīgums

$$q_0 = i_1 - i_4 = 1660 - 536 = 1124 \text{ kJ/kg.}$$

Teorētiski nepieciešamais darbs 1 kg amonjaka tvaika saspiešanai kompresorā

$$l = i_2 - i_1 = 1890 - 1660 = 230 \text{ kJ/kg.}$$

Siltuma daudzums, kuru aizvada no 1 kg amonjaka kondensatorā,

$$q_k = q_0 + l = 1124 + 230 = 1354 \text{ kJ/kg.}$$

Aukstuma mašīnas teorētiskā darba cikla dzesēšanas koeficients

$$\epsilon_t = \frac{q_0}{l} = \frac{1124}{230} = 4,88.$$

Kompresorā iesūcāmā amonjaka daudzums vienā sekundē

$$G = \frac{Q_0}{1000 q_0} = \frac{29000}{1000 \cdot 1124} = 0,0258 \text{ kg/s.}$$

1. piemērs. Aprēķināt amonjaka aukstuma mašīnas teorētisko darba ciklu, ja tās aukstuma ražīgums  $Q_0 = 29000$  W (25000 kcal/h), bet  $t_0 = -15^\circ\text{C}$ ,  $t_k = 30^\circ\text{C}$  un  $t_p = 25^\circ\text{C}$ .

No amonjaka  $p$ - $i$  diagrammas (pielikuma III diagramma un III-2. att.) atrod

1) sausa piesātināta amonjaka tvaika entalpiju iesūkšanas momentā kompresorā (punkts 1)  $i_1 = 397$  kcal/kg = 1660 kJ/kg;

2) sausa piesātināta amonjaka tvaika īpatnējo tilpumu  $v_1 = 0,509$  m<sup>3</sup>/kg;

3) amonjaka tvaika entalpiju adiabatiskās saspiešanas beigās (punkts 2)

$$i_2 = 452,5 \text{ kcal/kg} = 1890 \text{ kJ/kg;}$$

4) šķidra pārdzesēta amonjaka entalpiju un amonjaka en-



Kompresorā vienā sekundē iesūcamā amonjaka tvaika tilpums

$$V = Gv_1 = 0,0258 \cdot 0,509 = 0,0131 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Kompresora darbināšanai nepieciešamā teorētiskā jauda

$$N_t = \frac{Q_0}{1000\varepsilon_t} = \frac{29\,000}{1000 \cdot 4,88} = 5,94 \text{ kW},$$

vai arī

$$N_t = Gl = 0,0258 \cdot 230 = 5,94 \text{ kW}.$$

Kondensatora siltuma slodze

$$Q_k = Q_0 \frac{\varepsilon_t + 1}{\varepsilon_t} = 29\,000 \frac{4,88 + 1}{4,88} = 35\,000 \text{ W}.$$

2. piemērs. Aprēķināt aukstuma mašīnas teorētisko darba ciklu, ja darba viela ir freons-12. Aprēķiniem izmantot iepriekšējā piemērā dotos lielumus.

No freona-12  $p$ - $i$  diagrammas (pielikuma IV diagramma) atrod

1) sausa piesātinātā freona-12 tvaika entalpiju pirms iesūkšanas kompresorā  $i_1 = 135,3 \text{ kcal/kg} = 567 \text{ kJ/kg}$ ;

2) sausa piesātinātā freona-12 tvaika īpatnējo tilpumu  $v_1 = 0,0925 \text{ m}^3/\text{kg}$ ;

3) freona tvaika entalpiju pēc saspiešanas kompresorā

$$i_2 = 141,5 \text{ kcal/kg} = 593 \text{ kJ/kg};$$

4) šķidra freona entalpiju pirms regulējošā ventiļa

$$i_3 = i_4 = 105,8 \text{ kcal/kg} = 444 \text{ kJ/kg}.$$

Izmantojot šos datus, aprēķina pārējos darba ciklu raksturojošos lielumus. Freona-12 īpatnējais masas aukstuma ražīgums

$$q_0 = i_1 - i_4 = 567 - 444 = 123 \text{ kJ/kg}.$$

Teorētiskais darbs 1 kg freona-12 tvaika adiabatiskai saspiešanai kompresorā

$$l = i_2 - i_1 = 593 - 567 = 26 \text{ kJ/kg}.$$

Siltuma daudzums, kas jāaizvada no 1 kg freona-12 kondensatorā,

$$q_k = i_2 - i_3 = 593 - 444 = 149 \text{ kJ/kg}.$$

Teorētiskā darba cikla dzesēšanas koeficients

$$\varepsilon_t = \frac{q_0}{l} = \frac{123}{26} = 4,74.$$

Kompresorā vienā sekundē iesūcamā freona-12 daudzums

$$G = \frac{Q_0}{1000q_0} = \frac{29\,000}{1000 \cdot 123} = 0,236 \text{ kg/s}.$$

Freona-12 tvaika tilpums, kuru 1 sekundē iesūc kompresorā,

$$V = Gv_1 = 0,236 \cdot 0,0925 = 0,0218 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Kompresora darbināšanai nepieciešamā teorētiskā jauda

$$N_t = \frac{Q_0}{1000\varepsilon_t} = \frac{29\,000}{1000 \cdot 4,74} = 6,12 \text{ kW}.$$

Kondensatora siltuma slodze

$$Q_k = Q_0 \frac{\varepsilon_t + 1}{\varepsilon_t} = 29\,000 \frac{4,74 + 1}{4,74} = 35\,100 \text{ W}.$$

### 3. Darba apstākļu ietekme uz aukstuma iekārtas aukstuma ražīgumu

Iekārtas aukstuma ražīgumu ietekmē tās darba apstākļi. Kā jau minēts, zinot vienas sekundes laikā kompresorā iesūcamās darba vielas tvaika tilpumu  $V$  [formulas (III-6) un (III-7)], var aprēķināt teorētiskā kompresora geometriskos izmērus, pie tam kompresora virzuļa sekundē aprakstītajam tilpumam  $V_s$  jābūt vienādam ar sekundē iesūcamā tvaika tilpumu  $V$ . (Teorētiskais kompresors strādā bez zudumiem, tādēļ  $V_s = V$ .)

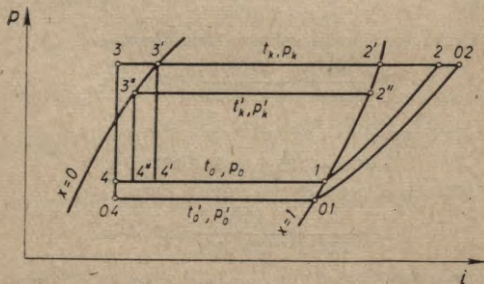
Zinot dotā virzuļa sekundē aprakstīto tilpumu  $V_s$  vai teorētiskā kompresora izmērus, no vienādības (III-7) var aprēķināt, ka mašīnas aukstuma ražīgums

$$Q_0 = 1000 q_v V_s \text{ (W)} \quad \text{(III-12)}$$

Lielumi  $q_v$  un  $Q_0$  nav konstanti, bet ir atkarīgi no aukstuma mašīnas darba režīma un darba vielas vārīšanās, kondensācijas un pārdzesēšanas temperatūras.

Ja darba vielas temperatūru pirms regulējošā ventiļa nemaina, t. i., tā atbilst punkta 3 temperatūrai (III-3 att.), bet pazemina vārīšanās temperatūru ( $t'_0 < t_0$ ), tad darba vielas īpatnējais masas aukstuma ražīgums  $q_0$  mainās nedaudz ( $q_0 = i_1 - i_4 \approx i_{01} - i_{04}$ ), bet kompresorā iesūcamā tvaika īpatnējais tilpums ievērojami palielinās ( $v_{01} > v_1$ ). Rezultātā darba vielas tvaika tilpuma aukstuma ražīgums samazinās ( $q_v = \frac{q_0}{v_{01}} < \frac{q_0}{v_1}$ ), un līdz ar to samazinās arī aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums  $Q_0$ .

Ja darba vielas vārīšanās temperatūru iztvaikotajā  $t_0$  nemaina, bet pazemina šķidruma temperatūru pirms regulējošā ventiļa, šķidrumu pārdzesējot vai arī pazeminot kondensācijas spiedienu līdz



III-3. att. Mainīgu parametru tvaika kompresijas aukstuma mašīnas darba cikls.



$p'_k$ , darba vielas īpatnējais masas aukstuma ražīgums palielinās, t. i.,

$$q_0 = i_1 - i_4 > i_1 - i_4'' > i_1 - i_4'$$

Darba vielas tvaika īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums ( $q_0 = \frac{Q_0}{v_1}$ ) šajā gadījumā palielinās, un attiecīgi palielinās arī aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums  $Q_0$ .

Tātad aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums un arī darba vielas tvaika īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums ir atkarīgs no darba režīma. Mašīnas režīms parasti mainās, izmainoties kondensatora dzesējošā ūdens temperatūrai un mainoties dzesējamās telpas temperatūras režīmam. Jo dzesējošā ūdens temperatūra augstāka un dzesējamās telpas temperatūra zemāka, jo zemāks ir aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums  $Q_0$ .

Lai salīdzinātu dažādas aukstuma mašīnas, to aukstuma ražīgums jāaprēķina vienādos darba režīma apstākļos. Aukstuma iekārtu katalogos un tehniskajās pasēs parasti dots aukstuma mašīnas *nominālais aukstuma ražīgums*, ko tā attīsta *nominālā režīma apstākļos* (vārīšanās temperatūra  $t_0 = -15^\circ\text{C}$ ; kondensācijas temperatūra  $t_k = 30^\circ\text{C}$ ; pārdzesēšanas temperatūra  $t_p = 25^\circ\text{C}$ ). Bez tam vēl pieņemts, ka kompresorā iesūc pārkarsētu tvaiku (amonjaka pārkarsēšanas temperatūra  $t_t = -10^\circ\text{C}$ , freona  $t_t = 15^\circ\text{C}$ ).

Agrāk praksē lietoja arī «normālo» aukstuma ražīgumu, kas atbilst «normāla» darba režīma apstākļiem ( $t_0 = -10^\circ\text{C}$ ;  $t_k = 25^\circ\text{C}$ ;  $t_p = 15^\circ\text{C}$ ), ja kompresorā iesūc piesātinātu tvaiku. Freonā mašīnām aukstuma ražīgumu bieži izsaka gaisa «kondicionēšanas režīma» apstākļiem ( $t_0 = 5^\circ\text{C}$ ;  $t_t = 20^\circ\text{C}$ ;  $t_k = 35^\circ\text{C}$ ;  $t_p = 30^\circ\text{C}$ ).

Konkrētajos darba temperatūru režīma apstākļos aukstuma mašīnas sasniegto aukstuma ražīgumu sauc par *darba aukstuma ražīgumu*. Salīdzināt var tikai vienādos apstākļos strādājošu aukstuma mašīnu aukstuma ražīgumus. Sakarību starp nominālo aukstuma ražīgumu un darba aukstuma ražīgumu aukstuma mašīnai ar teorētisku kompresoru (strādā bez zudumiem) var atrast pēc šādām aukstuma ražīguma aprēķina vienādbībām:

$$\begin{aligned} \text{darba apstākļiem } Q_{0d} &= 1000 q_{vd} V_s \text{ (W);} \\ \text{nominālajiem apstākļiem } Q_{0n} &= 1000 q_{vn} V_s \text{ (W).} \end{aligned}$$

No vienādbībām iegūstama šāda attiecība:

$$\frac{Q_{0d}}{q_{vd}} = \frac{Q_{0n}}{q_{vn}} \quad (\text{III-13})$$

Tātad aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums darba apstākļos

$$Q_{0d} = Q_{0n} \frac{q_{vd}}{q_{vn}} \text{ (W),} \quad (\text{III-14})$$

kur  $q_{vn}$  un  $q_{vd}$  ir darba vielas tvaika īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums nominālajos apstākļos un darba apstākļos.

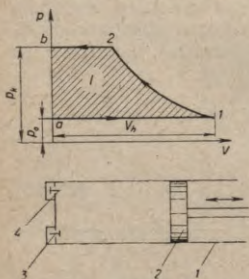
Tvaika kompresijas aukstuma mašīnas reālais cikls atšķiras no teorētiskā cikla, jo kompresorā un aukstuma mašīnas sistēmā rodas iesūcamās darba vielas *tilpuma zudumi* un *enerģētiskie zudumi*. Darba vielas tilpuma zudumi samazina aukstuma mašīnas aukstuma ražīgumu, bet enerģētiskie zudumi palielina jaudas patēriņu salīdzinājumā ar teorētiski aprēķināto. Šie zudumi ir diezgan lieli, un tos aprēķinos ņem vērā, lietojot labojuma koeficientus.

#### 4. Darba vielas tilpuma zudumi aukstuma mašīnas reālajā darba ciklā

Aukstuma mašīnas aukstuma ražīgumu samazinošie darba vielas tilpuma zudumi galvenokārt rodas kompresorā. Aukstumtehnikā plaši izplatīti dažādas konstrukcijas virzuļkompresori. (Kompresoru konstrukcijas un darbības principi sīkāk aplūkoti V nodaļā.) Virzuļkompresora darbības cikls norisinās viena kloķvārpstas apgrieziena laikā. Virzulim pārvietojoties kompresora cilindrā no viena galējā stāvokļa līdz otram, mainās darba vielas spiediens  $p$  un tās ieņemamais tilpums  $V$ . Šis izmaiņas attēlo *indikatora diagramma*  $p$ - $V$  koordinātēs. III-4. attēlā parādīta teorētiskā kompresora, kas strādā bez zudumiem, indikatora diagramma. Virzulim 2 pārvietojoties no kreisās puses uz labo, cilindrā rodas retinājums, atveras ieplūdes vārsts 3 un notiek darba vielas tvaika iesūkšana no iztvaikotāja. Šis process notiek pie pastāvīga spiediena  $p_0$ , kas vienāds ar spiedienu iztvaikotājā, un  $p$ - $v$  diagrammā to attēlo līnija  $a-1$ . Virzulim nonākot galējā labajā stāvoklī, viss cilindra tilpums piepildīts ar tvaiku. Virzula viena gājienu laikā iesūktā tvaika tilpums ir  $V_h$ . Virzulim sākot kustību no labās uz kreiso pusi, aizveras ieplūdes vārsts un sākas darba vielas tvaika adiabatiska saspiešana (līnija 1-2). Kad tvaika spiediens kļūst vienāds ar spiedienu kondensatorā  $p_k$ , atveras izplūdes vārsts 4

un notiek tvaika izobāriska izspiešana no cilindra (līnija 2- $b$ ). Virzulim atrodoties galējā kreisajā stāvoklī, viss tvaiks no cilindra ir izspiests. Pēc tam cikls atkārtojas.

Praktiski kompresorā virzulis nekad neaiziet pilnīgi blīvi līdz cilindra galam un tādēļ visu tvaiku neizspiež. Starp virzuli un cilindra vāku izveidojas *kaitīgā telpa* (III-5. att.). Kaitīgā telpa izmaina kompresora darba procesu un rada ievērojamu kompresora iesūcamās darba vielas tilpuma samazināšanos jeb zudumus. Šie zudumi uzskatāmi redzami kompresora reālajā indikatora diagrammā (III-6. att.).



III-4. att. Kompresora teorētiskā indikatora diagramma: 1 — cilindrs; 2 — virzulis; 3 — ieplūdes vārsts; 4 — izplūdes vārsts.



Kaitīgajā telpā, kuras tilpums diagrammā apzīmēts ar  $V_c$ , vienmēr paliek saspīestais darba vielas tvaiks. Virzulim pārvietojoties pa labi, šis tvaiks izplešas līdz sūkšanas spiedienam  $p_0$  (līnija  $d-a$ ) un aizņem cilindra tilpumu  $C_1$ . Tikai pēc tam atveras ieklūdes vārsts, un sākas jauna tvaika tilpuma iesūkšana no iztvaikotāja (līnija  $a-b$ ). Tātad kaitīgā telpa samazina iesūcamās darba vielas daudzumu un pazemina kompresora aukstuma ražīgumu. Iesūcamās darba vielas tilpuma zudumi  $C_1$  ir atkarīgi no tvaika saspiešanas pakāpes kompresorā, un tos var aprēķināt pēc šādas attiecības:

$$\frac{V_c + C_1}{V_c} = \left( \frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{1}{n}},$$

kur  $n$  — tvaika izplešanās politropas pakāpes rādītājs.

Laikā ņemtu vērā iesūcamās darba vielas tilpuma zudumus, kas rodas kaitīgās telpas dēļ, aprēķinos lieto *indikatora diagrammas tilpuma koeficientu*

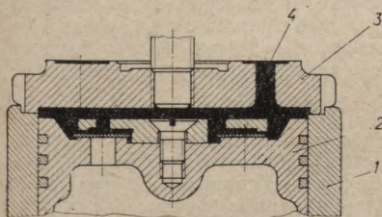
$$\lambda_c = \frac{V_h - C_1}{V_h} = 1 - C_0 \left[ \left( \frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right], \quad (\text{III-15})$$

kur  $V_h$  — kompresora cilindra darba tilpums;

$C_0 = \frac{V_c}{V_h}$  — relatīvā kaitīgā telpa. Atkarībā no kompresora tipa un lieluma  $C_0 = 0,02 \dots 0,08$ .

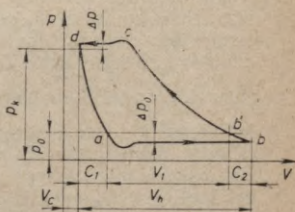
Kaitīgā telpa kompresora cilindrā ir nepieciešama, jo darba laikā sasilstot pagarinās virzuļa kloķa-klaņa mehānisms. Kompresorus konstruējot, cilindru kaitīgo telpu cenšas izveidot pēc iespējas minimālu.

Tilpuma zudumus kompresorā ietekmē arī hidrauliskās pretestības vārstos, cilindra kanālos un cauruļvados. Hidraulisko



III-5. att. Kompresora cilindra kaitīgās telpas shēma;

1 — cilindrs; 2 — virzulis; 3 — cilindra vāks; 4 — kaitīgā telpa.



III-6. att. Kompresora reālā cikla indikatora diagramma.

pretestību dēļ sūkšanas spiediens (līnija  $a-b$ ) ir zemāks nekā spiediens iztvaikotājā par lielumu  $\Delta p_0$ , tādēļ praktiski tvaika iesūkšana nesākas punktā  $a$ , bet līknes minimuma punktā. Turpretim tvaika izplūdes procesā (līnija  $c-d$ ) nepieciešams spiediens, kas augstāks nekā kondensatorā par lielumu  $\Delta p$ . Sūkšanas spiediena pazemināšana samazina tvaika blīvumu, resp., cilindrā iesūcamā tvaika daudzumu. Iesūcamās darba vielas tilpuma zudumus hidraulisko prettestību dēļ raksturo nogrieznis  $C_2$ , jo tikai punktā  $b'$  iesūcamais tvaiks ir saspīests līdz spiedienam iztvaikotājā  $p_0$  (līnija  $b-b'$ ).

Sos tilpuma zudumus ievēro, lietojot *droselēšanas koeficientu*

$$\lambda_{dr} = \frac{V_h - C_1 - C_2}{V_h - C_1} \quad (\text{III-16})$$

Droselēšanas koeficienta vērtība ir atkarīga no  $\Delta p_0$  un no vārišanās temperatūras. Ja kompresora relatīvā kaitīgā telpa  $C_0 = 4\%$ , droselēšanas koeficienta vērtības dažādām vārišanās temperatūrām ir šādas:

Vārišanās temperatūra $t_0$ (°C)	Droselēšanas koeficients $\lambda_{dr}$	
	$\Delta p_0 = 0,005$ MPa	$\Delta p_0 = 0,01$ MPa
0	0,99	0,97
-15	0,98	0,95
-30	0,95	0,91
-50	0,86	0,72

Darba vielas tilpuma zudumus  $C_1$  un  $C_2$  var izteikt ar *iesūkšanas indikatora koeficientu*  $\lambda_1 = \lambda_c \cdot \lambda_{dr}$ .

Saspiešanas laikā darba vielas temperatūra kompresorā paaugstinās, siltums pāriet no tvaika uz cilindra sienām, virzuli un citām detaļām. Savukārt, tvaiku iesūcot, cilindrs to sasilda. Tāpēc tvaika blīvums samazinās (tvaiks sasilstot izplešas), un rezultātā samazinās kompresorā iesūcamā tvaika daudzums, t. i., rodas iesūcamās darba vielas tilpuma zudumi. Sevišķi lieli tie ir kompresora «mitrā» gājiena režīmā. Tilpuma zudumus siltuma pārejas dēļ raksturo *sasilšanas koeficients*  $\lambda_s$ . Jo spiedienu attiecība  $\frac{p_k}{p_0}$  lielāka, jo intensīvāk notiek siltuma pāreja starp darba vielas tvaiku un cilindra sienām, un  $\lambda_s$  ir mazāks. Palielinot kloķvārpstas apgriezību skaitu minūtē, tvaika uzturēšanās ilgums cilindrā samazinās, bet koeficients  $\lambda_s$  palielinās. Sos darba vielas tilpuma zudumus var noteikt tikai eksperimentāli. Prof. I. Levins vertikālajiem tiešās plūsmas kompresoriem iesaka lietot šādu empīrisku formulu:

$$\lambda_s = \frac{T_0}{T_k}, \quad (\text{III-17})$$



kur  $T_0$  un  $T_k$  — darba vielas vārišanās un kondensācijas absolūtās temperatūras (K).

Kompresorā iesūcamās darba vielas tilpuma zudumus rada arī neblīvumi vārstos, virzuļa gredzenos, blīvslēgos un citur. Neblīvuma dēļ daļa darba vielas tvaika no cilindra augstākā spiediena puses pārplūst uz to cilindra telpu, kurā spiediens ir zemāks. Šos darba vielas tilpuma zudumus raksturo ar *blīvuma koeficientu*  $\lambda_b$ .

Visus iesūcamās darba vielas tilpuma zudumu veidus kopā praktiskos apstākļos ietver *kompresora padeves koeficients*

$$\lambda = \lambda_1 \lambda_s \lambda_b \quad (III-18)$$

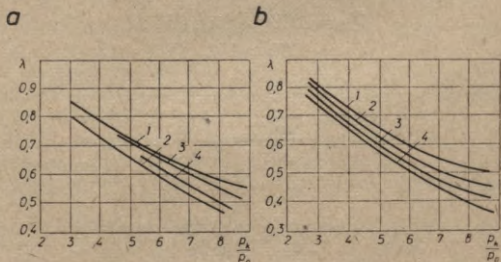
Padeves koeficients raksturo kompresora cilindra darba tilpuma izmantošanas pakāpi. Tas vienāds ar darba apstākļos kompresorā 1 sekundē iesūktās darba vielas tvaika tilpuma  $V$  ( $m^3/s$ ) attiecību pret cilindra virzuļa 1 sekundē aprakstīto tilpumu:

$$\lambda = \frac{V}{V_s} \quad (III-19)$$

Padeves koeficienta aprēķināšanai vertikālajiem amonjaka kompresoriem un V tipa amonjaka kompresoriem I. Badiļkess iesaka šādu empīrisku formulu:

$$\lg \lambda = (0,012 + 0,473C_0) \left( 1 - \frac{p_k}{p_0} \right) \quad (III-20)$$

Padeves koeficientu nosaka eksperimentāli. Tā lielums atkarīgs no kompresora konstrukcijas un izmēriem, kaitīgās telpas lieluma, spiedienu attiecības  $\frac{p_k}{p_0}$ , temperatūru attiecības  $\frac{T_k}{T_0}$ , cilindra dzesēšanas ierīcēm un citiem faktoriem. Lai samazinātu iesūcamās darba



III-7. att. Padeves koeficienta grafiki  $\lambda = f\left(\frac{p_k}{p_0}\right)$ :

a —  $n=8$  apgr./s; 1 un 2 — kompresoram 4AY-15, ja  $C_0=5,35\%$  un  $C_0=7,63\%$ ; 3 un 4 — kompresoram 2AB-27, ja  $C_0=3,92\%$  un  $C_0=4,92\%$ ;  
b — dažādiem vārpstas griešanās ātrumiem; 1 un 2 — kompresoram 4AY-8 ar  $C_0=5,85\%$ , ja  $n=16$  apgr./s un  $n=12,5$  apgr./s; 3 un 4 — kompresoram 2AY-8 ar  $C_0=6,27\%$ , ja  $n=15,8$  apgr./s un  $n=12$  apgr./s.

vielas tilpuma zudumus un palielinātu kompresora padeves koeficientu  $\lambda$ , darba laikā kompresora cilindru dzesē. Padeves koeficienta vērtības sakopo tabulās vai arī attēlo grafiski  $\lambda = f\left(\frac{p_k}{p_0}\right)$ . Kā redzams III-7. attēlā, kompresora cilindra padeves koeficients  $\lambda$  samazinās, palielinoties spiedienu attiecībai  $p_k/p_0$ .

Zinot faktiski 1 sekundē kompresorā iesūktā tvaika tilpumu  $V = V_s \lambda$  ( $m^3/s$ ) un darba vielas tvaika īpatnējo tilpuma aukstuma ražīgumu  $q_v$  ( $kJ/m^3$ ), aprēķina aukstuma mašīnas faktisko aukstuma ražīgumu

$$Q_0 = 1000 q_v V_s \lambda \quad (W) \quad (III-21)$$

Vienkāršas darbības kompresoriem

$$V_s = \frac{\pi D^2}{4} S n z \quad (m^3/s), \quad (III-22)$$

bet divkāršas darbības kompresoriem

$$V_s = \frac{\pi}{4} (2D^2 - d^2) S n z \quad (m^3/s), \quad (III-23)$$

kur  $D$  — kompresora cilindra diametrs (m);

$d$  — virzuļa kāta diametrs (m);

$S$  — virzuļa gājienu garums (m);

$n$  — kloķvārpstas apgriezienu skaits sekundē;

$z$  — cilindru skaits.

Izmantojot vienādību (III-21), var atrast sakarības starp reālā procesa darba aukstuma ražīgumu un nominālo aukstuma ražīgumu.

Darba apstākļos un nominālajos apstākļos mašīnas faktiskais aukstuma ražīgums

$$\begin{aligned} Q_{0d} &= 1000 q_{vd} V_s \lambda_d \quad (W); \\ Q_{0n} &= 1000 q_{vn} V_s \lambda_n \quad (W). \end{aligned} \quad (III-24)$$

Pārveidojot vienādības, iegūst šādu sakarību:

$$\frac{Q_{0d}}{q_{vd} \lambda_d} = \frac{Q_{0n}}{q_{vn} \lambda_n}$$

No šejienes

$$Q_{0d} = Q_{0n} \frac{q_{vd} \lambda_d}{q_{vn} \lambda_n}$$

un

$$Q_{0n} = Q_{0d} \frac{q_{vn} \lambda_n}{q_{vd} \lambda_d}$$

(III-25)

kur  $\lambda_d$  un  $\lambda_n$  — kompresora cilindra padeves koeficienti darba apstākļos un nominālajos apstākļos;



$q_{vd}$  un  $q_{vn}$  — teorētiskais darba vielas tvaika īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums darba apstākļos un nominālajos apstākļos.

Daļa iegūtā aukstuma iet zudumā tāpēc, ka pieplūst siltums caur palīgaparātu un cauruļvadu izolāciju. Aukstuma ražīgumu, kāds nepieciešams produktu atdzesēšanai un temperatūras režīma uzturēšanai kamerās, sauc par *lietderīgo* jeb *neto aukstuma ražīgumu*. Aukstuma zudumus pašā aukstuma mašīnā un sistēmā raksturo *zudumu koeficients*

$$\psi = \frac{Q_0 \text{ neto}}{Q_0 \text{ bruto}} .$$

Tiešās iztvaices aukstuma iekārtām  $\psi = 0,9 \dots 0,95$ , bet netiešās iztvaices aukstuma iekārtām  $\psi = 0,85 \dots 0,9$ .

## 5. Enerģētiskie zudumi

Hidrauliskās pretestības tvaika ieplūdes un izplūdes kanālos un siltuma apmaiņa kompresora cilindrā izraisa ne vien iesūcāmās darba vielaš tilpuma zudumus, bet arī palielina tvaika saspiešanas darbu kompresora reālajā ciklā salīdzinājumā ar saspiešanas darbu teorētiskajā ciklā. Reālajā ciklā darba vielas tvaika saspiešana notiek adiabatiski, bet politropiski.

Enerģētiskos zudumus, kas rodas darba vielas tvaika saspiešanas darba palielināšanās dēļ, raksturo *indikatora lietderības koeficients*

$$\eta_i = \frac{l}{l_t}, \quad (\text{III-26})$$

kur  $l$  — teorētiski nepieciešamais darbs 1 kg darba vielas tvaika adiabatiskai saspiešanai;

$l_t$  — faktiskais darbs 1 kg darba vielas tvaika saspiešanai.

Indikatora lietderības koeficienta  $\eta_i$  skaitliskā vērtība atkarīga galvenokārt no siltuma apmaiņas intensitātes kompresorā, kā arī no spiediena pazemināšanās tvaika ieplūdes ( $\Delta p_0$ ) un izplūdes ( $\Delta p_k$ ) kanālos. Kompresora cilindra dzesēšana paaugstina  $\eta_i$ , jo tad siltuma apmaiņa starp darba vielu un cilindra sienām ievērojami samazinās.

Aptuveni *indikatora lietderības koeficientu*  $\eta_i$  var aprēķināt pēc šādas prof. I. Levina ieteiktas empīriskas formulas:

$$\eta_i = \lambda_s + b t_0, \quad (\text{III-27})$$

kur  $\lambda_s$  — sasilšanas koeficients, kuru aprēķina pēc formulas (III-17);

$t_0$  — vārišanās temperatūra ( $^{\circ}\text{C}$ );

$b$  — koeficients (horizontālajiem amonjaka kompresoriem  $b = 0,002\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , vertikālajiem amonjaka kompresoriem  $b = 0,001\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , vertikālajiem freona kompresoriem  $b = 0,0025\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

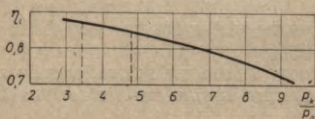
Parasti indikatora lietderības koeficients  $\eta_i$  ir mazāks par sasilšanas koeficientu  $\lambda_s$  (vārīšanās temperatūrai  $t_0$  ir mīnusa zīme), bet lielāks par kompresora padeves koeficientu  $\lambda$ . Lietderības koeficientu  $\eta_i$  nosaka eksperimentāli katram kompresoru tipam atkarībā no spiedienu attiecības  $\frac{p_k}{p_0}$ . III-8. attēlā doti ar ūdeni dzesējamu vertikālo amonjaka kompresoru un V tipa amonjaka kompresoru indikatora lietderības koeficienti  $\eta_i$  atkarībā no kompresijas pakāpes (a) un mazo freona kompresoru padeves koeficienti  $\lambda$  un  $\eta_i$  atkarībā no kompresijas pakāpes (b).

Kompresora *indicēto* jaudu aprēķina pēc šādas formulas:

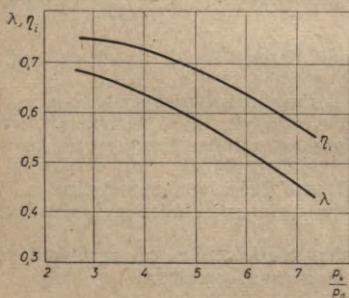
$$N_i = \frac{N_t}{\eta_i} \text{ (kW)}, \quad (\text{III-28})$$

kur  $N_t$  — teorētiskā kompresora darbināšanai nepieciešamā jauda (kW).

a



b



III-8. att. Kompresoru indikatora lietderības koeficienta  $\eta_i$  un padeves koeficienta  $\lambda$  atkarība no kompresijas pakāpes:

a — vidējas un lielas jaudas amonjaka kompresoriem; b — mazas jaudas freona kompresoriem.

Enerģētiskos zudumus, kas rodas kompresora kustošos daļu berzes dēļ, raksturo mehāniskais lietderības koeficients  $\eta_m$ . Tas izsaka kompresora indicētās jaudas  $N_i$  un efektīvās jaudas  $N_e$  attiecību, t. i.,

$$\eta_m = \frac{N_i}{N_e} = \frac{N_i}{N_i + N_b}, \quad (\text{III-29})$$

kur  $N_b$  — berzes pārvarēšanai nepieciešamā jauda, kas galvenokārt atkarīga no kompresora izmēriem un tipa.

Mehānisko lietderības koeficientu ietekmē kompresora slodze ( $N_i$ ). Slodzei palielinoties,  $\eta_m$  pieaug. Vertikālo cilindru kompresoriem  $\eta_m = 0,85 \dots 0,9$ , bet horizontālajiem kompresoriem berzes zudumi ir lielāki un to  $\eta_m = 0,8 \dots 0,85$ .

*Pilnā jeb efektīvā kom-*



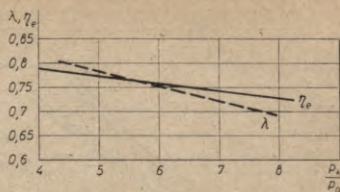
presora darbināšanai nepieciešamā jauda

$$N_e = \frac{N_1}{\eta_m} = \frac{N_t}{\eta_1 \eta_m} = \frac{N_t}{\eta_e} \quad (\text{kW}), \quad (\text{III-30})$$

kur  $\eta_e$  — kompresora efektīvais lietderības koeficients.

Vertikālā amonjaka kompresora padeves koeficienta un efektīvā lietderības koeficienta  $\eta_e$  izmaiņas atkarībā no kompresijas pakāpes

$\frac{p_k}{p_0}$  redzamas III-9. attēlā. Palielinoties kompresijas pakāpei, padeves koeficients un kompresora efektīvais lietderības koeficients samazinās.



III-9. att. Vertikālā amonjaka kompresora padeves koeficienta  $\lambda$  un efektīvā lietderības koeficienta  $\eta_e$  atkarība no kompresijas pakāpes.

## 6. Aukstuma mašīnu raksturojošie parametri

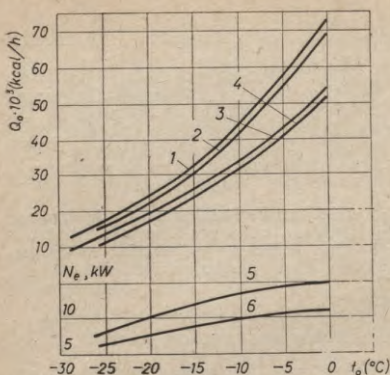
Reālos apstākļos aukstuma mašīnas gandrīz vienmēr strādā mainīga darba režīma apstākļos. Kompresoru aukstuma ražīguma un patērētās jaudas atkarību no darba režīma temperatūrām sauc par *aukstuma mašīnas raksturojumu*.

Saskaņā ar vienādību (III-21) aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums  $Q_0$  atkarīgs ne vien no kompresora izmēriem ( $V_s$ ), bet arī no darba vielas tvaika īpatnējā tilpuma aukstuma ražīguma  $q_0$  un kompresora padeves koeficienta  $\lambda$ . Pēdējie divi lielumi ir atkarīgi no aukstuma mašīnas darba režīma, t. i., no darba vielas vārīšanās, kondensācijas un pārdzesēšanas temperatūrām.

Katrai aukstuma mašīnai atbilst noteikti *raksturojošie parametri*, kas ietver konstrukcijas un termodinamiskā cikla īpatnības, kā arī darba vielas īpašības.

Kompresora darbināšanai nepieciešamā jauda arī ir mainīgs lielums, kas mainās atkarībā no darba vielas kondensācijas un vārīšanās spiedienu  $p_k$  un  $p_0$  attiecības (tātad arī no attiecīgo kondensācijas un vārīšanās temperatūru  $t_k$  un  $t_0$  attiecības). Noskaidrots, ka vairumam darba vielu maksimālais jaudas patēriņš atbilst šādai spiedienu attiecībai:  $p_0 = \frac{1}{3} p_k$ . Kondensācijas spiedienam paaugstinoties, attiecīgi pieaug jaudas patēriņš.

Aukstuma mašīnu raksturojošos parametrus parasti attēlo grafiski (III-10. att.). Uz abscisu ass atliek vārīšanās temperatūru  $t_0$ , bet uz ordinātu ass — mašīnas aukstuma ražīgumu  $Q_0$  un efektīvo jaudu  $N_e$  uz kompresora vārpstas.



III-10. att. Amonjaka aukstuma mašīnas AKAV-30 raksturojums:

$Q_0$  — aukstuma ražīgums;  $N_e$  — efektīvā jauda;  $t_0$  — vārišanās temperatūra;  $t_k$  — kondensācijas temperatūra; 1 un 2 —  $n=16$  apgr./s,  $t_k=25^\circ\text{C}$  un  $t_k=30^\circ\text{C}$ ; 3 un 4 —  $n=12$  apgr./s,  $t_k=25^\circ\text{C}$  un  $t_k=30^\circ\text{C}$ ; 5 —  $n=16$  apgr./s,  $t_k=30^\circ\text{C}$ ; 6 —  $n=12$  apgr./s,  $t_k=30^\circ\text{C}$ .

stākļos un šādā darba režīmā: vārišanās temperatūra  $t_0 = -20^\circ\text{C}$ , kondensācijas temperatūra  $t_k = 30^\circ\text{C}$ ; pārdzesēšanas temperatūra  $t_p = 25^\circ\text{C}$ .

Aukstuma mašīnas aukstuma ražīgumu var aprēķināt pēc vienādībām (III-24).

Amonjaka teorētiskais īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums nominālajā režīmā ( $t_0 = -15^\circ\text{C}$ ;  $t_k = 30^\circ\text{C}$ ;  $t_p = 25^\circ\text{C}$ )  $q_{vn} = 528,9 \text{ kcal/m}^3 = 2210 \text{ kJ/m}^3$ , bet darba apstākļos ( $t_0 = -20^\circ\text{C}$ ;  $t_k = 30^\circ\text{C}$ ;  $t_p = 25^\circ\text{C}$ )  $q_{vd} = 428,8 \text{ kcal/m}^3 = 1800 \text{ kJ/m}^3$  (pielikuma 4. tabula).

Amonjaka piesātināta tvaika tabulā (pielikuma 2. tabula) atrod spiedienu attiecību  $\frac{p_k}{p_0}$ . Kompresora padeves koeficientu  $\lambda$  nominālajiem apstākļiem un darba apstākļiem nosaka pēc grafika (III-7. att.).

Nominālajiem apstākļiem ( $t_k = 30^\circ\text{C}$ ;  $t_0 = -15^\circ\text{C}$ )

$$\frac{p_k}{p_0} = \frac{11,895}{2,41} = 4,94; \quad \lambda_n = 0,72;$$

darba apstākļiem ( $t_k = 30^\circ\text{C}$ ;  $t_0 = -20^\circ\text{C}$ )

$$\frac{p_k}{p_0} = \frac{11,895}{1,94} = 6,13; \quad \lambda_d = 0,66.$$

Aprēķina aukstuma mašīnas nominālo aukstuma ražīgumu un darba aukstuma ražīgumu:

$$Q_{on} = 1000 \cdot 2210 \cdot 0,079 \cdot 0,72 = 126\,000 \text{ W};$$

$$Q_{od} = 1000 \cdot 1800 \cdot 0,079 \cdot 0,66 = 94\,000 \text{ W}.$$

No raksturojuma var spriest par galvenajiem aukstuma mašīnas parametriem dažādos darba apstākļos. Raksturojošie parametri palīdz aukstuma iekārtu projektētājiem pareizi izvēlēties kompresorus un atbilstošos elektrodzinējus to darbināšanai. Aukstuma mašīnu raksturojošie parametri dod iespēju novērtēt ekspluatācijas apstākļus, sevišķi, ja aukstuma iekārtām jāstrādā mainīgu temperatūru režīmā. Tie sakopoti aukstuma iekārtu katalogos un minēti mašīnu tehniskajās pasēs.

3. piemērs. Amonjaka aukstuma mašīnas kompresora 4AY-15 virzuļa 1 sekundē aprakstītais lielums  $V_s = 0,079 \text{ m}^3/\text{s}$ , ja  $n = 8$  apgr./s ( $n = 480$  apgr./min.). Aprēķināt aukstuma mašīnas aukstuma ražīgumu un kompresora dzinēja jaudu nominālajos ap-



Nominālajos apstākļos teorētiskais dzesēšanas koeficients [vienādība (III-4)]

$$\varepsilon_t = \frac{q_0}{l} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{1660 - 536}{1890 - 1660} = 4,86$$

un kompresora dzinēja teorētiskā jauda [vienādība (III-8)]

$$N_t = \frac{126\,000}{1000 \cdot 4,86} = 25,8 \text{ kW}.$$

Dotajos darba apstākļos

$$\varepsilon_t = \frac{q_0}{l} = \frac{1650 - 536}{1920 - 1650} = 4,2$$

$$\text{un } N_t = \frac{94\,000}{1000 \cdot 4,2} = 22,4 \text{ kW}.$$

Indikatora lietderības koeficientu  $\eta_i$  atrod pēc grafika (III-8. att.).

$$\text{Nominālajiem apstākļiem } \left( \frac{p_k}{p_0} = 4,94 \right) \eta_i = 0,84;$$

$$\text{darba apstākļiem } \left( \frac{p_k}{p_0} = 6,13 \right) \eta_i = 0,81.$$

Aptuveni pieņemot, ka mehāniskais lietderības koeficients  $\eta_m = 0,85$ , nepieciešamā kompresora dzinēja efektīvā jauda nominālajos apstākļos

$$N_e = \frac{N_t}{\eta_i \eta_m} = \frac{25,8}{0,84 \cdot 0,85} = 36,1 \text{ kW}$$

un darba apstākļos

$$N_e = \frac{22,4}{0,81 \cdot 0,85} = 32,5 \text{ kW}.$$

## IV nodaļa

### VAIRĀKPAKĀPJU AUKSTUMA MAŠINAS

#### 1. Vairākpakāpju aukstuma mašīnu lietošana

Pārtikas produktu sasaldēšanai, saldējuma ražošanai, sublimācijas kaltēs, dažu sasaldētu produktu uzglabāšanai un transportēšanai pielieto pazeminātu temperatūru režīmus — zem  $-18^{\circ}\text{C}$ . Šādā gadījumā aukstuma mašīnas iztvaikotājā jāuztur zema aukstuma aģenta vārīšanās temperatūra, tādēļ ievērojami palielinās kondensācijas un vārīšanās spiedienu attiecība  $\frac{p_k}{p_0}$  un šo spiedienu starpība  $p_k - p_0$ , jo sevišķi, ja kondensatora dzesējošā ūdens temperatūra ir augsta. Šādos apstākļos jūtami samazinās kompresorā iesūcamā tvaika daudzums un palielinās darba patēriņš, jo samazinās padeves un indikatora lietderības koeficientu skaitliskās vērtības. Bez tam, pazeminoties vārīšanās temperatūrai un paaugstinoties kondensācijas temperatūrai, dažu aukstuma aģentu tvaika temperatūra saspiešanas beigās ievērojami pieaug. Sakarā ar to palielinās kompresora eļļošanas apstākļi, jo parasti eļļām ar zemu sasaldēšanas temperatūru ir arī zema uzliesmošanas temperatūra. Augsta tvaika temperatūra saspiešanas beigās veicina intensīvu eļļas iztvaikošanu un aizplūšanu no kompresora.

Minēto iemeslu dēļ, sasniedzot spiedienu attiecību  $\frac{p_k}{p_0} > 8 \dots 9$ , jālieto vairākpakāpju aukstuma aģenta saspiešana. Visplašāk lieto divpakāpju un trīspakāpju aukstuma mašīnas.

*Divpakāpju* aukstuma mašīnā aukstuma aģenta tvaiku no iztvaikotāja nosūc pirmās pakāpes kompresors un to saspiež līdz noteiktam *starpspiedienam*. Pēc tam saspiesto tvaiku novada starptraukā, kur to atdzesē ar ūdeni vai šķidru aukstuma aģentu. Pēc atdzesēšanas tvaiku no starpspiediena līdz kondensācijas spiedienam saspiež otrās pakāpes kompresorā un novada to uz kondensatoru. *Trīspakāpju* aukstuma mašīnās lieto trīs aukstuma aģenta saspiešanas pakāpes ar daļēju saspīestā tvaika atdzesēšanu starp pakāpēm.



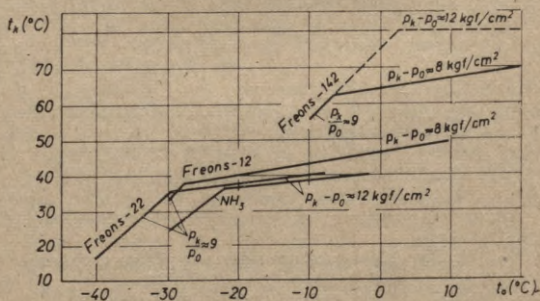
Vairākpakāpju aukstuma aģenta saspišana dod iespēju realizēt arī pakāpenisku šķidrums regulēšanu (šķidrā aukstuma aģenta droselēšanu), nosūcot droselēšanā radušos tvaiku ar attiecīgās pakāpes kompresoru. No termodinamiskā viedokļa vairākpakāpju aukstuma mašīna ir izdevīgāka nekā vienkāpju aukstuma mašīna. Atdzesējot tvaiku starp pakāpēm, samazinās tā tilpums, kas savukārt samazina darba patēriņu nākamajās pakāpēs. Bez tam pakāpeniska šķidrums droselēšana, novadot radušos tvaiku uz attiecīgo kompresora pakāpi, arī samazina darba patēriņu, jo novadīto tvaiku nākas saspiest mazākā spiediena intervālā salīdzinājumā ar vienkāpju droselēšanu, kurai ir pilns spiediena kritums starp kondensatoru un iztvaikotāju.

IV-1. tabula

Vienpakāpju aukstuma mašīnām pieļaujamie temperatūru un spiedienu lielumi

Aukstuma aģents	Vārīšanās temperatūru $t_0$ diapazons (°C)	Maksimālā kondensācijas temperatūra (°C)	Spiedienu attiecība $\frac{p_k}{p_0}$	Spiedienu starpība $p_k - p_0$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
Amonjaks	0...-30	40	9	12
Freons-12	10...-30	50	9	8
Freons-22	5...-40	40	12	12

Vairākpakāpju mašīnas priekšrocības sevišķi jūtami izpaužas reālajā darba ciklā. Darba spiediena krituma samazināšanās katrā pakāpē ievērojami palielina padeves koeficientu un indikatora lietderības koeficientu.



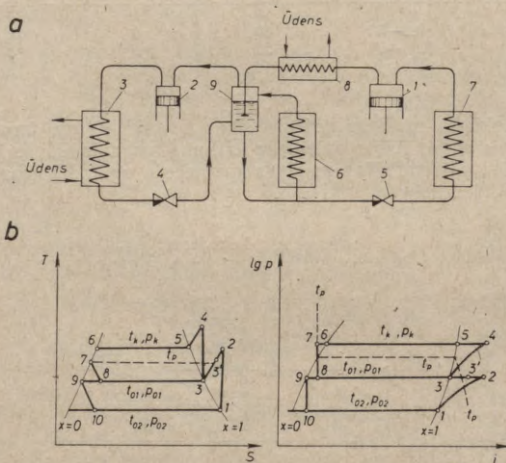
IV-1. att. Robežlīnijas vienkāpju un vairākpakāpju kompresoru pielietojamības zonu noteikšanai.

Dažādiem aukstuma aģentiem noteikti temperatūru un spiedienu robežlielumi (ГОСТ 6492-68), kurus pārsniedzot vienpakāpes aukstuma mašīnu lietošana kļūst ekonomiski neizdevīga un nav pieļaujama.

IV-1. attēlā parādītās līnijas sadala temperatūru lauku zonās. Zem attiecīgajām aukstuma aģentu raksturojošajām līnijām atrodas tādas temperatūras un spiedienu, kuriem lietojamas vienpakāpes aukstuma mašīnas. Temperatūru zonās virs attēlotajām līnijām nepieciešams lietot divpakāpju un trīspakāpju aukstuma mašīnas.

## 2. Divpakāpju aukstuma mašīnas shēma

Divpakāpju aukstuma mašīnas lieto vārīšanās temperatūrām līdz  $-60^{\circ}\text{C}$ . Šo mašīnu shēmas atšķiras no parastajām vienpakāpes mašīnu shēmām ar paņēmieniem aukstuma aģenta tvaika dzesēšanai starp pirmo un otro pakāpi, kā arī ar paņēmieniem šķidrā aukstuma aģenta pārdzesēšanai pirms regulējošā ventiļa. Tvaika atdzesēšana starp pakāpēm var būt pilnīga vai daļēja. Pir-



IV-2. att. Divpakāpju aukstuma mašīna ar pilnīgu starpdzesēšanu un divpakāpju droselēšanu:

a — aukstuma mašīnas shēma; 1 — zemspiediena kompresors; 2 — augstspiediena kompresors; 3 — kondensators; 4 un 5 — regulējošie ventiļi; 6 un 7 — starpspiediena un zemspiediena iztvaikotāji; 8 — dzesētājs; 9 — starptrauks; b — darba cikla diagrammas.



majā gadījumā tvaiku vispirms dzesē ar ūdeni, bet pēc tam ar šķidru aukstuma aģentu līdz starpspiedienam, kas atbilst piesātināta tvaika stāvoklim. Otrajā gadījumā dzesēšanai lieto tikai ūdeni un atdzesētais tvaiks nenasniedz piesātinājumu, bet paliek pārkarsēts. Šķidrumu pirms regulējošā ventīļa var pārdzesēt ar ūdeni, bet, ja vajadzīga zemāka temperatūra, — ar šķidru aukstuma aģentu.

IV-2. attēlā redzama divpakāpju aukstuma mašīnas shēma un darba cikls ar pilnīgu tvaika atdzesēšanu starp pakāpēm un divpakāpju šķidrā aukstuma aģenta droselēšanu. Shēmā paredzēti divi iztvaikotāji ar dažādām aukstuma aģenta vārišanās temperatūrām — pie zema spiediena un starpspiediena.

Sausu aukstuma aģenta tvaiku ar zemu spiedienu  $p_{02}$  un temperatūru  $t_{02}$  (diagrammā šis stāvoklis apzīmēts ar punktu 1) iesūc zemspiediena kompresors 1 un adiabatiski saspiež (process 1-2) līdz starpspiedienam  $p_{01}$ . Pārkarsētais tvaiks (punkts 2) nonāk ūdens dzesētājā 8, kur pie nemainīga spiediena  $p_{01}$  tiek atdzesēts līdz stāvoklim, kurš raksturots punktā 3' (process 2-3'). Tālāk šāda spiediena tvaiks nonāk starptraukā 9, kur tiek atdzesēts ar šķidru aukstuma aģentu (process 3'-3), kurš iztvaiko pie starpspiediena  $p_{01}$ , līdz temperatūrai  $t_{01}$ , t. i., līdz piesātināta tvaika stāvoklim (punkts 3). Otrās pakāpes (augstspiediena) kompresors 2 no starptrauka iesūc a) starptraukā atdzesēto tvaiku, ko pievada pirmās pakāpes kompresors; b) tvaiku no starpspiediena iztvaikotāja; c) tvaiku, kas atdalās, droselējot šķidrumu pirmajā regulējošajā ventīlī; d) tvaiku, kas rodas tieši starptraukā, dzesējot pārkarsēto tvaiku. No starptrauka izplūst sauss piesātināts tvaiks.

Kopējo tvaika daudzumu otrās pakāpes kompresors adiabatiski (process 3-4) saspiež līdz spiedienam  $p_k$  (punkts 4) un pārkarsētā stāvoklī aizvada uz kondensatoru. Šeit pie spiediena  $p_k = \text{const}$  tvaiku atdzesē līdz piesātinātam stāvoklim (process 4-5), tālāk kondensē (process 5-6) un iegūto šķidrumu pārdzesē (process 6-7). Kondensatorā pārdzesēto šķidrumu droselē ar regulējošo ventīli 4 (process 7-8) līdz spiedienam  $p_{01}$ , kas atbilst temperatūrai  $t_{01}$ , un ievada starptraukā (punkts 8).

Sauso piesātināto tvaiku, kas rodas starptraukā pēc droselēšanas, nosūc augstspiediena kompresors, bet šķidrums (punkts 9), kas sakrājas trauka lejasdaļā, aizplūst divos virzienos. Daļa aizplūst uz starpspiediena iztvaikotāju 6, bet daļa — caur regulējošo ventīli (process 9-10) uz zemspiediena iztvaikotāju 7. Šķidruma iztvaikošanu iztvaikotājos, kas notiek, uzņemot siltumu no dzesējamiem ķermeņiem, raksturo izoterma (izobāras) 9-3 un 10-1. Katra iztvaikotāja aukstuma ražīgumu un tam pievadāmā šķidrā aukstuma aģenta daudzumu nosaka tehnoloģiskie apstākļi.

Aukstuma mašīnā ar daļēju tvaika starpdzesēšanu tvaiku dzesē tikai ūdens dzesētājā un tas paliek pārkarsēts (punkts 3'). Šis tvaiks sajaucas ar piesātināto tvaiku starptraukā pie nemainīga spiediena. Maisījuma stāvokli raksturojošo punktu uz līnijas 3'-3

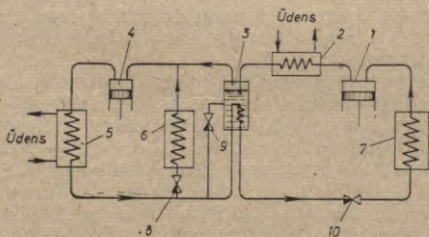
var noteikt pēc samaisīšanas likuma. Maisījumu iesūc augstspiediena kompresors.

Amonjaka mašīnām izdevīgāk lietot shēmas ar pilnīgu tvaika starpdzesēšanu. Turpretim freona aukstuma mašīnas darbojas labāk, ja augstspiediena kompresorā ieplūst pārkarsēts tvaiks.

Divpakāpju aukstuma mašīnai ar pilnīgu starpdzesēšanu un divpakāpju šķidrums droselēšanu ir šādi trūkumi: iztvaikotajos caur starptrauku ieplūst eļļa no abām kompresoru pakāpēm; apgrūtināta aukstuma aģenta padeve no starptrauka uz otro regulējošo ventili, jo maza spiedienu starpība. Izplatītāka ir amonjaka divpakāpju aukstuma mašīnas shēma ar pilnīgu tvaika starpdzesēšanu un vienpakāpes šķidrums droselēšanu. Šķidrums pārdzesē cauruļvada spirālē, kas ievietota starptraukā (IV-3. att.). Pēc šīs shēmas tvaiks, kas saspīests pirmās pakāpes kompresorā, no ūdens dzesētāja nonāk starptraukā, kur pēc droselēšanas līdz starpspiedienam nonāk arī neliels šķidrums daudzums no kondensatora. Šis šķidrums iztvaikojot atdzesē pārkarsēto tvaiku, kā arī pārdzesē galveno šķidrums daļu, kas plūst caur starptraukā iegremdēto cauruļvada spirāli. Starptraukā atdzesētais tvaiks nonāk augstspiediena kompresorā, kur to saspiež līdz kondensācijas spiedienam, bet cauruļvada spirālē pārdzesētais šķidrums pilnīgi droselējas otrajā regulējošajā ventilī un nonāk aukstuma ražošanai zemspiediena iztvaikotājā.

Starptraukam ar šķidrums dzesējošo spirāli ir svarīgas priekšrocības. Eļļa no zemspiediena kompresora nenokļūst iztvaikotājā, bet paliek starptraukā, no kurienes to periodiski izvada. Pilna spiedienu starpība, droselējot pirms iztvaikotāja, atviegļina šķidrums padeves regulēšanu neatkarīgi no iztvaikotāju novietošanas līmeņa. Sistēma ērti automatizējama.

Divu dažāda spiediena iztvaikotāju pievienošanu divpakāpju aukstuma mašīnai var uzskatīt par vienpakāpes un divpakāpju ma-



IV-3. att. Divpakāpju aukstuma mašīna ar pilnīgu starpdzesēšanu un šķidrums aukstuma aģenta pārdzesēšanu cauruļvada spirālē:

1 — zemspiediena kompresors; 2 — dzesētājs; 3 — starptrauks; 4 — augstspiediena kompresors; 5 — kondensators; 6 un 7 — starpspiediena un zemspiediena iztvaikotāji; 8, 9 un 10 — regulējošie ventili.



šīnu apvienošanu. Šāda apvienošana nemaina katras atsevišķās mašīnas darba ciklu un nedod termodinamiskas priekšrocības. Visbiežāk divpakāpju aukstuma mašīnas darbojas ar vienu zemspiediena iztvaikotāju.

### 3. Divpakāpju aukstuma mašīnas aprēķins

Aprēķināsim divpakāpju aukstuma mašīnu, kas strādā pēc IV-2. attēlā parādītās shēmas. Aprēķinam doti šādi lielumi:

$t_{g1}$  — vides temperatūra (piem., kameras gaisa), kuru dzesē starpspiediena iztvaikotājs;

$t_{g2}$  — vides temperatūra (gaisa zem temperatūru kamerās), kuru dzesē zemspiediena iztvaikotājs;

$t_w$  — ūdens temperatūra, kuru lieto starpdzesētāja, kondensatora un šķidrā aukstuma aģenta pārdzesētāja dzesēšanai;

$Q_{01}$  — aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums starpspiedienam atbilstošajā vārišanās temperatūrā ( $W$ );

$Q_{02}$  — aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums zemspiedienam atbilstošajā vārišanās temperatūrā ( $W$ ).

Pēc dzesējamās (gaisa) un dzesējošās (ūdens) vides temperatūrām izvēlas aukstuma mašīnas darba režīmu, pieņemot, ka

$t_{01}$ ;  $p_{01}$  — šķidrās darba vielas vārišanās temperatūra un tai atbilstošais spiediens starpspiediena iztvaikotājā (šāds spiediens un temperatūra būs arī starptraukā);

$t_{02}$ ;  $p_{02}$  — vārišanās temperatūra un tai atbilstošais spiediens zemspiediena iztvaikotājā;

$t_k$ ;  $p_k$  — kondensācijas temperatūra un spiediens;

$t_p$  — šķidruma temperatūra pirms regulējošā ventīļa (pārdzesēšanas temperatūra);

$t_{at}$  — ūdens dzesētājā atdzesētā tvaika temperatūra.

Temperatūras  $t_{01}$ ,  $t_{02}$ ,  $t_k$ ,  $t_p$  izvēlas, ņemot vērā nepieciešamās temperatūru starpības (sk. III nod. 1. §) starp dzesējamo vidi un aukstuma aģentu (iztvaikotājā), kā arī starp aukstuma aģentu un dzesējošo ūdeni (kondensatorā un pārdzesētājā). Temperatūra  $t_{at}$  ir apmēram par  $10^\circ C$  augstāka nekā dzesējošā ūdens temperatūra.

Aukstuma mašīnas ekonomiskuma paaugstināšanai vēlams, lai kompresijas pakāpes zemspiediena un augstspiediena kompresoriem maz atšķirtos. Ja aukstuma mašīna strādā vienā vārišanās temperatūrā  $t_{02}$ , aprēķinu izdara, izejot no apsvēruma, ka kompresijas pakāpes zemspiediena un augstspiediena kompresoros ir vienādas, t. i.,

$$\frac{p_{01}}{p_{02}} = \frac{p_k}{p_{01}},$$

no kurienes

$$p_{01} = \sqrt{p_k p_{02}}. \quad (IV-1)$$

Konstruē dotā darba režīma darba ciklu un nosaka darba vielas entalpijas (kJ/kg) *raksturīgajos cikla punktos*.

Pēc tam atrod

1) aukstuma aģenta daudzumu, kas cirkulē caur zemspiediena iztvaikotāju (arī caur zemspiediena kompresoru), t. i.,

$$G_{02} = \frac{Q_{02}}{1000q_{02}} = \frac{Q_{02}}{1000(i_1 - i_{10})} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right); \quad (\text{IV-2})$$

2) aukstuma aģenta daudzumu, kas cirkulē caur starpspiediena iztvaikotāju, t. i.,

$$G_{01} = \frac{Q_{01}}{1000q_{01}} = \frac{Q_{01}}{1000(i_3 - i_9)} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right). \quad (\text{IV-3})$$

3) aukstuma aģenta daudzumu, kas iztvaiko starptraukā, papildus dzesējot starpspiediena tvaiku pēc ūdens dzesētāja, t. i.,

$$G_0 = \frac{G_{02}(i_3' - i_3)}{i_3 - i_9} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right); \quad (\text{IV-4})$$

4) kopējo šķidrā aukstuma aģenta daudzumu, kas izplūst caur starptrauku, t. i.,

$$G_c = G_{02} + G_{01} + G_0 \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right); \quad (\text{IV-5})$$

5) aukstuma aģenta daudzumu, kas cirkulē caur augstspiediena kompresoru, ieskaitot tvaiku, kas rodas pirmajā regulējošajā ventilī, t. i.,

$$G = \frac{G_c}{1 - x_8} = \frac{G_{02} + G_{01} + G_0}{1 - x_8} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right), \quad (\text{IV-6})$$

kur  $x_8$  — tvaika saturs pēc pirmā regulējošā ventiļa (kg/kg);

6) tā tvaika tilpumu, kas nonāk zemspiediena un augstspiediena kompresoros, t. i.,

$$V_{\text{I}} = G_{02}v_1 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right); \quad (\text{IV-7})$$

$$V_{\text{II}} = Gv_3 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right),$$

kur  $v_1$  — tvaika īpatnējais tilpums pirms ieplūdes zemspiediena kompresorā (punkts 1);

$v_3$  — tvaika īpatnējais tilpums pirms ieplūdes augstspiediena kompresorā (punkts 3);



7) kompresoru virzuļu 1 sekundē aprakstītos tilpumus, t. i.,

$$V_{sI} = \frac{V_I}{\lambda_I} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right); \quad (\text{IV-8})$$

$$V_{sII} = \frac{V_{II}}{\lambda_{II}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right),$$

kur  $\lambda_I, \lambda_{II}$  — padeves koeficienti zemspiediena un augstspiediena kompresoros;

$$\lambda_I = f \left( \frac{p_{01}}{p_{02}} \right); \quad (\text{IV-9})$$

$$\lambda_{II} = f \left( \frac{p_k}{p_{01}} \right);$$

8) pēc lielumiem  $V_{sI}$  un  $V_{sII}$  izvēlas kompresoru marķu un skaitu abām pakāpēm;

9) kompresoru dzinēju teorētisko jaudu, t. i.,

$$N_{tI} = G_{02}(i_2 - i_1) \quad (\text{kW}); \quad (\text{IV-10})$$

$$N_{tII} = G(i_4 - i_3) \quad (\text{kW});$$

10) kompresoru efektīvo jaudu, t. i.,

$$N_{eI} = \frac{N_{tI}}{\eta_{II}\eta_{mI}} \quad (\text{kW}); \quad (\text{IV-11})$$

$$N_{eII} = \frac{N_{tII}}{\eta_{III}\eta_{mII}} \quad (\text{kW}),$$

kur  $\eta_i$  un  $\eta_m$  — indikatora lietderības koeficients un mehāniskais lietderības koeficients (sk. III nod.);

11) ūdens dzesētāja siltuma slodzi, t. i.,

$$Q_w = 1000G_{02}(i_2 - i_3') \quad (\text{W}); \quad (\text{IV-12})$$

12) kondensatora siltuma slodzi, t. i.,

$$Q = 1000G(i_4 - i_7) \quad (\text{W}). \quad (\text{IV-13})$$

Divpakāpju aukstuma mašīnu ar šķidrā aukstuma aģenta pār-dzesēšanu caurulvada spirālē aprēķina līdzīgi, jo caurulvada spirāles lietošana nemaina aparātu siltuma slodzes. Starptrauka caurulvada spirāles siltuma slodzi aprēķina pēc entalpiju starpības punktos 3' un 3, t. i.,

$$Q_3 = 1000G_{02}(i_{3'} - i_3) \quad (\text{W}). \quad (\text{IV-14})$$

1. piemērs. Aprēķināt amonjaka divpakāpju aukstuma iekārtu gaisa dzesēšanai līdz  $-30^{\circ}\text{C}$ . Kondensatoru dzesējošā ūdens temperatūra  $15^{\circ}\text{C}$ . Iekārtas aukstuma ražīgums 116 000 W.

Vārišanās temperatūru izvēlas par  $10^{\circ}\text{C}$  zemāku nekā dzesējamā gaisa temperatūra, t. i.,  $t_{02} = -40^{\circ}\text{C}$ . Atkarībā no dzesējošā ūdens temperatūras izvēlas  $t_k = 25^{\circ}\text{C}$ ;  $t_p = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{at} = 25^{\circ}\text{C}$ .

No  $\text{NH}_3$  tvaika spiediena tabulām atrod

$$p_{02} = 0,7177 \cdot 10^5 \text{ Pa};$$

$$p_k = 10,0270 \cdot 10^5 \text{ Pa}.$$

Starpspiediens

$$p_{01} = \sqrt{p_k p_{02}} = 10^5 \sqrt{0,7177 \cdot 10,027} = 2,69 \cdot 10^5 \text{ Pa}.$$

Tam atbilstošā piesātinātā amonjaka tvaika temperatūra

$$t_{01} = -12^{\circ}\text{C}.$$

Darba ciklu raksturojošo punktu entalpijas (kJ/kg) ir šādas:  $i_1 = 1624,9$ ;  $i_2 = 1800$ ;  $i_3 = 1756$ ;  $i_3 = 1666,6$ ;  $i_4 = 1850,0$ ;  $i_5 = 1703$ ;  $i_6 = 536,3$ ;  $i_7 = i_8 = 512,4$ ;  $i_9 = i_{10} = 363,6$ .

Pēc tam aprēķina

1) caur zemspiediena iztvaikotāju un zemspiediena kondensatoru cirkulējošā aukstuma aģenta daudzumu

$$G_{02} = \frac{Q_{02}}{1000(i_1 - i_{10})} = \frac{116\,000}{1000(1624,9 - 363,6)} = 0,092 \frac{\text{kg}}{\text{s}};$$

2) aukstuma aģenta daudzumu, kas cirkulē starpspiediena iztvaikotājā,

$$G_{01} = 0;$$

3) amonjaka daudzumu, kas iztvaiko, dzesējot starpspiediena tvaiku starptraukā,

$$G_0 = \frac{G_{02}(i_3 - i_3)}{i_3 - i_9} = \frac{0,092(1756 - 1666,6)}{1666,6 - 363,6} = 0,00628 \frac{\text{kg}}{\text{s}};$$

4) kopējo šķidrā amonjaka daudzumu, kas plūst caur starptrauku,

$$G_c = G_{02} + G_{01} + G_0 = 0,092 + 0 + 0,00628 = 0,09828 \frac{\text{kg}}{\text{s}};$$

5) amonjaka daudzumu, kas cirkulē caur augstspiediena cilindru, ieskaitot tvaiku, kas rodas pirmajā regulējošajā ventilī,

$$G = \frac{G_c}{1 - x_8} = \frac{0,09828}{1 - 0,113} = 0,111 \frac{\text{kg}}{\text{s}};$$

6) kompresoros iesūcamā tvaika tilpumus

$$V_I = G_{02} v_1 = 0,092 \cdot 1,550 = 0,142 \frac{\text{m}^3}{\text{s}};$$

$$V_{II} = G v_3 = 0,111 \cdot 0,452 = 0,0501 \frac{\text{m}^3}{\text{s}};$$

7) kompresoru virzuļu 1 sekundē aprakstītos tilpumus

$$V_s = \frac{V}{\lambda} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right).$$



Padeves koeficientus  $\lambda$  aptuveni nosaka pēc I. Badiķesa formulas (III-20), t. i.,

$$\lg \lambda = (0,012 + 0,473C_0) \left( 1 - \frac{p_k}{p_0} \right).$$

Ja kaitīgās telpas koeficientu pieņem  $C_0 = 0,05$ , tad

$$\lg \lambda = (0,012 + 0,473 \cdot 0,05) \left( 1 - \frac{2,69}{0,7177} \right) = -0,0979.$$

Tā kā kompresijas pakāpes zemspiediena un augstspiediena kompresoros vienādas, tad  $\lambda_I = \lambda_{II} = 0,795$ . Rezultātā

$$V_{sI} = \frac{V_I}{\lambda_I} = \frac{0,142}{0,795} = 0,179 \frac{\text{m}^3}{\text{s}};$$

$$V_{sII} = \frac{V_{II}}{\lambda_{II}} = \frac{0,0501}{0,795} = 0,063 \frac{\text{m}^3}{\text{s}};$$

8) aprēķinātie virzuļu 1 sekundē aprakstītie tilpumi aptuveni atbilst divpakāpju amonjaka kompresoram ДАУ-100;

9) kompresora dzinēja teorētisko jaudu

$$N_t = N_{tI} + N_{tII} = G_{02}(i_2 - i_1) + G(i_4 - i_3) = 0,092(1800 - 1624,9) + 0,111(1850 - 1666,6) = 36,4 \text{ kW};$$

10) kompresora efektīvo jaudu

$$N_e = \frac{N_t}{\eta_1 \eta_m} = \frac{36,4}{0,87 \cdot 0,85} = 49,3 \text{ kW}.$$

Zinot, ka kompresijas pakāpe zemspiediena un augstspiediena cilindros ir 3,75, no III-8. attēla atrod  $\eta_1 = 0,87$ , aptuveni pieņemot  $\eta_m = 0,85$ ;

11) ūdens dzesētāja siltuma slodzi

$$Q_w = 1000 G_{02}(i_2 - i_3) = 1000 \cdot 0,092(1800 - 1756) = 4050 \text{ W};$$

12) kondensatora siltuma slodzi

$$Q_k = 1000 G(i_4 - i_7) = 1000 \cdot 0,111(1850 - 512,4) = 149\,000 \text{ W}.$$

#### 4. Trīspakāpju aukstuma mašīnas

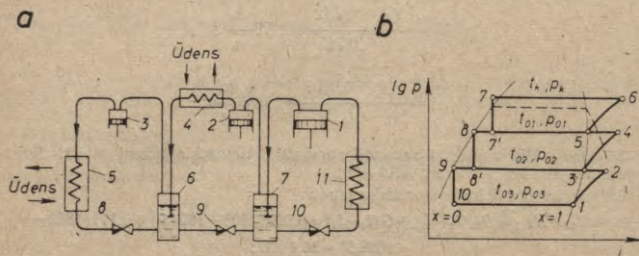
Amonjaka trīspakāpju aukstuma mašīnas lieto, lai sasniegtu vārīšanās temperatūru  $-55 \dots -70^\circ\text{C}$ .

Trīspakāpju aukstuma mašīna var strādāt ar trim iztvaikotājiem, iegūstot trīs dažādas vārīšanās temperatūras. Starpspiedienus un tiem atbilstošās vārīšanās temperatūras tādā gadījumā nosaka aukstuma patērētāji. Ja aukstuma mašīna strādā ar vienu iztvaikotāju (IV-4. att.), starpspiedienus var izvēlēties, pieņemot visās trijās pakāpēs vienādas spiedienu attiecības, t. i.,

$$\frac{p_k}{p_{01}} \approx \frac{p_{01}}{p_{02}} \approx \frac{p_{02}}{p_{03}}$$

Nelielas starpspiedienu novirzes no aprēķinātajām vērtībām jū-tami neietekmē enerģijas patēriņu.

Trīspakāpju aukstuma mašīnas cikls analogs divpakāpju aukstuma mašīnas ciklam. To var realizēt ar pilnīgu vai daļēju tvaika dzesēšanu starp kompresoriem, vairākpakāpju droselēšanu, nosūcot radušos tvaiku no starptraukiem. Pēc aprēķina, kas līdzīgs divpa-kāpju aukstuma mašīnas aprēķinam, nosaka visu kompresora pa-kāpju ģeometriskos izmērus un patērēto jaudu.



IV-4. att. Shēma (a) un cikls (b) trīspakāpju aukstuma mašīnai ar pilnīgu starp-dzesēšanu un vienu iztvaikotāju:

1, 2 un 3 — zemspiediena, vidēja spiediena un augstspiediena kompresori; 4 — dzesētājs; 5 — kondensators; 6 un 7 — starptrauki; 8, 9 un 10 — regulējošie ventīļi; 11 — iztvaikotājs.

Bez aukstuma mašīnām, kuras strādā ar noslēgtu ciklu, cirku-lējot vienam un tam pašam aukstuma aģenta daudzumam, liela nō-zīme ir ogļskābās gāzes trīspakāpju aukstuma mašīnām, kuras strādā ar nenoslēgtu ciklu. Šādas aukstuma mašīnas lieto «sausā» ledus ražošanai ar augstspiediena paņēmienu. Tajās šķidro ogļ-skābo gāzi no otrā starptrauka caur regulējošo ventīli ievada nevis iztvaikotājā, bet ledus ģeneratorā, kur pie zema spiediena veidojas «sausais ledus» (apm. 50% no droselējamā šķidruma). So ogļskā-bās gāzes daļu kā gatavo produktu no ledus ģeneratora aizvāc, un tā mašīnā vairs atpakaļ neatgriežas. Pārējo ogļskābās gāzes (tvaiku) daļu no ledus ģeneratora atkal iesūc zemspiediena kom-presoros. Tiem pievada papildu ogļskābo gāzi, kuras daudzums (pēc masas) vienāds ar ražotā ledus masu. Droselējot no šķid-ruma, kas atrodas 2. starptraukā, veidojas  $(1-x_1)$  kg sausā ledus, kur  $x_1=0,55 \dots 0,57$ . Uz 1 kg ražotā ledus zemspiediena kompre-sors iesūc  $\frac{1}{1-x_1}$  kg tvaika. No šīm sakarībām aprēķina tvaika dau-dzumu, ko iesūc visu pakāpju kompresori, un nosaka kompresoru cilindru izmērus.



## 5. Kaskādes tipa aukstuma mašīnas

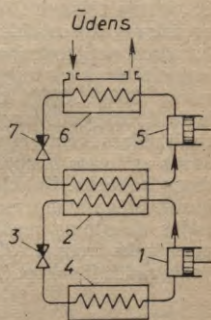
Legūt zemas temperatūras vairāpkāpju aukstuma mašīnās, lietojot tikai vienu darba vielu, dažos gadījumos nav iespējams vai arī nav mērķtiecīgi. Tā, piemēram, pie zema spiediena amonjaka vārišanās temperatūra ir tuva sasaldšanas temperatūrai ( $-77,9^{\circ}\text{C}$ ), kas neļauj lietot amonjaku temperatūrās, zemākās par  $-70^{\circ}\text{C}$ . Tik zemā temperatūrā iztvaikošanas sistēmā ir dziļš vakuums, kas ievērojami samazina darba vielas īpatnējo tilpuma aukstuma ražīgumu  $q_v$ , un tāpēc nepieciešami liela izmēra zemspiediena kompresoru cilindri. Bez tam, strādājot vakuumā, sistēmā tiek iesūkts gaiss no atmosfēras. Šādam darba režīmam piemērotāki ir zemas vārišanās temperatūras aukstuma aģenti (freons-13, freons-23), kuriem iztvaikošanas sistēmā ir augstāks spiediens nekā amonjakam. Šīm vielām raksturīgas zemas kritiskās temperatūras, tāpēc tās nevar lietot ar ūdeni dzesējamās kondensatoros.

Līdzīgos gadījumos mērķtiecīgi lietot *kaskādes tipa aukstuma mašīnas* (IV-5. att.). Tās sastāv no divām vai vairākām aukstuma mašīnām, kas darbojas dažādās vārišanās temperatūrās. Mašīnas savieno kopīgs siltumapmaiņas aparāts, ko sauc par iztvaikoņtāju-kondensatoru.

Katrai mašīnai izvēlas piemērotāko darba vielu. Zemās temperatūras kaskādes daļā lieto zemas vārišanās temperatūras aukstuma aģentus. Šiem aukstuma aģentiem var būt zemākas kritiskās temperatūras, jo tos kondensē, dzesējot iztvaikoņtāju-kondensatorā samērā zemā temperatūrā, kuru rada iztvaikojošais aukstuma aģents augstās temperatūras kaskādes daļā.

Augstās temperatūras kaskādes daļā izdevīgi lietot vidējas vārišanās temperatūras aukstuma aģentus — amonjaku, freonu-12, freonu-22.

Kaskādes tipa aukstuma mašīnas ar vienu darba vielu nelieto, jo tās ir mazāk ekonomiskas salīdzinājumā ar parastajām vairāpkāpju aukstuma mašīnām. Izplatītas ir kaskādes tipa mašīnas, kas darbojas ar freonu-13 zemās temperatūras kaskādes daļā (vienpakāpes cikls) un ar freonu-22 augstās temperatūras kaskādes daļā (divpakāpju cikls). Kaskādes tipa aukstuma mašīnas aprēķina, izejot no dotā aukstuma ražīguma zemās temperatūras kaskādes daļā.



IV-5. att. Kaskādes tipa aukstuma mašīnas shēma:

1 un 5 — apakšējās un augšējās kaskādes kompresori; 2 — iztvaikoņtāju-kondensators; 3 un 7 — regulējošie ventīļi; 4 — apakšējās kaskādes iztvaikoņtājs; 6 — augšējās kaskādes kondensators.

## V nodaļa

### TVAIKA KOMPRESIJAS AUKSTUMA MAŠINU KOMPRESORI

#### 1. Kompresoru iedalījums

Kompresors ir aukstuma mašīnas galvenā sastāvdaļa. Tā uzdevums ir nosūkt tvaiku no iztvaikotāja, saspīst to un aizvadīt uz kondensatoru. Kompresors ir arī galvenais aukstuma ražošanai nepieciešamās elektroenerģijas patērētājs, tādēļ no kompresora darba ir atkarīga ražotā aukstuma izmaksa. Aukstuma iekārtās lietotajiem kompresoriem jābūt ekonomiskiem, drošiem darbā, vienkārši apkalpojamiem un lētiem.

Aukstumtehnikā lieto šādus kompresorus: a) *virzuļkompresorus* ar virzuļa taisnvirzienu kustību cilindrā; b) *rotācijas kompresorus* ar rotora ekscentrisku griešanās kustību cilindrā; c) *centrbēdzes kompresorus* jeb turbokompresorus. Pašreiz pārtikas rūpniecībā visizplatītākie ir virzuļkompresori. Nākotnē lieliem aukstuma ražīgumiem 350...3500 kW (300 000...3 000 000 kcal/h) paredzēts ieviest ražīgākus un ekspluatācijā drošākus skrūves, rotācijas un centrālās kompresorus. Šie kompresori nomainīs virzuļkompresorus arī zemo temperatūru divpakāpju aukstuma iekārtu zemspiediena pakāpēs. Palielināsies arī freona hermētisko kompresoru un bezblīvslēgu kompresoru īpatsvars kopējā kompresoru izlaidē. Jaunajās aukstuma mašīnās amonjaka un freona-12 vietā tiks dota priekšroka freonam-22. Jauno un tagad ražojamo kompresoru galvenie rādītāji sakopoti V-1. tabulā.

#### 2. Virzuļkompresori

**Virzuļkompresoru klasifikācija.** Pārtikas rūpniecībā visvairāk lieto virzuļkompresorus, kurus iedala

- 1) pēc lietojamā aukstuma aģenta — amonjaka, freona (R-12, R-22), ogļskābās gāzes un citi kompresori;
- 2) pēc aukstuma ražīguma — mazie (līdz 8000 kcal/h); vidējie (8000...50 000 kcal/h) un lielie (virs 50 000 kcal/h) kompresori;
- 3) pēc saspiešanas pakāpju skaita — vienpakāpes, divpakāpju, trīspakāpju kompresori;



## Aukstuma iekārtu kompresoru galvenie rādītāji

	Nominālais aukstuma ražīgums $10^{-3}$ kcal/h	Kompresora tips	Aukstuma aģents	Raksturojošais konstruktīvais izmērs (mm)	Maksimālais vārpstas apgriezumu skaits minūtē	Variantu skaits		Maksimālais spiediens kondensatorā (kgf/cm <sup>2</sup> )	Maksimālā spiediena starpība (kgf/cm <sup>2</sup> )
Jaunie kompresori	5...10	Hermētiskie virzuļkompresori	Freons-22, freons-12	$D_{cil}=42$	2880	3	20	21	
	10...30	Bezblīvslēgu virzuļkompresori	Freons-22	$D_{cil}=50$	2880	3	20	21	
	30...70	„	Freons-22, amonjaks	$D_{cil}=67,5$	2880	3	20	17	
	70...220	Blīvslēgu virzuļkompresori	Freons-22, amonjaks	$D_{cil}=115$	1440	3	20	17	
	300...2000	Skrūves tipa	Freons-22, amonjaks	$D_{skrūves} = 200 \dots 400$	2000...4000	5	20	17	
	2000...5000	Centrbēdzes	Freons-12, amonjaks	$D_{rata} = 350 \dots 480$	7000...20000	3 12	20 12	—	
Agrāk ražotie kompresori	3...25	Bezblīvslēgu virzuļkompresori	Freons-12	$D_{cil} = 67,5$	1440	6	16	12	
	20...90	Blīvslēgu virzuļkompresori	Amonjaks, freons-12	$D_{cil}=82$ $D_{cil} = 101,6$	1440	6	16 12	12 8	
	70...400	Blīvslēgu virzuļkompresori	Amonjaks, freons-12	$D_{cil}=150$ $D_{cil}=190$	960	5	16 12	12 8	
	600...1200	Opozitīvie virzuļkompresori	Amonjaks	$D_{cil}=270$	500	2	16	12	
	1200...5000	Centrbēdzes	Freons-12, amonjaks	$D_{rata} = 350 \dots 480$	7000...15000	4	16 12	—	

4) pēc cilindra darba pusēm — vienkāršas darbības (tvaiku saspiež vienā cilindra galā) un divkāršas darbības (tvaiku saspiež abos cilindra galos) kompresori;

5) pēc tvaika kustības virziena — vienvirziena plūsmas (tvaika kustības virziens cilindrā nemainās) un mainīga virziena plūsmas kompresori;

6) pēc cilindra asu novietojuma — horizontālie, vertikālie, V veida, vēdekļveida kompresori;

7) pēc kloķa-klaņa mehānisma konstrukcijas — bezkrustgalvju un krustgalvju kompresori;

8) pēc cilindru bloka un kartera uzbūves — blokkartera kompresori un kompresori ar noņemamiem cilindriem;

9) pēc cilindru skaita — viencilindra, vairākcilindru (2, 4, 6, 8) kompresori;

10) pēc elektrozināja novietojuma — hermētiskie (dzinējs un kompresors ievietoti hermētiskā apvalkā), bezblīvslēgu (dzinējs un kompresors ievietoti kopīgā izjaucamas konstrukcijas apvalkā) un blīvslēgu kompresori (atsevišķs dzinēja un kompresora novietojums);

11) pēc vārpstas apgriezību skaita minūtē — lēngaitas (līdz 500 apgr./min.), ātrgaitas (virs 500 apgr./min.) kompresori;

12) pēc apkalpes veida — automatizētie un neautomatizētie kompresori.

Saskaņā ar ГОСТ 6492-68 amonjaka un freona kompresorus apzīmē šādi:

A — amonjaka vienpakāpes bezkrustgalvju kompresori (AB — vertikālie, AY — V veida, AYY — vēdekļveida);

AO — amonjaka vienpakāpes krustgalvju horizontālie opozitīvie kompresori (cilindri novietoti viens otram pretim, virzuļi kustas pretējos virzienos);

ДА — amonjaka divpakāpju bezkrustgalvju kompresori (ДАУ — V veida, ДАУУ — vēdekļveida);

ДАО — amonjaka divpakāpju krustgalvju horizontālie opozitīvie kompresori;

ДАОН — amonjaka divpakāpju krustgalvju horizontālie opozitīvie zemu temperatūru kompresori;

Ф — freona vienpakāpes bezkrustgalvju blīvslēgu kompresori (ФВ — vertikālie; ФУ — V veida; ФУУ — vēdekļveida);

ФБС — freona vienpakāpes bezkrustgalvju bezblīvslēgu kompresori (ФБС — vertikālie; ФУБС — V veida; ФУУБС — vēdekļveida);

ФГ — freona hermētiskie kompresori.

Katram kompresoram pēc valsts standarta ГОСТ 6492-68 dots savs apzīmējums saskaņā ar tā izmēriem un konstrukciju. Tā, piemēram, ar marku AB-100 apzīmē amonjaka vertikālo bezkrustgalvju kompresoru ar nominālo aukstuma ražīgumu 100 000 kcal/h ( $\approx 116\,000$  W), ar marku ДАУ-80 apzīmē amonjaka divpakāpju

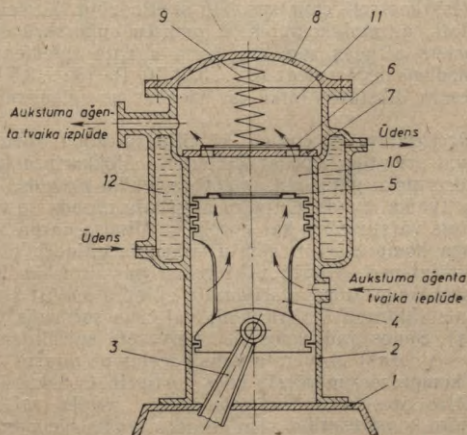


V veida bezkrustgalvju kompresoru ar aukstuma ražīgumu (pie  $t_0 = -40^\circ\text{C}$ ) 80 000 kcal/h ( $\approx 93\,000\text{ W}$ ). Sastopami arī novecojuši apzīmējumi, kas norāda uz kompresora cilindru skaitu un izmēriem, piemēram; 2AB-15 — amonjaka divcilindru vertikālais kompresors ar cilindru diametru 15 cm.

**Amonjaka vienpakāpes kompresori.** Pārtikas rūpniecībā un citās tautas saimniecības nozarēs plaši izplatīti vertikālie un V veida liela aukstuma ražīguma kompresori AB-75, AB-100, AY-200, AB-300, kā arī vidēja aukstuma ražīguma kompresori AB-22, AY-45, kas komplektēti vienā agregātā ar apvilktā cauruļu kūļa kondensatoru. Šie ir ātrgaitas kompresori, kas salīdzinājumā ar horizontālajiem kompresoriem aizņem mazāk vietas.

Vairums šo kompresoru ir vienvirziena plūsmas kompresori. Tvaika kustība visā kompresora darba ciklā notiek virzienā no apakšas uz augšu. To panāk ar virzuli, kuram ir caurplūdes kanāls. Virzuļa augšdaļā ierīkoti ieplūdes vārsti. Vertikālā kompresora darbības shēma dota V-1. attēlā. Izplūdes vārsti ierīkoti ipašā vārstu vākā cilindra augšdaļā.

Virzuļa caurplūdes kanāls caur nenoslēdzamu ieplūdes kanālu cilindrā vienmēr savienots ar iztvaikotāju. Virzulim pārvietojoties uz leju, tvaiks no iztvaikotāja caur cilindra lejasdaļu, kanālu virzuli un ieplūdes vārstu tiek iesūkts darba telpā virs virzuļa. Tātad,



V-1. att. Vertikālā vienvirziena plūsmas kompresora darbības shēma:

1 — karters; 2 — cilindrs; 3 — klanis; 4 — virzulis; 5 — ieplūdes vārsts; 6 — izplūdes vārsts; 7 — vārstu vāks; 8 — augšējais vāks; 9 — spirālsperē; 10 — cilindra darba telpa; 11 — spiedkamera; 12 — dzesējošā ūdens apvalks.

virzulim pārvietojoties uz leju, līdz ieplūdes vārsta atvēršanās sākumam notiek cilindra kaitīgajā telpā palikušā tvaika izplešanās, bet pēc ieplūdes vārsta atvēršanās sākas tvaika iesūkšana darba telpā. Virzulim pārvietojoties uz augšu, līdz izplūdes vārsta atvēršanās sākumam notiek tvaika saspiešana, bet pēc izplūdes vārsta atvēršanās virzulis saspieš tvaiku izspiež no cilindra caur telpu, kas atrodas starp cilindra vākiem, uz kondensatoru. Šāda kompresora cilindrs ir kā sadalīts divās zonās: lejasdaļā — *ieplūdes zonā* —, kur cilindra sienas saskaras ar auksto aukstuma aģenta tvaiku, un augšdaļā — *darba telpā* —, kur cilindra sienas saskaras ar stipri sakarsēto saspiešamo tvaiku. Cilindra augšdaļu dzesē ar ūdeni (amonjaka kompresoriem) vai ar gaisu, iekārtojot ribojumu (freona kompresoriem).

Galvenās vertikālo, V veida un vēdekļveida kompresoru sastāvdaļas ir karters, cilindri, virzuļi, vārsti, kloķa-klaņa mehānisms, eļļošanas ierīces un drošības ierīces.

*Karters* ir kompresora korpuss, kas savieno pārējās kompresora sastāvdaļas, uzņemot spēkus, kuri attīstās mehānisma elementos, kā arī izpilda eļļas rezervuāra un aukstuma aģenta uztvērēja funkcijas. Karteru izgatavo no čuguna lējuma. Tā ir hermētiskas konstrukcijas kārbā, kuras centrālajā daļā iemontēts kloķa-klaņa mehānisms, bet lejasdaļā izveidota eļļas vanna. Kloķa-klaņa mehānisma montāžai un apskatei karterā ierīkoti noņemami vāki. Eļļas līmeni karterā kontrolē caur speciālu skatlodziņu. Kartera apakšdaļā izveidoti caurumi kompresora pamatu enkurskrūvēm. Kompresora karters atrodas zem aukstuma aģenta spiediena. Darba laikā šis spiediens nepārsniedz (3...3,5)  $10^5$  Pa (3...3,5 kgf/cm<sup>2</sup>), bet kompresora dikstāves laikā tas vienāds ar spiedienu kondensatorā.

*Cilindrus* izgatavo no čuguna kā cilindru bloku, kuru pievieno karteram, vai arī atlej kopā ar karteru — blokartera kompresoriem. Cilindru bloka vidusdaļā ir kopīgs tvaika pievads, bet augšdaļā kopīgs tvaika izvads. Cilindra augšdaļu nosedz ar vāku, zem kura novietots vārstu vāks, kas norobežo cilindra darba telpu.

Amonjaka kompresoriem vārstu vāku pie cilindra piespiež ar spēcīgu spirālatsperi. Vārstu vāks noder par drošības ierīci aizsardzībai pret kompresora avārijām, ja cilindrā iekļūst šķidrums aukstuma aģents (hidrauliskie triecieni) vai ciets ķermenis (salūzuša vārsta daļa). Šādos gadījumos tiek pārvarēta spirālatsperes pretestība (tā saspiežas) un vārstu vāks paceļas uz augšu.

Freona kompresoriem vārstu vāks nostiprināts nekustīgi. Cilindra augšdaļas dzesēšanai iekārtots ūdens apvalks vai ribojums. Vairākcilindru kompresoriem visu cilindru tvaika pievadi savienoti ar ieplūdes kolektoru, bet tvaika izvadi — ar izplūdes kolektoru. Katram kolektoram paredzēts savs noslēdzošais ventilis.

*Virzuli* izgatavo no čuguna vai alumīnija lējuma ar sašaurinājumu vidusdaļā. Virzuļa augšējās un apakšējās daļas diametrs vienāds ar 0,999 no cilindra diametra. Virzuļa rievās ievietoti ču-





Tērauda blīvgredzens 1 kopā ar svina starplikū blīvi piespiests pie kloķvārpstas un griežas kopā ar to. Pie šī gredzena piespiesti nekustīgi bronzas blīvgredzeni 2 un 3, kas piestiprināti pie membrānām 4 un 5. Gredzenu 1, 2 un 3 piespiedumu regulē ar starplikām. Membrānas kopā ar distances gredzenu 8 un svina blīvēm iespīestas starp kartera atloku un blīvslēga vāku 9. Telpā starp membrānām caur sānu urbumu (attēlā nav redzams) ievada eļļu no eļļas sūkņa. Aizpildot telpu starp membrānām (eļļas kameru), eļļa rada hidraulisko slēgu un palielina blīvslēga hermētiskumu. Lai uzlabotu blīvslēga darba virsmu eļļošanu, bronzas gredzenā 3 izurbīti kanāli.

No eļļas kameras eļļa caur atvērumu gredzenā 8 nonāk eļļas tvertnē virs blīvslēga, bet no tās pa cauruļvadu atpakaļ karterā. Telpā starp abām membrānām pastāv neliels spiediens. Iekšējā membrāna izliecas uz kreiso pusi, piespiežot blīvgredzenu 2 pie blīvgredzena 1, kas rotē kopā ar vārpstu. Ārējā membrāna izliecas uz labo pusi un, atspiežoties pret gredzenveida izcilni blīvslēga vākā, piespiež iekšējo blīvgredzenu 3 pie blīvgredzena 1. Kompresora iedarbināšanas un apturēšanas laikā blīvslēgam eļļa pieplūst no eļļas tvertnes. Eļļu no blīvslēga izlaiž caur urbumiem distances gredzena 8 un blīvslēga vāka 9 apakšdaļā.

Membrānu blīvslēgi droši darbā, bet tiem ir šādi trūkumi: 1) prasa precīzu montāžu, kas apgrūtina to regulēšanu; 2) jutīgi pret paaugstinātu spiedienu kompresora karterā; 3) periodiski jāpārregulē sakarā ar izdilumu. Bez tam berzes pāris tērauds-bronza (jeb tērauds-babīts) nevar strādāt, ja kustības ātrums lielāks par 3,5 ... 4 m/s.

Jaunajos ātrgaitas kompresoros plaši lieto atsperu tipa metalizēta grafīta blīvslēgus ar eļļas slēgu un elastīgiem blīvgredzēniem uz vārpstas (V-3. att.). Vienmērīgu un drošu piespiedumu starp blīvējošām detaļām panāk ar atsperēm. Vārpstām ar diametru līdz 50 mm ir viena centrālā atspere, lielāka diametra vārpstām — vairākas aptverēs ieslēgtas atsperes. Šie blīvslēgi ir pašiestādoši; montējot nav nepieciešami ne speciāli instrumenti, ne arī palīgierīces to regulēšanai.

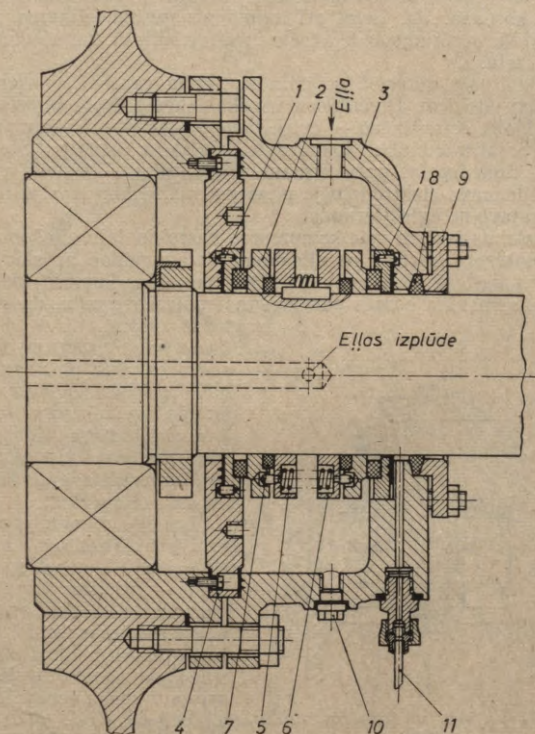
Berzes pāra detaļu izgatavošanai lieto speciālu metalizētu grafītu un cementētu oglekļa tēraudu. Metalizēta grafīta blīvslēgi ir nodilumizturīgi un droši kompresora automātiskās iedarbināšanas un apstādināšanas gadījumos. Tie darbojas aploces ātrumiem līdz 20 m/s.

Vārsti parādīti V-4. attēlā. Inerces tipa ieplūdes vārsts novietots virzuļa galā, un tam nav atsperu. Kompresoram darbojoties, gredzenveida plāksnītes 3 piespiež pie vārsta slēgvirsmas 1 vai atgrūž no tās spiedienu starpība abās plāksnītes pusēs un inerces spēki, kas rodas virzuļa kustības galapunktos. Virzulim pārvietojoties uz leju, plāksnītes tiek atgrūstas no slēgvirsmas un aukstais tvaiks ieplūst cilindra darba telpā. Virzulim kustoties uz augšu, plāksnītes piespiežas pie slēgvirsmas un noslēdz vārstu. Šāda vārstu konstruk-



cija samazina kompresora kaitīgo telpu, jo nav jāierīko ligzdas atsperēm.

Izplūdes vārsts ierīkots vārstu vākā 6 cilindra augšdaļā. Vārstu vāku pie cilindra piespiež buferatsperē. Vārsta plāksnes 7 piespīstas pie slēgvirsmas ar vājām spirālatsperēm 9. Pie noteiktas spīdīenu attīcības cilindrā un saspišanas kamerā plāksnes paceļas no slēgvirsmas vai arī piespīžas pie tās, tādējādi atverot vai noslēdzot caurplūdes atvērumus. Vārstu plāksnes ir 1,5...2,0 mm bīežas, tās izgatavo no spīciāla, ar hromu leģēta tērauda. To



V-3. att. Atsperu tipa metalizēta grafīta blīvslēgs ar eļļas slēgu:  
 1 — nekustīgas aptveres ar grafīta blīvgredzēniem; 2 — rotējoši tērauda blīvgredzēni; 3 un 4 — blīvslēga ārējais vāks un starpvāks; 5 — atsperes; 6 — atsperu ligzdas; 7 — elastīgs blīvējošais gredzens; 8 — manšete (eļļas blīvslēgs); 9 — manšetes vāks; 10 — eļļas izlaišanas skrūve; 11 — caurule eļļas izvādīšanai.

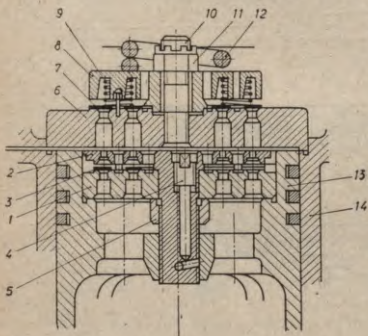
pārvietojums attiecībā pret slēgvirsmu ir apmēram 2 mm. Vārstu caurplūdes atvērumos tvaika kustības ātrums sasniedz 25...30 m/s. Plāksnēm blīvi jāpieguļ slēgvirsmai kā kompresora darba, tā arī dikstāves laikā.

*Kloķa-klaņa mehānisms* sastāv no virzuļa, klaņa un kloķvārpstas. Virzuli ar klani savieno virzuļa pirksts, kas var būt nostiprināts virzuli vai arī nenostiprināts. Nenostiprināts virzuļa pirkstus sauc par «peldošiem». Tie nedrīkst pārvietoties aksiālā virzienā.

Klani un kloķvārpstu savieno divdaļīga gultņa aptvere ar slidgultņu ieliktniem. Gultņa materiāls — babīts — var būt ieliets tieši galvas korpusā. Var lietot arī maināmus gultņu ieliktnus. Klaņa augšdaļā ir atvērums ar iepresētu bronzas ieliktni, kurā ievieto virzuļa pirkstu.

Kloķvārpsta atkarībā no cilindru skaita var būt ar vienu vai vairākiem kloķiem. Divcilindru vertikālā kompresora kloķvārpstai ir divi kloķi, četrcilindru — četri. V veida četrcilindru kompresora kloķvārpstai ir 2 kloķi. Kloķvārpsta balstās uz pamatgultņiem. Uz garākā kloķvārpstas gala uzmaukts ķīļsiksna skrīmelis vai savienotājuzmava elektrodzinēja pievienošanai. Kloķvārpstas un klaņus izgatavo no oglekltērauda.

*Eļļošanas iekārta* veic kompresora kustošos daļu eļļošanu. Eļļu no kompresora kartera uz eļļošanas vietām padod ar sūkni, kas novietots karterā (V-5. att.). Eļļošana samazina kustošos daļu nodilumu, samazina berzes pārvarēšanai patērēto jaudu, dzesē kustošās daļas, blīvē cilindra darba telpu virzuļa un cilindra saskares vietā un paaugstina blīvslēga hermētiskumu. Eļļu iepilda kompresora karterā līdz skatlodziņa viduslīnijai. Šādā gadījumā viss eļļas sūknis iegremdēts eļļā, kas nodrošina tā darbību.

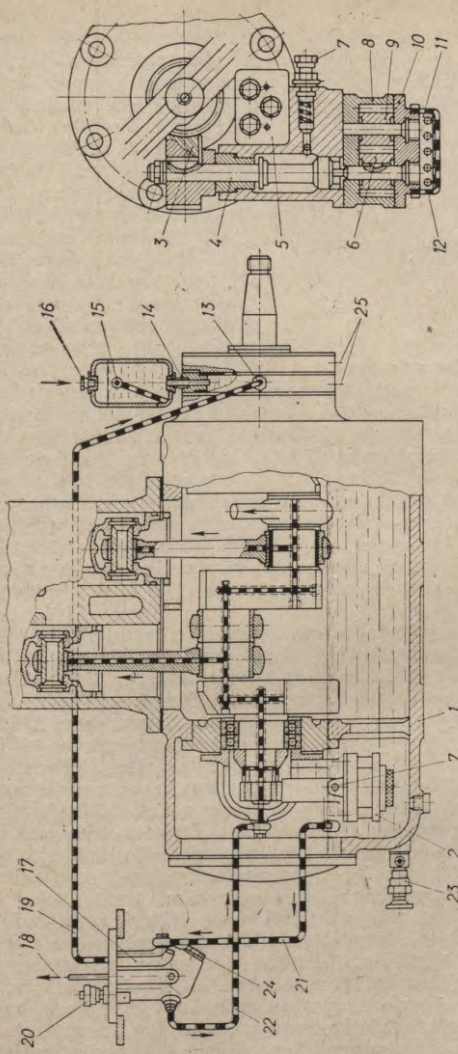


V-4. att. Ieplūdes un izplūdes vārstu mezgli:

- 1 — ieplūdes vārsta slēgvirsmā; 2 — rozete;
- 3 — gredzenveida plāksnītes; 4 — nostiprināšanas skrūve; 5 — uzgrieznis; 6 — vārstu vāks, izplūdes vārsta slēgvirsmā; 7 — vārsta plāksnes; 8 — rozete; 9 — atsperes; 10 — tapskrūve;
- 11 — vainaguzgrieznis; 12 — spirālsperē; 13 — virzulis; 14 — cilindrs.

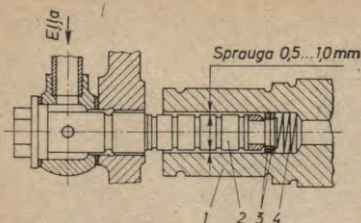
Lai eļļu attīrītu, eļļas sūknim iesūkšanas pusē uzstāda sietveida filtru, bet spiediena pusē — plāksņu tipa filtru, kuru periodiski tira, ar rokturi pagriežot plāksnes. Pēc attīrīšanas plāksņu filtrā eļļa zem spiediena nonāk blīvslēgā, kā arī caur īpašu leņķveida pievaduzgali (V-6. att.) kloķvārpstas kanālā. Tālāk pa kanāliem kloķvārpstā eļļa nonāk klaņu gultņos un kloķvārpstas pamatgultņos un pa urbumiem klaņos — uz virzuļu





V-5. att. Vertikālā kompresora kustošos mehānismu un cilindru eļļošanas shēma:

1 — kompresora karteris; 2 — zobratu tips; 3 — parvada zobrats; 4 — sūkņa vārpsta; 5 — kronšteins; 6 — dzenošais zobrats; 7 — drošības vārstis; 8 — sūkņa korpusis; 9 — diztais zobrats; 10 — korpusa vaks; 11 — smaļkais siets; 12 — rupjšais siets; 13 — vienvirzienna vārstis; 14 — eļļas pārpalikuma pārplūde no blīvslēga eļļas tvertne; 15 — eļļas ielejāde no eļļas tvertnes karterā; 16 — svaigās eļļas ielejāde blīvslēgā; 17 — eļļas pārplūde no blīvslēga; 18 — caurule manometra pievienošanai; 19 — eļļas pievads blīvslēgam; 20 — eļļas pārplūdes vārstis; 21 — eļļas vads no sūkņa uz filtru; 22 — eļļas pievads kloķkarpstas urbūram; 23 — eļļas izlaidis no cilindra; 24 — eļļas izvads no filtra; 25 — eļļas izvads no blīvslēga.



V-6. att. Eļļas leņķveida pievaduzgalis:  
1 — klokvārpstas gals; 2 — uzgalis; 3 — pārplāksnes; 4 — atspere.

presora karterā. Kartera apakšdaļā atrodas ventilis eļļas paraugu noņemšanai un eļļas apmaiņai.

**Drošības ierīces pasargā kompresoru no avārijām.** Ja spiedienu starpība kompresorā ( $\Delta p = p_k - p_0$ ) pārsniedz pieļaujamo lielumu, iedarbojas drošības vārsts (V-7. att.), kas uzstādīts saspīestā tvaika izplūdes vietā pirms noslēdzošā izplūdes ventīļa. Spiedienu starpības iedarbībā drošības vārsts savieno spiediena pusi ar sūkšanas pusi, ievadot saspīesto tvaiku zemspiediena pusē. Amonjaka un freona-22 aukstuma mašīnām pieļaujamā spiedienu starpība ir  $16 \cdot 10^5$  Pa ( $\approx 16$  kgf/cm<sup>2</sup>); freona-12 un freona-142 mašīnām —  $10 \cdot 10^5$  Pa. Sasniedzot pieļaujamo  $\Delta p$ , vārsts sāk atvērties; vārsts pilnīgi atveras, ja spiedienu starpība ir 1,1...1,15 reizes lielāka par pieļaujamo  $\Delta p$ .

Izplūdes vārstu vāks pasargā kompresoru no hidrauliskajiem triecieniem, kas var rasties, ja cilindrā iekļūst šķidrums («mitrais gājiens»). Cilindrā saspīestais tvaiks ar lielu ātrumu caur izplūdes vārstiem ieplūst spiedkamerā. Šķidrums, kas ieplūdis cilindrā, paceļas kopā ar virzuli. Ja šķidruma daudz, rodas spēcīgi triecieni, kas var izraisīt avāriju. Vārstu vāks šos triecienus vājina, jo buferatspere deformējas un vāks paceļas uz augšu. Šķidrums no cilindra izplūst ne tikai caur izplūdes vārstiem, bet arī caur spraugu starp cilindra galu un vāku. Daļa šķidruma paliek kaitīgajā telpā, kas mākslīgi palielinās, paceļoties vākam. Jāpiezīmē, ka vāks pasargā kompresoru no hidrauliskajiem triecieniem tikai līdz noteiktai robežai. Ja cilindrā iekļūst ievērojams daudzums šķidruma, hidrauliskie triecieni var sagraut augšējo cilindra vāku.

Kompresoriem ir ieplūdes un izplūdes kolektori. Zemspiediena tvaiks kompresorā ieplūst no iztvaikotāja caur ieplūdes kolektoru, kas savienots ar cilindriem. Saspīesto tvaiku no kompresora uz spiedvadu aizvada caur izplūdes kolektoru. Liela ražīguma kompresoros šie kolektori savienoti ar cauruļvadu, kurā ievietots atslogošanas ventilis. Tas atvieglo kompresora palaišanu, jo, atverot atslogošanas ventili, izlīdzinās spiediens virzuļa abās pusēs. Ieplūdes

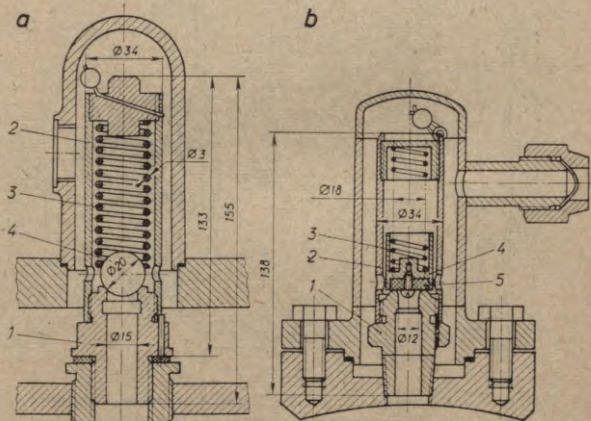
pirkstiem. Kompresora cilindru eļļa ar eļļas izšķaidīšanu. No eļļas patēriņa vietām eļļa satek atpakaļ kompresora karterā. Eļļas spiedienu sistēmā mēra ar manometru, ko uzstāda sūkņa spiedvadā aiz eļļas filtra. Normāli darbojoties, eļļas spiedienam jābūt par  $(0,6 \dots 1,2) \cdot 10^5$  Pa ( $0,6 \dots 1,2$  kgf/cm<sup>2</sup>) augstākam nekā spiedienam karterā. Ja spiediens augstāks, eļļas pārplūdes vārsts ieplūst kompresora karterā.



un izplūdes ventiļi, kolektori, filtri, atslogošanas ventilis, drošības vārsti, eļļas cauruļvadi, gāzu vadi un ūdensvadi sastāda kompresora armatūru.

V-2. tabulā sakopoti Padomju Savienības rūpnīcās ražoto amonjaka virzuļkompresoru tehniskie rādītāji. Vertikālā kompresora un V veida kompresora uzbūve parādīta V-8. un V-9. attēlā. Maskavas rūpnīca «Kompresors» izgatavo kompresorus AB-100, AY-200 un AYY-400 (V-10. att.), kuriem ir daudz unificētu detaļu un mezglu, kā arī vienādi virzuļu gājiņi (130 mm) un cilindru diametri (150 mm). Kļāņi, virzuļi, ieklūdes un izplūdes vārsti, blīvslēgi un eļļošanas iekārta šiem kompresoriem vienāda. Kloķvārpstas apgriezīnu skaits minūtē atkarībā no nepieciešamā aukstuma ražīguma ir 720 apgr./min. vai 960 apgr./min. V veida vairākcilindru kompresori ir kompakti un labi līdzsvaroti. Četrcilindru V veida kompresora kloķvārpstai ir divi kloķi ar pagarinātiem kļāņa gultņu kakliņiem, kas novietoti 180° leņķī; katrs gultņa kakliņš paredzēts diviem kļāņiem.

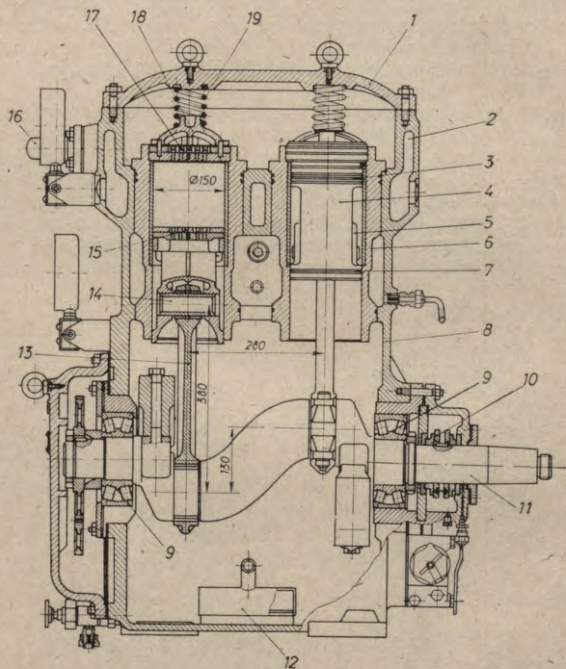
Sis sērijas kompresori tiek izgatavoti kā *blokkartera kompresori*. Kompresoru cilindru blokiem (pa diviem cilindriem katrā) ir šāds novietojums: divcilindru kompresoriem — vertikāls; četrcilindru — V veida ar 90° leņķi, astoņcilindru — vēdekļveida ar 45° leņķi starp cilindru asīm. Kompresoru cilindri kopā ar karteru atlieki vienā čuguna blokā. Cilindros iepresētas apmaināmas čaulas ar radiāliem atvērumiem tvaika ieplūdei. Blokkartera kompresoru galvenās priekšrocības ir šādas: samērā nelieli gabarītmēri un



V-7. att. Drošības vārsti:

a — lodītes tips; b — virzuļa tips; 1 — slēgvirsma; 2 — korpus; 3 — atsperē;  
4 — vārsts; 5 — gumijas blīvredzens.

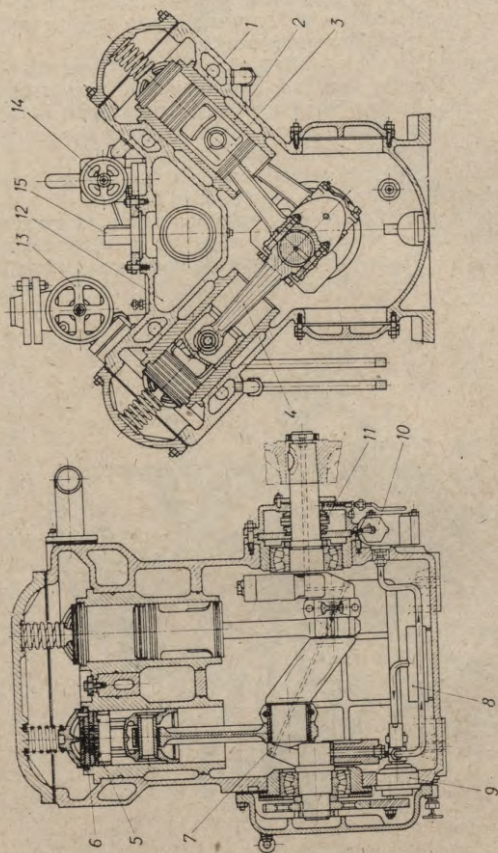
masa; kompresora galvenās asis saglabā savu stāvokli visā kompresora ekspluatācijas laikā; palielināts hermētiskums un stiprība; cilindru remonts vienkāršs un lēts (cilindru čaulu apmaiņa); labs kompresora līdzsvarojums (samazināta kustošos daļu masa). Laba materiālu kvalitāte un augsta izgatavošanas precizitāte deva iespēju palielināt šo kompresoru apgriezību skaitu ( $n=960 \dots 1440$  apgr./min.), kas savukārt samazināja metāla patēriņu uz ražotā aukstuma vienību. Izgatavo arī unificētus blokartera kompresorus ar virzuļa gājienu 70 mm un cilindra diametru 80 mm (AB-22, AY-45 un AY-90). Tos ražo vienā agregātā ar siltumapmaiņas aparātu un automatizācijas ierīcēm. Kompresorus ar virzuļa



V-8. att. Vienvirziena plūsmas divcilindru kompresors AB-100:

1 — cilindru vāks; 2 — dzesējošais apvalks; 3 — virzuļa blīvģredzenis; 4 — virzulis ar caurplūdes kanālu; 5 — atvērumi virzuli tvaika ieplūdei; 6 — cilindra čaula; 7 — eļļas noņēmejs gredzens; 8 — blokarteris; 9 — klokvārpstas pamatgultņi; 10 — blīvslēgs; 11 — klokvārpsta; 12 — eļļas filtrs; 13 — xlanis; 14 — virzuļa pirksts; 15 — ieplūdes vārsts; 16 — drošības vārsts; 17 — izplūdes vārsts; 18 — izplūdes vārstu vāks; 19 — atspere.





V-9. att. Vienvirziena plūsmas V veida četrcilindru kompresors AV-200:

- 1 — blokkartērs; 2 — cilindra čaula; 3 — virzulis; 4 — klatis; 5 — ietilpdes vārsts; 6 — izplūdes vārsts; 7 — klokvārpsta; 8 — sietveida eļļas filtrs; 9 — eļļas sūkņi; 10 — plāksņu tipa eļļas filtrs; 11 — bitvisēgs; 12 — tvaika ietilpdes telpa; 13 — ietilpdes ventilis; 14 — kombinēts pārplūdes un drošības vārsts; 15 — spiediena rēķis.

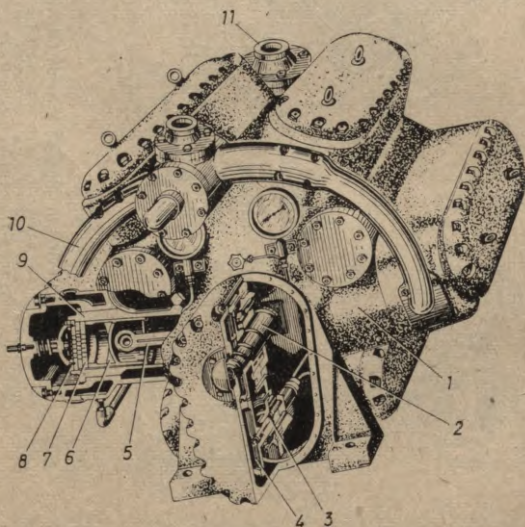
gājienu 130 mm (AB-100, AY-200 un AYY-400) izgatavo atsevišķi — bez pārējiem aparātiem.

Minēto marķu kompresori ir vienvirziena plūsmas kompresori ar ūdens dzesējošo apvalku un kustīgiem cilindru vākiem. Kloķvārpstas ir štancētas un balstās divos gultņos. Tās ir ar diviem kloķiem, kas novietoti 180° leņķī. Uz viena kloķu kakliņa montē līdz 4 kloķiem (vēdek[veida kompresoram]).

Virzuļi ir čuguna, ar diviem blīvgredzeniem un vienu eļļas noņēmēju gredzenu. Virzuļa augšdaļā uzstādīts ieplūdes vārsts. Izplūdes vārsts veido kustīgu cilindra vāku. Kompresoram ir metalizēta grafīta blīvslēgi. Blīvslēgu un kloķu gultņus eļļo ar eļļas piespiedu cirkulāciju no zobratu tipa eļļas sūkņa.

Kompresoros uzstādīti atspiežami drošības vārsti. Tos izmanto arī par atslogošanas ierīcēm, kompresorus iedarbinot.

Kompresorus piedzen tieši no elektrodzinēja caur elastīgu savienotājzuvu, kas noder arī par sparu ratu, vai ar ķīļsiksņas pārvadu. No 1969. gada Maskavas rūpnīcas «Kompresors» ražotajiem kompresoriem paredzēta tikai tiešā piedziņa. Kompresoram



V-10. att. Asoņcilindru blokkartera kompresors AYY-400 ar aukstuma ražīgumu 400 000 kcal/h, ja  $n=960$  apgr./min.:

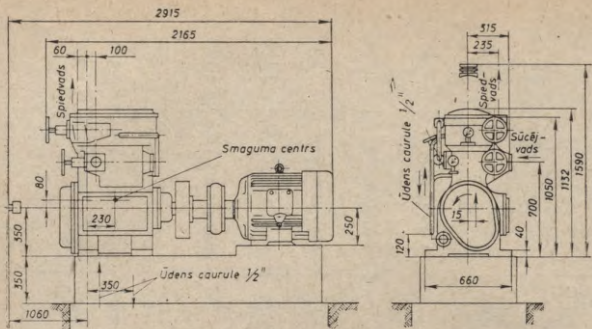
1 — blokkarters; 2 — kloķvārpsta; 3 — eļļas sūknis; 4 — sūkņa piedziņas zobrats; 5 — kloķis; 6 — virzuļis; 7 — ieplūdes vārsts; 8 — izplūdes vārsts; 9 — cilindra čaula; 10 — izplūdes kolektors; 11 — sūcējcaurule.



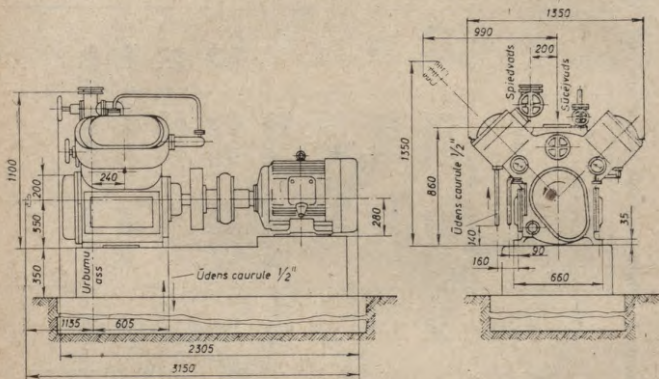
Sākot ar 1962. gadu, Padomju Savienībā sērijveidā ražotie amonjaka vienpakāpes kompresori

Kompresora marka	Cilindru skaits	Virzļa gājiena garums (mm)	Cilindra diametrs D (mm)	Klokvārpiņas apgrieziena skaits minūtē (apg./min.)	Virzļa aprakstlāis (m <sup>3</sup> /h)	Nominālais aukstuma ražīgums		Patērētā jauda N <sub>e</sub> (kW)	Elektrodzinēja jauda N <sub>el</sub> (kW)	Gabarītzīmēri (garums × pla- tums × augstums) (mm)	Masa (bez elektrodzīn.) (kg)
						W	kcal/h				
AB-22	2	70	80	960 1440	40,5 60,8	19 000	16 500	5,25	—	810×1130×760	160
						27 000	23 500	7,90			
AV-45	4	70	80	960 1440	81,0 121,5	38 000	33 000	10,0	—	660×625×710	220
						54 000	47 000	14,9			
AVV-90	8	70	80	960 1440	162 243	75 000	65 000	19,2	—	1100×910×820	350
						110 000	95 000	29			
AB-100	2	130	150	720 960	198,5 264,0	87 000	75 000	25	28	1100×660×1050	1 110
						116 000	100 000	33	40		
AV-200	4	130	150	720 960	397 528	174 000	150 000	50	55	2050×1350×1150	1 103
						232 000	200 000	66	75		
AVV-400	8	130	150	720 960	794 1056	348 000	300 000	100	125	1660×1550×1260	2 700
						465 000	400 000	133	160		
AO-600	2	220	280	500	1585	665 000	575 000	190	320	3310×4150×1750	5 150
						1 300 000	1 150 000	390	630		
AO-1200	4	220	280	500	3170	1 300 000	1 150 000	390	630	4500×4420×1800	10 500

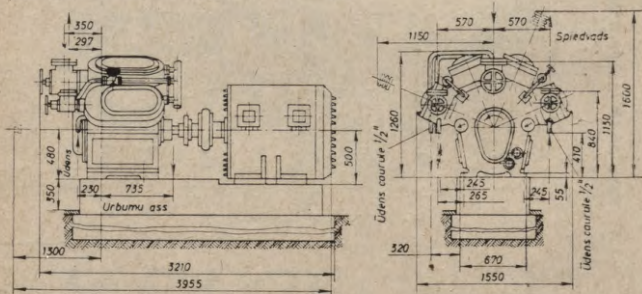
a



b



c



V-11. att. Kompresoru uzstādīšanas shēmas:

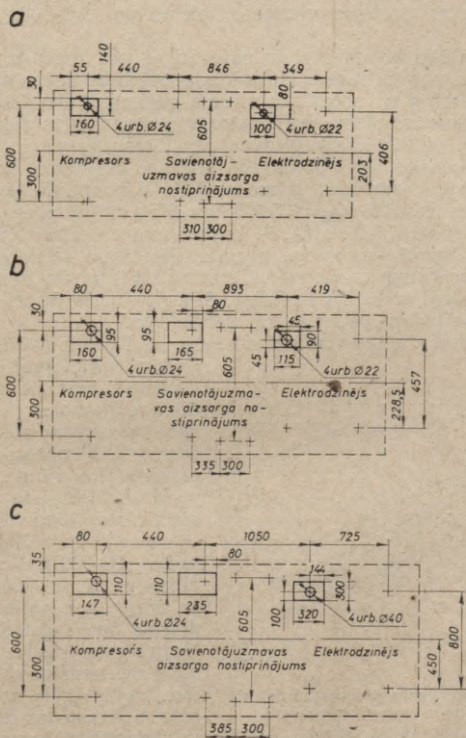
a — AV-100/1D; b — AV-200/1D; c — AVY-400/1D.



AYY-400, sākot ar 1969. gadu, uzstāda AO sērijas elektrodzinēju ar maināmu apgriezību skaitu minūtē — 720 apgr./min. un 960 apgr./min.

Jaunajiem kompresoriem salīdzinājumā ar agrāk ražotajiem ir lielāki padeves un enerģētiskie koeficienti, kas panākts, lietojot mazas inercas vārstus ar lielu caurplūdes šķērsgriezuma laukumu, samazinot kustīgo daļu masu un kaitīgo telpu ( $C_0 \leq 4\%$ ), uzlabojot cilindru dzesēšanu un palielinot apgriezību skaitu minūtē.

V-11. un V-12. attēlā parādītas amonjaka kompresoru uzstādīšanas shēmas, bet V-13. attēlā doti dažu kompresoru padeves



V-12. att. Kompresoru pamatu plāni:

a — AV-100/1D; b — AV-200/1D; c — AYY-400/1D.

koeficienti atkarībā no kompresijas pakāpes. V-14. attēlā redzami kompresoru aukstuma ražīguma grafiki, bet V-15. attēlā — efektīvās jaudas patēriņa grafiki atkarībā no kompresora darba apstākļiem.

**Horizontālie divkārtās darbības krustgalvju amonjaka kompresori** domāti liela ražīguma aukstuma iekārtām. Atkarībā no cilindru novietojuma izšķir vienlīnijas, divlīniju kompresorus un opozitīvos kompresorus. Vienlīnijas kompresoriem ir viens cilindrs, piemēram, 3AГ, 4AГТ, AГ-600. Salikta tipa divlīniju kompresoriem ir divi cilindri, kas novietoti savstarpēji paralēli kloķvārpstas vienā pusē, piemēram, 4AГ, 4AГТ, AГ-1200.

**Opozitīvie kompresori** var būt ar diviem, četriem vai sešiem cilindriem. Cilindri tajos novietoti paralēli abās kloķvārpstas pusēs; virzuļi kustas pretējos virzienos, piemēram, AO-600, AO-1200, AO-1800.

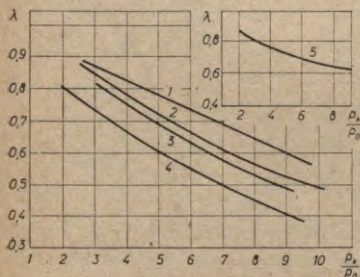
Horizontālie kompresori ir unificēti — tos ražo uz kopīgām bāzēm. Kompresoru bāze ir kloķa-klaņa mehānisms, kas aprēķināts noteiktai slodzei un noteiktam virzuļa gājienam. Daudzas detaļas (kloķa-klaņa mehānisma un krustgalvja rāmis, eļļas sūkņi, klaņi, krustgalvji, virzuļu kāti) vienāda tipa kompresoros ir vienādas. Cilindru diametrs var būt dažāds atkarībā no darba apstākļiem.

Opozitīvie kompresori ir modernākie horizontālie kompresori. Kompresoru AO-600 ( $Q_0 = 665\,000\text{ W} \approx 575\text{ kcal/h}$ ) plaši lieto pārtikas rūpniecībā (V-16. att.). Šī kompresora pamats ir čuguna rāmīša 7, kas balstās uz betona pamata. Pie rāmja atlokiem piestiprinātas krustgalvja vadīklas 4. Tērauda krustgalvīm ir noņemami tērauda slīdeņi ar babīta ielējumu. Slīdeņi pārnes slodzi no krustgalvja uz vadīklām, pa kurām tas pārvietojas.

Kompresora cilindri atlieti no čuguna. Tiem ir radiāls vārstu ligzdu novietojums. Cilindri pievienoti tieši krustgalvja vadīklām. Kompresora virzuļa kātu noblīvē ar metāla blīvslēgu 3. Kompresorā lietoti plāksņu tipa vārsti.

Kopš 1969. gada mūsu rūpniecībā ražo tikai vienvirziena plūsmas horizontālos kompresorus AO-600II. Kompresora cilindrus un to vākus dzesē ar ūdeni, kas palielina kompresora darba ekonomiskumu. Kompresoru piedzen sinhronais elektrodzīnējs, kura rotors nostiprināts uz kompresora kloķvārpstas gala.

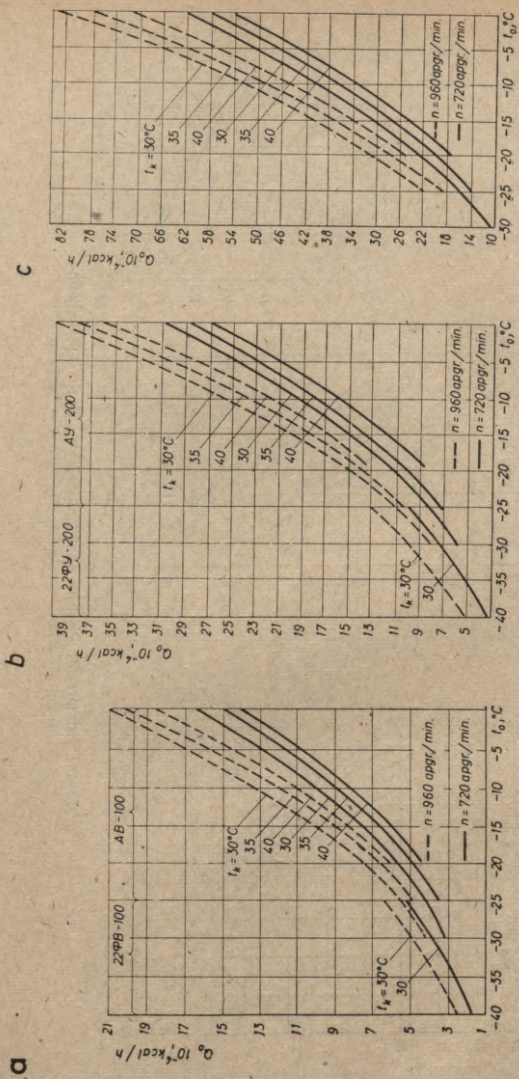
Opozitīvie kompresori ir ātrgaitas kompresori ( $n = 500\text{ apgr./min.}$ ), tāpēc



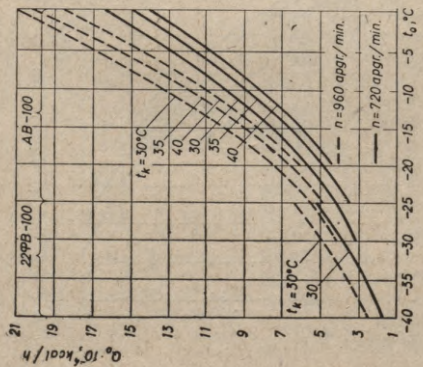
V-13. att. Kompresoru padeves koeficienta atkarība no kompresijas pakāpes:

1 — kompresoriem AB-100; AV-300; AYY-400;  
2 — kompresoram AV-150; 3 — kompresoram AV-30; 4 — maziem ireona kompresoriem ar katīgās telpas tilpumu 4...5%; 5 — horizontālajiem kompresoriem.

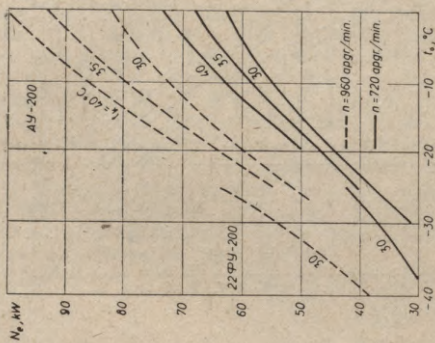




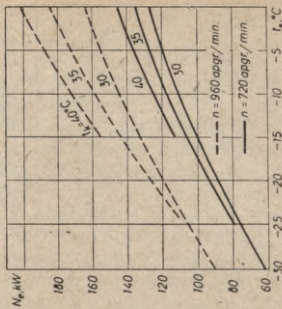
V.14. att. Kompresoru aukstuma ražīgums atkarībā no darba apstākļiem:  
 a — AB-100; 22ФВ-100; b — АУ-200; 22ФВ-200; c — АУ-400.



b



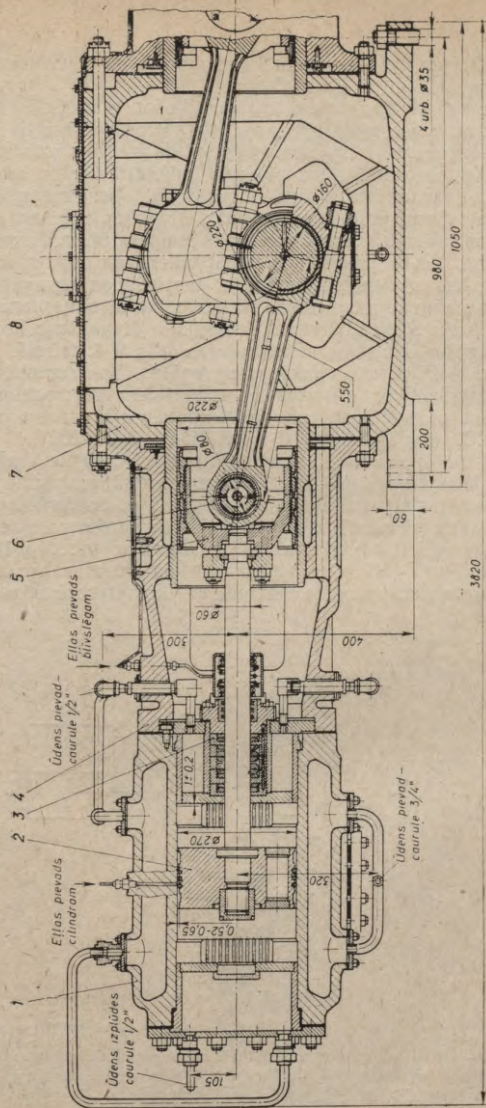
c



У-15. ат. Компрессору ефективна жанда алкарнабн н дараба апстаклем:

a — АВ-100; 22ФВ-100; б — АУ-200; 22ФУ-200; с — АУУ-400.





V-16. att. Opozitīvais amonjaka kompresors AO-600:  
 1 — cilindrs; 2 — virzulis ar kātu; 3 — virzulis ar kātu; 3 — virzulis ar kātu; 3 — virzulis ar kātu; 4 — krustgalvja vadītājs; 5 — krustgalvja vadītājs; 6 — klanis; 7 — rāmis; 8 — klokvārpsta.

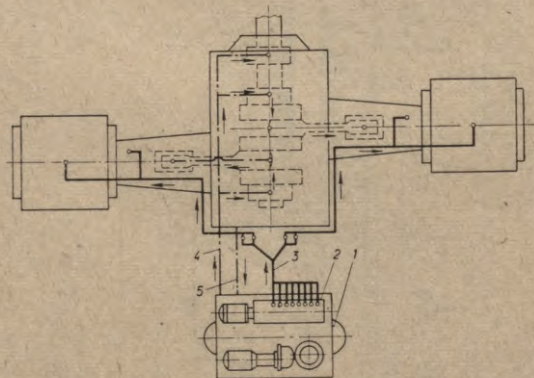
metāla patēriņš uz ražoto aukstuma vienību tajos ievērojami mazāks nekā lēngaitas АГ tipa kompresoros.

Opozitīvajiem kompresoriem ir divas eļļošanas sistēmas (V-17. att.). Gultņu un krustgalvja eļļošanai eļļu padod zobratu tipa sūkni, bet blīvslēgam un cilindram eļļas spiede — *lubrikators*. Zobratu tipa sūkni un lubrikatoru piedzen individuāli elektrodzinēji. Konstrukтивi eļļošanas ierīces apvienotas kopējā eļļošanas agregātā.

**Amonjaka divpakāpju kompresori.** Divpakāpju kompresorus lieto aukstuma iekārtās zemām vārīšanās temperatūrām. Amonjaka tvaiku saspiest divos atsevišķos zemspiediena un augstspiediena kompresoros, kas apvienoti divpakāpju saspišanas agregātā, vai arī zemspiediena un augstspiediena cilindros, kas atrodas vienā kompresorā. Padomju Savienībā ražoto amonjaka divpakāpju kompresoru un agregātu tehniskais raksturojums dots V-3. tabulā.

Plaši lieto АДС tipa divpakāpju agregātus. Tos komplektē no diviem patstāvīgiem kompresoriem un atsevišķiem elektrodzinējiem. Augstspiediena pakāpē lieto parasto vienpakāpes kompresoru, piemēram, АВ-100 (agregātos АДС-15, АДС-60, АДС-200).

Zemspiediena pakāpē tikai agregātam АДС-10 lieto parasto vienpakāpes kompresoru АУ-150. Pārējiem agregātiem pirmajā pakāpē lieto speciālus zemspiediena kompresorus jeb *busterkompresorus* ar palielinātu cilindra diametru. Šajos kompresoros spiedienu starpība uz virzuli ir mazāka un tā nepārsniedz (4...5)  $10^5$  Pa (4...5 kgf/cm<sup>2</sup>). V veida zemspiediena kompresorus apzīmē ar ВАУ. Tos izgatavo uz parasto vienpakāpes kompresoru bāzes, bet



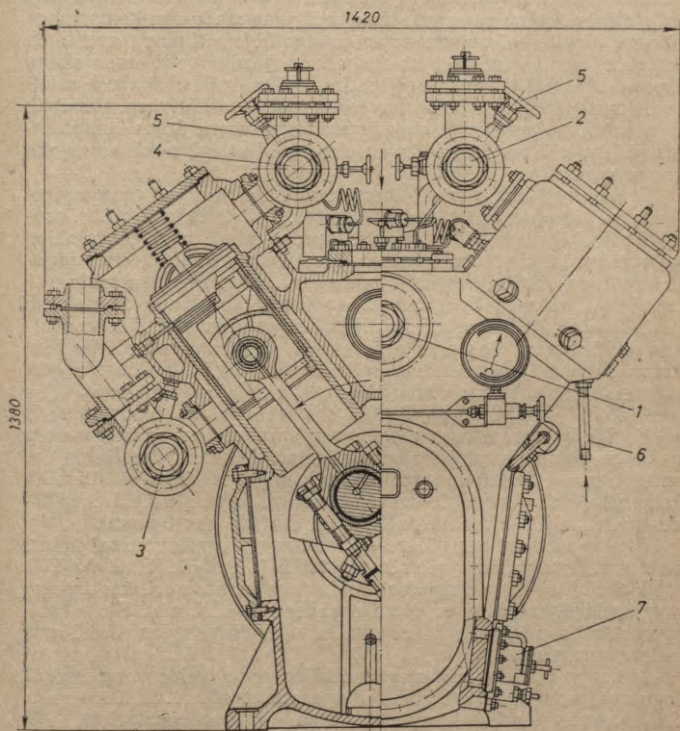
V-17. att. Opozitīvā kompresora AO-600 eļļas cauruļvadu shēma:  
1 — eļļošanas agregāts; 2 — lubrikators; 3 — eļļas pievadi cilindriem un blīvslēgiem; 4 — eļļas pievads kloka-klaņa mehānismam; 5 — atpakaļplūstošās eļļas vadi.



ar lielāka diametra cilindriem. Sākot ar 1969. gadu, Maskavas rūpnīca «Kompresors» divpakāpju agregātus komplektē ar rotācijas kompresoriem РАБ zemspiediena pakāpē, agrāko virzuļkompresoru БАУ vietā. Šādu agregātu apzīmē АДС-РАБ.

Mūsu rūpniecība ražo arī V veida divpakāpju kompresorus ar vienāda izmēra zemspiediena un augstspiediena cilindriem, piemēram, kompresoru ДАУ-80 (V-18. att.). Tam ir 3 zemspiediena un viens augstspiediena cilindrs.

Horizontālajos divpakāpju kompresoros zemspiediena un



V-18. att. Divpakāpju V veida vienvirziena plūsmas četrcilindru kompresors ДАУ-80 ar vienāda diametra zemspiediena un augstspiediena cilindriem:

1 — zemspiediena tvaika ieplūdes ventīlis; 2 — zemspiediena cilindrā saspiegtā tvaika izplūdes ventīlis; 3 — augstspiediena cilindru ieplūdes ventīlis; 4 — augstspiediena tvaika izplūdes ventīlis; 5 — atslēgošanas ventīļi; 6 — dzesējošā ūdens pievads; 7 — eļļas filtrs.

augstspiediena cilindri novietoti paralēli, līdzīgi kā divlīniju vienpakāpes kompresoriem.

Jaunos divpakāpju horizontālos kompresorus ДАО-275П, ДАО-550П, ДАОН-175П, ДАОН-350П izgatavo uz opozitīvo АО tipa kompresoru bāzes kā vienvirziena plūsmas kompresorus.

**Freona kompresori.** Plaši lieto kompresorus, kas strādā ar freonu-12. Freona kompresoru tehniskie rādītāji sakopoti V-4. tabulā. Šo kompresoru konstrukcija līdzīga amonjaka bezkrustgalvju kompresoru konstrukcijai, tomēr tiem ir arī īpatnības, ko nosaka aukstuma aģenta (freona-12) īpašības. Freona kompresora cilindri ir lielāki nekā tāda paša aukstuma ražīguma amonjaka kompresora cilindri. Tas izskaidrojams ar to, ka īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums  $q_v$  freonam-12 ir 1,6 reizes mazāks nekā amonjakam. Freons-12 ir ļoti plūstošs, spējīgs izspiesties caur sīkākajiem neblīvumiem, tāpēc freona-12 kompresoriem jābūt ļoti blīviem. Vislabāk šo nosacījumu apmierina blokkartera kompresori. Šajos kompresoros jālieto vēl pilnīgākas konstrukcijas blīvslēgi nekā amonjaka kompresoros.

Freona tvaikam ir liels blīvums un viskozitāte, kas rada ievērojamu pretestību cauruļvados un vārstos. Lai no tā izsargātos, projektē samazinātu kustības ātrumu cauruļvados, caurplūdes kanālos un vārstos. Tā kā freona aukstuma mašīnas sistēmā 1,6 reizes jāpalielina caurplūstošā tvaika tilpums un 2,5 reizes jāsamazina tā kustības ātrums, tad freona-12 mašīnas cauruļvadu diametriem jābūt 2 reizes lielākiem salīdzinājumā ar amonjaka mašīnu cauruļvadu diametriem. Tas pats attiecas arī uz vārstu caurplūdes laukumu. Freona-12 temperatūra saspiešanas beigās nav augsta, piemēram, kompresoram darbojoties nominālajos apstākļos ( $t_0 = -15^\circ\text{C}$ ,  $t_k = 30^\circ\text{C}$  un  $t_p = 25^\circ\text{C}$ ), saspiebtā tvaika temperatūra ir  $45^\circ\text{C}$ . Šādā temperatūras režīmā var aprobežoties ar kompresora gaisa dzesēšanu, veidojot ribotu cilindru. Ar ūdeni dzesējams apvalks freona-12 kompresoram nav vajadzīgs. Izplūdes vārstu vāku kompresora cilindram pieskrūvē nekustīgi, jo vārstu lielā caurplūdes laukuma dēļ hidrauliskie triecieni faktiski nav bīstami.

Freona vienvirziena plūsmas kompresorus izgatavo tikai lielam aukstuma ražīgumam, piemēram, 22ФВ-100, ФУ-175, 22ФУ-200, ФУУ-350. Visi tie ir ātrgaitas blokkartera kompresori, kas izgatavoti uz kopīgas bāzes ar virzuļa gājienu  $S = 130$  mm. Šiem kompresoriem ir kustīgs izplūdes vārstu vāks un ar ūdeni dzesējams cilindru apvalks.

Mainīga virziena plūsmas vertikālos un V veida kompresorus izgatavo aukstuma ražīguma diapazonam 100...85000 kcal/h. Šādus kompresorus komplektē kopā ar kondensatoriem. Pēc vārpstas noblīvēšanas paņēmienu izšķir trīs freona kompresoru tipus: ar blīvslēgu, bez blīvslēga un hermētiskos.

Plūstot caur mainīga virziena plūsmas kompresora cilindru, aukstuma aģents maina kustības virzienu, jo ieplūdes vārsti novietoti nevis virzulī, bet vārstu plāksnē kopā ar izplūdes vārstiem



Sākot ar 1961. gadu, Padomju Savienībā sērijveidā ražotie amonjaka divpakāpju kompresori

1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11		12	13	14
				W	kcal/h						Virzļa apgrieziena skaitis (apgr./min.)	Virzļa apraķstais tipums (m <sup>3</sup> /h)			
Agregāts (tajā ietilpstošie kompresori)	Vārtšanās temperatūra $t_0$ (°C)	Kondensācijas temperatūra $t_k$ (°C)	Pārdesēšanas temperatūra $t_p$ (°C)	Nominālais aukštuma ražīgums		Virzļa ražīgums S (mm)	Cilindra diametrs D (mm)	Cilindru skaitis	Apģiezienu skaitis (apgr./min.)	Virzļa apraķstais tipums (m <sup>3</sup> /h)	Elektrodzin. jauda (kW)	Gabartizmetri (garums × platums × augstums) (mm)	Masa (bez elektrodzin.) (kg)		
АДС-15 (БАУ-200; АВ-100)	-65	30	25	17 000	—	15 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АДС-60/1 (БАУ-200; АВ-100)	-50	30	25	70 000	—	60 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АДС-60/3 (БАУ-200; АВ-100)	-50	30	25	50 000	—	45 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АДС-200/1 (БАУ-200; АВ-100)	-30	35	30	220 000	—	190 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—

V-3. tabulas turpinājums

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
AIC-200/3 (BAV-200, AB-100)	-30	35	30	160 000	140 000	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	130	190	4	720	636	55	1205×1350×1150	1220
	—	—	—	—	—	130	150	2	720	198	40	1050×760×1190	800
ДАУ-50/1 Zemspiediena cilindrs Augstspiediena cilindrs	-40	35	30	58 000	50 000	130	150	4	960	528	55	Uz AY-200 bāzes	—
	—	—	—	—	—	130	150	3	—	396	—	—	—
	—	—	—	—	—	130	150	1	—	132	—	—	—
ДАУ-50/3 Zemspiediena cilindrs Augstspiediena cilindrs	-40	35	30	44 000	38 000	130	150	4	720	396	55	—	—
	—	—	—	—	—	130	150	3	—	297	—	—	—
	—	—	—	—	—	130	150	1	—	99	—	—	—
ДАУ-80 Zemspiediena cilindrs Augstspiediena cilindrs	-40	35	30	93 000	80 000	150	200	4	720	814	75	1350×1420×1480	1800
	—	—	—	—	—	150	200	3	—	610,5	—	—	—
	—	—	—	—	—	150	200	1	—	203,5	—	—	—



V-3. tabulas turpinājums

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ДАУ-100/1 Zemspiediena cilindrs Augstspiediena cilindrs	-40	35	30	116 000	100 000	130	150	8	960	1056	—	Uz АУУ-400 бāzes	—
	—	—	—	—	—	130	150	6	—	792	—	—	—
	—	—	—	—	—	130	150	2	—	264	—	—	—
ДАУ-100/3 Zemspiediena cilindrs Augstspiediena cilindrs	-40	35	30	85 000	75 000	130*	150	8	720	792	—	—	—
	—	—	—	—	—	130	150	6	—	594	—	—	—
	—	—	—	—	—	130	150	2	—	198	—	—	—
ДАОН-350 Zemspiediena cilindrs Augstspiediena cilindrs	-50	35	30	400 000	350 000	—	—	—	—	—	400	Uz АО-1200 бāzes	—
	—	—	—	—	—	220	450	2	500	4155	—	—	—
	—	—	—	—	—	220	270	2	500	1474	—	—	—
ДАО-550 Zemspiediena cilindrs Augstspiediena cilindrs	-40	40	35	640 000	550 000	—	—	—	—	—	630	Uz АО-1200 бāzes	—
	—	—	—	—	—	220	450	2	500	4155	—	—	—
	—	—	—	—	—	220	270	2	500	1474	—	—	—

Padomju Savienībā sērijveidā ražotie freona-12 un freona-22 vienpakāpes kompresori

Kompresora marka	Cilindru skaits	Virzļa garums (mm)	Cilindra diametrs D (mm)	Kļūvēšanas ātrums (apgr./min.)	Virzļa aprakstītais tilpums (m <sup>3</sup> /h)	Aukstuma ražīgums				Patēriņa jauda režimā № (kW)	Elektrodzinēja jauda (kW)	Gabarītzmēri (garums × platums × augstums) (mm)	Masa (kg)
						nominalā režimā		kondicionēšanas režimā					
						W	kcal/h	W	kcal/h				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

## Freona-12 kompresori

ФГ-2,8	2	35	50	1420	11,9	3 200	2 800	—	—	1,0	1,7	320×320×400	—
ФВ-6	2	50	67,5	960	20,6	5 200	4 500	—	—	1,77	—	565×390×485	50
				1440	30,9	7 000	6 000	—	—	2,45	4,5		
ФВБС-6	2	50	67,5	1440	30,9	7 000	6 000	—	—	2,45	4,5	—	130
ФУ-12	4	50	67,5	960	41,2	9 300	8 000	—	—	3,4	4,5	650×540×515	— 90
				1440	61,8	14 000	12 000	—	—	4,7	—		
ФУБС-12	4	50	67,5	1440	61,8	14 000	12 000	—	—	4,7	10	—	200
ФУУ-25	8	50	67,5	960	82,4	18 500	16 000	—	—	6,5	—	545×630×570	150
				1440	123,6	28 400	24 400	—	—	9,0	—		
ФУУБС-25	8	50	67,5	1440	123,6	28 400	24 400	—	—	9,0	—	—	—



ΦB-20	2	70	101,6	1440 960	65,2 97,7	17 500 26 800	15 000 23 000	40 000 55 000	34 000 47 000	6,5 9,5	10 14	810×600×760	170
ΦY-40	4	70	101,6	960 1440	130,5 195,5	36 000 53 500	31 000 46 000	80 000 109 000	69 000 94 000	11 16	14 20	660×625×710	250
ΦYV-80	8	70	101,6	960 1440	261 391	70 000 105 000	60 000 90 000	160 000 218 000	138 000 188 000	23 35	40 55	690×800×650	360
ΦB-85	2	130	190	720 960	318 424	81 500 110 000	70 000 95 000	— 230 000	— 200 000	28 55	—	1050×760×1190	820
ΦY-175	4	130	190	720 960	636 848	163 000 220 000	140 000 190 000	350 000 465 000	300 000 400 000	52 70	55 75	1370×1350×1150	1220
ΦYV-350	8	130	190	720 960	1272 1696	326 000 440 000	280 000 380 000	700 000 930 000	600 000 800 000	104 140	125 160	1700×1600×1300	2000

### Freona-22 kompresori

22ΦB-100	2	130	150	720 960	198,5 264	— —	18 000* 25 000*	— —	— —	14,5* 19,0*	28 40	1100×660×1132	1110
22ΦY-200	4	130	150	720 960	397 528	— —	35 000* 50 000*	— —	— —	28* 38*	55 75	1235×660×1150	1590

\*) aukstuma ražīgums un patērētā jauda, ja  
 $t_0 = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_k = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_p = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

(V-19. att.). Freona tvaiks kopā ar eļļas daļiņām no iztvaikotāja iet caur filtru, kur eļļa atdalās no freona un satek kompresora karterā. Tvaiks caur ieplūdes kanālu nonāk sūkšanas kamerā un no tās caur ieplūdes vārstiem cilindrā. Pēc saspiešanas virzulis tvaiku caur izplūdes vārstu izspiež spiedkamerā un no tās kondensatorā.

Freona kompresoru padeves koeficients atkarīgs no daudziem faktoriem. Pozitīvi to ietekmē pārkarsēta tvaika iesūkšana kompresorā. Mazajiem kompresoriem padeves koeficientu  $\lambda$  un indikatora lietderības koeficientu  $\eta_i$  var noteikt pēc V-20. attēlā parādītajiem grafikiem.

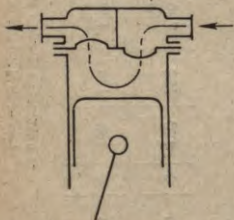
Kompresori  $\Phi B-20$ ,  $\Phi Y-40$ ,  $\Phi YY-80$  izgatavoti uz kopīgas bāzes ar virzuļa gājienu  $S=70$  mm. Blokkartera kompresora korpuss, kurā ievietotas apmaināmas cilindru čaulas, izveidots no čuguna lējuma.

Ieplūdes kamerā, kas atrodas blokkarterā, ierīkots noslēdzošais ieplūdes ventilis. Kompresora spiedkambars savieno kopīgs kolektors ar noslēdzošo izplūdes ventili.

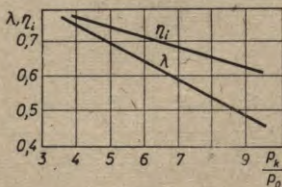
Plāksņu tipa ieplūdes vārsti novietoti cilindra čaulas augšējā vākā. Lietojot šādu novietojumu, var izveidot vārstus ar palielinātu caurplūdes laukumu, kas labvēlīgi ietekmē padeves koeficientu. Izplūdes vārsti ievietoti cilindra vākos. Kompresoros  $\Phi Y-40$  un  $\Phi YY-80$  ierīkoti speciāli mehānismi pakāpeniskai aukstuma ražīguma regulēšanai, kuru izdara ar ieplūdes vārsta atvēršanu. Kompresors  $\Phi Y-40$  var darboties ar pilnu aukstuma ražīgumu vai par 50% samazinātu aukstuma ražīgumu. Kompresoram  $\Phi YY-80$  ir trīs aukstuma ražīguma regulēšanas pakāpes — 100; 75 un 50%. Regulēšanas mehānismu piedzen no kompresora eļļošanas sistēmas.

Centšanās izveidot kompaktu kompresoru, kā arī novērst aukstuma aģenta noplūdes un samazināt kloķvārpstas izdilumu noveda pie bezblīvslēgu kompresoru un hermētisko kompresoru izveidošanas.

Bezblīvslēgu kompresora karters hermētiski savienots ar elektrodzinēja korpusu (V-21. att.); elektrodzinēja rotors novietots uz



V-19. att. Tvaika kustības shēma mainīga virziena plūsmas kompresorā.



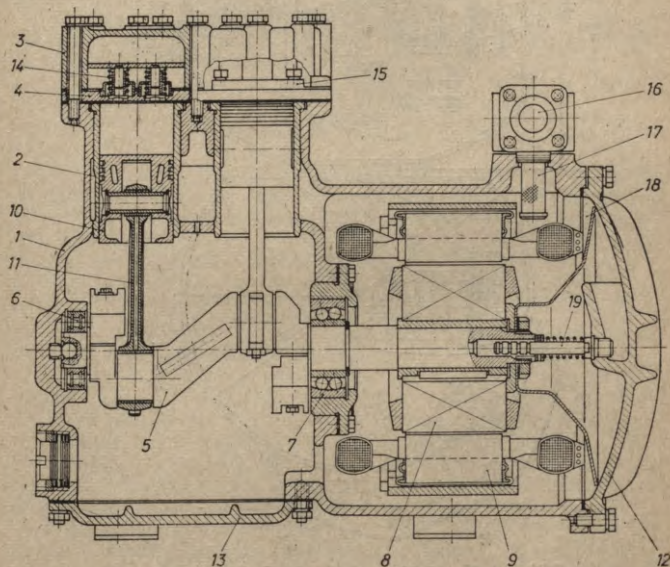
V-20. att. Mazo freona kompresoru padeves koeficienta un indikatora lietderības koeficienta atkarība no kompresijas pakāpes.



klokvārpstas pagarinājuma. Šādam kompresoram nav vajadzīgs blīvslēgs, tas strādā bez trokšņa. Mūsu rūpniecība izgatavo bezblīvslēgu kompresorus aukstuma ražīgumam līdz 25 000 kcal/h.

*Hermētiskie* kompresori (V-22. att.) domāti neliela aukstuma ražīguma aukstuma agregātiem (mājsaimniecības un tirdzniecības saldēšanas skapjos). Kompresors un elektrodzinējs novietoti uz kopīgas vārpstas un ieslēgti hermētiskā apvalkā. Hermētiskos kompresorus izgatavo ar vertikālu vienkloķa vārpstu un horizontāliem cilindriem. Šāds novietojums samazina kompresora izmērus, dod iespēju ērti virs eļļas vannas novietot elektrodzinēju, kā arī lietot kļauņus ar nedalāmu kļauņa gultni un vienkāršas konstrukcijas eļļas sūkni.

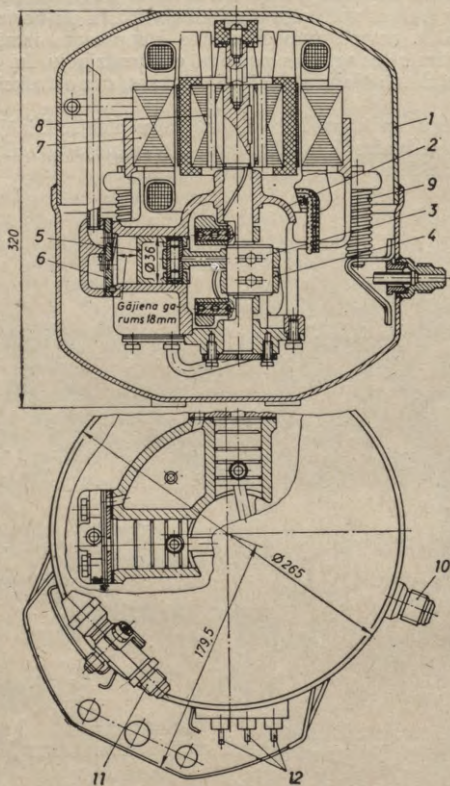
Bezblīvslēgu un hermētisko kompresoru elektrodzinējus dzešē aukstais freona tvaiks, kas ieplūst no iztvaikoņtāja apvalkā un apskalo elektrodzinēju.



V-21. att. Bezblīvslēga mainīga virziena plūsmas freona kompresors ФБС-6:

1 — blokkartars; 2 — cilindra čaula; 3 — cilindra vāks; 4 — vārstu plāksne; 5 — klokvārpsta; 6 un 7 — gultņi; 8 — rotors; 9 — elektrodzinēja stators; 10 — virzulis; 11 — kļauņi; 12 — vāks ar eļļas kabatu; 13 — apakšējais vāks; 14 — izplūdes vārsts; 15 — ieplūdes vārsts; 16 — ieplūdes ventilis; 17 — filtrs; 18 — eļļas izšķaidīšanas disks; 19 — eļļas padeves caurule.

Darbam ar freonu-22, kam darba spiediens tuvs amonjaka spiedienam, lieto unificētus kompresorus 22ФВ-100, 22ФУ-200, 22ФУУ-400. To galvenās detaļas ir tādas pašas kā amonjaka kompresoriem АВ-100, АУ-200 un АУУ-400. Dažos gadījumos, saskaņojot ar rūpnīcu, freona-12 kompresorus var lietot arī darbam ar freonu-22.



V-22. att. Hermētiskais divcilindru freona kompresors ФГК-0,7 ar horizontālu cilindru novietojumu:

- 1 — apvalks; 2 — blokkarters; 3 — ekscentra vārpsta; 4 — klanis; 5 — virzulis; 6 — vārstu plāksne; 7 — elektrodziņnāja stators; 8 — rotors; 9 — piekares atspere; 10 — sa-  
spiestā tvaika izvaduzgalis; 11 — ieplūdes ventīlis; 12 —  
elektriskie vadi.



### 3. Virzuļkompresoru aukstuma ražīguma regulēšana

Virzuļkompresora aukstuma ražīgumu regulē ar šādiem paņēmieniem: 1) ievada daļu saspiegtā tvaika cilindra sūkšanas pusē; 2) palielina kompresora kaitīgo telpu; 3) izmaina kompresora vārpstas apgriezību skaitu minūtē.

Pirmo paņēmieni lieto vertikālajos, V veida un vēdekļveida kompresoros. Šim nolūkam ierīko īpašus pārplūdes vārstus, kas savieno kompresora saspiešanas kameru ar sūkšanas kameru.

Horizontālo kompresoru aukstuma ražīgumu regulē ar papildu kaitīgās telpas pieslēgšanu cilindram, savienojot cilindra darba telpu ar papildu kameru. Viena vai divas šādas kameras ierīkotas cilindra vākos. Pieslēdzot vienai kameru, vienas cilindra darba puses aukstuma ražīgums samazinās par 25%, bet visa cilindra — par 12,5%; pieslēdzot divas šādas kameras, cilindra aukstuma ražīgums samazinās par 25%. Lai samazinātu cilindra aukstuma ražīgumu par 50%, daļēji atver ieplūdes vārstus vienā vai abās cilindra pusēs.

Kompresora apgriezību skaitu minūtē un līdz ar to aukstuma ražīgumu var izmainīt, lietojot elektrodzinējus ar maināmu griešanās ātrumu (720 un 960 apgr./min.).

### 4. Virzuļkompresoru aprēķins

Galvenie aukstuma iekārtas kompresoru raksturojošie lielumi ir *aukstuma ražīgums* un *elektriskās jaudas patēriņš*. Šie lielumi saistīti ar citiem lielumiem, kurus iepriekš pieņem vai nosaka pēc aprēķina, piemēram, cilindra diametrs  $D$ , virzuļa gājiens  $S$ , kompresora vārpstas apgriezību skaitu minūtē  $n$ .

Attiecība  $\frac{S}{D}$  nosaka kompresora izmērus, masu un darbu berzes pārvarēšanai. No pareizas šīs attiecības izvēles atkarīga kompresora izturība, kompakts, darbmūžs un ekonomiskums.

Kompresora galveno izmēru noteikšanai jāzina kompresora aukstuma ražīgums  $Q_0$ , aukstuma aģents un darba režīma temperatūras — vārišanās temperatūra  $t_0$ , kondensācijas temperatūra  $t_k$ , pārdzesēšanas temperatūra  $t_p$ . Dotajam gadījumam jāizvēlas vispiemērotākais kompresors. Galveno izmēru aprēķins pamatojas uz aukstuma mašīnas darba cikla aprēķinu, ko veic, izmantojot aukstuma aģenta  $T$ - $s$  un  $p$ - $i$  diagrammas (sk. III nodaļu).

Darba cikla aprēķinā jānosaka

- 1) 1 kg aukstuma aģenta aukstuma ražīgums

$$q_0 = i_1 - i_4 \text{ (kJ/kg),}$$

kur  $i_1$  — aukstuma aģenta entalpija pie izejas no iztvaikotāja (kJ/kg);

$i_4$  — aukstuma aģenta entalpija pie ieejas iztvaikotājā (kJ/kg);

2) aukstuma aģenta masa, kas izplūst caur aukstuma iekārtas sistēmu vienas sekundes laikā pie dotā aukstuma ražīguma  $Q_0$ , t. i.,

$$G = \frac{Q_0}{1000q_0} \text{ (kg/s);}$$

3) kompresora virzuļa 1 sekundē aprakstītais tilpums

$$V_s = \frac{Gv_1}{\lambda} \text{ (m}^3\text{/s),}$$

kur  $v_1$  — kompresorā iesūcamā tvaika īpatnējais tilpums ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ), kuru atrod pēc tvaika temperatūras un spiediena pie ieejas kompresorā;

$\lambda$  — kompresora padeves koeficients.

Zinot virzuļa aprakstīto tilpumu  $V_s$ , nosaka galvenos kompresora izmērus.

Vienkāršas darbības kompresoram

$$V_s = \frac{Gv_1}{\lambda} = \frac{\pi D^2}{4} S n z \text{ (m}^3\text{/s),}$$

kur  $z$  — cilindru skaits;

$D$  — cilindra diametrs (m);

$n$  — vārpstas apgriezienu skaits sekundē;

$S$  — virzuļa gājiens (m).

No šejienes cilindra diametrs

$$D = \sqrt{\frac{4V_s}{\pi S n z}} \text{ (m).} \quad (\text{V-1})$$

Šajā formulā lielumi  $D$ ,  $S$ ,  $n$  nav zināmi, tāpēc lieto jēdzienu *virzuļa vidējais ātrums*  $C_m$ . Vidējais ātrums ir attālums, kuru virzulis noiet laika vienībā, t. i.,

$$C_m = 2S n \text{ (m/s).} \quad (\text{V-2})$$

No šejienes  $S n = \frac{C_m}{2}$ . Izmantojot šo sakarību, iegūst

$$D = \sqrt{\frac{8V_s}{\pi C_m z}} \text{ (m).} \quad (\text{V-3})$$

Liela ražīguma kompresoriem virzuļa vidējo ātrumu pieņem 2,5...4,5 m/s, vidēja ražīguma kompresoriem — 1,5...2,5 m/s. Pēc pieņemtās  $C_m$  skaitliskās vērtības var aprēķināt cilindra diametru.

Virzuļa gājienu  $S$  nosaka, izmantojot attiecību  $\frac{S}{D}$ , kuru nosaka pēc kompresoru izgatavošanas prakses atkarībā no kompresora konstrukcijas un aukstuma aģenta.



Attiecībai  $\frac{S}{D}$  ieteicamas šādas vērtības:

1) vienpakāpes vertikālajiem, V veida un vēdekļveida amonjaka un freona-22 kompresoriem — 0,8...0,9;

2) šī paša tipa freona-12 kompresoriem un zemspiediena pakāpes kompresoriem divpakāpju aukstuma iekārtās, kas strādā ar amonjaku un freonu-22, — 0,7...0,8;

3) divkāršas darbības horizontālajiem kompresoriem — 1...1,5.

Kompresora vārpstas apgriezību skaitu sekundē aprēķina pēc šādas formulas:

$$n = \frac{C_m}{2S} \text{ (apgr./s)}. \quad (\text{V-4})$$

Divkāršas darbības kompresoram

$$V_s = \frac{\pi}{4} (2D^2 - d^2) S n z \text{ (m}^3/\text{s)}, \quad (\text{V-5})$$

kur  $d$  — virzuļa kāta diametrs (m).

Izmantojot izteiksmi  $S n = \frac{C_m}{2}$ , iegūst

$$V_s = \frac{\pi}{2 \cdot 4} (2D^2 - d^2) C_m z = 0,3925 (2D^2 - d^2) C_m z \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (\text{V-6})$$

Virzuļa kāta diametrs

$$d = aD,$$

kur  $a$  — proporcionalitātes koeficients (amonjaka kompresoriem  $a=0,2...0,25$ , ogļskābās gāzes kompresoriem  $a=0,3...0,45$ ).

No vienādības (V-6) izteiktais cilindra diametrs

$$D = \sqrt{\frac{V_s}{0,3925 C_m z (2 - a^2)}} \quad (\text{V-7})$$

Virzuļa gājienu  $S$  nosaka pēc sakarības  $S = \frac{C_m}{2n}$  vai pēc attiecības  $\frac{S}{D}$ .

1 kg aukstuma aģenta adiabatiskās saspiešanas darbu nosaka pēc aukstuma aģenta diagrammas, t. i.,

$$A l = i_2 - i_1 \text{ (kJ/kg)},$$

kur  $i_1$  un  $i_2$  — tvaika entalpija pirms un pēc saspiešanas.

Kompresora teorētiskā jauda

$$N_t = A l G \text{ (kW)}. \quad (\text{V-8})$$

To var aprēķināt arī, izmantojot teorētiskā cikla dzesēšanas koeficientu  $\epsilon_t$ , šādi:

$$N_t = \frac{Q_0}{1000\epsilon_t} \text{ (kW)}, \quad (\text{V-9})$$

Kompresora indicētā jauda

$$N_1 = \frac{N_t}{\eta_i} \text{ (kW)}, \quad (\text{V-10})$$

kur  $\eta_i$  — indikatora lietderības koeficients.

Kompresora patērētā efektīvā jauda

$$N_e = \frac{N_1}{\eta_m} \text{ (kW)}, \quad (\text{V-11})$$

kur  $\eta_m$  — kompresora mehāniskais lietderības koeficients.

Kompresoru katalogos atsevišķām kompresoru markām doti grafiki  $N_e = f(t_0; t_k)$ , pēc kuriem var noteikt kompresora patērēto jaudu dažādiem darba režīmiem.

*1. piemērs.* Noteikt amonjaka divcilindru kompresora galvenos parametrus nominālajam aukstuma ražīgumam 116 000 W (100 000 kcal/h), ja  $t_0 = -15^\circ\text{C}$ ,  $t_i = -10^\circ\text{C}$ ;  $t_k = 30^\circ\text{C}$ ;  $t_p = 25^\circ\text{C}$ .

Aprēķina šādus lielumus:

- 1) 1 kg aukstuma aģenta aukstuma ražīgums

$$q_0 = i_1 - i_4 = 1662,7 - 536,3 = 1126,4 \text{ kJ/kg};$$

- 2) sistēmā cirkulējošā aukstuma aģenta masa

$$G = \frac{Q_0}{1000q_0} = \frac{116\,000}{1000 \cdot 1126,4} = 0,103 \text{ kg/s};$$

- 3) kompresora virzuļa 1 sekundē aprakstītais tilpums

$$V_s = \frac{Gv_1}{\lambda} = \frac{0,103 \cdot 0,51}{0,72} = 0,073 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Padeves koeficientu ( $\lambda = 0,72$ ) atrod pēc diagrammas (III-8. att. a);

4) cilindra diametru, pieņemot, ka virzuļa kustības vidējais ātrums  $C_m = 4,0 \text{ m/s}$ , aprēķina šādi:

$$D = \sqrt{\frac{8V_s}{\pi C_m z}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 0,073}{3,14 \cdot 4 \cdot 2}} = 0,15 \text{ m} = 150 \text{ mm};$$

- 5) virzuļa gājiens

$$S = 0,86 D = 0,86 \cdot 150 \approx 130 \text{ mm} = 0,13 \text{ m},$$

ja pieņem  $\frac{S}{D} = 0,86$ ;

- 6) vārpstas apgriezīnu skaits sekundē

$$n = \frac{C_m}{2S} = \frac{4}{2 \cdot 0,13} \approx 15,3 \text{ apgr./s};$$



7) adiabatiskās saspiešanas darbs

$$A_l = i_2 - i_1 = 1900 - 1662,7 = 237,3 \text{ kJ/kg;}$$

8) kompresora teorētiskā jauda

$$N_t = A_l G = 237,3 \cdot 0,103 = 24,4 \text{ kW.}$$

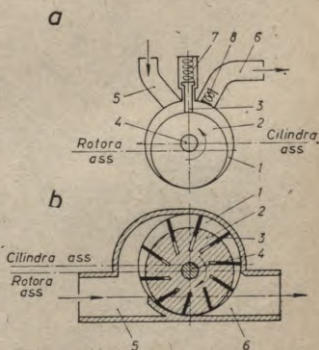
## 5. Rotācijas kompresori

Kompresorus ar rotējošu virzuļa kustību sauc par rotācijas kompresoriem. Salīdzinājumā ar virzuļkompresoriem tiem ir šādas priekšrocības: liels aukstuma ražīgums maziem kompresora izmēriem; labs līdzsvarojums, strādājot ar lieliem griešanās ātrumiem; nav vārstu vai arī ir tikai izplūdes vārsti; vienkārša regulēšana, vienkārša konstrukcija.

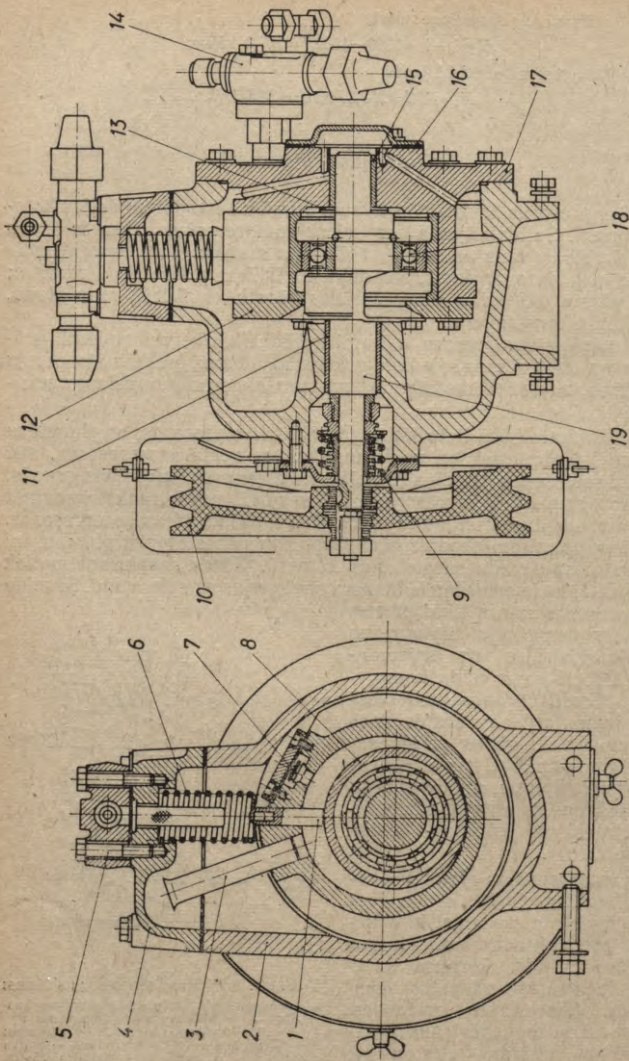
Rotācijas kompresoru trūkumi ir šādi: lieli berzes zudumi, grūtības ar noblīvēšanu, ja lieli griešanās ātrumi, palielināts detaļu izdilums, nepieciešama augsta izgatavošanas un montāžas precizitāte.

Aukstumtechnikā lieto šādus rotācijas kompresorus: ar planetāru rotora kustību, plāksņu veida un skrūves veida kompresorus. Pēc gāzu saspiešanas principa rotācijas kompresorus iedala trīs grupās. *Pirmās grupas* kompresoros gāzi saspiež, nepārtraukti izmainot kompresora darba telpas tilpumu, t. i., tāpat kā virzuļkompresoros. *Otrās grupas* kompresoros gāzi saspiež ar gāzes atpakaļplūsmu, tai ieplūstot spiedvada saspiešanas kamerā. Gāzes saspiešana notiek momentā, kad saspiešanas kamera savienojas ar spiedvadu. Šī veida kompresoros rotors tikai pārnes gāzi ar nemainīgu tilpumu no sūcējmagistrāles uz spiedmagistrāli (zobratu veida kompresori). *Trešās grupas* kompresoros izmantoti abi saspiešanas principi, t. i., gāzes daļēja saspiešana, izmainot kameras ģeometrisko tilpumu, un tās galīga saspiešana, izmantojot gāzes atpakaļplūsmu (skrūves veida kompresori).

Kompresorā ar planetāru rotora kustību (V-23. att. a) rotors novietots ekscentriski attiecībā pret cilindra asi. Rotoru piedzen cilindra korpusā ievietots centrālās vārpstas ekscentrs. Ekscentram griežoties, rotors atrodas nepārtrauktā sakarē ar cilindra virsmu un



V-23. att. Rotācijas kompresoru shēmas; a — kompresors ar planetāru rotora kustību; b — plāksņu veida kompresors; 1 — cilindrs; 2 — rotors; 3 — plāksnes; 4 — vārpsta; 5 — tvaika pievads; 6 — tvaika izvads; 7 — atspere; 8 — izplūdes vārsts.



V-24. att. Rotācijas kompresors PKΦ-0,7:

1 — lāpstiņa; 2 — kompresora korpusis; 3 — ietilpdes caurule; 4 — kompresora gaitis; 5 — ietilpdes vārsts; 6 — lāpstiņas atspere; 7 — izplūdes vārsts; 8 — rotors; 9 — divvēlēgs; 10 — piedziņas skrīmelis; 11 — bronzas buķe; 12 — cilindra vāks; 13 — cilindra vāks; 14 — izplūdes ventīlis; 15 — bronzas buķe; 16 — lodīšu vāks; 17 — cilindrs; 18 — lodīšu gultnis; 19 — ekscentra vārpsta.



veļas pa to, izveidojot darba telpu ar pusmēnessveida šķērsgrīzuma laukumu. Šī telpa, kuru ierobežo cilindrs un rotors, ar plāksni (lāpstiņu) sadalīta sūkšanas un spiediena pusēs. Rotoram 2 tuvojoties augšējam stāvoklim, sūkšanas puses tilpums palielinās un tajā no iztvaikotāja caur atvērumu cilindrā ieplūst tvaiks. Atvērums atrodas tuvu pie lāpstiņas 3. Tajā pašā laikā rotors saspiež tvaiku spiediena pusē un pēc tam caur izplūdes vārstu 8 to izspiež kondensatorā. Viena ekscentra vārpstas apgrieziena laikā notiek pilns kompresora darba cikls, t. i., tvaika iesūkšana, saspiešana un izspiešana kondensatorā.

Tirdzniecības uzņēmumu saldēšanas skapjos darbojas Rīgas rūpnīcas «Kompresors» ražotie šī veida PKΦ-0,7 un PKΦ-1,1 marķas kompresori (V-24. att.), kurus lieto attiecīgi agregātos MPΦ-0,7 un MPΦ-1,1. Tie ir blīvslēgu kompresori, kuru aukstuma ražīgumu regulē, mainot vārpstas apgrieziena skaitu minūtē. Rotācijas kompresoru tehniskais raksturojums dots V-5. tabulā.

V-5. tabula

Rīgas rūpnīcas «Kompresors» ražotie rotācijas blīvslēgu kompresori

Rādītāji	Kompresors	
	PKΦ-0,7	PKΦ-1,1
Nominālais aukstuma ražīgums (W)	815	1280
(kcal/h)	700	1100
Cilindra diametrs (mm)	98	98
Rotora diametrs (mm)	86	86
Rotora augstums (mm)	50	50
Apgriezienu skaits minūtē (apgr./min.)	600	900
Rotora aprakstītais tilpums (m <sup>3</sup> /h)	3,15	4,67
Eļļas XΦ-12-18 pildījums (kg)	1,2	1,2
Masa (kg)	23,1	23,1

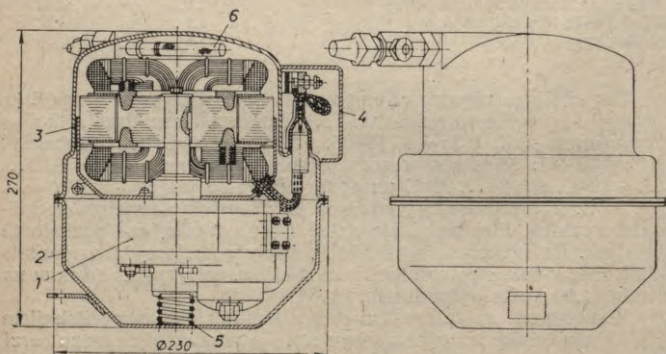
Tagad Rīgas rūpnīca «Kompresors» specializējusies hermētisko rotācijas kompresoru ražošanā. Tā, piemēram, hermētisko rotācijas kompresoru ΦΓ<sub>p</sub> 0,35~1 (V-25. att.) lieto aukstuma agregātā BC<sub>p</sub> 0,35~1. Šāds kompresors piemērots darbam, ja  $t_0 = -25 \dots -10^\circ\text{C}$ ,  $t_k = 20 \dots 50^\circ\text{C}$  un apkārtējā gaisa temperatūra ir  $5 \dots 40^\circ\text{C}$ . Kompresors ar vienfāzes elektrodzinēju ievietots hermētiskā apvalkā. Elektrodzinēju dzesē freona tvaiks, kas apskalo tā tinumus. Uz kompresora vertikālās vārpstas lejasgala uzmontēts centrālās sūkņa rotors, kurš padod eļļu caur vārpstas urbumu uz kompresora kustošajām daļām.

Kompresori ar planetāru rotora kustību pēc enerģētiskajiem rādītājiem līdzīgi virzuļkompresoriem. Tie raksturīgi ar mazu berzi kustošajās daļās, nelieliem izmēriem, mazu metāla patēriņu un labu līdzsvarojumu. Tie ir ērti uzstādāmi ēku augšējos stāvos un transporta līdzekļos bez pamatu ierīkošanas.

Kompresora  $\Phi\Gamma_p$  0,35~1 tehniskais raksturojums

Nominālais aukstuma ražīgums (W)	400
(kcal/h)	350
Cilindra diametrs (mm)	53
Cilindra garums (mm)	33
Rotora diametrs (mm)	46
Ekscentritāte (mm)	3,5
Apgriezienu skaits minūtē (apgr./min.)	1440
Rotora aprakstītais tilpums ( $m^3/h$ )	1,49
Masa bez eļļas (kg)	17,8
Elektrodzinēja jauda (kW)	0,2
Spriegums (V)	220

Plākšņu veida rotācijas kompresora shēma dota V-23. attēlā b. Cilindrā 1 ekscentriski novietots rotors 2 ar plāksnēm 3, kas brīvi ievietotas radiālos vai slīpos rotora izgriezumos. Rotoram griežoties, centrālās spēks izbīda plāksnes no izgriezumiem, un tās slīd pa cilindra iekšējo virsmu. Plāksnes veido virkni rotējošu kameru, kuru tilpums atkarīgs no vārpstas pagrieziena leņķa. Vārpstas pusapgrieziena laikā kameras maina savu tilpumu no maksimālās līdz minimālajai vērtībai. Rotoram griežoties bultiņas norādītajā virzienā, gāze pa ieplūdes kanālu 5 nonāk cilindrā un piepilda kameras līdz maksimālajam tilpumam. Pēc tam plāksnes atdala kameras no ieplūdes kanāla, kameru tilpums samazinās un notiek gāzes saspiešana. Saspiešanas process turpinās līdz momentam, kad kameras savienojas ar tvaika izplūdes kanālu 6. Tālāk seko gāzes izspiešana spiedvadā. Viena vārpstas apgrieziena laikā notiek pilns kompresora darba cikls. Plākšņu veida kompresorā nav ieplūdes un



V-25. att. Hermētiskais rotācijas kompresors  $\Phi\Gamma_p$  0,35~1:

- 1 — kompresors ar elektrodzinēju; 2 — apakšējais apvalks; 3 — augšējais apvalks; 4 — pieslēgspaiļu kārbā; 5 — atbalsta atspere; 6 — tvaika filtrs.



izplūdes vārstu. Saspiešanas beigu spiediens nav atkarīgs no spiediena kompresora spiedvadā, bet gan no kameru tilpumu attiecības gāzes saspiešanas sākumā un beigās.

Sie kompresori ir viegli iedarbināmi, jo plāksnes ieņem darba stāvokli, tikai sasniedzot noteiktu vārpstas griešanās ātrumu.

Vienādiem cilindru izmēriem un vārpstas griešanās ātrumiem plāksņu veida kompresoru cilindra darba tilpums  $V_h$  divas reizes lielāks nekā rotācijas kompresoriem ar planetāru virzuļa kustību. Plāksņu veida kompresorus ērti lietot gadījumos, kad jāpārvieto lieli tvaika tilpumi ar mērenu kompresijas pakāpi. Visbiežāk tos lieto par pirmās pakāpes kompresoriem divpakāpju aukstuma iekārtās. Rotācijas kompresori droši ekspluatācijā. Sakarā ar mazu kustošos daļu skaitu tie vienkārši apkalpojami un mierīgi strādā ar «mitro gājienu».

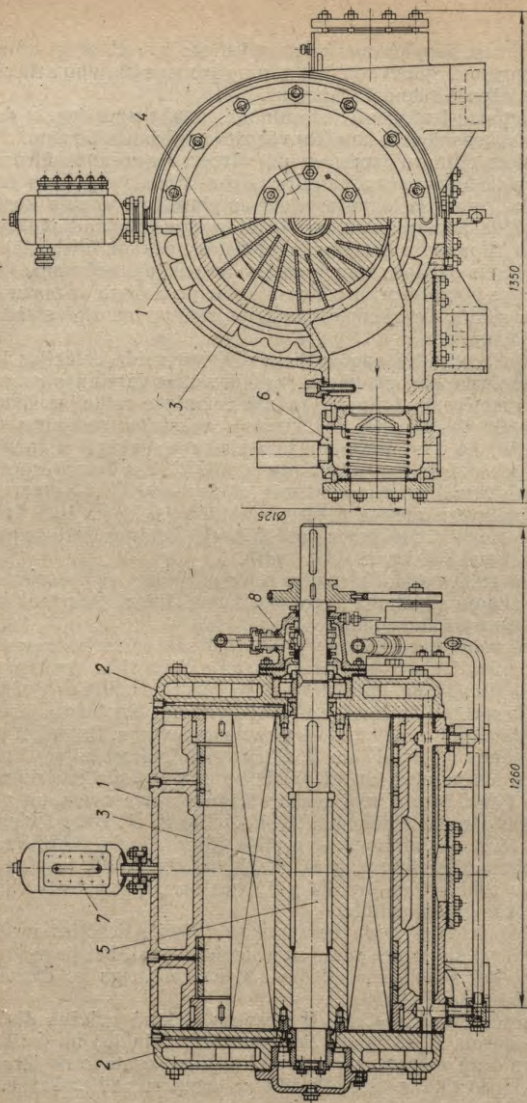
Padomju Savienībā apgūta lielu plāksņu veida rotācijas kompresoru ražošana, kuri piemēroti darbam zemās vārišanās temperatūrās. Tā, piemēram, sērijveidā ražotā amonjaka rotācijas kompresora PAB-300 (V-26. att.) aprēķinātais aukstuma ražīgums  $Q_0 = 350\,000$  W, ja tas darbojas zemspiediena pakāpē divpakāpju aukstuma iekārtā ar  $t_0 = -40^\circ\text{C}$  un  $t_k = 35^\circ\text{C}$ . Šis kompresors var strādāt arī zemākās temperatūrās (līdz  $-60^\circ\text{C}$ ). Kompresorā PAB-300 ipatnējais metāla patēriņš sastāda 9,6 kg uz 1000 kcal/h, bet zemspiediena virzuļkompresorā БAY-19 līdzīgos darba apstākļos — vairāk nekā 30 kg uz 1000 kcal/h.

Sākot ar 1969. gadu, Maskavas rūpnīca «Kompresors» visus ražotos divpakāpju aukstuma agregātus komplektē ar PAB tipa kompresoriem zemspiediena pakāpē.

*Skrūves veida kompresors (V-27. att.)* sastāv no korpusa 1 un diviem rotoriem 2 un 3, kas savā starpā savienoti ar zobratu pārvadu 4 un galu vākiem, kuros ierikoti ieplūdes un izplūdes atvērumi. Rotoriem ir speciāli izveidota vītņveida virsma. Iedobumi starp zobiem izpilda cilindru, bet zobi — virzuļu uzdevumu. Rotoriem griežoties, iedobumi A, A', A'' un B, B', B'' noteiktā secībā savienojas ar ieplūdes atvērumiem un piepildās ar gāzi no sūcējmagistrāles. Griežoties tālāk, rotoru zobi noslēdz ieplūdes atvērumus, un gāzes porcijas, kas atrodas iedobumos A, A', A'' un B, B', B'', pārvietojas starpzobu telpā ass virzienā uz pretējo cilindra gala vāku. Saspiešana, samazinoties tilpumiem A, A', A'' un B, B', B'', turpinās tik ilgi, kamēr zobi rotora pretējā galā neatver izplūdes atvērumus. Pēc tam sākas gāzes izplūde.

Tādējādi skrūves veida kompresora rotorī griežoties ne tikai pārnēs gāzi no sūkšanas puses uz spiediena pusi, bet pa ceļam to arī saspiež līdz noteiktam spiedienam, kas atkarīgs no darba tilpuma samazināšanās pakāpes.

Kompresora pamatdetāļas ir korpusi 1, kurā griežas divi rotorī — dzenošais 2 (savienots tieši ar elektrodzinēju) un dzītais 3, gultņi 5 un 6 un zobratu pārvads 4. Korpusu izgatavo no tērauda, čuguna vai krāsainā metāla atkarībā no kompresora lietošanas. Lai

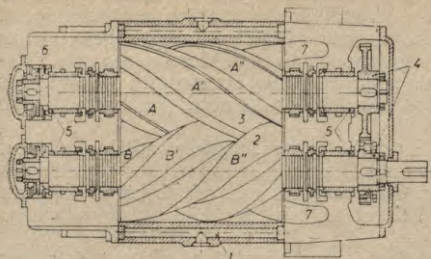


V-26. att. Plākšņu veida rotācijas zemspiediena kompresors PAB-300:

1 — cilindrs-stators; 2 — vāks ar gultņiem; 3 — rotors; 4 — plāksnes; 5 — vārpsta; 6 — izplūdes vārsts; 7 — ellas tvertne; 8 — blīvētājs.



a



b



V-27. att. Skrūves veida kompresors:

a — griezumš; b — kopskats; 1 — korpuss; 2 un 3 — rotoru; 4 — zobratu pārvads; 5 un 6 — gultņi; 7 — izplūdes atvērumi.

atvieglotu salikšanu, to izgatavo no divām daļām, kas savienojas pa horizontāli (paralēla rotoru asīm).

Korpasa iekšpusi veido divi savstarpēji savienoti cilindri, kuru virsma rūpīgi apstrādāta. Korpasa galos ir gāzes ieplūdes un izplūdes atvērumi, kuri savienoti attiecīgi ar sūcējvadu un spiedvadu. Korpasam ir ar ūdeni dzesējams apvalks. Rotorus gatavo no tērauda, čuguna vai alumīnija sakausējuma. Maza diametra rotorus kopā ar vārpstām izgatavo no vienas sagataves. Lielu kompresoru rotorus un to vārpstas izgatavo atsevišķi. Dažkārt lieto dobās vārpstas, kuru iekšējos kanālus izmanto dzesēšanai. Sinhronizējošais zobratu pārvads nodrošina starp rotoriem nelielu atstarpi, kas sastāda 0,001... 0,0015 daļas no rotora ārējās aploces diametra. Šāda atstarpe veidojas arī starp rotoru un korpusu. Spraugu starp rotoru un vākiem izvēlas, ņemot vērā rotora termisko izplešanos. Vārpstu galus korpasā noblīvē ar grafīta, vara vai plastmasas gredzeniem. Gultņiem paredzēta piespiedu eļļas padeve.

Skrūves veida kompresorus lieto amonjaka un freona-22 aukstuma iekārtās ar aukstuma ražīgumu 300 000... 2 000 000 kcal/h.

## 6. Centrbēdzes kompresori (turbokompresori)

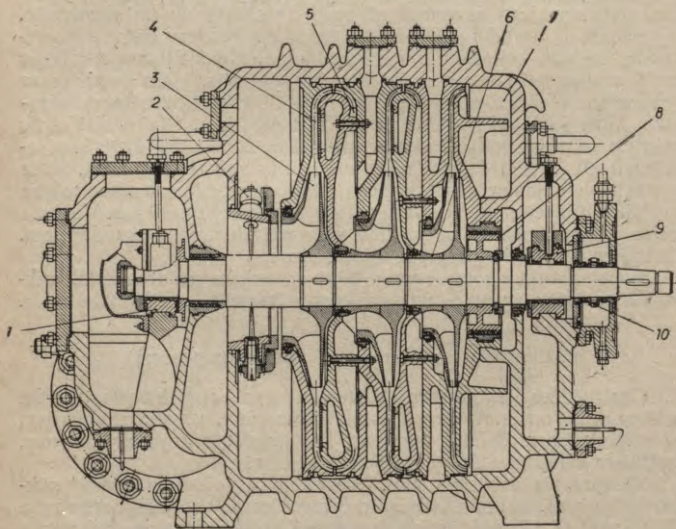
Centrbēdzes kompresors (V-28. att.) sastāv no korpasa, darba ratiem, kuri novietoti uz vārpstas, difuzoriem, atpakaļvirzošajiem aparātiem, saspiešanas kameras, kas izveidota kopā ar korpusu, gultņiem, eļļošanas un noblīvēšanas ierīcēm.

Kompresors darbojas šādi. Tvaiks no iztvaikotāja ieplūst sūkšanas kamerā, bet no tās kanālos, kurus veido rotējoša darba rata (turbīnas) lāpstiņas. Centrbēdzes spēks tvaiku virza uz darba rata perifēriju; tā rezultātā tvaika spiediens un ātrums palielinās. No darba rata tvaiks nonāk difuzorā. Difuzorā, palielinoties gāzes caurplūdes šķērsriezuma laukumam, samazinās gāzes ātrums

(kinētiskā enerģija pārvēršas potenciālajā), un tvaika spiediens palielinās. Tālāk gāze pa atpakaļvirzošā aparāta kanāliem nonāk nākamajā darba ratā. Izejot caur vairākiem darba ratiem, tvaiks tiek saspīests līdz vajadzīgajam spiedienam. Viens darba rats, difuzors un atpakaļvirzošais aparāts veido kompresora pakāpi. Aiz pēdējās pakāpes atrodas saspiešanas kamera, no kuras tvaiku ievada spiedvadā.

Kompresora vārpsta ar darba ratiem ievietota radiālos gultņos. Slodzi ass virzienā uzņem aksiālie gultņi, kas novietoti uz vārpstas gala korpusa vāka pusē. Otrs vārpstas gals pie izejas no korpusa noblīvēts ar blīvslēgu. Gultņus un blīvslēgu eļļa no speciāla eļļas sūkņa.

*Darba rats* ir centrālās kompresora vienīgais elements, kur mehāniskā enerģija pārvēršas potenciālajā (paaugstinās tvaika spiediens) un kinētiskajā (palielinās ātrums) enerģijā. To panāk, darba rata lāpstiņām iedarbojoties uz gāzu plūsmu. No lāpstiņu formas un izmēriem lielā mērā atkarīgs darba rata radītais spiediens un lietderības koeficients. Turbokompresoros galvenokārt lieto darba ratus ar atpakaļ atliktām lāpstiņām. Darba rats un lāpstiņas izfrēzēti no vienas sagataves un ir nedalāmi.



V-28. att. Freona turbokompresors:

1 un 9 — gultņi; 2 — virzošo lāpstiņu mehānisms; 3 — darba rats; 4 — bezlāpstiņu difuzors; 5 — atpakaļvirzošais aparāts; 6 — labirints; 7 — saspiešanas kamera; 8 — atslogošanas virzulis aksiālās slodzes mazināšanai; 10 — blīvslēgs.



Ipatnējais darba patēriņš darba ratā

$$l = \frac{p_2 - p_1}{\rho_v} + \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2} + l_z \text{ (J/kg)}, \quad (\text{V-12})$$

kur  $\omega_1, \omega_2$  — tvaika ātrums pirms un pēc saspiešanas (m/s);  
 $p_1, p_2$  — tvaika statiskais spiediens pirms un pēc saspiešanas (Pa);

$l_z$  — berzes zudumi darba ratā (J/kg);

$\rho_v$  — vidējais tvaika blīvums (kg/m<sup>3</sup>).

Kā redzams no izteiksmes (V-12), darbs tiek patērēts ne tikai potenciālās enerģijas, bet arī ātruma (kinētiskās enerģijas) palielināšanai. Tas ir ievērojams šo darba ratu konstrukcijas trūkums.

Ātruma  $\omega_2$  samazināšanu un kinētiskās enerģijas  $\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2}$  pārvēršanu spiediena enerģijā (ar iespējami maziem zudumiem) veic difuzoros.

*Difuzors.* Ir divi difuzoru veidi: lāpstiņu un bezlāpstiņu difuzors. Vienkāršākais ir bezlāpstiņu difuzors, ko veido divi paralēli diski. Šādam difuzoram ir lielāki radiālie izmēri un mazāks lietderības koeficients nekā difuzoram ar lāpstiņām. Lāpstiņas saīsina tvaika kustības ceļa garumu un samazina difuzora radiālos izmērus.

*Atpakaļvirzošais aparāts* vairākpakāpju kompresoros virza tvaika plūsmu no iepriekšējās pakāpes difuzora uz nākamās pakāpes darba ratu. Aparāta lāpstiņas bez triecieniem uzņem tvaika plūsmu no difuzora, sadala to vienmērīgi pa aploci un radiālā virzienā pievada nākamā darba rata lāpstiņām.

*Saspiešanas kamera* savāc tvaiku, kas vienmērīgi izplūst no difuzora tangenciālā virzienā, un aizvada to. To izveido spirālveidā kā kompresora pēdējās pakāpes turpinājumu. Saspiešanas kamerā tvaika ātrums pakāpeniski samazinās, bet statiskais spiediens palielinās. Spirāles formu izvēlas tuvu dabiskai līnijai, kādu apraksta tvaiks, izplūstot no darba rata telpā. Spirālveida kamera beidzas ar parastu difuzoru un saspīestā tvaika izplūdes atvērumu.

*Sūkšanas kamera* nodrošina kompresora asij simetrisku un vienmērīgu tvaika pieplūdi pirmās pakāpes darba ratam. Lai samazinātu spiediena kritumu un virpuļu rašanos, pie ieplūdes sūkšanas kamerā novietotas virzošās lāpstiņas.

Centrbēdzes kompresora pakāpju skaits atkarīgs no spiediena, ko rada darba rats. Pēdējais savukārt atkarīgs no darba rata aploces ātruma, lāpstiņu formas un aukstuma aģenta fizikālajām īpašībām. Parasti pakāpju skaits nav lielāks par 4, ja  $n=3500 \dots 15\,000$  apgr./min. un darba rata aploces ātrums ir 200...300 m/s.

Lai varētu strādāt ar kompresoru, kuram mazs pakāpju skaits, vēlams lietot aukstuma aģentus ar lielu molekulasmasu un mazu spiedienu attiecību  $\frac{p_k}{p_0}$  dotajā kondensācijas un vārīšanās temperatūrā.

Lietojot smagākus aukstuma aģentus ( $\rho = \frac{\mu}{22,4} \text{ kg/m}^3$ ), palielinās kompresijas pakāpe, kuru var sasniegt ar vienu darba ratu. Tā, piemēram, saspiežot gaisu ( $\mu = 29 \text{ kg/mol}$ ) darba ratā, kura aploces ātrums  $\omega = 200 \text{ m/s}$ , kompresijas pakāpe ir 1,3, bet, saspiežot freonu-12 ( $\mu = 121 \text{ kg/mol}$ ) darba ratā, kam tāds pats aploces ātrums, kompresijas pakāpe ir 2,6...2,8. Freona-12 kompresorā, strādājot vārišanās temperatūrā  $0...5^\circ\text{C}$  un kondensācijas temperatūrā  $30^\circ\text{C}$  (kondicionēšanas režīms), tvaiku var saspīst vienā pakāpē. Lai sasniegtu vārišanās temperatūru  $-40^\circ\text{C}$ , vajadzīgas trīs pakāpes.

Mazos centrālās kompresoros izdevīgāk lietot aukstuma aģentus ar mazu īpatnējo tilpuma aukstuma ražīgumu  $q_0$ . Tad palielinās iesūcāmā tvaika tilpums un kompresora caurplūdes šķērsriezuma laukums, kas palielina lietderības koeficientu. Mazam caurplūstošā tvaika daudzumam piemērotu darba ratu tā mazo izmēru dēļ ir grūti izgatavot, bez tam ar plūsmas šķērsriezuma laukuma samazināšanos palielinās hidrauliskās pretestības.

Minētajām prasībām atbilst daudzi freoni, kurus lieto centrālās kompresoros. Lietojot dažādu marku freonus, var iegūt zemas temperatūras plašā diapazonā.

Temperatūrām  $5...-10^\circ\text{C}$  (piemēram, gaisa kondicionēšanas un siltuma sūkņu iekārtās) lieto freonu-11, freonu-113, freonu-142; temperatūrām  $-20...-30^\circ\text{C}$  piemērots freons-114 un mazākā mērā (sakarā ar mazu molekulasu) freons-12; temperatūrām  $-30...-60^\circ\text{C}$  noder freons-12; temperatūrām  $-50...-80^\circ\text{C}$  lieto freonu-22 un temperatūrām  $-80...-120^\circ\text{C}$  — freonu-13.

Lai centrālās kompresors darbotos ar pietiekami augstu lietderības koeficientu, tvaika daudzums, kas izplūst no kompresora pēdējās pakāpes (pie  $n=5000...10000 \text{ apgr./min.}$ ), nedrīkst būt mazāks par  $800...1000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Tādā gadījumā freona-11 centrālās kompresora darbs ir pietiekami ekonomisks, sākot ar aukstuma ražīgumu  $200000 \text{ kcal/h}$ , freona-21 kompresora darbs — sākot ar aukstuma ražīgumu  $300000 \text{ kcal/h}$ , freona-142 kompresora darbs — sākot ar aukstuma ražīgumu  $600000 \text{ kcal/h}$ , un freona-12 kompresora darbs — sākot ar aukstuma ražīgumu  $800000 \text{ kcal/h}$ .

Salīdzinājumā ar virzuļkompresoriem centrālās kompresoriem ir šādas priekšrocības: maza masa un izmēri lielam aukstuma ražīgumam (masa samazināta 5...8 reizes); mašīna labi līdzsvarota, tāpēc centrālās kompresorus var uzstādīt uz viegliem pamatiem vai pat tieši uz aparātiem; nav ātri dilstošu mehānismu (kloķvārpstas, kļāņi, virzuļi, virzuļu pirksti, gredzeni); eļļa neiekļūst aukstuma aģentā (sakarā ar to uzlabojas siltuma pāreja aukstuma iekārtas aparātos); iespējama aukstuma regulēšana plašā diapazonā; ērta vairākpakāpju aukstuma aģenta saspīšana. Minētās priekšrocības sekmē centrālās kompresoru plašu ieviešanu aukstumtehnikā.



## VI nodaļa

### AUKSTUMA MAŠINU SILTUMAPMAIŅAS APARĀTI

#### 1. Siltuma pāreja siltumapmaiņas aparātos

Siltuma pāreja var notikt trīs veidos — ar *siltuma vadīšanu*, *konvekciju* (siltuma atdevi) un siltuma *starošanu*. Siltuma vadīšana notiek ķermenī, siltumam pārejot no daļiņām ar augstāku temperatūru uz daļiņām ar zemāku temperatūru. Labi siltuma vadītāji ir metāli, slikti — koks, kūdras plātnes, azbests, porainu plastmasu plātnes un citi siltumizolācijas materiāli. Slikti siltuma vadītāji ir arī gāzes un celtniecības materiāli.

Materiālu siltumvadītspēju raksturo *siltumvadītspējas koeficients*  $\lambda$ , kas parāda, cik daudz siltuma 1 sekundē izplūst caur 1 m biezu sienu, ja sienas virsmu temperatūru starpība ir 1 kelvins un virsmas laukums 1 m<sup>2</sup>. Siltumvadītspējas koeficienta mērvienība ir W/(m·K) vai kcal/(m·h·K). Dažu materiālu siltumvadītspējas koeficienti doti VI-1. tabulā.

VI-1. tabula

Siltumvadītspējas koeficienta  $\lambda$  vērtības 20 °C temperatūrā

Materiāli	$\lambda$	
	W/(m·K)	kcal/(m·h·K)
Gāzes (gaiss, slāpeklis, skābeklis u. c.)	0,058 ... 0,6	0,05 ... 0,5
Šķidrums	0,09 ... 0,7	0,08 ... 0,6
Siltumizolācijas un celtniecības materiāli	0,025 ... 2,5	0,02 ... 2,2
Metāli un sakausējumi	12 ... 420	10 ... 360

Siltuma atdevi konvekcijas ceļā notiek uz cieta ķermeņa un šķidrums vai gāzes robežvirsmas, šķidrums vai gāzes daļiņām kustoties gar ķermeņa virsmu. Ja vides temperatūra ir augstāka nekā ķermeņa sienīņu temperatūra, tad vide atdod siltumu sienīņām, bet, ja sienīņu temperatūra ir augstāka, tad notiek pretējs process. Siltuma atdevi raksturo *siltuma atdeves (konvekcijas) koeficients*  $\alpha$ , kas izsaka, cik daudz siltuma 1 sekundē vide atdod sienīņai vai

otrādi, ja siltuma atdeves virsma ir  $1 \text{ m}^2$  liela un temperatūru starpība starp vidi un sienīgu  $1 \text{ kelvins}$ . Siltuma atdeves koeficienta mērvienība ir  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  vai  $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ ;  $1 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}) = 1,163 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Siltuma konvekcijas intensitāte atkarīga no vides kustības rakstura, vides fizikālajām īpašībām, sienīgas formas un lineārajiem izmēriem, temperatūru starpības starp vidi un sienīgu un vēl citiem faktoriem. Orientējoši siltuma atdeves koeficienta  $\alpha$  lielumi dažādos siltuma atdeves apstākļos doti VI-2. tabulā.

VI-2. tabula

Siltuma atdeves koeficienta  $\alpha$  vērtības

Siltuma atdeves apstākļi	$\alpha$	
	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$
Gaiss vai gāzes dabiskā cirkulācijā	6 ... 12	5 ... 10
Gaiss vai gāzes piespiedu cirkulācijā ( $\omega = 3 \dots 5 \text{ m/s}$ )	23 ... 93	20 ... 80
Ūdens dabiskā konvekcijā	230 ... 1160	200 ... 1000
Ūdens, plūstot caurulēs ( $\omega = 1 \dots 2 \text{ m/s}$ )	3500 ... 7000	3000 ... 6000
NaCl un $\text{CaCl}_2$ šķīdums laminārā plūsmā	230 ... 350	200 ... 300
NaCl un $\text{CaCl}_2$ šķīdums turbulenta plūsmā ( $\omega = 1 \dots 2 \text{ m/s}$ )	350 ... 1160	300 ... 1000
Amonjaks vāroties	580 ... 1160	500 ... 1000
Freons-12 vāroties	460 ... 1050	400 ... 900
Freons-22 vāroties	580 ... 1280	500 ... 1100
Ūdens tvaiks kondensējoties	4600 ... 17 500	4000 ... 15 000
Amonjaka tvaiks kondensējoties	2300 ... 5800	2000 ... 5000
Freona-12 tvaiks kondensējoties	1160 ... 2300	1000 ... 2000

Siltuma starošana ir siltuma pāreja elektromagnētisko viļņu veidā.

Aukstuma iekārtu aparātos siltuma apmaiņa notiek galvenokārt ar konvekciju un siltuma vadīšanu, bet siltuma starošana jāņem vērā tikai, aprēķinot kameras dzesējošo ķermeņu sildvirsmas laukumu.

Siltuma pāreju caur aparāta sienīgu no siltākās vides uz vēsāko vidi raksturo siltuma pārejas (transmisijas) koeficients  $k$ , kas rāda, cik daudz siltuma  $1$  sekundē pāriet caur  $1 \text{ m}^2$  sildvirsmas no vides ar augstāku temperatūru uz vidi ar zemāku temperatūru, ja temperatūru starpība starp vidēm ir  $1 \text{ kelvins}$ . Koeficienta  $k$  mērvienība ir  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  vai  $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ . Siltuma pārejas koeficients

$$\tilde{k} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})], \quad (\text{VI-1})$$

kur  $\alpha_1$  — koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no vides ar augstāku temperatūru uz sienīgu  $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ;



$\delta_t$  — saliktas sienīgas atsevišķo kārtu biezums (m);

$\lambda_t$  — sienīgas kārtu materiāla siltumvadītspējas koeficients, [W/(m·K)];

$\alpha_2$  — koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no sienīgas uz vidi ar zemāku temperatūru [W/(m<sup>2</sup>·K)].

Vispārīgā gadījumā caur  $F$  (m<sup>2</sup>) lielu virsmu laika vienībā izplūdušais siltuma daudzums vai *siltuma plūsma*

$$Q = kF\Delta t \text{ (W);} \quad (\text{VI-2})$$

kur  $k$  — siltuma pārejas koeficients;

$\Delta t$  — siltākās un vēsākās vides vidējā temperatūru starpība.

Ja siltuma pārejas procesā siltākās un vēsākās vides temperatūras  $t_1$  un  $t_2$  nemainās, tad  $\Delta t = t_1 - t_2$ . Temperatūru izmaiņu gadījumā jānosaka maksimālā un minimālā temperatūru starpība

$\Delta t_{\max}$  un  $\Delta t_{\min}$ , kā arī to attiecība  $\frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}$  (VI-1. att.).

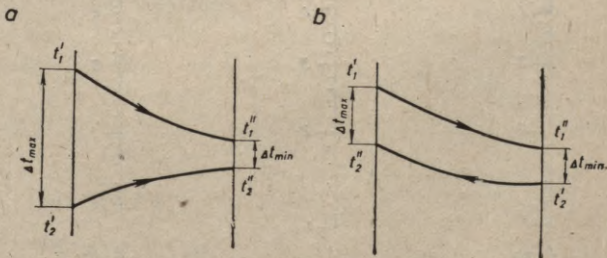
Ja attiecība  $\frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}} \geq 2$ , tad vidējo temperatūru starpību aprēķina kā *vidējo logaritmisko temperatūru starpību*, t. i.,

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (\text{VI-3})$$

Ja  $\frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}} \leq 2$ , tad  $\Delta t$  aprēķina kā *vidējo aritmētisko temperatūru starpību*, t. i.,

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\max} + \Delta t_{\min}}{2}. \quad (\text{VI-4})$$

Vidējās logaritmiskās temperatūru starpības noteikšanai var izmantot arī nomogrammu (VI-2. att.).



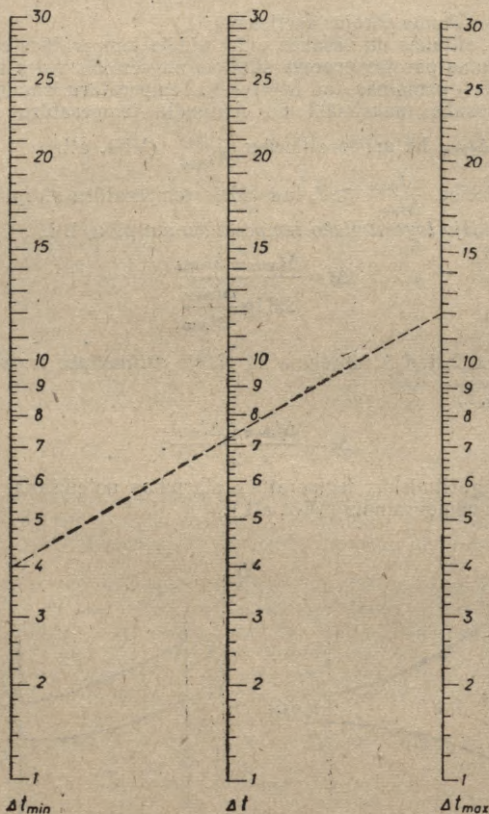
VI-1. att. Vidējās temperatūru starpības noteikšana:

a — līdzplūsmas gadījumā; b — pretplūsmas gadījumā.

Siltuma pāreja caur plakanu sienu. Siltuma plūsmu caur saliktu plakanu sienu, kuras virsma  $F$  ( $m^2$ ), ja siltākās vides temperatūra  $t_1$  un vēsākās vides temperatūra  $t_2$  (VI-3. att.), var aprēķināt pēc vienādības (VI-2), t. i.,

$$Q = kF(t_1 - t_2) \text{ (W)}, \quad \text{(VI-5)}$$

Īpatnējā siltuma plūsma (siltuma plūsma caur  $1 m^2$  lielu sienas



VI-2. att. Vidējās temperatūru starpības noteikšanas nomogramma.



virsmu) jeb *siltuma slodze*  $q_f$  ir tieši proporcionāla temperatūru starpībai un apgriezti proporcionāla *termiskajai pretestībai*  $R$ , t. i.,

$$q_f = \frac{Q}{F} = k(t_1 - t_2) = \frac{t_1 - t_2}{R} \text{ (W/m}^2\text{)}. \quad (\text{VI-6})$$

Saliktas sienīgas *kopējā termiskā pretestība* ir vienāda ar atsevišķu termisko pretestību summu, t. i.,

$$R = \frac{1}{k} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}. \quad (\text{VI-7})$$

Lielumi  $R_1 = \frac{1}{\alpha_1}$  un  $R_4 = \frac{1}{\alpha_2}$  (apgriezti siltuma atdeves koeficienti) raksturo *siltuma atdeves termisko pretestību* no sildošās un apsildāmās vides puses. Sienīgas termiskā pretestība  $R_s = R_2 + R_3 = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$  ir atkarīga no sienīgas kārtu biezuma un materiāla siltumvadītspējas koeficienta.

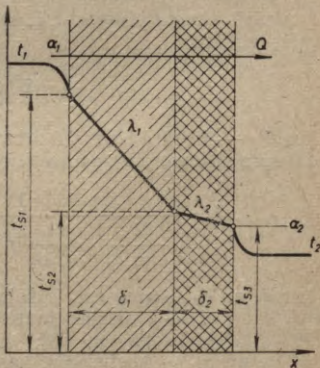
Kopējā termiskā pretestība  $R$  ir lielāka par katru tās sastāvdaļu, t. i.,

$$\frac{1}{k} > \frac{1}{\alpha_1}; \quad \frac{1}{k} > \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}; \quad \frac{1}{k} > \frac{1}{\alpha_2}.$$

No šīm vienādībām izriet, ka  $k < \alpha_1$ ;  $k < \frac{\lambda_i}{\delta_i}$  un  $k < \alpha_2$ , tātad siltuma pārejas koeficients  $k$  vienmēr mazāks par siltuma atdeves koeficientiem  $\alpha_1$  un  $\alpha_2$ . Lai palielinātu vai samazinātu siltuma pārejas koeficientu, jāpalielina vai jāsamazina mazākais no siltuma atdeves koeficientiem.

Sienas virsmu temperatūru (VI-3. att.) aprēķināšanai var izmantot šādas vienādības:

$$\begin{aligned} t_{s1} &= t_1 - \frac{q_f}{\alpha_1}; \quad t_{s2} = t_1 - q_f \left( \frac{1}{\alpha_1} + \right. \\ & \left. + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) = t_{s1} - q_f \frac{\delta_1}{\lambda_1} = t_{s3} + q_f \frac{\delta_2}{\lambda_2}; \\ t_{s3} &= t_{s1} - q_f \left( \frac{1}{\alpha_1} + \right. \\ & \left. + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) = t_2 + \frac{q_f}{\alpha_2}. \quad (\text{VI-8}) \end{aligned}$$



VI-3. att. Siltuma pāreja caur saliktu plakanu sienu.

Kā redzams, sienas temperatūra vienmēr tuvāka tās vides temperatūrai, kuras siltuma atdeves koeficients  $\alpha$  lielāks.

1. piemērs. Aprēķināt siltuma daudzumu, kas izplūst caur plakanu sienu, kuras virsmas laukums  $F=100 \text{ m}^2$ , ja siltuma atdeves koeficients no āra gaisa uz sienu  $\alpha_1=29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bet no sienas uz telpas gaisu  $\alpha_2=17,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Siena sastāv no apmetuma [ $\delta_1=0,025 \text{ m}$ ,  $\lambda_1=0,93 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ], ķieģeļu mūra [ $\delta_2=0,38 \text{ m}$ ,  $\lambda_2=0,8 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ], kūdras plātņu izolācijas kārtas [ $\delta_3=0,12 \text{ m}$ ,  $\lambda_3=0,075 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ] un apmetuma ( $\delta_4=0,025 \text{ m}$ ). Āra gaisa temperatūra  $t_1=25^\circ \text{C}$ , telpas gaisa temperatūra  $t_2=-15^\circ \text{C}$ .

Pēc formulas (VI-1) aprēķina, ka siltuma pārejas koeficients

$$k = \frac{1}{\frac{1}{29} + \frac{0,025}{0,93} + \frac{0,38}{0,8} + \frac{0,12}{0,075} + \frac{0,025}{0,93} + \frac{1}{17,5}} \approx 0,46 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Zinot  $k$ , pēc vienādības (VI-5) aprēķina siltuma daudzumu, t. i.,

$$Q = 0,46 \cdot 100 [25 - (-15)] = 1840 \text{ W}.$$

Saskaņā ar vienādību (VI-6) īpatnējā siltuma plūsma

$$q_l = \frac{1840}{100} = 18,4 \text{ W}/\text{m}^2.$$

**Siltuma pāreja caur cilindrisku virsmu.** Caur cilindrisku virsmu siltuma pāreja notiek caurulēs (VI-4. att.). Siltuma daudzums, kas 1 sekundē izplūst caur *neizolētas* gludu sienu caurules virsmu,

$$Q = k_l l \Delta t \text{ (W)}, \quad \text{(VI-9)}$$

kur  $k_l$  — lineārais siltuma pārejas koeficients (uz 1 m caurules garuma) [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ];

$l$  — caurules garums (m);

$\Delta t$  — vidējā temperatūru starpība starp vidēm.

*Īpatnējā siltuma plūsma*, t. i., siltuma plūsma caur 1 m garas caurules virsmu

$$q_l = \frac{Q}{l} = k_l \Delta t = \frac{\Delta t}{R_l} \text{ (W/m)}, \quad \text{(VI-10)}$$

kur  $R_l$  — lineārā termiskā pretestība ( $\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}$ ).

*Lineāro siltuma pārejas koeficientu* atrod šādi:

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\pi \alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\pi \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi \alpha_2 d_2}} \text{ [W}/(\text{m} \cdot \text{K})], \quad \text{(VI-11)}$$

kur  $d_1$  un  $d_2$  — caurules iekšējais un ārējais diametrs (m);

$\lambda$  — caurules materiāla siltumvadītspējas koeficients [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ];

$\alpha_1$  un  $\alpha_2$  — koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no siltākās vides uz cauruli un no caurules uz vēsāko vidi [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ].



Lineārā termiskā pretestība ir lineārā siltuma pārejas koeficienta apgrieztais lielums, t. i.,

$$R_l = \frac{1}{k_l} = \frac{1}{\pi\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi\alpha_2 d_2} \quad (\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}). \quad (\text{VI-12})$$

Caurules cilindriskās sienas virsmu temperatūra

$$t_{s1} = t_1 - \frac{q_l}{\pi\alpha_1 d_1}; \quad t_{s2} = t_2 + \frac{q_l}{\pi\alpha_2 d_2}. \quad (\text{VI-13})$$

Plānu sienu cauruļu gadījumā ( $\frac{d_2}{d_1} < 2$ )

siltuma pārejas aprēķiniem var izmantot plakanām sienām paredzētās formulas, jo kļūda nepārsniedz 4%. Tad vienādība (VI-9) iegūst šādu veidu:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \pi d l \Delta t = k F \Delta t \quad (\text{W}), \quad (\text{VI-14})$$

kur  $k$  — siltuma pārejas koeficients, attiecināts uz  $1 \text{ m}^2$  caurules virsmas [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ];

$\pi d l = F$  — caurules virsmas laukums ( $\text{m}^2$ ).

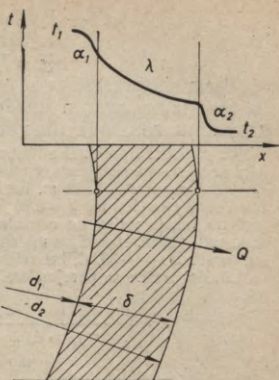
Šajā gadījumā aparāta caurules virsmas laukumu mēra tajā pusē, kur ir lielāka termiskā pretestība ( $\alpha$  mazāks). Ja siltuma atdeves koeficienti ir aptuveni vienādi ( $\alpha_1 \approx \alpha_2$ ), tad caurules virsmas aprēķinam pieņem vidējo caurules diametru  $d_v = \frac{d_1 + d_2}{2}$ .

Isolētas caurules gadījumā lineāro siltuma pārejas koeficientu  $k_l$  aprēķina pēc šādas formulas:

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_3} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2\pi\lambda_4} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{\pi\alpha d_4}}, \quad (\text{VI-15})$$

kur  $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  — attiecīgā izolācijas materiāla, hidroizolācijas un cementa apmetuma siltumvadītspējas koeficienti [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ];

$d_1, d_2, d_3, d_4$  — caurules, izolācijas slāņa, hidroizolācijas un cementa apmetuma ārējie diametri (m);



VI-4. att. Siltuma pāreja caur cilindrisku sienu.

$\alpha$  — koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no apkārtējā gaisa uz caurules izolācijas virsmu [ $\alpha = 7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ].

Termiskā pretestība siltuma pārejai no caurules iekšējās virsmas uz aukstuma agentu un caurules sienas termiskā pretestība ir samērā mazas, tādēļ tās var neievērot.

2. piemērs. Aprēķināt siltuma pieplūdi no apkārtējā gaisa caur izolētu amonjaka kompresora sūcējvada virsmu, ja ārējais diametrs  $d_1 = 0,076 \text{ m}$ ,  $d_2 = 0,296 \text{ m}$ ,  $d_3 = 0,302 \text{ m}$  un  $d_4 = 0,342 \text{ m}$ , bet siltumvadītspējas koeficients  $\lambda_2 = 0,07 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ,  $\lambda_3 = 0,41 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  un  $\lambda_4 = 0,99 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . Koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no telpas gaisa uz caurules izolācijas virsmu,  $\alpha = 7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , caurules garums  $l = 50 \text{ m}$ . Izolācijas materiāls — minerālā vate. Iesūcāmā amonjaka tvaika temperatūra  $t_2 = -30^\circ \text{C}$ , bet telpas gaisa temperatūra  $t_1 = 20^\circ \text{C}$ .

Lineārais siltuma pārejas koeficients

$$k_l = \left( \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,07} \ln \frac{0,296}{0,076} + \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,41} \ln \frac{0,302}{0,296} + \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,99} \ln \frac{0,342}{0,302} + \frac{1}{3,14 \cdot 7 \cdot 0,342} \right)^{-1} = 0,306 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}).$$

Sakarā ar vienādību (VI-9) caur izolēta vada virsmu pieplūstošais siltuma daudzums

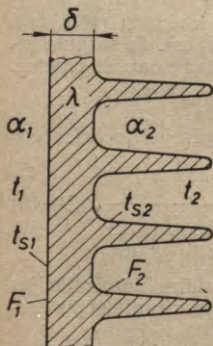
$$Q = 0,306 \cdot 50 [20 - (-30)] \approx 765 \text{ W}.$$

Ipatnējo siltuma plūsmu atrod pēc vienādības (VI-10), t. i.,

$$q_l = \frac{765}{50} = 15,3 \text{ W}/\text{m}.$$

**Siltuma pāreja caur ribotas caurules virsmu.** Ja siltuma atdeves koeficients  $\alpha$  vienā sienas pusē ievērojami mazāks nekā tās otrajā pusē, tad siltuma pārejas uzlabošanai sienas virsmu ar mazāko atdeves koeficientu aparātiem (dzesējošajiem ķermeņiem, gaisa dzesētājiem, ātrsaldēšanas aparātiem u. c.) izveido ribotu, tā palielinot siltumapmaiņas virsmu (VI-5. att.). Caurules ārējās ribotās virsmas laukuma  $F_2$  attiecību pret iekšējās gludās virsmas laukumu  $F_1$  sauc par *ribojuma koeficientu*  $\beta$ , t. i.,

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



VI-5. att. Ribota sildvirsmas.

Sienas ribojums jūtami palielina siltuma pāreju un kopējo siltuma plūsmu. Tā, piemēram, ja vienā pusē siltumapmaiņas virsmai kondensējas freons-12, kura siltuma atdeves koeficients  $\alpha_1 = 1100 \dots 2300 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bet otrā pusē atrodas gaisa, kura  $\alpha_2 = 10 \dots 60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , tad siltuma pārejas koeficients  $k$  ir nedaudz mazāks par  $\alpha_2$ . Šādos apstākļos lietderīgi gaisa pusē sildvirsmu izveidot ribotu, kā to sastopam ar gaisu dzesējamās freona



kondensatoros. Turpretim, ja kondensatoru dzesē ar ūdeni, kuram  $\alpha_2 = 3500 \dots 7000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , tad ribotā virsma izveidojama freona pusē.

Aplūkosim gadījumu, kad sildvirsmas viena puse ir plakana, bet otra ribota. Ribas un sienīņa izgatavotas no viena un tā paša materiāla. Virsmu laukumu lielumi ir attiecīgi  $F_1$  un  $F_2$ , pie tam  $\alpha_1 \gg \alpha_2$  (VI-5. att.).

Sildvirsmas kopējā īpatnējā termiskā pretestība  $R_0 = R_1 + R_s + R_2$ . Tuvināti var rakstīt, ka

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2} \quad (\text{K/W}), \quad (\text{VI-16})$$

Caur šādu sildvirsmu izplūdušo kopējo siltuma daudzumu var aprēķināt kā temperatūru starpības dalījumu ar kopējo īpatnējo termisko pretestību, t. i.,

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{R_0} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2}} \quad (\text{W}), \quad (\text{VI-17})$$

Īpatnējās siltuma plūsmas caur gludu un ribotu virsmu aprēķina šādi:

$$q_1 = \frac{Q}{F_1} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{1}{\beta}} \quad (\text{W}/\text{m}^2); \quad (\text{VI-18})$$

$$q_2 = \frac{Q}{F_2} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} \beta + \frac{\delta}{\lambda} \beta + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (\text{W}/\text{m}^2). \quad (\text{VI-19})$$

Atbilstošie siltuma pārejas koeficienti gludai un ribotai virsmai ir šādi:

$$k_1 = \frac{q_1}{t_1 - t_2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{1}{\beta}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]; \quad (\text{VI-20})$$

$$k_2 = \frac{q_2}{t_1 - t_2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \beta + \frac{\delta}{\lambda} \beta + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]. \quad (\text{VI-21})$$

No vienādībām (VI-20) un (VI-21) redzams, ka siltuma atdeves termiskā pretestība  $\left(\frac{1}{\alpha_2}\right)$  samazinās proporcionāli ribojuma koeficientam  $\beta$ .

Ribu plāknēm jāsakrīt ar darba vides kustības virzienu. Brīvas kustības gadījumā ribu plaknes novieto vertikāli.

Minētās vienādības siltuma pārejas aprēķiniem caur ribotu sildvirsmu dod tuvinātus, taču pietiekami precizus rezultātus. Sieniņas virsmas temperatūra  $t_{s2}$  visā ribas augstumā pieņemta nemainīga, lai gan tā ribas pretestības rezultātā izmainās. Siltuma atdeve atsevišķiem virsmas elementiem arī ir dažāda atkarībā no virsmas konfigurācijas un temperatūras.

Aukstuma iekārtu aparātu aprēķinos vissarežģītāk ir pareizi noteikt siltuma atdeves koeficientu  $\alpha$  (raksturo konvektīvo siltuma apmaiņu). Tā kā siltuma atdeves koeficients atkarīgs no daudziem apstākļiem (virsmas izmēriem, formas, temperatūras, vides plūsmas ātruma, viskozitātes, blīvuma, siltumvadītspējas, īpatnējā siltuma u. c.), to aprēķināt analītiski ir ļoti grūti. Tāpēc siltuma atdeves koeficientu nosaka eksperimentāli un, izmantojot siltuma līdzības teoriju, atrod  $\alpha$  vērtību konkrētajam gadījumam. Līdzības kritēriji (līdzības skaitļi) ir bezdimensionāli lielumi (VI-3. tab.).

Konvektīvās siltuma apmaiņas intensitāti raksturo *Nuselta kritērijs* Nu, kas atbilstoši siltuma pārejas apstākļiem ir atkarīgs no *Reinoldsa Re*, *Prandtla Pr*, *Grashofa Gr* un *Galileja Ga* kritērijiem.

Ja atrasts Nuselta kritērijs, tad siltuma atdeves koeficients

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{l_0} [W/(m^2 \cdot K)], \quad (VI-22)$$

kur  $\lambda$  — siltuma uzņēmējas vai atdevējas vides siltumvadītspējas koeficients  $[W/(m \cdot K)]$ ;

$l_0$  — virsmu raksturojošais izmērs (m).

Stacionārā režīmā siltuma apmaiņas procesus var izteikt līdzības kritēriju funkcionālo sakarību un *kriteriālo vienādojumu* veidā. Vides brīvas kustības apstākļos

$$Nu = f(Gr, Pr).$$

Vides piespiestas turbulentas kustības apstākļos var neievērot brīvās plūsmas ietekmi (to raksturo Grashofa kritērijs), tātad

$$Nu = f(Re, Pr).$$

Ja vide pārvietojas gar virsmu piespiedu kustībā, bet plūsmas ātrums nav liels, tad siltuma atdevi jūtami ietekmē arī brīvās kustības režīms, tāpēc

$$Nu = f(Re, Gr, Pr).$$

Prandtla kritērijs raksturo iekšējo siltuma apmaiņu atkarībā no vides fizikālajām īpašībām. Vienatoma gāzēm  $Pr=0,67$ ; divatomu gāzēm  $Pr=0,72$ ; trīsatomu gāzēm  $Pr=0,8$ , bet četru un vairāku atomu gāzēm  $Pr=1$ . Brīvas kustības apstākļos šīm gāzēm  $Nu=f(Gr)$ , bet piespiedu kustības gadījumā  $Nu=f(Re)$ .

Empīriskās sakarības starp līdzības kritērijiem parasti dod pakāpes funkciju veidā šādi:

$$Nu = CRe^m Gr^n Pr^p,$$

kur  $C$  — konstante;

$m, n$  un  $p$  — pakāpes rādītāji.



Siltuma apmaiņas aprēķinos biežāk lietojamo līdzības kritēriju izteiksmes dotas VI-3. tabulā.

VI-3. tabula

Līdzības kritēriji

Kritērijs	Kritērijs raksturo	Apzīmējumi un mērvienības
Nuselta $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$	Siltuma atdeves intensitāti uz robežas vide—sieniņa	$\alpha$ — siltuma atdeves koeficients [W/(m <sup>2</sup> · K)]; $l, d$ — lineārie izmēri (caurules garums un diametrs) (m);
Reinoldsa $Re = \frac{\rho \omega d}{\mu} = \frac{\omega d}{\nu}$	Šķidruma vai gāzes plūsmu un izsaka inerces un viskozitātes spēku attiecību plūsmā	$\lambda$ — siltumvadītspējas koeficients [W/(m · K)];
Peklē $Pe = \frac{\omega l}{a}$	Siltuma apmaiņu vides plūsmā	$\omega$ — vides plūsmas ātrums (m/s); $q$ — vielas blīvums (kg/m <sup>3</sup> );
Prandtla $Pr = \frac{Pe}{Re} = \frac{\nu}{a}$	Siltuma apmaiņu šķidrumā vai gāzē atkarībā no to fizikālajām īpašībām	$\mu$ — dinamiskās viskozitātes koeficients [N · s/m <sup>2</sup> ];
Kutateladzēs $Ku = \frac{r}{c \Delta t}$	Vielas agregātstāvokļa maiņu	$\nu$ — kinemātiskās viskozitātes koeficients (m <sup>2</sup> /s); $a$ — temperatūras vadītspējas koeficients (m <sup>2</sup> /s);
Furjē $Fo = \frac{a \tau}{l^2}$	Temperatūru lauka maiņas ātrumu	$\beta$ — šķidruma vai gāzes tilpuma izplešanās koeficients (1/K);
Grashofa $Gr = \frac{g l^3 \beta \Delta t}{\nu^2}$	Konvekcijas un viskozitātes spēku savstarpējo iedarbību vides brīvas kustības režīmā	$r$ — iztvaikošanas vai kondensācijas siltums (kJ/kg); $\tau$ — laiks (s);
Galileja $Ga = \frac{g l^3}{\nu^2}$	Vides kustību, kuru rada tās atsevišķo daļiņu blīvumu starpība	$c$ — īpatnējais siltums [kJ/(kg · K)]; $\Delta t$ — temperatūru starpība (K);
Bio $Bi = \frac{\alpha l}{\lambda}$	Siltuma vadišanu nestacionārā režīmā	$g$ — smaguma spēka paātrinājums (9,81 m/s <sup>2</sup> ).

Aplūkosim dažus raksturīgākos gadījumus aukstuma mašīnu aparātu siltuma atdeves koeficienta  $\alpha$  aprēķināšanai, izmantojot kritēriālos vienādojumus.

Ja šķidrums brīva plūsma pārvietojas lielā tilpumā (neierobežotā telpā), tad siltuma atdeves koeficients ir Prandtla un Grashofa kritēriju funkcija un to ļoti maz ietekmē ķermeņa forma un izmēri.

Lamināras plūsmas režīmam, kad  $(Gr Pr) = 1 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^2$ ,

$$Nu = 1,18 (Gr Pr)^{0,125} \quad (VI-23)$$

Pārejas režīmam no laminārās uz turbulento plūsmu, kad  $(Gr Pr) = 5 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^7$ ,

$$Nu = 0,54 (Gr Pr)^{0,25} \quad (VI-24)$$

Turbulentas plūsmas režīmam, kad  $(Gr Pr) > 2 \cdot 10^7$ ,

$$Nu = 0,135 (Gr Pr)^{0,33} \quad (VI-25)$$

Vidi raksturojošo fizikālo lielumu vērtības, kas nepieciešamas kritēriju aprēķināšanai, jāizvēlas atbilstoši robežslāņa vidējai temperatūrai  $t_m = 0,5(t_s + t_v)$ , kur  $t_s$  — sienas temperatūra, bet  $t_v$  — vides temperatūra. Aprēķinot Nuselta un Grashofa kritērijus, raksturojošo lineāro izmēru ņem konvektīvās plūsmas virzienā. Tā, piemēram, ja baterija izgatavota no horizontālām caurulēm un to apskalo gaisa plūsma šķērsvirzienā, tad raksturojošais lineārais izmērs ir caurules diametrs  $d$ . Minētie kritēriālie vienādojumi lietojami dažādām šķidrām un gāzveida vidēm, kurām  $Pr \geq 0,7$ , pie tam sildvirsmas forma un lielums nav ierobežoti. Šīs formulas nav izmantojamas  $\alpha$  aprēķināšanai, ja šķidrums brīvi plūst mazā, ierobežotā telpā, piemēram, kanālos, apvalkos, plānos slāņos.

Piespiedu turbulentas plūsmas režīmam taisnā caurulē sildīšanas un dzesēšanas gadījumā siltuma atdeves koeficientu aprēķina pēc šādas Nuselta formulas:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (VI-26)$$

Ievietojot kritēriju lielumus, iegūst šādu siltuma atdeves koeficienta izteiksmi:

$$\alpha = 0,023 \frac{\lambda}{d} \left( \frac{\omega d}{\nu} \right)^{0,8} \cdot \left( \frac{\nu}{a} \right)^{0,4} = B \frac{\omega^{0,8}}{d^{0,2}} [W/(m^2 \cdot K)], \quad (VI-27)$$

kur  $\omega$  — šķidrums plūsmas ātrums (m/s);

$d$  — caurules iekšējais diametrs (m).

Nuselta formula derīga, ja  $Re \geq 10\,000$  un  $Pr = 0,7 \dots 2500$ . Koeficienta  $B$  vērtības atbilstošā vides temperatūrā  $t_v$  dotas VI-4. tabulā.

Ja šķidrums plūst izliektās caurulēs (spirālēs), tad centrālās spēka ietekmē plūsmas turbulences pakāpe palielinās, tā rezultātā siltuma atdeves koeficients  $\alpha$  palielinās apmēram  $(1 \dots 1,77) \frac{d}{R}$  reizes ( $d$  — caurules diametrs;  $R$  — spirāles liekuma rādiuss).



Koeficienta  $B$  vērtības

Vide	Temperatūra $t_v$ (°C)									
	-50	-30	-20	-15	-10	-5	0	20	40	60
Ūdens	—	—	—	—	—	—	1430	1880	2320	2690
NaCl šķīdums										
$\rho = 1060$ kg/m <sup>3</sup>	—	—	—	—	—	1280	1410	—	—	—
$\rho = 1120$ „	—	—	—	—	1070	1190	1310	—	—	—
$\rho = 1175$ „	—	—	800	865	960	1065	1200	—	—	—
CaCl <sub>2</sub> šķīdums										
$\rho = 1130$ kg/m <sup>3</sup>	—	—	—	—	998	—	1240	—	—	—
$\rho = 1200$ „	—	—	698	—	879	—	1060	—	—	—
$\rho = 1250$ „	—	528	622	—	763	—	935	—	—	—
$\rho = 1286$ „	—	458	558	—	683	—	844	—	—	—
Šķidrums amonjaks	—	—	—	—	—	—	2760	2870	—	—
Šķidrums freons-12	—	—	—	—	—	—	716	690	—	—
Gaiss	4,30	—	3,92	—	—	—	3,74	3,56	3,46	3,36

Formula (VI-26) lietojama ne vien cauruļu, bet arī citas formas kanālu gadījumā, kā arī tad, ja šķidrums plūst cauruļu kūļā garenvirzienā. Tādā gadījumā raksturīgais izmērs ir *ekvivalents diametrs*, t. i., četrkārtota brīvā šķērsriezuma laukuma (perpendikulāri plūsmas virzienam) attiecība pret slapināto perimetru.

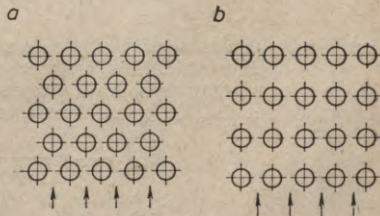
Piespiedu plūsmas gadījumā pārejas režīmā no laminārās uz turbulento plūsmu ( $Re = 2300 \dots 10\,000$ ) siltuma atdeves koeficientu  $\alpha$  aprēķina pēc formulas (VI-26), ievēdot korekcijas koeficientu  $f = 1 \dots 6 \cdot 10^5 Re^{-1,8}$ , kurš, plūsmas turbulencei pieaugot, tuvojas vienam.

Ja šķidrums *piespiedu laminārā plūsmā* pārvietojas pa taisnu apaļu šķērsriezuma cauruli (piemēram, sāls šķīdums dzesējošā ķermeņa caurulē) ar ātrumu  $0,05 \dots 0,2$  m/s, tad siltuma atdeves koeficientu  $\alpha$  var aprēķināt pēc I. Aladjeva formulas, t. i.,

$$Nu = 0,74 (RePr)^{0,2} (GrPr)^{0,1}, \quad (VI-28)$$

kurā ievērota gan piespiedu kustības, gan brīvās konvekcijas faktoru ietekme. Precīzākus rezultātus iegūst gadījumiem, kuriem  $(RePr) > 1800$ . Noteicošais lineārais izmērs ir cauruļes diametrs.

*Piespiedu turbulentai plūsmai apskalojot šķērsvirzienā taisnu gludu sienu cauruļu kūli*, siltuma atdeves koeficienta lielums ir



VI-6. att. Cauruļu novietojuma shēma:

a — šahveida; b — rindās.

atkarīgs no cauruļu diametra un novietojuma (VI-6. att.), kā arī no apskalojošā šķidrums īpašībām un ātruma.

Ja cauruļu izvietojums kūlī ir šahveida, tad

$$Nu = 0,41 Re^{0,6} Pr^{0,33}, \quad (VI-29)$$

bet, ja caurules novietotas rindās, tad

$$Nu = 0,23 Re^{0,65} Pr^{0,33}. \quad (VI-30)$$

Noteicošais ir plūsmas ātrums visšaurākajā šķērsgrīzumā, bet raksturojošais izmērs — caurules ārējais diametrs. Formulas derīgas jebkuram šķidrumam, ja  $Re = 2 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^5$ .

Ja cauruļu kūlī apskalo gaisa plūsma ( $Pr = 0,72$ ), tad cauruļu šahveida izvietojuma gadījumā (gaisa dzesētājos)

$$Nu = 0,37 Re^{0,6}, \quad (VI-31)$$

bet rindās izvietotu cauruļu kūlim

$$Nu = 0,21 Re^{0,65}. \quad (VI-32)$$

Vertikālajos apvilktā cauruļu kūļa kondensatoros un aprasināšanas virsmas kondensatoros šķidrumam cauruļu virsmu noplūst plānā slānītī. Šādos apstākļos siltuma atdeves koeficients atkarīgs kā no plūsmas režīma, tā arī no siltumapmaiņas aparāta virsmas formas un izmēriem.

Šķidrums slānītīm plūstot lamināri gar siltumapmaiņas aparāta virsmu ( $Re < 2000$ ),

$$Nu = 0,67 (Ga^2 Pr^3 Re)^{0,11}, \quad (VI-33)$$

bet, plūstot turbulenti ( $Re > 2000$ ),

$$Nu = 0,01 (Ga Pr Re)^{0,33}. \quad (VI-34)$$

Noteicošie izmēri ir noplūdes augstums (vertikālās caurules garums  $l$ ) un plūsmas slānīša ekvivalentais diametrs  $d_e$ , pie tam, ja noplūdes slānīša biezums ir  $b$  un vertikālās caurules iekšējais diametrs  $d$ , tad

$$d_e = \frac{4f}{p} = \frac{4\pi(d-b)b}{\pi d} = \frac{4(d-b)b}{d} \quad (m), \quad (VI-35)$$

kur  $p$  — plūsmas slānīša slapinātais perimetrs (m);

$f$  — plūsmas slānīša šķērsgrīzuma laukums ( $m^2$ ).

Ja siltumapmaiņas aparāta virsmu veido  $n$  caurules, pa kurām 1 sekundē noplūst  $G_s$  (kg) šķidrums, tad

$$\omega p = \frac{G_s}{nf} = \frac{G_s}{\pi(d-b)bn}$$

un

$$Re = \frac{d_e \omega p}{\mu} = \frac{4G_s}{\pi d n \mu}. \quad (VI-36)$$



Siltuma konvekcija, šķidrūmam vāroties, ir sarežģīts process. Lielā aparātā brīvās kustības apstākļos, šķidrūmam vāroties, siltuma atdeves koeficienta skaitlisko vērtību ietekmē šķidruma fizikālās īpašības, darba spiediens aparātā, kā arī sildvirsmas un vārīšanās rezultātā iegūtā tvaika temperatūru starpība ( $\Delta t'$ ). Aparāta forma un izmēri siltuma atdeves intensitāti praktiski neietekmē. Siltuma atdeves intensitāte konkrētajiem šķidrūmiem atkarīga galvenokārt no temperatūru starpības  $\Delta t'$ . Siltumapmaiņas aparāta *sildvirsmas īpatnējā siltuma slodze* jeb siltuma plūsma caur  $1 \text{ m}^2$  sildvirsmas laika vienībā

$$\bar{q} = \frac{Q}{F} = \alpha \Delta t' \quad (\text{W/m}^2). \quad (\text{VI-37})$$

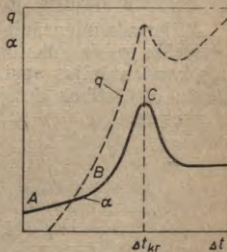
Nelielas temperatūru diferences ( $\Delta t' = 0,5 \dots 1^\circ \text{C}$ ) un mazas īpatnējās siltuma slodzes apstākļos tvaika rašanās uz sildvirsmas notiek lēni — novērojama maz intensīva vārīšanās burbuļojot (VI-8. att.), t. i., tvaika burbuliņi veidojas tikai atsevišķos punktos — tvaika rašanās centros. VI-7. attēlā šis process notiek līknes posmā *AB*. Siltuma atdeves koeficients šajā posmā ir zems. To var aptuveni aprēķināt pēc brīvās šķidrums plūsmas vienādībām (VI-23), (VI-24) un citām. No šīm vienādībām iegūst sakarību  $\alpha = Aq^n$ , kur *A* un *n* ir konstanti lielumi.

Ja vārīšanās temperatūra  $t_0 = -40 \dots 0^\circ \text{C}$ , tad attiecīgās vienādības ir šādas:

$$\begin{aligned} \text{amonjakam} \quad \alpha &\approx 103q^{0,25} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]; \\ \text{freonam-11} \quad \alpha &\approx 34q^{0,25} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]; \\ \text{freonam-12} \quad \alpha &\approx 74q^{0,25} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]. \end{aligned} \quad (\text{VI-38})$$

Palielinoties temperatūru starpībai (VI-7. attēlā līknes posmā *BC*), sākas intensīva vārīšanās un siltuma atdeves koeficients  $\alpha$  strauji pieaug, jo tvaika burbuliņu rašanās, atrašanās no sildvirsmas un kustība rada šķidrums cirkulāciju, t. i., konvekciju. Punktā *C*, kas atbilst kritiskajai temperatūru starpībai  $\Delta t_{kr}$ , siltuma atdeves koeficients  $\alpha$  sasniedz maksimālo vērtību.

Intensīvās vārīšanās apgabals atkarīgs no spiediena un šķidrums fizikālajām īpašībām. Tā, piemēram, atmosfēras spiedienā ūdens intensīvās vārīšanās apgabalam *BC* atbilst temperatūru starpība  $5 \dots 25^\circ \text{C}$ , bet īpatnējā siltuma slodze ir  $5,8 \cdot 10^3 \dots 1,45 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$  [ $5 \cdot 10^3 \dots 1,25 \cdot 10^6 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ]. Šādos apstākļos siltuma atdeves koeficients  $\alpha = 1,2 \cdot 10^4 \dots 5,8 \cdot 10^4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .



VI-7. att. Īpatnējās siltuma slodzes  $q$  un siltuma atdeves koeficienta  $\alpha$  atkarība no temperatūru starpības.

Šķidrums vārīšanās režīma izmaiņa notiek punktā  $C$ , jo, palielinoties temperatūru starpībai ( $\Delta t' > \Delta t_{kr}$ ), tvaika burbuliņi uz sildvirsmas savienojas savā starpā, veidojot nepārtrauktu tvaika slānīti, kas atdala šķidrumu no sildvirsmas (VI-8. att.). Tā kā tvaika slānītis slukti vada siltumu, siltuma atdeves koeficients  $\alpha$  strauji samazinās.

Aukstuma mašīnu aparāti vienmēr darbojas burbulvārīšanās režīmā, jo temperatūru starpība zemāka par  $\Delta t_{kr}$ . Šajos apstākļos, ja darba vielas vārīšanās temperatūra  $t_0 = -40 \dots 0^\circ\text{C}$ , siltuma atdeves koeficientu var aprēķināt, izmantojot šādas empīriskas sakarības:

$$\left. \begin{aligned} \text{amonjakam } \alpha &= 4,4 (1 \dots 0,007 t_0) q^{0,7} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})], \\ \text{freonam-12 } \alpha &= 5,3 q^{0,6} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]. \end{aligned} \right\} \text{(VI-39)}$$

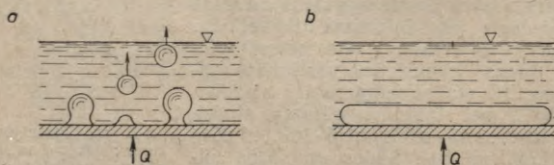
Freonam-22 koeficients  $\alpha$  ir apmēram par 20...30% augstāks nekā freonam-12.

Siltuma atdeves process, darba vielai iztvaikojot caurulēs, pagaidām vēl nav pietiekami izpētīts.

Ja dzesē piesātinātu tvaiku, tas kondensējas uz sildvirsmas atsevišķu pilienu vai galvenokārt nepārtraukta kondensāta slāniņa veidā. *Slāņainās kondensācijas* teoriju izstrādājis Nuselts, bet plašus eksperimentālus pētījumus veicis padomju zinātnieks S. Kutateladze.

Slāņainās kondensācijas gadījumā siltums no tvaika uz dzesējošo virsmu plūst caur kondensāta slānīti, pārvarot tā termisko pretestību. Laminārās plūsmas apstākļos kondensāta slāniņa siltuma atdeves koeficients atkarīgs no kondensāta slāniņa biezuma  $\delta_0$  un kondensāta siltumvadītspējas koeficienta  $\lambda$ , t. i.,  $\alpha = \frac{\lambda}{\delta_0}$ . Jo biezāks kondensāta slānītis, jo mazāks ir tā siltuma atdeves koeficients.

Pilienu kondensācijā siltuma apmaiņas process noris daudz intensīvāk, tomēr aukstuma mašīnu kondensatorus aprēķina slāņainās kondensācijas apstākļiem. Orientējošas siltuma atdeves koeficienta  $\alpha$  vērtības dotas, aplūkojot siltumapmaiņas aparātu konstrukcijas.



VI-8. att. Šķidrums vārīšanās veidi:

$a$  — vārīšanās burbulējot;  $b$  — slāniņa veida vārīšanās.



Saldētavu kamerās gaiss cirkulē un plūst gar dzesējošo ķermeņu un produktu virsmu. Te notiek siltuma apmaiņas procesi, kuros bez konvektīvās siltuma atveides jāievēro arī siltuma atvede starošanas ceļā.

Kopējais (summārais) siltuma atveides koeficients  $\alpha_0$  raksturo siltuma apmaiņas procesu starp gāzēm un cietiem ķermeņiem, ja vienlaikus notiek konvekcija un siltuma starošana, t. i.,

$$\alpha_0 = \alpha_k + \alpha_\lambda \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})], \quad (\text{VI-40})$$

kur  $\alpha_k$  — konvektīvais siltuma atveides koeficients;

$\alpha_\lambda$  — starošanas siltuma atveides koeficients.

Saskaņā ar Stefanā—Bolcmaņa likumu starošanas siltuma atveides koeficientu kameru dzesējošo ķermeņu darba apstākļiem var aprēķināt šādi:

$$\alpha_\lambda = 5,76 \frac{\left(\frac{T_v}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_0}{100}\right)^4}{T_v - T_0} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})], \quad (\text{VI-40a})$$

kur  $T_v$  un  $T_0$  — kameras gaisa un dzesējošā ķermeņa virsmas absolūtās temperatūras (K).

Praktiski gludu cauruļu dzesējošo ķermeņu virsmas temperatūra vienāda ar darba vielas vārīšanās vai cirkulējošā sāls šķīduma temperatūru.

## 2. Kondensatori un pārdzesētāji

Kondensators ir siltumapmaiņas aparāts, kurā pie noteiktas temperatūras un spiediena kondensējas darba viela. Lai kondensācija notiktu, no kondensatora jāaizvada siltuma daudzums  $Q_0$ , kuru darba viela uzņēmusi no dzesējamās vides vai produktiem, un siltuma daudzums, kurš ekvivalents darba vielas saspiešanai patērētajam darbam kompresorā. Kopējais no kondensatora aizvadāmais siltuma daudzums  $Q = Q_0 + 1000 N_t$  (W). So siltuma daudzumu uzņem kondensatoru dzesējošais ūdens vai atmosfēras gaiss. Gaisam ir mazs īpatnējais siltums un siltuma atveides koeficients, tas slikti vada siltumu, tāpēc par dzesējošo vidi to var izmantot tikai neliela ražīguma aukstuma mašīnās, kā arī gadījumos, ja šim nolūkam nepietiek ūdens. Tilpuma īpatnējais siltums gaisam vidēji ir 1,25 kJ/(m<sup>3</sup>·K), bet ūdenim 4187 kJ/(m<sup>3</sup>·K), tādēļ, lai aizvadītu vienādu siltuma daudzumu, caur kondensatoru izplūstošā gaisa tilpumam jābūt apmēram 3300 reizu lielākam nekā ūdens tilpumam. Ja kondensatora dzesēšanai izmanto gaisu, tā sildvirsmā ievērojami jāpalielina.

Kondensatoram kā vienam no galvenajiem aukstuma mašīnas siltumapmaiņas aparātiem jānodrošina intensīva siltuma pāreja, lai samazinātu neatgriezeniskos siltuma zudumus kondensatorā un

līdz ar to paaugstinātu aukstuma mašīnas lietderības koeficientu. Bez tam jācenšas, lai kondensatora izgatavošana būtu vienkārša, konstrukcija būtu ar maziem gabarītmēriem un viegla, lai tas būtu lēts, ērti tirāms, remontējams un drošs ekspluatācijā.

Kondensatora siltuma pārejas koeficientu ietekmē siltuma atdeves intensitāte darba vielas tvaika kondensēšanās procesā, dzesējošā ūdens vai gaisa plūsmas ātrums, sildvirsmas tīrība, jo tā var pārklāties ar eļļas slāni aukstuma aģenta pusē un nosēdumu kārtiņu (katlakmens vai putekļi) dzesējošās vides pusē.

Siltuma atdeves koeficients tvaika kondensēšanās procesā atkarīgs no kondensācijas rakstura, ātruma, ar kādu kondensāts noplūst uz sildvirsmu, darba vielas tvaika kustības ātruma un virziena un dzesējošās virsmas tīrības. Bez tam vēl siltuma atdevi ietekmē sistēmā esošais gaiss un citas nekondensējušās gāzes.

Darba vielas tvaika kondensācijas laikā kondensāts pārklāj sildvirsmu ar nepārtrauktu slāni, kas traucē tālāko tvaika kondensāciju. Tāpēc kondensatora konstrukcija jāizveido tā, lai pēc iespējas ātrāk aizvadītu kondensātu no sildvirsmas.

Tvaika plūsmā kondensatorā jānodrošina nekondensējušos gāzu un gaisa aizvadišana no sildvirsmas, lai uzlabotu siltuma atdeves koeficientu.

Intensitāte siltuma atdevi no sildvirsmas uz dzesējošo vidi atkarīga no ūdens un gaisa kustības ātruma, kuram palielinoties pieaug arī siltuma atdeves koeficients. Lai novērstu lielas hidrauliskās pretestības, kas izraisa ievērojamu sūkņu darbināšanai patērētās enerģijas pieaugumu, optimālais dzesējošā ūdens plūsmas ātrums kondensatoros pieņemts 1,5 m/s. Pieļaujamais gaisa plūsmas ātrums ribotos kondensatoros ar gaisa dzesēšanu ir 4...6 m/s.

Ja kondensatora sildvirma pārklājas ar eļļu, kuru no kompresora nes līdz darba viela, vai arī izveidojas nosēdumu kārtiņa dzesējošās vides pusē, tad pasliktinās ne vien siltuma atdeves koeficients, bet palielinās arī siltuma vadīšanas termiskā pretestība. Tas jūkami ietekmē siltuma pāreju, tāpēc jā rūpējas par kondensatora sildvirsmas regulāru un savlaicīgu tīrīšanu.

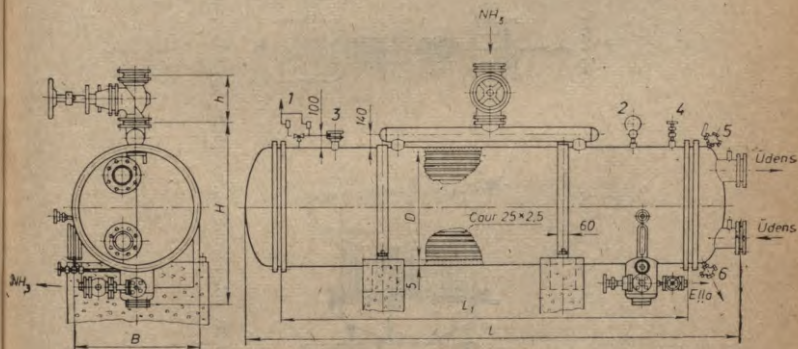
**Kondensatoru veidi un uzbūve.** Atkarībā no dzesēšanas veida aukstuma mašīnu kondensatori iedalās kondensatoros ar ūdens, gaisa un jaukto dzesēšanu. Pēc konstruktīvā izveidojuma izšķir apvilktā cauruļu kūļa kondensatorus (horizontālos un vertikālos), elementu sekciju kondensatorus, aprasināšanas virsmas kondensatorus, iztvaikošanas kondensatorus, plākšņu-cauruļu paneļu sekciju kondensatorus u. c. Arī amonjaka un freona aukstuma mašīnu kondensatoriem ir dažas konstruktīvas atšķirības.

*Horizontālos apvilktā cauruļu kūļa kondensatorus* izmanto kā amonjaka, tā arī freona aukstuma iekārtās. Tie sastāv no tērauda apvalka, kura galiem piemetināti tērauda cauruļu režģi. Amonjaka aukstuma mašīnām kondensatora cauruļu režģi ievalcētas tērauda bežšuvju caurules, kuru diametrs 25 mm, bet sienīgas biezums



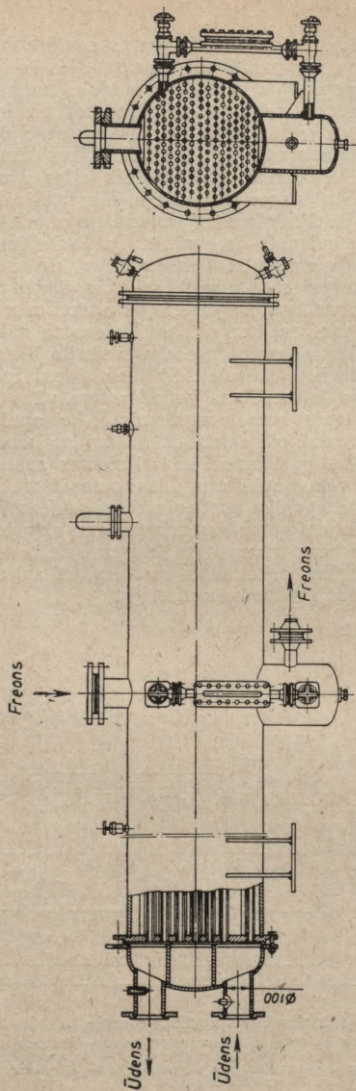
2,5 mm (VI-9. att.). Abus apvalka galus noslēdz vāki ar starpsienām, kas sadala cauruļu kūli vairākās sekcijās (gājienos). Kompresora cilindrā saspīestais karstais amonjaka tvaiks ieplūst kondensatora starpcauruļu telpā no augšas, bet kondensēto šķidro amonjaku novada uz resiveru vai regulēšanas staciju caur apakšā novietoto kondensāta savācēju, kuru vienlaikus izmanto arī par eļļas atdalītāju. Periodiskai nostādīnātās eļļas aizvadišanai tā apakšējā daļā paredzēts speciāls ventilis. Eļļa ir blīvāka par amonjaku un nešķīst tajā. Šķidrā amonjaka līmeņa noteikšanai kondensatora apvalkam pievienots līmeņrādis. Pa caurulēm plūst dzesējošais ūdens, kuru pievada kondensatora apakšējai daļai. Tā kā cauruļu kūlis ar starpsienām sadalīts sekcijās, ūdens plūst no ievadišanas vietas uz kondensatora pretējo galu tikai caur daļu no kūļa caurulēm, bet pēc tam, mainot virzienu, ūdens pa nākamo cauruļu sekciju plūst atpakaļ. Atkarībā no sekciju skaita ūdens veic 4...8 gājienus, piepildot visas caurules. Sasīlušo ūdeni izvada no kondensatora augšējās daļas. Viena kondensatora vāka augšējā daļā iemontēts ūdens atgaisošanas aizgrieznis 5, bet apakšējā daļā — aizgrieznis 6 visa dzesējošā ūdens izlaišanai no kondensatora remonta vai pārbaudes gadījumos, kā arī ziemas apstākļos, lai novērstu cauruļu un vāku saplēšanu, ūdenim sasaldot.

Uz kondensatora apvalka nostiprināti un savienoti ar starpcauruļu telpu, kuru aizņem amonjaks, trīsvirzienu aizgrieznis 1 ar diviem drošības vārstiem, manometrs 2, išcaurule 3 spiediena izlīdzināšanas līnijas pievienošanai no resivera, kā arī nekondensēto gāzu un gaisa novads 4 uz gaisa atdalītāju.



VI-9. att. Amonjaka horizontālais apvilkta cauruļu kūļa kondensators:

1 — trīsvirzienu aizgrieznis ar diviem drošības vārstiem; 2 — manometrs; 3 — išcaurule spiediena izlīdzināšanas vada pieslēgšanai no resivera; 4 — nekondensēto gāzu un gaisa novads uz gaisa atdalītāju; 5 — atgaisošanas aizgrieznis; 6 — aizgrieznis ūdens izlaišanai no kondensatora.



VI-10. att. Freona horizontālais apvilkta cauruļu kūļa kondensators ar ribotām vara caurulēm (sildvirsmā  $75 \text{ m}^2$ ).



Horizontālie apvilkta cauruļu kūļa kondensatori labi darbojas, ja to dzesēšanai izmanto tīru, mīkstu ūdeni. Cieta ūdens gadījumā jāuzstāda speciālas ūdens mīkstināšanas ierīces, citādi kondensators bieži jāizslēdz, lai iztīrītu caurules no katlakmens nosēdumiem.

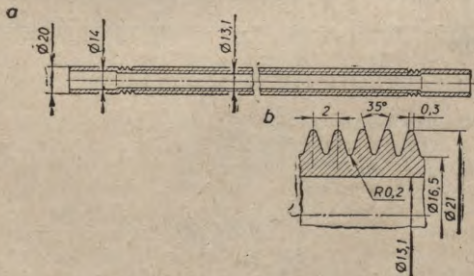
Dzesējošā ūdens plūsmas ātrums kondensatorā ir diezgan liels — 0,7...1,5 m/s, tādēļ koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no cauruļu sienām uz ūdeni,  $\alpha_2$  ir samērā augsts. Sašķidrināto amonjaku no kondensatora aizvada nepārtraukti, kas nodrošina augstu siltuma atdeves koeficientu arī no amonjaka uz cauruļu sienām [ $\alpha_1=8000 \dots 10\,000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]. Tā kā uz augšējām caurulēm kondensētais amonjaks noplūst uz apakšējo cauruļu virsmas, tad kondensatora apakšējās daļas darba intensitāte ir mazāka.

Ja amonjaka kondensācijas un dzesējošā ūdens temperatūru starpība ir 5...6°C, bet ūdens plūsmas ātrums 1,5 m/s, tad horizontālo apvilkta cauruļu kūļa kondensatoru īpatnējā siltuma slodze ir 4650...5250 W/m<sup>2</sup>.

Rūpnīcā, izgatavojot horizontālos apvilkta cauruļu kūļa kondensatorus, izdara hidrauliskās pārbaudes. Kondensatora caurulēm jāiztur ūdens spiediens  $6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ , bet starpcauruļu telpai pārbaudē jāiztur  $2,3 \cdot 10^6 \text{ Pa}$  liels ūdens spiediens un  $1,8 \cdot 10^6 \text{ Pa}$  liels gaisa spiediens. Amonjaka aukstuma iekārtu horizontālo apvilkta cauruļu kūļa kondensatoru raksturojošie lielumi doti VI-5. tabulā.

Amonjaka iekārtās var lietot tikai tērauda caurules un armatūru, jo amonjaks reaģē ar varu un tā savienojumiem. Krāsainos sakausējumus, kuru sastāvā ir varš, tas īsā laikā sagrauj, padarot ekspluatācijai nederīgus.

Freona aukstuma iekārtās horizontālo apvilkta cauruļu kūļa kondensatoru sildvirsmas visbiežāk izgatavo no vara caurulēm (VI-10. att.), bet sastopami arī kondensatori ar tērauda caurulēm. Tā kā koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no freona uz cauruļu



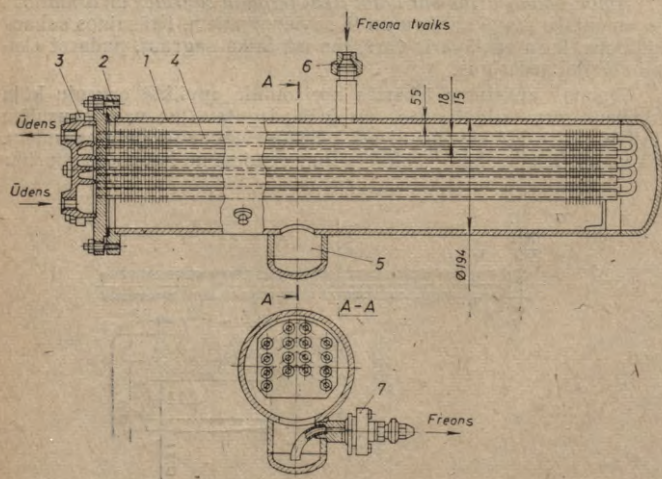
VI-11. att. Ribota vara caurule:

a — ar gludiem galiem caurules ievalcēšanai; b — ribojuma profils.

sieniņām, ir samērā zems [freonam-12  $\alpha_1 = 1200 \dots 2300 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ], parāsti cauruļu virsmu freona pusē veido ribotu (VI-11. att.).

Freona kondensatori ar vara caurulēm ir dārgāki, bet tiem ir mazāka termiskā pretestība un vieglāk izveidojams ribojums nekā tērauda cauruļu kondensatoriem. Bez tam vara caurules nodrošina sistēmas tīrību. Lai samazinātu sildvirsmas lielumu, vara cauruļu kondensatoros pieļauj lielāku freona kondensācijas un dzesējošā ūdens temperatūru starpību nekā amonjaka kondensatoros — līdz  $7 \dots 10^\circ \text{C}$ , bet tā koeficienta  $\alpha_2$  paaugstināšanas nolūkā, kas raksturo siltuma atdevi no sieniņas uz ūdeni, dzesējošā ūdens plūsmas ātrumu vara caurulēs palielina līdz  $2 \text{ m/s}$ . Šādos apstākļos  $\alpha_2 = 6000 \dots 7000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Kondensatora siltuma pārejas koeficients, attiecināts uz cauruļu riboto virsmu,  $k = 400 \dots 480 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$ . Iekšējās gludās cauruļu virsmas īpatnējā siltuma slodze  $q = 12000 \text{ W}/\text{m}^2$ .

Nelielas virsmas horizontālajiem apvilktā cauruļu kūļa kondensatoriem, piemēram, KTP-3 un KTP-4, kuru sildvirsmas ir  $3$  un  $4 \text{ m}^2$ , cauruļu režģis un vāks ir tikai apvalka cilindra vienā galā, bet režģi iestiprinātas U veidā saliektas ribotas vara caurules (glodenes) (VI-12. att.). Šādu kondensatoru caurules grūti tīrīt, tādēļ to dzesēšanai lieto tikai tīru, mīkstinātu ūdeni.



VI-12. att. Freona liektu cauruļu kūļa kondensators:

1 — apvalks; 2 — cauruļu režģis; 3 — vāks; 4 — ribotas caurules; 5 — šķidrā freona savācējs; 6 — uzgrieznis; 7 — noslēdzamais ventīlis.



Amonjaka horizontālie apvilkta cauruļu kūļa kondensatori

Marka	Sildvirsmas (m <sup>2</sup> )	Gabariti (mm)					Cauruļu skaits	Gāzēnu skaits	Cauruļu garums L <sub>1</sub> (mm)	Aparāta masa (kg)
		diametrs D	garums L	platums B	augstums H	h				
10KTF	9	408	1880	535	760	200	99	10	1500	590
20KTF	20	500	2930	810	910	200	144	8	2500	995
25KTF	25	500	3430	810	910	200	144	8	3000	1 140
32KTF	32	500	4430	810	910	200	144	8	4000	1 140
40KTF	40	600	3520	910	1000	290	216	8	3000	1 555
50KTF	50	600	4520	910	1000	290	216	8	4000	1 930
65KTF	65	600	5520	910	1000	290	216	8	5000	2 430
90KTF	90	800	4640	1110	1230	310	386	8	4000	3 300
110KTF	110	800	5640	1110	1230	310	386	8	5000	4 000
140KTF	140	1000	4750	1330	1670	350	614	8	4000	5 330
180KTF	180	1000	5750	1330	1670	350	614	8	5000	6 450
250KTF	250	1200	5845	1520	1940	400	870	8	5000	9 360
300KTF	300	1200	6845	1520	1940	400	870	8	6000	10 930

Freona aukstuma iekārtu kondensatoros eļļa nav jāatdala, jo tā ar šķidro freonu veido viendabīgu maisījumu. Freona un eļļas maisījums aizplūst uz iztvaikotāju, no kurienes kopā ar tvaikiem atgriežas kompresorā.

Horizontālos apvilkta cauruļu kūļa kondensatorus ērti agregatēt un savienot ar pārējiem aukstuma iekārtas elementiem. Tos parasti uzstāda netālu no kompresora. Katram kompresoram var lietot atsevišķu kondensatoru, bet iespējams arī vienam kondensatoram pievienot vairākus kompresorus, kuru darba režīmi ir vienādi.

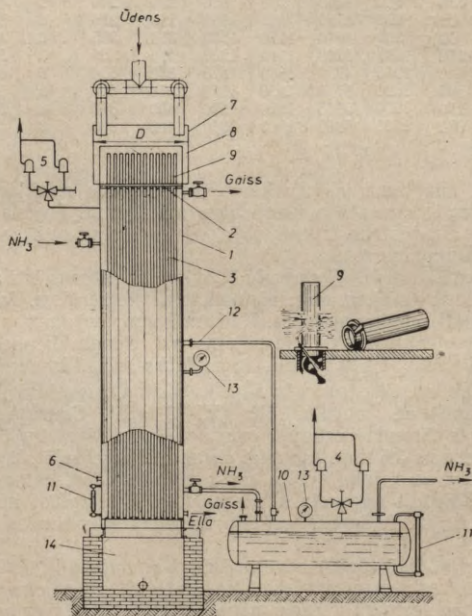
Vertikālo apvilkta cauruļu kūļa kondensatoru sildvirsmu veido vertikāli novietots cauruļu kūlis (VI-13. att.). Cauruļu režģos 2 iestiprinātas tērauda bezšuvju caurules, kuru diametrs 50 mm un sienīņu biezums 3,5 mm. Apvalka cilindra 1 augšdaļā starpcauruļu telpā ieplūst amonjaka tvaiks un kondensējas uz cauruļu ārējās virsmas. Šķidrās amonjaks uz resiveru 10 aizplūst no cilindra apakšējās daļas. Te saplūst arī eļļa, kuru periodiski izvada no kondensatora.

Lai darba laikā varētu novērot šķidrā amonjaka līmeni, kondensatoram un resiveram pievienoti līmeņrāži 11. Spiedienu starpcauruļu telpā un resiverā uzrāda manometri 13, bet pieļaujamo darba spiedienu nodrošina drošības vārsti. Gaisu un nekondensētās gāzes aizvada no kondensatora augšdaļas un no joslas, kas atrodas 500...560 mm virs apakšējā cauruļu režģa, kur novērojama visaugstākā šo gāzu koncentrācija. Spiedienu izlīdzināšanai kondensatora starpcauruļu telpa un resivers savienoti ar cauruļvadu 12.

Virš kondensatora augšējā cauruļu režģa novietota dzesējošā ūdens sadales tvertne 7. Katra caurule noslēgta ar speciālu

stobrveida vāciņu, kurā iefrēzēti slīpi kanāliņi. Dzesējošais ūdens pa šiem kanāliņiem ar strūklu ieplūst caurulē un plānā slānītī noplūst pa tās sienīgas iekšējo virsmu ūdens savākšanas tvertnē 14, virs kuras uz pamatiem nostiprināts kondensatora cilindrs. Ja ūdens sadales tvertnē līmenis paaugstinās virs normālā, ūdens pāri stobrveida vāciņu augšējai malai ieplūst caurulēs vēl papildus tam, kas tur nonāk pa vāciņu kanāliņiem. Tvertnē savāktu ūdeni var atkārtoti izmantot kondensatora dzesēšanai.

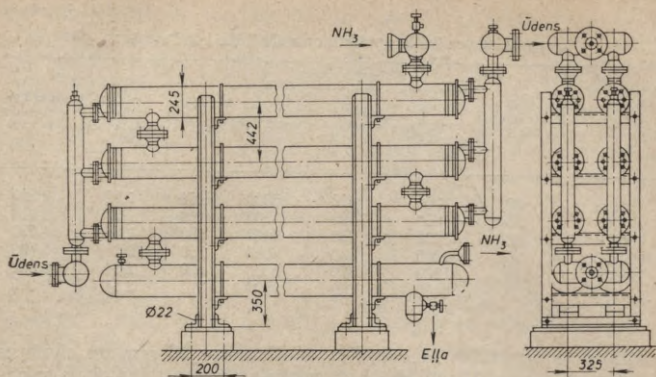
Vertikālos apvilktā cauruļu kūļa kondensatorus uzstāda liela ražīguma amonjaka aukstuma iekārtās, to tehniskie rādītāji doti VI-6. tabulā. Lielais ātrums, ar kādu dzesējošais ūdens plūst pa cauruļu virsmu, un sašķidrinātā amonjaka brīvā noplūde no kon-



VI-13. att. Amonjaka vertikālais apvilktā cauruļu kūļa kondensators:

1 — apvalks; 2 — cauruļu režģis; 3 — dzesējošās caurules; 4 un 5 — trīsvirzienu aizgriežņi ar diviem drošības vārstiem; 6 — iscaurule vada pievienošanai uz gaisa atdalītāju; 7 — ūdens sadales tvertne; 8 — cilindriska starpsiena; 9 — stobrveida vāciņi; 10 — resivērs; 11 — limeņrādis; 12 — spiediena izlīdzināšanas vads; 13 — manometri; 14 — ūdens savākšanas tvertne.



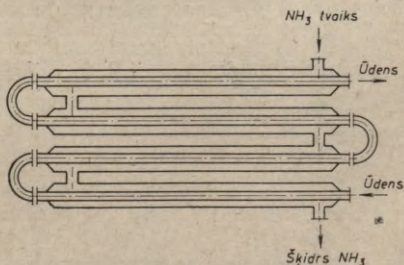


VI-14. att. Amonjaka elementu sekciju kondensators.

densācijas virsmas nodrošina efektīvu kondensatora darbu. Dzesējošās virsmas īpatnējā siltuma slodze ir  $4100 \dots 5200 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bet siltuma pārejas koeficients  $k=700 \dots 930 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Plūstot caur kondensatoru, dzesējošais ūdens sasilst par  $5 \dots 7^\circ \text{C}$ .

Šos kondensatorus parasti uzstāda pagalmā blakus kompresoru telpām, tāpēc daļu no amonjaka kondensācijas siltuma caur apvalku uzņem apkārtējais gaiss. Kondensatora apvalka virsmu iespējams papildus dzesēt, aprasinot to ar ūdeni.

Elementu sekciju kondensators (VI-14. att.) sastāv no vairākiem vienādiem elementiem, kuri izveidoti kā horizontālie apvilkta cauruļu kūļa kondensatori ar nelielu cauruļu skaitu. Parasti viena elementa



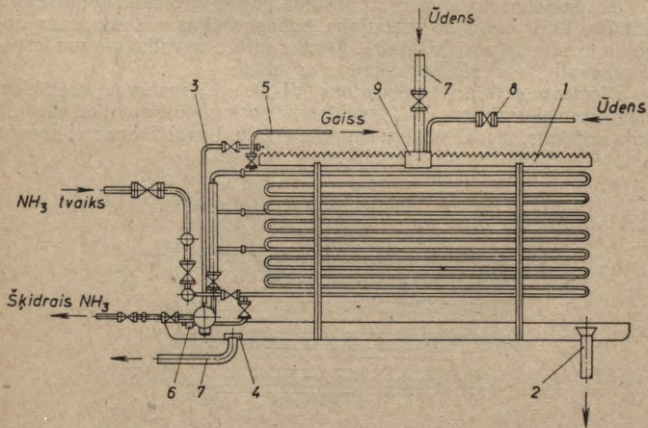
VI-15. att. Pretplūsmas kondensatora «caurule caurulē» shēma.

Amonjaka vertikālie apvilkta cauruļu kūļa kondensatori

Marka	Sildvirsmas (m <sup>2</sup> )	Gabarīti (mm)			Cauruļu skaits	Starpcauruļu telpas tilpums (m <sup>3</sup> )	Aparāta masa (kg)
		apvalka diametrs	ūdens tvertnes diametrs <i>D</i>	augstums <i>H</i>			
50KB	50	700	920	5500	64	1,12	2 520
75KB	75	800	1020	5500	96	1,27	3 410
100KB	100	1000	1230	5000	150	1,8	4 750
125KB	125	1000	1230	6000	150	2,2	5 700
150KB	150	1200	1430	5000	210	2,64	6 820
250KB	250	1400	1630	5500	312	3,64	10 815

cilindrā iestiprinātas 14 caurules ar diametru 38 mm un sienas biezumu 3,5 mm. Atsevišķie kondensatora elementi savienoti sekcijās. Tā kā šāda veida kondensatoriem ir liels metāla patēriņš, tos tagad rūpniecība vairs neražo.

Līdzīgi ir arī divcauruļu elementu jeb t. s. «caurule caurulē» pretplūsmas kondensatori (VI-15. att.), kuriem ir samērā augsts siltuma pārejas koeficients, t. i.,  $k=930 \dots 1050 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Pretplūsmas principa dēļ tos bieži komplektā ar cita veida kondensatoriem izmanto šķidrās darba vielas pārdzesēšanai.



VI-16. att. Aprasināšanas virsmas kondensatora shēma:

1 — ūdens sadales sile; 2 — pārteces sietniņš; 3 — spiediena izlīdzināšanas līnija; 4 — sietniņš; 5 — atgaisošana ventīlis; 6 — eļļas izlaišanas ventīlis; 7 — cirkulējošā ūdens vads; 8 — svaigā ūdens vads; 9 — ūdens sadales tvertne.

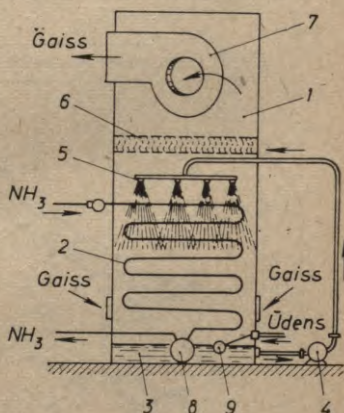


*Aprasināšanas virsmas kondensators* ar šķidrās darba vielas starpnovadīšanu (VI-16. att.) sastāv no cauruļu sekcijām. Katru sekciju veido 14 horizontālas caurules ar diametru 50 mm un sienīņas biezumu 3,5 mm. Vienas sekcijas sildvirsmas ir 15 m<sup>2</sup>. Kondensēto amonjaku novada uz kolektoru no dažādiem līmeņiem pa četrām caurulēm. Virs kondensatora atrodas dzesējošā ūdens tvertne, no kuras ūdens nonāk sadalītājā, kas novietots virs aprasināšanas virsmas. Karstos amonjaka tvaikus ievada katras sekcijas apakšējā caurulē. Tie kondensatorā pārvietojas no lejas uz augšu, nodrošinot pretplūsmas principu. Šķidrā amonjaka novadīšana no starposmiem sekmē labāku kondensatora sildvirsmas izmantošanu. Kondensatorā iekļuvošo eļļu gandrīz pilnīgi atdala sekcijas apakšējās caurulēs un novada uz resiveru. Tur eļļa noslāņojas, un to periodiski izlaiž eļļas uztvērējā. Sildvirsmas īpatnējā siltuma slodze  $q=4100 \dots 5200 \text{ W/m}^2$ , bet siltuma pārejas koeficients  $k=800 \dots 1040 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ .

Dzesējošā ūdens patēriņš katrā sekcijā ir 2,8...3,3 l/s, pie tam apmēram 60% ūdens var izmantot atkārtoti, jo, uzņemot no kondensatora siltumu, ūdens tūlīt daļu saņemtā siltuma atdod apkārtējam gaisam konvekcijas un it sevišķi iztvaikošanas ceļā. Ūdens iztvaikošanas veicināšanai šos kondensatorus, kurus lieto vidēja un liela ražīguma aukstuma iekārtās, uzstāda ārpus mašīntelpas pagalmā, ar žalūzijām norobežotā nojumē. Ūdens atdzesēšanai nepieciešamas papildu iekārtas — visbiežāk izmanto *grādētavas* un baseinus ar ūdens izsmidzināšanas sprauslām. Izsmidzinātais ūdens daļēji iztvaiko, un tā temperatūra pazeminās.

Aprasināšanas virsmas kondensatoru cauruļu ārējās virsmas samērā vienkārši var notīrīt no nosēdumu kārtas. Tādēļ tos ieteicams uzstādīt, ja dzesējošais ūdens ir netīrs un ar lielu cietumu. VI-7. tabulā doti aprasināšanas virsmas kondensatoru raksturīgie lielumi. Šī tipa kondensatoru izgatavošana ir samērā vienkārša, bet galvenais trūkums ir to lielle gabarītmēri.

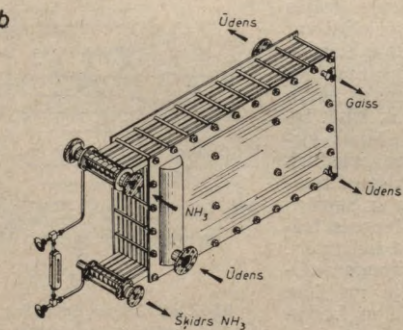
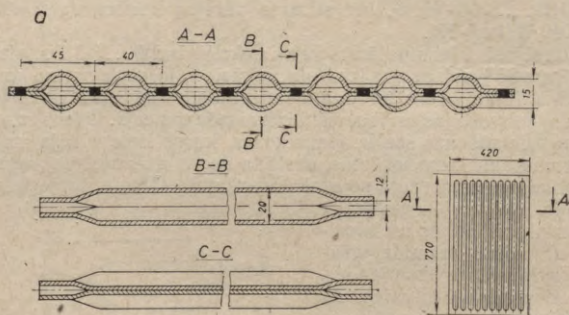
*Iztvaikošanas kondensatorus* izmanto vidēja un liela ražīguma amonjaka un freona aukstuma iekārtās, ja nav pietiekami dzesējošā ūdens krājumi. Sajā aparātā it kā



VI-17. att. Iztvaikošanas kondensators:  
1 — apvalks; 2 — glodēne ar darba vielu;  
3 — ūdens tvertne; 4 — sūknis; 5 — sprauslas; 6 — šķidrums atdalītājs; 7 — ventilators; 8 — resivers; 9 — pludīna tipa līmeņa regulators.

apvienots parastais kondensators un atkārtotas ūdens dzesēšanas ierīce (VI-17. att.). Metāla apvalkā iemontēta gluda vai ribotu cauruļu glodene 2, kurā kondensējas darba viela, cauruļu kolektors ar sprauslām 5 ūdens izsmidzināšanai, ventilators 7, resivērs 8 sašķidrinātās darba vielas uzkrāšanai un šķidruma atdalītājs 6. Dzesējošā ūdens padevei no tvertnes 3 uz izsmidzināšanas sprauslām nepieciešams sūknis 4.

Aparāta augšdaļā novietotais ventilators 7 caur spraugām apvalka apakšējā zonā iesūc gaisu, kas ar ātrumu 3...4 m/s plūst pretim izsmidzinātā ūdens strūklām. Pēc tam caur šķidruma atdalītāju 6 gaisu izvada no kondensatora. Izsmidzinātais ūdens, tekot pāri cauruļu sistēmas 2 virsmām, atņem darba vielai pārkarsēšanas un kondensācijas siltumu. Ūdens intensīvi iztvaiko un atdziest,



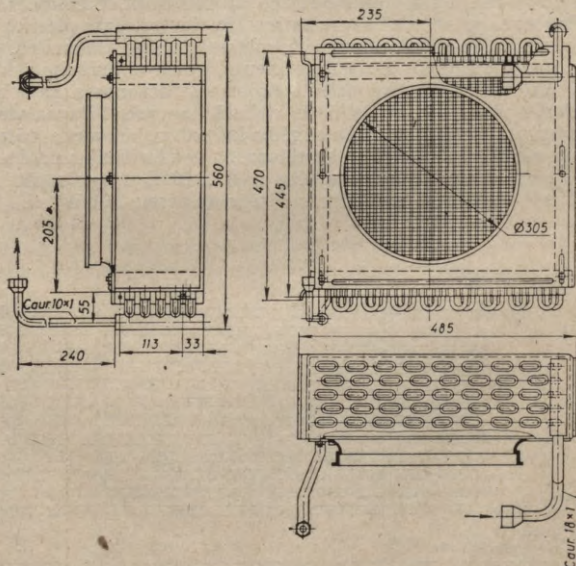
VI-18. att. Plākšņu-cauruļu paneļu kondensators:  
a — plākšņu-cauruļu panelis; b — kondensators.



Aprasināšanas virsmas kondensatoru raksturojums

Sildvirsmā (m <sup>2</sup> )	Sekciju skaits	Resivers		Kondensa- tora tilpums (m <sup>3</sup> )	Kondensatora masa (kg)
		garums (mm)	tilpums (m <sup>3</sup> )		
30	2	700	0,053	0,33	1280
45	3	1250	0,1	0,5	1850
60	4	1800	0,135	0,67	2460
75	5	2350	0,19	0,85	3050
90	6	2900	0,225	1,0	3795

atdodot siltumu gaisam. Tātad iztvaikošanas kondensatoros notiek siltuma apmaiņa ne vien starp darba vielu un ūdeni, bet arī starp ūdeni un gaisu. Intensīvas iztvaikošanas rezultātā ūdens temperatūra praktiski nemainās, tādēļ to var atkārtoti izmantot kondensatora dzesēšanai. Iztvaikošanas kondensatori ir kompakti, sildvirsmas īpatnējā siltuma slodze  $q=1900 \dots 3000 \text{ W/m}^2$ . Arī siltuma

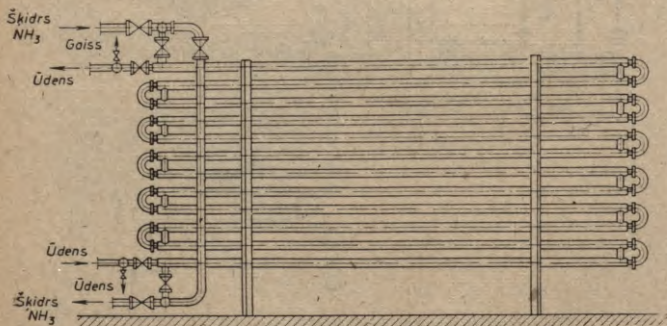


VI-19. att. Ar gaisu dzesējams freona kondensators.

pārejas koeficients ir zemāks nekā citu tipu kondensatoriem, t. i.,  $k=500 \dots 700 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Sūkņa un ventilatora darbināšanai tiek patērēti apmēram 7...8% kompresora darbināšanai nepieciešamā elektroenerģijas daudzuma.

Pēdējā laikā amonjaka aukstuma mašīnām gatavo *plākšņu-cauruļu paneļu* siltumapmaiņas aparātus. *Paneļu sekciju kondensatori* var aizstāt apvilkta cauruļu kūļa kondensatorus. Šī tipa aparātu galvenie elementi ir plākšņu-cauruļu paneļi, no kuriem var izveidot arī paneļu sekcijas (VI-18. att.). Plākšņu-cauruļu paneļi izgatavo no divām speciāli profilētām tērauda plāksnēm, kuras piemetina pie kolektoriem. Starp tām izveidojas kanāli, kuros kondensējas vai arī iztvaiko amonjaks. Sastiprinot blakus vairākas paneļu sekcijas, iegūst kompakto siltumapmaiņas aparātu. Attālums starp divām blakus esošām sekcijām ir apmēram 30 mm. Starp sildvirsmas sekcijām atrodas blīves, kas izveido hermētiskus kanālus — spraugas, pa kurām plūst aparātu dzesējošais ūdens. Apskatēs vai remonta gadījumos plākšņu-cauruļu paneļu sekciju kondensatori viegli izjaucami un samontējami.

Neliela ražīguma aukstuma mašīnām izmanto *ar gaisu dzesējamus kondensatorus* (VI-19. att.). Tos izgatavo no saliektām vara vai tērauda caurulēm, kuras savieno ar kolektoriem. Sildvirsmas palielināšanai gaisa pusē caurules izveido ribotas. Tām piestiprina plānas metāla (tērauda, alumīnija, misiņa) lokšņu plāksnītes. Lai paaugstinātu siltuma pārejas koeficientu, gaisa cirkulāciju nodrošina ventilators. Mājsaimniecībā lietojamo saldēšanas skapju kondensatorus parasti dzesē dabiskās cirkulācijas gais. Darba vielas tvaiks ieplūst kondensatorā pa augšējo kolektoru, bet kondensāts uz resiveru aizplūst pa apakšējo kolektoru. Ja kondensācijas un dzesējošā gaisa temperatūra starpība ir 8...10 °C un gaisa ātrums 4...5 m/s, tad īpatnējā siltuma slodze ir apmēram 300 W/m<sup>2</sup>.



VI-20. att. Amonjaka pretplūsmas pārdzesētājs.



Ar gaisu dzesējamus kondensatorus lieto arī transporta līdzekļu iekārtās neatkarīgi no to aukstuma ražīguma.

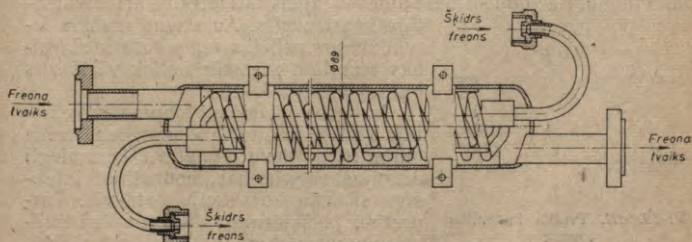
**Pārdzesētāji.** Pārdzesētāji ir siltumapmaiņas aparāti, kas paredzēti sašķidrīnātās darba vielas atdzesēšanai zemāk par kondensācijas temperatūru. Pārdzesētāji paaugstina aukstuma iekārtu ražīgumu. Amonjaka aukstuma iekārtām pārdzesētāji parasti ir *pretplūsmas «caurule caurulē»* aparāti, kurus dzesē ūdens (VI-20. att.). Dzesējošais ūdens plūst pa iekšējo cauruli, bet starp caurulēm plūst šķidrās amonjaks. Šādu pretplūsmas pārdzesētāju raksturojošie tehniskie dati doti VI-8. tabulā. Iekšējo cauruļu izmēri ir  $38 \times 3,5$  mm, bet ārējo cauruļu —  $57 \times 3,5$  mm.

Ūdens un amonjaka vidējā temperatūru starpība  $\Delta t = 3 \dots 4$  °C. Siltuma pārejas koeficients  $k = 460 \dots 580$  W/(m<sup>2</sup>·K). Tātad sildvirsmas īpatnējā siltuma slodze  $q = k\Delta t = 1600 \dots 2000$  W/m<sup>2</sup>.

Pārdzesētājus uzstāda pirms regulēšanas sistēmas un tos parasti komplektē ar vertikālajiem apvilkta cauruļu kūļa un aprasināšanas virsmas kondensatoriem. Lai pārdzesētāju varētu atvienot darba laikā, jāizveido cauruļu sistēma ar noslēdzošajiem ventiļiem, pa kuru darba vielu var tieši novadīt uz iztvaikotāju.

Freona aukstuma iekārtās šķidrums pārdzesē pirms regulējošā ventiļa speciālos *reģeneratīvajos siltumapmainītājos* ar aukstiem freona tvaikiem, kurus no iztvaikotāja iesūc kompresors (I-13. att.). Vienlaikus ar šķidrā freona pārdzesēšanu notiek arī tvaika pārkarsēšana, kas pozitīvi ietekmē freona kompresora darbu. Reģeneratīvā siltumapmainītāja lietošana palielina aukstuma iekārtas aukstuma ražīgumu un darba cikla dzesēšanas koeficientu.

Siltumapmainītāju konstrukcijas ir dažādas. Aukstuma agregātos АКФВ-3 un АКФВ-4 lieto pārdzesētāju (VI-21. att.), kas izveidots kā tērauda caurulē ievietota vara caurules spirāle. Pa iekšējo cauruli plūst šķidrās freons. To pārdzesē pa ārējo cauruli no iztvaikotāja uz kompresoru plūstošais freona tvaiks. Siltuma pārejas koeficients  $k = 100 \dots 150$  W/(m<sup>2</sup>·K).



VI-21. att. Freona pārdzesēšanas siltumapmainītājs.

### 3. Iztvaikotāji un dzesējošie ķermeņi

Iztvaikotājs ir siltumapmaiņas aparāts, kurā darba viela vārās (iztvaiko) zemā temperatūrā, uzņemot siltumu no apkārtējās vides. Siltuma pāreja no dzesējamā ķermeņa (sāls šķidrums, ūdens, gaisa u. c.) uz darba vielu (amonjaku, freonu u. c.) notiek caur cauruļu sienām.

Iztvaikotājus iedala divās pamatgrupās: iztvaikotāji *šķidrums atdzesēšanai* un iztvaikotāji *gaisa atdzesēšanai*.

VI-8. tabula

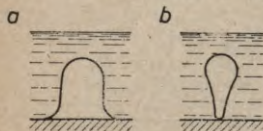
Amonjaka pretplūsmas pārdzesētāji

Marka	Sildvirsmas (m <sup>2</sup> )	Sekciju skaits	Cauruļu skaits sekcijā	Gabarīti (mm)			Aparāta masa (kg)
				garums	platums	augstums	
5ПП	4,86	1	10	5200	134	1250	480
6ПП	5,85	1	12	5200	134	1380	565
8ПП	7,80	1	16	5200	134	1690	730
12ПП	11,80	2	12	5200	307	1700	1110
16ПП	15,60	2	16	5200	307	2010	1450

Iztvaikotājiem galvenokārt jānodrošina intensīva siltuma pāreja, lai pēc iespējas tajos samazinātos neatgriezeniskie siltuma zudumi, jo līdz ar to paaugstinās visas aukstuma mašīnas darba efektivitāte. Kā zināms, siltuma pārejas koeficients iztvaikotājos ir atkarīgs 1) no siltuma atdeves intensitātes, darba vielai vāroties, 2) no aukstuma nesēja kustības ātruma gar iztvaikotāja sildvirsmu un 3) no sildvirsmas tīrības. Ja uz sildvirsmas ir eļļa, sniega, rūsas vai kāds cits slānis, tad palielinās sieniņu termiskā pretestība un pasliktinās aparāta siltuma pāreja.

Siltuma atdeves intensitāti, darba vielai vāroties, ietekmē tvaiku rašanās raksturs, darba vielas fizikālās un termodinamiskās īpašības (siltumvadītspējas koeficients, iztvaikošanas siltums u. c.), kā arī tas apstākļi, vai iztvaikojošais šķidrums slapina vai neslapina sildvirsmu. Bez tam siltuma atdeves intensitāti ietekmē arī iztvaikotāja konstrukcija. Aukstuma mašīnu iztvaikotājos nelielās temperatūru starpības rezultātā vienmēr notiek vārišanās burbuļojot (VI-8. att.).

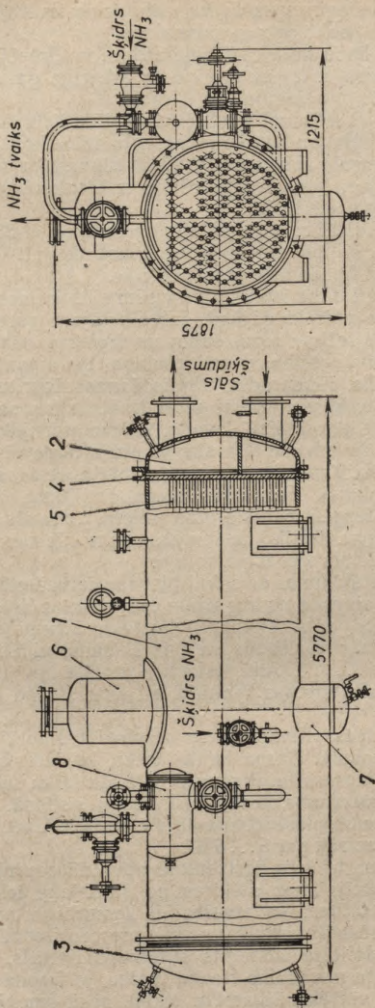
Ja darba viela labi slapina iztvaikotāja sildvirsmu, tad rodas nelieli tvaika burbuliši ar tievu pamatnīti, kuri viegli atraujas no virsmas, nodrošinot intensīvu siltuma konvekciju (atdevi). Turpretim, ja šķidrums slikti slapina sildvirsmu, piemēram, ar eļļas slāni pārklātas sildvirsmas gadījumā, tad veidojas



VI-22. att. Tvaika burbuliņu forma:

a — slikti slapina sildvirsmu;  
b — labi slapina sildvirsmu.





VI-23. att. Amonjaka horizontālais apvilkta cauruļu kūla iztvaikotājs;

1 — korpuss; 2 un 3 — vāki; 4 — cauruļu režģis; 5 — cauruļu atdalītājs; 6 — šķidrums atdalītājs; 7 — nostādītājs; 8 — pludņa tipa līmenī regulējošais ventīlis.

tvaika burbuliši ar platu pamatnīti (VI-22. att.). Šajā gadījumā siltuma atdeve no sienīgas uz darba vielu noris ievērojami sliktāk un siltuma atdeves koeficients  $\alpha_2$  samazinās.

Intensitāte, ar kādu notiek siltuma atdeve no dzesējamās vides (sāls šķīduma, gaisa u. c.) uz sienīgu, ir atkarīga galvenokārt no tās kustības ātruma gar sienīgu.

Sāls šķīdumu dzesēšanai praksē visplašāk lieto horizontālos apvilktā cauruļu kūļa un vertikālo cauruļu iztvaikotājus. Pēdējā laikā vertikālo cauruļu iztvaikotāju vietā rūpniecība ražo paneļu sekciju iztvaikotājus, kuru izgatavošana ir vienkāršāka, bet ekspluatācijas rādītāji nav sliktāki.

*Horizontālo apvilktā cauruļu kūļa iztvaikotāju* (VI-23. att.) konstruēja ir līdzīga šī tipa kondensatoru konstrukcijai. Tos izmanto kā amonjaka, tā arī freona aukstuma iekārtās.

Sāls šķīdumam, lai tas izplūstu pa visām sildvirsmas caurulēm, iztvaikotājā jāveic vairāki gājieni. Iztvaikotājam paredzēta visa nepieciešamā darba režīma regulēšanas un drošības armatūra (manovakuummetrs, divi drošības vārsti, pludiņa tipa amonjaka līmeni regulējošais ventilis, līmeņrādis, atgaisošanas aizgrieznis u. c.). Apvalka cilindra apakšējai daļai piemetināts eļļas savācējs, no kura nostādināto eļļu periodiski izvada. Šķidro amonjaku no regulējošā ventiļa ievada iztvaikotāja starpcauruļu telpā virs eļļas savācēja. Normāls šķīduma līmenis iztvaikotājā atrodas apmēram 0,8 diametra augstumā. Augstāka līmeņa gadījumā, amonjakam intensīvi vāroties, iespējama šķīduma pilienu aizraušana kopā ar tvaiku uz kompresoru. Tvaiku uz kompresoru nosūc caur šķīduma atdalītāju, kas novietots virs iztvaikotāja.

Dzesējamo sāls šķīdumu ar sūkni pievada iztvaikotāja apakšējām caurulēm, bet aizvada no augšējām caurulēm uz dzesējošajiem kermeņiem. Vidējais sāls šķīduma kustības ātrums caurulēs ir 1,5 m/s, bet amonjaka vārišanās un sāls šķīduma vidējā temperatūru starpība  $\Delta t = 5 \dots 6^\circ\text{C}$ . Amonjaka horizontālā apvilktā cauruļu kūļa iztvaikotāja sildvirsmas īpatnējā siltuma slodze  $q = 2300 \dots 2900 \text{ W/m}^2$ .

Maskavas rūpnīcas «Kompresors» ražoto iztvaikotāju galvenie izmēri doti VI-9. tabulā. Darba laikā jāseko, lai iztvaikotājā sāls šķīdums vai ūdens nesasaltu, it sevišķi, ja kādu laiku sūkni nedarbina un pārtrauc aukstuma nesēja cirkulāciju sistēmā. Aukstuma nesējs sasalstot var pārplēst iztvaikotāja caurules, tāpēc ūdeni nav ieteicams atdzesēt zemāk par  $5 \dots 6^\circ\text{C}$ .

Freona aukstuma iekārtu horizontālā apvilktā cauruļu kūļa iztvaikotāja konstrukcija maz atšķiras no amonjaka iekārtu tāda paša veida iztvaikotājiem. No iztvaikotāja kompresors nosūc mitru freona tvaiku, lai novadītu atpakaļ uz kompresoru freonā izšķīdušo eļļu. Šķīduma atdalītājā uzstādīts siltumapmainītājs, kurš pārkaršē uz kompresoru novadāmo freona tvaiku, jo freona aukstuma mašīnas strādā ar vairāk pārkaršētu tvaiku nekā amonjaka mašīnas. Freona iztvaikotāju sildvirsmu bieži izgatavo no vara cauru-



Amonjaka horizontālie apvilktā cauruļu kūļa iztvaikotāji

Marķa	Sildvirsmas (m <sup>2</sup> )	Apvalka izmēri (mm)		Cauruļu skaits	Gājienu skaits	Aparāta masa (kg)
		diametrs	garums			
32ИКТ	32	500	4520	144	8	1 790
40ИКТ	40	600	3580	216	8	1 960
50ИКТ	50	600	4580	216	8	2 400
65ИКТ	65	600	5580	216	8	2 920
90ИКТ	90	800	4670	366	8	4 150
110ИКТ	110	800	5670	336	8	4 900
140ИКТ	140	1000	4800	614	8	6 440
180ИКТ	180	1000	5800	614	8	7 600
250ИКТ	250	1200	5920	870	4	10 910
300ИКТ	300	1200	6920	870	4	12 710

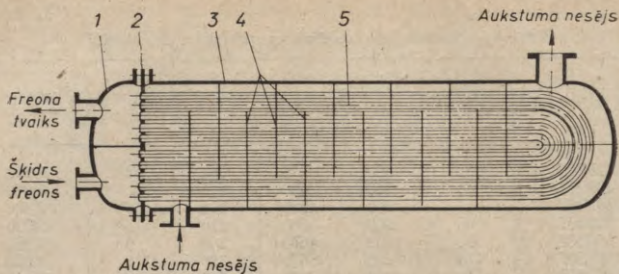
lēm, kuras freona pusē parasti ir ribotas. Dažos liela ražīguma iztvaikotājos siltuma atdeves koeficienta paaugstināšanai freonu izsmidzina uz caurulēm. Freona apvilktā cauruļu kūļa iztvaikotāju raksturojums dots VI-10. tabulā.

Freona iztvaikotājos šķidrās darba vielas līmenis zemāks nekā amonjaka aparātos (apmēram apvalka 0,5 diametra augstumā), jo iztvaikojot freona un eļļas maisījums stipri puto. Ribotu vara cauruļu gadījumā cauruļu iekšējās virsmas īpatnējā siltuma slodze  $q=5800 \dots 7000 \text{ W/m}^2$ , ja temperatūru starpība  $\Delta t=5 \dots 6 \text{ }^\circ\text{C}$ , bet aukstuma nesēja ātrums 1,5 m/s.

Freona aukstuma iekārtās ūdens dzesēšanai līdz  $2 \dots 3 \text{ }^\circ\text{C}$  izmanto apvilktā liekto cauruļu (glodeņu) kūļa iztvaikotāju (VI-24. att.), kurā freons plūst pa vara caurulēm 5, bet ūdens — starpcauruļu telpā. Šajos iztvaikotājos ūdens sasaldšana nav tik bīstama. Aukstuma nesēja plūsmas ātruma palielināšanai starpcauruļu telpa sadalīta ar šķērssienām 4.

Freona iztvaikotāju O3XM raksturojums

Sildvirsmas laukums (m <sup>2</sup> )	Apvalka izmēri (mm)		Cauruļu skaits	Gājienu skaits	Masa (kg)
	diametrs	garums			
18	350	1400	76	6	—
25	400	1400	118	6	—
35	500	2500	121	4	—
105	600	3000	241	4	1650
210	800	3000	491	4	3000

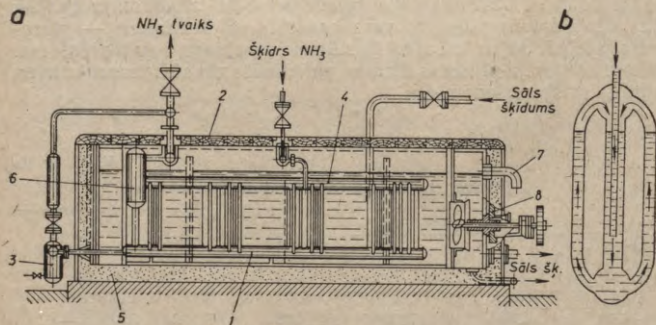


VI-24. att. Freona apvilkta liekto cauruļu kūļa iztvaikotāja shēma:  
1 — vāks; 2 — cauruļu režģis; 3 — apvalks; 4 — šķērssienas; 5 — liektās caurules.

Apļukotie aparāti ietilpst t. s. *slēgtā tipa* iztvaikotāju grupā, jo kā darba viela, tā arī dzesējamais šķidrums cirkulē pa noslēgtām sistēmām.

Pie *vaļējo* iztvaikotāju grupas pieder vertikālo cauruļu un paneļu tipa iztvaikotāji. Šajos aparātos darba viela cirkulē noslēgtā sistēmā, bet iztvaikotājs iegremdēts vaļējā, tikai ar koka vāku nosegtā tvertnē, kurā no kameru dzesējošiem ķermeņiem ieklūst sasilušais aukstuma nesējs — sāls šķīdums. Te notiek siltuma pārēja no sāls šķīduma uz darba vielu, kuras rezultātā darba viela vārās (iztvaiko). Atdzesēto sāls šķīdumu ar cirkulācijas sūkni ievada atpakaļ kameras dzesēšanas sistēmā.

*Vertikālo cauruļu iztvaikotāja* sāls šķīduma tvertnē iegremdētas divas vai vairākas iztvaikotāja sekcijas (VI-25. att.). Katra sekcija



VI-25. att. Vertikālo cauruļu iztvaikotājs:

a — griezumā; 1 — sekcijas apakšējais kolektors; 2 — vāks; 3 — eļļas savākšanas tvertne; 4 — sekcijas augšējais kolektors; 5 — siltumizolācija; 6 — šķidrums atdalītājs; 7 — pārtece; 8 — maisītājs; b — amonjaka cirkulācijas shēma.

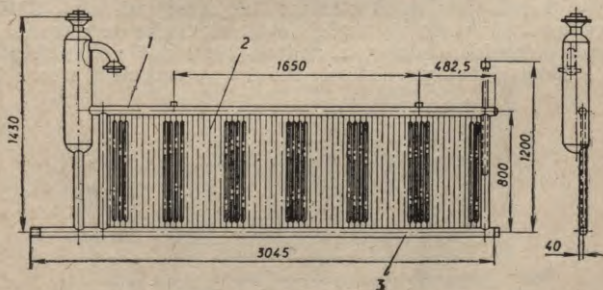


sastāv no isām, vertikālām bezšuvju caurulēm ( $38 \times 3,5$  mm vai  $57 \times 3,5$  mm), kuru gali saliekti un piemetināti pie augšējā 4 un apakšējā 1 horizontālālā kolektora. Izтваikotāja sekcijas savienotas ar kolektora caurulēm šķidrā amonjaka padevei, tvaika nosūkšanai un eļļas aizvadišanai.

No regulēšanas sistēmas šķidrā amonjaka nonāk izтваikotāja sadales kolektorā, bet no tā sekcijās, piepildot sekciju apakšējos kolektoros un gandrīz līdz augšai arī vertikālās caurules. Amonjaka tvaiku no augšējiem horizontālajiem kolektoriem caur šķidruma atdalītāju 6 nosūc kompresors.

Sāls šķiduma kustības ātruma palielināšanai izтваikotāja tvertnē uzstādīts mehāniskais maisītājs 8. Tas plūsmas ātrumu gar izтваikošanas sekciju virsmām palielina līdz  $0,6 \dots 0,8$  m/s. Arī amonjaka cirkulācija izтваikotājā ir intensīva, kas nodrošina samērā augstu siltuma pārejas koeficientu. Siltuma pāreja tiek traucēta, ja izтваikotāja cauruļu sienīņas pārklājas ar eļļas slānīti (amonjaka pusē) vai rūsas kārtiņu (sāls šķiduma pusē). Ja virsmas ir tīras un temperatūru starpība starp vidēm apmēram  $5^\circ\text{C}$ , tad īpatnējā siltuma slodze sasniedz  $2300 \dots 2900$  W/m<sup>2</sup>, bet siltuma pārejas koeficients  $k = 460 \dots 580$  W/(m<sup>2</sup> · K). Maskavas rūpnīca «Kompresors» izgatavo šādu izтваikotāju sēriju ar dzesējošās virsmas laukumu  $20 \dots 320$  m<sup>2</sup>. Vertikālo cauruļu izтваikotāju trūkumi ir šādi: tie ir dārgi (daudz metināšanas darbu) un metāla konstrukcijas pakļautas stiprai korozijai.

Plākšņu-cauruļu paneļu izтваikotāji atšķiras no vertikālo cauruļu izтваikotājiem tikai ar sekciju konstruktīvo izveidojumu. Katra sekcija, tāpat kā šī veida kondensatori, izgatavota no metinātiem profilētu lokšņu paneļiem, kas ar augšējiem un apakšējiem cauruļu kolektoriem savienoti sekcijā (VI-26. att.). Plākšņu-cauruļu izтваikotājus vienkāršāk izgatavot, tie ir vieglāki un lētāki par vertikālo cauruļu izтваikotājiem, jo ievērojami samazinās dārgo.



VI-26. att. Plākšņu-cauruļu paneļu izтваikotāja sekcija:  
1 — tvaika kolektors; 2 — paneļis; 3 — šķidruma kolektors.

bezšuvju cauruļu patēriņš. Nedaudz augstāks ir arī siltuma pārejas koeficients —  $k=600 \dots 700 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Šķidro amonjaku pievada iztvaikotāja sekcijas augšējam kolektoram. Pēc tam pa cauruli tas noplūst uz apakšējo kolektoru un iekļūst plāksņu kanālos, kur notiek iztvaikošana. Tvaiku kompresors nosūc no augšējā kolektora caur šķidrums atdalītāju. Šajā iztvaikotājā ūdeni var atdzesēt pat līdz  $2^\circ\text{C}$ , kas nav iespējams apvilkta cauruļu kūļa iztvaikotājos. Plāksņu-cauruļu paneļu iztvaikotāju tehniskie rādītāji doti VI-11. tabulā.

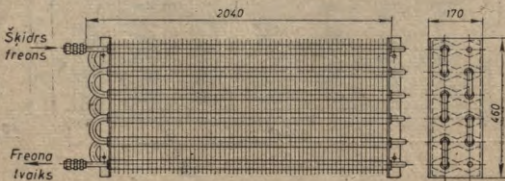
VI-11. tabula

Plāksņu-cauruļu paneļu iztvaikotāji

Marka	Sildvirsmas (m <sup>2</sup> )	Cauruļu skaits	Tvertnes izmēri (mm)			Amonjaka tilpums (m <sup>3</sup> )	Masa (kg)
			garums	platums	augstums		
20ИП	20	4×5	3470	575	1050	0,113	995
30ИП	30	6×5	3470	575	1050	0,169	1245
40ИП	40	8×5	3470	735	1050	0,223	1500
60ИП	60	12×5	3670	1060	1050	0,332	2165
90ИП	90	18×5	3670	1545	1050	0,497	3000
120ИП	120	12×10	6100	1115	1200	0,501	4030
180ИП	180	18×10	6100	1625	1200	0,744	5625
240ИП	240	24×10	6100	2135	1200	1,008	7200
320ИП	320	32×10	6100	2815	1200	1,34	9440

Visiem *netiešās iztvaices* aukstuma iekārtu iztvaikotājiem nepieciešama laba siltumizolācija, lai samazinātu siltuma pieplūdi no apkārtējās vides.

Nelielās *tiešās iztvaices* freona aukstuma mašīnās gaisa dzesēšanai lieto *ribotu cauruļu* (glodeņu) *iztvaikotājus* (VI-27. att.). Tos novieto tehnoloģiskajās iekārtās vai tieši dzesējamā telpā. Šķidro freonu ievada iztvaikotāja augšējā daļā, bet tvaiku uz kompresoru aizvada no apakšējās daļas, lai nodrošinātu normālu eļļas cirkulāciju aukstuma mašīnas sistēmā. Plūstot pa caurulēm, freons iz-



VI-27. att. Freona ribotu cauruļu (glodeņu) iztvaikotājs.



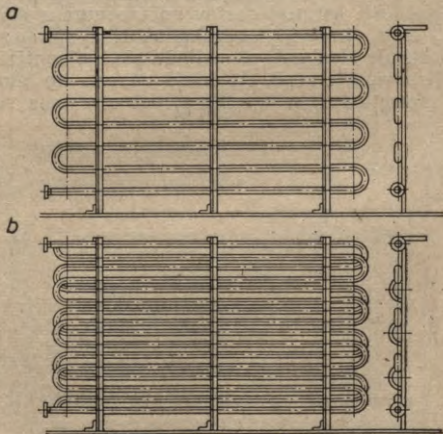
tvaiko un tiek pat pārkarsēts. Parasti šos iztvaikotājus izgatavo no vara caurulēm, kurām piestiprina misiņa plākšņu ribas.

Ja šķidro freonu pievada iztvaikotāja apakšējai daļai, bet tvaiku nosūc no iztvaikotāja augšējās daļas, tad nepieciešams, lai no iztvaikotāja izplūstu mitrs tvaiks. Pretējā gadījumā eļļa sakrāsies iztvaikotājā un piepildīs to, bet kompresora kustošos daļu eļļošana būs nepietiekama. Mitrā tvaika pārkarsēšanu pirms kompresora, lai nodrošinātu kompresora «sauso gājienu», veic reģeneratīvajā siltumapmainītājā (VI-21. att.), pārdzesējot šķidro freonu pirms regulējošā ventiļa. Ribotu cauruļu (glodeņu) iztvaikotājus izmanto arī kā dzesējošos ķermeņus.

**Dzesējošo ķermeņu** uzdevums ir dzesēt saldētavu kameru un noliktavu telpu gaisu, tādēļ tos novieto pie telpu griestiem vai sienām griestu tuvumā. Dzesējošos ķermeņus iedala tiešās iztvaices un ar sāls šķīdumu dzesējošajos ķermeņos.

*Tiešās iztvaices* dzesējošie ķermeņi jeb iztvaikotāji gaisa atdzesēšanai ir glodeņu tipa siltumapmaiņas aparāti (baterijas), kurus novieto saldētavu kamerās. Gaisa dzesēšana notiek, siltumam tieši pārejot no gaisa uz darba vielu, kas iztvaiko zemā temperatūrā dzesējošajā ķermenī.

Praksē sastopami dažāda veida tiešās iztvaices dzesējošie ķermeņi. Vienkāršākas ir *gludu bezšuvju cauruļu (glodeņu) baterijas* (VI-28. att.). Tās nostiprina uz statnēm pie sienas vai arī piekar



VI-28. att. Tiešās iztvaices dzesējošie ķermeņi:

a — vienrindas glodene; b — divrindu glodene.

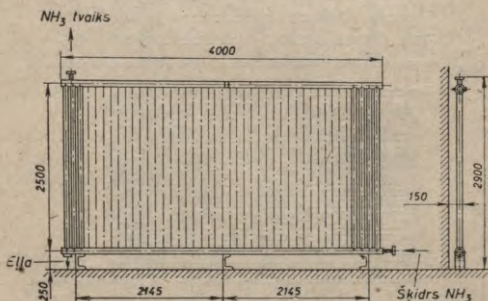
pie griestiem. Ja siltuma slodze neliela, lieto vienrindas baterijas, bet, ja liela, — divrindu.

Glodeņu baterijām šķidro darba vielu (amonjaku) pievada apakšējā daļā, bet tvaiku novada no augšējās caurules. Tvaika plūsmu no glodes apakšas uz augšu apgrūtina liela hidrauliskā pretestība, kas pazemina šo dzesējošo ķermeņu darba intensitāti. Ja baterijām siltums pieplūst strauji, tad kopā ar tvaiku iespējama arī neiztvaikojušās darba vielas iekļūšana šķidrums atdalītājā vai pat kompresora sūcējvadā.

Minētie trūkumi zināmā mērā novērsti *vertikālo cauruļu dzesējošajos ķermeņos* (VI-29. att.). Tiem šķidro amonjaku ievada apakšējā kolektorā, bet tvaiks brīvi izdalās visās vertikālajās caurulēs un savācas augšējā kolektorā, kas caur šķidrums atdalītāju savienots ar kompresora sūcējvadā.

Gludu glodeņu un vertikālo cauruļu dzesējošajiem ķermeņiem ir arī vēl citi trūkumi: liels cauruļu patēriņš, liels amonjaka tilpums baterijās, kas nav vēlams gan no tehnoloģiskā (sistēmā jāiepilda daudz amonjaka), gan arī no drošības viedokļa. Jāatzīmē, ka zemu temperatūru sasniegšanu kamerās traucē arī šķidrums staba statiskais spiediens baterijās, kurš paaugstina vārišanās temperatūru dzesējošo ķermeņu apakšējā daļā.

Pēdējos gados praksē plaši ievieš ВНИИХП sistēmas *maza tilpuma ribotos tiešās iztvaices dzesējošos ķermeņos*, kuros hidrauliskā pretestība nav liela, bet amonjaka cirkulācija ir intensīva. Tos var piestiprināt kā pie kameras sienām, tā arī pie griestiem (VI-30. att.). Šie dzesējošie ķermeņi sastāv no trīscauruļu ( $57 \times 3,5$  mm) elementiem, kuru virsmai piestiprinātas ribu spirāles. Augšējās rindas abu cauruļu vieni gali piemetināti pie horizontālā kolektora, bet otri gali savienoti kopā. Apakšējā caurule novietota slīpi — viens gals piemetināts pie kolektora, bet otrs gals savienots ar



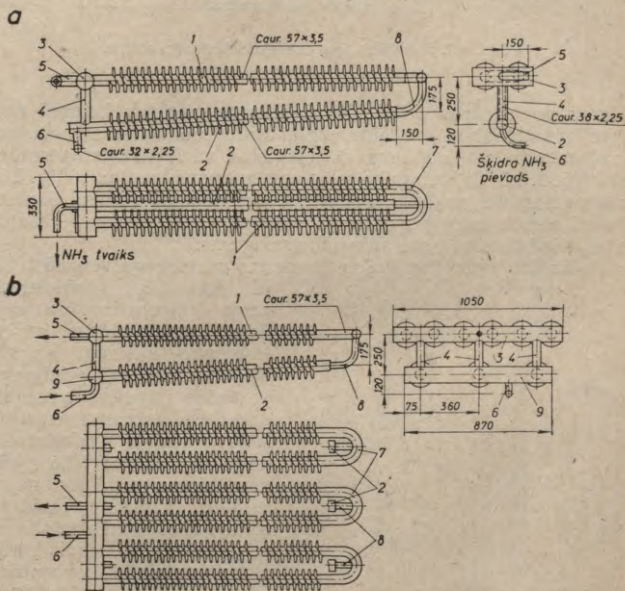
VI-29. att. Tiešās iztvaices vertikālo cauruļu dzesējošais ķermenis.



augšējām caurulēm. Ar darba vielu piepilda tikai apakšējo cauruli. Amonjaka tvaiks, ieplūstot augšējās caurulēs, aizrauj līdzīgu daļu šķidrums, un arī augšējās caurulēs notiek iztvaikošana. Tvaiku nosūc no kolektora, bet atdalītais šķidrums noplūst uz apakšējo cauruli atkārtotai cirkulācijai. Griestu baterijas montē virs kravas pārvietošanas ejām 400 mm attālumā no griestiem.

Maza tilpuma ir arī *kaskādes tipa dzesējošie ķermeņi*, kuros horizontālās caurules pievienotas pie vertikāla kolektora (VI-31. att.). Tie nodrošina zemu temperatūru (līdz  $-50^{\circ}\text{C}$ ) sasniegšanu, jo šķidrums staba statiskā spiediena ietekmē uz vārīšanās temperatūru tajos pilnīgi novērsta.

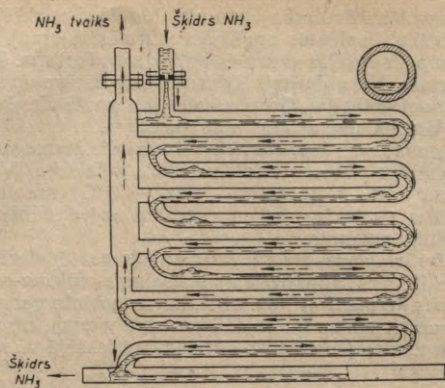
Perspektīvi ir Odesas Pārtikas un aukstuma rūpniecības tehnoloģiskajā institūtā izstrādātie jaunas sistēmas *plākšņu-cauruļu paneļu dzesējošie ķermeņi* (VI-32. att.), kurus novieto gar visām saldētavas kameras sienām. Dzesējošā ķermeņa virsma, kas vērsta pret sienu, uzņem no āra pieplūstošo siltumu, bet iekšējā virsma uzņem



VI-30. att. Ribotie tiešās iztvaices dzesējošie ķermeņi:

a — pie sienas novietojami; b — pie griestiem piekarami;

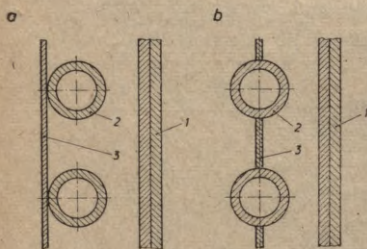
1 — virsējā caurule; 2 — apakšējā caurule; 3 — horizontālais kolektorš; 4 — Iscaurule; 5 un 6 — tvaika aizplūde un šķidrās darba vielas pieplūde; 7 — caurules līkums; 8 — pārplūdes caurule; 9 — šķidrums kolektors.



VI-31. att. Kaskādes tipa dzesējošā ķermeņa shēma.

siltumu no kameras gaisa. Mazā siltuma pieplūde kamerā rada labvēlīgus apstākļus produktu uzglabāšanai, jo kameras gaisa temperatūra var būt ļoti tuva darba vielas vārīšanās temperatūrai ( $\Delta t = 0,5 \dots 1,5^\circ\text{C}$ ), bet gaisa relatīvais mitrums tuvojas 100%. Līdz ar to samazinās produktu nozuvums uzglabāšanas laikā. Samazinās arī elektroenerģijas patēriņš aukstuma iekārtas darbināšanai, un palielinās kompresora aukstuma ražīgums.

Tiešās iztvaices dzesējošos ķermeņus uzstāda galvenokārt tad, ja kamerās nepieciešama zema temperatūra. Ja vajadzīgo temperatūras režīmu iespējams sasniegt ar sāls šķīdumu, kā arī gadījumos, ja tiešās iztvaices amonjaka dzesējošo ķermeņu izmantošana aizliegta (refrīžeratoru tilpņu, amonjaka tvaiku absorbējošu produktu uzglabāšanas kameru dzesēšanai u. c.), dzesējamās telpās uzstāda baterijas, caur kurām cirkulē noteiktas koncentrācijas nātrija hlorīda ( $\text{NaCl}$ ) vai kalcija hlorīda ( $\text{CaCl}_2$ ) šķīdums. Šo sāļu šķīdumu fizikālās īpašības dotas pielikuma 8. un 9. tabulā.



VI-32. att. Plākšņu-cauruļu paneļu dzesējošie ķermeņi:

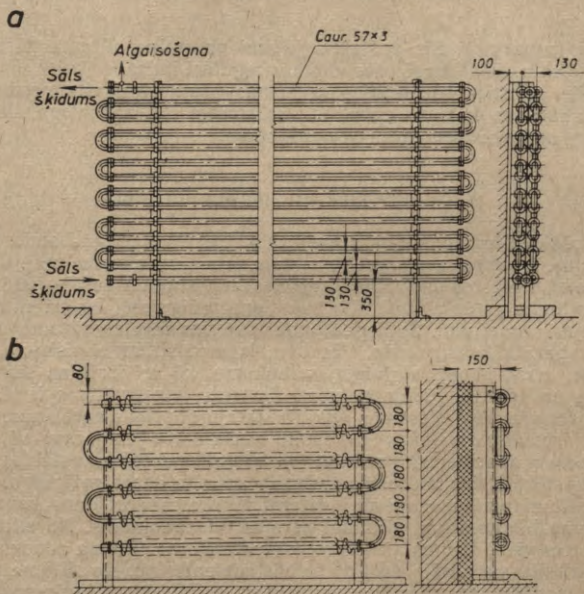
*a* — ribojums pieskares veidā; *b* — ribu centrālais novietojums; 1 — saldētavas kameras siena; 2 — darba vielas iztvaikošanas caurule; 3 — ribojuma plāksnes.



Vajējos iztvaikotajos sāls šķīdumu koncentrācijai jābūt tādai, lai šķīduma sasaldēšanas temperatūra būtu par  $5 \dots 7^\circ\text{C}$  zemāka nekā darba vielas vārišanās temperatūra. Slēgtajos iztvaikotajos šo temperatūru starpībai jābūt  $10^\circ\text{C}$ . Nevajadzīga sāls šķīduma koncentrācijas paaugstināšana nav vēlāma, jo šķīduma viskozitātes palielināšanās dēļ samazinās siltuma atdeves koeficients  $\alpha$ .

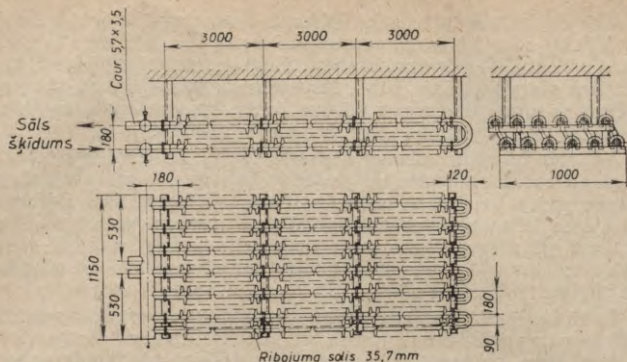
Netiešās iztvaices aukstuma iekārtu dzesējošie ķermeņi izveidoti kā *gludu vai ribotu cauruļu (glodeņu) baterijas*, kuras paredzētas kameru gaisa dzesēšanai ar aukstu sāls šķīdumu. Sāls šķīduma dzesējošos ķermeņus var piestiprināt pie kameru sienām (VI-33. att.) vai griestiem (VI-34. att.). Dzesējošie ķermeņi var būt vienrindas vai divrindu cauruļu baterijas, kuras izgatavo no gludām vai ribotām metinātām gāzes caurulēm  $57 \times 3$  mm.

Tā kā dzesējošā ķermeņa virsmas temperatūra parasti ir zemāka nekā kameras gaisa rasas punkta temperatūra, tad uz bateriju virsmas no gaisa kondensējas mitrums, kas sasaldē un izveido sniega



VI-33. att. Sāls šķīduma dzesējošie ķermeņi (sienas):

a — gludu cauruļu divrindu baterija; b — ribotu cauruļu vienrindas baterija.



VI-34. att. Sāls šķīduma divrindu ribotu cauruļu dzesējošais ķermenis (griestu).

slāni (nosarmo). Šis apstākļi jūtami pazemina siltuma pārejas koeficientu, tādēļ dzesējošās virsmas regulāri jātīra.

Pie griestiem dzesējošos ķermeņus piestiprina virs produktu uzglabāšanas kameru eļām, lai, atbrīvojot tos no sniega slāņa, sniegs un ūdens nenokļūtu uz produktiem.

#### 4. Siltumapmaiņas aparātu aprēķini

Izšķir siltumapmaiņas aparātu konstruktīvos un pārbaudes aprēķinus. *Konstruktīvos aprēķinus* veic, ja zināmi siltuma nesēja parametri, ieplūstot un izplūstot no aparāta, siltuma nesēja patēriņš vai siltuma patēriņš (aparāta aukstuma ražīgums), kā arī siltuma pārejas nosacījumi. Šajā gadījumā vispirms izvēlas siltumapmaiņas aparāta konstrukciju. Pēc tam, izdarot siltumtehnikos aprēķinus, atrod kopējo sildvirsmas laukumu, kā arī izrēķina šīs virsmas un aparāta pārējo galveno elementu konstruktīvos izmērus. Beidzot veic nepieciešamos aparāta detaļu stiprības aprēķinus.

*Pārbaudes aprēķinus* izpilda, lai noskaidrotu jau gatava siltumapmaiņas aparāta ražīgumu, tam darbojoties dotajos apstākļos vai arī apstākļos, kas nodrošina optimālo aparāta darba ražīgumu.

Siltumapmaiņas aparāta siltumtehnikajos aprēķinos izmanto siltuma bilances un siltuma pārejas vienādojumus. No siltuma bilances vienādojuma atrod procesā patērējamo siltuma daudzumu, kā arī siltuma nesēja (vai darba vielas) patēriņu. No siltuma pārejas vienādojuma aprēķina nepieciešamo sildvirsmas laukumu.

**Kondensatoru un pārdzesētāju aprēķini.** Kondensatora aprēķinu galvenais uzdevums ir noteikt sildvirsmas lielumu, pēc kuras konstruē aparātu vai arī izvēlas atbilstošu standartiekārtu.



Kondensatora pilna siltuma slodze saskaņā ar vienādību (III-9) summējas no uzstādīto kompresoru darba aukstuma ražīguma  $Q_0$  bruto, kuru aprēķina pēc vienādības (III-21), un šo kompresoru indicētās jaudas  $N_t$  siltuma ekvivalenta, t. i.,

$$Q = Q_0 \text{ bruto} + 1000N_t = Q_0 \text{ bruto} \left( \frac{\varepsilon_t + 1}{\varepsilon_t} \right) \text{ (W)}. \quad \text{(VI-41)}$$

Zinot sistēmā cirkulējošās darba vielas daudzumu  $G$  [vienādība (III-5)], pārkarsētā tvaika entalpiju pēc saspiešanas kompresorā  $i_2$  un darba vielas kondensāta entalpiju  $i_3 = i_4$ , kondensatora siltuma slodze

$$Q = 1000G(i_2 - i_3) \text{ (W)}. \quad \text{(VI-41a)}$$

Sajā siltuma slodzē ietilpst no kondensatora trim zonām aizvadāmie siltuma daudzumi, kas izdalās darba vielas pārkarsētā tvaika atdzesēšanas, tvaika kondensācijas un šķidrums pārdzesēšanas rezultātā.

Saskaroties ar auksto virsmu, pārkarsētais tvaiks atdziest un pēc tam kondensējas. Eksperimentu dati liecina, ka siltuma pārejas intensitāte pārkarsēta tvaika kondensēšanās procesā ir gandrīz tāda pati kā sausa piesātināta tvaika kondensācijā. Tāpēc atdzesēšanas un kondensācijas zonas var aprēķināt kopīgi, pieņemot kondensācijas zonai atbilstošo siltuma pārejas koeficientu  $k$  un temperatūru starpību  $\Delta t$ .

Šķidrums pārdzesēšanas zona jāaprēķina atsevišķi, jo siltuma pārejas koeficients un temperatūru starpība tajā ir cita. Pārdzesēšanas zonas virsmu kondensatorā konstruktīvi apvieno ar kondensācijas zonu vai arī izveido atsevišķu aparātu — pārdzesētāju. Jāatzīmē, ka pārdzesēšanas zonas siltuma slodze nav liela. Tā, piemēram, amonjaka aukstuma mašīnai tā sastāda tikai 2% no kopējās kondensatora siltuma slodzes.

Kopējo kondensatora sildvirsmas laukumu aprēķina pēc šādas formulas:

$$F = \frac{Q}{k\Delta t} = \frac{Q}{q} \text{ (m}^2\text{)}, \quad \text{(VI-42)}$$

kur  $Q$  — kondensatora siltuma slodze vai siltuma daudzums, kas kondensatorā jāaizvada no darba vielas (W);

$k$  — siltuma pārejas koeficients [W/(m<sup>2</sup>·K)];

$\Delta t$  — vidējā temperatūru starpība, kas pastāv starp darba vielu un dzesējošo vidi (temperatūras kritums) (K);

$q$  — kondensatora sildvirsmas īpatnējā siltuma slodze (W/m<sup>2</sup>).

Lielumu  $Q$  aprēķina pēc vienādības (VI-41), atņemot pārdzesētāja siltuma slodzi, kas atbilstoši I-12. un III-1. attēla diagrammām aprēķināma šādi:

$$Q_D = 1000(i_3' - i_3)G \text{ (W)}, \quad \text{(VI-43)}$$

kur  $i_3 - i_3$  — pārdzesētāja siltuma slodze uz 1 kg darba vielas (kJ/kg);

$G$  — kondensatorā (pārdzesētājā) laika vienībā ieklūstošās darba vielas masa (kg/s).

Siltuma pārejas koeficientu  $k$  aprēķina pēc nodaļas sākumā dotajām vienādībām atkarībā no kondensatora konstrukcijas, darba vielas īpašībām, dzesējošā ūdens vai gaisa plūsmas ātruma un citiem faktoriem. Aprēķinos jāievēro arī iespējamā sildvirsmas netīrība, kas rada papildu termiskās pretestības (VI-12. tab.).

VI-12. tabula

Metāla sienīņu un nosēdumu slāņa termiskā pretestība

Metāla vai nosēduma nosaukums	Siltumvadītspējas koeficients $\lambda$		Termiskā pretestība $\frac{\delta}{\lambda} \cdot 10^4$ ( $m^2 \cdot K/W$ ), ja slāņa biezums (mm)			
	$\frac{W}{m \cdot K}$	$\frac{kcal}{m \cdot h \cdot K}$	0,5	1	2	4
Alumīnijs	204	175	—	0,049	0,098	0,196
Tērauds	58	50	—	0,173	0,346	0,692
Misiņš	105	90	—	0,095	0,190	0,380
Varš	372	320	—	0,027	0,054	0,108
Katlakmens	2,3	2	2,17	4,34	8,68	—
Ledus	2,2	1,9	2,27	4,54	9,08	—
Minerāleļļa	0,14	0,12	35,7	71,4	—	—
Krāsojums	0,23	0,2	21,7	43,4	—	—
Sniega slānis (sar- ma)	0,58	0,5	8,63	17,3	34,6	69,2
Vārāmais sāls	2,9	2,5	1,72	3,44	6,88	—

Tuvinātiem aprēķiniem siltuma pārejas koeficienta  $k$  un īpatnējās siltuma slodzes  $q$  vērtības var pieņemt no ražošanas apstākļos iegūtajiem eksperimentālajiem datiem (VI-13. tab.).

Pārdzesētāja sildvirsmu aprēķina analogiski kā kondensatoram, zinot tā siltuma slodzi, kā arī atbilstošās  $k$  un  $\Delta t$  vērtības.

Slēgtā tipa kondensatoram nepieciešamais dzesējošā ūdens daudzums

$$W = \frac{Q}{1000\rho c (t_2 - t_1)} \quad (m^3/s), \quad (VI-44)$$

kur  $Q$  — kondensatora kopējā siltuma slodze (W);

$\rho$  — ūdens blīvums ( $kg/m^3$ );

$c$  — ūdens īpatnējais siltums [ $c = 4,187$  kJ/(kg·K)];

$t_1$  un  $t_2$  — dzesējošā ūdens temperatūra pirms un pēc kondensatora; slēgtā tipa kondensatoros dzesējošā ūdens temperatūra paaugstinās vidēji par 5...6 °C.

Pretplūsmas aprasināšanas virsmas kondensatoros ar šķidrā amonjaka starpnovadišanu svaigā dzesējošā ūdens patēriņš ir gan-



Siltuma pārejas koeficienti un kondensatoru īpatnējās siltuma slodzes (freona kondensatoriem rēķināts uz cauruļu iekšējo virsmu)

Kondensatora tips	Siltuma pārejas koeficients $k$		Īpatnējā siltuma slodze $q$		Vidējā temperatūru starpība $\Delta t$ (K)
	W/(m <sup>2</sup> · K)	kcal/(m <sup>2</sup> · h · K)	W/m <sup>2</sup>	kcal/(m <sup>2</sup> · h)	
<i>Amonjaka:</i>					
vertikālie apvilkta cauruļu kūļa	900...1000	800...900	4700...5200	4000...4500	5...6
horizontālie apvilkta cauruļu kūļa	900...1000	800...900	4700...5200	4000...4500	5...6
elementu sekciju	900...1000	800...900	4700...5200	4000...4500	5...6
aprasināšanas virsmas ar šķidrums starpnovadīšanu	700...900	600...800	4000...4700	3500...4000	5...6
iztvaikošanas	500...700	450...600	1400...2300	1200...2000	3
<i>Freona:</i>					
apvilkta cauruļu kūļa	400...470	350...400	3000...4000	2500...3500	7...10
ribotu glodņu ar gaisa dzesēšanu	30...35	25...30	230...300	200...250	8...10

drīz 3 reizes mazāks nekā elementu sekciju un apvilkta cauruļu kūļa kondensatoros. Daļu dzesējošā ūdens var izmantot atkārtoti, to recirkulējot. Tad svaigais ūdens jāpievada 30...40% no kopējā ūdens patēriņa.

Zinot ūdens patēriņu, izvēlas atbilstoša ražīguma sūkņu iekārtas.

Ja kondensatoru dzesē ar gaisu, nepieciešamais gaisa daudzums

$$V_g = \frac{Q}{1000 \rho_g c_g (t_2 - t_1)} \quad (\text{m}^3/\text{s}), \quad (\text{VI-45})$$

kur  $Q$  — kondensatora siltuma slodze (W);

$\rho_g$  — gaisa blīvums (kg/m<sup>3</sup>);

$c_g$  — gaisa īpatnējais siltums [ $c_g = 1$  kJ/(kg · K)];

$t_1$  un  $t_2$  — gaisa temperatūra pie ieejas un izejas no kondensatora.

Pēc aprēķinātā gaisa daudzuma izvēlas atbilstošus ventilatorus.

**Iztvaikotāju aprēķins.** *Iztvaikotāja sildvirsmu* aprēķina pēc šādas vienādības:

$$F_1 = \frac{Q_0 \text{ bruto}}{k \Delta t} = \frac{Q_0 \text{ bruto}}{q} \quad (\text{m}^2), \quad (\text{VI-46})$$

- kur  $Q_0$  bruto — aukstuma mašīnas darba aukstuma ražīgums (W);  
 $k$  — siltuma pārejas koeficients [ $W/(m^2 \cdot K)$ ];  
 $\Delta t$  — cirkulējošā sāls šķīduma (arī ūdens vai gaisa) un darba vielas vārišanās vidējā logaritmiskā temperatūra starpība (K). Praktiski vides temperatūra izmainās maz, tāpēc aprēķinos ar pieļaujamu kļūdu var izmantot vidējo aritmētisko temperatūru starpību; parasti pieņem  $\Delta t = 5^\circ C$ ;  
 $q$  — iztvaikotāja īpatnējā siltuma slodze ( $W/m^2$ ).

Ievērojot visus ietekmējošos faktoros, siltuma pārejas koeficientu  $k$  var aprēķināt no siltuma pārejas vienādojumiem. Praksē pārbaudītu iztvaikotāju konstrukcijām pieņem eksperimentāli iegūtas koeficienta  $k$  un īpatnējās siltuma slodzes  $q = k\Delta t$  vērtības (VI-14. tab.).

VI-14. tabula

Siltuma pārejas koeficienti  
un iztvaikotāju īpatnējās siltuma slodzes

Iztvaikotāja veids	Siltuma pārejas koeficients $k$		Īpatnējā siltuma slodze $q$		Vidējā temperatūru starpība $\Delta t$ (K)
	$W/(m^2 \cdot K)$	$kcal/(m^2 \cdot h \cdot K)$	$W/m^2$	$kcal/(m^2 \cdot h)$	
<i>Amonjaka:</i>					
vertikālo cauruļu	470 ... 580	400 ... 500	2300 ... 2900	2000 ... 2500	5
plāksņņu-cauruļu	520 ... 580	450 ... 500	2600 ... 2900	2200 ... 2500	5
apvilkta cauruļu kūļa	470 ... 520	400 ... 450	2300 ... 2600	2000 ... 2200	5 ... 6
<i>Freona:</i>					
apvilkta cauruļu kūļa un glodeņu (attiecina uz ribotu cauruļu iekšējo virsmu)	1100 ... 1400	1000 ... 1200	5800 ... 7000	5000 ... 6000	5 ... 6

Netiešās iztvaices aukstuma iekārtās iztvaikotājs atdzesē sāls šķīdumu. Sāls šķīduma cirkulācijas sūkņu nepieciešamais ražīgums, t. i., cirkulējošā sāls šķīduma tilpums

$$V_{\text{šķ}} = \frac{Q_0}{1000 \rho_{\text{šķ}} c_{\text{šķ}} (t_2 - t_1)} \quad (m^3/s), \quad (VI-47)$$

- kur  $Q_0$  — siltuma daudzums, kuru sāls šķīdums uzņem no saldētavas kameras (W);  
 $\rho_{\text{šķ}}$  un  $c_{\text{šķ}}$  — sāls šķīduma blīvums ( $kg/m^3$ ) un īpatnējais siltums [ $kJ/(kg \cdot K)$ ];  
 $t_1$  un  $t_2$  — sāls šķīduma temperatūra, ieplūstot un izplūstot no saldētavas kameras (K); praktiski  $t_2 - t_1 \approx 2 \dots 3^\circ C$ .



Apvilkta cauruļu kūļa aparāta (kondensatora) galveno konstruktīvo izmēru aprēķini. Tā kā apvilkta cauruļu kūļa kondensatora kopējo sildvirsmu  $F$  veido caurules, kas sadalītas sekcijās (gājienos), un caur katru sekciju plūst viss dzesējošā ūdens daudzums  $W$ , tad, zinot  $F$  (VI-42) un  $W$  (VI-44), var aprēķināt aparāta cauruļu skaitu. Cauruļu skaitu vienā sekcijā aprēķina, izmantojot šķidrums plūsmas nepārtrauktību (ūdens plūsma visu laiku piepilda visu dzesējošo cauruļu tilpumu), t. i.,

$$W = \frac{\pi d_1^2}{4} n_1 w \text{ (m}^3/\text{s)}, \quad (\text{VI-48})$$

kur  $W$  — dzesējošā ūdens patēriņš (m<sup>3</sup>/s);

$\frac{\pi d_1^2}{4}$  — vienas caurules šķērsriezums (m<sup>2</sup>);

$d_1$  — caurules iekšējais diametrs (m);

$n_1$  — cauruļu skaits vienā sekcijā;

$w$  — ūdens plūsmas ātrums caurulēs (m/s).

No šejienes cauruļu skaits vienā sekcijā

$$n_1 = \frac{4W}{\pi d_1^2 w} \quad (\text{VI-49})$$

Aparāta sildvirsmas laukums  $F$  summējas no visu cauruļu virsmām, t. i.,

$$F = \pi d_v L_1 n_1 \text{ (m}^2\text{)}, \quad (\text{VI-50})$$

Vienas sekcijas aparāta gadījumā caurules aprēķina garums

$$L_1 = \frac{F}{\pi d_v n_1} \text{ (m)}, \quad (\text{VI-51})$$

kur  $d_v$  — vidējais caurules aprēķina diametrs (m), ko nosaka atkarībā no siltuma atdeves koeficienta  $\alpha_1$  un  $\alpha_2$  attiecības.

Ja  $\alpha_1 > \alpha_2$ , tad  $d_v = d_a$ ;

ja  $\alpha_1 \approx \alpha_2$ , tad  $d_v = 0,5(d_a + d_1)$ ;

ja  $\alpha_1 < \alpha_2$ , tad  $d_v = d_1$ ,

kur  $d_a$  — caurules ārējais diametrs (m).

Faktisko cauruļu darba garumu  $l$  parasti pieņem ne lielāku par 4 m [lielu sildvirsmu (virs 300 m<sup>2</sup>) aparātiem cauruļu garumu pieņem 6...7 m]. Sildvirsmas sekciju (gājienu) skaits

$$z = \frac{L_1}{l} \quad (\text{VI-52})$$

Dažkārt aiz konstruktīviem apsvērumiem pieņem aparāta sildvirsmas sekciju skaitu  $z$  (parasti pārskaitlis, lai šķidrums pievads

un aizvads būtu aparāta vienā galā). Tādā gadījumā cauruļu darba garums (viena gājiena garums, resp., aparāta aktīvais garums)

$$l = \frac{L_1}{z} \text{ (m)}. \quad (\text{VI-53})$$

Daudzsekciju aparāta kopējais cauruļu skaits (vienas caurules garums  $l$ )

$$n = zn_1. \quad (\text{VI-54})$$

Kopējais nepieciešamais cauruļu garums kondensatora sildvirsmas izgatavošanai

$$L = nl \text{ (m)}. \quad (\text{VI-55})$$

Visbiežāk caurules izvieto uz regulāra sešstūra malām, tā nodrošinot maksimālu cauruļu režģa izmantošanu (VI-35. att.). Sadalot regulāru sešstūri vienādmalu trīsstūros, kuru malas garums vienāds ar cauruļu soli  $S$ , cauruļu simetrijas ass atrodas šo trīsstūru virsotnēs uz regulāro sešstūru malām.

Kopējo cauruļu skaitu kūli  $n_0$ , ja cauruļu skaits uz sešstūra malas ir  $a$  un cauruļu skaits uz sešstūra diagonāles ir  $b = 2a - 1$ , var izteikt šādi:

$$n_0 = 3a(a-1) + 1$$

un

$$n_0 = \frac{3}{4}(b^2 - 1) + 1. \quad (\text{VI-56})$$

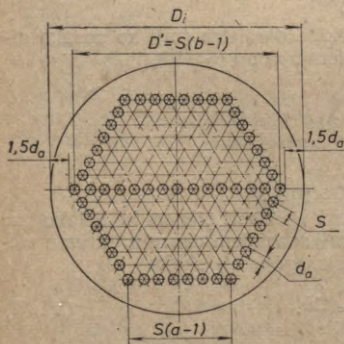
Ja  $a > 8$ , tad cauruļu režģa segmentos vēl papildus var iestiprināt 10...18% no sešstūrī novietoto cauruļu skaita. Tātad kopējais cauruļu skaits

$$n = (1, 1 \dots 1, 18) n_0.$$

Ja caurules režģī iestiprina valcējot, tad cauruļu solis  $S = (1,3 \dots 1,6) d_a$  (mm). Aploces diametru  $D'$ , uz kura novietojamas malējās caurules (VI-35. att.), aprēķina pēc šādas formulas:

$$D' = S(b-1). \quad (\text{VI-57})$$

Caurules režģī var izvietot arī pa koncentriskām aplocēm. Zinot kopējo aprēķināto cauruļu skaitu  $n$ , diametra  $D'$  noteikšanai var izmantot VI-15. tabulas datus ( $n_0$  — sešstūrī novietoto



VI-35. att. Shēma cauruļu izvietošanai siltumapmainītāja cauruļu režģī.



Apvilkta cauruļu kūļa siltumapmaiņas aparātu diametra aprēķina dati

$D'/S$	$n_0$	$n_a$	$D'/S$	$n_0$	$n_a$
2	7	7	22	439	410
4	19	19	24	517	485
6	37	37	26	613	566
8	61	62	28	721	653
10	91	93	30	823	747
12	127	130	32	931	847
14	187	173	34	1045	953
16	241	223	36	1165	1066
18	301	279	38	1306	1185
20	367	341	40	1459	1310

cauruļu skaits;  $n_a$  — cauruļu skaits, kas kūlī izvietots pa aplocēm).  
Aparāta apvalka iekšējais diametrs

$$D_1 = D' + (3 \quad 4) d_a. \quad (\text{VI-58})$$

Analogiski aprēķina arī slēgta tipa iztvaikotāju konstruktīvos izmērus.

3. piemērs. Aprēķināt horizontālo apvilkta cauruļu kūļa kondensatoru, ja mašīnas aukstuma ražīgums  $Q_0 = 320\,000$  W; amonjaka vārišanās temperatūra  $t_0 = -33$  °C; kondensācijas temperatūra  $t_k = 27,5$  °C; dzesējošā ūdens temperatūra pirms kondensatora  $t_1 = 20$  °C, aiz kondensatora  $t_2 = 22,5$  °C; siltuma pārejas koeficients  $k = 815$  W/(m<sup>2</sup> · K).

No amonjaka  $p$ - $i$  diagrammas atrod, ka pārkarsēta tvaika entalpija pie ieejas kompresorā  $i_1 = 1635$  kJ/kg (391,5 kcal/kg), pārkarsēta tvaika entalpija pēc saspiešanas kompresorā  $i_2 = 1990$  kJ/kg (475 kcal/kg), bet sašķidrināta amonjaka entalpija aiz kondensatora  $i_3 = i_4 = 548$  kJ/kg (131 kcal/kg). Saskaņā ar izteiksmi (III-5) sistēmā cirkulējošā amonjaka daudzums

$$G = \frac{Q_0}{1000(i_1 - i_4)} = \frac{320\,000}{1000(1635 - 548)} = 0,294 \text{ kg/s.}$$

Kondensatora siltuma slodze [izteiksme (VI-41a)]

$$Q = 1000G(i_2 - i_3) = 1000 \cdot 0,294(1990 - 548) = 424\,000 \text{ W.}$$

Vidējā temperatūru starpība

$$\Delta t = \frac{t_2 - t_1}{2,31g \frac{t_k - t_1}{t_k - t_2}} = \frac{22,5 - 20}{2,31g \frac{27,5 - 20}{27,5 - 22,5}} = 6,2 \text{ °C.}$$

Kondensatora īpatnējā siltuma slodze

$$q = k\Delta t = 815 \cdot 6,2 = 5050 \text{ W/m}^2.$$

Kopējā kondensatora sildvirsmas [izteiksme (VI-42)]

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{424\,000}{5050} = 84 \text{ m}^2.$$

Dzesējošā ūdens patēriņš [izteiksme (VI-44)]

$$W = \frac{Q}{1000\rho c(t_2 - t_1)} = \frac{424\,000}{1000 \cdot 1000 \cdot 4,19(22,5 - 20)} \approx 0,04 \text{ m}^3/\text{s.}$$

Cauruļu skaitu vienā sildvirsmas sekcijā aprēķina pēc formulas (VI-49), ja  $d_1 = 50 \text{ mm}$ ,  $d_a = 57 \text{ mm}$ ,  $w = 1,4 \text{ m/s}$ , t. i.,

$$n_1 = \frac{4W}{\pi d_1^2 w} = \frac{4 \cdot 0,04}{3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 1,4} = 18.$$

Vienas sekcijas caurules aprēķina garums [izteiksme (VI-51)]

$$L_1 = \frac{F}{\pi d_v n_1} = \frac{84}{3,14 \cdot 0,053 \cdot 18} = 28 \text{ m.}$$

Pieņemot sekciju skaitu  $z = 8$ , cauruļu darba garums

$$l = \frac{L_1}{z} = \frac{28}{8} = 3,5 \text{ m.}$$

Kopējais cauruļu skaits kondensatorā

$$n = zn_1 = 8 \cdot 18 = 144.$$

Nepieciešamais cauruļu kopējais garums

$$L = nl = 144 \cdot 3,5 = 504 \text{ m.}$$

Pieņemot, ka caurules izvietotas uz regulāra sešstūra malām un cauruļu solis  $S = 1,5$ ,  $d_a = 1,5 \cdot 57 = 85 \text{ mm}$ , no VI-15. tabulas atbilstoši cauruļu skaitam  $n$  atrod, ka  $D'/S = 12$ . Tātad cauruļu kūļa diametrs

$$D' = 12S = 1020 \text{ mm.}$$

bet kondensatora cilindra apvalka iekšējais diametrs

$$D_1 = D' + 4d_a = 1020 + 4 \cdot 57 \approx 1250 \text{ mm.}$$

Saskaņā ar VI-15. tabulu, ja cauruļu kūļa diametra  $D'$  un cauruļu soļa  $S$  attiecība ir 12, tad cauruļu kūlī regulārā sešstūrī var ievietot tikai  $n_0 = 127$  caurules. Pārējās  $n - n_0 = 144 - 127 = 17$  caurules jāizvieto sešos cauruļu režģa segmentos, tātad katrā segmentā jāievieto apmēram 3 caurules.

4. piemērs. Aprēķināt plāksņu-cauruļu iztvaikotāju iepriekšējā piemērā aprēķinātajai aukstuma iekārtai, kuras aukstuma ražīgums  $Q_0 = 320\,000 \text{ W}$ . Amonjaka vārīšanās temperatūra  $t_0 = -33 \text{ }^\circ\text{C}$ , sāls šķīduma temperatūra, tam ieejot iztvaikotājā,  $t_1 = -26 \text{ }^\circ\text{C}$ , bet, izejot no iztvaikotāja,  $t_2 = -28 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sāls ( $\text{CaCl}_2$ ) šķīduma koncentrācija 28,4%, blīvums  $\rho_{\text{šķ}} = 1270 \text{ kg/m}^3$ , īpatnējais siltums  $c_{\text{šķ}} = 2,729 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ , sasaldēšanas temperatūra ir  $-43 \text{ }^\circ\text{C}$  (pielikuma 9. tabula). Pēc VI-14. tabulas datiem, plāksņu-cauruļu iztvaikotājiem īpatnējā siltuma slodze  $q = 2700 \text{ W/m}^2$ . Iztvaikotāja sildvirsmas [izteiksme (VI-46)]

$$F_1 = \frac{Q_0 \text{ bruto}}{q} = \frac{320\,000}{2700} = 118 \text{ m}^2.$$

No kataloga izvēlas tuvāko lielāko standartizēto iztvaikotāju 120III (VI-11. tabula).

Cirkulējošā dzesējošā sāls šķīduma tilpums [izteiksme (VI-47)]

$$V_{\text{šķ}} = \frac{Q_0}{1000\rho_{\text{šķ}}c_{\text{šķ}}(t_2 - t_1)} = \frac{320\,000}{1000 \cdot 1270 \cdot 2,729 \cdot 2} = 0,046 \text{ m}^3/\text{s.}$$



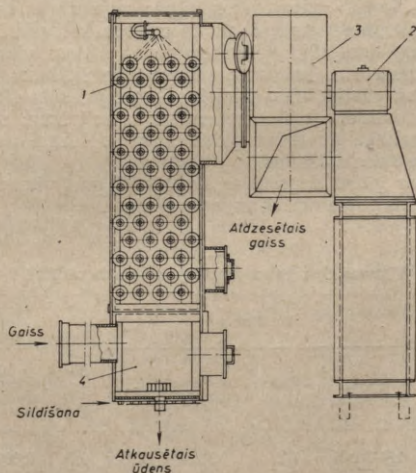
## 5. Gaisa dzesētāji

Gaisa dzesētāji ir siltumapmaiņas aparāti, kurus izmanto saldētavas kameru gaisa dzesēšanai, cirkulācijas radišanai un arī kameru vēdināšanai. Gaisa dzesētājus uzstāda kameru tiešā tuvumā vai pašā kamerā, jo tad nav vajadzīgi gaisa vadi. Lielākās telpās atdzesētā gaisa plūsmas sadales, virziena un cirkulācijas apstākļu uzlabošanai nepieciešams spiedvads. Mākslīgā gaisa cirkulācija nodrošina vienmērīgu temperatūras un mitruma režīmu visās kameras daļās, veicina siltuma aizvadišanu no dzesējamiem un sasaldējamiem produktiem, intensificē siltuma atdevi no gaisa uz dzesējošajiem ķermeņiem.

Izšķir sausus, mitros un jaukta tipa gaisa dzesētājus.

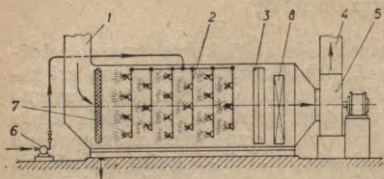
Sausajos gaisa dzesētājos gaiss plūst gar cauruļu virsmu, kurās tieši iztvaiko darba viela vai arī cirkulē iztvaikotajā atdzesēts sāls šķīdums.

Vertikālā virsmas tipa gaisa dzesētāja (VI-36. att.) metāla apvalkā novietoti amonjaka ribotu cauruļu dzesējošie ķermeņi 1. Komplektā ar dzesētāju uzstādīts ventilators 3, kuru darbina ar rotora vārpstu tieši savienots elektrodzinējs 2 (VI-16. tab.). Gaisu



VI-36. att. Tiešās iztvaices vertikālais virsmas tipa gaisa dzesētājs:

1 — amonjaka dzesējošais ķermenis; 2 — elektrodzinējs;  
3 — ventilators; 4 — tvertne.



VI-37. att. Mitrais sprauslu tipa gaisa dzesētājs:

1 — gaisa pievads; 2 — sprauslas; 3 — pilieni atdalītājs; 4 — gaisa spiedvads; 5 — ventilators; 6 — sūknis; 7 — gaisa filtrs; 8 — kalorifers.

ūdeni. Tāpēc iekārtas apakšējā daļā paredzēta vanna 4 atkausētā ūdens savākšanai un aizvadīšanai.

Mitrajos gaisa dzesētājos gaiss atdziest, saskaroties tieši ar speciālos iztvaikotajos atdzesētu ūdeni vai sāls šķīdumu. Visplašāk izplatīti sprauslu tipa mitrie gaisa dzesētāji (VI-37. att.). Tos izmanto galvenokārt gaisa kondicionēšanai. Gaiss atdziest, saskaroties ar gaisa plūsmā izsmidzinātiem auksta šķīduma pilieniem (gaisa plūsmas ātrums 1,5...2,5 m/s). No sprauslu kameras izplūst pārdzesēts ļoti mitrs gaiss, tāpēc vajadzīgās temperatūras un relatīvā mitruma sasniegšanai to uzsilda kaloriferā 8.

Mitro gaisa dzesētāju priekšrocības ir šādas: vienkārša konstrukcija, samērā lēti. Trūkumi: atklātā sāls šķīduma cirkulācijas sistēma izraisa pastiprinātu iekārtas koroziju; sāls šķīduma koncentrācija pazeminās, jo tas uzņem gaisa mitrumu; samērā lielā aparāta hidrauliskā pretestība gaisa caurplūdei izraisa elektroenerģijas patēriņa palielināšanos.

Jaukta tipa gaisa dzesētājos kombinēti gan virsmas, gan arī izsmidzināšanas gaisa dzesēšanas paņēmieni.

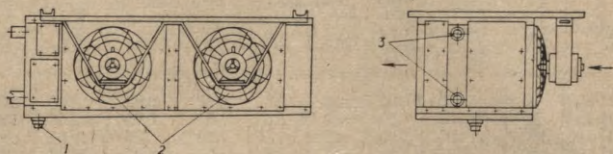
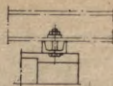
VI-16. tabula

Virsmas tipa gaisa dzesētāju tehniskie rādītāji

Sildvirsmas (m <sup>2</sup> )	Vidējais aukstumam ražīgums (W)	Ventilators				Elektrodzīvējamā jauda (kW)	Izsmidzināšanas ierīce sniega atkausēšanai	
		marka	ražīgums (m <sup>3</sup> /s)	spiediens (mm H <sub>2</sub> O)	η		siltā ūdens patēriņš (m <sup>3</sup> /s)	sprauslu skaits
50	6 000	II4-70N5	1,1	31	0,79	0,8	0,00033	3
75	9 000	II4-70N6	1,65	48	0,79	1,5	0,00045	4
100	12 000	II4-70N6	2,2	39	0,75	1,5	0,00067	6
150	18 000	II4-70N7	3,3	60	0,77	3,0	0,00100	9
200	24 000	II4-70N8	4,45	85	0,80	5,5	0,00133	12
250	30 000	II4-70N8	5,55	68	0,73	7,5	0,00167	15



Sliprināšanas  
variants



VI-38. att. Piekarināmie gaisa dzesētāji BOП:

1 — atkausētā ūdens izvads; 2 — aksiālie ventilatori; 3 — darba vielas pievada un izvada  
iscaurules.

Arvien vairāk kameru dzesēšanai ievieš perspektīvos piekarināmos amonjaka gaisa dzesētājus BOП, kurus novieto pie sienas (BOП-50; BOП-75) vai griestiem (BOП-100; BOП-150) (VI-38. att.). Tie netraucē kravu izvietojumu un ļauj lietderīgāk izmantot kameru tilpumu. Bez tam vienkāršojas gaisa sadales shēma. Ribotu cauruļu dzesējošajiem ķermeņiem pūš cauri gaisu divi aksiālie ventilatori 2, kuru asiņ novietotas horizontāli vai vertikāli. Šī tipa gaisa dzesētāju parametri doti VI-17. tabulā. Sniega kārtas atkausēšanai un sildvirsmas starp caurulēm novieto cauruļveida elektriskos sildelementus vai arī izmanto karsta amonjaka tvaiku vai gaisu (ja kameras temperatūra virs 2 °C).

## 6. Mitra gaisa parametru maiņa gaisa dzesētājā

Mitram gaisam saskaroties ar dzesējošajām virsmām un aukstuma nesējiem (sāls šķīdumu, ūdeni) gaisa dzesētājos, kondicionēšanas iekārtās, aprasināšanas kondensatoros, ūdens dzesēšanas iekārtās un citur, notiek siltuma un mitruma apmaiņas procesi. Aukstuma iekārtās šie procesi mitrā gaisā notiek pie neliela spiediena, tāpēc mitram gaisam un tā sastāvā esošajam ūdens tvaikam var pielietot ideālo gāzu likumus.

Mitru gaisu raksturo spiediens, temperatūra, mitruma saturs, absolūtais un relatīvais mitrums, īpatnējais siltums, entalpija, blīvums un citi parametri. Siltuma un mitruma apmaiņas procesos ūdens tvaika daudzums mitrā gaisā mainās, bet sausa gaisa daudzums tajā paliek nemainīgs. Tāpēc visus mitra gaisa parametrus attiecina uz 1 kg sausa gaisa.

Atmosfēras mitra gaisa barometriskais spiediens saskaņā ar Daltona likumu ir sausa gaisa un ūdens tvaika parciālo spiedienu summa:  $p_b = p_{s.g} + p_{tv}$ .

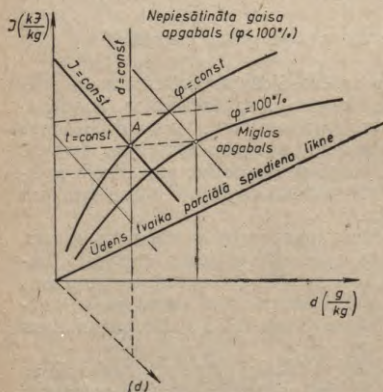
## Piekarināmo gaisa dzesētāju BOП tehniskais raksturojums

Gaisa dzesētājs	Slūdivrsuma (m <sup>3</sup> )	Aukstuma ražīgums, ja $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$ (W)	Aksiālā ventilatora diametrs (mm)	Elektrodzīnēja jauda (kW), ja apr. skaits sekundē		Gaisa patēriņš (m <sup>3</sup> /s), ja ventilatora apgriezību skaits sekundē		Elektrosilātāju jauda (kW)	Masa (kg)
				16,6	25	16,6	25		
BOП-50	50	5 800	400	0,4	0,6	0,67	0,92	8,68	340
BOП-75	75	8 700	400	0,4	0,6	0,67	0,92	8,68	380
BOП-100	100	11 600	600	1,1	1,5	1,38	2,07	12,00	821
BOП-150	150	17 500	600	1,1	1,5	1,38	2,07	12,00	888

Tvaika parciālais spiediens  $p_{tv}$  gaisa temperatūrā  $t$  ir atkarīgs no gaisa piesātinājuma pakāpes, t. i., no gaisa relatīvā mitruma  $\varphi$ . Maksimālais ūdens tvaika parciālais spiediens ir piesātinātam gaisam ( $\varphi = 100\%$ ). Temperatūrai paaugstinoties, gaisa spēja uzņemt ūdens tvaiku palielinās.

Ja zināmi divi mitra gaisa parametri un barometriskais spiediens, tad, izmantojot gāzu likumu, var analītiski aprēķināt tā pārējos parametrus. Ertāk veikt aprēķinus ar grafiski analītisko metodi, izmantojot mitra gaisa stāvokļa  $I-d$  diagrammu, kurā uzskatāmi attēloti fizikālie procesi, kas noris mitrā gaisā.

Mitra gaisa parametru maiņa  $I-d$  diagrammā (VI-39. att.) attēlota platleņķa koordinātu sistēmā (leņķis starp asīm  $135^{\circ}$ ). Uz

VI-39. att. Mitra gaisa  $I-d$  diagramma.

vertikālās ordinātu ass atlikta 1 kg mitra gaisa entalpija  $I$  (kJ/kg), bet uz slīpās abscisu ass — mitruma saturs  $d$  (g/kg), t. i., cik gramu ūdens satur 1 kg sausa gaisa. Praktiski slīpo abscisu asi nelieto, bet  $d$  vērtības projicē uz horizontālo līniju, kas vilkta caur koordinātu sākumpunktu. Nemainīga mitruma satūra līnijas  $d = \text{const}$  attēlojas vertikāli, bet pastāvīgas entalpijas līnijas  $I = \text{const}$  novilkta paralēli pieņemtajai slīpajai abscisu asi. Diagrammā attēlotas arī izoterma  $t = \text{const}$ , pastāvīga gaisa relatīvā mitruma līnijas



$\varphi = \text{const}$  un ūdens tvaika parciālā spiediena likne. Gaisa stāvoklis pēc  $I$ - $d$  diagrammas nosakāms, zinot divus tā parametrus. Gaisa parametri  $I$ - $d$  diagrammā aprēķināti noteiktam barometriskajam spiedienam — parasti 745 mm Hg vai 760 mm Hg.

Gaisam saskaroties ar ūdens vai sāls šķīduma virsmu, notiek siltuma un mitruma pāreja no vienas vides uz otru.

Ja ūdens tvaika parciālais spiediens gaisā  $p_{tv}$  mazāks nekā robežslānī pie šķīduma virsmas  $p_w$ , kur gaiss ir piesātināts atbilstoši šķīduma virsmas temperatūrai  $t_w$ , tad notiek ūdens iztvaikošana un gaisa mitruma saturs  $d$  palielinās. Vienlaikus notiek arī siltuma pāreja, jo gaisā kopā ar tvaiku ieplūst siltums, kas patērēts ūdens iztvaikošanai, tātad gaisa entalpija  $I$  palielinās. Ūdens iztvaikošana un siltuma pāreja gaisā notiek tad, ja šķīduma temperatūra ir augstāka nekā dotā gaisa stāvokļa rāsas punkta temperatūra ( $t_w > t_r$ ).

Turpretim, ja  $t_w < t_r$ , tad notiek ūdens tvaika kondensācija no gaisa uz šķīduma virsmas, jo tad arī  $p_w < p_{tv}$ . Kondensācijas rezultātā gaisa mitruma saturs  $d$  un tā entalpija  $I$  samazinās.

Ūdens tvaika kondensācija un līdz ar to gaisa mitruma saturs  $d$  un entalpijas  $I$  samazināšanās notiek arī tad, ja mitrs gaiss saskaras ar cietu virsmu, kuras temperatūra  $t_w < t_r$ . Bet, ja gaisa temperatūra  $t_g > t_w > t_r$ , gaiss tikai atdziest (entalpija  $I$  samazinās) un  $d = \text{const}$ .

Lai noteiktu, kā mainās mitra gaisa stāvoklis siltumapmaiņas aparātā, attiecina patērēto vai izdalīto siltuma daudzumu  $Q$  pret iztvaikoto vai kondensēto ūdens daudzumu  $W$ , iegūstot gaisa entalpijas un mitruma saturs attiecību  $\epsilon$ , t. i.,

$$\frac{Q}{W} = \frac{\Delta I}{\Delta d} = \frac{I - I_w}{d - d_w} = \epsilon \text{ [kJ/(kg mitruma)]}. \quad (\text{VI-59})$$

Ja pieņem, ka ūdens vai dzesējošās virsmas temperatūra  $t_w$  nemainās, tad arī šai temperatūrai atbilstošā piesātinātā gaisa entalpija  $I_w$  un mitruma saturs  $d_w$  ir pastāvīgi lielumi. Tādā gadījumā vienādība (VI-59) raksturo taisni (VI-40. att.), kas iet caur gaisa stāvokļa sākumpunktu  $A$  ( $I, d$ ) un punktu  $B$  ( $I_w, d_w$ ), kurš atrodas uz gaisa piesātinājuma līknes  $\varphi = 100\%$  temperatūrā  $t_w$ .

Lielums  $\epsilon$  raksturo procesa līnijas slīpuma leņķi pret abscisu asi, un to sauc arī par *procesa leņķisko mērogu*. Aprēķinu ērtības labad leņķisko mērogu  $\epsilon$  attēlo staru veidā uz  $I$ - $d$  diagrammas malām (pielikuma  $I$  diagramma). Ja  $I = \text{const}$ , tad lielums  $\epsilon = 0$ , bet, ja  $d = \text{const}$ , tad  $\epsilon = \infty$ . Izmantojot leņķisko mērogu, pēc attiecības  $Q/W$  var noteikt gaisa stāvokļa maiņas procesa virzienu un visus pārējos gaisa stāvokļa parametrus procesa beigās, ja zināms viens no parametriem. Pēc dotā procesa virziena savukārt var noteikt īpatnējo siltuma patēriņu. Tātad gaisa stāvokļa maiņas

procesa virziens atkarīgs no ūdens temperatūras  $t_w$ , jo punkta  $B$  koordinātes atrod izotermas  $t_w = \text{const}$  un liknes  $\varphi = 100\%$  krustpunktā.

Gaisam atrodoties saskarē ar ūdeni, kura temperatūra var būt dažāda, visi iespējamie gaisa stāvokļa parametri, tam izplūstot no siltumapmaiņas aparāta, atradīsies laukumā  $I-A-7$ , kuru ierobežo likne  $\varphi = 100\%$  un pieskares, kas novilkta šai liknei no gaisa stāvokļa sākumpunkta  $A$  (VI-41. att.).

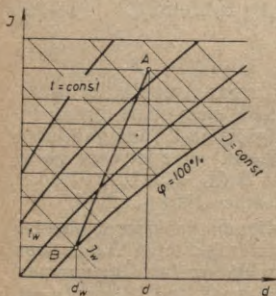
Process  $A-1$  iespējams, ja ūdens temperatūra zemāka nekā gaisa rasas punkta temperatūra ( $t_w < t_r$ ). Tad siltumu no gaisa intensīvi aizvada, un gaisa temperatūra pazeminās. Rezultātā gaisā esošais ūdens tvaiks kondensējas, un gaisa mitruma saturs  $d$  samazinās, t. i., gaiss atdziest un kļūst sausāks.

Process  $A-2$  notiek bez tvaika kondensācijas, ja  $t_w = t_r$ , tad gaisa mitruma saturs  $d = \text{const}$ .

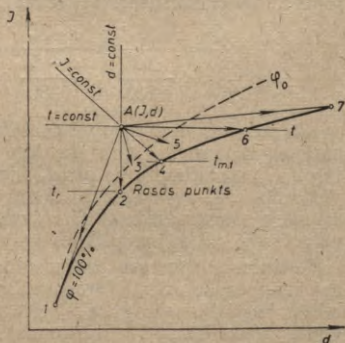
Process  $A-3$  var norisināties, ja ūdens temperatūra augstāka nekā gaisa rasas punkta temperatūra, bet zemāka nekā mitrā termometra temperatūra ( $t_{m.t} > t_w > t_r$ ). Šajā procesā daļu siltuma, kuru gaiss atdod ūdenim, izmanto ūdens iztvaikošanai, tāpēc gaiss atdziest un kļūst mitrāks, bet tā entalpija samazinās.

Process  $A-4$  novērojams, ja ūdens temperatūra vienāda ar mitrā termometra temperatūru ( $t_w = t_{m.t}$ ). Gaisa entalpija  $I = \text{const}$ , jo viss siltums, kuru gaiss atdod ūdenim, tiek patērēts ūdens iztvaikošanai, un kopā ar tvaiku tas atgriežas gaisā. Gaiss kļūst mitrāks un var atdzist līdz mitrā termometra temperatūrai, kura nemainās.

Ja ūdens temperatūra augstāka nekā mitrā termometra temperatūra, bet zemāka nekā gaisa sākuma temperatūra ( $t > t_w > t_{m.t}$ ),



VI-40. att. Gaisa parametru izmaiņas, ja gaiss (punktā  $A$ ) saskaras ar ūdens virsmu, kuras temperatūra  $t_w = \text{const}$  (punktā  $B$ ).



VI-41. att. Gaisa parametru izmaiņas gaisa un ūdens savstarpējās iedarbības rezultātā.



tad gaisa stāvokļa izmaiņa notiek pa līniju A-5. Šajā procesā gaiss atdziest un kļūst mitrāks, kā arī palielinās tā entalpija, jo daļu siltuma gaisam pievada uz cirkulējošā ūdens rēžina, kā tas notiek gaisa mitrināšanas kamerās.

Process A-6 notiek, ja ūdens un gaisa temperatūras ir vienādas ( $t_w = t = \text{const}$ ). Gaiss kļūst mitrāks, bet ūdenim jāpievada siltums, lai tas iztvaikojot neatdziestu.

Process A-7 notiek, ja ūdens temperatūra ir augstāka nekā gaisa sākuma temperatūra ( $t_w > t$ ). Tad gaiss sasilst un kļūst mitrāks, bet ūdens atdziest.

Mitrajos sāls šķīduma gaisa dzesētājos piesātināta gaisa stāvokli pie dzesējošās virsmas raksturo punkts, kas neatrodas uz liknes  $\varphi = 100\%$ , bet gan uz liknes  $\varphi_0 = \frac{p_{sk}}{p_w}$ . Līkne  $\varphi_0$  diagrammā novirzīta pa kreisi no liknes  $\varphi = 100\%$ , jo virs sāls šķīduma ūdens tvaika parciālais spiediens gaisā ir mazāks nekā virs tīra ūdens vai ledus ( $p_{sk} < p_w$ ) un līdz ar to atbilstoši mazāks ir piesātināta gaisa mitruma saturs. Līknes  $\varphi_0$  novirze ir jo lielāka, jo zemāka ir sāls šķīduma sasaldēšanas temperatūra. Praktiskiem aprēķiniem lieto īpašas I-d diagrammas, kur ar punktētām līnijām atzīmētas  $\varphi_0$  robežlīknes sāls šķīdumiem, kuru sasaldēšanas temperatūras ir  $-5 \dots -40^\circ\text{C}$ . Dzesējošās virsmas temperatūru var pieņemt par  $0,5^\circ\text{C}$  augstāku nekā no dzesētāja aizplūstošā sāls šķīduma temperatūra.

Praksē bieži sastopami silta un auksta gaisa sajaukšanas gadījumi. Ja sajaucamā aukstā gaisa parametrus I-d diagrammā (VI-42. att.) raksturo punkts A ( $d_1, t_1, I_1$ ) un tā pieplūstošais daudzums laika vienībā ir  $G_1$  (kg), bet siltā gaisa parametrus raksturo punkts B ( $d_2, t_2, I_2$ ) un tā pieplūstošais daudzums laika vienībā ir  $G_2$  (kg), tad, apzīmējot šo gaisa daudzumu attiecību ar  $n$ , gaisa maisījuma mitruma saturs

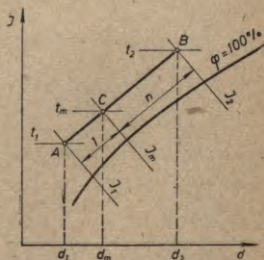
$$d_m = \frac{d_1 G_1 + d_2 G_2}{G_1 + G_2} = \frac{d_1 n + d_2}{n + 1} \quad (\text{g/kg}). \quad (\text{VI-60})$$

Ja gaisa sajaukšana notiek bez siltuma pievadīšanas un aizvadišanas un bez ārējā darba veikšanas, tad maisījuma entalpija

$$I_m = \frac{I_1 G_1 + I_2 G_2}{G_1 + G_2} = \frac{I_1 n + I_2}{n + 1} \quad (\text{kJ/kg}). \quad (\text{VI-61})$$

Pārveidojot šīs vienādības, iegūst attiecību

$$\frac{d_m - d_1}{I_m - I_1} = \frac{d_m - d_2}{I_m - I_2}. \quad (\text{VI-62})$$



VI-42. att. Auksta un silta gaisa sajaukšanas procesa attēlojums I-d diagrammā.

Tas ir tādas taisnes vienādojums, kas savieno punktus  $A$  un  $B$ . Punkts  $C$  ( $d_m, t_m, I_m$ ), kas raksturo gaisa maisījuma parametrus, atrodas uz šīs taisnes. Šī taisne noteiktos apstākļos var krustot likni  $\varphi=100\%$ . Tad punkts  $C$  var atrasties arī uz gaisa piesātinājuma līnijas vai miglas apgabalā — zem līnijas  $\varphi=100\%$ .

Izsakot no vienādības (VI-60)  $n$ , iegūst šādu izteiksmi:

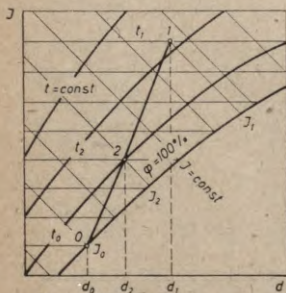
$$n = \frac{G_1}{G_2} = \frac{d_2 - d_m}{d_m - d_1} = \frac{BC}{AC} \quad (\text{VI-63})$$

Kā redzams, nogrieznis  $AC$  proporcionāls siltākā gaisa daudzumam  $G_2$ , kuru raksturo punkta  $B$  parametri, bet nogrieznis  $BC$  proporcionāls vēsākā gaisa daudzumam  $G_1$ , ko raksturo punkta  $A$  parametri.

## 7. Gaisa dzesētāju aprēķins

Aprēķinot gaisa dzesētāju, galvenais uzdevums ir noteikt nepieciešamo sildvirsmas laukumu  $F$  un cirkulējošā gaisa tilpumu  $V$ , lai pareizi varētu izvēlēties ventilatoru. Aprēķina izejas dati ir gaisa dzesētāja aukstuma ražīgums, saldētavas kameras temperatūras un mitruma režīms, aukstuma aģenta vai aukstuma nesēja veids un sildvirsmas konstrukcija.

Sausajos virsmas tipa dzesētājos gaisa stāvokļa izmaiņu, gaisam izplūstot caur gaisa dzesētāju,  $I-d$  diagrammā raksturo taisne  $I-2$  (VI-43. att.). Punkts  $1$  raksturo gaisa parametrus pirms dzesētāja, punkts  $2$  — parametrus aiz dzesētāja, bet punkts  $0$  — piesātinātā gaisa parametrus pie aukstās dzesētāja virsmas. Punktu  $2$  uz taisnes  $0-1$  atrod, zinot kādu no atdzesētā gaisa parametriem, piemēram, temperatūru  $t_2$ . Izoterma  $t_2 = \text{const}$  krustpunkts ar līniju  $0-1$  ir meklētais punkts  $2$ .



VI-43. att. Gaisa parametru izmaiņas virsmas tipa gaisa dzesētājā.

Dzesētāja sildvirsmas laukumu aprēķina, izmantojot siltuma plūsmas vienādojumu, šādi:

$$F = \frac{Q_0}{k\Delta t} = \frac{Q_0}{q} \quad (\text{m}^2), \quad (\text{VI-64})$$

kur  $Q_0$  — gaisa dzesētāja aukstuma ražīgums (W);

$k$  — koeficients, kas raksturo siltuma pāreju no gaisa uz dzesējošo vidi [W/(m<sup>2</sup>·K), (VI-18. tab.)];

$\Delta t$  — gaisa un dzesējošās vides vidējā temperatūru starpība ( $\Delta t = 8 \dots 10^\circ\text{C}$ );

$q$  — aparāta īpatnējā siltuma slodze (W/m<sup>2</sup>).



Cirkulējošā gaisa tilpumu aprēķina šādi:

$$V_g = \frac{Q_0}{1000\rho_g(I_1 - I_2)} \quad (\text{m}^3/\text{s}), \quad (\text{VI-65})$$

kur  $\rho_g$  — gaisa vidējais blīvums dzesētāja temperatūrā ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$I_1$  un  $I_2$  — gaisa entalpija pirms un aiz dzesētāja ( $\text{kJ}/\text{kg}$ ). To atrod pēc  $I-d$  diagrammas.

VI-18. tabula

Sauso virsmas tipa gaisa dzesētāju siltuma pārejas koeficienti  $k$  un īpatnējā siltuma slodze  $q$

Gaisa kustības raksturs un cauruļu veids	Gaisa ātrums brīvajā šķēsgriezumā ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ )	$k$		$q$	
		$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$
Gaisa plūsma gludu cauruļu garenvirzienā	1,5 ... 2,5	18 ... 21	16 ... 18	160 ... 190	145 ... 160
Gaisa plūsma gludu cauruļu šķērsvirzienā	3 ... 5	35 ... 43	30 ... 37	315 ... 385	270 ... 330
Gaisa plūsma ribotu cauruļu šķērsvirzienā,					
ja $t_0 \leq -40^\circ\text{C}$	3 ... 5	12	10	110	90
$t_0 \leq -20^\circ\text{C}$	3 ... 5	13	11	118	100
$t_0 \leq -15^\circ\text{C}$	3 ... 5	14	12	125	110
$t_0 \geq 0^\circ\text{C}$	3 ... 5	17	15	150	135

Mitrajos gaisa dzesētājos ar izsmidzināšanas sprauslām grūti noteikt sildvirsmas laukumu, tāpēc siltuma pārejas koeficientu attiecina uz aparāta gaisa plūsmai perpendikulāro brīvo šķēsgriezumu.

Mitrā gaisa dzesētāja aukstuma ražīgums

$$Q_0 = F'k'\Delta t_\xi \quad (\text{W}), \quad (\text{VI-66})$$

kur  $F'$  — dzesētāja šķēsgriezuma laukums, kas perpendikulārs gaisa plūsmai ( $\text{m}^2$ );

$k'$  — attiecinātais siltuma pārejas koeficients [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ];

$\Delta t$  — gaisa un dzesējošās vides temperatūru starpība ( $\text{K}$ );

$\xi$  — mitruma kondensācijas koeficients.

Mitruma kondensācijas koeficienta skaitliskās vērtības atkarība no dzesējamā gaisa parametriem ir šāda:

$$\xi = \frac{I_1 - I_2}{c_g(t_1 - t_2)}, \quad (\text{VI-67})$$

kur  $c_g$  — gaisa īpatnējais siltums [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ];

$I_1$  un  $t_1$  — gaisa entalpija un temperatūra pirms dzesētāja;

$I_2$  un  $t_2$  — gaisa entalpija un temperatūra aiz dzesētāja.

Mitrajos gaisa dzesētājos atdzesētā gaisa temperatūra  $t_2$  ir ļoti tuva dzesējošās vides temperatūrai, bet gaisa relatīvais mitrums  $\varphi_2=95\dots97\%$ .

Cirkulējošā gaisa tilpumu aprēķina tāpat kā sausajiem gaisa dzesētājiem — pēc vienādības (VI-65).

5. piemērs. Aprēķināt sausā amonjaka gaisa dzesētāja ribotu cauruļu virsmu un ventilatora ražīgumu, ja tā aukstuma ražīgums  $Q_0=20\,000$  W, kameras gaisa temperatūra  $t=0^\circ\text{C}$ , relatīvais mitrums  $\varphi=90\%$ , gaisa plūsmas ātrums dzesētājā  $w=4$  m/s. Pieņem, ka dzesētājā ieplūstošā gaisa temperatūra  $t_1=+1^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_1=-90\%$ ; no dzesētāja izplūstošā gaisa temperatūra  $t_2=-3^\circ\text{C}$ ; amonjaka vārišanās temperatūra  $t_0=-11^\circ\text{C}$ , t. i., par  $8^\circ\text{C}$  zemāka nekā atdzesētā gaisa temperatūra.

Mitra gaisa  $I-d$  diagrammā (VI-43. att.) atrod punktus 1 ( $t_1=+1^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_1=90\%$ ) un 0 ( $t_0=-11^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_0=100\%$ ) savienojošo līniju. Tās krustpunktā ar izotermu  $t_2=-3^\circ\text{C}$  ir atdzesētā gaisa raksturojošais punkts 2, kurā  $\varphi_2\approx 100\%$ . Gaisa entalpija pirms atdzesēšanas  $I_1=10$  kJ/kg (2,42 kcal/kg), bet pēc atdzesēšanas  $I_2=4,6$  kJ/kg (1,1 kcal/kg). Siltuma pārejas koeficients ribotu cauruļu dzesētājiem (VI-18. tab.)  $k=14$  W/(m<sup>2</sup>·K).

Vidējā logaritmiskā temperatūru starpība

$$\Delta t = \frac{[1 - (-11)] - [(-3) - (-11)]}{2,3 \lg \frac{12}{8}} = 9,7^\circ\text{C}.$$

Sildvirsmas [izteiksme (VI-64)]

$$F = \frac{20\,000}{14 \cdot 9,7} = 147 \text{ m}^2.$$

Ventilatora ražīgums [izteiksme (VI-65)]

$$V_g = \frac{20\,000}{1000 \cdot 1,3(10 - 4,6)} = 2,85 \text{ m}^3/\text{s}.$$



## VII nodaļa

### PALIGAPARĀTI, IERICĒS UN MEHĀNISMI

Tvaika kompresijas aukstuma mašīna bez jau aplūkotajiem pamatelementiem — kompresora, kondensatora un iztvaikotāja — sastāv no palīgaparātiem un ierīcēm, kā arī regulējošās un noslēdzošās armatūras un cauruļvadiem. Pie palīgaparātiem un ierīcēm pieder eļļas atdalītāji, eļļas savācēji, šķidrums atdalītāji, starptrauki, gaisa atdalītāji, resiveri, filtri, mitruma atdalītāji, ventilatori un sūkņi.

Palīgaparāti nodrošina ilgstošu aukstuma iekārtas darbu bez traucējumiem, atvieglo darba parametru regulēšanu un paaugstina iekārtas darba ekonomiskumu.

Sajā nodaļā aplūkoti galvenie palīgaparātu un ierīču tipi, to pieslēgšanas shēmas, kā arī doti daži dati par armatūru un cauruļvadiem.

#### 1. Eļļas atdalītāji un savācēji

Eļļas atdalītāji uztver eļļu, kas kopā ar aukstuma aģenta tvaiku izplūst no kompresora, un neļauj tai lielā daudzumā iekļūt siltumapmaiņas aparātos — kondensatorā un iztvaikotājā. Eļļas atdalītājus uzstāda spiedvadā starp kompresoru un kondensatoru.

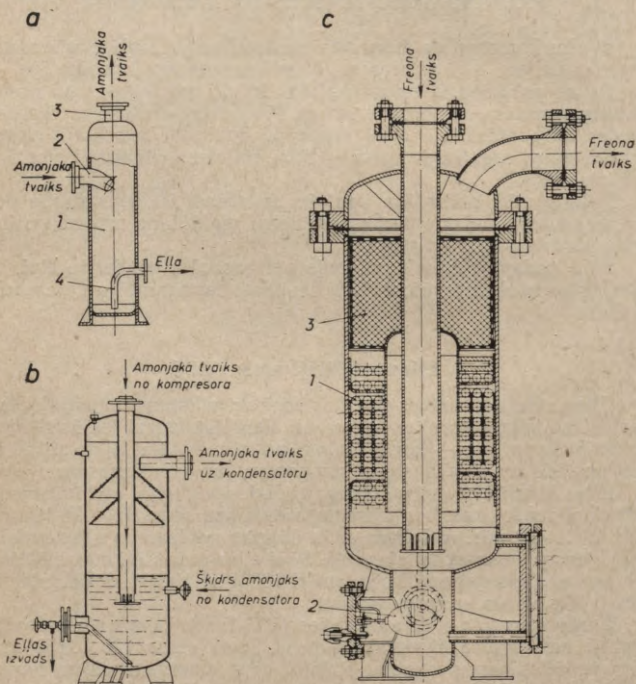
Eļļas atdalītājos *bez pildījuma* (VII-1. att. a) eļļu atdala, strauji izmainot tvaika kustības virzienu, vienlaikus samazinot tā ātrumu līdz 0,7...0,8 m/s. Atdalītās eļļas daļiņas nosēžas uz eļļas atdalītāja sienām un satek tā lejasdaļā. Sādi eļļas atdalītāji slāņi efektīvi. Tie uztver eļļas daļiņas, kuru izmēri 100  $\mu$  un lielāki. Sīkākas daļiņas tvaiks aiznes uz kondensatoru.

*Barbotāžas tipa* eļļas atdalītājos (VII-1. att. b) amonjaka tvaiks ieplūst zem šķidrā amonjaka līmeņa, kuru uztur 125...150 mm virs ieplūdes caurules gala. Plūstot caur amonjaka slāni, tvaiks atdziest un atdalās eļļā, kas sakrājas aparātā lejasdaļā. Lai samazinātu šķidrums daļiņu izplūdi un uzlabotu eļļas atdalīšanu, aparātā starp šķidrums līmeni un tvaika izvadu ievietoti koniski perforēta skārda sieti — pilienu uztvērēji. Sādi eļļas atdalītāji salīdzinājumā ar atdalītājiem bez pildījuma darbojas daudz efektīvāk.

Tie atdala 90...95% eļļas, kuru no kompresora līdz nes aukstuma aģenta tvaiks.

Ļoti efektīvi darbojas eļļas atdalītāji, kuros aukstuma aģenta tvaiku dzesē ar ūdeni, kas plūst pa aparātā ievietotu caurules spirāli (VII-1. att. c). Atdzesētā tvaika temperatūra tikai par 10...20°C pārsniedz kondensācijas temperatūru. Atdzesētais tvaiks plūst caur keramikas gredzenu slāni, kas uztver sīkākās eļļas daļiņas.

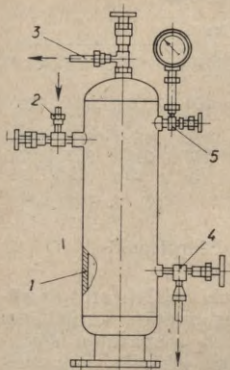
Eļļu no eļļas atdalītāja dažreiz ievada tieši kompresora karterā, bet visbiežāk to izvada no sistēmas filtrēšanai. Lielās aukstuma iekārtās eļļu no eļļas atdalītāja vispirms izlaiž eļļas savācējā (VII-2. att.), bet no tā pie pazemināta spiediena eļļu izlaiž ārā. Tāds



VII-1. att. Eļļas atdalītāji:

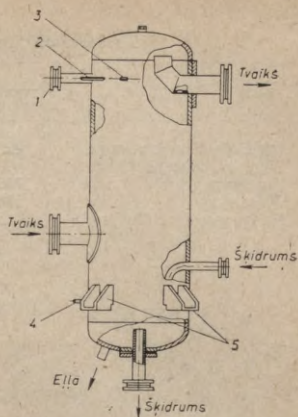
a — bez pildījuma (1 — korpuss; 2 — amonjaka pievads no kompresora; 3 — amonjaka izvads uz kondensatoru; 4 — izvads uz eļļas savācēju); b — barbotāžas tips; c — ar ūdens dzesēšanu (1 — dzesējošās caurules spirāle; 2 — pludiņa tips ventils eļļas izlaišanai; 3 — keramikas gredzenu pildījums — pilieni atdalītājs).





VII-2. att. Eļļas savācējs:

1 — korpuss; 2 — eļļas pievads no eļļas atdalītāja; 3 — amonjaka tvaika izvads uz iesūkšanas līniju; 4 — ventis eļļas izlaišanai; 5 — manometra pievienošanas ventis.



VII-3. att. Šķidruma atdalītājs:

1 — atloks spiediena izlīdzināšanas līnijas pieslēgšanai; 2 — atloks līmeņa regulatora pieslēgšanai tvaika pusē; 3 — caurule manometra pievienošanai; 4 — atloks līmeņa regulatora pievienošanai šķidruma pusē; 5 — balsti.

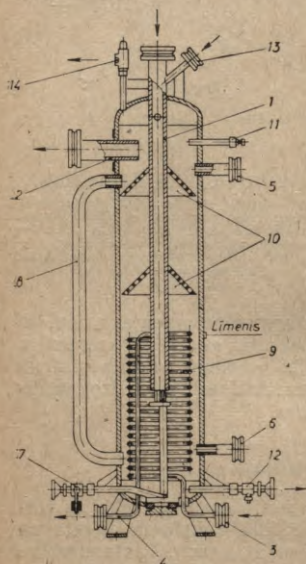
eļļas atdalītāju tukšošanas paņēmieni samazina amonjaka noplūdi un palielina apkalpes darba drošību. Lai eļļas savācējā pazeminātu spiedienu, to savieno ar sūcējvadu. Eļļu no viena aparāta otrā un arī atmosfērā izlaiž pie neliela spiediena krituma, noslēdzot ventiļus, kas savieno eļļas savācēju ar sistēmu.

## 2. Šķidruma atdalītāji

Šķidruma atdalītājs (VII-3. att.) ir metinātas konstrukcijas vertikāli novietots cilindrisks trauks ar šķidrā aukstuma aģenta un gāzveidā aukstuma aģenta pievadiem un izvadiem. Tas nodrošina sausa tvaika iesūkšanu kompresorā, un to uzstāda sūcējvadā starp iztvaikoļāju un kompresoru. Tvaiku no šķidruma pilieniem, kas izplūst no iztvaikoļāja, atdala, strauji izmainot plūsmas virzienu un samazinot tās ātrumu līdz 0,5 m/s. Caur šķidruma atdalītāju no regulējošā ventiļa iztvaikošanas sistēmai pievada šķidro amonjaku. Tvaiku, kas rodas droselējot, caur šķidruma atdalītāju aizvada uz kompresora sūcējvadu, bet šķidrums satek aparāta lejasdaļā un aizplūst uz iztvaikoļāju. Šķidruma atdalītāju regulāri atbrīvo no eļļas, kas sakrājas aparāta lejasdaļā. Dažu konstrukciju eļļas savācējiem ir sildīšanas ierīce, kas eļļu uzsilda pirms izlaišanas. Šķidruma atdalītāju no ārpusē pārklāj ar siltumizolāciju.

## Šķidrums atdalītāju tehniskais raksturojums

Rādītāji	Marka						
	70 OЖ	100 OЖ	125 OЖ	150 OЖ	200 OЖ	250 OЖ	300 OЖ
Iekšējais diametrs (mm)	426	500	600	800	1000	1000	1200
Sieniņas biezums (mm)	10	8	8	8	10	10	12
Augstums (mm)	1750	2060	2100	2710	2815	2870	2975
Masa (kg)	201	244	313	543	946	962	1373
Darba spiediens (kg/cm <sup>2</sup> )	15	15	15	15	15	15	15



VII-4. att. Starpraucis ar cauruļu spirāli šķidrums pārdzesēšanai:

1 — tvaika pievads no zemspiediena kompresora; 2 — tvaika izvads uz augstspiediena kompresoru; 3 — šķidrā amonjaka pievads no kondensatora uz cauruļu spirāli; 4 — šķidrā amonjaka izvads uz regulējošo ventili; 5 un 6 — pludiņa tipa līmeņa regulatora izlīdzināšanas cauruļu pievienošanas vietas; 7 — eļļas izvads; 8 — līmenrādis; 9 — cauruļu spirāle; 10 — konusveida siets, pilnienu uztverēji; 11 — manometra pieslēgs; 12 — trauka tukšošanas ventilis; 13 — šķidrā amonjaka ievads traukā; 14 — drošības vārsts.

## 3. Starprauci

Starprauci (VII-4. att.) ir siltumapmaiņas aparāti, kurus lieto divpakāpju un trīspakāpju amonjaka aukstuma iekārtās. Tajos notiek amonjaka tvaika starpdzesēšana pēc saspiešanas zemspiediena un vidēja spiediena kompresoros. Tajos veic arī šķidrums pārdzesēšanu pirms ievadīšanas regulējošajā ventilī.

Aparātā caur regulējošo ventili ievada nelielu šķidrā amonjaka daudzumu. Šis šķidrums vārās, uzņemot siltumu no dzesējamā amonjaka tvaika un šķidrā amonjaka. Amonjaka vārīšanās temperatūra atbilst spiedienam traukā (starpspiedienam). Dzesējošā šķidrā amonjaka līmeni regulē pludiņa tipa vārsts tā, lai traukā ievietotā caurules spirāle būtu iegremdēta šķidrums. Tvaiku dzesē, barbotējot to caur šķidro amonjaku vai arī izsmidzinot šķidro amonjaku tieši tvaika ieplūdes vadā. Tvaika kustības ātrums caur aparāta šķērsgrīzumu nedrīkst pārsniegt 0,5 m/s. Šķidrums kustības ātrumam caurules spirālē jābūt 0,5...0,7 m/s. Temperatūru starpību caurules spirāles sildvirsmas aprēķinam pieņem 4...5 °C, siltuma pārejas koeficients  $k=580...700 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ .



## Starptrauku tehniskais raksturojums

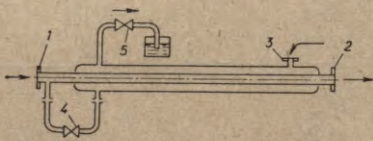
Rādītāji	Marka				
	40 ПС <sub>3</sub>	60 ПС <sub>3</sub>	80 ПС <sub>3</sub>	100 ПС <sub>3</sub>	120 ПС <sub>3</sub>
Iekšējais diametrs (mm)	426	600	800	1000	1200
Sieniņas biezums (mm)	10	8	8	10	12
Augstums (mm)	2390	2800	2920	2940	3640
Caurules spirāles sildvirsmas laukums (m <sup>2</sup> )	1,75	4,3	6,3	8,6	10
Aparāta tilpums (m <sup>3</sup> )	0,22	0,67	1,15	1,85	3,3
Aparāta masa (kg)	330	570	800	1230	1973

## 4. Gaisa atdalītāji

Gaisa izvadīšanai no aukstuma iekārtas sistēmas lieto gaisa atdalītājus. To darbības princips parādīts VII-5. attēlā. Gaisa un amonjaka tvaika maisījumu no aukstuma iekārtas kondensatora vai resivera, kur uzkrājas gaiss, ievada aparāta starpcauruļu telpā. Gāzu maisījums, saskaroties ar centrālās caurules auksto virsmu, atdziest. Centrālajā caurulē caur regulējošo ventili ievada šķidru amonjaku, bet amonjaka tvaiku aizvada uz iztvaikošanas sistēmu. Tādējādi centrālā caurule darbojas kā gāzu maisījuma dzesētājs. Amonjaks, kas atrodas gaisa un amonjaka tvaika maisījumā, kondensējas. Pēc tam to ievada centrālajā caurulē, no kurienes tas nokļūst iztvaikošanas sistēmā. Gaisu un citas nekondensētās gāzes no starpcauruļu telpas augšējās daļas caur ventili ievada traukā zem ūdens, kur absorbējas amonjaka paliekas.

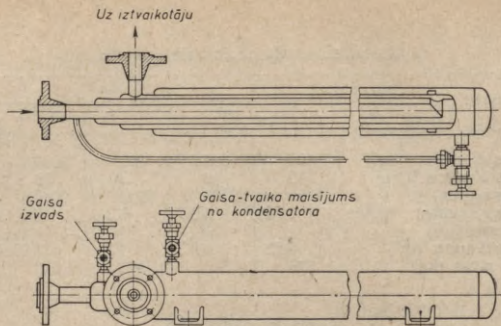
Aukstuma iekārtās plaši lieto pēc aprakstītā principa darbojošos S. Kobulašvili konstrukcijas gaisa atdalītāju (VII-6. att.). Tas sastāv no četrām cita citā ievietotām bezšuvju caurulēm. Pirmajā un trešajā caurulē cirkulē amonjaks, kas vārās zemā temperatūrā, bet otrajā un ceturtajā — gaisa un amonjaka maisījums.

Vissavienības Aukstumtehnikas rūpniecības zinātniskās pētniecības institūtā (ВНИИХИ) izveidoti nepārtrauktas darbības automatizētie gaisa atdalītāji AB-2 un AB-4.



VII-5. att. Gaisa atdalītāja darbības shēma:

1 — šķidrā amonjaka pievads no regulējošā ventila; 2 — tvaika izvads uz sūcējvadu; 3 — amonjaka tvaika un gaisa maisījuma pievads; 4 — pārplūdes ventils; 5 — ventils gaisa izvadīšanai.

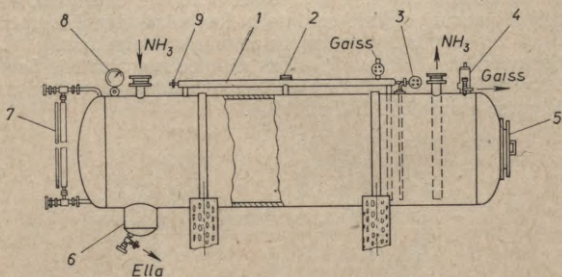


VII-6. att. S. Kobulašvili konstrukcijas gaisa atdalītājs.

## 5. Resiveri

Resiveri ir metinātas konstrukcijas cilindriskas tvertnes (VII-7. att.). Aukstuma iekārtās tos lieto par aukstuma aģentu tvertnēm. Atkarībā no pielietojuma izšķir līnijas, rezerves, drenāžas un cirkulācijas resiverus.

Līnijas resiveros savāc šķidro amonjaku no kondensatoriem. Tie noder par kompensējošām tvertnēm, ja šķidrā aukstuma aģenta pārtērīš iztvaikošanas sistēmā nav vienmērīgs. Līnijas resiveri ir nepieciešami visās aukstuma iekārtās, kuras komplektē ar aprasināšanas virsmas, elementu sekciju, vertikālajiem apvilkta cauruļu kūļa, iztvaikošanas kondensatoriem un ar gaisu dzesējamiem kon-



VII-7. att. Līnijas resivers PB:

1 — gaisa atdalītājs; 2 — atloks spiediena izlīdzināšanas līnijas pievienošanai; 3 — regulējošais ventīlis šķidrā amonjaka padevei uz gaisa atdalītāju; 4 — drošības vārsts; 5 — lūka; 6 — eļļas atdalītājs; 7 — limeprādis; 8 — manometrs; 9 — atloks caurulei, kas savieno gaisa atdalītāju ar iztvaikotāju.



Liniņas resiveru tehniskais raksturojums

Rādītāji	Marka					
	0,4 PB	0,75 PB	1,5 PB	2,5 PB	3,5 PB	5 PB
Iekšējais diametrs (mm)	406	600	800	800	1000	1200
Sieniņas biezums (mm)	10	8	8	8	10	12
Garums (mm)	3620	3190	3790	5790	4890	5480
Tilpums (m <sup>3</sup> )	0,4	0,75	1,5	2,5	3,5	5
Masa (kg)	410	430	700	1035	1455	2225
Darba spiediens (kgf/cm <sup>2</sup> )	18	18	18	18	18	18

densatoriem. Horizontālais apvilkta cauruļu kūļa kondensators vienlaikus nodē arī par liniņas resiveru. Liniņas resivera tilpumu pieņem aptuveni vienādu ar pusstundā patērēto šķidrā aukstuma aģenta tilpumu.

*Rezerves resiveros* glabājas aukstuma aģenta rezerves, kas nodrošina ilgstošu aukstuma iekārtas darbu. To tilpumu izvēlas atkarībā no aukstuma iekārtas sistēmas tilpuma.

*Drenāžas resiveros* savāc šķidro amonjaku no dzesējošajiem ķermeņiem sniega kārtas tīrīšanas un remonta gadījumos. Šos resiverus atšķirībā no liniņas resiveriem uzstāda zemā spiediena pusē un pārklāj ar siltumizolāciju. Drenāžas resivera tilpumam jābūt vienādam ar dzesējošo ķermeņu tilpumu vislielākajā aukstuma kamerā.

*Cirkulācijas resiverus* lieto automatizētās tiešās iztvaices sistēmās nepārtrauktai šķidrā aukstuma aģenta piegādei dzesējošajiem ķermeņiem un gaisa dzesētājiem. Arī šos resiverus uzstāda zemā spiediena pusē un pārklāj ar siltumizolāciju. Cirkulācijas resiveram šķidrā aukstuma aģentu pievada caur regulējošo ventili un uz iztvaikošanas sistēmu to aizvada ar cirkulācijas sūkni. No

VII-4. tabula

Drenāžas resiveru tehniskais raksturojums

Rādītāji	Marka				
	0,75 PД	1,5 PД	2,5 PД	3,5 PД	5 PД
Iekšējais diametrs (mm)	600	800	800	1000	1200
Sieniņas biezums (mm)	8	8	8	10	12
Garums (mm)	3000	3600	5730	4825	5340
Tilpums (m <sup>3</sup> )	0,75	1,5	2,5	3,5	5,0
Masa (kg)	430	700	1030	1450	2220
Darba spiediens (kgf/cm <sup>2</sup> )	15	15	15	15	15

## Cirkulācijas resiveru tehniskais raksturojums

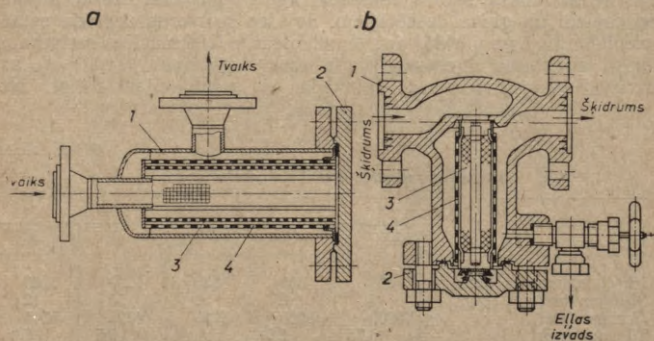
Rādītāji	Marka			
	1,5 РДВ	2,5 РДВ	3,5 РДВ	5 РДВ
Iekšējais diametrs (mm)	800	1000	1200	1200
Sienīņas biezums (mm)	8	10	12	12
Augstums (mm)	3880	3990	3565	4560
Tilpums (m <sup>3</sup> )	1,68	2,70	3,41	4,55
Masa (kg)	785	1285	1645	2000
Darba spiediens (kgf/cm <sup>2</sup> )	15	15	15	15

iztvaikošanas sistēmas šķidrās aukstuma aģents un tvaiks atgriežas cirkulācijas resiverā, kur tvaiks atdalās no šķidruma. Tvaiku aizvada uz kompresoru. Cirkulācijas resiverus izgatavo kā vertikālas cilindriskas tvertnes. To tilpums atkarīgs no iekārtas shēmas izveidojuma un sistēmas tilpuma.

Aukstuma aģentu resiveri apgādāti ar manometriem, drošības vārstiem amonjaka izlaišanai atmosfērā, limeņrāžiem, manometriem un noslēdzošajiem ventiļiem pievadu un izvadu vietās.

## 6. Filtri

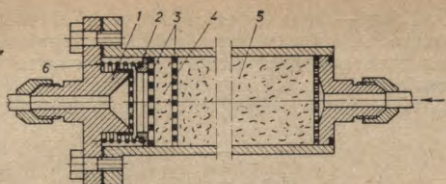
Izšķir tvaika un šķidrā aukstuma aģenta filtrus. *Tvaika filtri* attīra tvaiku pirms iesūkšanas kompresorā no cietām daļiņām — rūsas, sārņiem, smiltīm, kas var radīt kustošos daļu pastiprinātu izdilumu un veidot rievas uz cilindru spoguļvirsmas. Tvaika filtra (VII-8. att. a) metāla korpusā ievietots dubultīgi salikts stieplu



VII-8. att. Tvaika (a) un šķidrums (b) sietveida filtri:

1 — korpusis; 2 — vāks; 3 — filtrējošais siets; 4 — perforēts karkass.





VII-9. att. Filtrs-mitruma atdalītājs:

1 — korpus; 2 — apvalks; 3 — siets; 4 — vate; 5 — sili-  
kagels; 6 — atspere.

siets. Sietu periodiski izņem no cilindriskā korpusa un iztīra. Šo filtru uzstāda sūcējvadā tieši pie ieejas kompresorā. Aukstuma aģenta tvaiks viegli izplūst caur filtru, bet netīrumi paliek cilindriskajā sietā.

Līdzīgi izveidoti šķidrums filtri (VII-8. att. b), kurus ievieto šķidrā aukstuma aģenta vados, un tie pasargā no piesērēšanas automātiskās regulēšanas ierīces. Šādus filtrus uzstāda pirms automātiskiem regulējošiem ventiļiem.

Freona iekārtās šķidrā aukstuma aģenta vados bez tam vēl uzstāda filtrus-mitrums atdalītājus. Tie no freona atdala ūdeni, kurš iekļuvis sistēmā agregāta montāžas vai remonta laikā, kā arī to ūdeni, kas iekļūst sistēmā caur neblīvumiem kopā ar gaisu. Hermetiskajos freona aukstuma agregātos tie absorbē saistīto mitrumu, kas, elektrodzinēju ilgstoši ekspluatējot, izdalās no tā tinumu izolācijas materiāliem. Mitrums atdalītāja (VII-9. att.) korpusā papildīts ar silikagelu, kas absorbē mitrumu un novērš sasaldāšanu regulējošajā ventiļī. Silikagelu periodiski izber no korpusa, izkarsē 120...130 °C temperatūrā un lieto no jauna. Pēdējā laikā silikagela vietā par mitruma absorbentu lieto ceolītu NaA-2, kas izkaltēts 420 °C temperatūrā līdz nemainīgam svaram.

## 7. Cauruļvadi un armatūra

Visi aukstuma iekārtas pamatelementi un palīgaparāti (kompresori, kondensatori, dzesējošie ķermeņi, eļļas atdalītāji un citi aparāti) savienoti ar cauruļvadiem. Amonjaka iekārtās cauruļvados izgatavo no karsti velmētām bezšuvju caurulēm. Vienas šādas caurules garums ir 4...12,5 m, ārējais diametrs 57...426 mm (ГОСТ 8732-70). Lieto arī auksti vilktās bezšuvju caurules ar garumu līdz 9 m un ārējo diametru 20...50 mm (ГОСТ 8734-58).

Caurules aprēķinātas pārbaudes hidrauliskajam spiedienam  $40 \cdot 10^5$  Pa, to nosacītais darba spiediens ir  $25 \cdot 10^5$  Pa.

Maza ražīguma freona aukstuma mašīnām lieto vara caurules ar iekšējo diametru 3...20 mm, bet vidēja un liela ražīguma

aukstuma mašīnām — tērauda bezšuvju caurules. Freona aukstuma mašīnu cauruļvadu iekšējai virsmai jābūt tīrai. Izgatavojot siltumapmaiņas un citus aparātus, cauruļu iekšējo virsmu ķīmiski apstrādā, lai notīrītu sārnus, rūsu un eļļas kārtiņu.

Savienojošo cauruļvadu diametru var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi\omega}} \text{ (m)}, \quad (\text{VII-1})$$

kur  $V$  — laika vienībā caurplūstošā šķidrums vai tvaika tilpums ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$\omega$  — kustības ātrums cauruļvados ( $\text{m/s}$ ).

Cauruļvados pieļaujamo tvaika vai šķidrums kustības ātrumu un hidraulisko pretestību vērtības noteiktas tehnoloģiskajās projektēšanas normās, kuras izstrādājis Valsts aukstuma iekārtu projektēšanas institūts (Гипрохолод). Šīs normas ieteicams lietot praktiskajos aprēķinos.

Cauruļvadu šķērsgriezumam dažādās sistēmas vietās jānodrošina drošs un ekonomisks atsevišķo aparātu darbs. Ja kustības ātrums pārāk liels, rodas troksnis un vibrācijas, kas kaitē drošai aukstuma mašīnas ekspluatācijai.

Amonjaka mašīnu sūcējvados tvaika kustības ātrumu pieņem  $10 \dots 20 \text{ m/s}$ . Pieļaujamās hidrauliskās pretestības atkarīgas no vārišanās temperatūras. Ja  $t_0 < -30^\circ\text{C}$ , hidrauliskā pretestība  $\Delta p \leq 0,05 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  ( $\approx 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ ); ja  $0 > t_0 > -30^\circ\text{C}$ , hidrauliskā pretestība  $\Delta p = (0,2 \dots 0,05) 10^5 \text{ Pa}$ . Spiedvados pieļaujamais amonjaka tvaika kustības ātrums ir  $12 \dots 25 \text{ m/s}$  un  $\Delta p = (0,14 \dots 0,28) 10^5 \text{ Pa}$ .

Freona mašīnās tvaika kustības ātrumu sūcējvados pieņem  $8 \dots 15 \text{ m/s}$ , bet spiedvados  $10 \dots 18 \text{ m/s}$ ; pieļaujamās hidrauliskās pretestības apmēram tādas pašas kā amonjaka iekārtās.

Šķidra amonjaka un freona pieļaujamais kustības ātrums cauruļvados ir  $0,5 \dots 1,0 \text{ m/s}$ , bet sāls šķīduma pieļaujamais kustības ātrums —  $1,0 \dots 1,5 \text{ m/s}$ .

Atsevišķas caurules parasti savieno ar metināšanu. Atloku savienojumus lieto, tikai pievienojot cauruļvadus armatūrai, aparātiem un kompresoriem, par blīvējošo materiālu izmantojot klingerītu un paranītu. Sāls šķīduma un ūdens caurules savieno ar uzmvām. Vara caurulēm ar diametru līdz  $20 \text{ mm}$  savienojumu vietās izveido (ar valcēšanas paņēmieni) atloku. Atloku ar uzgriezni piespiež pie konusveida uzgaļa. Vara caurules savā starpā var savienot ar cietlodi.

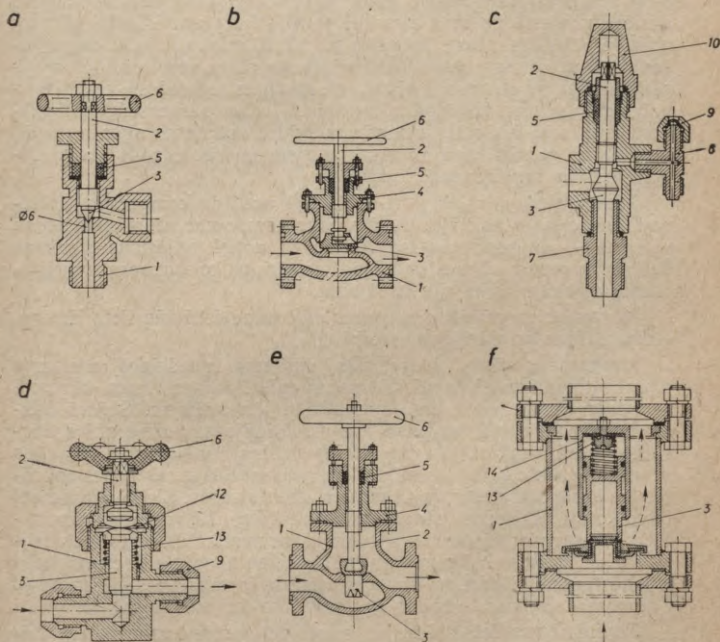
Noslēdzošās un regulējošās armatūras elementi parāditi VII-10. attēlā.

*Noslēdzošos ventīļus* uzstāda kompresora sūkšanas un spiediena pusē pie pamatelementiem un palīgaparātiem, kā arī daudzās citās aukstuma iekārtās. Noslēdzošais ventīlis sastāv no korpusa,



vārpstas, blīvslēga un riteniņa. Šķidrums vai tvaika kustības virzienam, plūstot caur ventili, jāsakrīt ar vārsta pacelšanas virzienu. Ventīļa konstrukcija atkarīga no caurplūdes šķēsgriezuma. Amonjaka mašīnu eļļas un gaisa izvados, kā arī sistēmas uzpildīšanai ar amonjaku lieto stūra ventīļus (VII-10. att. a) ar diametru 6...10 mm un konusveida vārpstas galu — vārstu, kas pieslīpēts pie ligzdas korpusā. Lielāka diametra (32...200 mm) ventīļu (VII-10. att. b) korpusi izlieti no speciāla čuguna.

Freona mašīnu noslēdzošajiem ventīļiem vārpstas galu nosedz uzskrūvējams vāks, kas novērš freona izplūdi gar vārpstu (VII-10. att. c). Šādiem ventīļiem ir neliela diametra atzarojums, pie kura var pievienot manometru, spiediena releju vai citu ierīci.



VII-10. att. Armatūra:

a — amonjaka stūra ventīlis; b — amonjaka noslēdzošais caurplūdes ventīlis; c — freona noslēdzošais stūra ventīlis; d — freona noslēdzošais membrānas tipa ventīlis; e — amonjaka regulējošais ventīlis; f — vienvirziens vārsts; 1 — korpusis; 2 — darba vārpsta; 3 — vārsts; 4 — vāks; 5 — blīvslēgs; 6 — riteniņš; 7 — vītņu uzgalis; 8 — trīsvirzienu atzarojums; 9 — uzgrieznis; 10 — vāks; 11 — ieliktņi; 12 — membrāna; 13 — atsperē; 14 — vārsta vadikļa.

Atzarojumu var atvienot no sistēmas, paceļot līdz galam ventiļa vārpstu. Maza diametra freona noslēdzošajiem ventiļiem parastā blīvslēga vietā lieto membrānas vai silfonu (VII-10. att. d).

*Regulējošie ventiļi* veic šķidrā aukstuma aģenta droselēšanu no kondensācijas līdz vārīšanās spiedienam. Ar šo ventiļi regulē šķidrā aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju. Amonjaka regulējošais ventilis (VII-10. att. e) sastāv no čuguna korpusa ar atvērumu starpsienā, kurš izveidots kā konusveida vārsta ligzda. Vienmērīgai un precīzai amonjaka regulēšanai vārsta pagarinātajā cilindriskajā lejasdaļā izfrēzētas rievas ar trīsstūrveida šķērsriezumu. Tās vienmērīgi palielina aukstuma aģenta caurplūdes laukumu virzienā uz cilindra lejasdaļu. Tādējādi, paceļot vārstu, caurplūdes laukums pakāpeniski palielinās. Vārsts ar vārpstu savienots tā, lai tas varētu brīvi griezties uz vārpstas gala. Vārpstu kopā ar vārstu pārvieto aksiālā virzienā pa smalku vītņi ventiļa korpusā. Vārsta vārpstu noblīvē blīvslēgs. Maza diametra (6, 10, 15 mm) vados kā regulējošos ventiļus izmanto parastos noslēdzošos stūra ventiļus. Automati-zētās freona un amonjaka aukstuma mašīnās regulējošie ventiļi darbojas automātiski atkarībā no iesūcamā tvaika pārkarsēšanas pakāpes. Aukstuma iekārtās ar sazarotu šķidrā aukstuma aģenta sadali regulējošie ventiļi kopā ar manometriem un noslēdzošajiem ventiļiem sastāda *regulēšanas staciju*.

*Vienvirziena vārstus* (VII-10. att. f) uzstāda kompresora spiedvadā aiz eļļas atdalītāja. Tvaiks caur vārstu var plūst tikai vienā virzienā — uz kondensatoru. Tāpēc, ja notiek bojājums sistēmas daļā kompresors-eļļas atdalītājs (piemēram, kompresora avārija), tvaika atpakaļplūsma nav iespējama.

*Kontroles un mērīšanas ierīces* aukstuma iekārtās lieto līmeņa, temperatūras un spiediena noteikšanai.

*Līmeņrāžus* lieto ūdens, sāls šķīduma un šķidrā aukstuma aģenta līmeņa noteikšanai. Ūdens un sāls šķīduma līmeni kontrolē ar stikla līmeņrāžiem un pludiņa tipa līmeņrāžiem. Šķidrā aukstuma aģenta spiediena pusē, kur piesātinājuma temperatūra augstāka nekā apkārtējās vides temperatūra (līnijas resiveri, eļļas atdalītāji), lieto Klingera stikla līmeņrāžus. Sūkšanas puses aparātos šie līmeņrāži neder, jo aukstuma aģents vārās. Šķidrums līmeni iztvaikotājā, šķidrums atdalītājā un starptraukā var apmēram noteikt pēc sarmas kārtas, kura veidojas uz vertikālās neizolētās caurules, kas savieno šķidrums un tvaika telpu aparātā. Pēc savienoto trauku likuma, šķidrums līmenis caurulē ir tāds pats kā aparātā. Caurules daļa, kurā atrodas šķidrums, no ārpusē nosarmo.

*Termometrus* lieto šķidra un gāzveida aģenta temperatūras mērīšanai. Dzīvsudraba termometrus ar pagarinātu galu ievieto čaulā, kas iemetināta cauruļvadā (VII-11. att.). Čaulu izgatavo no caurules  $16 \times 2 \times 100$  mm un to cauruļvadā iemetina tā, lai termometra dzīvsudraba lodīte atrastos caurules vidū un būtu vērsta pret aukstuma aģenta plūsmu. Lai uzlabotu kontaktu, čaulu piepilda ar eļļu.



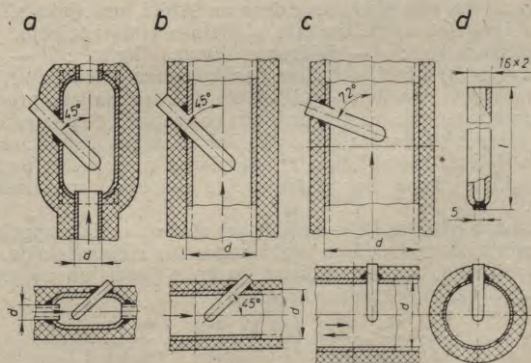
Temperatūras mērīšanai lieto arī termopārus un pretestību termometrus.

Spiedienu kompresora sūcējvadā un spiedvadā, kā arī starpspiedienu vairākpakāpju aukstuma mašīnās mēra ar *manometriem*. Katrai aukstuma aģenta kondensācijas vai vārīšanās spiediena vērtībai atbilst pilnīgi noteikta temperatūras vērtība. Tāpēc aukstumtehnikā lietojamiem manometriem ir divas skalas: spiediena skala un aukstuma aģenta piesātināta tvaika temperatūras skala. Praksē lieto manometrus, kuri mēra spiedienu — gan augstāku, gan zemāku par atmosfēras spiedienu. Šādus manometrus sauc par *manovakuometriem*. Dažādiem aukstuma aģentiem piemērotie manometri un manovakuometri atšķiras pēc materiāla un skalas gradācijas. Tā, piemēram, amonjaka manometrus izgatavo no tērauda (to detaļas nedrīkst būt gatavotas no vara vai vara sakausējumiem), bet freona manometri var būt izgatavoti kā no tērauda, tā arī no vara sakausējumiem.

Amonjaka aukstuma mašīnām spiediena mērīšanai spiediena pusē piemēroti manometri ar mērīšanas robežām no 0 līdz 20...25 kgf/cm<sup>2</sup>, bet sūkšanas pusē piemēroti manovakuometri ar mērīšanas robežām no 760 mm Hg vakuuma līdz 12 kgf/cm<sup>2</sup>; freona-12 mašīnām attiecīgi lieto manometrus no 0 līdz 12 kgf/cm<sup>2</sup> un manovakuometri no 760 mm Hg vakuuma līdz 12 kgf/cm<sup>2</sup>; ogļskābās gāzes mašīnām attiecīgi lieto manometrus no 0 līdz 200 kgf/cm<sup>2</sup> un manovakuometri no 760 mm Hg vakuuma līdz 120 kgf/cm<sup>2</sup>.

Lieto arī pašrakstošos manometrus un kontakta manometrus.

Visas mērīšanas ierīces vienu reizi trijos mēnešos jāsalīdzina ar kontroles ierīci. Ierīču rādījumiem jāsapas.



VII-11. att. Termometru čaulu uzstādīšana cauruļvados:

a — cauruļēm ar diametru 14...45 mm; b — cauruļēm ar diametru 57...133 mm; c — cauruļēm ar diametru 159...325 mm; d — termometra čaula.

## 8. Paligmehānismi

Aukstuma iekārtu paligmehānismi ir elektrodzinēji, sūkņi un ventilatori.

*Elektrodzinējus* lieto kompresoru, sūkņu un ventilatoru piedziņai. Asinhronos trīsfāzu elektrodzinējus ar īsi slēgtu rotoru ražo ar jaudu 0,6...125 kW. Ja paredzēta automātiskā noslogota kompresora palaišana, lieto asinhronos elektrodzinējus ar fāzu rotoru un palielinātu palaišanas momentu. Kompresoru aukstuma ražīguma regulēšanai lieto elektrodzinējus ar maināmu apgriezību skaitu minūtē.

Asinhronos dzinējus ar fāzu rotoru lieto tādu mehānismu piedziņai, kuriem liels palaišanas moments vai arī ierobežots palaišanas strāvas lielums.

Sinhronos elektrodzinējus lieto lēngaitas horizontālo divkāršas darbības kompresoru piedziņai. Šādu elektrodzinēju rotors nostiprināts uz kompresora vārpstas un vienlaikus noder par spara ratu.

Elektrodzinēja tipu izvēlas atkarībā no barošanas tīkla strāvas veida un sprieguma, dodot priekšroku *trīsfāzu elektrodzinējiem ar īsi slēgtu rotoru*. Mazās aukstuma mašīnās (saldēšanas skapjos) lieto vienfāzes elektrodzinējus.

Elektrodzinēja jaudu nosaka kompresora efektīvā jauda ( $N_e$ ) vissmagākajā darba režīmā. Pie tās jāpieskaita jaudas zudumi pārvada ierīcē un 10...15% no efektīvās jaudas, kas nepieciešama palaišanas periodā. Elektrodzinēja apgriezību skaits minūtē atkarīgs no pārvada veida un kompresora vārpstas apgriezību skaita. Vēlamais kompresoru elektrodzinēju apgriezību skaits ir 3000 un 1500 apgr./min.

*Sūkņus* lieto sāls šķīduma, ūdens un šķidrā amonjaka sūkņēšanai. Lai izvēlētos sūkni un tam atbilstošu elektrodzinēju, jāzina  $H$  — spiediens (m);  $\rho$  — šķidruma blīvums ( $\text{kg/m}^3$ );  $V$  — sūkņa ražīgums ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) un  $N_e$  — sūkņa darbināšanas jauda (kW).

Sūkņa radīto spiedienu aprēķina kā visu hidraulisko pretestību summu, pieskaitot šķidruma pacelšanas augstumu. Sūkņa ražīgumu nosaka tehnoloģiskās prasības atkarībā no sūkņa lietošanas. Sāls šķīduma sistēmā katrai līnijai ar doto darba temperatūru paredzēti divi sūkņi, kuri, kopā darbojoties, varētu nodrošināt maksimālo ražīgumu.

Aukstuma iekārtās lieto centrālās sūkņus ar lielu apgriezību skaitu minūtē, kurus piedzen tieši kompresora elektrodzinējs. Starp sūkņu ražīgumu, radīto spiedienu, patērēto jaudu un apgriezību skaitu minūtē pastāv šādas sakarības:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}; \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2; \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Sūkņa darbināšanas jauda

$$N_e = \frac{V\rho gH}{3600 \cdot 1000\eta} \text{ (kW)}, \quad (\text{VII-2})$$



kur  $\eta$  — sūkņa lietderības koeficients, kas atkarīgs no sūkņa konstrukcijas un darba režīma ( $\eta=0,5 \dots 0,8$ ).

Tiešās iztvaices piespiedu cirkulācijas sistēmās lieto amonjaka divpakāpju sūkņus. Amonjaka sūkņa ražīgums ievērojami samazinās, ja pārsūkņējams amonjaks vārās, jo tad sūkņa darbība kļūst nestabila. Sūkņa darbības raksturošanai uzdod sakarību starp ražīgumu un radīto spiedienu (metros amonjaka staba), pārsūkņējot pārdzesētu un vārošu amonjaku (VII-12. att.).

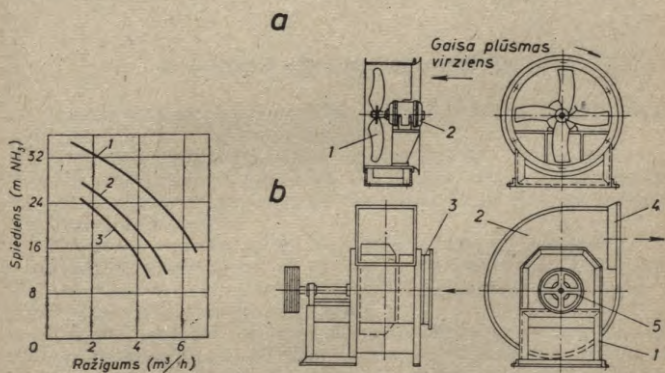
#### Amonjaka cirkulācijas sūkņu tehniskais raksturojums

Marka	ЗЛ-4	ЦНГ-68	ЦНГ-70
Ražīgums ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	30	20	10
Sūkšanas augstums (m $\text{NH}_3$ )	40	50	12
Iesūkšanas spiediens (m $\text{NH}_3$ )	1,5	1,5...2,0	1,5...2,0
Dzinēja jauda (kW)	8	5,5	2,8

*Ventilatorus* lieto gaisa piespiedu cirkulācijai un vēdināšanai. Lieto aksiālos un centrālās ventilatorus (VII-13. att.).

*Aksiālā* ventilatora lāpstiņas pārvieto gaisu ventilatora ass virzienā. Šie ventilatori ir vienkārši, var pārvietot lielas gaisa masas, bet rada samērā nelielu spiedienu — līdz 30...40 mm  $\text{H}_2\text{O}$ . No aksiālajiem ventilatoriem vispilnīgākie ir ЦАГИ tipa propelleru ventilatori.

*Centrālās* ventilators gaisu iesūc caur atvērumu, kas izveidots



VII-12. att. Amonjaka sūkņa raksturlieknes dažādos režīmos:

1 — pārdzesēts amonjaks;  
2 — amonjaks, kas vārās pie  $t_0 = -10^\circ\text{C}$ ; 3 — amonjaks, kas vārās pie  $t_0 = -33^\circ\text{C}$ .

VII-13. att. Ventilatori:

a — aksiālais (ЦАГИ) (1 — lāpstiņu rats; 2 — elektrodzinējs); b — centrālās (1 — statne; 2 — korpuss; 3 — gaisa ieplūdes atvērums; 4 — gaisa izplūdes atvērums; 5 — piedziņas skrīmelis).

ventilatora apvalkā. Centrbēdzes spēka ietekmē gaiss tiek aizvadīts radiālā virzienā uz ventilatora kvadrātiska šķērsriezuma izejas atvērumu. Centrbēdzes ventilatorus, tāpat kā aksiālos ventilatorus, izgatavo dažādiem ražīgumiem. Pēc uzbūves tie ir sarežģītāki, bet ekonomiskāki un spējīgi radīt lielāku spiedienu (līdz 300 mm H<sub>2</sub>O) nekā aksiālie ventilatori.

Starp ventilatora ražīgumu, spiedienu, jaudu un apgriezīgu skaitu minūtē pastāv tāda pati sakarība kā centrbdzes sūkņiem.

Ventilatora jaudu nosaka pēc šādas formulas:

$$N_e = \frac{Vp}{3600 \cdot 1000\eta} \text{ (kW)}, \quad (\text{VII-4})$$

kur  $V$  — ventilatora ražīgums (m<sup>3</sup>/h);

$p$  — spiediens (Pa);

$\eta$  — ventilatora lietderības koeficients.

Izvēloties elektrodzinēju centrbdzes ventilatoram, jāņem vērā jaudas rezerves koeficients (palaišanas momentam), kuru mazas jaudas dzinējiem (līdz 2 kW) pieņem 1,5...1,3, bet lielas jaudas dzinējiem — 1,2...1,1.

Lai samazinātu troksni un vibrācijas, ventilatorus uzstāda uz elastīgiem vibrācijas slāpējošiem paliktņiem (gumija, atsperu amortizatori).



## VIII nodaļa

### AUKSTUMA AGREGĀTI

Atsevišķus aukstuma mašīnas elementus montāžas un ekspluatācijas atvieglošanai ir mērķtiecīgi savienot uz kopīga rāmja vai pamatplātnes vienā *aukstuma agregātā*.

Aukstuma agregāti plaši izplatīti rūpniecībā, it sevišķi maza un vidēja ražīguma aukstuma iekārtās. Tie izceļas ar mazu svaru un izmēriem, ir ērti transportējami, uzstādāmi un ekspluatējami.

Aukstuma mašīnu agregātus komplektē rūpniecā. Sarežģītākos montāžas un regulēšanas darbus, kā arī mašīnas sagatavošanu palaišanai (kompresora un elektrodzinēja montāžu, sistēmas hermetizēšanu, atūdeņošanu, automatisko ierīču uzstādīšanu, uzpildīšanu ar eļļu un aukstuma aģentu) izpilda ļoti precīzi un rūpīgi īpašos montāžas cehos.

#### 1. Galvenie aukstuma agregātu tipi

Praksē sastopami kompresoru, kompresoru-kondensatoru, aparātu un kompleksie aukstuma agregāti.

*Kompresora agregāts* sastāv no kompresora, elektrodzinēja ar palaišanas ierīcēm un spiediena releja, kas samontēti uz kopīga rāmja. Kompresors un elektrodzinējs savienoti ar elastīgu izmavu vai ķīsluksnas pārvadu.

*Kompresora-kondensatora agregāts* sastāv no kompresora ar elektrodzinēju, kondensatora (ar gaisa vai ūdens dzesēšanu), palīgaparātiem un automatizācijas ierīcēm. Agregāta izvietojums lielā mērā atkarīgs no kondensatora veida.

*Aparātu agregāts* sastāv no siltumapmaiņas aparātiem, armatūras un automatizācijas ierīcēm. Ar tiem komplektē kompresoru un kompresoru-kondensatoru agregātus (kondensatora-iztvaikotāja agregāts, iztvaikotāja un regulēšanas stacijas agregāts un citi).

*Kompleksajā agregātā* ietilpst visi aukstuma mašīnas elementi. Parasti tos komplektē ar hermētiskajiem vai bezblīvslēgu kompresoriem, ar gaisu dzesējamiem kondensatoriem un tiešās iztvaices gaisa dzesētājiem (saldēšanas skapjiem, kondicionētājiem utt.).

## 2. Amonjaka aukstuma agregāti

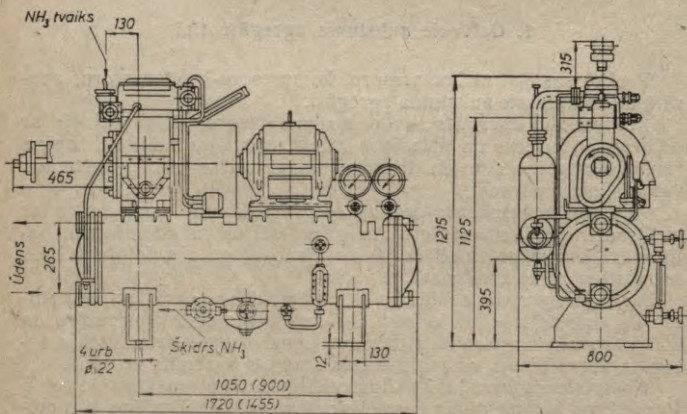
Plaši lietojamo kompresoru-kondensatoru agregātu tehniskais raksturojums dots VIII-1. tabulā.

Agregātu AKAY-30 ar aukstuma ražīgumu 35 000 W (30 000 kcal/h) lieto darbam stacionāros apstākļos. Konstruktijas pamatā ir horizontālais apvilktā cauruļu kūļa kondensators, uz kura novietoti pārējie agregāta elementi — kompresors, elektrodzinējs, palīgaparāti un spiediena relejs. Agregātā kompresoru un elektrodzinēju savieno ar uznavu. Agregāta aukstuma ražīgumu var mainīt, izmainot kompresora apgriezību skaitu minūtē. Agregāta kondensators aprēķināts vislielākajam kompresora aukstuma ražīgumam. Agregāta eļļas atdalītājā ievietota caurules spirāle ar ūdens dzesēšanu, eļļas uztvērēji un pludiņa tipa vārsti, caur kuriem eļļu automātiski no aparāta izlaiž kompresora karterā.

Agregātu AKAY-30 komplektē ar horizontālo apvilktā cauruļu kūļa iztvaikotāju ИТГ-22 un ААРС-15 tipa regulēšanas staciju ar automātiskām ierīcēm.

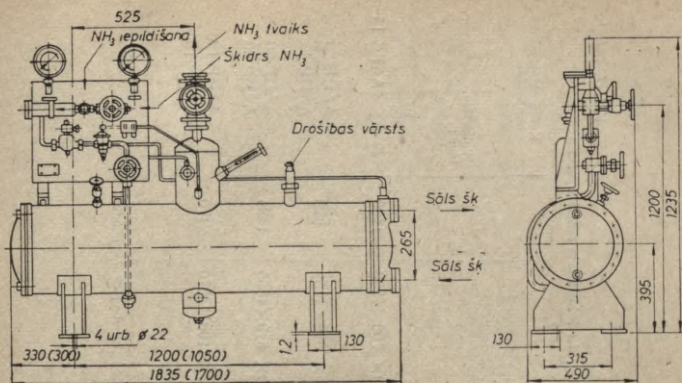
Daudz pilnveidotākas ir Čerkeskas aukstuma mašīnu rūpnīcas sērijveidā ražotās aukstuma mašīnas XMAB-22, XMAY-45 un XMAY-90 ar aukstuma ražīgumu 19 000 ... 110 000 W. Šīs mašīnas sastāv no kompresora-kondensatora un iztvaikotāja un regulēšanas stacijas agregātiem.

Aukstuma mašīnas XMAB-22 kompresora-kondensatora agregāts AKAB-22 (VIII-1. att.) sastāv no blokkartera vertikālā

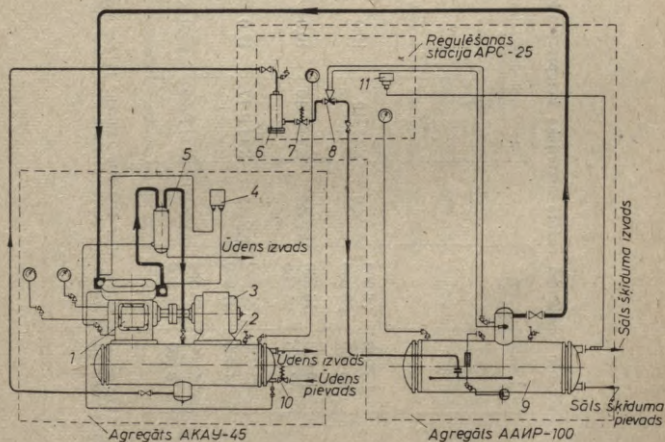


VIII-1. att. Amonjaka kompresora-kondensatora agregāts AKAB-22-I (iekavās doti izmēri agregātam AKAB-22-11).





VIII-2. att. Amonjaka iztvaikotāja un regulēšanas stacijas agregāts AAIP-45 (iekavās doti izmēri agregātam AAIP-30).



VIII-3. att. Aukstuma mašīnas XMAБ-22 montāžas shēma:

1 — kompresors AB-22; 2 — kondensators КТГР-10; 3 — elektrodzinējs; 4 — spiediena reļģis РДА; 5 — eļļas atdalītājs МОВ-32М; 6 — filtrs ФА-15; 7 — solenoīda ventīlis СВА-15; 8 — termoreģulējošais ventīlis ТРВА-40; 9 — iztvaikotājs; 10 — solenoīda ventīlis СВА-40; 11 — termoreģģis ТР-1.

## Padomju Savienībā ražoto amonjaka kompresora-kondensatora agregātu tehniskais raksturojums

Agregāta marka	Nominālais aukstuma ražājums		Kompresors	Ar ūdeni dzesējams kondensators		Elektriskā jauda (kW)	Gabarītzmēri (garums × platumas × augstums) (mm)	Masa (kg)	Komplektācija aparatū	
	W	kcal/h		tips	$t_w \leq 30^\circ\text{C}$				izveiktajās regulēšanas stacijas	( $t_w = 0 \dots -30^\circ\text{C}$ )
AKAY-30*	25 000	22 000	AY-30	KTT-10	10,0	10,0	1850 × 700 × 1500	1400	ИТТ-22	ААРС-15
	35 000	30 000								
AKAB-22	19 000	16 500	AB-22	КТГР-10	10,0	10,0	1825 × 512 × 1155	825	ААИР-30	ААИР-45
	27 000	23 500								
AKAY-45	38 000	33 000	AY-45	КТГР-17	17,0	24	2050 × 810 × 1355	1485	ААИР-60	ААИР-90
	54 000	47 000								
AKAYY-90	75 000	65 000	AYY-90	КТГР-35	35,0	28	2280 × 1100 × 1570	2170	ААИР-120	ААИР-180
	110 000	95 000								

\* Agregātam AKAY-30 viērs svītras doti tehniskie rādītāji. Ja kompresora vārpstas apgriezieni skaits minūtē  $n=720$  apgr./min., bet zem svītras doti tehniskie rādītāji, ja  $n=960$  apgr./min.; pārējiem agregātiem attiecīgi  $n=960$  apgr./min. un  $n=1440$  apgr./min.



## Iztvaikotāja un regulēšanas stacijas agregātu tehniskais raksturojums

Agregāta marka	Iztvaikotājs		Automātiskā regulēšanas stacija				Masas (kg)		
	marka	sildvirsmas laukums (m <sup>2</sup> )	marka	automātiskās ierīces					
				termoregulējošais ventilis	termorelejs	magnētiskais vārsts		filtrs	
ААИР-30	ИТГ-6	6,5	АРС-10	ТРВА-20М	ТР-1-02Х	СВМ-10	ΦА-10	1700×790×1235	440
ААИР-45	ИТГ-9	9,5	АРС-15	ТРВА-40М	ТР-1-02Х	СВМ-15	ΦА-10	1835×490×1235	644
ААИР-60	ИТГ-13	14,06	АРС-15	ТРВА-80М	ТР-1-02Х	СВМ-15	ΦА-15	1830×560×1360	680
ААИР-90	ИТГ-18	19,3	АРС-25	ТРВА-80М	ТР-1-02Х	СВМ-25	ΦА-20	1885×675×1480	1105
ААИР-120	ИТГ-26	26,0	АРС-32	ТРВА-120М*	ТР-1-02Х	СВМ-25	ΦА-25	2020×800×1425	1460
ААИР-180	ИТГ-36	36	АРС-32	ТРВА-120М	ТР-1-02Х	СВМ-25	ΦА-25	2850×800×1680	1880

\* — 2 gabali

kompresora AB-22, kas ar elastīgu uzmavu pievienots pie elektrodzinēja, kondensatora КТП-10, eļļas atdalītāja un spiediena releja.

Iztvaikotāja un regulēšanas stacijas agregātu ААИР tehniskie raksturojumi doti VIII-2. tabulā. Agregāts ААИР-45 (VIII-2. att.) sastāv no apvilkta cauruļu kūļa iztvaikotāja un regulēšanas stacijas. Aukstuma mašīnas XМAB-22 montāžas shēma dota VIII-3. attēlā. Aukstuma mašīnas XМAY-45 un XМAYУ-90, kuras komplektē ar kompresora-kondensatora agregātiem АКАУ-45, АКАУУ-90 un attiecīgajiem iztvaikotāja un regulēšanas stacijas agregātiem, pēc uzbūves līdzīgas aukstuma mašīnai XМAB-22.

Sis sērijas aukstuma mašīnas rūpnīca piegādā arī tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmām. Šādā gadījumā komplekts sastāv no kompresora-kondensatora agregāta, instrumentiem un rezerves daļām.

### 3. Freona aukstuma agregāti

Freona aukstuma agregātus pēc kompresora veida iedala *hermētiskajos*, *blīvslēga* un *bezblīvslēga* (pushermētiskajos) agregātos, bet pēc kondensatora veida — *ar gaisu* un *ar ūdeni dzesējamos* agregātos.

Galvenie agregāta mezgli samontēti uz kopīga rāmja, t. i., kompresors ar ieplūdes un izplūdes ventiļiem, elektrodzinējs, kondensators, resīvers ar ventili, filtrs, zemā spiediena relejs (ja kompresora darbu kontrolē pēc zemā spiediena) un augstā spiediena relejs (ja to prasa drošības tehnikas noteikumi). Tāda agregāta sastāvā, kam ir ar gaisu dzesējams kondensators, ietilpst arī ventilators, bet hermētiskā agregāta sastāvā ietilpst vēl ventilatora elektrodzinējs.

Aukstuma mašīnām, kurām regulējošā ventiļa vietā uzstādīta kapilāra caurule, resīvers nav vajadzīgs. Tāpat nav resīveru aukstuma mašīnām, kurās lieto ar ūdeni dzesējamus kondensatorus, jo šķidrā freona rezerve aizņem daļu no kondensatora tilpuma. Ar ūdeni dzesējamiem kondensatoriem ir ūdens regulators. Filtru-mitruma atdalītāju un reģeneratīvo siltumapmainītāju uzstāda kopā ar agregātu vai ārpus tā.

Agregātus ar aukstuma ražīgumu līdz 3000 kcal/h montē uz štancēta lokšņu tērauda plāksnēm vai rāmja no liekta tērauda profiliem, bet lielāka ražīguma aukstuma agregātus — uz čuguna plāksnēm vai rāmja no metinātiem tērauda profiliem.

Aukstuma agregātus ar ražīgumu 100...12 000 kcal/h var iedalīt trijās grupās: 100...300 kcal/h (mājsaimniecības saldēšanas skapju agregāti); līdz 3000 kcal/h; 4000...12 000 kcal/h. Aukstuma ražīgumam līdz 3000 kcal/h ražo šādus agregātus: hermētiskos ФГК, ВС, ВН un ВП ar virzuļkompresoriem; hermētiskos ВС<sub>p</sub> ar rotācijas kompresoriem; atklātos ФАК ar virzuļkompresoriem; atklātos МРФ ar rotācijas kompresoriem.

Aukstuma ražīgumam 4000...12 000 kcal/h ražo šādus agregātus: ar blīvslēga ФВ un ФУ tipa kompresoriem; ar bezblīvslēga 2ФВС un 2ФУС tipa kompresoriem.

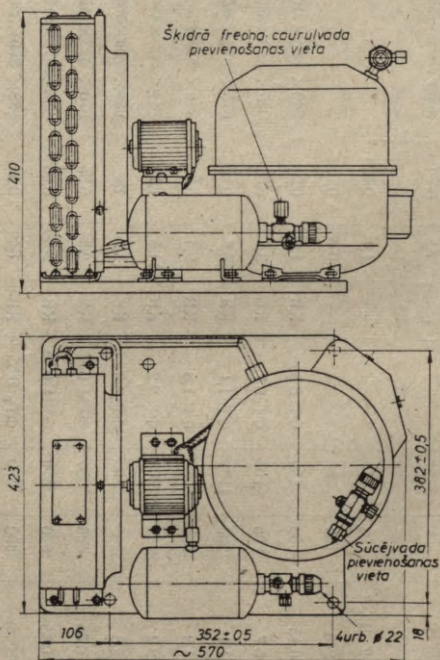


Hermētiskajiem agregātiem atšķirībā no blīvslēga agregātiem ir mazi izmēri un masa, kļusa gaita, mazas vibrācijas, liela ekspluatācijas drošība un vienkārša apkalpe. Tuvākajā nākotnē visas mazās freona aukstuma mašīnas komplektēs ar hermētiskajiem kompresoriem.

Hermētisko agregātu ražošanu nosaka valsts standarts ГOCT 9834-61, blīvslēga — ГOCT 10 890-64.

Freona aukstuma agregātu tehniskais raksturojums dots VIII-3. tabulā.

Hermētiskie ФГK tipa agregāti (VIII-4. att.) aprēķināti darbam plašā vārišanās temperatūru diapazonā ( $-25 \dots +10^{\circ}\text{C}$ ). Dažāda aukstuma ražīguma agregātiem ir vienveidīgs elementu izvietojums un daudz unificētu detaļu. Uz štancētas tērauda plāksnes samontēts kompresors, ar gaisu dzesējams kondensators ar difuzoru, horizontāls resivers ar noslēdzošo ventili un ventilators ar elektrodzinēju.



VIII-4. att. Freona aukstuma agregāts ФГK-0,45.

## Padomju Savienībā ražoto freona aukstuma agregātu tehniskais raksturojums

Agregāta marķa	Nominālais aukstuma ražīgums		Kompresors	Kondensa- tors		Elektro- dzinēja jauda (kW)	Gabarītzīmēri (garums× platums× augstums) (mm)	Masa (kg)	Darba temperatūras	
	W	kcal/h		tips	F (m <sup>3</sup> )				t <sub>0</sub> (°C)	t <sub>g</sub> (t <sub>w</sub> ) (°C)
DX-2, DX-3	128	110	viencil.	—	1,4	0,093	—	—	—	—
KX-240	163	140	viencil.	—	0,75	0,093	—	—	—	—
BC 0,45	500	450	ФГ 0,45	KB	1,9	0,25	540×365×310	43	-10...-25	40 (gaiss)
BC 0,7	800	700	ФГ 0,7	KB	3,3	0,35	625×380×355	52	-10...-25	40 "
BC 1,1	1200	1100	ФГ 1,1	KB	5,5	0,55	675×385×355	67	-10...-25	40 "
BC 1,8	2100	1800	ФГ 1,8	KB	9,4	0,9	346×550×440	84	-10...-25	40 "
BC 2,2	2530	2200	ФГ 2,2	KB	11,8	1,1	346×550×440	99	-10...-25	40 "
BC 2,8	3260	2800	ФГ 2,8	KB	13,7	1,4	935×700×565	138	-10...-25	40 "
BH 0,35	405	350	ФГН 0,35	KB	2,54	0,35	570×423×410	53	-25...-40	40 "
BH 0,55	640	550	ФГН 0,55	KB	3,80	0,55	570×423×410	61	-25...-40	40 "
BC <sub>p</sub> 0,35	400	350	ФГ <sub>p</sub> 0,35	KB	1,49	0,2	580×360×300	36	-10...-25	40 "
ФAK-0,7	800	700	2ФB-4	KB	3,88	0,6	680×490×530	109	+5...-30	40 "
ФAK-1,1	1200	1100	2ФB-4	KB	5,18	1,0	690×513×530	120	+5...-30	40 "
ФAK-1,5	1700	1500	2ФB-4	KB	7,76	1,7	862×528×636	166	+5...-30	40 "



ΦΓΚ-0,45	500	450	ΦΓ-0,45	KB	2,54	0,25	590×423×410	55	+5...-25	40 (gaisss)
2Φ-00	1800	1600	ΦБ-1,5	KB	9,3	1,7	715×535×540	185	+5...-25	40 "
4Φ-00	3500	3000	ΦБ-4	KB	14,0	2,2	926×670×600	190	+5...-25	40 "
Φ-00А	3 500	3000	ΦБ-4	КТП	3	2,8	1070×405×200	170	+5...-20	30 (ūdens)
AKΦБ-4	4600	4000	ΦБ-6	КТП	2	2,2	1200×430×700	185	+5...-25	30 "
AKΦБ-6	7000	6000	ΦБ-6	КТП	2,7	3,4	1160×755×435	210	+5...-25	30 "
AKΦУ-8	10 500	9000	ΦУ-12	КТП	4,3	4,3	1200×580×110	415	+5...-25	30 "
AKΦБ-12*	13 000 17 000	11 300 15 000	ΦБ-12	КТП	12,0	7,0 10,0	1410×585×1250	700	+5...-25	30 "
AKΦУ-25*	26 000 35 000	22 500 30 000	ΦУ-25	КТП	25	14 20	1650×600×1505	1350	+5...-25	30 "
AKΦБ-20**	17 500 26 800	15 000 23 000	ΦБ-20	КРТП	18	7 10	1670×640×1200	845	+5...-30	30 "
AKΦУ-40**	36 000 53 500	31 000 46 000	ΦУ-40	КРТП	41	14 20	2050×665×1400	1350	+5...-30	30 "
AKΦУ-80**	70 000 105 000	60 000 90 000	ΦУУ-80	КРТП	83	40 55	2245×860×1545	2330	+5...-30	30 "
AK1-6	7000	6 000	2ΦББС-6	AK-1- 6-010-	—	4,5	1196×439×830	—	+5...-30	30 "
AKΦУБС-12	14 500	12 500	ΦУБС-12	KB	60	10	1665×1100×880	445	+5...-30	40 (gaisss)

Piezīmes: 1) ar gaisu dzesējamam KB tipa kondensatoriem dots ārējā ribojuma laukums; ar ūdeni dzesējamam КТП un КРТП tipa kondensatoriem dots sildvirsmas laukums freona pusē.

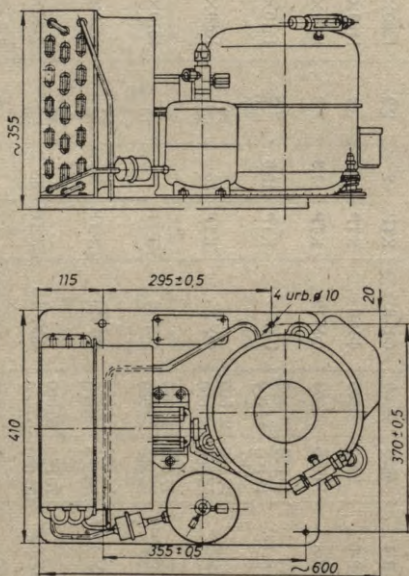
2) \* aukstuma ražīgums un patērieta jauda dota pie  $n=720$  apgr./min. (virs svītras) un  $n=960$  apgr./min. (zem svītras);

3) \*\* aukstuma ražīgums un patērieta jauda dota pie  $n=960$  apgr./min. (virs svītras) un  $n=1440$  apgr./min. (zem svītras).

Resiverā ievietots mehāniskais filtrs un silikagela filtrs-mitruma atdalītājs. Agregātus komplektē ar elektroiekārtas dēli, uz kura uzstādīts magnētiskais palaidējs un automātiskais izslēdzējs. Šī tipa agregātu kompresori un kondensatori paredzēti darbam plašā temperatūru diapazonā, kas nav ekonomiski izdevīgi. Tāpēc šos agregātus nomaina ar unificētiem BC, BH un БП tipa agregātiem, kas paredzēti darbam šaurākā temperatūru diapazonā.

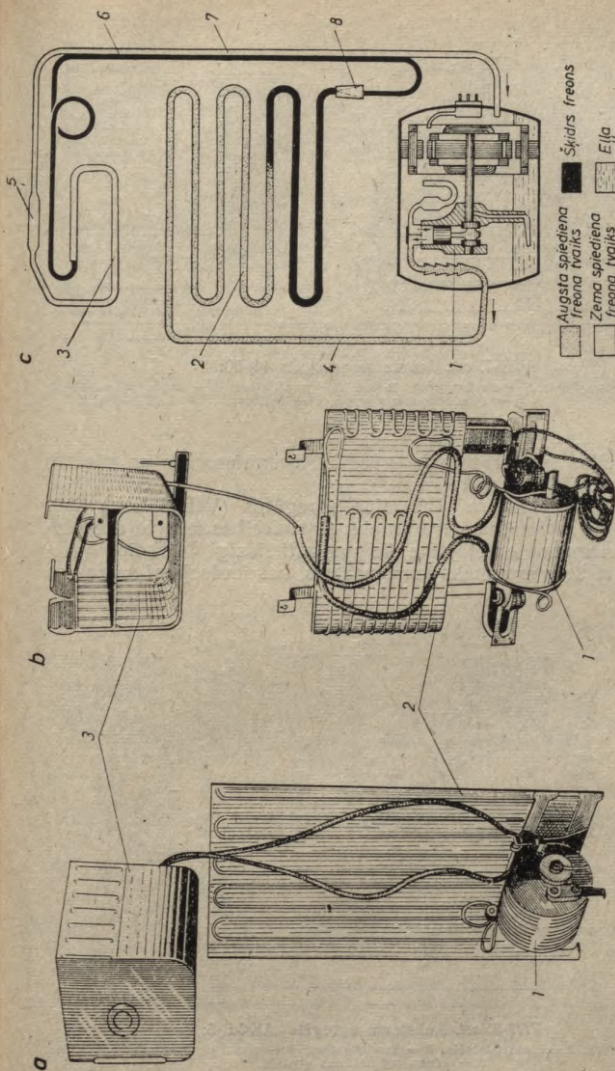
Unificētos agregātus izgatavo zemām (BH), vidējām (BC) un pozitīvām (БП) variēšanās temperatūrām ar aukstuma ražīgumu 110...2800 kcal/h. Tie savukārt atkarībā no kondensatora veida iedalās šādi: ar gaisu dzesējami — B tips, ar ūdeni dzesējami — ВД tips. Katram agregāta tipam var būt četri izpildījuma veidi: H— $t_0 = -40 \dots -25^\circ\text{C}$ , aukstuma aģents freons-22; C— $t_0 = -25 \dots -10^\circ\text{C}$ , aukstuma aģents freons-12; П— $t_0 = -10 \dots +10^\circ\text{C}$ , aukstuma aģents freons-12; 2П— $t_0 = -10 \dots +10^\circ\text{C}$ , aukstuma aģents freons-22.

Visi šie aukstuma agregāti paredzēti ilgstošam darbam  $+50^\circ\text{C}$  kondensācijas temperatūrā. Īslaicīgi tie var darboties arī tad, ja

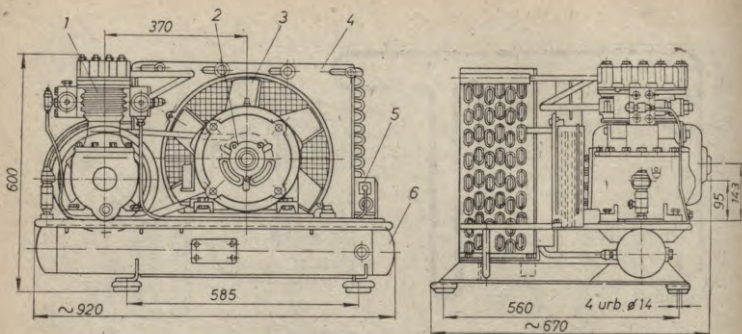


VIII-5. att. Aukstuma agregāts BC 0,7~3.





VIII-6. att. Mājsaimniecībā lietojamo saldēšanas skapju aukstuma agregāti:  
 a — ДХ-2; b — ДХ-3М; c — агрегата shēma; 1 — hermētiskais kompresors; 2 — kondensators; 3 — iztvaikoņš; 4 — spiedvads; 5 — tvaika filtrs; 6 — šķidrā freona tvaiks; 7 — sūceļvads; 8 — šķidrā freona filtrs-mitrumatdalītājs.

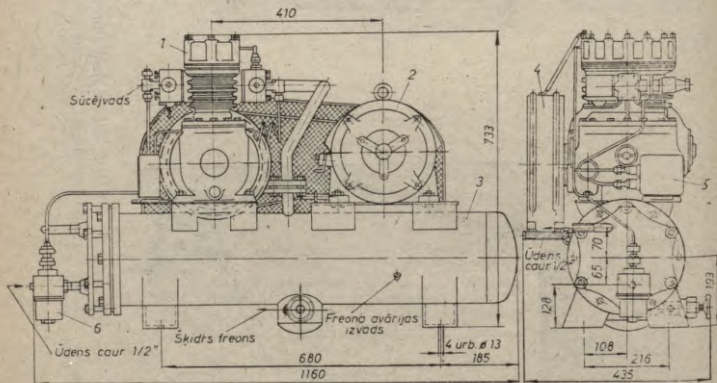


VIII-7. att. Aukstuma agregāts 4Φ-00:

1 — kompresors ΦB-4; 2 — elektrodzinējs A-42-4; 3 — ventilators; 4 — kondensators 4Φ-12;  
5 — spiediena relejs PД-1; 6 — resivers.

kondensācijas temperatūra ir  $+60^{\circ}\text{C}$ . Agregātus ražo ar trīsfāzu un vienfāzes elektrodzinējiem.

Vidēju temperatūru BC tipa agregātus (VIII-5. att.) lieto skapju, lešu, vitrīnu, kameru un citu tirdzniecības iekārtu dzesēšanai. Pēc elementu izvietojuma šie agregāti līdzīgi ΦГК tipa agregātiem, bet tiem ir zemāks kondensators, kas ievērojami samazina



VIII-8. att. Aukstuma agregāts AKΦB-6:

1 — kompresors; 2 — elektrodzinējs; 3 — kondensators; 4 — aizsargs; 5 — spiediena relejs;  
6 — ūdens regulēšanas ventilis.



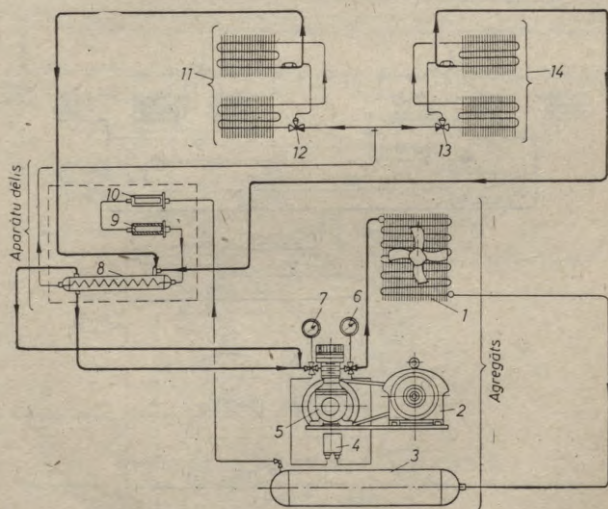
agregāta ienemamo tilpumu. Ražo arī šo agregātu modifikāciju, kas paredzēta darbam ar kapilāru cauruli, — tips K. Atšķirībā no parastajiem vidēju temperatūru agregātiem tiem resivera vietā uzstādīts mehāniskais filtrs.

Zemu temperatūru BH tipa agregāti pēc uzbūves līdzīgi vidēju temperatūru aukstuma agregātiem. Tie paredzēti zemu temperatūru aukstuma iekārtām, kas darbojas ar freonu-22 vārišanās temperatūrā  $-40 \dots -25^\circ\text{C}$ .

ВП tipa agregāti paredzēti darbam mūsu zemes dienvidu rajonos un tropiskā klimata zemēs.

Hermētiskie agregāti BC<sub>p</sub> 0,35 ~ 1, BC<sub>p</sub> 0,35 ~ 1A, BC<sub>p</sub> 0,35 ~ 1(2), kurus ražo Rīgas saldēšanas mašīnu rūpnīca «Kompresors», paredzēti tirdzniecības iekārtām, kas darbojas ar freonu-12 vārišanās temperatūrā  $-25 \dots -10^\circ\text{C}$ .

Mājsaimniecības saldēšanas skapju agregāti (VIII-6. att.) savā starpā atšķiras ar atsevišķiem konstruktīvajiem mezgliem. Agregāts sastāv no kompresora, kondensatora, iztvaikotāja, rāmja, savienojošiem cauruļvadiem un palaišanas releja. Šķidro aukstuma



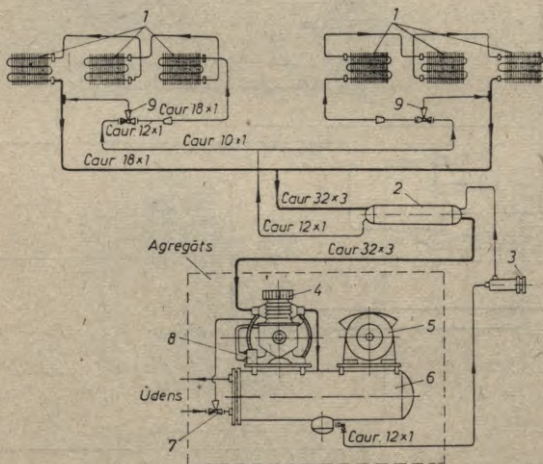
VIII-9. att. Aukstuma mašīnas ИФ-56М shēma:

- 1 — kondensators 4Ф-12; 2 — elektrodzinējs А-42-4; 3 — resivers;  
 4 — spiediena relejs РД-1; 5 — kompresors ФБ-4; 6 — manometrs;  
 7 — manovakuummeters; 8 — siltumapmainītājs ТФ-14; 9 — filtrs;  
 10 — mītruma atdallātājs Ф-15; 11 un 14 — iztvaikotāji ИРСН-10;  
 12 un 13 — termoregulējošie ventiļi ТРВ-2.

agentu droselē kapilārā caurulē. Kondensators ir plākšņu tipa ar gaisa dzesēšanu bez gaisa piespiedu cirkulācijas. Izтваikotājs izgatavots no štancēta alumīnija vai nerūsējošā tērauda skārda plāksnēm, starp kurām izveidoti kanāli freona cirkulācijai.

Nelielās automatizētās freona aukstuma iekārtās ar ražīgumu 1700... 3500 W plaši lieto  $\Phi$  tipa agregātus, kuriem ir ar gaisu dzesējami kondensatori (VIII-7. att.), un AK tipa agregātus, kuriem ir ar ūdeni dzesējami kondensatori (VIII-8. att.). Aukstuma mašīnu shēmas ar šiem agregātiem dotas VIII-9. un VIII-10. attēlā.

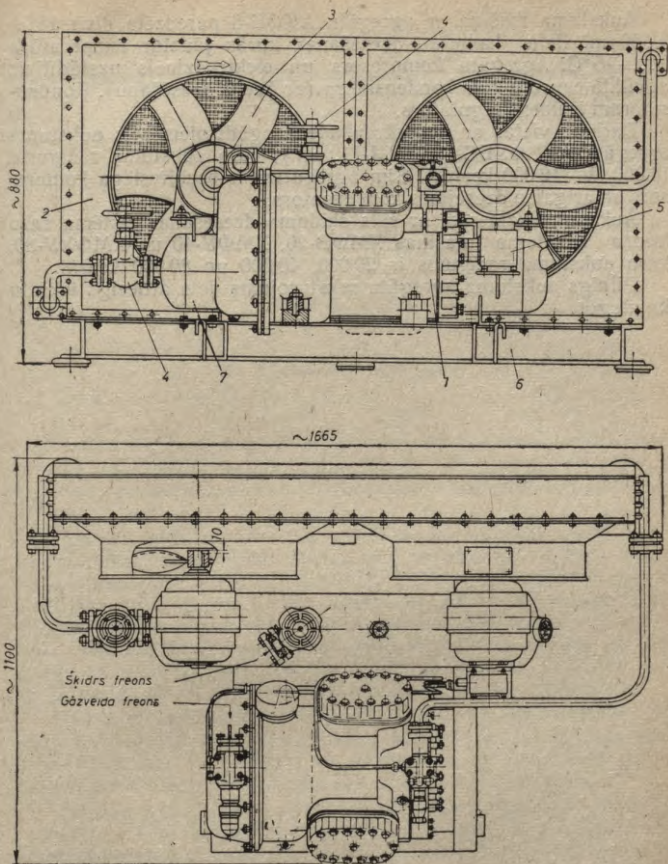
Ar gaisu dzesējama kondensatora agregātā blīvslēga kompresors un elektrodzinējs uzstādīti uz horizontālā resivera. Ribotu vara cauruļu kondensatoru dzesē ar ventilatoru, kas uzmontēts kompresora elektrodzinēja vārpstas galā. Ar gaisu dzesējams kondensators nodrošina aukstuma mašīnas ИФ-56 ekonomisku darbu, it īpaši vietās ar apgrūtinātu ūdens piegādi. Šādu aukstuma mašīnu var lietot 18...20 m<sup>2</sup> lielu kameru dzesēšanai, uzturot tur gaisa temperatūru 0...+5 °C. Katra šāda agregāta komplektā ir četri ribotu cauruļu izтваikotāji, divi termoregulējošie ventiļi un freona filtrsmitruma atdalītājs. Pēc shēmas katriem diviem izтваikotājiem paredzēts viens regulējošais ventiļis.



VIII-10. att. Aukstuma mašīnas AKΦB-6 shēma:

- 1 — izтваikotājs ИРЧН-12,5М; 2 — siltumapmaiņtājs ТФ<sub>2</sub>-25; 3 — filtrsmitruma atdalītājs ОФФ-10а; 4 — kompresors ФВ-6; 5 — elektrodzinējs А-42-2; 6 — kondensators КТР<sub>2</sub>-3; 7 — ūdens regulēšanas ventiļis ВР-1,5; 8 — spiediena relejs РД-1; 9 — termoregulējošais ventiļis ТРВ-4М.





VIII-11. att. Aukstuma agregāts AKBФУБС-12:

1 — kompresors; 2 — kondensators; 3 — ventilators; 4 — ventilis; 5 — spiediena relejs;  
6 — rāmis; 7 — resivērs.

Aukstuma mašīna ar agregātu АКФВ-6 paredzēta divu 18...  
...20 m<sup>2</sup> lielu kameru dzesēšanai, kurās jāuztur temperatūra  
0...+5°C. Agregāta kompresors un elektrodzinējs uzstādīti uz  
apvilkta cauruļu kūļa kondensatora (ar ūdens dzesēšanu). Kondensatoram ir ūdens regulators.

Darbam vietās ar ierobežotu ūdensapgādi piemērots aukstuma agregāts АКВФУБС-12 (VIII-11. att.), kura aukstuma ražīgums 14 000 W (12 000 kcal/h). Šim agregātam ir bezblīvslēga kompresors un ar gaisu dzesējams kondensators.

Aukstuma kamerām ar sāls šķīduma dzesēšanas sistēmu ražo freona aukstuma mašīnas ХМФВ-20, ХМФУ-40 un ХМФУУ-80, kuru aukstuma ražīgums ir 20 000, 40 000 un 80 000 kcal/h.

Pilnīgs aukstuma agregātu raksturojums dots attiecīgo iekārtu katalogos.



# OTRĀ DAĻA

## SALDĒTAVAS UN AUKSTUMA IEKĀRTAS

### IX nodaļa

#### SALDĒTAVAS

##### 1. Saldētavu iedalījums

*Saldētavas* ir rūpnieciski uzņēmumi, kuros produktus atdzesē, sasaldē un uzglabā zemās temperatūrās. Pēc nozīmes tās iedala sagādes, ražošanas, sadales, tirdzniecības, transporta un citās saldētavās.

*Sagādes saldētavas* izveido ātri bojājošos pārtikas produktu un lauksaimniecības ražojumu (piena, olu, augļu u. c.) sagādes vietās, lai produktus atdzesētu vai sasaldētu un īslaicīgi uzglabātu pirms nosūtīšanas pārstrādei. Tajās uzglabā produktus arī vietējo tirdzniecības uzņēmumu apgādei. Šādas nelielas saldētavas ar ietilpību 100...500 Mg (1 Mg=1000 kg) būtu jāceļ katrā kolhozā un padomju saimniecībā, kur attīstīta augļu un dārzeņu ražošana, vai arī jāizveido starpkolhozu saldētavas produkcijas uzglabāšanai.

*Ražošanas saldētavas* apkalpo pārtikas produktu pārstrādes uzņēmumus (gaļas kombinātus, piena kombinātus, zivju apstrādes kombinātus utt.) un ietilpst šo uzņēmumu sastāvā. Šajā grupā ietilpst arī sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumu saldētavas.

Ražošanas saldētavu galvenais uzdevums ir uzglabāt izejvielas, atdzesēt un īslaicīgi uzglabāt gatavo produkciju, kā arī nodrošināt ar nepieciešamo aukstumu produktu ražošanas tehnoloģiskos procesus. Dažkārt šīs saldētavas izmanto arī ilgstošai gatavās produkcijas uzglabāšanai. Ražošanas saldētavu ietilpība ir 500...5000 Mg, un tajās uzstāda lielas jaudas aukstuma iekārtas.

*Sadales saldētavas* paredzētas tirdzniecības uzņēmumiem nodot pārtikas produktu uzglabāšanai. Patēriņa centros šīs saldētavas ir vairumtirdzniecības uzņēmumu bāzes. Sadales saldētavas uzņem, atdzesē vai sasaldē un uzglabā pārtikas produktus, ko pie-sūta sagādes vai ražošanas saldētavās, kuras atrodas citās pil-sētās.

Kopā ar sadales saldētavām bieži izveido papildu palīguzņēmumus saldējuma, saldētu augļu un dārzeņu, kulinārijas izstrādājumu, «sausā» ledu ražošanai, produktu iesaiņošanai, taras izgatavošanai utt. Tādas sadales saldētavas sauc par *saldētavām kombinātiem*. Sadales saldētavu ietilpība parasti ir 500...35 000 Mg, un tā zināmā mērā novērš sezonas raksturu iedzīvotāju apgādei ar dažādiem produktiem.

Ostu saldētavas ceļ upju un jūras ostās, lai nodrošinātu ātri bojājošos pārtikas produktu pārkraušanas operācijas no sauszemes uz transporta kuģiem — un otrādi. Produktus šajās saldētavās parasti neuzglabā ilgi, tos tikai šķiro un iesaiņo pirms nosūtīšanas tālāk.

Lai saglabātu produktu kvalitāti transportēšanas laikā kā mazos, tā lielos attālumos, izmanto *transporta saldētavas* (refrižerators, kuģi, vagoni vai automobiļi ar aukstuma ierīcēm tādas kravas pārvadāšanai, kura ātri bojājas).

Islaicīgai produktu uzglabāšanai realizēšanas posmā pārtikas tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumiem nepieciešamas nelielas *bāzes saldētavas* (100...300 Mg) un *aukstuma kameras* tieši veikalos un ēdnīcās.

Lai saglabātu produktu augstu kvalitāti, nepieciešams nodrošināt to nepārtrauktu uzglabāšanu zemā temperatūrā, sākot ar ražošanu un beidzot ar nodošanu patērētājiem. Mūsu zemē sazarota dažādas nozīmes saldētavu tīkla izveidošanai pievērš lielu uzmanību. Izvērstā saldētavu saimniecība ļauj plānveidā apgādāt ar augstvērtīgiem produktiem visu mūsu zemes rajonu iedzīvotājus neatkarīgi no gadalaika.

## 2. Saldētavu konstrukcija un plānojums

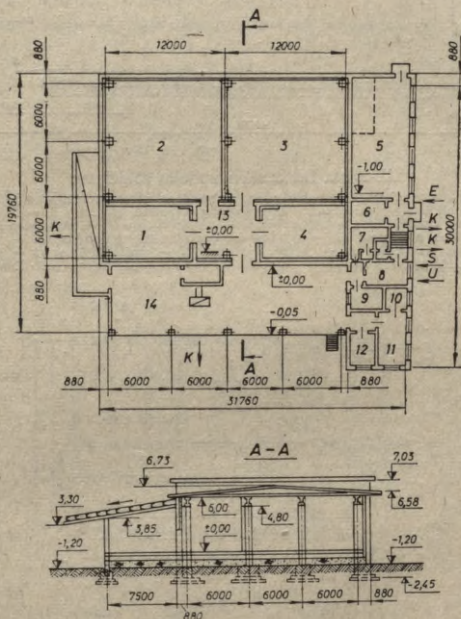
Saldētavu celtniecībai izvēlas līdzenu, nepārpurvotu laukumu, ievērojot sanitārās aizsardzības zonu, t. i., lai no uzņēmumiem, kas piesārņo gaisu, saldētava ar ietilpību virs 600 Mg atrastos ne tuvāk par 50 m. Saldētavas tuvumā jāparedz dzelzceļa atzarojums, ūdensvada, kanalizācijas un termofikācijas komunikācijas, gāzes un telefona tīkls. Saldētavas apgādei ar elektroenerģiju nepieciešama transformatoru apakšstacija.

Atkarībā no ražošanas veida un ietilpības saldētavas var būt vienkārša (IX-1. att.) vai vairākstāvu (IX-2. att.) celtnes. Tās izveido no saliekamajām dzelzsbetona konstrukcijām, ieskaitot kolonnas, starpstāvu un jumta pārsegumus, kā arī sienas. Produktu un dzelzsbetona pārsegumu slodzi pilnīgi uzņem kolonnas, kas to caur pamatiem pārnes uz grunti. Vienstāva saldētavās galvenā slodze no produktiem izdalās tieši uz grunti; kolonnas uzņem tikai samērā nelielo pārseguma slodzi un to kautķermeņu slodzi, kuri atdzesēti vai sasaldēti atrodas uz piekārtajiem transportieriem. Nelielās saldētavās visu slodzi uzņem sienas, tāpēc tās dēvē par *nesošajām sienām* (IX-3. att.). Kolonnu un sienu pamatu atbalsta lau-



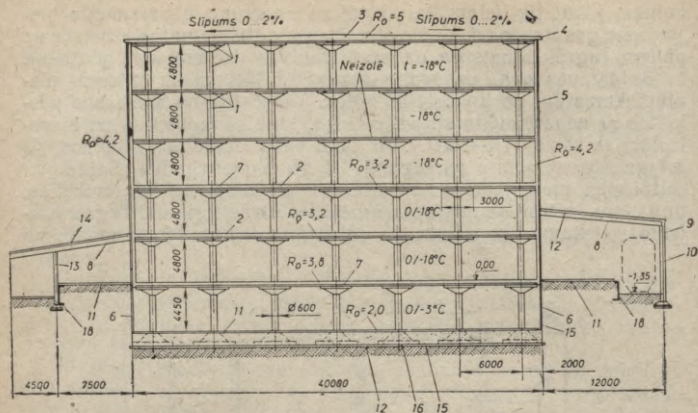
kumam jābūt tik lielam, lai spiediens uz grunti nepārsniegtu pieļaujamo grunts slodzi. Vājas izturības grūtis pamatus atbalsta uz pāļiem (agrāk atbalstīja uz nepārtrauktas dzelzsbetona plātnes).

Saldētavas *sienu* uzdevums ir novērst siltuma un mitruma pieplūdi kamerām no apkārtējās vides. Tāpēc tās no iekšpuses pārklātas ar nepārtrauktu siltumizolācijas, tvaika izolācijas un hidroizolācijas kārtu (IX-4. att.). Ar tādu pašu izolāciju kārtu nosegti arī griestu un jumta pārsegumi, kā arī kameru grīda. Saldētavu celtniecībā plaši izmanto saliekamās dzelzsbetona konstrukcijas, unificētus izstrādājumus un arī vietējos būvmateriālus. Tagad projektē saliekamas konstrukcijas saldētavu sienas, kuras montē no



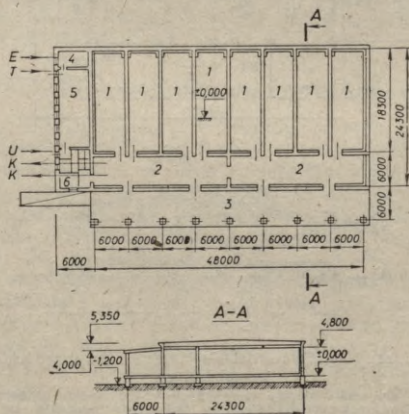
IX-1. att. Vienstāva sadales saldētava 300 Mg produktu uzglabāšanai:

1 — universālā kamera 49 m<sup>2</sup>; 2 un 3 — sasaldētu produktu uzglabāšanas kameras 147 m<sup>2</sup> un 152,5 m<sup>2</sup>; 4 — produktu sasaldēšanas kamera 49 m<sup>2</sup>; 5 — mašīnu nodāja 72 m<sup>2</sup>; 6 — elektroenerģijas sadales slēgdeju telpa 9,8 m<sup>2</sup>; 7 — garderobe 16,9 m<sup>2</sup>; 8 — apsildes telpa 10,5 m<sup>2</sup>; 9 — noliktava 9,7 m<sup>2</sup>; 10 — generatoru telpa 5,0 m<sup>2</sup>; 11 — akumulatoru uzpildīšanas telpa 17,5 m<sup>2</sup>; 12 — mazgātava 10 m<sup>2</sup>; 13 — gaitenis 33,5 m<sup>2</sup>; 14 — platforma; E — elektrības kabelis; K — kanalizācija; S — siltumtrase; U — ūdensvads.



IX-2. att. Daudzstāvu sadales sildītava:

1 — pārsegumu dzelzsbetona konstrukcijas; 2 un 3 — siltumizolācija; 4 — karnīze; 5 — saliekamie paneli; 6 — saliekamās dzelzsbetona atbalsta sienas; 7 — tvaika izolācija; 8 — saliekamās dzelzsbetona sijas; 9 — stikla bloki; 10 un 12 — putubetona paneli; 11 — saliekamās grīdas plāksnes; 13 — saliekamās dzelzsbetona kolonnas; 14 — azbestcimenta jumts; 15 — hidroizolācija; 16 — betona klājums; 17 — smilšu kārtā; 18 — platformas atbalsta sienas;  $R_0$  — siltumizolācijas termiskā pretestība ( $m^2 \cdot K/W$ ).



IX-3. att. Vienstāva sildītava ar nesošām sienām 600 Mg augļu un dārzenu uzglabāšanai: 1 — kameras; 2 — ekspedīcija; 3 — automobiļu platforma; 4 — slēgdēļu telpa; 5 — mašīnu nodalja; 6 — sadzīves telpas.

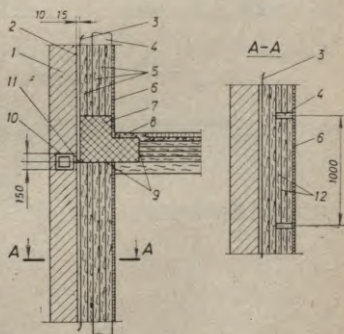


lieliem, iepriekš izolētiem dzelzsbetona paneļiem. Piemērotāki ir vertikālie paneļi, jo tiem mazāk salaides šuvju un enkuru, salaides vietas var samērā vienkārši hermetizēt un izolēt. Vertikālajam dzelzsbetona paneļim pa perimetru izvietotas ribas. Slodzi uzņem divas gareniskās ribas, kurās iestiprināti tērauda armatūras stieņi un cilpas. Stūru cilpas paredzētas paneļu pacelšanai un savstarpējai savienošanai, bet augšējās cilpas noder paneļu sastiprināšanai ar pārsegumiem. Ēkas iekšpusē paneļim piestiprināts koka karkass, kas satur siltumizolācijas kārtu. Lai siltumizolāciju aizsargātu no sabojāšanas, tā kameras pusē pārsegta ar šifera plātņi, kas pieskrūvēta pie koka karkasa. Pēc paneļu samontēšanas vertikālo salaিদuma šuvi aizpilda ar betona javu.

Siltuma starojuma pieplūdes samazināšanai saldētavas ār sienas ieteicams krāsot gaišā krāsā. Kameru starpsienām var izmantot dažādus būvmateriālus. Ekonomiski izdevīgas ir ar minerālā korķa kārtu izolētu vertikālu paneļu starpsienas. Bieži starpsienas izveido no putubetona vai keramzītbetona blokiem, sasaistot tos ar karstu bitumena mastiku vai kaļķu-cementa javu.

Starpstāvu pārsegumi parasti ir gludi — bezsiju. Bezsiju saliekamos dzelzsbetona pārsegumus montē no šādiem elementiem: kolonnām, kapiteļiem un divējāda izmēra pārseguma plātnēm. Gludiem griestiem salīdzinājumā ar ribotiem ir vairākas priekšrocības: tie nodrošina vienmērīgāku temperatūras un mitruma sadalījumu pa visu kameras tilpumu un netraucē gaisa cirkulāciju. Riboti griesti samazina kamerās ievietojamo produktu daudzumu, un uz to sijām sakrājas putekļi, kas veicina pelējuma un dažādu mikroorganismu attīstību.

Starpstāvu pārsegumus tagad izolē no virspuses. Tādējādi samazinās darba patēriņš un iespējams siltumizolācijai izmantot arī birstošus materiālus, piemēram, vieglus granulētus izdedžus, keramzīta vai perlīta šķembas. Bez tam griestu izolēšanai izmanto arī minerālo korķi, korķa plātnes, putubetonu, kūdras plātnes un citus materiālus. Ļoti svarīgi novērst izolācijas kārtas materiālu samirkšanu, jo tad uzlabojas siltuma vadītspējas koeficients un palielinās siltuma pieplūde kamerām.



IX-4. att. Saldētavas sienas konstrukcijas variants:

1 — siena; 2 — apmetums; 3 — tvaika izolācija (ruberoīds u. c.); 4 — koka statnes; 5 — siltumizolācija; 6 — apmetums uz metāla sieta; 7 — pretuguns aizsardzības josla; 8 — betona kārts; 9 — azbesta kartons; 10 — dzelzsbetona enkuru josla; 11 — enkurs ik pa 6 m; 12 — bitumena mastikas kārtiņas.

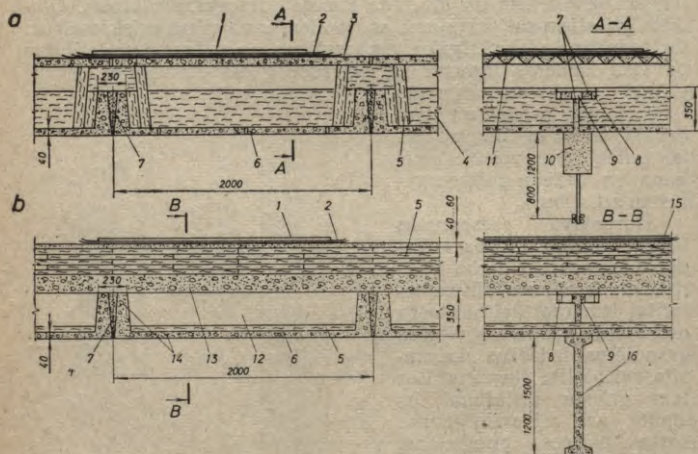
Saldētavu jumtus ceļ ar plakaniem pārsegumiem. Jumts sastāv no slodzi nesošiem elementiem, siltumizolācijas un seguma (IX-5. att.). Segumam parasti izmanto ruberoidu vai jumta papi, ko izklāj ar nelielu slīpumu un nolej ar bitumenu.

Grīdas sildētavas kamerām sastāv no trim kārtām: pamatkārta — grunts vai siltumizolācijas slānis; slodzi nesoša kārta — betons vai dzelzsbetons un segkārtā — betons, saliekamās betona vai asfaltbetona plātnes. Par labākajām uzskata betona vai dzelzsbetona plātņu grīdas.

Ja sildētavu kamerās ir zema temperatūra, iespējama grunts sasalšana, kas var izraisīt grīdu deformāciju vai pat sagraut ēkas konstrukciju. Tāpēc paredz grunts apsildīšanu zem sildētavām. Grīdu var neapsildīt, ja sildētavai nav iekšējās kolonnas, t. i., ja sildētavas platums ir tikai viens laidums.

Saldētavu kāpnēm jābūt ugunsdrošām. Kāpņu telpa jāprojektē ar tādu aprēķinu, lai no jebkura sildētavas punkta līdz kāpņu telpai attālums nebūtu lielāks par 60 m.

Kameru durvīm blīvi un viegli jāaizveras, tām jābūt arī viegli atveramām, ugunsdrošām un labi izolētām, lai samazinātu siltuma



IX-5. att. Saldētavas jumta pārsegums:

*a* — ar mikstajiem siltumizolācijas materiāliem; *b* — ar gaisa slāņa siltumizolāciju; 1 — azbestcimenta plāksnītes vai grants uz bitumena mastikas; 2 — piekārtains ruberoida klājums; 3 — saliekamās dzelzsbetona plātnes; 4 — mikstā siltumizolācija (stikla šķiedru vai minerālās vates plātņu kārtā); 5 — cietā siltumizolācija; 6 — saliekamie dzelzsbetona paneļi; 7 — cementa java; 8 — cilpas paneļu pacelšanai; 9 — paliktņi paneļu atbalsta armatūras piemetināšanai; 10 — dzelzsbetona sijas; 11 — asfalta mastika ar pildvielām; 12 — siltumizolācijas gaisa kanāli; 13 — putubetona vai keramzītbetona plātnes; 14 — bitumena kārtiņa; 15 — betona kārtā; 16 — iepriekš sprigotā sija.



pieplūdi caur durvīm. Durvju platumam jānodrošina ērta produktu kravu pārvietošana, izmantojot elektrokārus un citas mehānizācijas iekārtas.

Projektējot saldētavas, ļoti svarīgi pareizi izplānot aukstuma kameru, vestibulu, gaiteņu, kravas liftu, platformu un pārējo elementu novietojumu, lai nodrošinātu tehnoloģisko plūsmu un kravas operāciju ērtību. Kameru novietojumu plāno tā, lai temperatūru starpība starp blakus esošajām kamerām būtu pēc iespējas mazāka. Tā var samazināt aukstuma patēriņu saldētavas ekspluatācijas laikā. Bez galvenajām aukstuma kamerām produktu atdzesēšanai, sasaldēšanai un uzglabāšanai atkarībā no saldētavas tipa un lieluma jāparedz arī kameras produktu šķirošanai, nestandarta produkcijas īslaicīgai uzglabāšanai, ekspluatācijai utt. Saldētavu plāno atbilstoši kolonnu tīklam. Vairākstāvu celtnēs attālumiem starp kolonnu asīm jābūt  $6 \times 6$  m, vienstāva celtnēs —  $6 \times 12$  m. Vestibulu, kravas liftu un kāpņu telpu apvieno blokā, kurā dzesējošos ķermeņus neuzstāda.

Kravas operāciju veikšanai gar saldētavu ierīko dzelzceļa un automobiļu platformas, pie tam modernākas un izdevīgākas ir slēgtās atdzesējamās platformas, kurās var nodrošināt gaisa temperatūru apmēram  $10^{\circ}\text{C}$ . Platformās un saldētavas pirmajā stāvā kravu pārvietošanai izmanto piekārtos transportierus (ceļus).

Lielām sadales saldētavām ar ietilpību virs 10 000 Mg projektē 5...7 stāvu ēkas. Stāvu augstumam jābūt 3,1...4,5 m. *Daudzstāvu* saldētavu galvenās priekšrocības ir šādas: ievērojami samazinās apbūves laukums; novērsta grunts sasāšana, jo apakšējā stāvā uzglabā produktus, kuriem kameru temperatūra nav jāpazemina zem  $0^{\circ}\text{C}$ ; tā kā samazinās celtnes ārējo virsmu laukums, tad par 30...40% samazinās arī siltuma pieplūde no apkārtējās vides; samazinās produktu masas zudumi ūdens iztvaikošanas dēļ.

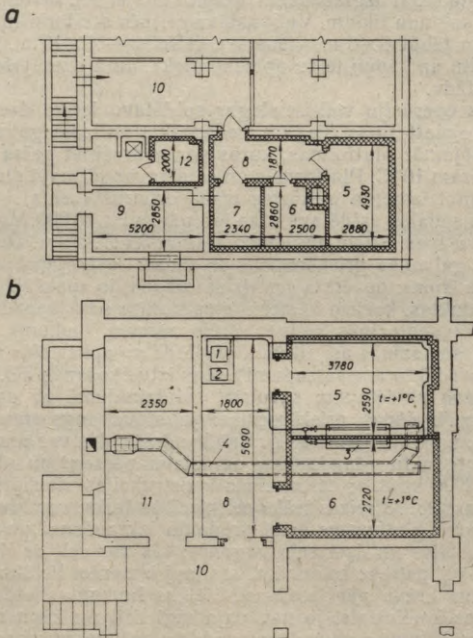
*Vienstāva* saldētavām savukārt salīdzinājumā ar daudzstāvu saldētavām ir šādas priekšrocības: ja stāva augstums sasniedz 7...7,5 m, uz katru kameras grīdas kvadrātmetru var novietot līdz 4000 kg produktu (daudzstāvu saldētavu pārsegumu pieļaujamā slodze ir  $2000 \text{ kg/m}^2$ ); celtniecības konstrukcijas vienkāršas, vieglas un lētas; 2...3 reizes īsāks celtniecības laiks; var izveidot pietiekami garas platformas ērtai produktu izkraušanai un iekraušanai automobiļos un dzelzceļa vagonos; tās var celt ar lielāku kolonnu soli vai pat bez kolonnām, kas ļauj izmantot lielāku gabarītu mehānismus kravu pārvietošanai; lielāks laukuma lietderīgās izmantošanas koeficients, jo nav vajadzīgi lifti un kāpnes. Lai samazinātu aukstuma zudumus un produktu nožuvumu, vienstāva saldētavās nepieciešama pastiprināta siltumizolācija.

Sadales saldētavas ar ietilpību līdz 10 000 Mg parasti ceļ kā vienstāva ēkas.

Ražošanas saldētavu plānojums atkarīgs no to pārtikas rūpniecības uzņēmuma cehu izvietojuma, kuri patērē aukstumu un kuri tehnoloģiski saistīti ar saldētavu. Tā, piemēram, gaļas kombināta

saldētavai var būt 5...6 stāvi, jo tai jāsaistās ar kautuvi, desu cehu un citām nodaļām. Izstrādātajos gaļas kombinātu tipveida projektos paredzēta vienkārša vai četrstāvu saldētava. Atdzesēšanas, sasaldēšanas un uzglabāšanas kameru novietojums plānots atbilstoši produktu galvenās plūsmas virzienam.

Tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos izveido nelielas saldētavas ar 3...4 kamerām, kur uzglabā ātri bojājošos produktu rezerves. Šādu saldētavu ietilpība ir 5...8 Mg (IX-6. att.), un to atdzesēšanai izmanto nelielus automatizētus freona aukstuma agregātus vai amonjaka aukstuma iekārtas ar sāls šķīduma dzesēšanas sistēmu.



IX-6. att. Sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumu saldētavu plāns:

a — ar amonjaka aukstuma iekārtu; b — ar freona aukstuma iekārtu; 1 — kompresors; 2 — elektrodzīnējs; 3 — dzesējošie ķermeņi; 4 — gaisa vadi; 5 — gaļas produktu kamera; 6 — piena produktu kamera; 7 — zivju produktu kamera; 8 — gatētnis; 9 — mašīntelpa; 10 — ekspedīcija; 11 — noliktava; 12 — atkritumu kamera.



### 3. Saldētavas kameru tilpuma un laukuma aprēķins

Saldētavas aukstuma kameru tilpums un saldēšanas iekārtu aukstuma ražīgums ir galvenie saldētavas jaudas rādītāji, tāpēc tie jānodrošina projektēšanas uzdevumā. Projektēšanas uzdevumu sastāda atbilstoši ekonomiskajam pamatojumam, kas satur nepieciešamos datus par kravas apgrozījuma struktūru, saldētavas noslodzes raksturu pa mēnešiem, produktu piegādi atdzesēšanai, sasaldēšanai un uzglabāšanai.

Nepieciešamo aukstuma kameru un aparātu ražīgumu produktu atdzesēšanai vai sasaldēšanai aprēķina atbilstoši piegādājamo produktu maksimālajam daudzumam. Aukstuma kameru skaitu un vienlaikus nepieciešamo tilpumu produktu atdzesēšanai vai sasaldēšanai aprēķina, ievērojot atdzesēšanas vai sasaldēšanas ilgumu.

*Produktu atdzesēšanas (vai sasaldēšanas) kameru tilpums*

$$E_a = A \frac{\tau_a}{24} (\text{Mg}), \quad (\text{IX-1})$$

kur  $A$  — produktu atdzesēšanas (vai sasaldēšanas) kameru diennakts ražīgums (Mg);

$\tau_a$  — atdzesēšanas (vai sasaldēšanas) ilgums, ieskaitot produktu iekraušanas un izkraušanas laiku (h).

Atdzesētu (vai sasaldētu) produktu *uzglabāšanas kameru tilpumu*  $E_u$  ražošanas saldētavās, zinot kameru diennakts ražīgumu un produktu uzglabāšanas ilgumu, aprēķina šādi:

$$E_u = A \cdot \tau_u (\text{Mg}), \quad (\text{IX-2})$$

kur  $\tau_u$  — maksimālais atdzesētu produktu *uzglabāšanas ilgums* saldētavā diennaktīs (d.). To pieņem atkarībā no uzņēmuma atrašanās rajona un darba apstākļiem (atdzesētiem produktiem 3...5 d., sasaldētiem — 20...60 d.).

Sadales saldētavām produktu uzglabāšanas kameru tilpumu aprēķina, zinot pieļaujamo saldētavas noslodzi un produktu kravas apgrozījumu (piegādi un izsniegšanu) pa mēnešiem saskaņā ar ekonomiskā pamatojuma datiem. Kamerās var ievietot dažādus produktus, kuru piegādes sezonas nesakrīt.

Pēc aprēķinātā nepieciešamā aukstuma kameru tilpuma un noslodzes normām (IX-1. tab.) nosaka orientējošus produktu atdzesēšanas, sasaldēšanas un uzglabāšanas kameru laukumus. Sastādot saldētavas plānu, tos var nedaudz izmainīt, lai parocīgāk novietotu izraudzītās iekārtas un nodrošinātu tehnoloģiskās plūsmas līnijas. Kameru celtniecības laukuma  $F_c$  lielumu (iekšējos izmērus) aprēķina pēc šādas izteiksmes:

$$F_c = \beta \frac{E \cdot 100}{N} = F_k + cl + a^2n + f (\text{m}^2), \quad (\text{IX-3})$$

kur  $\beta$  — laukuma palielināšanas koeficients (mazām kamerām ar kravas laukumu līdz 80 m<sup>2</sup>  $\beta=1,4$ ; vidēja lieluma kamerām ar kravas laukumu līdz 300 m<sup>2</sup>  $\beta=1,3$ ; lielām kamerām ar kravas laukumu lielāku par 300 m<sup>2</sup>  $\beta=1,2$ );

$E$  — aprēķinātais kameru tilpums (Mg);

$N$  — produktu noslodze uz 1 m<sup>2</sup> kravas laukuma (IX-1. tab.), ņemot vērā pieļaujamo kraušanas augstumu (kg/m<sup>2</sup>);

$F_k$  — kravas laukums saskaņā ar doto kameras tilpumu (m<sup>2</sup>);

$c$  — attālums, kādā produktus novieto no sienām (0,3 m) un dzesējošajiem ķermeņiem, kas piestiprināti pie kameras sienām (0,4 m);

$l$  — sienu un dzesējošo ķermeņu garums (m);

$a$  — kolonnas mala (kvadrātiska šķērsriezuma kolonnām) vai diametrs (m);

$n$  — kolonnu skaits kamerā;

$f$  — laukums ejām (eju platums 1,2 m) starp produktu grēdām (m<sup>2</sup>).

IX-1. tabula

Saldētavu kameru noslodzes normas  
(kameru augstums 4 m)

Produkti	Noslodze	
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup>
Liellopu gaļa, sasaldēta:		
kautķermeņu ceturtdaļas	400	1300
kautķermeņu puses	350	1050
nestandarta gabali	300	960
bloki kartona kastēs	650 ... 800	2100 ... 2400
Cūkas gaļa, sasaldēta	450	1500
Aitas gaļa, sasaldēta	300	960
Subprodukti, sasaldēti, kastēs	600	2000
Trušu gaļa kastēs	280	980
Desu izstrādājumi koka kastēs	400	1400
Šķiņķi, ruletes un citi izstrādājumi koka kastēs	500	1600
Zivis, sasaldētas:		
kastēs	350	1150
mucās	330	1100
fileja kastēs	500	1600
sabērtas kaudzē	350	1200
Putni, sasaldēti, koka kastēs	380	1300
Sviests, tauki:		
kastēs	650 ... 700	2200 ... 2400
mucās	540	2160
Augļi un ogas:		
svaigi, kastēs	350	1050
kaltēti	300 ... 400	1000 ... 1300
Konservi	600	2000
Siers	450 ... 550	1350 ... 1650
Pārējie produkti	300	1000



Tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumiem saldētavu kameru kopējo laukumu  $F$  var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$F = \frac{G\tau}{N} \beta \text{ (m}^2\text{)}, \quad (\text{IX-4})$$

kur  $G$  — produktu patēriņš diennaktī (kg);  
 $\tau$  — produktu uzglabāšanas ilgums (d.);  
 $N$  — kameras noslodze (kg/m<sup>2</sup>);  
 $\beta$  — laukuma palielināšanas koeficients.

Katram produktam vai produktu grupas veidam jāparedz sava aukstuma kamera, kuras mikroklīmatam jāatbilst attiecīgā produkta uzglabāšanas optimālajiem apstākļiem (IX-2. tab.).

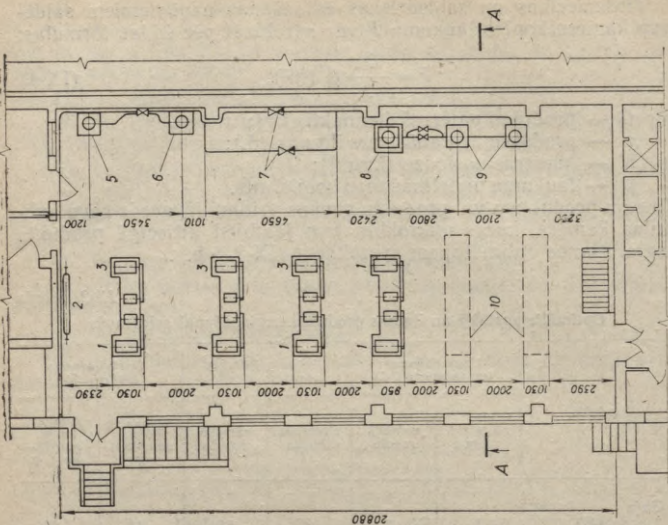
IX-2. tabula

Optimālie apstākļi un ilgums produktu uzglabāšanai saldētavās

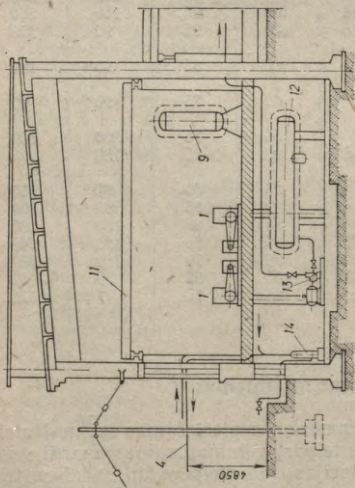
Produkti	Uzglabāšanas temperatūra (°C)		Gaisa relatīvais mitrums $\varphi$ (%)		Uzglabāšanas ilgums (d.)	
	augstākā robeža	zemākā robeža	augstākā robeža	zemākā robeža	augstākā temp., zemākais $\varphi$	zemākā temp., augstākais $\varphi$
Gaļa						
atdzesēta	+1	-1	85	80	10	20
sasaldēta	-9	-18	100	95	240	360
Putni, sasaldēti	-9	-18	100	95	150	360
Zivis, sasaldētas	-9	-18	100	95	90	270
Ikri						
graudainie, kārbās	-2	-3	90	85	90	120
graudainie, mucās	-5	-6	80	75	90	90
melns kaviārs	-7	-8	80	75	300	300
Sviests kastēs un mucās	-9	-18	90	85	180	360
Siers	+5	0	85	80	60	180
Augļi	+4	0	92	85	60	300
Olas	-0,5	-2	88	85	180	300
Melanža	-9	-10	85	80	120	240
Konservi	+8	+2	75	70	180	360
Saldējums	-24	-30	100	95	30	60
Alus un bezalkoholiskie dzērieni	+12	+4	85	70	7	15

#### 4. Saldētavas mašīntelpas

Saldētavās bez aukstuma kamerām nepieciešamas arī mašīntelpas, kas sastāv no kompresoru telpas, siltumapmaiņas aparātu nodaļas, transformatoru apakšstacijas, palīgtelpām un sadzīves telpām.



A - A



IX-7. att. Saldētavas mašintelpas plāns:

1 un 3 — amonjaka kompresori; 2 — gaisa atdalītājs; 4 — caurulvadi; 5 un 6 — starptrauki; 7 — regulēšanas sistēma; 8 un 9 — šķidrums atdalītāji; 10 — rezerves kompresoru vieta; 11 — celtna sija; 12 — drenāžas resivērs; 13 — amonjaka sūkņi; 14 — eļļas savācējs.



Mašīntelpas projektē pēc tam, kad aukstuma iekārtu galvenās sastāvdaļas aprēķinātas un izraudzīti kompresori ar elektrodzinējiem, kondensatori, iztvaikotāji, ūdens un sāls šķīduma sūkņi, kā arī palīgaparāti. Tipveida saldētavu mašīntelpu aptuvenu lielumu var atrast rokasgrāmatās. Bieži mašīntelpas izvieto saldētavas korpusa piebūvē (IX-7. att.), lai tajās būtu labs dabiskais apgaismojums.

Lai varētu izmantot standartizētās saliekamās konstrukcijas, mašīntelpu piebūves platumu pieņem līdz 12 m, bet augstumu — ne mazāku par 4 m, tā nodrošinot aparātu montāžai un remontdarbu veikšanai nepieciešamo mehānismu (tilta sija ar telferu u. c.) novietošanas iespējas.

*Kompresoru telpā* izvieto aukstuma mašīnu kompresorus ar elektrodzinējiem, starptraukus, gaisa atdalītājus, šķidrums uztvērējus, regulēšanas staciju, elektroenerģijas sadales skapi, automatizācijas ierīces un aparātus.

*Siltumapmaiņas aparātu telpu* cenšas novietot zem kompresora telpas (pagrabā), lai varētu darba vielu izlaist no sistēmas. Bez kondensatora un iztvaikotāja te uzstāda arī resiverus, sūkņus un palīgaparātus. Aparātu telpas augstumam jābūt vismaz 3,6 m. Mazās saldētavās aukstuma mašīnas kompresorus un siltumapmaiņas aparātus novieto vienā telpā.

Mašīntelpu celtniecību un iekārtu izvietošanu tajās veic, stingri ievērojot darba aizsardzības un drošības tehnikas noteikumu prasības. Iekārtas novieto pēc iespējas kompakti darba vielas (vai citas cirkulējošas vides) plūsmas secībā saskaņā ar tehnoloģisko shēmu. Tā līdz minimumam samazinās iekārtu savienojošo cauruļvadu garums un arī celtniecības izmaksas.

Mašīnas un aparāti, regulēšanas stacija un citas ierīces, kas darba laikā jāuzrauga, labi jāapgaismo. Jāparedz arī laukumi iekārtu remontam, siltumapmaiņas aparātu sildvirsmu apmaiņai, tīrīšanai un citu darbu veikšanai.

Starptraukus novieto pie sienas, lai varētu ērti piekļūt noslēdzošai armatūrai un automātikas ierīcēm. Horizontālos apvilkta cauruļu kūļa aparātus (kondensatorus, iztvaikotājus) var novietot vienu virs otra uz tērauda vai dzelzsbetona balstiem. Vertikālos apvilkta cauruļu kūļa kondensatorus uzstāda ārpus mašīntelpas uz atsevišķa pamata. Tam blakus novieto sistēmas resiveru, eļļas atdalītāju un eļļas savācēju.

Cauruļvadus iekārtām un aparātiem pievieno no augšas vai arī pa telpas grīdā izveidotiem kanāliem no apakšas. Cauruļvados jāparedz drošības armatūra un noslēdzošā armatūra, kas dod iespēju pārslēgt kompresorus uz dažādiem darba režīmiem. Maģistrālo cauruļvadu tuneļiem (augstums ne mazāks par 1,9 m) jābūt vēdinātiem.

## 5. Saldētavu siltumizolācijas materiāli

Aukstuma mašīnu ražoto aukstumu patērē produktu atdzesēšanai un sasaldēšanai, kā arī kameru dzesēšanai, jo caur sienām, griestiem un grīdu no apkārtējās vides kamerās ieplūst siltums. Aukstuma patēriņš kameru dzesēšanai — *aukstuma zudumi* — palielina aukstuma iekārtu uzstādīšanas un ekspluatācijas izdevumus.

Aukstuma zudumu samazināšanai saldētavu ārējās sienas, kā arī griestus un grīdas noklāj ar siltumizolācijas kārtu, kas izveidota no siltumu slikti vadošiem (siltumizolācijas) materiāliem.

Siltumizolācijas ietekmi nosaka lietojamā materiāla īpašības un kārtas biezums. Ja siltumizolācija nav pietiekama, tad aukstuma kamerās grūti uzturēt vienmērīgu temperatūras režīmu un aukstuma iekārtu ekspluatācijas izdevumi pieaug. Pārāk bieža siltumizolācijas kārtā arī nav ekonomiska, jo tad celtniecības darbu izmaksas ir lielākas nekā ietaupītā aukstuma izmaksas. Tāpēc, lai, projektējot saldētavu siltumizolāciju, izvēlētos optimālo variantu, jāievēro gan ekspluatācijas, gan arī celtniecības darbu izmaksas. Siltumizolācijas kārtas biezumu izvēlas, pamatojoties uz aprēķinu rezultātiem.

Lai gan siltumizolācijas izmaksas sastāda 20...40% no visām saldētavas celtniecības izmaksām, tās ekspluatācijas gaitā ātri atmaksājas, jo labas siltumizolācijas gadījumā nepieciešama mazāka ražīguma aukstuma iekārta un tās darbības laiks diennaktī ir īsāks. Laba siltumizolācija samazina arī ūdens iztvaikošanu no produktiem uzglabāšanas laikā, tātd saglabā to kvalitāti.

Siltumizolācijas materiāliem jāatbilst šādām galvenajām prasībām: to siltumvadītspējas koeficientam un blīvumam jābūt maziem; tiem jābūt maz higroskopiskiem (ar nelielu mitruma uzsūkšanas spēju), jo, materiālam samirkstot, ievērojami palielinās tā siltumvadītspējas koeficients; tiem jāspēj pretoties sēnīšu un baktēriju iedarbībai, kas izraisa trupi un materiāla sadalīšanos; tiem jābūt ugunsizturīgiem; tiem nedrīkst būt smaka, kas var ietekmēt produktu kvalitāti; tiem jābūt sala izturīgiem, jo ūdens, kas iesūcies porās, sasilstot var tos sagraut; tos nedrīkst bojāt grauzēji; tiem ilgstoši jā saglabā sākotnējās izolācijas spējas; tiem jābūt mehāniski izturīgiem un viegli apstrādājamiem ar griezējinstrumentiem; tiem jābūt pietiekamā daudzumā un lētiem.

Atkarībā no ķīmiskā sastāva un iegūšanas veida izšķir organiskos, minerālos un sintētiskos siltumizolācijas materiālus.

Galvenie **organiskie** siltumizolācijas materiāli ir korķa un kūdras plātnes. *Korķa plātne* ir labākais dabiskais siltumizolācijas materiāls. Korķi iegūst galvenokārt Ziemeļāfrikā un arī citās Vidusjūras zemēs no korķa ozola mizas, kuras šūniņas piepildītas ar gaisu. Šūniņu apvalki satur vielas, kas korķim nodrošina arī labas ūdens un tvaika izolācijas spējas.

Korķa plātnēm, kuras izgatavo no korķa smalkumiem, ir mazs siltumvadītspējas koeficients, un tās kalpo 40 un vairāk gadu.



Korķa plātņu izmēri  $1000 \times 500 \times (20 \dots 120)$  mm. Korķis ir dārgs, tādēļ to lieto reti, piemēram, uz refrižeratorkuģiem.

*Kūdras plātnes* izgatavo no kūdras, kas maz sadalījusies, to sasmalcinot un saspiežot. Tām ir mazs siltumvadītspējas koeficients un blīvums (IX-3. tab.). Tās ir samērā lētas, tomēr tām ir arī vairāki nopietni trūkumi. Kūdras plātnes pelē, samērā ātri samirkst, neiztur temperatūru, augstāku par  $120^\circ\text{C}$ , un to mehāniskā izturība ir maza. Ievērojot ekspluatācijas noteikumus, tās sekmīgi izmanto saldētavu izolēšanai. No kūdras masas izgatavo arī speciālas formas veidgabalus (segmentus u. c.) cauruļu izolēšanai.

Visi **minerālie** siltumizolācijas materiāli ir nedegoši, tos nebojā grauzēji un pelējuma sēnītes.

*Putubetona blokus* izgatavo no cementa javas, galdnieku līmes un kolofonija ziepju putu maisījuma. Putubetons sastāv no sikām, noslēgtām porām, kas piepildītas ar gaisu. Tā blīvums ir  $350 \dots 450 \text{ kg/m}^3$ . Siltumvadītspējas koeficients atkarīgs no putubetona blīvuma un mitruma.

Mainīgā temperatūras un mitruma režīmā izmainās putubetona struktūra, tas plaisā. Bez tam ar laiku putubetona bloki samirkst, tāpēc nepieciešama tvaika izolācija un hidroizolācija.

*Izdedžu vate* sastāv no ļoti smalkiem stiklveida diedziņiem, starp kuriem sastopamas arī rupjākas šķiedras un lodītes. Diedziņi izvietoti nekārtīgi, tā veidojot sietveida virsmu. Starp šķiedrām atrodas gaiss, kas nodrošina mazu siltumvadītspējas koeficientu un nelielu blīvumu.

Izdedžu vati iegūst, izsmidzinot ar saspiestu gaisu vai tvaiku izdedžu un dolomīta vai kaļķakmens sakausējumu. Izsmidzinot izkausētu stiklu, iegūst stikla vati. Parastā izdedžu vate ir higroskopiska un uzsūc daudz ūdens. Ja to apstrādā ar kalcija hlorīda un ziepju šķīdumu, tā vairs ar ūdeni nenaslapinās un pat negrimst ūdenī.

Izmantojot izdedžu vati pārtikas rūpniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos, jāraugās, lai sikās stiklveida šķiedriņas nenokļūtu produktos. Veicot izolēšanas darbus, jāievēro darba aizsardzības noteikumi — jālieto cimdi, respiratori, maskas un citi aizsardzības līdzekļi.

*Minerālā korķa plātnes* izgatavo no izdedžu vates, kuru apstrādā ar ūdens-bitumena emulsiju, pēc tam formā saspiež un kaltē. Plātņu izmēri  $1000 \times 500 \times 50$  mm. Minerālais korķis ir labs, sala izturīgs materiāls, tikai tam ir samērā neliela mehāniskā izturība. No minerālā korķa izgatavo arī dažādas formas un izmēru veidgabalus cauruļu un citu liektu virsmu izolēšanai.

*Alfola* siltumizolāciju izveido no alumīnija folgas loksņēm, kuru biezums  $0,07 \dots 0,01$  mm. Loksnes klāj vienu virs otras  $8 \dots 10$  mm attālumā ar azbesta starplikām, lai starp tām izveidotos gaisa slānis. Gludu lokšņu vietā lieto arī gofrētu vai vienkārši saburzītu folgu.

Alfola pozitīvās īpašības — mazs blīvums, nehigroskopisks, uguns un sala izturīgs, bez smakas, mazs siltumvadītspējas koeficients; trūkums — alfols neiztur mehāniskas vibrācijas. So materiālu izmanto tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumu aukstuma iekārtu un inventāra izolēšanai.

Labs siltumizolācijas materiāls ir *azbesta šķiedras, loksnes* un azbesta *smalkumi*. Azbests iztur augstas temperatūras, tādēļ to vairāk izmanto siltuma iekārtu izolēšanai.

*Akmeņogļu izdedžus* lieto augšējo pārsegumu un apakšējā stāva grīdas izolēšanai. Ar laiku izdedžu slānis nosēžas, tādēļ, iestrādājot grīdā, tas jāsabļivē.

Saldētavu pārsegumu un grīdu izolēšanai lieto arī *keramzīta granulas*, bet starpsienām izmanto *keramzītbetonu*. Starpsienās un arī ārējo sienu pārsegumu izolēšanai var lietot *fibrolīta plātnes*, kas jāpiestiprina pie koka karkasa un jāapmet.

Pēdējā laikā aukstumtechnikā arvien plašāk ievieš *sintētiskos* plastmasu siltumizolācijas materiālus, kuru blīvums ir sevišķi mazs.

*Mipora* ir ļoti viegls, porains materiāls, kam ir elastīgu putu veids. To izgatavo no formaldehīda (100 masas daļas), urīnvielas (37 masas daļas) un nātrija acetāta (1 masas daļa). Miporas pozitīvās īpašības ir šādas: mazs blīvums, neliels siltumvadītspējas koeficients, pietiekama sala izturība. Tās trūkums ir ievērojamā samitrināšanās spēja un nepietiekamā mehāniskā izturība. Lai samazinātu miporas samirkšanu, to apmēram uz 1 minūti iegremdē līdz 80 °C sasilītā naftas bitumenā.

*Putuplastu* (ПХВ-1) izgatavo no polihlorvinila sveķiem, iegūstot cietas, porainas putas. To lieto par siltumizolācijas materiālu aukstumtechnikā.

Perspektīvs siltumizolācijas materiāls atbilstošo īpašību dēļ ir arī *porainais polistirols*, ko iegūst, polimerizējot monomēru stīrolu, kuru izgatavo no benzola un etilēna noteiktos apstākļos (pie noteikta spiediena un temperatūras) alumīnija hlorīda klātbūtnē.

Visbiežāk lietojamo izolācijas un celtniecības materiālu fizikālās īpašības dotas IX-3. tabulā.

## 6. Tvaika izolācija un hidroizolācija

Pat ļoti neliela izolācijas materiāla mitruma palielināšanās daudzkārt samazina šī materiāla termisko pretestību. Tas izskaidrojams ar to, ka daudz lielāks siltumvadītspējas koeficients ir ūdenim [ $\lambda = 0,58 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ] un ledum [ $\lambda = 2,33 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ] nekā sausam gaisam [ $\lambda = 0,0232 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ], kas atrodas materiāla porās.

Izolācijas materiāli var uzņemt mitrumu 1) celtniecības darbu laikā; 2) no atmosfēras nokrišņiem; 3) no grunts, jo mitrums uzsūcas pa materiāla kapilāriem; 4) no ārējā gaisa, ja ūdens tvaika parciālais spiediens atmosfēras gaisā ir lielāks nekā pie izolācijas



## Izolācijas un celtniecības materiālu fizikālās īpašības

Materiāli	Blīvums (kg/m <sup>3</sup> )	Siltumvadītspējas koeficients $\lambda$		Ipatnējais siltums $c$	
		W/(m · K)	kcal/(m · h · K)	kJ/(kg · K)	kcal/(kg · K)
1	2	3	4	5	6
<b>Siltumizolācijas</b>					
Alfols	3 ... 4	0,041 ... 0,047	0,035 ... 0,04	0,29	0,07
Azbesta šķiedras	100 ... 250	0,052 ... 0,081	0,045 ... 0,07	0,84	0,20
Fibrolīts	400 ... 600	0,175 ... 0,23	0,15 ... 0,20	2,50	0,60
Gaiss plānā slānī	1,3	0,06 ... 0,32	0,05 ... 0,28	1,0	0,24
Gāzubetons	450 ... 500	0,15 ... 0,18	0,13 ... 0,15	0,84	0,20
Izdedži	700 ... 1000	0,23 ... 0,29	0,2 ... 0,25	0,75	0,18
Kartons, gofrēts	200 ... 250	0,07 ... 0,093	0,06 ... 0,08	1,46	0,35
Keramzīts	250	0,12	0,10	0,84	0,20
Koka skaidas	250 ... 300	0,093 ... 0,12	0,08 ... 0,10	2,50	0,60
Kokvilnas vate	100 ... 150	0,047 ... 0,06	0,04 ... 0,05	0,84	0,20
Korķa graudi	120 ... 160	0,047 ... 0,06	0,04 ... 0,05	2,10	0,50
Korķa plātnes	160 ... 350	0,047 ... 0,093	0,04 ... 0,08	2,10	0,50
Kūdras plātnes	160 ... 200	0,07 ... 0,08	0,06 ... 0,07	1,67	0,40
Minerālais korķis	200 ... 300	0,06 ... 0,08	0,05 ... 0,07	0,75	0,18
Minerālā vate un izdedžu vate	175 ... 250	0,07 ... 0,08	0,06 ... 0,07	0,75	0,18
Minerālās vates un izdedžu vates tūks (voiloks)	200 ... 250	0,07 ... 0,08	0,06 ... 0,07	0,75	0,18
Mipora	18 ... 25	0,035 ... 0,07	0,03 ... 0,06	1,50	0,36
Putubetons	350 ... 570	0,13 ... 0,18	0,11 ... 0,15	0,84	0,20
Putustikls	200 ... 400	0,12 ... 0,15	0,10 ... 0,13	0,84	0,20
Putuplasts ПХВ-1	80 ... 100	0,041 ... 0,047	0,035 ... 0,04	—	—
Putu polivinilhlorīds ПХВ-3	180 ... 210	0,058	0,05	—	—
Putupolistirols	60 ... 80	0,047 ... 0,052	0,04 ... 0,045	—	—
ПЦ-4	20 ... 25	0,032 ... 0,035	0,028 ... 0,03	—	—
Putupolistirols	20 ... 25	0,032 ... 0,035	0,028 ... 0,03	—	—
ПЦ-Б, ПЦ-БС	150 ... 200	0,035 ... 0,058	0,03 ... 0,05	0,84	0,20
Stikla vate	150 ... 200	0,058 ... 0,07	0,05 ... 0,06	1,88	0,45
Vilnas tūks (voiloks)	150 ... 200	0,058 ... 0,07	0,05 ... 0,06	1,88	0,45
<b>Tvaika izolācijas un hidroizolācijas</b>					
Asfalts	1800 ... 2000	0,75 ... 0,87	0,65 ... 0,75	1,67	0,40
Bitumens	900 ... 1000	0,29 ... 0,47	0,25 ... 0,40	1,67	0,40
Hidroizols	700 ... 900	0,29 ... 0,35	0,25 ... 0,30	1,46	0,35
Jumta pape	600 ... 800	0,18 ... 0,23	0,15 ... 0,20	1,50	0,36
Ruberoids, pergamīns	600 ... 800	0,14 ... 0,18	0,12 ... 0,15	1,50	0,36
<b>Celtniecības</b>					
Betons	1900 ... 2200	0,93 ... 1,3	0,8 ... 1,1	0,84	0,20
Cementa apmetums	1700 ... 1800	0,8 ... 0,99	0,7 ... 0,85	0,84	0,20

1	2	3	4	5	6
Dzelzsbetons	2200 ... 2400	1,46 ... 1,57	1,25 ... 1,35	0,84	0,20
Finiera plāksnes	600 ... 650	0,18 ... 0,21	0,15 ... 0,18	2,50	0,60
Gīpša paneli	700 ... 1100	0,23 ... 0,41	0,20 ... 0,35	0,92	0,22
Izdedžu betons	1200 ... 1500	0,47 ... 0,7	0,4 ... 0,6	0,84	0,20
Kartons, blīvs	900 ... 1000	0,23 ... 0,29	0,20 ... 0,25	1,46	0,35
Kokmateriāli	550 ... 800	0,175 ... 0,23	0,15 ... 0,20	2,50	0,60
Kieģeļi	1500 ... 1800	0,58 ... 0,93	0,5 ... 0,8	0,88	0,21
Kieģeļu siena	1400 ... 1800	0,58 ... 0,93	0,5 ... 0,8	0,88	0,21
Ledus	890 ... 900	2,2 ... 2,3	1,9 ... 2,0	2,10	0,5
Linolejs	1100 ... 1200	0,175 ... 0,23	0,15 ... 0,20	1,46	0,35
Rīgipss	700 ... 1000	0,12 ... 0,35	0,10 ... 0,30	1,0	0,24
Smiltis, sausas	1500 ... 1600	0,47 ... 0,58	0,4 ... 0,5	0,92	0,22
Sniegs, sablīvēts	350 ... 400	0,35 ... 0,47	0,3 ... 0,4	2,10	0,5
Stikls	2400 ... 2600	0,7 ... 0,8	0,6 ... 0,7	0,84	0,20
Udens	1000	0,58 ... 0,64	0,5 ... 0,55	4,19	1,0
Zemes uzbērums	1400 ... 1800	0,58 ... 0,8	0,5 ... 0,7	0,84	0,20
Tērauds	7600 ... 7850	52 ... 58	45 ... 50	0,46	0,11
Cuguns	7100 ... 7300	49 ... 52	42 ... 45	0,46	0,11

materiāla virsmas. Izolācijas materiālā iekļuvušais ūdens tvaiks kondensējas tajā materiāla slānī, kura temperatūra atbilst rasas punkta temperatūrai, bet sasilst tajā slānī, kura temperatūra ir zem 0 °C.

Lai aizsargātu siltumizolāciju no samirkšanas, lieto tvaika izolācijas un hidroizolācijas materiālus, piemēram, naftas bitumenus, ruberoīdu, jumta papi u. c. Līdz ar tvaika izolācijas un hidroizolācijas īpašībām vienlaikus izmanto arī bitumenu saistvielas spēju, lai izolācijas plātnes piestiprinātu pie nesošajām konstrukcijām. Bitumenus izkausē katlos un karstus uznes uz izžāvētas izolējamās virsmas. Visbiežāk lieto *naftas bitumenu* ar kušanas temperatūru 70 °C, kurš maz laiž cauri tvaiku, pietiekami stipri piesaista izolācijas plātnes pie konstrukcijas un ir samērā elastīgs arī temperatūrā zem 0 °C. Ar *ruberoīdu* un *jumta papi* no samirkšanas aizsargā horizontālas virsmas, piemēram, jumtus un grīdas.

## 7. Izolācijas konstrukcijas

Saldētavas ierobežojošās sienas ir daudzkārtu konstrukcijas, kuras veido dažādi celtniecības materiāli. Sienas slodzi nesošo kārtu izgatavo no izturīga materiāla, jo tā aizsargā saldētavu no mehāniskiem bojājumiem un apkārtējā gaisa ietekmes. Nesošajai sienas kārtai līdzās nostiprina tvaika izolācijas, hidroizolācijas un siltumizolācijas kārtas, kuras neļauj ārējās vides mitrumam un siltumam iekļūt saldētavā. Tvaika izolācijas, hidroizolācijas un siltumizolācijas kārtas kopā ar sienas nesošo daļu veido *izolācijas konstrukcijas*.

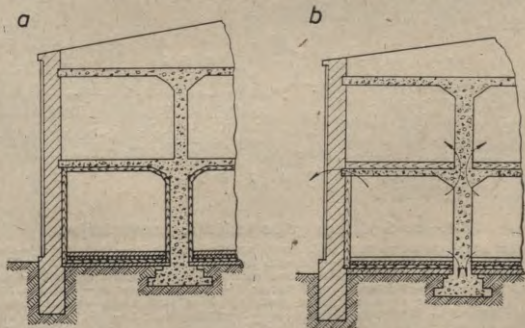


*ciju*. Izolācijas konstrukcijai jābūt nepārtrauktai, pietiekami biežai un droši piestiprinātai pie nesošajām konstrukcijām.

Ļoti svarīga prasība ir izolācijas konstrukcijas *nepārtrauktība*, t. i., lai neizveidotos «aukstuma tiltiņi», kuri rada papildu aukstuma zudumus, konstrukcijas caursalšanu, samitrināšanos un bojāšanos. Izolācijas konstrukcijas principiālās shēmas parādītas IX-8. attēlā. Ēkas apakšējā stāva telpām izveidota siltumizolācija. Shēmas kreisajā pusē redzama nepārtraukta siltumizolācijas kārtā, bet labajā pusē — siltumizolācijas kārtā ar pārtraukumiem sienas un pārseguma savienojumu un kolonnu vietās, kur zemas kameru temperatūras gadījumā veidojas «aukstuma tiltiņi». Produktu uzglabāšanas kamerās kolonnas neizolē, jo aukstuma zudumi caur tām ir mazi, bet izolācijas ierīkošanas darbi izmaksā dārgi un izolācija bieži jāatjauno (to bojā kravas pārvietošanas mehānismi).

Saldētavu *grīdu* siltumizolācijas un hidroizolācijas izvēle atkarīga no grunts īpašībām un saldētavas apakšējā stāva kameru temperatūras režīma. Sausā smilts grūti caursalšana nenotiek. Uz sablīvētas grunts iestrādā 70...80 mm biezu betona kārtu. To pārklāj ar ruberoīdu, kas neļauj mitrumam no grunts iekļūt kameras pazeminātas temperatūras zonā (IX-9. att. a). Lai ruberoīdu aizsargātu no mehāniskiem bojājumiem, to nosedz ar 40...50 mm biezu izdedžu betona kārtu un tad uzber aprēķinātā biezuma izdedžu slāni. Virs tā atkal iestrādā izdedžu betonu un hidroizolāciju, lai novērstu mitruma iekļūšanu izolācijas kārtā no kameras puses. Grīdas divus augšējos slāņus veido betons ar tērauda stiegru armatūru (grīdas pamats) un asfalts. Nākotnē grīdu izolācijai vēlams izmantot neorganiskos siltumizolācijas materiālus, piemēram, izdedžu vati u. c.

Ja kameru temperatūra virs 0°C, tad atļauts izveidot saldētavu grīdas bez izolācijas kārtas. Sajā gadījumā nepieciešams gar ēkas



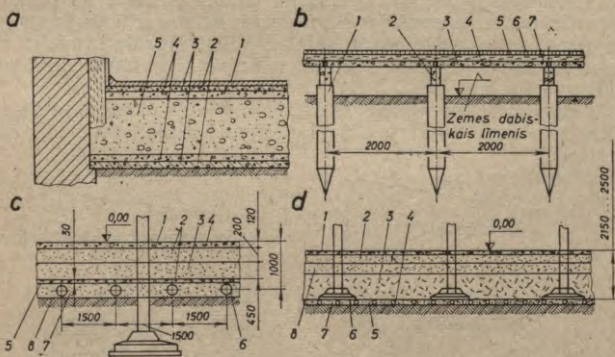
IX-8. att. Izolācijas konstrukcijas shēmas:  
a — nepārtraukta izolācija; b — izlācija ar pārtraukumiem.

arējo sienu uzbērt 0,5 m platu un 0,5 m augstu izdedžu dambi, lai novērstu «aukstuma tiltiņa» ietekmi.

Ceļot vienstāva sildītavas uz sasalstošām gruntīm, kamerām ar temperatūru zem 0°C jāizveido grīdas, kas pasargātu grūti no sasalšanas. Šim nolūkam zem grīdas izveido gaisa slāni, grīdu nostiprinot uz pāļu pamatiem, vai arī iekārto apsildāmas grīdas (IX-9. att. *b, c, d*). Elektrosildītājus (tērauda stiegras ar  $d=10\dots\dots 18$  mm) vai tērauda caurules ( $d=50\dots\dots 60$  mm) siltas eļļas cirkulācijai novieto zem grīdas ēkas pamatu dziļumā. Elektrosildītājiem pievadāmo spriegumu pazemina līdz 30 V. Dažkārt pa cauruļu sistēmu grīdās ziemā pūš cauri sasildītu gaisu, bet vasarā — āra gaisu.

Arējās ķieģeļu sienas, kas neuzņem slodzi, parasti izolē ar minerālā korķa, kūdras vai cita materiāla plātnēm, ar putubetona blokiem, bet retāk izveido birstoša materiāla izolācijas slāni (izdedži, koka skaidas, kūdras smalkumi, minerālā vate vai izdedžu vate u. c.).

Ja izmanto izolācijas plātnes, sienu iepriekš apmet, lai tās virsma būtu līdzena. Pēc izžūšanas apmetumu noklāj ar bitumena kārtiņu, izveidojot tvaika izolāciju. Pēc tam pie sienas ar listēm un stieplēm piestiprina aprēķinātā biezuma izolācijas plātnes. Listes savukārt ar naglām piestiprina pie sienā iedzītām koka tapām. Ka-



IX-9. att. Saldētavu grīdu izolācijas konstrukcijas:

*a* — kamerām ar temperatūru zem 0°C sausā smilšu grūti; 1 — asfalts; 2 — betons un dzelzsbetons; 3 — hidroizolācija; 4 — izdedžu betons; 5 — izdedži; *b* — kamerām ar temperatūru, zemāku par 0°C; 1 — dzelzsbetona pāļi; 2 — dzelzsbetona sijas; 3 — saliekamās dzelzsbetona plātnes; 4 — minerālā korķa kārtā; 5 — betona kārtā; 6 — asfalts; 7 — tvaika izolācija; *c* — kamerām ar sasalstošām gruntīm; 1 — saliekamās dzelzsbetona plātnes; 2 — smilšu slānis; 3 — keramzīta šķembas; 4 — cementa java; 5 — hidroizolācija; 6 — betona caurules grīdas apsildei; 7 — smilšu un māla maisījums; 8 — blietēta grūti; *d* — kamerām ar grīdu apsildi; 1 — saliekamās dzelzsbetona plātnes; 2 — smiltis; 3 — grūti uzbērums; 4 — elektrosildītāji vai tērauda caurules ar karstu eļļu; 5 — betons; 6 — hidroizolācija; 7 — blietēta grūti; 8 — keramzīta šķembas.



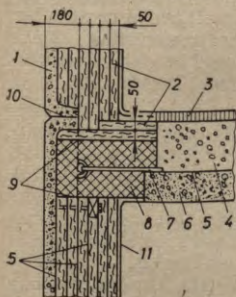
meras pusē izolācijas materiāla plātnes pārvelk ar stieplu sietu un apmet. Lai aizsargātu izolāciju pret grauzējiem, sienas apakšējā daļā 600...700 mm augstumā no grīdas iestrādā stieplu sietu un apmēram 40 mm biezu cementa apmetuma kārtu.

Birstošos izolācijas materiālus ieber spraugā starp divām sienām. Ārējā ir saldētavas galvenā siena, bet iekšējā (ķieģeļu vai koka) notur izolācijas kārtu. Ārējās sienas iekšējo virsmu noklāj ar tvaika izolācijas slāni (bitumenu). Šī izolācijas veida trūkums ir tas, ka materiāli ir higroskopiski, tādēļ tie kļūst mitri un pasliktinās siltumizolācijas īpašības. Ar laiku izolācijas materiāli sablīvējas, un sienu augšējā joslā rodas tukšumi, kas laiku pa laikam jāaizpilda.

Vienu vai divas putubetona bloku kārtas piestiprina pie ķieģeļu sienas ar cementa javas slāni, kas vienlaikus noder arī kā tvaika izolācija.

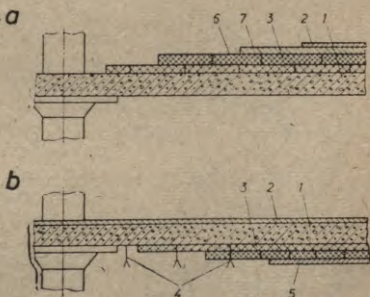
Montējot saldētavas sienu no saliekamajiem paneļiem, tos ar starpstāvu pārsegumu un jumtu sastiprina ar enkurstieņiem 7 (IX-10. att.). Slodzi uzņem U veida dzelzsbetona plātne 1, kuras iekšpusē nostiprinātas hidroizolācijas 5 un siltumizolācijas 2 kārtas. Sārus paneļus iepriekš sagatavo speciālos laukumos. Paneļu horizontālo salaidumu vietās starpstāvu pārseguma līmenī jāparedz nedegoša siltumizolācijas materiāla, piemēram, putubetona ugunsdrošās joslas 8.

Starpstāvu pārsegumiem siltumizolāciju var noklāt virs pārseguma konstrukcijas vai zem tās (IX-11. att.). Novietojot siltumizolācijas kārtu virs pārseguma, izolēšanas darbi veicami ātrāk un lētāk, nekā novietojot to zem pārseguma. Tāpēc visbiežāk siltumizo-



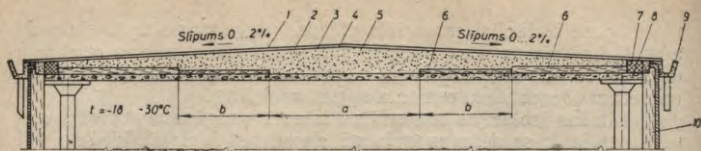
IX-10. att. Saliekamo paneļu sienas hidroizolācija un siltumizolācija:

1 — saliekamais panelis; 2 — minerālālais korpis; 3 — asfalta grīda; 4 — keramzītbetons; 5 — tvaika izolācija; 6 — starpstāvu dzelzsbetona pārsegumi; 7 — paneļu enkurs; 8 — ugunsdroša josla; 9 — azbesta kartons; 10 — starppaneļu paliktņi; 11 — azbestcimenta loksne.



IX-11. att. Starpstāvu pārsegumu hidroizolācija un siltumizolācija:

a — izolācija virs pārseguma; b — izolācija zem pārseguma; 1 — dzelzsbetona pārsegumi; 2 — grīda; 3 — izolācijas plātnes; 4 — stieples āķīši plātnu piestiprināšanai; 5 — apmetums; 6 — ruberoids; 7 — betona kārtā.



IX-12. att. Jumta hidroizolācija un siltumizolācija:

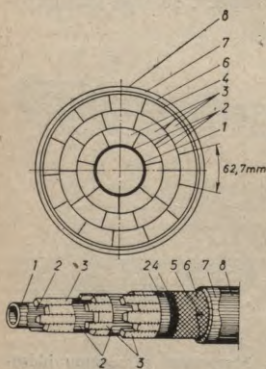
1 — aizsargslānis; 2 — piekārtīgs ruberoīda segums; 3 — bitumena mastika; 4 — betona kārta, 35 mm bieža; 5 — keramzīta šķembas; 6 — minerālālais korķis; 7 — ugunsdroša josla; 8 — saliekamais pārsegums; 9 — saliekamā dzelzsbetona karnīze; 10 — sienu paneli (izmērus  $a$  un  $b$  aprēķina).

lāciju noklāj virs starpstāvu pārseguma. Pārsegumu izolēšanai lieto keramzītbetonu, putbetonu, fibrolītu, minerālā korķa un kūdras plātnes un citus materiālus.

Augšējā stāva pārseguma siltumizolācijas un hidroizolācijas konstrukcija atkarīga no jumta veida. Visbiežāk sastopami ar ruberoīdu un jumta papi klātie jumti (IX-12. att.), kuru izolēšanai der kā birstošie materiāli, tā arī plātņu veida materiāli. Slodzi nesošajai pārseguma daļai jābūt horizontālai, bet nepieciešamo jumta slīpumu (līdz 2%) iegūst, izmainot siltumizolācijas slāņa biezumu. Tuvāk karnīzēm, kur izolācijas kārtā plānāka, novieto efektīvāku siltumizolācijas materiālu, piemēram, minerālo korķi, bet korē var lietot keramzīta granulas un šķembas, kuru siltumvadītspējas koeficients lielāks.

Kameru starpsienas ceļ no putubetona vai keramzītbetona blokiem, fibrolīta paneļiem un citiem ugunsdrošiem vai slikti degošiem materiāliem. Bloku un paneļu saistīšanai ar sienām un pārsegumiem izmanto karstu bitumena mastiku.

Ja pa cauruļvadu plūst vēsi šķidrumi, tad vadu izolēšanai izdevīgi lietot speciālus, cauruļu diametriem atbilstošus veidgabalus un segmentus, kas izgatavoti no plātņu tipa izolācijas materiāliem. Cauruļvadus izolē tikai pēc to hermētiskuma pārbaudes. Izolācijā ietilpst siltumizolācija, tvaika izolācija un apmetums (IX-13. att.). Parasti izolētos cauruļvadus nokrāso. Ieteicams, lai krāsojums atbilstu darba aizsardzības prasībām un raksturotu pa caurulēm plūstošo vielu. Tā, piemēram, vadi, pa kuriem plūst amonjaks, jākrāso dzeltenā krāsā.



IX-13. att. Cauruļvadu siltumizolācija:

1 — cauruļvads; 2 — bitumens; 3 — izolācijas materiāla veidgabali; 4 — hidroizols; 5 — stieple; 6 — metāla siets; 7 — apmetums; 8 — divkārtīgs krāsojums.



## 8. Izolācijas kārtas biezuma aprēķins

Izolācijas kārtas biezums atkarīgs no saldētavas kameras sienu konstrukcijas, izraudzīto izolācijas materiālu un konstruktīvo materiālu siltumvadītspējas, gaisa temperatūras kamerā, apkārtējās vides temperatūras utt. Siltumizolācijas kārtas biezuma aprēķināšanai izmanto sakarības, kas raksturo siltuma pāreju caur plakanu sienu.

Siltuma pārejas koeficients

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}} [W/(m^2 \cdot K)], \quad (IX-5)$$

kur  $\alpha_1$  un  $\alpha_2$  — koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no apkārtējā gaisa uz aukstuma kameras sienas ārējo virsmu un no šīs sienas iekšējās virsmas uz kameras gaisu  $[W/(m^2 \cdot K)]$ ;

$\delta_{iz}, \delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  — aprēķināmās sienas galvenā izolācijas materiāla un pārējo izolācijas un celtniecības materiālu kārtu biezumi (m);

$\lambda_{iz}, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  — atbilstošie galvenā izolācijas materiāla un pārējo izolācijas un celtniecības materiālu siltumvadītspējas koeficienti  $[W/(m \cdot K)]$ .

Projektējot saldētavas, vispirms izvēlas izolācijas materiālu un sienas konstruktīvo risinājumu. Pēc tam, izejot no prakses, pieņem siltuma pārejas koeficientu  $k$  un siltuma atdeves koeficientus  $\alpha_1$  un  $\alpha_2$  (IX-4., IX-5., IX-6. tab.). No formulas (IX-5) izsaka izolācijas kārtas biezumu, t. i.,

$$\delta_{iz} = \lambda_{iz} \left[ \frac{1}{k} - \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \right] \quad (m). \quad (IX-6)$$

Siltuma pārejas koeficientus saldētavas izolētajām ārējām un iekšējām sienām pieņem atkarībā no atdzesējamās telpas gaisa temperatūras un klimatiskās zonas (ziemeļu, vidējā vai dienvidu), kur atrodas saldētava.

Vidējā klimatiskajā zonā saldētavas izolēto ārējo sienu un pārsegumu praktiskie siltuma pārejas koeficienti doti IX-4. tabulā, bet izolēto iekšējo sienu un citu celtnes elementu siltuma pārejas koeficienti atrodami IX-5. tabulā.

Ārējām sienām, kas celtas no atvieglotajām lielpaneļu konstrukcijām, siltuma pārejas koeficientu samazina un pieņem apmēram 90% no tā, kāds dots IX-4. tabulā, bet sienām ar siltumekranizējošu apvalku koeficienta  $k$  vērtību var palielināt par 15%. Ja aukstuma kameras ārējai sienai blakus atrodas neapkurināma telpa, tad siltuma pārejas koeficientu  $k$  šai sienai pieņem tādu pašu kā ārējām sienām.

Nosakot siltuma pārejas koeficientu, vienmēr jāvadās no apsvēruma, lai uz sienas virsmas nenotiktu ūdens tvaika kondensācija,

Saldētavu izolēto ārējo sienu un pārsegumu siltuma pārejas koeficienti  
vidējā klimatiskajā zonā

Telpas gaisa temperatūra (°C)	Siltuma pārejas koeficients $k$	
	W/(m <sup>2</sup> · K)	kcal/(m <sup>2</sup> · h · K)
<i>Sienas</i>		
—18 ... —30 (sasaldēša- nas kamerās, aparātos u. c.)	0,28	0,24
—10	0,35	0,30
—4	0,41	0,35
0 (arī iepriekšējās atdze- sēšanas kamerās)	0,46	0,40
4	0,58	0,50
12	0,70	0,60
<i>Bezbēniņu pārsegumi (jumti)</i>		
—18 ... —30	0,23	0,20
—10	0,29	0,25
—4	0,35	0,30
0	0,39	0,34
4	0,49	0,42
<i>Pārsegumi ar bēniņiem (griesti)</i>		
—18 ... —30	0,25	0,22
—10	0,31	0,27
—4	0,37	0,32
0	0,42	0,36
4	0,52	0,45

t. i., lai virsmas temperatūra siltākās vides pusē būtu augstāka nekā rasas punkta temperatūra. Kondensācija uz virsmas nenotiek, ja

$$k \leq 0,95 \alpha_1 \frac{t_s - t_r}{t_s - t_a} \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]}, \quad (\text{IX-7})$$

kur  $\alpha_1$  — koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no siltākās telpas gaisa uz sienas virsmu [W/(m<sup>2</sup> · K)];

$t_s$  un  $t_a$  — siltākās un aukstākās telpas gaisa temperatūras izolētās sienas abās pusēs (°C);

$t_r$  — siltākās telpas gaisa rasas punkta temperatūra (°C), kuru nosaka pēc *I-d* diagrammas (VI-41. att.).

Ja sagaidāma mitruma izdalīšanās uz virsmas, jāsamazina siltuma pārejas koeficients, t. i., jāpalielina izolācijas kārtas biezums.

Koeficienti, kas raksturo siltuma atdevi starp aukstuma kameras virsmām un gaisu, doti IX-6. tabulā.

Izolācijas kārtas biezuma aptuvenam aprēķinam siltuma pārejas koeficientu  $k$  var pieņemt, ievērojot kameras gaisa un ārējā gaisa (blakus telpu vai augsnes) temperatūru starpību.



## Saldētavu izolēto iekšējo sienu un pārsegumu siltuma pārejas koeficienti

Celtnes elements	Siltuma pārejas koeficients $k$	
	W/(m <sup>2</sup> · K)	kcal/(m <sup>2</sup> · h · K)
<b>Starp sienas starp</b>		
sasaldētu produktu uzglabāšanas kamerām	0,52	0,45
atdzesētu produktu uzglabāšanas kamerām	0,58	0,50
produktu sasaldēšanas un atdzesētu produktu uzglabāšanas kamerām	0,46	0,40
produktu sasaldēšanas un atdzesētu produktu uzglabāšanas kamerām	0,35	0,30
sasaldētu un atdzesētu produktu uzglabāšanas kamerām (ja blakus kamerās temperatūra ir 0 °C, tad starpsienas neizolē)	0,46	0,40
<b>Gaitēni, vestibīli un vējtverti</b>		
pie sasaldēšanas kamerām, kurās temperatūra ir -23 ... -35 °C	0,35	0,30
pie produktu uzglabāšanas kamerām, kurās temperatūra (°C)		
-18 ... -25	0,41	0,35
-10	0,46	0,40
0	0,52	0,45
4	0,70	0,60
12	0,93	0,80
<b>Pārsegumi</b>		
starp kamerām ar vienādām temperatūrām	0,58	0,50
virs pagraba telpām, ja vairs tām novietotas kameras ar temperatūru (°C)		
-30	0,23	0,20
-23	0,28	0,24
-18	0,35	0,30
-15	0,41	0,35
-10	0,58	0,50

Ja  $\Delta t$  (°C) ... 10 10 ... 15 15 ... 20 20 ... 25 25 ... 30 30 ... 35 35 ... 50,  
 tad  $k$  [W/(m<sup>2</sup> · K)] ... 0,70 0,65 0,58 0,52 0,45 0,40 0,35 ... 0,23.

Atkarībā no aprēķinātā izolācijas kārtas biezuma [vienādi (IX-6)] pieņem izolācijas materiāla kārtu skaitu. Parasti izolācijas plātņu biezums ir 30, 40 un 50 mm, bet putbetona un citu materiālu paneļu un bloku biezums 100 ... 150 mm.

Aukstuma kamerā ieplūstošā siltuma daudzuma noteikšanai nepieciešamo siltuma pārejas koeficientu  $k'$  aprēķina, ievērojot esošās izolācijas kārtas biezumu un rezerves koeficientu 1,15 (gadījumam, ja ekspluatācijas laikā izolācija ir samirkusi vai radušies kādi citi defekti), pēc šādas formulas:

$$k' = \frac{1,15}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{1z}}{\lambda_{1z}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]. \quad (\text{IX-8})$$

Koeficienti, kas raksturo siltuma atdevi  
starp aukstuma kameras virsmām un gaisu

Virsmas	Siltuma atdeves koeficients $\alpha$	
	W/(m <sup>2</sup> · K)	kcal/(m <sup>2</sup> · h · K)
Ārējās sienas un bezbēniņu pārsegumi	23	20
Pārsegumi ar bēniņiem	11,6	10
Atdzesējamo telpu iekšējās sienas	8	7
Apkurināmu telpu iekšējās sienas	8,7	7,5
Atdzesējamo un apkurināmu telpu griesti	7	6
Virš aukstākās kameras novietotās siltākās kameras grīda	7	6
Sienas, grīda un griesti, ja gaisa cirkulācija vidējā (atdzesētu produktu uzglabāšanas kamerās)	9,3	8,0
Sienas, grīdas un griesti intensīvas gaisa cirkulācijas apstākļos (sasaldēšanas un atdzesēšanas kamerās)	10,1	9,0

1. piemērs. Vidējā klimatiskajā zonā saldētavas ārējās ķieģeļu sienas biezums ir 380 mm. Abās pusēs esošais cementa javas apmetuma biezums ir 20 mm. Aprēķināt izolācijas kārtas biezumu sasaldēšanas kameras sienai, ja kamerā temperatūra ir  $-30^{\circ}\text{C}$ , bet ārā gaisa temperatūra  $22^{\circ}\text{C}$ . Par izolācijas materiālu lieto minerālā korķa plātnes, izolācijas kārtai arī izveidots 20 mm biezs cementa javas apmetums.

Koeficients, kas raksturo siltuma atdevi (IX-6. tab.) no apkārtējā gaisa uz ārējās sienas virsmu  $\alpha_1=23$  W/(m<sup>2</sup> · K), bet no sienas uz kameras gaisu  $\alpha_2=8$  W/(m<sup>2</sup> · K). Siltumvadītspējas koeficients (IX-3. tab.) ķieģeļu sienai  $\lambda_1=0,8$  W/(m · K), cementa apmetumam  $\lambda_2=0,9$  W/(m · K), minerālā korķa plātnēm  $\lambda_{12}=0,07$  W/(m · K). Siltuma pārejas koeficients (IX-4. tab.) ārējai sienai  $k=0,28$  W/(m<sup>2</sup> · K).

Minerālā korķa izolācijas kārtas biezumu aprēķina pēc vienādības (IX-6), t. i.,

$$\delta_{12}=0,07 \left[ \frac{1}{0,28} - \left( \frac{1}{23} + \frac{0,38}{0,8} + \frac{3 \cdot 0,02}{0,9} + \frac{1}{8} \right) \right] =$$

$$=0,07[3,57 - (0,043 + 0,475 + 0,067 + 0,125)] \approx 0,183 \text{ m.}$$

Ja minerālā korķa plātnes biezums ir 50 mm, tad saldētavas kameras sienas izolēšanai nepieciešamas četras kārtas šādu plātņu un faktiskais izolācijas kārtas biezums  $\delta'_{12}=4 \times 50=200 \text{ mm}=0,2 \text{ m}$ .

## 9. Saldētavā ietilpstošā siltuma daudzuma noteikšana

Pēc tam kad precizēta produktu apstrādes tehnoloģija, optimālā atdzesējamo kameru gaisa temperatūra un relatīvais mitrums, siltumizolācijas konstrukcija, aprēķināti aukstuma kameru un mašintelpas laukumi un izstrādāts saldētavas plāns, veic saldētavai pieplūstošā siltuma daudzuma aprēķinu. Iegūtos datus izmanto aukstuma iekārtu ražīguma noteikšanai un to izvēlei.



Aprēķina gaitā nosaka *aukstuma patēriņu* pieplūstošā siltuma daudzuma kompensēšanai. Kopējais pieplūstošā siltuma daudzums vai kopējais aukstuma patēriņš aprēķināms pēc šāda siltuma bilances vienādojuma:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (\text{IX-9})$$

kur  $Q_1$  — pieplūstošais siltuma daudzums siltuma pārejas ceļā no ārējās vides caur kameru sienām, griestiem un grīdu;

$Q_2$  — aizvadāmais siltuma daudzums produktu atdzesēšanai un sasaldēšanai;

$Q_3$  — siltuma daudzums, kas piedodīts, vēdinot kameras ar āra gaisu;

$Q_4$  — pārējie pieplūstošie siltuma daudzumi jeb t. s. eksploatacijas aukstuma zudumi (atverot durvis un lūkas, cilvēkiem strādājot saldētavā, elektrisko spuldžu izdalītais siltums u. c.).

Pieplūstošo siltuma daudzumu aprēķina katrai aukstuma kamerai atsevišķi, tā iegūstot kamerās novietojamo dzesējošo ķermeņu siltuma slodzes. Kopējie aukstuma zudumi summējas no atsevišķo kameru aukstuma zudumiem. Zinot kopējos aukstuma zudumus, var izvēlēties saldētavas aukstuma iekārtu. Siltuma bilanci sastāda visnelabvēlīgākajiem saldētavas darba apstākļiem, t. i., kad āra gaisa temperatūra ir visaugstākā un produktu pievedums vislieļākais. Kameru sienu un pārsegumu izolācijas aprēķinos jāievēro arī saldētavas orientācija attiecībā pret debess pusēm.

*Aukstuma zudumi, kas rodas, siltumam pārejot caur kameru sienām, griestiem un grīdu,*

$$Q_1 = \sum k'F(t_a - t_g) \text{ (W)}, \quad (\text{IX-10})$$

kur  $k'$  — aprēķina siltuma pārejas koeficients [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ];

$F$  — katras aukstuma kameras sienu, griestu un grīdas laukums ( $\text{m}^2$ ), caur kuru notiek siltuma pāreja. Aprēķinot griestu un grīdas laukumu, to garumu un platumu mēra starp sienu simetrijas asīm; ārējās sienas garumu mēra starp iekšējo sienu simetrijas asīm; sienas augstumu parasti mēra no grīdas virsmas līdz nākamā stāva telpu grīdas līmenim. Ja zem pirmā stāva kamerām atrodas neatdzesējamas telpas, tad šī stāva kameru sienu augstumu mēra no grīdas apakšējā līmeņa līdz otrā stāva grīdas līmenim;

$t_a$  — āra gaisa aprēķina temperatūra (K);

$t_g$  — kameras telpas gaisa aprēķina temperatūra (K).

*Āra gaisa aprēķina temperatūra* noteiktai klimatiskajai zonai

$$t_a = 0,4t_{vm} + 0,6t_{max}, \quad (\text{IX-11})$$

kur  $t_{vm}$  — gada karstākā mēneša vidējā temperatūra (K);

$t_{max}$  — gada karstākā mēneša maksimālā diennakts temperatūra (K).

Āra gaisa aprēķina temperatūru un relatīvo mitrumu gada karstākajā mēnesī dotajā vietā var atrast rokasgrāmatās, bet Padomju Savienības lielākajām pilsētām tie doti IX-7. tabulā.

Orientējošas aprēķinu temperatūras dažādiem apstākļiem Padomju Savienības klimatiskajās joslās dotas IX-8. tabulā.

Zem pagrabstāva kamerām, kuru gaisa temperatūra 0... -2 °C un grīda nav izolēta, augsne nesasalst, bet tās virskārta atdziest līdz 0 °C. Šādai grīdas konstrukcijai atbilstošais siltuma pārejas koeficients  $k \approx 2,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Caur šo kameru grīdu vidējie aukstuma zudumi  $Q_{1g} \approx 4,65 F \text{ (W)}$ .

IX-7. tabula

Gada karstākā mēneša gaisa aprēķina temperatūras un relatīvie mitrumi Padomju Savienības lielākajām pilsētām

Pilsēta	$t_a$ (°C)	$\varphi$ (%)	Pilsēta	$t_a$ (°C)	$\varphi$ (%)
Alma-Ata	32	56	Minska	27	78
Ašhabada	40	44	Maskava	28	64
Baku	33	62	Murmanska	22	77
Ceļabinska	29	67	Novosibirska	30	73
Dušanbe	34	52	Petrozavodska	27	70
Erevana	34	50	Pleskava	26	79
Harkova	31	67	Rīga	27	76
Irkutska	28	72	Smolenska	26	75
Jalta	32	61	Sverdlovskā	28	69
Kauņa	27	74	Tallina	26	78
Kijeva	29	68	Taškenta	36	48
Kišiņeva	31	63	Tbilisi	33	54
Leņingrada	26	67	Uljanovska	31	67

IX-8. tabula

Orientējošas aprēķina temperatūras

Klimatiskā josla	Orientējošā aprēķina temperatūra (°C)				
	āra gaisam	neatdzesējamām blakus telpām	vējtveriem, vestibiliem, gaitiņiem	augsnē 1,5... 2 m dziļumā	augsnē pie pagrabas sienām
Ziemeļu	25	20	10... 15	10	17
Vidējā	28	24	12... 17	14	21
Dienviņu	32	28	14... 20	18	25

Ja kameras gaisa temperatūra ir -15... -20 °C, augsnes sasalšanas dziļums sasniedz 3,5 m (vidējā klimatiskajā joslā). Šādā gadījumā siltuma pārejas koeficients  $k \approx 0,465 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  un aukstuma zudumi caur grīdu

$$Q_{1g} = 0,465 F t_g \text{ (W)}.$$



Aukstuma zudumus caur izolētas grīdas konstrukciju grunts apsildes gadījumā aprēķina šādi:

$$Q_{1g} = kF(t_v - t_g) \text{ (W)},$$

kur  $t_v$  — izolētas grīdas konstrukcijas temperatūra sildelementu atrašanās līmenī (vidēji  $t_v = 3^\circ\text{C}$ );

$k$  — siltuma pārejas koeficients, ko ietekmē grīdas konstrukcijas termiskā pretestība un pretestība siltuma atdevei no grīdas virsmas uz kameras gaisu [ $k \approx 0,3 \dots 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ].

Zemē ieraktām neizolētām sienām siltuma pārejas koeficients  $k = 0,5 \dots 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , un caur šo sienas daļu pieplūstošais siltuma daudzums

$$Q_{1s} = 0,6F(t_a - t_g) \text{ (W)},$$

kur  $F$  — zemē ieraktās sienas daļas laukums ( $\text{m}^2$ ),

$t_a$  — augsnes temperatūra pie pagraba sienas (IX-8. tab.).

Saules stariem tieši krītot uz saldētavas sienām un jumtu, saldētavai tiek pievadīts papildu siltuma daudzums

$$Q_{1st} = k_{st}F_{st}\Delta t_{st} \text{ (W)}, \quad \text{(IX-12)}$$

kur  $F_{st}$  — saules starojumam pakļautās saldētavas ārējās virsmas (sienu un jumta) laukums ( $\text{m}^2$ );

$k_{st}$  — siltuma pārejas koeficients;

$\Delta t_{st}$  — papildu temperatūru starpība, ievērojot starojumu (lēzeniem jumtiem  $\Delta t_{st} = 15 \dots 20^\circ\text{C}$ , bet uz dienvidiem un dienvidrietumiem vērstām sienām  $\Delta t_{st} = 5 \dots 10^\circ\text{C}$ ).

*Aukstuma patēriņš produkta atdzesēšanai*

$$Q_2 = \frac{1}{24 \cdot 3,6} \sum [(G_p c_p + G_t c_t)(t_s - t_b)] \text{ (W)}, \quad \text{(IX-13)}$$

kur  $G_p$  — kamerā diennaktī atdzesējamā produkta daudzums (kg); ražošanas saldētavās  $G_p$  vienāds ar kameras ietilpību, bet sadales saldētavās  $G_p$  pieņem 6...8% no kameras ietilpības;

$c_p$  — produkta īpatnējais siltums [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ];

$G_t$  — taras masa (kg), kuru ievieto kamerā kopā ar produktu;

$c_t$  — taras materiāla īpatnējais siltums [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ];

$t_s$  un  $t_b$  — produkta un taras sākuma un beigu temperatūra.

*Aukstuma patēriņu produkta sasaldēšanai*, ievērojot nepieciešamību to atdzesēt no sākuma temperatūras līdz sasaldēšanas temperatūrai, aizvadīt ūdens fāzu maiņas siltumu un pazemināt sasaldētā produkta temperatūru līdz vidējai beigu temperatūrai, var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$Q_2 = \frac{1}{24 \cdot 3,6} G_p [c_0(t_s - t_{sas}) + u\omega r_{sas} + c_{sas}(t_{sas} - t_{vb})] \text{ (W)}, \quad \text{(IX-14)}$$

kur  $G_p$  — sasaldējamā produkta daudzums diennaktī (kg);

$c_0$  — nesasaldēta produkta īpatnējais siltums [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ];

$t_s$  — produkta sākuma temperatūra ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $t_{sas}$  — produkta sasaldšanas temperatūra ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $t_{vb}$  — sasaldēta produkta vidējā beigu temperatūra ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $u$  — produkta mitruma saturs ( $\text{kg}/\text{kg}$ );  
 $\omega$  — ledus daudzums produktā sasaldšanas vidējā beigu temperatūrā [ $\text{kg}/(\text{kg}$  mitruma)];  
 $r_{sas}$  — ūdens īpatnējais sasaldšanas (fāzu maiņas) siltums, praktiskiem aprēķiniem pieņem  $r_{sas} = 335 \text{ kJ}/\text{kg}$ ;

$c_{sas}$  — sasaldētā produkta īpatnējais siltums [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ].

Produkta atdzesešanai un sasaldēšanai nepieciešamo aukstuma daudzumu var vienkārši aprēķināt, izmantojot produkta sākuma un beigu entalpiju starpību, t. i.,

$$Q_2 = \frac{1}{24 \cdot 3,6} \sum G_p (i_s - i_b) \quad (\text{W}), \quad (\text{IX-15})$$

kur  $G_p$  — kamerā atdzesejamā vai sasaldējamā produkta daudzums diennaktī ( $\text{kg}$ );

$i_s$  un  $i_b$  — produkta entalpija procesa sākumā un beigās ( $\text{kJ}/\text{kg}$ ), kas atkarīga no produkta sākuma un beigu temperatūras (IX-9. tab.).

Saldētavas kameras vēdinot, kopā ar āra gaisu ieklūst arī noteikts siltuma un mitruma daudzums, tāpēc āra gaiss jādzesē. *Aukstuma patēriņš kameru vēdināšanai*

$$Q_3 = \frac{1}{24 \cdot 3,6} a V \rho_g (I_a - I_t) \quad (\text{W}), \quad (\text{IX-16})$$

kur  $a$  — kameras gaisa apmaiņas koeficients diennaktī (atkarīgs no produkta veida un īpašībām);

$V$  — vēdināmās kameras tilpums ( $\text{m}^3$ );

$\rho_g$  — kameras gaisa blīvums ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$I_a$  un  $I_t$  — āra un kameras gaisa entalpijas ( $\text{kJ}/\text{kg}$ ).

Ražošanas telpām vēl papildus pievada vismaz  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  svaiga gaisa uz katru strādājošo cilvēku.

Pārējie jeb ekspluatācijas aukstuma zudumi  $Q_4$  rodas saldētavu ekspluatācijas gaitā sakarā ar to, ka nepieciešams kameras apgaismo (  $q_1$  ), kamerās strādā cilvēki (  $q_2$  ), darbojas elektrodzinēji (  $q_3$  ) un jāatver kameras durvis (  $q_4$  ). Katrai kamerai *ekspluatācijas aukstuma zudumi*

$$Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 \quad (\text{W}). \quad (\text{IX-17})$$

Aukstuma zudumi, kas rodas kameru apgaismošanas dēļ,

$$q_1 = AF \quad (\text{W}),$$

kur  $A$  — siltuma daudzums, ko elektriskās spuldzes izdala uz  $1 \text{ m}^2$  kameras laukuma ( $\text{W}/\text{m}^2$ ); produktu uzglabāšanas kamerās  $A = 1$ , bet ražošanas kamerās  $A = 4 \dots 5$ ;

$F$  — kameras grīdas laukums ( $\text{m}^2$ ).



## Pārtikas produktu entalpijas (kJ/kg) dažādās temperatūrās

Produkta nosaukums	Entalpija, ja produkta temperatūra (°C)																												
	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	+2	+4	+6	+8	+10	+12	+14	+16	+18	+20	+22	+24	+26	+28	+30	+32	+34	+36
Gaļa, iellopu, putnu	0	4,6	10	16	22	30	39	51	66	99	232	239	245	252	258	265	271	278	284	290	297	303	310	316	322	329	335	342	348
Gaļa, aitas	0	4,6	9,6	15	22	30	39	49	64	96	224	230	237	243	249	255	262	268	274	280	287	293	299	306	312	318	324	331	337
Gaļa, cūkas	0	4,6	9,6	15	21	29	37	47	62	92	212	218	224	230	236	242	248	254	260	266	273	278	285	291	297	303	309	315	321
Gaļas subprodukti	0	5,0	11	17	24	33	43	55	73	110	261	268	275	282	289	296	303	310	317	324	331	338	345	352	359	366	373	380	387
Gaļa bez kauliem	0	5,0	11	17	23	31	41	52	69	103	243	250	256	263	269	276	283	289	296	303	309	316	322	329	336	342	349	356	362
Zivis, liesas	0	5,0	11	18	26	34	44	57	74	112	266	273	279	287	294	301	308	315	322	329	336	343	350	358	365	371	378	386	393
Zivis, trekņas	0	5,0	11	17	24	33	42	54	71	106	249	256	263	270	277	283	290	297	304	311	317	324	331	338	345	352	358	365	372
Zivju fileja	0	5,4	11	18	26	35	46	59	77	118	282	289	296	303	311	318	326	333	340	347	355	362	369	377	384	391	399	406	413
Olas	0	4,2	8,4	13	18	23	29	36	48	231	237	244	250	256	262	269	275	281	288	294	300	307	313	319	326	332	338	345	351
Olu melnāža	0	4,6	8,8	14	18	24	31	39	52	83	264	270	277	285	291	298	305	312	319	326	333	339	346	353	360	367	374	381	388
Piens	0	5,4	11	18	25	33	42	55	74	111	319	326	335	342	350	358	366	374	382	391	398	407	414	422	430	438	446	454	462
Sviests	0	3,8	8	13	18	23	29	36	45	52	95	101	108	114	121	130	138	149	161	172	183	192	201	208	216	223	230	237	243
Sviests, kausēts	0	3,3	7,1	11	16	21	26	31	37	43	52	58	64	71	77	85	95	106	118	130	141	151	159	167	174	181	189	196	201
Saldiejums, krējuma	0	7,1	16	24	35	47	62	87	132	221	228	234	241	248	254	261	268	275	281	288	295	301	308	315	322	328	335	342	348
Saldiejums, piena	0	6,3	13	22	33	47	65	92	139	230	237	243	250	257	264	270	278	284	291	298	304	311	318	325	332	338	345	352	359
Vīnogas, ķirši	0	7,5	16	26	36	50	67	94	149	229	236	243	250	257	265	273	279	286	293	300	307	314	322	329	336	343	350	357	364
Augļi, ogas	0	6,7	13	21	30	39	51	69	104	211	272	279	286	293	302	309	317	324	332	339	347	355	362	370	377	385	392	400	407
Augļi cukura sīrupā	0	8,0	17	26	37	49	65	90	135	240	247	254	261	268	275	283	290	297	304	311	318	325	332	339	347	354	361	368	375
Ogas ar cukuru	0	10	21	33	47	64	86	120	170	176	183	189	195	201	207	213	220	226	233	239	245	252	258	264	270	277	283	289	296

\*) sasaldētas olas

Ražošanas kamerās strādājošo cilvēku izdalītais siltuma daudzums

$$q_2 \approx 300n \text{ (W)},$$

kur  $n$  — kamerā strādājošo cilvēku skaits.

Atdzesējamās telpās darbojošos elektrodzinēju (piemēram, elektrodzinējs gaisa dzesētāja ventilatora darbināšanai) izdalītais siltuma daudzums

$$q_3 = 1000N_{el} \text{ (W)},$$

kur  $N_{el}$  — elektrodzinēja elektriskā jauda (kW).

Ja elektrodzinējs novietots neatdzesējamās telpās (piemēram, elektrodzinējs sāls šķīduma sūkņa darbināšanai), tad jāņem vērā arī dzinēja elektriskais lietderības koeficients  $\eta_{el}$ , t. i.,

$$q_3 = 1000N_{el}\eta_{el} \text{ (W)}.$$

Aukstuma zudumi durvju atvēršanas dēļ

$$q_4 = BF \text{ (W)},$$

kur  $B$  — aukstuma zudumi uz kameras laukuma vienību ( $\text{W/m}^2$ );  
 $F$  — kameras laukums ( $\text{m}^2$ ).

Koeficienta  $B$  skaitliskā vērtība atkarīga no kameras lieluma un temperatūras režīma:

Kameras laukums ( $\text{m}^2$ )	50	100	150
Sasaldēšanas kamerām $B$ ( $\text{W/m}^2$ )	19	9	7
Uzglabāšanas kamerām ( $t = -18^\circ\text{C}$ ) $B$ ( $\text{W/m}^2$ )	7	4	3
Uzglabāšanas kamerām ( $t = 0^\circ\text{C}$ ) $B$ ( $\text{W/m}^2$ )	9	5	4

No aukstuma zudumiem vislielākie ir lielumi  $Q_1$  un  $Q_2$ . Ražošanas saldētavās  $Q_1 = 20\%$  un  $Q_2 = 70\%$ , bet sadales saldētavās  $Q_1 = 60\%$  un  $Q_2 = 25 \dots 30\%$  no kopējiem aukstuma zudumiem. Aukstuma zudumi kameru vēdināšanas dēļ  $Q_3 = 3 \dots 4\%$  no kopējiem aukstuma zudumiem.

Visu aprēķināto aukstuma patēriņu sadala atbilstoši paredzētajām darba vielas vārišanās temperatūrām. Tās izvēlas saskaņā ar temperatūras režīmiem kamerās. Starpība starp dzesējamās vides un darba vielas vārišanās temperatūrām tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmās ir  $8 \dots 10^\circ\text{C}$ , bet netiešās iztvaices dzesēšanas sistēmās  $12 \dots 15^\circ\text{C}$ .

Aukstuma mašīnu kompresorus aprēķina un izvēlas katrai vārišanās temperatūrai atsevišķi. Aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums darba apstākļos

$$Q_{0d} = \frac{\Sigma Q \cdot 24}{\psi \tau} \text{ (W)}, \quad \text{(IX-18)}$$

kur  $\Sigma Q$  — dotajai vārišanās temperatūrai atbilstošais kameru aukstuma patēriņš [aprēķina pēc vienādības (IX-9)];

$\psi$  — aukstuma zudumu koeficients aukstuma mašīnā;



$\tau$  — aukstuma mašīnas darba ilgums (h) diennaktī; vidējas un lielas jaudas amonjaka aukstuma mašīnām  $\tau=22$  h, bet freona aukstuma mašīnām  $\tau=16 \dots 20$  h.

Aukstuma mašīnas darba cikla aprēķins un iekārtu izvēle aplūkota iepriekšējās nodaļās.

## 10. Saldētavas kameru dzesējošo ķermeņu aprēķins

Lai saldētavas kamerā nodrošinātu nepieciešamo temperatūras režīmu, dzesējošajiem ķermeņiem jāaizvada no kameras viss kamerā iepļūstošais siltums. Dzesējošo ķermeņu sildvirsmā

$$F_b = \frac{Q_{kam}}{k\Delta t} \quad (m^2), \quad (IX-19)$$

kur  $Q_{kam}$  — kameras dzesējošo ķermeņu siltuma slodze (W), ko iegūst, aprēķinot siltuma pieplūdi kamerai;

$k$  — siltuma pārejas koeficients, attiecināts uz dzesējošā ķermeņa gludu vai ribotu cauruļu ārējo virsmu  $[W/(m^2 \cdot K)]$ ;

$\Delta t$  — kameras gaisa un iztvaikojošās darba vielas vai cirkulējošā sāls šķidruma temperatūru starpība (parasti  $\Delta t=8 \dots 10$  °C).

Siltuma pārejas koeficienta skaitliskā vērtība atkarīga no dzesējošo ķermeņu konstrukcijas un novietojuma, temperatūru starpības  $\Delta t$ , kameras gaisa mitruma, sildvirsmas tīrības pakāpes un sniega kārtiņas biezuma.

*Gludu cauruļu dzesējošajiem ķermeņiem*

$$k = \alpha_g = e(\alpha_\lambda + \xi\alpha_k), \quad (IX-20)$$

kur  $\alpha_g$  — koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no kameras uz dzesējošā ķermeņa virsmu  $[W/(m^2 \cdot K)]$ ;

$e$  — sniega kārtas un cauruļu virsmu netīrības ietekmes koeficients ( $e=0,8 \dots 0,85$ );

$\alpha_\lambda$  — starošanas siltuma atdeves koeficients [vienādība (VI-40a)]  $[W/(m^2 \cdot K)]$ ;

$\alpha_k$  — konvektīvais siltuma atdeves koeficients šķidruma brīvas plūsmas gadījumā [vienādība (VI-23)]  $[W/(m^2 \cdot K)]$ .

Koeficientu  $\alpha_k$  var aprēķināt arī pēc šādas vienkāršotas izteiksmes:

$$\alpha_k = 1,39 \left( \frac{t_g - t_0}{d} \right)^{0,25} \quad [W/(m^2 \cdot K)], \quad (IX-21)$$

kur  $t_g$  — kameras gaisa temperatūra (°C);

$t_0$  — caurules virsmas temperatūra, kas aptuveni vienāda ar darba vielas vārīšanās temperatūru (°C);

$d$  — caurules diametrs (m);

$\xi$  — mitruma kondensācijas koeficients, kas ņem vērā gaisa

mitruma kondensēšanās procesā dzesējošā ķermeņa virsmai atdoto siltuma daudzumu. Parasti pieņem, ka  $\xi = 1 + 3,68 \frac{d_g - d_0}{t_g - t_0}$ , kur  $d_g$  — gaisa mitruma saturs kameras darba režīmam atbilstošajā temperatūrā un relatīvajā mitrumā, bet  $d_0$  — piesātināta gaisa mitruma saturs caurules sienaiņas temperatūrā  $t_0$ .

*Ribotu cauruļu dzesējošajiem ķermeņiem siltuma pārejas koeficients*

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\alpha}} e\kappa \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]}, \quad (\text{IX-22})$$

kur  $\alpha_a$  — siltuma atdeves koeficients no caurules gludās virsmas uz darba vielu vai aukstuma nesēju;

$\alpha$  — nosacītais siltuma atdeves koeficients no gaisa uz dzesējošo virsmu, kas ievēro siltuma atdevi konvekcijas, starošanas un mitruma kondensācijas dēļ;

$e$  — sniega kārtas un cauruļu virsmas netīrības ietekmes koeficients;

$\kappa$  — dzesējošo ķermeņu cauruļu skaita vertikālajā plaknē ietekmes koeficients.

Aukstuma iekārtu projektēšanai ieteikti praktiskie siltuma pārejas koeficienti dažādu konstrukciju gludu un ribotu cauruļu amonjaka un sāls šķīduma dzesējošajiem ķermeņiem. Atkarībā no konstrukcijas, novietojuma un temperatūru starpības ( $t_g - t_0$ ) lieluma gludu cauruļu dzesējošajiem ķermeņiem siltuma pārejas koeficients  $k = 6 \dots 14 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ . Vienrindas un divrindu horizontālo cauruļu dzesējošajiem ķermeņiem atbilst koeficienta  $k$  lielākās vērtības, bet pie griestiem novietojamu cauruļu kūļa baterijām — mazākās koeficienta  $k$  vērtības.

Ribotu cauruļu dzesējošo ķermeņu siltuma pārejas koeficientu var rēķināt gan uz iekšējo (gludo) virsmas laukumu, gan arī uz ārējo (riboto) virsmas laukumu. Pirmajā gadījumā koeficients  $k$  ir lielāks, bet otrajā — mazāks nekā gludu cauruļu dzesējošo ķermeņu siltuma pārejas koeficients.

Amonjaka ribotu trīscauruļu dzesējošajiem ķermeņiem ar iekšējo amonjaka cirkulāciju (sk. VI nodaļā VI-30. att.) siltuma pārejas koeficients (attiecināts uz ārējo virsmu)  $k = 4,5 \dots 5,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ . Pie sienas novietojamiem desmit un piecu cauruļu dzesējošajiem ķermeņiem  $k = 3,5 \dots 4,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ .

Freona ribotu cauruļu baterijai (caurules  $16 \times 1 \text{ mm}$ ), rēķinot uz iekšējo virsmu,  $k = 25 \dots 30 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ , bet, rēķinot uz ārējo virsmu,  $k = 4 \dots 4,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ .

Pēc atrastās kopējās dzesējošo ķermeņu sildvirsmas  $F_b$  var aprēķināt dzesējošo ķermeņu skaitu, ievērojot attiecīgo kameru izmērus, kurās tos uzstāda.



## X nodaļa

### SALDĒTAVU DZESĒŠANAS SISTĒMAS

Siltuma un mitruma aizvadišanai no dzesējamām telpām un tehnoloģiskajiem aparātiem lieto siltumapmaiņas aparātus — dzesējošos ķermeņus. Šajos aparātos siltumu (ieskaitot arī ūdens tvaika kondensācijas siltumu) uzņem dzesējošā vide. Atkarībā no dzesējošās vides izšķir *aukstuma aģenta tiešās iztvaices* un *aukstuma nesēja* dzesēšanas sistēmas.

Lietojot katru no šīm sistēmām, kameras var dzesēt ar ievietotiem dzesējošajiem ķermeņiem (baterijām), atdzesētu gaisu (lietojot gaisa dzesētājus) un kombinētu paņēmieni. Dzesēšanas sistēmas un paņēmiena izvēli nosaka aukstuma kameras tehnoloģiskais pielietojums vai tehnoloģiskā aparāta konstruktīvais izveidojums.

#### 1. Aukstuma aģenta tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmas

Dzesējot kameru ar aukstuma aģenta tiešo iztvaici, siltumu no dzesējamā gaisa ar dzesējošajiem ķermeņiem vai gaisa dzesētājiem pievada tieši aukstuma aģentam, kas aukstuma mašīnā veic apgriezto ciklu. Tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmu uzbūve ir ļoti daudzveidīga. To nosaka lietojamā aukstuma aģenta īpašības, šķidrā aukstuma aģenta pievadīšanas veids, dzesējošo ķermeņu konstrukcija un izvietojums, kā arī darba temperatūras un mitruma režīmi.

Dzesēšanas sistēma sastāv no iztvaikošanas daļas, kas izvietota aukstuma kamerās vai to tuvumā, un no mezgliem, kuri atrodas mašīntelpā.

Vislielākās atšķirības starp tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmām ir *iztvaikošanas daļā*. Atkarībā no aukstuma aģenta pievadīšanas veida dzesējošajiem ķermeņiem izšķir *bezšķidru dzesēšanas sistēmas*, kurās šķidrā aukstuma aģenta padevei izmanto spiedienu starpību kondensatorā un iztvaikotājā, un *šķidru dzesēšanas sistēmas*, kurās šķidro aukstuma aģentu iztvaikotājiem pievada ar sūkņiem.

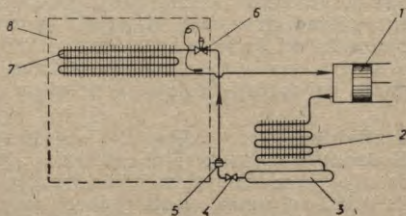
**Bezšķidru sistēmas.** Visvienkāršākā ir vienvirziena caurplūdes dzesēšanas sistēma, kuru lieto mazām, automatizētām freoņa

aukstuma mašīnām (X-1. att.). Šo mašīnu iztvaikotāji sastāv no viena vai diviem ribotu cauruļu dzesējošajiem ķermeņiem. Šķidro freonu ievada dzesējošajā ķermenī no augšas, bet no apakšas tieši uz kompresoru aizvada tvaiku. Termoregulējošais ventilis iztvaikotājam pievada tādu freona daudzumu, kas viss spēj iztvaikot. Pie izejas no iztvaikotāja automātiski tiek uzturēts neliels tvaika pārkarsējums. Ja šķidrums pievada par daudz, tad tvaiks netiek pārkarsēts un šķidruma padeve samazinās, kā rezultātā iztvaikotājā no jauna veidojas pārkarsēts tvaiks. Ja dzesējošajā ķermenī veidojas pārkarsēts tvaiks, tad samazinās tā siltuma pārejas koeficients, jo samazinās siltuma atdeve aukstuma aģenta pusē un arī temperatūru starpība. Dzesējošais ķermenis darbojas intensīvāk, ja visu tā virsmu apskalo šķidrums aukstuma aģents, bet tad notiek mitra tvaika iesūkšana kompresorā, kas ir neekonomiski un bīstami.

Pilnveidotās freona aukstuma mašīnās visbiežāk lieto *reģeneratīvos siltumapmainītājus* (VI-21. att.), kas ievērojami paaugstina to efektivitāti, it īpaši, strādājot ar freonu-12. Amonjaka aukstuma mašīnās reģeneratīvie siltumapmainītāji nedod jūtamu efektu.

Amonjaka tiešās iztvaices aukstuma iekārtām ir liels aukstuma ražīgums un sazarota dzesēšanas sistēma. Vienvirziena caurplūdes dzesēšanas sistēma šīm iekārtām nav piemērota, jo, mainoties siltuma slodzei, kompresorā var iekļūt šķidrums aukstuma aģents. Bez tam palielinās arī cauruļu patēriņš, jo, rodoties pārkarsētam tvaikam, samazinās dzesējošā ķermeņa siltuma pārejas intensitāte.

Amonjaka aukstuma iekārtām raksturīga bezsūkņu tiešās iztvaices dzesēšanas sistēma ar šķidruma atdalītāju (X-2. att.), kam šķidro aukstuma aģentu pievada caur regulējošo ventilu, izmantojot spiedienu starpību kondensatorā un iztvaikotājā. Lietojot šķidruma atdalītāju, uzlabojas šķidruma padeve uz dzesējošajiem ķermeņiem un tiek novērsta šķidra amonjaka, kā arī pārāk pārkarsēta tvaika iesūkšana kompresorā. Pievadāmā šķidrā aukstuma aģenta daudz-



X-1. att. Tiešās iztvaices vienvirziena caurplūdes dzesēšanas sistēma:

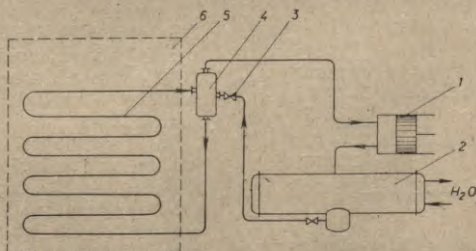
1 — kompresors; 2 — kondensators; 3 — resivērs; 4 — noslēdzošais ventilis; 5 — šķidrā freona filtra; 6 — regulējošais ventilis; 7 — iztvaikotājs; 8 — dzesējamā telpa.



mam jāatbilst dzesējošo ķermeņu siltuma slodzei. Mainoties siltuma pieplūdei kamerā, rodas nepieciešamība attiecīgi palielināt vai samazināt regulējošā ventīļa atvērumu. Nedrīkst pārpildīt šķidruma atdalītāju, jo šķidrums var iekļūt sūcējvadā un izraisīt hidrauliskos triecienus kompresorā.

Ja kompresors dzesē vienu aukstuma kameru, šķidruma padeves regulēšana caur šķidruma atdalītāju ar rokas regulējošo ventili nerada grūtības. Regulēšana kļūst komplicēta, ja kompresors vienlaikus dzesē vairākas aukstuma kameras ar mainīgu siltuma pieplūdi, it sevišķi, ja tās novietotas dažādos stāvos (X-3. att.). Šādā gadījumā šķidruma atdalītāju uzstāda 3...4 m augstāk par pašu augstāko dzesējošo ķermeni. Katram dzesējošajam ķermenim veidojas savs aukstuma aģenta tvaika-šķidrums maisījuma cirkulācijas kontūrs. Apakšējā stāva dzesējošie ķermeņi atrodas zem lielāka spiediena, tāpēc tajos var ieplūst lielāks šķidrums daudzums. Lai šķidrums aukstuma aģentu pievadītu vienmērīgi pa stāviem, lieto regulējošos ventīļus, kurus uzstāda šķidrums sadales kolektorā. Augšējā stāva ventīli atver pilnīgi, bet pārējos — daļēji. Pirms katras aukstuma kameras viena stāva robežās uzstāda papildu ventīļus šķidrums padeves un tvaika izplūdes regulēšanai. Ventīļu atvērums jāmaina, mainoties siltuma pieplūdei dzesējamiem objektiem. Ventīļu atvērumu iespējams noteikt pēc tvaika pārkarsēšanas pakāpes, tam izplūstot no dzesējošā ķermeņa. Tomēr, regulējot ar roku, to praktiski grūti veikt sakarā ar lielo kameru skaitu, ievērojamo attālumu līdz mašīntelpai un mainīgo siltuma slodzi. Tāpēc normāls dzesējošo ķermeņu pildījums netiek sasniegts, t. i., daži dzesējošie ķermeņi saņem pārāk lielu šķidrums daudzumu, bet daži — nepietiekamu šķidrums daudzumu.

Dzesējošo ķermeņu pildījums atkarīgs no to siltuma slodzes. Ja siltuma slodze neliela, tvaiks, kas rodas dzesējošā ķermeņa caurulēs, izplūst caur šķidrums sīku burbulišu veidā, un dzesējošais



X-2. att. Tiešās iztvaices dzesēšanas sistēma ar šķidrums atdalītāju:

- 1 — kompresors; 2 — kondensators; 3 — regulējošais ventīlis;  
4 — šķidrums atdalītājs; 5 — tiešās iztvaices dzesējošais ķermenis; 6 — dzesējamā telpa.

ķermenis praktiski pilnīgi piepildīts ar šķidrumu. Ja dzesējošā ķermeņa siltuma slodze pieaug (piemēram, kamerā ievietoti silti produkti), tad tvaika rašanās dzesējošajā ķermenī pastiprinās un sīkie tvaika burbuliši saplūst lielos burbuļos, aizpildot visu caurules šķērsriezumu. Šie lieli burbuļi pārvietojas šķidrums atdalītāja virzienā, nesot sev līdzī arī šķidrumu, kā rezultātā dzesējošā ķermeņa pildījums samazinās.

Ja no dzesējošā ķermeņa izplūst daudz tvaika-šķidrums emulsijas, šķidrums atdalītāju var pārpildīt, un tvaika-šķidrums emulsija ieplūst sūcējvadā, radot kompresora «mitro gājienu» un hidrauliskos triecienus. Primārā šķidrā aukstuma aģenta padeves pārtraukšana caur regulējošo ventili šķidrums maģistrālē, kā arī limeņa regulatoru lietošana neaizsargā šķidrums atdalītāju no pārpildīšanas ar sekundāro šķidrumu, kas izplūst no dzesējošā ķermeņa, strauji mainoties tā siltuma slodzei vai pazeminoties spiedienam iztvaikotājā (ieslēdzot papildu kompresoru).

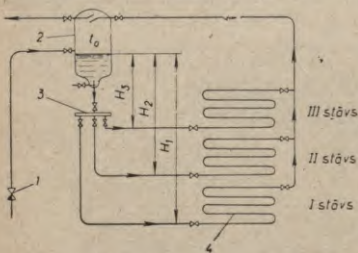
Lai samazinātu hidraulisko triecienu rašanās iespēju, lieto pārplūdes cauruļvadus, pa kuriem lieko šķidrumu no šķidrums atdalītāja aizvada uz drenāžas resiveru.

Tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmās ar šķidrums atdalītāju jā-rēķinās ar šķidrums staba hidrostatiskā spiediena kaitīgo ietekmi uz siltuma pāreju dzesējošajos ķermeņos. Jo lielāks šķidrums staba augstums, zem kura spiediena šķidrums ieplūst dzesējošajā ķermenī, jo augstāka vārīšanās temperatūra apakšējos šķidrums slāņos. Šķidrums staba ietekme ir lielāka zemākās vārīšanās temperatūrās (X-1. tab.).

Regulējošie ventili, kuri uzstādīti starp šķidrums atdalītāju un dzesējošajiem ķermeņiem, daļēji droselē šķidrums aukstuma aģentu un tādējādi mazina kaitīgo hidrostatiskā spiediena ietekmi. Tiešās iztvaices dzesējošo ķermeņu konstrukcijai jābūt tādai, lai pašā dzesējošajā ķermenī hidrostatis-

kais spiediens būtu pēc iespējas mazs.

Sarežģītā šķidrā aukstuma aģenta padeves regulēšana uz dzesējošajiem ķermeņiem, hidraulisko triecienu iespēja kompresoros un hidrostatiskā spiediena negatīvā ietekme uz dzesējošo ķermeņu darbību (sevišķi zemās vārīšanās temperatūrās) ir būtiski bezsūkņu tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmu trūkumi. Bez tam šajās dzesēšanas sistēmās nepieciešams liels amonjaka tilpums, sevišķi, lietojot gludu cauruļ dzesējošos



X-3. att. Bezsūkņa šķidrā aukstuma aģenta padeves shēma ar šķidrums atdalītāju, ja dzesējošie ķermeņi novietoti dažādos stāvos:

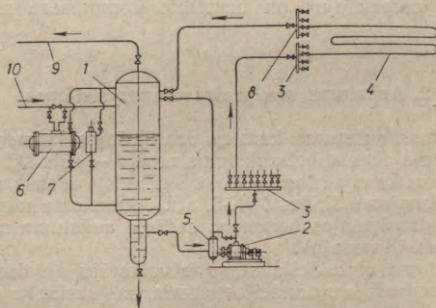
1 — regulējošais ventils; 2 — šķidrums atdalītājs; 3 — sadales kolektors; 4 — dzesējošais ķermenis.



Aukstuma aģents	Vārišanās temperatūra (°C)		Vārišanās temperatūru starpība (°C)
	uz virsmas	1 m dziļumā	
Amonjaks	-30	-28,9	1,1
	-50	-47,4	2,6
	-70	-63,4	6,6
Freons-12	-10	-11,1	1,1
	-30	-26,7	3,3
	-50	-43,5	6,5

ķermeņus, kas palielina amonjaka patēriņu, ekspluatācijas bīstamību un apgrūtina automātisko regulēšanu.

**Amonjaka sūkņu sistēmas.** Lielās un vidējās saldētavās šķidrā aukstuma aģenta padevei uz dzesējošajiem ķermeņiem plaši izmanto amonjaka sūkņus (X-4. att.). Sūknim šķidrums pievada no cirkulācijas resivera vai šķidrums atdalītāja. Pēdējo novieto mašintelpā 1...1,5 m augstāk, nekā atrodas sūkņa līmenis. Šķidrums staba spiediens sūkšanas pusē nodrošina vienmērīgu sūkņa darbību. Pirms amonjaka sūkņa uzstāda tvaika atdalītāju — trauku, kas savienots ar šķidrums atdalītāja vai cirkulācijas resivera tvaika telpu. Caur to uz šķidrums atdalītāju aizvada tvaiku, kas veidojas šķidrums pievadcaurulē.



X-4. att. Shēma šķidrā aukstuma aģenta padevei ar cirkulācijas sūkni uz tiešās iztvaices dzesējošajiem ķermeņiem:

1 — šķidrums atdalītājs; 2 — amonjaka sūknis; 3 — šķidrums sadales kolektors; 4 — tiešās iztvaices dzesējošais ķermenis; 5 — tvaika atdalītājs; 6 — pludīņa tipa regulējošais ventīlis; 7 — distances līmenrādis; 8 — kolektors tvaika un šķidrums izvadišanai no dzesējošajiem ķermeņiem uz šķidrums atdalītāju; 9 — sūcējvads, savienots ar kompresoru; 10 — šķidrā aukstuma aģenta pievads šķidrums atdalītājam no regulēšanas stacijas.

Šķidrā aukstuma aģenta cirkulācija sūkņu sistēmas dzesējošajos ķermeņos notiek intensīvāk nekā bezsūkņu sistēmas dzesējošajos ķermeņos, jo sūknis dzesējošajiem ķermeņiem pievada 3...5 reizes vairāk šķidruma, nekā tas spēj iztvaikot uz pievadītā siltuma rēķina. Šķidruma intensīva cirkulācija palielina siltuma pārēju dzesējošajos ķermeņos un samazina eļļas kārtas biežumu uz iekšējām sildvirsmām.

Šķidruma staba hidrostatiskā spiediena ietekme uz aukstuma aģenta vārišanās temperatūru sūkņu sistēmas dzesējošajos ķermeņos atkarīga tikai no dzesējošo ķermeņu konstrukcijas. Šķidruma atdalītāja novietojums mašīntelpā tiešā kompresoru tuvumā vienkāršo iekārtas apkalpi un samazina maģistrālo cauruļvadu garumu.

Sūkņu sistēma dod iespēju ērtāk sadalīt šķidro aukstuma aģentu pa dzesējošajiem ķermeņiem salīdzinājumā ar bezsūkņu sistēmu. Tomēr sistēmai, ja netiek lietotas automātiskās regulēšanas ierīces, piemīt būtiski trūkumi. Neautomatizēta sūkņu sistēma negarantē drošu aukstuma iekārtas darbību; hidraulisko triecienu rašanās iespēja samazināta, bet pilnīgi novērsta netiek; tāpat paliek komplicētā šķidruma sadale pa patērētājiem.

Tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmu darbības uzlabošanai nepieciešams lietot automatizāciju un tādus dzesējošos ķermeņus, kurus neietekmē hidrostatiskais spiediens.

Aukstuma iekārtu dzesēšanas sistēmu *mezglus*, kas atrodas mašīntelpā (galvenokārt kompresoru, kondensatoru un regulēšanas staciju pievienošanas mezglus), sastāda atkarībā no lietojamā aukstuma aģenta vārišanās temperatūras, kompresoru veida (vienpakāpes un divpakāpju) un uzstādīto kompresoru un aparātu skaita.

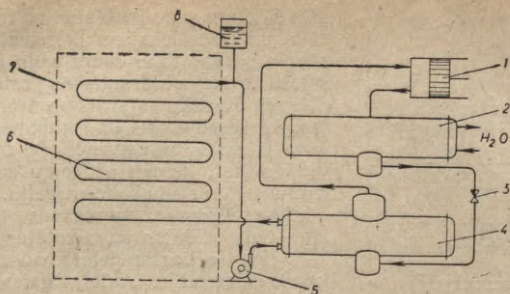
## 2. Aukstuma nesēja dzesēšanas sistēmas

Šīs sistēmas aukstuma kameru dzesējošajos ķermeņos cirkulē nevis aukstuma aģents, bet aukstuma nesējs — sāls šķīdums (nātrija hlorīda vai kalcija hlorīda ūdens šķīdums), ūdens vai dažu organisko savienojumu šķīdumi (X-5. att.). Aukstuma nesējus pirms ievadišanas dzesējošajos ķermeņos atdzesē aukstuma mašīnas iztvaikotājā (sk. VI nodaļu).

Sāls šķīduma cirkulāciju starp iztvaikotāju un dzesējošajiem ķermeņiem nodrošina cirkulācijas sūknis, kas uzstādīts mašīntelpā blakus iztvaikotājam.

Vienkāršākā sāls šķīduma dzesēšanas sistēma ar *slēgto* apvilkta cauruļu kūļa iztvaikotāju parādīta X-6. attēlā. Sistēmas visaugstākajā daļā novietots *izplešanās trauks*, kas noder par rezerves tilpumu sāls šķīduma izplešanās gadījumā (mainoties temperatūrai). Sasilušais sāls šķīdums caur sūcējvadu ieplūst sūknī, kas to vada caur iztvaikotāju. Iztvaikotājā sāls šķīdums atdziest, bet pēc tam ieplūst spiedvadā un dzesējošajos ķermeņos. Sāls šķīdumu dzesē-





X-5. att. Aukstuma nesēja dzesēšanas sistēma:

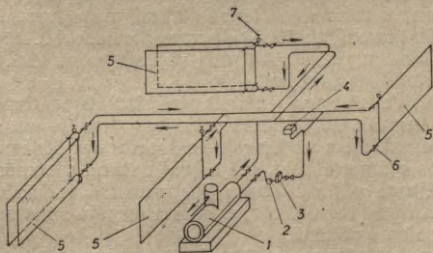
1 — kompresors; 2 — kondensators; 3 — regulējošais ventīlis; 4 — iztvaikotājs; 5 — sāls šķiduma cirkulācijas sūknis; 6 — sāls šķiduma dzesējošais ķermeņis; 7 — dzesējamā telpa; 8 — izplešanās trauks.

jošajiem ķermeņiem pievada no apakšas, bet izvada no augšas. Sarmas kārtu nokausē ar boilerā sasildītu sāls šķidumu.

Sāls šķiduma dzesējošajos ķermeņos reizēm sakrājas gaiss, kas traucē sāls šķiduma cirkulāciju. Tāpēc katra dzesējošā ķermeņa augšdaļā uzstāda atgaisošanas krānu. Atsevišķus dzesējošos ķermeņus no pārējās sāls šķiduma sistēmas atvieno ar aizbīdņiem.

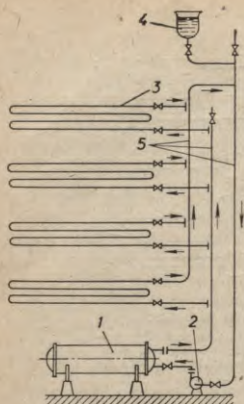
Vairākstāvu saldētavās visizplatītākā ir trīscauruļu sāls šķiduma cirkulācijas sistēma ar slēgto iztvaikotāju (X-7. att.).

Sāls šķiduma dzesēšanas sistēmām ar slēgto iztvaikotāju ir šādas priekšrocības: izplešanās trauks nodrošina labu gaisa atdalīšanu; tajās maz korodē metāls; mazs elektroenerģijas patēriņš



X-6. att. Sāls šķiduma dzesējošo ķermeņu un slēgtā iztvaikotāja savienojuma shēma:

1 — apvilkta cauruļu kūļa iztvaikotājs; 2 — sāls šķiduma sūknis; 3 — filtrs; 4 — izplešanās tvertne; 5 — sāls šķiduma dzesējošie ķermeņi; 6 — aizbīdņi; 7 — atgaisošanas krāns.



X-7. att. Trīscauruļu dzesēšanas sistēma sāls šķīduma sadalei pa saldētavas stāviem:  
 1 — apvilktā cauruļu kūļa iztvaikotājs; 2 — centrālās sūkņa; 3 — dzesējošais ķermeņis; 4 — izplešanās tvertne; 5 — maģistrālie cauruļvadi.

sāls šķīduma pārsūkņēšanai no iztvaikotāja uz dzesējošajiem ķermeņiem, jo sūkņis pārvar tikai cauruļvadu un dzesējošo ķermeņu hidrauliskās pretestības. Slēgtās dzesēšanas sistēmas trūkums ir tas, ka iespējama sāls šķīduma sasaldēšana iztvaikotāja caurulēs. Šo trūkumu var novērst, lietojot attiecīgu sāls šķīdumu ar atbilstošu koncentrāciju.

Sāls šķīduma dzesēšanas sistēmu, kurā lieto atklātos iztvaikotājus (vertikālo cauruļu, iegremdētos) vai atklātos kameru dzesētājus (mitros gaisa dzesētājus), sauc par *atklāto* (X-8. att.). Šādā sistēmā sāls šķīduma sūkņis iesūc auksto sāls šķīdumu no iztvaikotāja tvertnes un to pa spiedvadu pievada dzesējošajiem ķermeņiem.

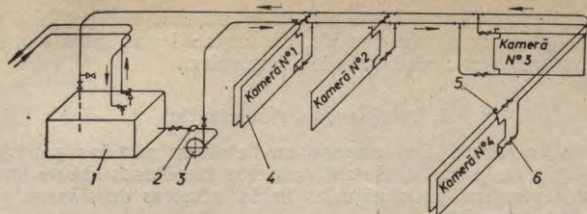
Ja lieto atklātos kameru dzesētājus, uz iztvaikotāju plūstošā sāls šķīduma vadā aizbīdņus neuzstāda, lai novērstu gaisa dzesētāju pārpildīšanu un sāls šķīduma izplūšanu saldētavas kamerā. Lai savāktu no dzesētājiem atpakaļplūstošo sāls šķīdumu sūkņa apstāšanās gadījumā, uzstāda papildtvertnes vai palielina iztvaikotāja tvertnes tilpumu.

Atklātās dzesēšanas sistēmās sāls šķīduma koncentrācija pakāpeniski samazinās, jo aukstais sāls šķīdums absorbē gaisa mitrumu. Lai uzturētu nemainīgu šķīduma koncentrāciju, tam jāpieliek sāls. Sistēmas uzpildīšanai vajadzīgo sāls šķīdumu sagatavo atsevišķā tvertnē, no kurienes to ar sūkni ievada iztvaikotāja tvertnē. Lai samazinātu metāla koroziju, sāls šķīdumam pievieno 1...2% nātrija hidroksīda vai «kaļķu piena», kas rada vāji sārmainu vidi. Sāls šķīdumu pirms ievadīšanas sistēmā filtrē.

Sāls šķīduma dzesēšanas sistēmas plaši izplatītas, tomēr pēdējā laikā tās lieto mazāk nekā tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmas. Sāls šķīduma dzesēšanas sistēmas priekšrocības ir šādas: sāls šķīduma aukstuma akumulēšanas spēja ļauj uzturēt vienmērīgu temperatūru dzesējamā objektā darba pārtraukuma laikā; vienkārša kameru temperatūras regulēšana; novērsta iespēja aukstuma aģentam iekļūt dzesējamā objektā.

Sāls šķīduma dzesēšanas sistēmai piemīt arī nopietni trūkumi. Aukstuma mašīnas darba laikā sāls šķīduma temperatūra par 8...10 °C zemāka nekā dzesējamās kameras gaisa temperatūra, bet aukstuma aģenta vārišanās temperatūra par 5...6 °C zemāka nekā sāls šķīduma temperatūra. Tas nozīmē, ka sāls šķīduma dzesēšanas sistēmā aukstuma mašīna darbojas ar zemāku vārišanās tem-





X-8. att. Sāls šķīduma dzesēšanas sistēma ar atklāto iztvaikotāju:  
 1 — iztvaikotājs; 2 — filtrs; 3 — sūkņš; 4 — sāls šķīduma dzesējošais ķermeņš; 5 — atgaisošanas krāns; 6 — aizbīdnis.

peratūru nekā tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmā. Sakarā ar to aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums samazinās, bet īpatnējais elektroenerģijas patēriņš palielinās par 20...25%, neskatot enerģijas patēriņu sāls šķīduma cirkulācijas sūkņa darbināšanai. Sāls šķīduma dzesēšanas sistēmas izveidošanai nepieciešams lielāks metāla patēriņš nekā tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmai, jo nepieciešama papildu iekārta — iztvaikotāji, sāls šķīduma sūkņi, sāls šķīduma papildvertnes, elektrodzinēji, sāls šķīduma cauruļvadi. So iekārtu izvietošanai nepieciešams liels laukums. Dzesēšana ar sāls šķīdumu ir dārgāka nekā dzesēšana ar tiešo iztvaici.

### 3. Gaisa dzesēšanas sistēmas un jauktas dzesēšanas sistēmas

*Gaisa dzesēšanas sistēmās* dzesējošos ķermeņus aukstuma kamerās neuzstāda. Kameras un tajās novietotos produktus dzesē ar gaisu, kas atdzesēts gaisa dzesētājos. Gaisu kamerās ievada pa kanāliem ar ventilatoriem. Kanālus novieto pie kameras griestiem. Pa kanālu spraugām aukstais gaiss izplūst aukstuma kamerā un apskalo dzesējamos produktus. Sasilušo gaisu caur filtru nosūc uz gaisa dzesētāju. Gaisa dzesētājā gaisu dzesē ar aukstuma aģenta tiešu iztvaici vai sāls šķīdumu.

Gaisa dzesēšanas sistēmās ventilatori rada gaisa piespiedu cirkulāciju, tā rezultātā gaiss labāk kontaktējas ar dzesējamo produktu un veicina tā atdzesēšanu. Bez tam sistēma dod iespēju kameras vēdināt, ievadot iepriekš atdzesētu un sausinātu āra gaisu.

Gaisa dzesēšanas sistēmas trūkumi ir šādi: maza akumulācijas spēja; ievērojams uzglabājamo produktu nožuvums; ventilatoru darbināšanai jāpatērē papildu enerģija, kas kamerā pārvēršas ekvivalentā siltuma daudzumā; nepieciešama papildu telpa gaisa dzesētāju novietošanai.

*Jauktas dzesēšanas sistēmās* kameras dzesē ar kombinētu paņēmieni, gan lietojot gaisa dzesētājus, gan novietojot kamerās dzesējošos ķermeņus. Kā vieni, tā otri var darboties vienlaikus vai

atsevišķi atkarībā no siltuma pieplūdes kamerai. Kad produkti atdzesēti, gaisa dzesētājus izslēdz, un uzglabāšanas laikā kamerā temperatūru uztur ar dzesējošajiem ķermeņiem.

#### 4. Dzesēšanas sistēmu izvēle

Līdz ar pazeminātu temperatūru lietošanu pārtikas produktu tehnoloģijā un jaunu, drošu automatizētu dzesēšanas shēmu izveidošanu ievērojami palielinājusies tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmas lietošanas joma.

Jaunceļamajās vidējas un lielas ietilpības saldētavās sāls šķīduma dzesēšanas sistēmas kā mazāk ekonomiskas un ar isāku darbību salīdzinājumā ar tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmām vairs neprojektē. Tās reti sastopamas arī esošajās vidējas un lielas ietilpības saldētavās, jo līdz ar nolietošanas korozijas dēļ tās nomaina ar tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmām.

Nelielas ietilpības saldētavās (līdz 100 t) vienkāršās apkalpes dēļ sāls šķīduma dzesēšanas sistēmas plaši izplatītas; tomēr arī šeit tās pakāpeniski izspiež tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmas.

Bez nelielas ietilpības saldētavām sāls šķīduma dzesēšanas sistēmas vēl lieto

a) saldētavās, kur tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmas nevar lietot sakarā ar drošības noteikumiem, piemēram, saldētava novietota tuvu dzīvojamajiem kvartāliem;

b) gaisa kondicionēšanas iekārtās, kur tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmas lietošana ierobežota vai, strādājot ar veselībai kaitīgiem aukstuma aģentiem, nav pieļaujama;

c) aukstuma iekārtās, kas paredzētas tādu telpu dzesēšanai, kurās izdalās daudz mitruma un tāpēc nepieciešams gaisu sausināt mitrajā gaisa dzesētājā kontaktā ar sāls šķīdumu;

d) kuģu aukstuma iekārtās, kur, lietojot tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmu, iespējama aukstuma aģenta izplūde caur sūcēm, kurās var rasties kuģa korpusa deformāciju un vibrāciju rezultātā;

e) dažās pārtikas rūpniecības nozarēs pozitīvu temperatūru kamerās tehnoloģisko iekārtu (eskimoģeneratoru, ledus ģeneratoru, piena dzesētāju u. c.) dzesēšanai;

f) grunts sasaldēšanas un citās speciālās iekārtās.

Gaisa dzesēšanas sistēmas lieto augļu, olu un iesaiņotu produktu uzglabāšanas kamerās, gaļas, subproduktu un putnu dzesēšanas kamerās gaļas kombinātos, kā arī auksti kūpinātu zivju un zivju kulinārijas izstrādājumu uzglabāšanas kamerās zivju rūpniecības uzņēmumos.

Jauktas dzesēšanas sistēmas lieto gaļas saldēšanas kamerās un universālās kamerās, kur jāuztur gaisa temperatūra  $-2...-18^{\circ}\text{C}$ .

Tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos sāls šķīduma dzesēšanas sistēmas lieto arvien retāk. Nekaitīgu aukstuma aģentu — freonu lietošana sekmē tādu automatizētu aukstuma agregātu ieviešanu, kuriem ir tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmas.



## XI nodaļa

### AUKSTUMA IEKĀRTU AUTOMATIZĀCIJA

Neautomatizētas aukstuma iekārtas apkalpojošais personāls iedarbina un apstādina aukstuma mašīnu, regulē šķidrā aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju, temperatūras režīmu aukstuma kamerās, kompresoru aukstuma ražīgumu un seko aparātu un mehānismu darbam.

Lietojot automātiskās ierīces, šis roku darbs atkrīt. Automatizētās aukstuma iekārtas ekspluatācija ir ievērojami lētāka nekā neautomatizētas aukstuma iekārtas ekspluatācija — tā ekonomiskāk izlieto enerģiju un precīzāk uztur doto temperatūras režīmu. Automātiskās regulēšanas ierīces ātri reaģē uz novirzēm darba režīmā un, rodoties bīstamai situācijai, iekārtu izslēdz.

Lieto dažādas automātiskās vadības, regulēšanas, aizsardzības, signalizācijas un kontroles ierīces.

Automātiskās *vadības* ierīces noteiktā secībā ieslēdz un izslēdz aukstuma mašīnas mehānismus, pārslodzes gadījumā ieslēdz rezerves iekārtu, ieslēdz palīgaparātus, atkausējot sniega kārtu no dzesējošajiem ķermeņiem, izvadot no sistēmas eļļu, gaisu, utt.

Automātiskās *regulēšanas* ierīces uztur noteiktās robežās aukstuma mašīnas galvenos parametrus (temperatūru, spiedienu, šķidruma līmeni), no kuriem atkarīgs normāls iekārtas darbs, kā arī regulē šos parametrus atbilstoši dotajai programmai.

Automātiskās *aizsardzības* ierīces, rodoties avārijas situācijai (pārāk augsts spiediens spiediena pusē, augsts šķidruma līmenis šķidruma atdalītājā, bojāta eļļošanas sistēma), izslēdz visu aukstuma iekārtu vai kādu tās daļu.

Automātiskās *signalizācijas* ierīces ieslēdz gaismas vai skaņas signālu, ja kontrolējamais parametrs sasniedz doto vai pieļaujamo vērtību.

Automātiskās *kontroles* ierīces (pašrakstītāji) reģistrē iekārtas darba parametrus (temperatūru dažādās vietās, spiedienu, cirkulējošās vielas daudzumu utt.).

Aukstuma iekārtas *kompleksi automatizējot*, uzstāda automātiskās vadības, regulēšanas un aizsardzības ierīces. Kontroles un

signalizācijas līdzekļi nepieciešami tikai, lai sekotu pareizai šo ierīču darbībai.

Tagad visas mazās un lielākā daļa vidējo aukstuma iekārtu ir pilnīgi automatizētas, bet lielās aukstuma iekārtas vairumā gadījumu ir daļēji automatizētas.

## 1. Automātiskās vadības un regulēšanas ierīces

Automātiskās vadības un regulēšanas ierīces atšķiras ar izpildāmo funkciju un darbības principu daudzveidību.

Katrs automātiskais regulators sastāv no jutīgā elementa, kas reaģē uz regulējamā parametra izmaiņām, izpildelementa, kurš, reaģējot uz jutīgā elementa impulsiem, regulē darba režīmu, un sistēmas, kas savieno jutīgo elementu ar izpildelementu.

Automātiskie regulatori var saņemt enerģiju no pašas aukstuma iekārtas (*tiešas darbības regulatori*) vai arī no atsevišķa enerģijas avota (*netiešas darbības regulatori*). Izšķir divpozīciju un proporcionālās darbības regulatorus.

**Termoregulatori.** Visizplatītākie termoregulatori aukstumtehnikā ir manometriskie termometri un termoreleji.

*Elektrokontaktu termometrs* (ЭКТ) ir manometriskais termometrs ar diviem pārbīdāmajiem kontaktiem (XI-1 att.). Jutīgais elements sastāv no termobalona 1 un saliekta cauruļvada atsperes 3, kurus savieno kapilāra caurule 2. Tas pildīts ar viegli gaistošu šķidrumu vai gāzi. Temperatūrai paaugstinoties, spiediens jutīgajā elementā pieaug, caurules 3 brīvais gals pārvietojas un vilcējs 7 caur sektoru 6 un zobratu 5 griež rādītāju ar kustīgo kontaktu 4 pulksteņa rādītāju kustības virzienā, kamēr tas savienojas ar augšējo robežkontaktu 8. Temperatūrai pazeminoties, kontakti atvienojas un rādītājs pārvietojas pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam, kamēr kustīgais kontakts savienojas ar apakšējo robežkontaktu 9.

### Termometra ЭКТ tehniskais raksturojums

Darba temperatūru diapazons (°C) šādiem pildījumiem:

ogļskābā gāze . . . . .	-60...0
freons-12 . . . . .	-20...40
metilhlorīds . . . . .	0...60; 0...100
benzols . . . . .	50...150; 60...200; 100...250;
gāzveida slāpeklis . . . . .	0...300; 0...400
Kontaktu atslēgšanās jauda (V·A) . . . . .	10
Darba spriegums (V) . . . . .	380
Kapilāra garums (m) . . . . .	1,6...10

*Termorelejs* TP-1 (XI-2 att.) darbojas šādi. Temperatūrai paaugstinoties, spiediens termobalonā 24 pieaug un bīdstienis 19, kas piestiprināts pie silfona 20 dibena, pārvarot saspīestās pamatatsperes 8 pretestību, pagriež sviru 17 pulksteņa rādītāju kustības virzienā. Kad sviras 17 gals atspiežas pret diferenciāļa 22 spraugas



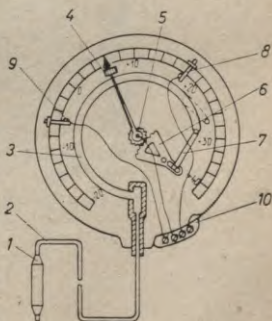
augšējo malu, mehānisma kustība tiek pārtraukta. Spiedienam turpinot paaugstināties, tiek pārvarēta izstieptās diferenciāļa atspere 23 pretestība, un svira 17 no jauna pagriežas. Ar atsperi 18, kas uztīta uz ass  $O_3$ , svira 17 pārvieto sviru 9, kuras galā uz šarnīra nostiprināta slēdža atspere 12. Kad šīs atsperes šarnīrs  $O_4$  pāriet pāri sviras-slēdža 13 ass līnijai  $O_5-O_6$ , atspere sāk griezt sviru-slēdzi 13 pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam balstā  $O_6$ . Svira 13 apakšējais kreisais izcilnis spiež uz tekstolīta sviru 10 un, pagriežot to balstā  $O_7$ , savieno kontaktus 14 un 15.

Temperatūrai pazeminoties, diferenciāļa atspere 23 un pamatatspere 8, pārvarot palīgatspēri 21 un spiediena spēku silfonā, pagriež svira 17 un 9 pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam. Kad diferenciāļa svira 22 atspiežas pret korpusa izcilni, tālāka temperatūras pazemināšanās kādu laiku mehānisma kustību neizraisa. Tālāka sviru 17 un 9 pagriešana pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam notiek ar atsperi 8.

Releja izslēgšanās temperatūru iestāda, saspiežot vai atbrīvojot pamatatsperi 8. To panāk, noņemot fiksējošo plāksnīti 5 un pagriežot regulēšanas skrūvi 6. Palielinot pamatatspēri saspiedumu, paaugstinās releja izslēgšanās temperatūra. Diferenciāli regulē, nostiepjot vai atbrīvojot diferenciāļa atsperi 23 ar skrūvi 2. Pie uzgriežņiem 3 un 7 piestiprināti rādītāji, kuri regulēšanas laikā pārbīdās pa temperatūras skalu 4. Ar skrūvēm 11 un 16 rūpnīcā noregulē izslēgšanās un ieslēgšanās temperatūras atbilstoši skalas iedaļām.

**Termoreleju APT-2 (XI-3. att.)** lieto mājsaimniecības un tirdzniecības saldēšanas skapjos, kas apgādāti ar hermētiskajiem kompresoriem. Kapilāro cauruli 4, kas aizvieto termobalonu, piespiež pie iztvaikotāja sienas. Temperatūrai iztvaikotājā paaugstinoties, freona-12 spiediens releja termosistēmā palielinās, silfons 2 izstiepjās un kupols 3 saspiež atsperi 7, kas iedarbojas uz atbalsta paplāksni 14. Ar atbalsta paplāksni savienotā svira 5 ceļas uz augšu un, spiežot uz skrūvi 13, pagriež sviru 6 ap asi  $O_1$  pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam. Plākšņveida atspere 8 strauji nospiež uz leju plāksnīti 9, kas savieno kontaktus 10.

Pazeminoties iztvaikotāja temperatūrai un līdz ar to spiedienam releja termosistēmā, atspere 7 saspiež silfonu, un palīgatspere spiež paplāksni 14 kopā ar sviru 5 uz leju. Atspere 8



XI-1. att. Elektrokontakta termometrs ЭКТ:

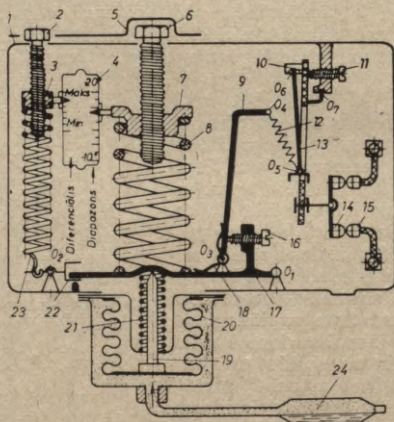
1 — termobalons; 2 — kapilāra caurule; 3 — caurulvada atspere; 4 — rādītājs ar kustīgo kontaktu; 5 — zobrats; 6 — sektors; 7 — vilcējs; 8 — augšējais robežkontakts; 9 — apakšējais robežkontakts; 10 — klemmes.

### Termoreleja TP-1 tehnikais raksturojums

Izslēgšanās temperatūru diapazons (°C):

TP-1-01 . . . . .	-35...-5
TP-1-02 . . . . .	-20... 10
TP-1-03 . . . . .	5... 35
TP-1-04 . . . . .	30... 60
Diferenciālis (°C) . . . . .	3... 10
Regulēšanas precizitāte (°C) . . . . .	±1
Kontaktu atvienošanās jauda, ja spriegums 220 V (V·A) . . . . .	150
Kapilāra garums (m) . . . . .	3

strauji atvieno kontaktus 10. Regulatora diferenciāli (7...8°C) noregulē rūpnīcā ar skrūvi 13. Kontaktu atvienošanās temperatūru iestāda, griežot rokturi 12, kas savukārt griež skrūvi 11 un izmaina atsperes 7 spriegojumu. Rokturi var pagriezt par 270°, izmainot kontaktu atvienošanās temperatūru par 8...10°C. Lai tālāk izmainītu kontaktu atvienošanās temperatūru, jānoņem rokturis 12 un ar skrūvgriezi jāpagriež skrūve 11.



XI-2. att. Termorelejs TP-1:

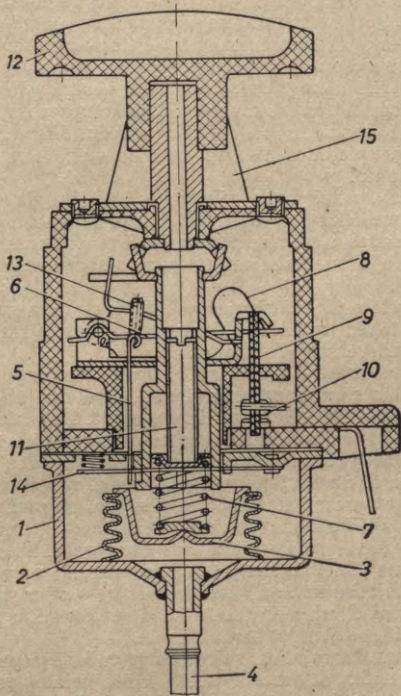
1 — korpus; 2 — diferenciāla regulēšanas skrūve; 3 — diferenciāla skrūves uzgrieznis ar rādītāju; 4 — skala; 5 — fiksejošā plāksnīte; 6 — pamatatsperes regulēšanas skrūve; 7 — regulēšanas skrūves uzgrieznis ar rādītāju; 8 — pamatatspere; 9 un 17 — sviras; 10 — tekstolīta svira; 11 un 16 — iestādīšanas skrūves; 12 — slēdža atsperē; 13 — svira-slēdzis; 14 un 15 — kontakti; 18 — atsperē; 19 — bidstienis; 20 — silfons; 21 — palīgatsperē; 22 — diferenciāla svira; 23 — diferenciāla atsperē; 24 — termobalons.



### Termoreleja APT-2 tehniskais raksturojums

Izslēgšanās temperatūru diapazons, regulējams ar rokturi (°C) . . . . .	-16...-8
Diferenciālis, neregulējams (°C) . . . . .	7...8
Kontaktu atvienošanās jauda (V·A) . . . . .	400
Darba spriegums (V) . . . . .	220
Kapilāra garums (mm) . . . . .	535

*Automātiskā vadības un regulēšanas mašīna (AMYP)* dod iespēju vienlaikus regulēt temperatūru daudzās aukstuma kamerās. Šādas mašīnas lieto lielās saldētavās temperatūras regulēšanai 40,



XI-3. att. Termorelejs APT-2:

- 1 — korpuss; 2 — silfons; 3 — kupols; 4 — kapilāra caurule; 5 un 6 — sviras; 7 — atspere; 8 — plāksnveida atspere; 9 — plāksnīte; 10 — kontakti; 11 — skrūve; 12 — regulēšanas rokturis; 13 — diferenciāla regulēšanas skrūve; 14 — atbalsta paplāksne; 15 — piestiprināšanas skava.

60 un 80 punktos. Tās var lietot ne tikai gaisa, bet arī vārišanās, sāls šķīduma un citu temperatūru regulēšanai. Par jutīgajiem elementiem izmanto pretestību termometrus, kurus pēc kārtas pieslēdz kopīgai elektronu pastiprināšanas ierīcei. Pastiprināšanas ierīce darbina izpildelementus — relejus. Mašīna apgādāta ar ierīci temperatūras mērīšanai visos pieslēgtajos punktos.

**Spiediena regulēšanas ierīces.** *Spiediena relejs* savieno vai atvieno elektriskos kontaktus atkarībā no spiediena izmaiņām sistēmā. Spiediena releju, kas pievienots *zemspiediena* pusei (*presostatū*), parasti lieto periodiskai kompresora iedarbināšanai un apstādināšanai, t. i., par ierīci, kas nodrošina spiediena regulēšanu iztvaikotājā un līdz ar to temperatūras regulēšanu dzesējamā objektā. Reizēm spiediena releju zemspiediena pusē lieto par aizsardzības ierīci, kas izslēdz kompresoru, ja spiediens ir pārāk zems.

Spiediena releju *augstspiediena pusē* (*monokontrolieri*) lieto tikai par aizsardzības ierīci, kas apstādina kompresoru, ja spiediens spiedienā pusē sasniedz pieļaujamo robežu. Visbiežāk zemspiediena un augstspiediena relejus apvieno vienā ierīcē ar kopīgu elektrisko kontaktu.

*Diferenciālajam* spiediena relejam ir divi jutīgie elementi, un tas reaģē uz spiedienu starpības izmaiņām. To lieto par aizsardzības ierīci eļļošanas sistēmai. Relejs izslēdz kompresoru, ja spiedienu starpība eļļošanas sistēmā un kompresora karterā ir zemāka par  $0,5 \text{ kgf/cm}^2$ .

Spiediena relejs pēc konstrukcijas ļoti līdzīgs manometriskajam termorelejam, tāpēc tos bieži unificē. Ja termorelejam noņem termobalonu, tas pārvēršas par spiediena releju.

*Spiediena releja* ПД-1 (XI-4. att.) korpusā iemontēti divi mehānismi — presostats un monokontrolieris. Spiediena jutīgie elementi ir silfoni 2 un 15, kuri ieslēgti apvalkos 1 un 14. Zemspiediena tvaiks no aukstuma iekārtas sūkšanas puses nonāk apvalkā 1 un saspiež silfonu. Tā brīvais gals pārvietojas pa labi un caur bīdstieni 4 iedarbojas uz sviru 5. Šajā virzienā darbojas arī saspieštā atsperes 3. Svira 5, pārvarot presostata atsperes 7 spēku, pagriežas ap asi  $O_1$  pulksteņa rādītāju kustības virzienā, velkot uz leju vilcējstieni 6, kas ar šarnīru piestiprināts pie sviras garā gala. Vilcējstienā saliektais augšgals ievietots rāmja 8 taisnstūrveida spraugā. Vilcējstienim pārvietojoties uz leju, tā saliektais gals atbalstās pret diferenciālā plāksnīti 9, un viss rāmis kopā ar kontaktu plāksnīti 11 griežas ap asi  $O_2$ , savienojot kontaktus 12.

Kompresoram darbojoties, spiediens iztvaikotājā pazeminās, tā rezultātā izstieptās atsperes 7 spēks kļūst lielāks par spiediena spēku uz silfonu. Svira 5 sāk griezties pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam, un vilcējstienis pārvietojas uz augšu, atspiežoties ar atlikto galu pret rāmja 8 spraugas augšējo malu. Pārvarot pastāvīgā magnēta 13 pievilšanas spēku, atsperes 7 atvieno kontaktus. Izslēgšanās spiedienu regulē ar presostata skrūvi P. Griežot skrūvi pulksteņa rādītāju kustības virzienā, atsperes 7 sastiepums

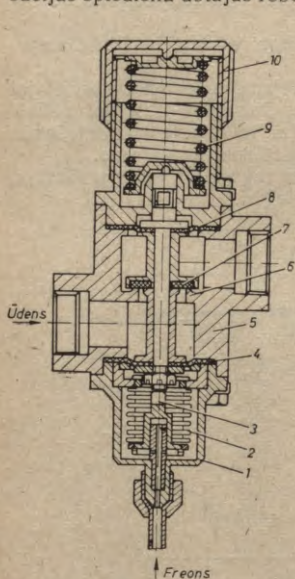




Spiediena regulatori «pirms vārsta» uztur nemainīgu spiedienu telpā pirms vārsta, jo, spiedienam pieaugot, vārsta caurplūde palielinās, kas savukārt izraisa spiediena samazināšanos. Šādas ierīces dažreiz uzstāda aiz iztvaikotāja, lai uzturētu vajadzīgo vārišanās spiedienu un līdz ar to arī temperatūru.

Spiediena regulatori «aiz vārsta» uztur doto spiedienu aiz vārsta. Tos lieto a) sūkšanas spiediena ierobežošanai, lai pasargātu kompresora elektrodzinēju no pārslodzes, uzstādot sūcējvadā pie ieejas kompresorā; b) spiediena pazemināšanās ierobežošanai kompresora karterā, kas var izraisīt eļļas putošanu un izplūdi no kompresora. Tos uzstāda vadā, kas savieno kompresora spiediena pusi ar sūkšanas pusi; c) aukstuma aģenta padeves regulēšanai uz iztvaikotāju.

Netiešos regulatorus visvairāk lieto spiediena regulēšanai kondensatorā (ūdens regulatori). Kondensācijas spiedienam paaugstinoties, tie palielina ūdens pieplūdi kondensatoram, uzturot kondensācijas spiedienu dotajās robežās.



XI-5. att. Silfona tipa ūdens regulēšanas ventīlis;

1 — silfona apvalks; 2 — silfons; 3 — bīdstienis; 4 un 8 — membrānas; 5 — korpuss; 6 — slēgvirsmas; 7 — vārsts; 9 — atsperis; 10 — regulēšanas uzgalis.

Ūdens regulatora (XI-5. att.) silfons savienots ar kondensatoru. Spiedienam kondensatorā palielinoties, silfons 2 tiek saspiests. Rezultātā bīdstienis 3 saspiēž atsperi 9 un vārsts 7 paceļas no slēgvirsmas 6, palielinot ūdens caurplūdi. Ūdens regulatoru iestāda, mainot atsperes 9 spriegojumu — skrūvējot uzgali 10.

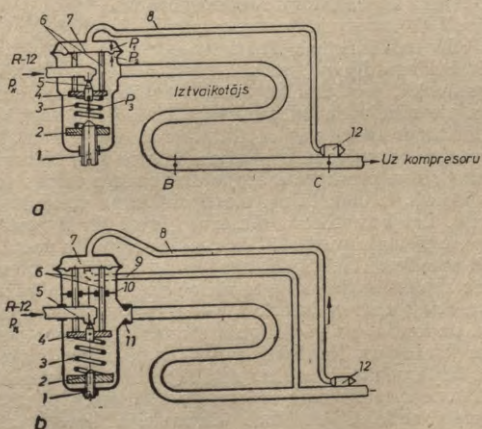
Tvaika pārkarsēšanas pakāpes regulatori (termoregulējošie ventīļi). Tiešās darbības termoregulējošais ventīlis (TRV) regulē šķidrā aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju. To uzstāda starp resiveru un iztvaikotāju, un tas automātiski uztur doto pārkarsēšanas pakāpi no iztvaikotāja izplūstošajam tvaikam. Par pārkarsēšanas pakāpi sauc temperatūru starpību starp pārkarsētā tvaika temperatūru, kas izplūst no iztvaikotāja, un šī tvaika spiedienam atbilstošo vārišanās temperatūru ( $t_t - t_0$ ). Pārkarsēšanas pakāpe nosaka iztvaikotāja pildījuma pakāpi. Izšķir TRV ar iekšējo un ārējo spiediena izlīdzināšanu.

TRV ar iekšējo spiediena izlīdzināšanu spiediena jutīgā sistēma,



kas sastāv (XI-6. att. a) no termobalona 12, kapilāra 8 un telpas virs membrānas 7, daļēji piepildīta ar šķidru aukstuma aģentu. Spiediens šajā sistēmā atkarīgs no temperatūras, kādā atrodas termobalons. Vārsta 5 stāvokli nosaka samērs starp spēku  $P_1$ , kas darbojas virs membrānas, spēku  $P_2$ , kas darbojas zem membrānas, un atsperes spēku  $P_3$ . Pirms kompresora iedarbināšanas termobalona un TRV temperatūras ir vienādas, tāpēc arī  $P_1 = P_2$ , un atsperes spēks tur vārstu noslēgtu. Kompresoram darbojoties, spiediens iztvaikotājā pazeminās līdz vārišanās spiedienam  $p_0$ . Šķidrā aukstuma aģenta vārišanās temperatūra atbilst šim spiedienam. Šķidrumam pārvietojoties iztvaikotājā, tā vārišanās temperatūra saglabājas līdz punktam B, kur pēdējais šķidruma piliens pārvēršas tvaikā. Tvaiks, pārvietojoties posmā BC, pārkarst, un punktā C piestiprinātā termobalona 12 temperatūra kļūst vienāda ar pārkarstētā tvaika temperatūru, kas savukārt nosaka spiedienu jutīgajā sistēmā. Spēku starpība  $P_1 - P_2$  palielinās, un membrāna 7 izliecas uz leju. Tā ar bīdstiepiem 6 spiež uz vārsta turētāju 4 un, pārvarot atsperes 3 pretestību, atver vārstu.

Ja šķidrā aukstuma aģenta daudzums iztvaikotājā palielinās (piemēram, palielinās kondensācijas spiediens vai samazinās siltuma pieplūde iztvaikotājam), punkts B pārvietojas pa labi, un pārkarstētā tvaika temperatūra punktā C pazeminās. Līdz ar to samazi-



XI-6. att. Tvaika pārkarstēšanas pakāpes regulatori:

a — ar iekšējo spiediena izlīdzināšanu; b — ar ārējo spiediena izlīdzināšanu; 1 — regulēšanas skrūve; 2 — uzgrieznis; 3 — atsperis; 4 — vārsta turētājs; 5 — vārsts; 6 — bīdstiepi; 7 — membrāna; 8 — kapilārs; 9 — ārējās spiediena izlīdzināšanas vads; 10 — starpsiena; 11 — drošējošs sašaurinājums; 12 — termobalons.

nās arī uz membrānu darbojošos spēku starpība  $P_1 - P_2$ . Atsperes spēks vārstu noslēdz tik ilgi, kamēr no jauna tiek sasniegta iepriekšējā tvaika pārkarsēšanas pakāpe. Nepieciešamo tvaika pārkarsēšanas pakāpi regulē, izmainot atsperes 3 spriegojumu ar skrūvi 1, kas pārvieto uzgriezni 2 uz augšu vai uz leju. Atsperi nospriegojot, tvaika pārkarsēšanas pakāpe ( $t_t - t_0$ ) palielinās — un otrādi.

No minētā izriet, ka termoregulējošais ventilis padod uz iztvaikotāju tādu aukstuma aģenta daudzumu, kāds spēj iztvaikot uz pievadītā siltuma rēķina, t. i., pielāgo šķidrā aukstuma aģenta padevi iztvaikotāja siltuma slodzes izmaiņām.

Iztvaikotājiem, kuru kopējā hidrauliskā pretestība lielāka par  $0,1 \dots 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ , lieto TRV ar *ārējo spiediena izlīdzināšanu* (XI-6. att. b). Ārējās spiediena izlīdzināšanas vads 9 savieno telpu zem TRV membrānas ar iztvaikošanas sistēmu termobalona pievienošanas vietā. To ierīko, lai novērstu iztvaikotāja hidrauliskās pretestības ietekmi uz spēku starpību  $P_1 - P_2$ . Hidrauliskā pretestība samazina spēku starpību  $P_1 - P_2$  un līdz ar to palielina tvaika pārkarsēšanas pakāpi.

TRV konstrukcija ar ārējo spiediena izlīdzināšanu dod iespēju pie TRV izejas ierīkot droselējošu sašaurinājumu. Šī papildu pretestība palielina spiedienu tieši aiz vārsta un atslogo atsperi 3, tādējādi iespējams palielināt vārsta diametru. Bez tam paaugstināts spiediens aiz vārsta paaugstina ierīces temperatūru un novērš iespējamo tvaika kondensāciju zem membrānas.

Dažādas TRV konstrukcijas redzamas XI-7. attēlā.

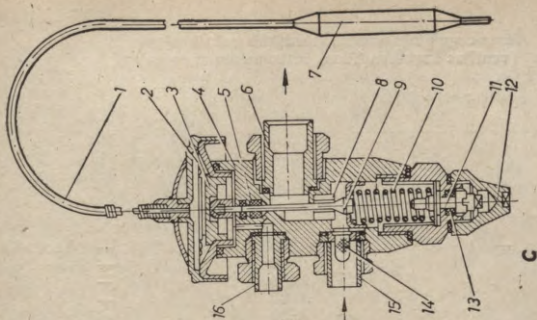
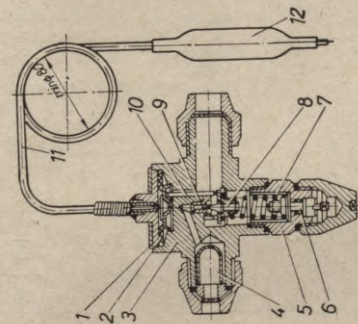
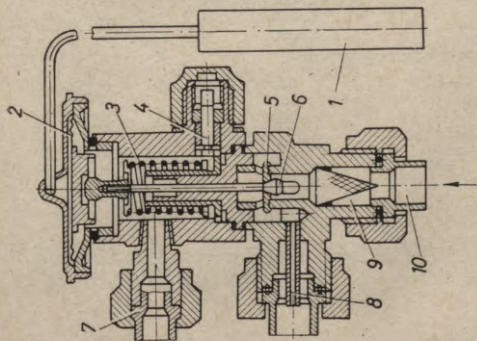
Pirms TRV uzstādīšanas jāpārbauda, vai tas ir atvērts. Ja jutīgajā sistēmā nav pildījuma, tad ventilis ir noslēgts. Ventili pievieno vertikālā stāvoklī, pēc iespējas tuvāk iztvaikotājam. Termobalonu piestiprina pie sūcējvada aukstuma kamerā, jo tā sasilšana kompresora dīkstāves laikā var atvērt vārstu. Labu kontaktu starp termobalonu un cauruļvadu nodrošina ar vara skārda skavu.

Ja termobalonu piestiprina ārpus dzesējamās telpas (pie apvilkta cauruļu kūļa iztvaikotāja), piestiprinājuma vietu izolē ar siltumizolāciju. Lai kompresora dīkstāves laikā droši noslēgtu aukstuma aģenta pievadu, pirms TRV uzstāda solenoīda ventili. Termobalonu un spiediena izlīdzināšanas cauruli nedrīkst pievienot pie cauruļvada apakšējās daļas, jo tur iespējama eļļas uzkrāšanās.

**Līmeņa releji un regulatori.** Līmeņa releji atkarībā no līmeņa izmaiņām, uz kurām reagē jutīgais elements, savieno vai atvieno elektriskos kontaktus. Kontakti parasti ieslēdz elektrisko signalizāciju vai izpildmehānismus, kas regulē rezervuāra piepildīšanu ar šķidrumu. Līmeņa relejs kopā ar izpildmehānismu, parasti solenoīda ventili, veido netiešas darbības divpozīciju līmeņa regulatoru (XI-8. att.). Par jutīgo elementu izmanto pludiņu. Līmeņa relejus uzstāda šķidrums līmeņa kontrolei resiveros, šķidrums atdalītājos, starptraukos un eļļas atdalītājos.

Visizplatītākie ir *pludiņa tipa proporcionālās darbības līmeņa regulatori*. Tos lieto līmeņa regulēšanai resiveros, starptraukos,





XI-7. att. TRV konstrukcijas:

a — amonjaka TPBA-40 (1 — termobalons; 2 — membrāna; 3 — atsperē; 4 — skrūvē; 5 — slēgvirsmā; 6 — vārsis; 7 — uzgalis; 8 — drošējotāja caurule; 9 — filtrs; 10 — šķidrā amonjaka pievads); b — freona TPB-2 (1 — vāks; 2 — membrāna; 3 — korpuss; 4 — filtrs; 5 — uzgalis; 6 — regulēšanas skrūvē; 7 — atsperē; 8 — vārsis; 9 — slēgvirsmā; 10 — bidstienis; 11 — kapilāra caurule; 12 — termobalons); c — freona TPB-7 ar ārējo spiedienu izlīdzināšanu (1 — kapilāra caurule; 2 — membrāna; 3 — drošējotāja paliktņi; 4 — korpuss; 5 — vārsta bidstienā blīvslēgs; 6 — izplūdes uzgalis; 7 — termobalons; 8 — vārsta slēgvirsmā; 9 — vārsis; 10 — atsperē; 11 — regulēšanas skrūvē; 12 — noslodzotais uzgalis; 13 — regulējošās skrūves blīvslēgs; 14 — filtrs; 15 — izplūdes uzgalis; 16 — ārējās spiedienu izlīdzināšanas vada uzgalis).

Termoregulējošo ventiļu tehniskais raksturojums  
(ventiļus izgatavo Tartu instrumentu rūpnīca)

Marka	Nominālie darba apstākļi			Nominālais aukstuma ražīgums (kcal/h)	Pārkarējums vārsta atveršanas sakumā (regulējamais) (°C)	Arējā spiediena izlīdzināšana	Aukstuma aģents
	$t_0$ (°C)	$t_k$ (°C)	$t_t - t_0$ (°C)				
TPB-0,5M TPB-1M TPB-2M TPB-4M TPB-7	-15	+30	7	500 1 000 2 000 4 000 7 000	2...10	- - - - +	freons-12
TPBK-10 TPBK-20 TPBK-40 TPB-60Φ TPBK-100 TPB-160Φ	-15	+30	7   7 10	10 000 20 000 40 000 60 000 100 000 160 000	2...8	+ + + + + +	freons-12
TPBA-10M TPBA-20M TPBA-40M TPBA-80M TPBA-120M	-15	+30	6	10 000 20 000 40 000 80 000 120 000	1...5	+ + + + +	amonjaks
22 TPB-1B 22 TPB-1,6B 22 TPB-5B 22 TPB-60B	-40	+30	5	1 000 1 600 5 000 60 000	1,5...8	- - - +	freons-22
22 TPB-1H 22 TPB-5H 22 TPB-10H 22 TPB-25H	-60	+30	8	1 000 5 000 10 000 25 000	3...10	+ + + +	freons-22
13 TPB-0,3H 13 TPB-0,5H 13 TPB-1H	-80	-50	7	300 500 1 000	2...10	+ + +	freons-13
142 TPB-5 142 TPB-30	+5	+45	6	5 000 30 000	2...10	+ +	freons-142

eļļas atdalītājos utt. Līmeņa regulatorus, kurus lieto līmeņa regulēšanai iztvaikotājos, sauc par *pludiņa tipa regulējošajiem* (PRV) *ventiļiem*.

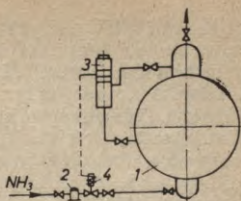


Tiešās darbības pludiņa tipa regulējošajos ventiļos (XI-9. att.), līmenim paaugstinoties, pludiņš paceļas uz augšu un pārnes kustību uz vārstu, kas samazina tvertnē ietilpstošā šķidruma daudzumu vai palielina šķidruma izplūdi no trauka. Pirmā tipa regulatorus (XI-9. att. a, b, c) lieto, ja pludiņš novietots zemspiediena pusē. Otrā tipa regulatorus (XI-9. att. d, e, f) lieto līmeņa regulēšanai augstspiediena pusē.

Atkarībā no pludiņa novietojuma izšķir PRV ar aparātā ievietotu pludiņu (XI-9. att. a, d) un ar atsevišķi novietotu pludiņa kameru (XI-9. att. b, c, e, f). Pēdējie var būt caurplūdes vai necaurplūdes tipa PRV.

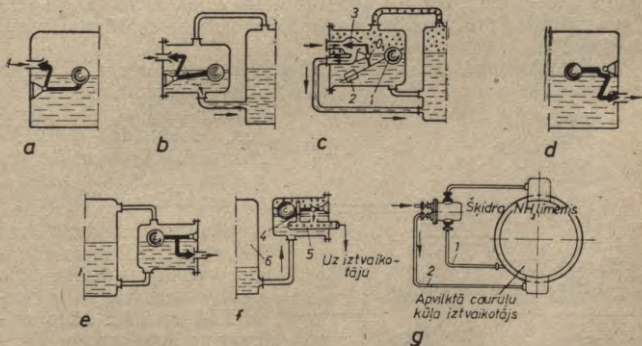
Caurplūdes tipa regulējošajiem ventiļiem (XI-9. att. b, e, f) šķidrums nokļūst tvertnē, plūstot caur pludiņa kameru. Ja kamera un tvertne savienotas ar šķidruma un tvaika vadu (b, c, e), tad šķidruma līmenis pludiņa kamerā ir tāds pats kā aparātā. Apvilkta cauruļu kūļa iztvaikotājiem PRV uzstāda otrās sildcauruļu rindas līmenī, skaitot no augšas (XI-9. att. g).

Augstspiediena PRV (XI-9. att. f) arī veic šķidruma līmeņa regulēšanu iztvaikotājā. Atšķirībā no zemspiediena PRV to var uzstādīt jebkurā līmenī attiecībā pret kondensatoru un iztvaikotāju. Šķidrā amonjaka pievads savieno ventili ar kondensatora (resivera)



XI-8. att. Līmeņa regulēšanas shēma iztvaikotājā:

1 — iztvaikotājs; 2 — filtrs; 3 — pludiņa mehānisms; 4 — solenoida ventils.



XI-9. att. Tiešās darbības pludiņa tipa zemspiediena (a, b, c) un augstspiediena (d, e, f) līmeņa regulatori:

a, d — aparātā ievietots pludiņš; b, e — caurplūdes tips; c — necaurplūdes tips; f — caurplūdes tips ar papildu drošēšanu (1 — pludiņš; 2 — atsvars; 3 — vārsts; 4 — kapilāra caurule; 5 — izplūdes caurule; 6 — kondensators vai resivers); g — pludiņa tipa regulējošā ventīļa montāžas shēma (1 — spiediena izlīdzināšanas līnija; 2 — šķidruma padeves līnija).





Sūkšanas spiedienam palielinoties, proporcionālā spiediena regulatora (PSR) membrāna saspiež atspēri 7, vārsts 8 pieveras un tvaika daudzums, kas ieplūst pa pievadu 6 telpā virs izpildmehānisma virzuļa, samazinās. Spiedienu virs virzuļa nosaka ieplūstošā tvaika daudzums, kas izplūst caur virzuļa 2 droselējošo atvērumu 5. Samazinoties tvaika padevei caur pievadu 6, spiediens virs virzuļa samazinās un atspere 4 aizver vārstu 3. Ar skrūvi 1 var vārstu atvērt ar roku.

Proportcionālā spiediena regulatora vietā izpildmehānismu var darbināt arī termoregulators vai TRV.

*Membrānas tipa* pneimatiskie ventiļi pēc darbības principa neatšķiras no virzuļa tipa ventiļiem. Spiedienam virs membrānas mainoties, vārsts var tikt atvērts vai aizvērts atkarībā no konstrukcijas. B3 tipa ventiļi, spiedienam palielinoties, aizveras, bet BO tipa — atveras.

*Solenoida ventiļi* (SV) pārvērs elektrisko impulsu vārsta divpozīciju kustībā. Ja elektromagnēta spolē plūst strāva, vārsts tiek atvērts, bet, ja strāva tajā neplūst, — aizvērts.

Liela diametra vārstu atvēršanai nepieciešams samērā liels spēks. Lai samazinātu elektromagnēta jaudu un izmērus, SV konstrukcijās lieto hidrauliskos pastiprinātājus.

Pēc darbības principa izšķir virzuļa un membrānas tipa solenoīda ventiļus.

*Virzuļa tipa* SV shēma dota XI-11. attēlā. Ja strāva izslēgta, vadības (atslogošanas) vārsts 5 noslēdz centrālo atvērumu virzulivārstā 6. Šķidrums, kas ieplūst pa virzuļa kalibrēto urbumu 9, nokļūst telpā virs virzuļa. Šķidruma spiediens kōpā ar vārsta svaru vārstu blīvi noslēdz.

Ieslēdzot elektromagnēta spolē 1 strāvu, serde 2 ievelkas spolē un, atsītoties pret uzgriezni 4, paceļ vadības (atslogošanas) vārstu 5. Šķidrums izplūst no telpas virs virzuļa 6 caur tā centrālo atvērumu, un spiediens virs virzuļa samazinās. Elektromagnēta spēks un spiediena spēks, kas tagad darbojas uz virzuli no apakšas, paceļ to uz augšu un pilnīgi atver vārstu. Elektromagnēta spoli no šķidruma telpas norobežo nemagnētiska materiāla caurule 3. Skrūve 8 domāta vārsta atvēršanai ar roku. Blīvākai virzuļa-vārsta noslēgšanai tajā ievietota gumijas blīve, kas pieguļ vārsta slēgvirsmāi 7.

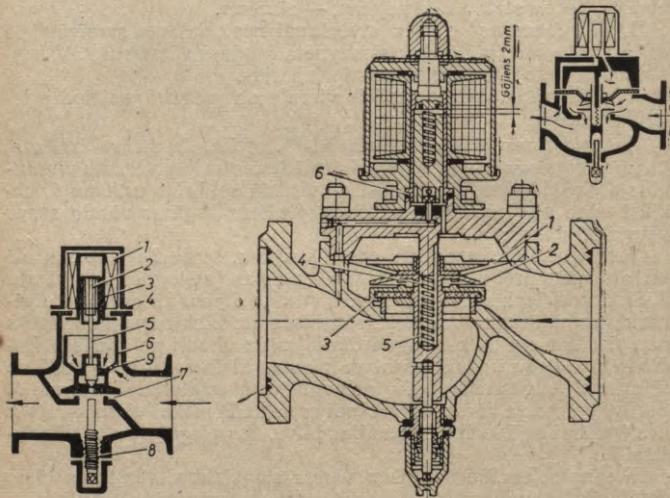
Freona solenoīda ventiļiem vārsta slēgvirisma, vārsts un citas detaļas izgatavotas no misiņa, bet amonjaka solenoīda ventiļiem — no nerūsoša tērauda.

*Membrānas tipa* SV (XI-12. att.) kamera virs galvenā vārsta 3 atdalīta no spiedvada ar membrānu 1, kas izgatavota no gumijota auduma. Šķidruma spiediens telpā virs membrānas ir lielāks nekā telpā zem vārsta, tāpēc membrāna, piespiežot vārstu slēgvirsmāi, to noslēdz. Ieslēdzot elektromagnētu, paceļas vadības (atslogošanas) vārsts 6, kā rezultātā šķidrums izplūst no telpas virs membrānas,

kur spiediens samazinās. Ieplūstošā šķidrums spiediens, darbojoties uz membrānu no apakšas, atver vārstu. Šī tipa ventīļus var lietot šķidrā amonjaka, freona, ūdens un sāls šķidrums daudzuma regulēšanai.

SV uzstāda cauruļvada horizontālajā daļā stingri vertikālā stāvoklī. Pirms SV ierīko filtru, kurš periodiski jātīra. Montējot jāparedz ērta elektromagnēta spoles noņemšana un vārsta piespiedu atvēršana. Šķidrums kustības virzienam jāsakrīt ar bultiņas virzienu uz ventīļa korpusa. SV atšķirībā no ventīļiem, kurus darbina ar roku, šķidrums padod «virs vārsta».

*Motorventīļi* sastāv no vienfāzes asinhronā elektrodzinēja un zobratu reduktora, kuri ievietoti kopīgā apvalkā. Reduktora vārpsta piedzen regulējošo orgānu — vārstu.



XI-11. att. Virzuļa tipa solenoīda ventīlis CBΦ-40:

1 — elektromagnēta spole;  
2 — serde; 3 — nemagnētiska materiāla caurule; 4 — uzgrieznis; 5 — atslēgšanas vārsts; 6 — virzulis-vārsts; 7 — vārsta slēgvirsmā; 8 — skrūve; 9 — kalibrēts urbums.

XI-12. att. Membrānas tipa solenoīda ventīlis:

1 — membrāna; 2 — sprauga; 3 — galvenais vārsts; 4 — atvērums; 5 — atspere; 6 — atslēgšanas vārsts.



## Solenoida ventiļu tehniskais raksturojums

Marka	Ekvivalents caurplūdes diametrs (mm)	Pielaijamā spiedienu starpība pirms un aiz ventīļa (kgf/cm <sup>2</sup> )	Spiedienu starpība, kas noslēdz vārstu (kgf/cm <sup>2</sup> )	Darbināšanas jauda (V · A)	Darba viēlas temperatūra (°C)	Darba Viēla
CBΦ-10	10	13	0,25	20	—40 ... +35	freons
CBΦ-15	15	13	0,25	20	—40 ... +35	
CBΦ-25	25	13	0,25	30	—40 ... +35	
CBΦ-40	40	13	0,25	30	—40 ... +35	
CBA-10	10	13	0,25	20	—40 ... +35	amonjaks
CBA-15	15	13	0,25	20	—40 ... +35	
CBA-25	25	13	0,25	30	—40 ... +35	
CBA-40	40	13	0,25	30	—40 ... +35	
CBM-6	6	16	0,25	25	—40 ... +50	amonjaks
CBM-10	10	16	0,25	36	—40 ... +50	
CBM-15	15	16	0,25	36	—40 ... +50	freons
CBM-25	25	16	0,25	36	—40 ... +50	
CBM-40	40	16	0,25	36	—40 ... +50	ūdens
CBM-50	50	16	0,25	36	—40 ... +50	

## 2. Galveno parametru automātiskā regulēšana

**Temperatūras regulēšana dzesējamā ķermeņī.** Siltuma daudzumu, kuru aizvada no dzesējamā ķermeņa ar sāls šķīduma bateriju, iespējams regulēt, izmainot siltuma pārejas koeficientu, sildvirsmu vai pievadāmā sāls šķīduma daudzumu.

XI-13. attēlā doti daži praktiski temperatūras regulēšanas paņēmieni aukstuma kamerām ar sāls šķīduma dzesēšanas sistēmu. Sāls šķīduma baterijas aukstuma ražīgumu izmaina ar šādiem paņēmieniem:

1) izmaina baterijas siltuma pārejas koeficientu (XI-13. att. a), termorelejam *TR* ieslēdzot vai izslēdzot ventilatoru;

2) izmaina sildvirsmu (XI-13. att. b). Sasniedzot vēlamo kameras temperatūru, termorelejs *TR* atver solenoīda ventīli *SV* un sāls šķīdums (punktā a) aizplūst no baterijas. Tātad tās augšējā daļa kameras dzesēšanai netiek izmantota;

3) vienmērīgi izmaina pievadāmā sāls šķīduma daudzumu (XI-13. att. c) ar proporcionālās darbības ventīli *PTR*, kurš, temperatūrai kamerā paaugstinoties, palielina sāls šķīduma pieplūdi;

4) periodiski ieslēdz vai izslēdz sāls šķīduma padevi (XI-13. att. d) ar solenoīda ventīli *SV*, kuru caur starpreleju *SR* darbina termorelejs *TR*. Sis ir viens no visbiežāk lietojamiem paņēmieniem.

Tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmā dzesējošo ķermeņu ražīgums atkarīgs no sildvirsmas, siltuma pārejas koeficienta un spiediena (spiedienam atbilstošās vārīšanās temperatūras  $t_0$ ) iztvaikotājā.

Tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmās lieto šādus temperatūras regulēšanas paņēmienus (XI-14. att.):

1) izmaina siltuma pārejas koeficientu (XI-14. att. *a*), periodiski ieslēdzot ventilatoru ar termoreleju *TR*. Aukstuma aģenta padeves regulēšanai shēmā ieslēgts termoregulējošais ventīlis *TRV*;

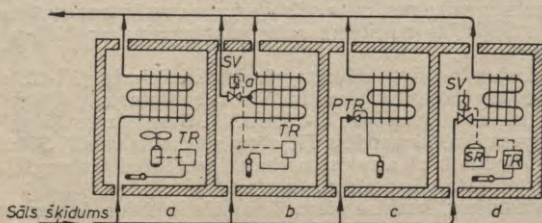
2) vienmērīgi izmaina sildvirsmu (XI-14. att. *b*). Temperatūras paaugstināšanai aukstuma kamerā samazina aukstuma aģenta padevi ar proporcionālās darbības ventīli *PTR*, kā rezultātā šķidrums līmenis iztvaikotājā pazeminās un sildvirsmas samazinās;

3) periodiski ieslēdz vai izslēdz aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju (XI-14. att. *c*) ar solenoida ventīli *SV*. Solenoida ventīli caur starpreleju *SR* ieslēdz un izslēdz termorelejs *TR*. Starprelejs var ieslēgt arī kompresoru un signalizāciju. Pēc solenoida ventīļa aizvēršanas vēl turpinās iztvaikotājā palikušā aukstuma aģenta vārīšanās, kas palielina temperatūras svārstības. Lai to novērstu, solenoida ventīli ievieto tvaika izplūdes vadā;

4) izmaina iztvaikošanas spiedienu (XI-14. att. *d*) ar proporcionālās darbības vārstu *PTR*, kas ievietots sūcējvadā. Temperatūrai kamerā pazeminoties, vārsts samazina tvaika izplūdi, spiediens (arī temperatūra) iztvaikotājā paaugstinās un tā ražīgums samazinās;

5) izmaina spiedienu iztvaikotājā ar divpozīciju vārstu *DSR*, kas ievietots sūcējvadā (XI-14. att. *e*). Spiedienam iztvaikotājā pieaugot līdz noteiktajai robežai, vārsts atveras un iztvaikotājs sāk darboties, bet, temperatūrai (arī spiedienam) iztvaikotājā samazinoties, vārsts aizveras.

Ja iztvaikotājam pievada zema spiediena aukstuma aģentu (piepiediņu cirkulācijas sistēmās), tad *TRV* šķidrā aukstuma aģenta pievadā neuzstāda.



XI-13. att. Temperatūras regulēšanas paņēmieni kamerās ar sāls šķidrums dzesējošajām baterijām:

*a* — izmaina siltuma pārejas koeficientu; *b* — izmaina dzesējošo virsmu;  
*c* — vienmērīgi izmaina sāls šķidrums padevi; *d* — periodiski ieslēdz vai izslēdz sāls šķidrums padevi.



**Aukstuma iekārtas ražīguma regulēšana.** Iekārtas aukstuma ražīgumu var regulēt, mainot darbojošos kompresoru skaitu, padeves koeficientu un iesūcamā tvaika īpatnējo tilpumu.

Ja aukstuma iekārtas sastāvā ietilpst vairāki kompresori, tās aukstuma ražīgumu parasti regulē, izmainot darbojošos kompresoru skaitu, t. i., ieslēdzot vai izslēdzot atsevišķus kompresorus. Atsevišķo kompresoru aukstuma ražīguma regulēšana aplūkota 105. lpp.

Aukstuma iekārtai, kas darbojas ar vienu kompresoru, aukstuma ražīgumu visbiežāk regulē pēc divpozīciju metodes, t. i., periodiski ieslēdzot un izslēdzot kompresoru. Iekārtas vidējo aukstuma ražīgumu samazina, palielinot kompresora dīkstāves laiku. Šis paņēmieni ir visekonomiskākais, jo, samazinoties aukstuma ražīgumam, samazinās arī enerģijas patēriņš. Šī paņēmiena trūkums ir palielinātās temperatūras svārstības dzesējamā ķermenī.

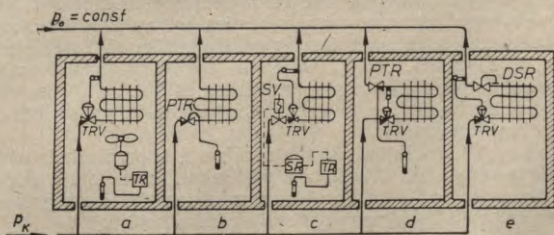
Vienmērīgi izmainīt iekārtas aukstuma ražīgumu iespējams, droselējot tvaiku sūcējvadā ar proporcionālās darbības spiediena regulatoru. Samazinot spiedienu sūcējvadā, palielinās iesūcamā tvaika īpatnējais tilpums un kompresijas pakāpe, kas samazina padeves koeficientu.

**Automātiskā kompresora atslogošana iedarbināšanas laikā.** Kompresora patērētā jauda tā iedarbināšanas laikā strauji pieaug, jo nepieciešama papildu enerģija inerces spēku pārvarēšanai un sarakarā ar augsto spiedienu sūcējvadā nepieciešams palielināts saspiešanas darbs.

Aukstuma mašīnām ar jaudu līdz 40 kW kompresoru iedarbina bez īpašas atslogošanas. Šiem kompresoriem lieto elektrodzinējus, kuru nominālā jauda 1,5...2 reizes lielāka nekā darba režīmā patērētā jauda. Lieto arī asinhronos dzinējus ar palielinātu palaišanas momentu.

Lielākus kompresorus iedarbināšanas laikā atslogo šādi:

- 1) palielina iedarbināšanas laiku;



XI-14. att. Temperatūras regulēšanas paņēmieni kamerās ar tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmu:

*a* — izmaina siltuma pārejas koeficientu; *b* — vienmērīgi izmaina dzesējošās virsmas lielumu; *c* — periodiski ieslēdz vai izslēdz aukstuma aģenta padevi; *d* — vienmērīgi izmaina spiedienu iztvaikotājā; *e* — periodiski aizver vai atver ventili sūcējvadā.

2) iedarbināšanas laikā samazina (līdz nullei) kompresora aukstuma ražīgumu;

3) izlīdzina spiedienu sūkšanas un spiediena pusē.

Kompresoru palēninātu iedarbināšanu var panākt ar elektrodziņņiem, kuriem regulējams apgriezību skaits minūtē. Ja kompresora elektrodziņņa apgriezību skaits minūtē nav regulējams, starp kompresoru un elektrodziņņu uzstāda hidraulisko vai centrālās dzesēšanas sistēmas.

Kompresora aukstuma ražīgumu iedarbināšanas laikā var samazināt šādi:

- 1) aizver ieplūdes ventili;
- 2) atver ieplūdes vārstu;
- 3) ieslēdz papildu kaitīgo telpu;
- 4) savieno sūkšanas pusi ar spiediena pusi.

Automātiskajā shēmā jāparedz ierīces, kas kompresoru pēc iegriešanas ieslēdz uz pilnu aukstuma ražīgumu. Tāda ierīce var būt laika relejs. Kompresora automātiskās ieslēgšanās momentā iedarbojas solenoīda ventils, kas savieno sūkšanas pusi ar spiediena pusi, un laika relejs. Pēc 5...7 sekundēm, kad kompresors sasniedz doto apgriezību skaitu minūtē, laika relejs izslēdz solenoīda ventili. Shēmas spiedvadā nepieciešams vienvirziena vārsts.

Mazajām aukstuma iekārtām (saldēšanas skapjiem) spiedienu sūkšanas un spiediena pusē izlīdzina kompresora dīkstāves laikā caur kapilāru cauruli. Iedarbināšanas laikā spiediens kondensatorā nespēj tik strauji palielināties, lai traucētu kompresora iegriešanu.

**Aukstuma aģenta padeve uz iztvaikotāju un tās regulēšana.** Siltumu no dzesējamā ķermeņa uzņem iztvaikojošais aukstuma aģents. Visefektīvāk iztvaikotājs darbojas, ja šķidrums aukstuma aģents saskaras ar visu iztvaikotāja sildvirsmu. Šādā gadījumā pievadīto siltumu var uzņemt aukstuma aģents ar augstāku vārišanās temperatūru, kas palielina aukstuma mašīnas dzesēšanas koeficientu. Ja iztvaikotājs pilnīgi piepildīts, no tā izplūst piesātināts tvaiks, kas var saturēt šķidrums pilienu. Tiem nokļūstot kompresorā, samazinās aukstuma ražīgums un var rasties hidrauliskie triecieni. Lai no tā izvairītos, sūcējvadā jāuztur neliela tvaika pārkarsēšanas pakāpe, t. i.,  $t_t - t_0 = 5 \dots 15^\circ\text{C}$ . Daļēji šo tvaika pārkarsēšanu panāk sūcējvadā, bet daļēji — nepiepildot iztvaikotāju. Ja tvaika pārkarsēšanas pakāpi palielina, nepiepildot iztvaikotāju, pazeminās iekārtas ekonomiskums.

Tvaika pārkarsēšanas pakāpe sūcējvadā ir precīzākais rādītājs, kas raksturo pareizu iztvaikotāja pildījumu. Iztvaikotāja pildījuma regulēšana pēc tvaika pārkarsēšanas pakāpes piemērota gan augšējai, gan apakšējai šķidrums padevei uz iztvaikotāju.

Ja šķidrums iztvaikotājam pievada no apakšas, iztvaikotāja pildījumu var regulēt pēc līmeņa. Tomēr jāņem vērā, ka pēc līmeņa ne visai precīzi var noteikt iztvaikotāja sildvirsmas lielumu, kas saslapināta ar aukstuma aģentu, jo šķidrums pilieni, kas kopā ar tvaiku atraucas no šķidrums virsmas, apslapina arī daļu sildvirsmas virs



šķidrums līmeņa. Palielinoties iztvaikotāja slodzei, palielinās arī virs šķidrums līmeņa sasilinātās sildvirsmas daļa. Sevišķi intensīvi šķidrums vārišanās notiek freona aukstuma mašinās, tāpēc, lai panāktu tvaika pārkarsējumu par 5...10 °C, šķidrums līmeņa augstumam jāastāda apmēram  $\frac{2}{3}$  no iztvaikotāja augstuma. Freona aukstuma mašinām iztvaikotāja pildījumu regulē tikai pēc tvaika pārkarsēšanas pakāpes, bet amonjaka aukstuma mašinām — kā pēc pārkarsēšanas pakāpes, tā arī pēc līmeņa.

**Kondensācijas spiediena un ūdens patēriņa regulēšana kondensatorā.** Aukstuma aģenta kondensācijas temperatūru un tātad arī kondensācijas spiedienu nosaka dzesējošās vielas temperatūra, caurplūde un kondensatora siltuma slodze.

Palielinot ūdens padevi uz kondensatoru, pazeminās kondensācijas spiediens un samazinās elektroenerģijas patēriņš. Tomēr ūdens caurplūdi mērķtiecīgi palielināt tikai līdz noteiktai robežai, jo pārāk liels ūdens patēriņš palielina kopējos izdevumus.

Kondensācijas spiedienu var automātiski regulēt, uzstādot ūdens pievadā *ūdeni regulējošo ventili*. Ja kondensācijas spiediens palielinās, ventils palielina ūdens padevi, un spiediens pazeminās. So ventili praktiski iestāda 2 reizes gadā, noregulējot manometrisko spiedienu freona aukstuma iekārtu kondensatoros vasarā apmēram 8 kgf/cm<sup>2</sup>, bet ziemā 5...6 kgf/cm<sup>2</sup>, amonjaka iekārtu kondensatoros attiecīgi 11 un 9 kgf/cm<sup>2</sup>. Pastāvīgs kondensācijas spiediens, kuru regulē ūdens regulējošais ventils, nodrošina precīzu šķidrā aukstuma aģenta padeves regulatora (TRV) darbu.

Ūdeni regulējošā ventila vietā dažreiz uzstāda parastu ventili, kuru regulē ar roku. Pirms tā uzstāda solenoīda ventili, kurš noslēdz ūdens padevi, kompresoram apstājoties. Šādas ierīces nenodrošina konstantu kondensācijas temperatūru, jo tā izmainās atkarībā no ūdens temperatūras un kondensatora slodzes. Mainīgs spiediens kondensatorā pasliktina automātisko regulējošo ventili darbību.

Lai novērstu bīstamu spiediena paaugstināšanos kondensatorā ūdens padeves pārtraukuma gadījumā, uzstāda caurplūdes releju, kas apstādina kompresoru un atkal to iedarbina, tikai atjaunojoties normālai ūdens padevei.

### 3. Automātiskā aizsardzība un signalizācija

Ja kāds no aukstuma mašīnas mezgliem vai detaļām pārstāj darboties, atsevišķi tās darba parametri var pārsniegt pieļaujamās robežas, izraisot avāriju. Bieži bīstamu darba režīmu izraisa nenormāli aukstuma mašīnas darba apstākļi, piemēram, ūdens padeves pārtraukums uz kondensatoru, elektriskā sprieguma kritums, apkārtējās vides temperatūras pieaugums. Kādam no mašīnas darba parametriem pārsniedzot pieļaujamo robežu, automātiskās aizsardzības ierīces aptur kompresoru un ieslēdz avārijas signalizāciju.

Parametru skaits, kuri var sasniegt bīstamās vērtības, atkarīgs no aukstuma mašīnas konstrukcijas un ielēgšanas shēmas.

**Aizsardzība pret spiediena palielināšanos kompresora spiediena pusē.** Nepieļaujami liels spiediens aparātos rada neblīvumus, aukstuma aģenta izplūdi un pat aparātu plīsumus. Ja kompresors nedarbojas, spiediens aparātos pieaug, paaugstinoties apkārtējās vides temperatūrai. Ja kompresors darbojas, spiediens kondensatorā pieaug vairāk nekā dīkstāves laikā, it īpaši, ja samazinās dzesējošā ūdens vai gaisa pieplūde, palielinās šķidrā aukstuma aģenta daudzums vai uzkrājas netīrumi uz sildvirsmas.

Iedarbinot kompresoru ar aizvērtu izplūdes ventili, strauji paaugstinās spiediens kompresora spiediena pusē, saglabājoties normālajam spiedienam kondensatorā.

Freona aukstuma mašīnas aprēķinātas kondensācijas temperatūrai 50 °C, bet amonjaka mašīnas 40 °C, t. i., attiecīgais manometriskais spiediens ir 12 un 15 kgf/cm<sup>2</sup>. Tāpēc automātiskās aizsardzības ierīces — augstspiediena relejus — iestāda tā, lai tie neļautu pārsniegt šos spiedienus un izslēgtu freona mašīnu kompresorus pie spiediena 10...11 kgf/cm<sup>2</sup> un amonjaka mašīnu kompresorus pie spiediena 12...13 kgf/cm<sup>2</sup>. Lielākām freona mašīnām ( $Q_{0n} = 11$  kW un lielāks) un visām amonjaka mašīnām bez spiediena releja uzstāda arī drošības vārstu, kurš atveras un novada saspīestos tvaikus uz sūkšanas pusi, ja spiedienu starpība spiediena un sūkšanas pusē amonjakam sasniedz 16 kgf/cm<sup>2</sup>, bet freonam — 10 kgf/cm<sup>2</sup>.

Aparātiem augstspiediena pusē ir drošības vārsti, kuri atveras, ja spiediens sasniedz 18,5 kgf/cm<sup>2</sup> amonjaka aukstuma iekārtās un 13 kgf/cm<sup>2</sup> — freona iekārtās.

Visbiežāk kondensācijas spiediens palielinās ūdens padeves samazināšanās dēļ. Tādēļ ūdens padeves vadā ieteicams uzstādīt caurplūdes releju, kurš izslēdz kompresoru, ja ievērojami samazinās ūdens padeve. Caurplūdes releja vietā var uzstādīt arī zemspiediena releju, kurš izslēdz kompresoru, ja pazeminās spiediens ūdensvadā.

**Aizsardzība pret pārāk zemu spiedienu iztvaikotājā.** Pārāk zems spiediens iztvaikotājā var izraisīt nepieļaujamu temperatūras pazemināšanos dzesējamā ķermenī, sasaldēt ūdeni vai sāls šķīdumu iztvaikotājā, radot cauruļu plīsumus. Bez tam strauja spiediena samazināšanās sūkšanas pusē izraisa eļļas putošanu un tās pastiprinātu izplūdi no kompresora kartera, kā arī elektrodzinēja tinumu pārkaršanu hermētiskajos kompresoros.

Iekārtās, kurās doto temperatūru regulē termorelejs, periodiski ielēdzot vai izslēdzot kompresoru, papildus uzstāda zemspiediena releju. Releju iestāda tā, lai tas izslēgtu kompresoru, ja spiediens samazinās par 0,5 kgf/cm<sup>2</sup> salīdzinājumā ar spiedienu, kāds ir iztvaikotājā momentā, kad kompresoru izslēdz termorelejs. Ja kompresora ciklisko darbu regulē spiediena relejs, tad papildu aizsardzību neparedz. Lai aizsargātos no ūdens sasaldēšanas ūdens dzesētājos, zemspiediena releju iestāda tā, lai tas izslēgtu kompresoru, ja vāri-



šanās temperatūra kļūst zemāka par 2°C (freona-12 atbilstošais spiediens ir 2,4 kgf/cm<sup>2</sup>).

Zemspiediena relejs izslēdz kompresoru arī tad, ja iekārtā ne-cirkulē aukstuma aģents vai arī tas aizsērējumu vai bojāta TRV dēļ nenokļūst iztvaikotājā.

Iekārtām ar slēgtajiem iztvaikotājiem elektrohēmā paredz *automātisko bloķēšanu*, t. i., izslēdzoties sāls šķīduma cirkulācijas sūkņim, izslēdzas arī kompresors. Bez tam uzstāda caurplūdes re-leju, kurš izslēdz kompresoru, ja bīstami samazinās (zem 50%) cirkulējošā sāls šķīduma daudzums.

**Kompresora aizsardzība pret hidrauliskajiem triecieniem.** Iztvai-ko-tāja pārpildīšana veicina šķidrā aukstuma aģenta pilienu iekļū-šanu kompresorā, kuri var izraisīt hidrauliskos triecienus un sa-lauzt kompresoru. Kompresorā var ieplūst mitrs tvaiks, ja iesūcāmā tvaika pārkarsēšanas pakāpe ir nulle. Lai to novērstu, amonjaka mašīnu sūcējvadā uztur tvaika pārkarsēšanas pakāpi 5...15°C. Freona mašīnās, kurās, pārkarsēšanas pakāpei palielinoties, uzlabo-jas kompresora padeves koeficients, parasti uzstāda siltumapmai-nītājus, kas palielina pārkarsēšanas pakāpi līdz 25...30°C un fak-tiski novērš mitra tvaika iesūkšanu kompresorā.

Amonjaka aukstuma iekārtās hidraulisko triecienu izraisītās avārijas ir ļoti bīstamas. Projektējot aukstuma mašīnas, paredz šā-dus pasākumus to novēršanai: 1) pirms kompresora uzstāda šķīd-uma atdalītāju; 2) kompresora cilindram ierīko dubultvāku; 3) ierobežo aukstuma aģenta daudzumu iztvaikotājā. Ja aukstuma mašīnai ir tikai viens iztvaikotājs, šķidrāis aukstuma aģents aiz-ņem 90% no iztvaikotāja tilpuma.

Mazās aukstuma iekārtās minētie pasākumi pilnīgi pasargā kompresoru no hidrauliskajiem triecieniem, tāpēc papildu aizsardzī-bas ierīces neuzstāda.

Lielās aukstuma iekārtās kompresora aizsardzībai lieto ierīces, kuras izslēdz kompresoru, ja rodas bīstama situācija. Šādas ierīces ir 1) temperatūru starpības relejs, kas izslēdz kompresoru, ja tvaika pārkarsēšanas pakāpe sūcējvadā samazinās; 2) līmeņa relejs, kas izslēdz kompresoru, ja šķīduma līmenis šķīduma atdalītājā pa-augstinās; 3) termorelejs, kas izslēdz kompresoru, ja saspīestā tvaika temperatūra pazeminās.

**Kompresora aizsardzība pret pārkarsēšanu un traucējumiem eļļo-šanas sistēmā.** Kompresora pārkarsēšanai var būt vairāki cēloņi. Gultņi un citas kustīgās daļas pārkarsē, ja traucēta to eļļošana. Kompresors stipri pārkarsē, ja karstais tvaiks no spiediena puses gar neblīviem virzuļa gredzeniem iekļūst sūkšanas pusē. Cilindra galva pārkarsē, ja ir neblīvis izplūdes vārsts, sistēmā iekļuvis gaiss vai ir augsts kondensācijas spiediens. Pārāk augsta temperatūra veicina kompresora detaļu izdilumu, eļļas sadalīšanos un pat uz-liesmošanu.

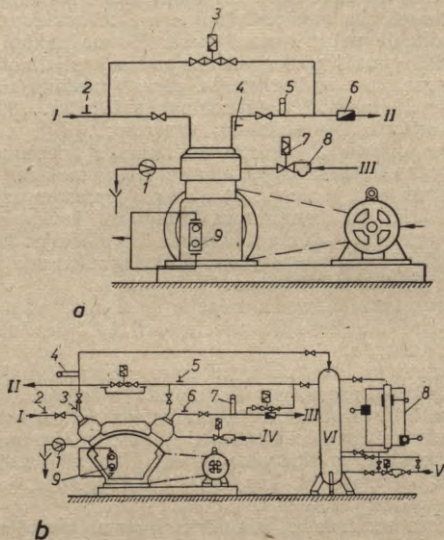
Saspīestā tvaika temperatūra amonjaka vertikālajiem, V veida un opozitīvajiem kompresoriem nedrīkst pārsniegt 150°C, freona-12

un freona-22 kompresoriem — 100 °C. Sasniedzot šo temperatūru, kompresoru izslēdz termorelejs, kura jutīgo elementu ievieto spiedvadā, kompresora galvā vai piestiprina pie cilindra sienas.

Lai aizsargātu kompresora gultņus pret pārkaršanu, termoreleja jutīgo elementu ievieto kartera eļļā. Temperatūras kontrole karterā ir apgrūtināta, tāpēc mērķtiecīgāk kontrolēt eļļošanas sistēmu.

Kompresoros ar eļļas piespiedu cirkulāciju eļļas spiedienam aizsūkņa jābūt par 0,5...1,0 kgf/cm<sup>2</sup> augstākam nekā spiedienam karterā. Ja šī spiedienu starpība kļūst mazāka par 0,5 kgf/cm<sup>2</sup>, diferenciālais spiediena relejs kompresoru izslēdz. Kompresora izslēgšanu var izdarīt arī ar caurplūdes releju.

Kompresoram, kuru eļļo ar eļļas izšķaidīšanu, eļļošanas sistēmas darbību var kontrolēt līmeņa relejs. Tas izslēdz kompresoru, ja



XI-15. att. Kompresoru automātiskās aizsardzības shēmas:

*a* — vienpakāpes kompresoram (I — sūcējvads; II — spiedvads; III — ūdens vads; 1 — caurplūdes relejs; 2 un 4 — zemspiediena un augstspiediena releja pievienošanas vietas; 3, 7 — solenoīda ventīlis; 5 — termoreleja jutīgais elements; 6 — vienvirziena vārsts; 8 — filtrs; 9 — diferenciālais spiediena relejs);

*b* — divpakāpju kompresoram (I — pirmās pakāpes sūcējvads; II — spiediena izliudināšanas līnija; III — spiedvads; IV — ūdens vads; V — šķidrā amonjaka vads; VI — starprauks; 1 — caurplūdes relejs; 2 un 5 — zemspiediena releja pievienošanas vieta; 3 un 6 — augstspiediena releja pievienošanas vieta; 4 un 7 — termoreleja jutīgais elements; 8 — līmeņa relejs; 9 — diferenciālais spiediena relejs).



pazeminās eļļas līmenis karterā. Kompresoru automātiskās aizsardzības shēmas redzamas XI-15. attēlā.

**Automātiskā signalizācija.** Izšķir brīdinājuma un avārijas signalizāciju, kā arī informatīvo signalizāciju.

**Brīdinājuma signalizācija** pirms aizsardzības ierīču ieslēgšanās signalizē par nevelamām kontrolējamā parametra izmaiņām, kas var būt bīstamas aukstuma iekārtai.

**Avārijas signalizācija** signalizē par avārijas aizsardzības ierīču iedarbošanos un avārijas stāvokļa cēloņiem.

**Informatīvā signalizācija** darbojas, ja ieslēdz kādu ierīci — kompresoru, ventilatoru, solenoīda ventili un citus.

Brīdinājuma un avārijas signalizāciju lieto, piemēram, kompresora aizsardzībai pret hidrauliskajiem triecieniem. Šķidruma atdalītājā uzstādītais distances līmeņa regulators signalizē par nepieļaujami augstu līmeni aparātā sakarā ar sistēmas pārpildīšanu. Šādā gadījumā jāpārtrauc šķidruma padeve uz iztvaikotāju. Ja šķidruma līmenis tomēr turpina paaugstināties, līmeņa regulators dod otru signālu, ka iespējama šķidruma iekļūšana kompresorā. Tas nozīmē, ka jāpiever kompresora ieplūdes ventilis. Ja līmenis vēl turpina paaugstināties, līmeņa regulators izslēdz kompresoru, jo radušies tam bīstami darba apstākļi.

Parasti lieto skaņas un gaismas (spuldzes) signālus. Lielās aukstuma iekārtās lieto mnemoshēmas, kuras attēlo iekārtas darbību uz caurspīdīgas plāksnes ar attiecīgajās vietās izvietotiem dažādas krāsas gaismas signāliem. Ja iekārta strādā normāli, deg zaļais signāls. bet tad, ja kādā no mezgliem rodas bīstama situācija, zaļais signāls nodziest un iedegas sarkanais signāls.

#### 4. Aukstuma iekārtu automatizācijas shēmas

Aplūkosim raksturīgākās automatizēto aukstuma iekārtu shēmas.

Automatizēta saldēšanas skapja tipveida shēma dota XI-16. attēlā. Temperatūru skapī regulē, periodiski ieslēdzot un izslēdzot kompresoru ar termorefeju un palaišanas releju (*TR* un *PR*).

Noslēdzoties termoreleja kontaktiem, strāva plūst caur palaišanas releja (*PR*) spoli un dzinēja darba tinumiem (*DT*). Palaišanas releja spole ievēl serdi un noslēdz kontaktus *PR-1*, ieslēdzot paralēli darba tinumiem palaišanas tinumu (*PT*). Kad dzinējs sasniedz noteiktu griešanās ātrumu, strāvas stiprums tinumos samazinās un atspere atvieno kontaktus *PR-1*, izslēdzot palaišanas tinumu.

Ja dzinējs ilgstoši pārslogots, siltuma relejs (*SR*) atvieno kontaktus *SR-1* un apstādina kompresoru. Kad siltuma releja elements atdzisis, kompresors no jauna ieslēdzas, kaut arī pārslodzes cēlonis nav novērsts. Elektriskajā shēmā paredzēta automātiska lampiņas *L* ieslēgšana, ja atver skapja durvis (savienojas kontakts *DK*).

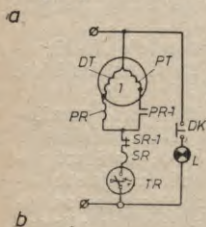
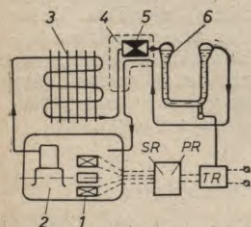
Iztvaikotāja pildījumu regulē caur kapilāru cauruli 5, kas piedēta pie sūcējvada un tādējādi veido siltumapmainītāju. Šādai aukstuma iekārtai nav resivera. Šķidruma daudzumam iztvaikotājā samazinoties, paaugstinās šķidruma līmenis kondensatorā, samazinās kondensatora sildvirsmas un palielinās kondensācijas spiediens, kas savukārt palielina šķidruma pieplūdi iztvaikotājam caur kapilāra cauruli. Šādā veidā ir panākta pašregulēšanās, un nav nepieciešama cita ierīce, kas regulētu šķidruma padevi uz iztvaikotāju. Kompresora dikstāves laikā spiediens kondensatorā un iztvaikotājā izlīdzinās, tā atvieglojot kompresora iedarbināšanu.

Freona aukstuma mašīnas ar ražīgumu  $Q_{on}=3,5 \dots 4,5$  kW paredzētas vienas vai divu kameru dzesēšanai (XI-17. att.). Vidējo temperatūru aukstuma kamerā uztur ar ciklisku kompresora darbu, apstādinot un iedarbinot kompresoru ar zemspiediena releju. Spiediena releju iestāda ar tādu aprēķinu, lai vidējā vārīšanās temperatūra būtu pietiekami zema un uzturētu vajadzīgo temperatūru visaukstākajā kamerā. Ja citā kamerā vajadzīga augstāka temperatūra, tad samazina iztvaikotāja sildvirsmu, samazinot tā pildījumu. To panāk, iestādot TRV uz lielāku tvaika pārkarsēšanas pakāpi.

Kondensācijas spiedienu automātiski regulē ar ūdeni regulējošo ventili. Tā vietā var uzstādīt arī solenoīda ventili, kas noslēdz ūdens padevi, kompresoru apstādinot. Dažās shēmās pirms TRV uzstāda solenoīda ventili, kas noslēdz šķidruma padevi dikstāves laikā. Augstspiediena relejs apstādina kompresoru, ja spiediens kondensatorā pārsniedz pieļaujamo vērtību.

Darba parametru izmaiņa aukstuma mašīnas darba ciklā parādīta XI-18. attēlā. Katrs mašīnas darba cikls sastāv no darba un dikstāves laika. Darba laikā spiediens iztvaikotājā un dzesējamā ķermeņa temperatūra samazinās, bet spiediens kondensatorā paaugstinās. Kompresora dikstāves laikā minētie parametri mainās pretēji. Dzesējamā ķermeņa temperatūras svārstības nepārsniedz  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Ja iztvaikotāja siltuma slodze pieaug, nepieciešams palielināt darba laiku ciklā. Praktiskos apstākļos darba laika koeficients, t. i., darba laika un cikla ilguma attiecība svārstās robežās 0,5...0,8.

Shēma automatizētai amonjaka aukstuma mašīnai ar sāls šķīduma dzesēšanas sistēmu dota XI-19. attēlā. Mašīnas



XI-16. att. Saldēšanas skapja «ЗИЛ-Москва» aukstuma mašīnas (a) shēma un elektriskā (b) shēma:

1 — elektrodzīnējs; 2 — kompresors; 3 — kondensators; 4 — siltumapmainītājs; 5 — kapilāra caurule; 6 — iztvaikotājs.



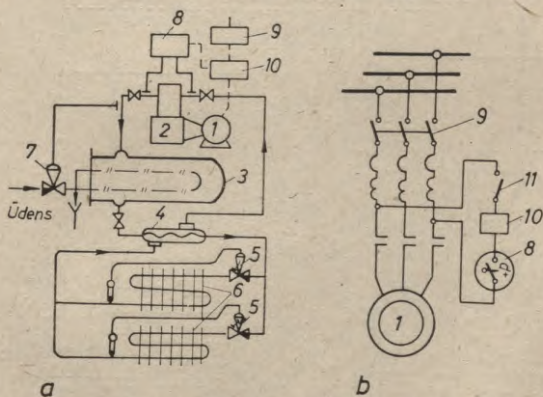
aukstuma ražīgumu regulē ar termoreleju, kura jutīgais elements (termobalons) piestiprināts pie atdzesētā sāls šķīduma vada. Kompresoru apstādina un iedarbina atkarībā no sāls šķīduma temperatūras.

Nepieciešamās temperatūras uzturēšanai katra kamera apgādāta ar termoreleju un solenoīda ventili. Visu kameru termoreleju kontakti ieslēgti paralēli sāls šķīduma cirkulācijas sūkņa vadības ķēdei. Jebkuras kameras dzesēšanu var veikt neatkarīgi no citām kamerām, kamēr tiek sasniegta vēlāmā temperatūra. Ja vēlāmā temperatūra sasniegta visās kamerās, tad reizē ar pēdējā solenoīda ventiļa noslēgšanos izslēdzas kompresors un sāls šķīduma cirkulācijas sūknis. Ja temperatūra kaut vienā no kamerām paaugstinās, tad reizē ar solenoīda ventiļa atvēršanos sāls šķīduma padeves vadā ieslēdzas kompresors un sāls šķīduma cirkulācijas sūknis.

Lai regulētu aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju, uzstādīts TRV. Solenoīda ventilis, kas uzstādīts pirms termoregulējošā ventiļa, pārtrauc šķidrā aukstuma aģenta padevi vienlaikus ar kompresora apstādīnāšanu. Lai iekārtu aizsargātu pret bīstamiem spiedieniem, uzstādīts spiediena relejs. Udens padevi uz kondensatoru regulē solenoīda ventilis.

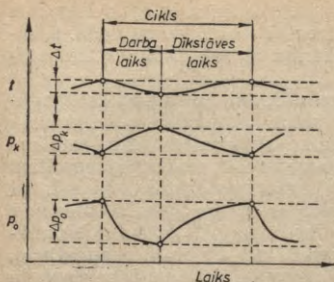
Automatizētām vidēja un liela ražīguma tiešās iztvaices aukstuma iekārtām jāatbilst šādām prasībām:

1) pilnīga drošība pret hidrauliskajiem triecieniem, kuri var rasties no nepareizas darba vielas padeves uz iztvaikošanas sis-



XI-17. att. Freona aukstuma mašīnas ar ražīgumu 3,5...4,5 kW automatizācijas shēma:

a — mašīnas shēma; b — elektriskā shēma; 1 — elektrodzinējs; 2 — kompresors; 3 — kondensators; 4 — siltumapmainītājs; 5 — termoregulējošie ventiļi; 6 — iztvaikotāji; 7 — ūdeni regulējošais ventīlis; 8 — spiediena relejs PД-1; 9 — svirslēdzis; 10 — magnētiskais palaidējs ar termoreleju; 11 — rokas slēdzis.



XI-18. att. Temperatūras un spiedienu izmaiņas automatizētās freona aukstuma mašīnas darba ciklā:

$t$  — temperatūra kamerā;  $p_k$  un  $p_o$  — spiediens kondensatorā un iztvaikotājā.

Pēdējā laikā izstrādātās vidēju un lielu saldētavu automatizācijas shēmas ievērojamā mērā atbilst šīm prasībām.

Automatizētās iekārtās aukstuma aģentu uz kameru dzesējošajiem ķermeņiem var padot ar amonjaka sūkņiem vai bez tiem. Shē-

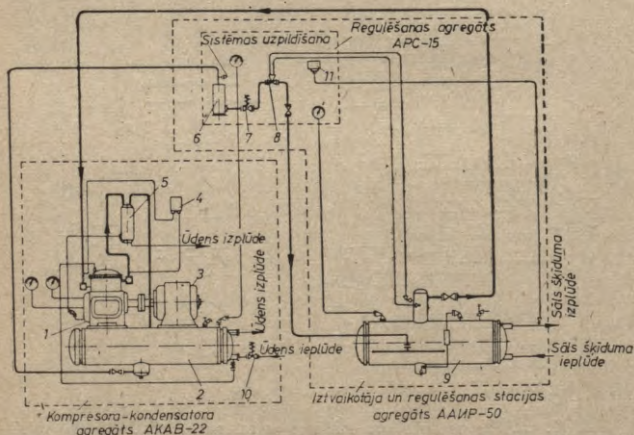
tēmu, siltuma slodzes svārstībām dzesējamajos objektos un no šķidrums vārišanās aparātos, strauji pazeminoties spiedienam;

2) automatiska dotās gaisa temperatūras uzturēšana kamerās ar svārstībām  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ;

3) mazs šķidrums tilpums un vienmērīga amonjaka sadale pa dzesējošajiem ķermeņiem; nav šķidrums staba spiediena, kas ietekmē vārišanās temperatūru;

4) ātra sarmas kārtas atkausēšanas iespēja, neietekmējot kameras temperatūras režīmu;

5) vienkārša sadales iekārtu un komunikācijas maģistrāļu apkalpe.



XI-19. att. Shēma automatizētai aukstuma mašīnai XMAV-45 ar sāls šķidrums dzesēšanas sistēmu:

1 — kompresors; 2 — kondensators; 3 — elektrodzinējs; 4 — spiediena relejs РДА; 5 — eļļas atdalītājs; 6 — filtrs; 7 — solenoīda ventīlis CBA-25; 8 — termoregulējošais ventīlis TPBA-80; 9 — iztvaikotājs; 10 — solenoīda ventīlis CB-50BC; 11 — termorelejs TP-1.

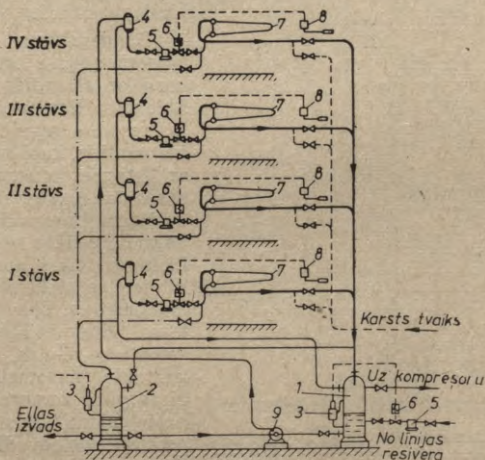


mās ar amonjaka sūkņiem aukstuma aģentu uz dzesējošo ķermeni var padot kā no augšas, tā arī no apakšas, bet bezsūkņu shēmās paredzēta aukstuma aģenta padeve tikai no apakšas.

*Automatizētā shēmā amonjaka sadalei ar cirkulācijas sūkni, kuru izstrādājis Vissavienības Aukstumtehnikas rūpniecības zinātniskās pētniecības institūts (ВНИИХ) (XI-20. att.), šķidrās amonjaks no kondensatora (līnijas resivera) vai arī no divpakāpju aukstuma iekārtas starptrauka (pēc dzesēšanas starptrauka caurules spirālē) caur regulējošām ierīcēm nonāk cirkulācijas resiverā. Cirkulācijas resivers vienlaikus ir arī šķidruma atdalītājs.*

Tālāk sūknis šķidrumu amonjaku padod uz konstanta līmeņa tvertni saldētavas augšējā stāvā. No tvertnes caur solenoīda ventili daļa šķidruma nonāk šī stāva dzesējošajos ķermeņos, bet pārējo šķidrumu pievada zemāko stāvu konstanta līmeņa tvertnēm. No tām šķidro aukstuma aģentu padod uz attiecīgo stāvu dzesējošajiem ķermeņiem. Šķidruma pārpalikums atgriežas cirkulācijas resiverā.

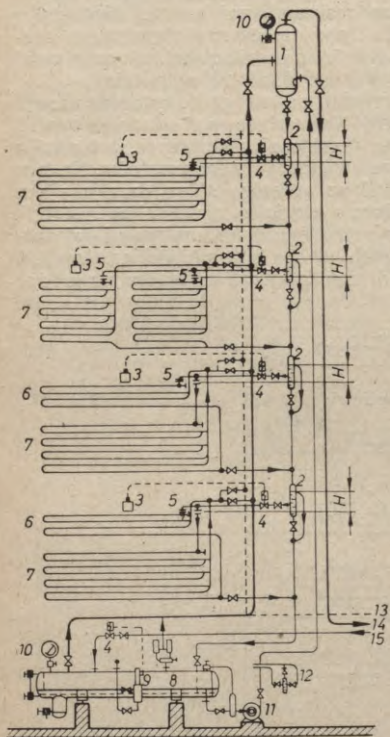
Konstanta līmeņa tvertnēs uztur tādu šķidruma līmeni, lai dzesējošo ķermeņu apakšējās cauruļu rindas būtu piepildītas. Augšējā cauruļu rinda darbojas ar šķidrumu, kas kopā ar tvaiku tur iekļūst no apakšējās cauruļu rindas.



XI-20. att. Shēma automatizētai amonjaka sadalei ar cirkulācijas sūkni un aukstuma aģenta apakšējo padevi (ВНИИХ):

- 1 — cirkulācijas resivers; 2 — drenāžas resivers;
- 3 — līmeņa regulators un signalizators; 4 — konstanta līmeņa tvertnes; 5 — filtri; 6 — solenoīda ventili;
- 7 — dzesējošās baterijas; 8 — termoreleji;
- 9 — amonjaka cirkulācijas sūknis.

Katra stāva vestibilā uzstādīti šķidrums un tvaika sadales kolektori. Tie pieslēgti pie kameru dzesējošajiem ķermeņiem un maģistrālajiem caurulvadiem. Šķidrums kolektors savienots arī ar drenāžas resiveru, lai iztukšotu dzesējošos ķermeņus, bet tvaika kolektors — ar saspīestā karstā tvaika vadu, kuru padod uz dzesējošo ķermeni sarmas atkausēšanai. Shēmās ar cirkulācijas sūkni nav jāregulē dzesējošajā ķermeņi ievadāmais šķidrā aukstuma aģenta daudzums. Tāpēc sadales kolektoru ventīli iekārtas darba laikā vienmēr atvērti. Labākai aukstuma aģenta cirkulācijai iztvaikošanas sistēmai pievada 4...5 reizes vairāk šķidrums, nekā tas spēj iztvaikot dzesējošajos ķermeņos. Šķidrums, kas nav iztvaikojis, atgriežas cirkulācijas resiverā.



XI-21. att. Automatizēta amonjaka sadales shēma ar cirkulācijas sūkni un aukstuma aģenta augšējo padevi:

- 1 — šķidrums sadalītājs; 2 — konstanta līmeņa tvertnes; 3 — termorelejs; 4 — solenoīda ventīlis; 5 — diafragma; 6 un 7 — baterijas; 8 — resiveris; 9 — līmeņrādis; 10 — manovakuummētris; 11 — amonjaka sūknis; 12 — amonjaka caurplūdes mēritājs; 13 — atkausēšanas caurulvads; 14 — sūcēvads; 15 — šķidrā amonjaka pievads no regulēšanas stacijas.

Temperatūras režīmu kamerās regulē termorelejs kopā ar solenoīda ventīli. Šķidrums līmeni cirkulācijas resiverā regulē solenoīda ventīlis, kurš savienots ar distances līmeņrādi. Aizsardzības un signalizācijas nolūkiem līmeņrādi uzstāda arī drenāžas resiveram. Lieto arī citas automātiskās ierīces: elektrokontaktu manometrus, spiediena relejus, diferenciālos eļļas spiediena relejus, elektrokontaktu termometrus (lai aizsargātu kompresoru no nepieļaujami augstas temperatūras spiedvadā), caurplūdes relejus un citus.

Shēma automatizētai amonjaka sadelei ar cirkulācijas sūkni un aukstuma aģenta augšējo padevi izstrādāta Valsts Gaļas rūp-



niecības uzņēmumu projektēšanas institūtā «Гипромясо». Šajā shēmā lieto kaskādes tipa dzesējošos ķermeņus (XI-21. att.).

Šķidro amonjaku no cirkulācijas resivera ar sūkni pievada šķidruma sadalītājam, kas novietots saldētavas augšējā stāvā. No šejienes caur konstanta līmeņa tvirtnēm un diafragmām noteikts šķidruma daudzums nonāk dzesējošo ķermeņu augšējās caurulēs, no kurienes tas ar pašteci pārvietojas uz leju.

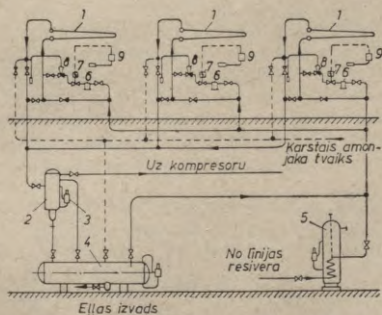
Katrā stāvā ir viena konstanta līmeņa tvirtne, kas uztur noteiktu šķidruma staba spiedienu pirms diafragmas.

Šķidrums, kas nepaspēj iztvaikot augstākajā stāvā, nonāk zemāk novietotā stāva dzesējošajos ķermeņos; pārējais šķidrums atgriežas cirkulācijas resiverā. Amonjaka tvaiki no dzesējošajiem ķermeņiem pa sūcējvadu nonāk sadalītājā 1, kas vienlaikus ir arī šķidruma atdalītājs.

Šķidrās amonjaks aizņem 15% no dzesējošo ķermeņu cauruļu tilpuma. Iztvaikošanas sistēmai pievada 2...3 reizes vairāk šķidrā amonjaka, nekā tas spēj iztvaikot. Dzesējošo ķermeņu mazais tilpums un tvaika intensīva aizvadišana samazina hidraulisko triecieni rašanās iespēju kompresorā.

Gaisa temperatūru kamerās automātiski regulē termoreleji kopā ar solenoīda ventīļiem. Šķidruma līmeni cirkulācijas resiverā regulē līmeņa relejs kopā ar solenoīda ventīli.

Automatizētu tiešās iztvaices dzesēšanas shēmu bez amonjaka cirkulācijas sūkņa izstrādājis Valsts Aukstuma iekārtu projektēšanas institūts «Гипрохолод» (XI-22. att.). Šķidrumu uz dzesējošajiem ķermeņiem no kondensatora (līnijas resivera) pievada caur



XI-22. att. Automatizēta tiešās iztvaices dzesēšanas shēma ar amonjaka pašcirkulāciju:

1 — dzesējošo ķermeņu baterija; 2 — šķidruma atdalītājs; 3 — līmeņa regulators un signalizators; 4 — drenāžas resivers; 5 — starptrauks; 6 — filtrs; 7 — solenoīda ventīlis; 8 — termoregulējošais ventīlis; 9 — termorelejs.

termoregulējošajiem ventiļiem, kuri regulē šķidruma padevi atbilstoši kameru siltuma slodzei. Daļu no dzesējošā ķermeņa sildvirsmas izmanto tvaika pārkarsēšanai (par 2...5°C), kas nepieciešama normālam TRV darbam. Lai palielinātu TRV darbības efektivitāti, lieto šķidruma pārdzesētājus.

Bezšķūņa shēmā cirkulācijas resivers nav vajadzīgs, bet drenāžas resivers nepieciešams dzesējošo ķermeņu iztukšošanai sarmas kārtas atkausēšanas un remonta gadījumā.

Automātisku gaisa temperatūras regulēšanu veic tāpat kā iepriekš aplūkotajās shēmās.

Bezšķūņu shēmas lieto saldētavām ar ietilpību līdz 1000 t, bet lielākas ietilpības saldētavām lieto shēmas ar cirkulācijas sūkņiem.

Ārzemēs no jauna ceļamajās saldētavās uzstāda pilnīgi automatizētas aukstuma iekārtas. Pārsvarā lieto tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmu ar cirkulācijas sūkni, kas nodrošina labāku dzesējošo ķermeņu sildvirsmas izmantošanu un samazina nepieciešamo automatisko ierīču skaitu. Automātiski regulē kameru gaisa temperatūru, mitrumu, kompresora aukstuma ražīgumu un citus parametrus. Sarmu no dzesējošajiem ķermeņiem atkausē pēc programēta releja signāla, ievadot karstu amonjaka tvaiku vai apskalojot vjrsmu ar karstu ūdeni.



## XII nodaļa

### AUKSTUMA IEKĀRTU EKSPLUATĀCIJA

Aukstuma iekārtu ekspluatācijas pamatuzdevums ir ražot aukstumu, lai nodrošinātu nepieciešamo ražošanas tehnoloģisko režīmu un uzturētu vajadzīgo temperatūru un gaisa mitrumu dzesējamā objektā.

#### 1. Ekspluatācijas organizēšana

Aukstuma iekārtu tehniskās ekspluatācijas organizēšanas uzdevumos ietilpst apkalpojošā personāla štatu komplektēšana. Apkalpojošā personāla sastāvs atkarīgs no aukstuma iekārtas ražīguma, dzesēšanas sistēmas, aukstuma agregātu skaita, tipa, iekārtas izvietojuma un automatizācijas pakāpes. Lielu saldētavu tehnisko ekspluatāciju organizē uzņēmuma galvenais inženieris, kam pakļauts kompresoru ceha priekšnieks un galvenais enerģētiķis. Aukstuma mašīnas apkalpo mašīnistu brigāde (mašīnists, palīgs, elektriķis). Dežurējošā maiņa apkalpo aukstuma iekārtas mašīntelpā un tehnoloģiskajos cehos. Dežurējošo mašīnistu pienākums ir iedarbināt un apstādināt aukstuma mašīnas vai to atsevišķās sastāvdaļas, regulēt iekārtas darba režīmu, uzturēt doto temperatūru dzesējamos ķermeņos, pievadīt aukstuma nesēju ražošanas cehiem, novērst traucējumus darbā, izdarīt sīkus remontus, veikt aukstuma iekārtas darba uzskaiti.

Organizējot tehnisko ekspluatāciju, apkalpojošais personāls jānodrošina ar nepieciešamajiem materiāliem. Mašīntelpā redzamā vietā jānovieto sāls šķīduma, ūdens un aukstuma aģenta cauruļvadu shēmas, iekārtas izvietojuma plāns, iekšējās kārtības noteikumi, apkalpojošā personāla tiesību un pienākumu saraksts, instrukcijas par mašīnu un aparātu ekspluatāciju, izraksti no drošības tehnikas noteikumiem, dežūru grafiki, iekārtas profilaktiskās apskates grafiki, eļļas izlaišanas grafiki utt. Aukstuma iekārta jāapgādā ar nepieciešamajiem ekspluatācijas materiāliem, instrumentiem, kontroles ierīcēm, mērinstrumentiem, remonta rīkiem, rezerves daļām un individuālajiem aizsardzības līdzekļiem.

Pareiza aukstuma iekārtas tehniskās ekspluatācijas organizēšana nodrošina apkalpojošā personāla darba drošību, iekārtu ilgstošu darbu bez avārijām, produktu dzesēšanas, sasaldēšanas un uzglabāšanas tehnoloģiskos režīmus; iekārtu ekonomisku darbu (minimālus elektroenerģijas, ūdens, ekspluatācijas materiālu un darba algas patēriņus).

## 2. Jaunas samontētas aukstuma iekārtas pārbaude un iedarbināšana

Lai iekārtu sagatavotu iedarbināšanai un ekspluatācijai, pēc montāžas pabeigšanas jāveic 1) kompresora revīzija un izmēģināšana, 2) aukstuma aģenta sistēmas izpūšana, 3) sistēmas hermētiskuma pārbaude, 4) sistēmas uzpildīšana, 5) iekārtas pārbaude darbā, 6) cauruļvadu un aparātu izolēšana un krāsošana.

Aplūkosim blokartera kompresora aukstuma iekārtas pārbaudes kārtību.

**Kompresora pārbaudi un izmēģināšanu** izdara pēc tā uzstādīšanas uz pamata. Ja, kompresoru transportējot, uzglabājot un montējot, ievēroti tehniskie noteikumi un tas samontēts 6 mēnešu laikā pēc saņemšanas, tad izdara kompresora daļēju pārbaudi. Ja šie noteikumi nav ievēroti un, kompresoru apskatot, atklāti bojājumi, izdara tā pilnīgu pārbaudi. Veicot *daļēju* pārbaudi, kompresoru izjauc tā, lai varētu pārbaudīt galveno mezglu stāvokli un montāžas kvalitāti. Pārbauda kartera, cilindru, vārstu, blīvslēgu, kloķa-kloķa mehānisma gultņus, eļļošanas sistēmas un mērīšanas ierīču stāvokli un tīrību, kā arī kaitīgās telpas esamību. Veicot *pilnīgu* pārbaudi, kompresoru pilnīgi izjauc, mazgā un remontē detaļas, novērš atklātos defektus un pēc tam mašīnu samontē, ievērojot rūpnīcas doto instrukciju. Samontēto kompresoru pirms nodošanas ekspluatācijā darbina brīvgaitā, lai pārbaudītu montāžas pareizību, pānāktu normālu darba virsmu piestrādi, pārbaudītu un noregulētu visu mezglu un eļļošanas sistēmas darbu. Pārbaudes laikā atklātos defektus novērš. Pirms pārbaudes sākšanas kompresoru telpā jābūt pabeigtiem visiem celtniecības darbiem, santehnikajiem un elektrotehnikajiem darbiem, jāuzstāda kontroles un mērīšanas ierīces, drošības tehnikas ierīces, jāizžāvē elektrodzinēju tinumi un jāatbrīvo apkalpei nepieciešamie laukumi no liekiem priekšmetiem un gruziem.

Pirms iedarbināšanas kompresoru uzpilda ar piemērotas markas eļļu, pārbauda vārpstas griešanos, pagriežot to ar roku par 1...2 apgriezieniem, izņem vārstus un pārbauda kaitīgās telpas augstumu. Kompresora pārbaudi un piestrādi izdara bez vārstiem kvalificēta meistara uzraudzībā atbilstoši rūpnīcas instrukcijai.

Piestrādes laikā nodrošina maksimālu eļļas padevi. Sākumā kompresoru **iedarbina uz 3...5 sekundēm** un pārbauda tā griešanās virzienu. Ja defektu nav, kompresoru ieslēdz uz 3 stundām. Šajā



laikā pārbauda eļļošanas sistēmas darbību, kustošos mehānismu, kustošos daļu temperatūru un darba troksni. Pēc 3 stundu darbības kompresoru apstādina, izlaiž eļļu no kartera un blīvslēga telpas, izjauc kloķa-klaņa mehānismu un pārbauda klaņa gultņu, virzuļu blīvgredzenu, virzuļu, cilindru, eļļas sūkņa zobratu stāvokli un piestrādi.

Pēc kompresora salikšanas un eļļas apmaiņas karterā kompresoru no jauna darbina bez izplūdes vārstiem 4 stundas. Ja šajā laikā defektus neatklāj, kompresoru apstādina, apmaina eļļu karterā un ievieto izplūdes vārstus. Ar vārstiem kompresoru darbina 5 stundas pie 3 kgf/cm<sup>2</sup> liela gaisa spiediena. Pēc tam no jauna pārbauda kloķa-klaņa mehānisma detaļu stāvokli. Ar darba spiedienu kompresoru pārbauda pēc pārējo iekārtas sastāvdaļu montāžas pabeigšanas.

**Aukstuma aģenta sistēmas izpūšanu** izdara pa atsevišķiem iecirkņiem ar saspiestu gaisu, kura spiediens ir 6...8 kgf/cm<sup>2</sup>. Katru iecirkni izpūš vairākas reizes. To dara tik ilgi, kamēr uz tīras marles nav redzamas netīrumu pēdas. Freonu iekārtu cauruļvadus iztīra montāžas laikā. Pēc cauruļvadu izpūšanas iztīra armatūru. Cauruļvadus, kas samontēti no iztīrītām detaļām, neizpūš.

**Aukstuma aģenta sistēmas izturības un hermētiskuma pārbaudi** amonjaka iekārtām izdara ar saspiestu gaisu. Freona iekārtām lieto sausinātu gaisu, slāpekli vai ogļskābo gāzi, kuru pievada no baloniem. Gaisa spiediena radīšanai aizliegts izmantot uzstādītos aukstuma mašīnu kompresorus; šim nolūkam lieto speciālus gaisa kompresorus ar darba spiedienu 25 kgf/cm<sup>2</sup>. Vienlaikus ar cauruļvadu pārbaudi izdara arī pieslēgto aparātu pārbaudi. Amonjaka un freona-22 aukstuma iekārtas pārbauda uz izturību ar spiedienu 18 kgf/cm<sup>2</sup> spiediena pusē un 12 kgf/cm<sup>2</sup> sūkšanas pusē. Starptrauks pieder pie sūkšanas puses. Hermētiskuma pārbaudes spiediens ir 15 kgf/cm<sup>2</sup> spiediena pusē un 10 kgf/cm<sup>2</sup> sūkšanas pusē.

Freona-12 aukstuma iekārtas pārbaudes spiediens uz izturību ir 20 kgf/cm<sup>2</sup> spiediena pusē un 10 kgf/cm<sup>2</sup> sūkšanas pusē; hermētiskuma pārbaudes spiediens ir attiecīgi 16 un 10 kgf/cm<sup>2</sup>.

Veicot pārbaudi, spiedienu sistēmā paaugstina pakāpeniski — sākumā līdz 0,3, pēc tam līdz 0,6 no pilnā darba spiediena un beidzot līdz pilnajam spiedienam. Izturības pārbaudes spiedienu sistēmā uztur 5 minūtes. Pēc tam to pakāpeniski samazina līdz hermētiskuma pārbaudes spiedienam. Sistēmas apskates laikā spiedienu nepaaugstina. Metināto šuvju un atloku savienojumu un blīvslēgu hermētiskumu pārbauda ar ziepju šķīdumu. Ja aukstuma aģenta sistēmā ir drošības vārsti vai automātiskās ierīces, kuru darba spiediens zemāks nekā sistēmas pārbaudes spiediens, šīs ierīces atvieno ar noslēdzošajiem ventiļiem.

Sistēma ir izturējusi hermētiskuma pārbaudi, ja metinājumu, savienojumu un blīvslēgu vietās neparādās sūces. Sistēmu zem hermētiskuma pārbaudes spiediena iztur 12 stundas. Pirmajās 6 stundās pieļaujama spiediena samazināšanās sakarā ar temperatūras

pazemināšanos un spiediena izlīdzināšanos sistēmā. Pārējās 6 stundās spiedienam jābūt nemainīgam. Defektus, kurus atklāj pārbaudes laikā, novērš un pārbaudi atkārti. Sūces metinājumu šuvēs novērš, izgriežot bojātās vietas un no jauna sametinot.

Ja freona sistēmu pārbauda ar gaisu, tad mitruma saturs gaisā nedrīkst pārsniegt  $0,038 \text{ g/m}^3$  vienpakāpes iekārtām un  $0,011 \text{ g/m}^3$  vairākpakāpju iekārtām.

Aukstuma aģenta sistēmas hermētiskuma pārbaudes laikā jāievēro *aizsardzības zona*. Minimālais attālums no pārbaudāmā objekta līdz zonas robežai ir 25 m, pārbaudot virszemes vadus, un 10 m —, pārbaudot apakšzemes vadus. Zonas robežas apzīmē ar karodziņiem. Spiediena palielināšanas laikā cilvēkiem atrasties aizsardzības zonā aizliegts. Aizsardzības zonu uzrauga no speciāliem posteņiem. Pēc pārbaudes pabeigšanas gāzi uzmanīgi izlaiž no sistēmas. Ierīces, kuras pirms pārbaudes tika no sistēmas atvienotas, no jauna pieslēdz sistēmai.

Amonjaka aukstuma iekārtas, kuru darba temperatūra zemāka par  $-30^\circ\text{C}$ , kā arī freona aukstuma iekārtas pārbauda arī *ar vakuummēšanu*. Vakuumā vienlaikus visu sistēmu, ieskaitot kompresoru un cauruļvadus. Pārbaudi izdara šādā secībā. Kādam no aparātiem noņem manovakuummetru un tā vietā uzstāda speciālu vakuummetru. Atver visus ventiļus cauruļvados, aparātos un pie kompresora, izņemot tos, kuri savieno sistēmu ar atmosfēru. Iekārtas uzpildīšanas ventili savieno ar vakuuma sūkni. Ieslēdz vakuuma sūkni un sistēmu vakuumē līdz absolūtajam spiedienam  $40 \text{ mm Hg}$ . Kad sasniegts šāds spiediens, atsūkņēšanu turpina 3...4 stundas, lai no sistēmas izvadītu ūdens tvaikus. Pēc tam vakuuma sūkni izslēdz, noslēdz uzpildīšanas ventili un vakuumēto sistēmu atstāj 24 stundas. Ja šajā laikā spiediens sistēmā nepaaugstinās vairāk kā par  $10 \text{ mm Hg}$ , tad uzskata, ka iekārta pārbaudi ir izturējusi. Pretējā gadījumā jānovērš sūces un pārbaude jāatkārto.

Freona iekārtas hermētiskumu pārbauda arī attiecībā uz freonu. Šo pārbaudi veic pēc pārbaudes ar vakuumu. Vakuuma sūkņa vietā pie sistēmas pieslēdz balonu ar freonu. Iekārtu piepilda tikai *ar freona tvaikiem*, neļaujot iekļūt šķidrūmam. Šim nolūkam freona balonu nostāda ar ventili uz augšu un pilda tik ilgi, kamēr spiediens sistēmā vairs nepalielinās. Telpas temperatūra pārbaudes laikā nedrīkst būt zemāka par  $20^\circ\text{C}$ . Savienojumu vietas pārbauda ar freona sūču meklētāju — indikatoru. Pārbaudes laikā atļauts likvidēt neblīvās vietas, pievelkot savienojumu skrūves.

Pēc visu savienojumu pārbaudes sistēmu atstāj zem freona spiediena 24 stundas. Šajā laikā periodiski reģistrē spiedienu un telpas temperatūru. Ja telpas temperatūra nemainās, spiediena samazināšanās nav pieļaujama, bet, ja temperatūra mainās, ņem vērā tās izmaiņu ietekmi.

Ja atklātās sūces nav iespējams novērst pārbaudes laikā, no sistēmas atsūknē freonu un pēc sūces likvidēšanas pārbaudes ciklu atkārti.

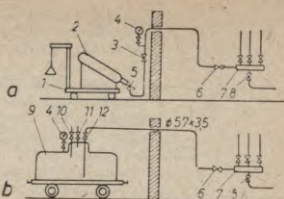


Sistēmas uzpildīšanu ar amonjaku veic pēc pārbaudes ar vakuumu. Sistēmu piepilda no balona vai cisternas (XII-1. att.). Piepildot sistēmu no baloniem, iepriekš pārbauda balonu saturu un tos nosver. Balonu novieto nedaudz slīpi ar ventili uz leju uz īpaša paliktņa, kas atrodas uz svariem (XII-1. att. a), un ar cauruļvadu pievieno pie regulēšanas stacijas kolektora. Pēc balona un sistēmas savienojuma hermētiskuma pārbaudes atver uzpildīšanas ventili 3 un balona ventili 5. Amonjaks no balona ieplūst sistēmā, kurā ir vakuums. Amonjaks plūst sistēmā tik ilgi, kamēr spiediens balonā un sistēmā izlīdzinās. Pēc tam noslēdz ventili, caur kuru šķidrums ieplūst regulēšanas stacijas kolektoram, un amonjaku ar kompresoru izsūc no balona caur kādu no iztvaikotājiem. Kad balons iztukšots, tā lejasgals no ārpusē pārklājas ar sarmu. Tūkšo balonu atvieno un nosver. Sistēmas uzpildīšanas laikā kondensatoru obligāti dzesē ar ūdeni, un spiediens kondensatorā nedrīkst pārsniegt 12 kgf/cm<sup>2</sup>. Iepildāmā amonjaka daudzumu nosaka pēc instrukcijas.

Iepildot amonjaku no cisternas (XII-1. att. b), to novieto pēc iespējas tuvāk uzpildīšanas vietai. Ar pagaidu cauruļvadu savieno cisternas šķidrums ventili un regulēšanas stacijas kolektoru. Tālāk rīkojas tāpat, kā pildot no balona.

Lai paātrinātu cisternas iztukšošanu, dažreiz cisternas tvaika ventili savieno ar kompresora spiediena pusi. Kondensatora spiediens ātri izspiež šķidrumu no cisternas. Šādu paņēmieni aizliegts lietot zema spiediena cisternām.

Iepildāmā amonjaka daudzumu nosaka pēc atsevišķo aparātu un savienojošo cauruļvadu tilpuma, ņemot vērā pildījuma pakāpi. Parasti pieņem, ka aparātos un cauruļvados iepildāmā šķidrā amonjaka blīvums ir 0,65 kg/l.



XII-1. att. Sistēmas piepildīšana ar amonjaku:

a — no balona; b — no cisternas; 1 — svāri; 2 — balons; 3 — noslēdzošais ventils; 4 — manometrs; 5 — balona ventils; 6 un 8 — noslēdzšie ventili; 7 — regulēšanas stacijas kolektors; 9 — cisterna; 10 — kontroles ventils; 11 — tvaika ventils; 12 — šķidrums ventils.

#### Pildījuma pakāpe (procentos no aparāta kopējā tilpuma)

Iztvaikotājiem:	
apvilktā cauruļu kūļa . . . . .	80
vertikālo cauruļu . . . . .	80
likloču cauruļu un paneļu . . . . .	50
Dzesējošajiem ķermeņiem (baterijām):	
shēmās ar cirkulācijas sūkni	
ar amonjaka padevi no augšas . . . . .	25
ar amonjaka padevi no apakšas . . . . .	70
ar limeņa regulatoru . . . . .	33

shēmās bez cirkulācijas sūkņa.	
likloču cauruļu un paneļu . . . . .	60
vertikālo cauruļu . . . . .	80
Gaisa dzesētājiem:	
shēmās ar cirkulācijas sūkni	
ar amonjaka padevi no augšas . . . . .	50
ar amonjaka padevi no apakšas . . . . .	70
shēmās bez cirkulācijas sūkņa . . . . .	70
Kondensatoriem:	
aprasināšanas virsmas, elementu sek-	
ciju, «caurule caurule», iztvaikošanas	pilns NH <sub>3</sub>
	savācēja
	tilpums
apvilkta cauruļu kūļa . . . . .	pilns šķidrās
	NH <sub>3</sub> daļas
	tilpums
	apvalkā
Resiveriem:	
linijas . . . . .	50
cirkulācijas . . . . .	30
Pārdzesētājiem . . . . .	100
Starptraukiem divpakāpju iekārtās:	
vertikālajiem . . . . .	30
horizontālajiem . . . . .	50
Šķidrums atdalītājiem, kuriem ar iztvaiko-	
tāju kopīgs šķidrums limenis . . . . .	20
Eļļas atdalītājiem, barbotāžas tipa . . . . .	30
Šķidrā amonjaka cauruļvadiem . . . . .	100

Nemot vērā svēršanas neprecizitātes un amonjaka zudumus uzpildīšanas laikā, aprēķināto iepildāmā amonjaka daudzumu palielina par 10...15%. Sistēmu uzpilda ar I šķiras sintētisko amonjaku (ГОСТ 6221-70), kura ūdens saturs nav lielāks par 0,1...0,2%. Līdzīgi uzpilda arī liela un vidēja ražīguma freona iekārtas.

Uzpildot mazās freona iekārtas, freona balonu ar ventili uz augšu pievieno pie kompresora iepļūdes ventija atzarojuma. Noslēdz šķidrā freona ventili aiz resivera (kondensatora) un freona tvaiku ar kompresoru izsūc no balona, ievadot kondensatorā (resiverā).

Sāls šķīdumu sagatavo atsevišķā tvertnē, kuras tilpums atbilst sāls šķīduma dzesēšanas sistēmas tilpumam.

Lai mazinātu cauruļu un aparātu koroziju, sāls šķīdums jāpārdara sārmainis (pH 7,5...8,5). Kalcija hlorīda sārmainību palielina, pievienojot 1,6 kg svaigi dzēstu kaļķu uz 1 m<sup>3</sup> sāls šķīduma. Korozija samazinās efektīvi, ja sāls šķīdumam pievieno 3% nātrija hidroksīda un 2% kālija dihromāta vai 3,2 g/l nātrija dihromāta.

**Iekārtas pārbaudi darbā** uzsāk pēc tās uzpildīšanas. Iekārtu iedarbina pēc instrukcijas norādījumiem. Pārbaudi izdara darba apstākļos.

*Kompresoram* pārbauda eļļas padevi, blīvslēgu un vāku blīvumu, detaļu (gultņu, blīvslēgu, cilindru) sasilumu, vārstu darbību un darba režīmu (sūkšanas un saspiešanas temperatūru).



*Kondensatoram* pārbauda aukstuma aģenta noplūdi, ūdens padevi un darba režīmu (sakarību starp pievadītā ūdens, aizvadītā ūdens un kondensācijas temperatūrām).

*Iztvaikotājam* pārbauda maisītāju un sūkņu darbību, sāls šķīduma cirkulāciju, savienojumu hermētiskumu, aukstuma aģenta vārišanās un sāls šķīduma temperatūru sakarību.

Sāls šķīduma un tiešās iztvaices *dzēsējošajiem ķermeņiem* pārbauda savienojumu hermētiskumu, apsarmojuma vienmērīgumu un kameru temperatūru.

Pārbauda arī visu palīgaparātu cauruļvadu un regulēšanas stacijas darbu. Pēc pārbaudes laikā atklāto defektu novēršanas iekārtu darbina 24...48 stundas. Arī šajā laikā nepārtraukti novēro kompresora un visu aparātu darbību. Aukstuma iekārta ir pārbaudi izturējusi, ja tā, saglabājot normālu darba režīmu, nodrošina vajadzīgo temperatūru aukstuma kamerās.

**Cauruļvadu un aparātu izolēšanu un krāsošanu** veic pēc hermētiskuma pārbaudes. Izolē iztvaikotājus, šķidrums atdalītājus, starptraukus un visus cauruļvadus, kuros plūst zemas temperatūras aukstuma aģents. Aukstuma iekārtas cauruļvadi jānokrāso šādās krāsās:

<i>amonjaka</i>	sūcējvadi . . . . .	zila
	šķīduma vadi . . . . .	dzeltenā
	spiedvadi . . . . .	sarkanā
<i>sāls šķīduma</i>	vadi . . . . .	pelēkā
<i>ūdens</i>	vadi . . . . .	zaļā.

### 3. Aukstuma iekārtas iedarbināšana, regulēšana un apstādināšana

**Iekārtas sagatavošana iedarbināšanai.** Pirms iekārtas iedarbināšanas mašīnistam pēc žurnāla jāpārbauda iepriekšējās apstādināšanas iemesls. Ja iekārta apstādināta sakarā ar defektiem, tad jānoskaidro, vai šie defekti novērsti, jāsakārto iekārta darbam, jāpārbauda eļļas līmenis kompresorā un nožogojumu nostiprinājums. Pēc tam jāatver ventīļi spiedvadā (starp kompresoru un kondensatoru), šķidrums vadā (starp kondensatoru un iztvaikotāju) un sūcējvadā (starp iztvaikotāju un kompresoru). Ieplūdes un izplūdes ventīļus pie kompresora, kā arī regulējošo ventīļi atstāj noslēgtus.

**Iekārtas iedarbināšana.** Neautomatizētu iekārtu iedarbina šādā secībā. Pievada ūdeni kondensatoram, pārdzesētājiem un kompresora cilindru apvalkiem. Sāls šķīdumu dzesēšanas sistēmām ar slēgto iztvaikotāju ieslēdz sāls šķīduma cirkulācijas sūkni. Sistēmām ar atklāto iztvaikotāju ieslēdz maisītāju, bet sāls šķīduma cirkulācijas sūkni ieslēdz tikai pēc šķīduma atdzesēšanas iztvaikotāja tvertnē.

Pirms kompresora iedarbināšanas atver ventīļi kompresora spiediena pusē un pagriež kompresoru ar roku, lai pārliecinātos, vai

kustošās daļas brīvi pārvietojas. Pēc tam, ja kompresoram nav atslogošanas ventīļa, ieslēdz elektrodzinēju. Kad kompresors sasniedzis vajadzīgo apgriezīenu skaitu minūtē, lēni atver ventīli kompresora sūkšanas pusē, klausoties, vai kompresora cilindrā nav dzirdami klauzdieni, kurus rada ieklūstošais šķidrums aukstuma aģents. Kompresora iedarbināšanas laikā pēc manometriem jāseko spiediena izmaiņām spiediena pusē un eļļošanas sistēmā.

Pēc kompresora iedarbināšanas un ieklūdes ventīļa pilnīgas atvēršanas pakāpeniski atver regulējošo ventīli, lai šķidro aukstuma aģentu pievadītu dzesējošajiem ķermeņiem.

Lai atvieglotu lielāku vertikālo, V veida un vēdekļveida kompresoru iedarbināšanu, parasti lieto *atslogošanas ventīļus* (XII-2. att.). Ja kompresors nav automatizēts, to iedarbina ar atvērtu atslogošanas ventīli un aizvērtiem ventīļiem sūkšanas un spiediena pusē. Kad kompresors sasniedz normālu apgriezīenu skaitu minūtē, atver ventīli spiediena pusē, vienlaikus aizverot atslogošanas ventīli, un lēni atver ventīli sūkšanas pusē.

Iedarbinot automatizētu kompresoru, spiediena un sūkšanas puses ventīļi ir atvērti. Atslogošanas vārsta lomu izpilda solenoida ventīlis, kurš darbojas, kompresoru iedarbinot, un aizveras; tam sasniedzot normālu apgriezīenu skaitu minūtē. Kompresora spiedvadā ierīkots vienvirziena vārsts.

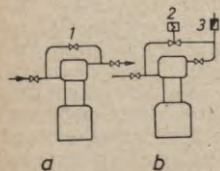
Horizontālos kompresorus iedarbina ar atvērtu spiediena puses ventīli. Lai atvieglotu kompresoru iedarbināšanu, tur atvērtus ieklūdes vārstus. Pēdējos ieslēdz normālam darbam tikai tad, kad kompresors sasniedzis normālu apgriezīenu skaitu minūtē.

Iedarbinot divpakāpju kompresorus, vispirms lēni atver ventīli augstspiediena cilindra sūkšanas pusē. Pēc tam lēni atver noslēdzošo ventīli zemspiediena cilindra sūkšanas pusē. Ja dzirdami klauzdieni, kas rodas no šķidruma iesūkšanas, aizver zemspiediena cilindra sūkšanas puses ventīli. Pēc klauzdienu izžušanas to atver no jauna. Pēc kompresora iedarbināšanas atver regulējošos ventīļus šķidruma padevei uz iztvaikotāju un starptrauku.

**Darba režīma regulēšana.** Aukstuma iekārtas darba režīmu var regulēt tikai augsti kvalificēts mašīnists, kurš labi pārzina apkalpojamo iekārtu.

Iekārta normāli strādā tikai tad, ja kondensatora un iztvaikotāja sildvirsmu lielums atbilst siltuma slodzei un kompresora ražīgumam. Ja šo aparātu sildvirsmas ir par mazu, tad kompresors darbojas ar pazeminātu vārīšanās un paugstinātu kondensācijas temperatūru.

**Vārīšanās temperatūru** nosaka pēc manovakuummetra, kurš pievienots kompresora sūcējvadam. Manovakuummet-



XII-2. att. Kompresora atslogošanas ventīļa ieslēgšanas shēmas:

a — neautomatizētam kompresoram; b — automatizētam kompresoram; 1 — ar roku darbināms atslogošanas ventīlis; 2 — solenoida ventīlis; 3 — vienvirziena vārsts.



ram ir divas skalas, pēc kurām var nolasīt spiedienu un šim spiedienam atbilstošo šķidrumsa vārišanās temperatūru. Jo zemāks spiediens iztvaikotājā, jo zemāka vārišanās temperatūra.

Pazeminoties vārišanās temperatūrai, palielinās kompresorā iesūcamā tvaika tilpums, bet samazinās iesūcamā tvaika masa. Bez tam palielinās kompresijas pakāpe, kas savukārt samazina kompresora padeves koeficientu. Ar vārišanās temperatūras pazemināšanos palielinās tvaika daudzums, kas rodas regulējošajā ventilī, un samazinās aukstuma aģenta īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums.

Vārišanās temperatūrai pazeminoties par  $1^{\circ}\text{C}$ , iekārtas aukstuma ražīgums samazinās par  $4 \dots 5\%$ , bet elektroenerģijas patēriņš aukstuma ražošanai palielinās par tikpat procentiem.

Regulējot ar roku, regulējošo ventilī parasti atver par  $1/8 \dots 1/4$  apgrieziena. Ja ventilis atvērts par daudz, iztvaikotājs pārpildās un kompresors darbojas ar «mitro gājienu», kas nav pieļaujams. Ja ventilis atvērts par maz, spiediens iztvaikotājā pazeminās, bet iesūcamā un kompresorā saspiestā tvaika pārkarsēšanas pakāpe ir liela.

Automātiskās ierīces (pludiņa regulatori, TRV u. c.) ievērojami atvieglo regulēšanas darbu.

Iekārta darbojas visekonomiskāk, ja iztvaikotāja pusē uztur šādas temperatūru starpības: vārišanās temperatūrai tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmās jābūt par  $8 \dots 10^{\circ}\text{C}$  zemākai nekā dzesējamās kameras gaisa temperatūra, bet sāls šķidrums dzesēšanas sistēmās — par  $14 \dots 15^{\circ}\text{C}$ ; sāls šķidrums temperatūrai iztvaikotājā jābūt par  $5 \dots 6^{\circ}\text{C}$  augstākai nekā vārišanās temperatūra, savukārt sāls šķidrums temperatūrai jābūt par  $8 \dots 10^{\circ}\text{C}$  zemākai nekā dzesējamās kameras gaisa temperatūra; iztvaikotājā ieplūstošā un no iztvaikotāja izplūstošā sāls šķidrums temperatūru starpībai jābūt  $2 \dots 3^{\circ}\text{C}$ .

Sāls šķidrums koncentrācijai iztvaikotājā jābūt tādai, lai sasaldēšanas sākuma temperatūra būtu par  $8^{\circ}\text{C}$  zemāka nekā vārišanās temperatūra slēgtajos iztvaikotājos un par  $5^{\circ}\text{C}$  zemāka nekā vārišanās temperatūra atklātajos iztvaikotājos.

Kompresorā iesūcamā amonjaka tvaika temperatūrai jābūt par  $5 \dots 10^{\circ}\text{C}$  augstākai nekā vārišanās temperatūra. Tāda pārkarsēšanas pakāpe pasargā kompresoru no «mitrā gājienu» un nodrošina labu sistēmas piepildīšanu ar aukstuma aģentu.

*Kondensācijas temperatūra* atkarīga no kondensatora dzesējošā ūdens temperatūras. Jo vairāk ūdens pievada un jo zemāka tā temperatūra, jo zemāka arī kondensācijas temperatūra. Normālos darba apstākļos kondensatoram ieteicams pievadīt tādu ūdens daudzumu, lai izplūstošā un ieplūstošā ūdens temperatūru starpība nebūtu lielāka par  $6 \dots 8^{\circ}\text{C}$  slēgta tipa kondensatoros (apvilkta cauruļu kūļa, elementu sekciju) un nebūtu lielāka par  $2 \dots 3^{\circ}\text{C}$  aprasīšanas virsmas kondensatoros. Ja ir ūdens dzesēšanas ierīces (gradētavas,

izsmidzināšanas baseini), tad ūdens temperatūru starpību uztur 3...4 °C robežās. Kondensācijas temperatūrai jābūt par 8...10 °C augstākai nekā ieplūstošā dzesējošā ūdens temperatūra. Kondensācijas temperatūru mēra ar manometru, kas pievienots spiediena pusei. Manometram, tāpat kā manovakuummētram, ir divas skalas, no kurām var vienlaikus nolasiņt spiedienu un šim spiedienam atbilstošo kondensācijas temperatūru.

Ekspluatācijas laikā kondensācijas temperatūrai jāpievērš sevišķa uzmanība. Kondensācijas temperatūras paaugstināšanās samazina mašīnas aukstuma ražīgumu, palielina elektroenerģijas patēriņu un ekspluatācijas izmaksas. Aukstuma ražīgums samazinās tāpēc, ka līdz ar kondensācijas temperatūras paaugstināšanos palielinās tvaika kompresijas pakāpe, kas savukārt samazina kompresora padeves koeficientu. Bez tam palielinās arī tvaika daudzums, kas rodas, droselējot šķidro aukstuma aģentu regulējošajā ventilī.

Kondensācijas temperatūrai paaugstinoties par 1 °C, iekārtas aukstuma ražīgums samazinās apmēram par 3%, bet elektroenerģijas patēriņš aukstuma ražošanai palielinās apmēram par 3%.

Aukstuma iekārtu ekspluatējot, jācenšas uzturēt pēc iespējas zemu kondensācijas temperatūru. Ja kondensatoru dzesē ar dārgo ūdensvada ūdeni, neizdarot atkārtotu ūdens dzesēšanu, tad izdevīgāk ir ekonomēt ūdeni, strādājot ar paaugstinātu kondensācijas temperatūru un palielinātu elektroenerģijas patēriņu. Šādā gadījumā ūdeni kondensatoram pievada caur ūdeni regulējošo ventilī. Dzesējošā ūdens ekonomēšanai ieteicams ierīkot speciālas ūdens atkārtotas dzesēšanas ierīces. Kondensāoijas temperatūru iespējams pazemināt, lietojot artēzisko aku ūdeni.

*Pārdzesēšanas temperatūra.* Droselējot šķidro aukstuma aģentu regulējošajā ventilī, daļa šķidruma pārvēršas tvaikā, samazinot mašīnas aukstuma ražīgumu. Aukstuma ražīguma zudumi regulējošajā ventilī atkarīgi no droselējamā šķidruma temperatūras. Jo temperatūra zemāka, jo mazāk tvaika rodas regulējošajā ventilī un lielāks ir iekārtas aukstuma ražīgums. Pārdzesējot šķidrumu par 10 °C, iekārtas aukstuma ražīgums palielinās par 4%. Pārdzesēšanu veic siltumapmaiņas aparātos — ar ūdeni dzesējamās pārdzesētājos. Aukstums, kuru iegūst ar pārdzesēšanu, nav saistīts ar papildu enerģijas patēriņu, bet tikai ar ūdens patēriņu. Pārdzesēšanas temperatūru mēra ar termometru, kas uzstādīts pirms regulējošā ventiļa. Tai jābūt par 2...3 °C augstākai nekā dzesējošā ūdens temperatūra.

*Saspiestā tvaika temperatūra* atkarīga tikai no kondensācijas un vārišanās temperatūras, ja kompresora darbībā nav traucējumu. Saspiestā amonjaka tvaika temperatūra atkarībā no kondensācijas un vārišanās temperatūras dota XII-1. tabulā. Novirzes no tabulā dotajām temperatūras vērtībām liecina par nepareizu iztvaikotāja pildījumu vai defektiem kompresorā. Saspiestā amonjaka tvaika temperatūra horizontālajos kompresoros nedrīkst pārsniegt 135 °C.



Saspiestā amonjaka tvaika temperatūra (°C)

Vārišanās temperatūra (°C)	Kondensācijas temperatūra (°C)															
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
-6	61	64	67	70	73	75	77	79	82	84	87	89	91	94	96	98
-8	66	68	70	73	75	78	81	83	85	88	91	93	95	97	99	102
-10	71	73	76	78	80	83	86	88	90	93	96	98	100	102	104	107
-12	75	78	81	83	85	87	89	92	95	99	101	103	105	107	109	112
-14	80	82	84	86	88	91	94	96	99	102	105	107	109	112	114	116
-16	84	86	89	92	94	96	99	102	105	107	110	112	114	116	118	121
-18	89	91	93	96	98	100	103	106	109	112	114	116	119	121	123	125
-20	94	96	99	101	104	106	109	111	114	117	120	122	124	126	128	130
-22	99	101	104	106	108	111	114	116	119	122	125	127	130	132	134	136
-24	103	105	107	109	112	115	118	121	123	126	128	130	133	135	138	140
-26	108	110	113	115	118	120	123	126	129	132	135	137	138	140	142	144
-28	113	115	117	120	123	126	128	131	134	136	139	141	144	146	148	150
-30	118	120	129	125	128	130	133	136	138	141	144	146	149	151	153	155

bet vertikālajos V veida un vēdekļveida kompresoros 150 °C. Ja temperatūra augstāka, cilindrā veidojas eļļas piedegumi un iespējama eļļas uzliesmošana.

Saspiestā tvaika temperatūru kontrolē pēc termometra, kas ievietots spiedvadā. Ja temperatūra zemāka par normālo, tas nozīmē, ka iztvaikotājs pārpildīts. Strādāt tādā režīmā ir bīstami, jo var rasties hidrauliskie triecieni.

Normāla aukstuma iekārtas darba pazīmes ir šādas:

1) aukstuma aģenta, sāls šķīduma un ūdens temperatūra dažādās iekārtas vietās atbilst norādītajām vērtībām;

2) kompresora sūkšanas puse (ventilis sūcējvadā) pārklāta ar sausu sarmu;

3) kompresors darbojas bez klauzdzieniem un gultņu pārkaršanas;

4) aukstuma aģents neizplūst caur kompresora blīvslēgu un citiem sistēmas elementiem;

5) sūkņi, ventilatori, maisītāji darbojas bez trokšņa un gultņu pārkaršanas;

6) dzesējošie ķermeņi aukstuma kamerās pārklāti ar sarmu;

7) aukstuma aģenta un sāls šķīduma sistēmā nav sūces.

**Divpakāpju aukstuma iekārtas apkopes īpatnības.** Bez jau aplūkotajiem vienpakāpes aukstuma iekārtas darba režīmu raksturojošiem parametriem divpakāpju iekārtas darbu raksturo aukstuma aģenta temperatūra un spiediens starptraukā. Ja pie starptrauka nav pieslēgts iztvaikotājs, kas darbojas pie starpspiediena, šo spiedienu speciāli neregulē. Tā lielums atkarīgs no augstspiediena un zemspiediena cilindru virzuļu laika vienībā aprakstīto tilpumu atiecības  $\xi$  un iekārtas darba režīma temperatūrām.

Aptuveni temperatūru starptraukā var noteikt pēc diagrammas (XII-3. att.).

Aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju regulē tā, lai zemspiediena cilindrā iesūcamā tvaika temperatūra būtu par 5...10°C augstāka nekā vārīšanās temperatūra. Zemspiediena cilindrā saspīestā tvaika temperatūra atkarīga no vārīšanās temperatūras un temperatūras starptraukā. Ja kompresorā ieplūst mitrs tvaiks, piever ventili kompresora sūcējvadā un samazina aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju un starptrauku.

Šķidrā aukstuma aģenta padevi regulē tā, lai augstspiediena cilindrā iesūcamā tvaika temperatūra būtu par 5°C augstāka nekā temperatūra starptraukā. Ja augstspiediena cilindrā ieplūst mitrs tvaiks, piever ventili abu cilindru sūcējvados un samazina aukstuma aģenta padevi uz starptrauku un iztvaikotāju.

Šķidruma līmeni starptraukā uztur atbilstoši rūpnīcas atzīmei uz tā.

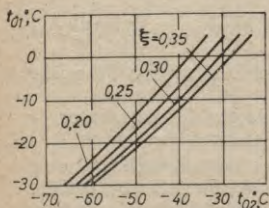
Jāseko aukstuma aģenta spiedienam starptraukā, jo paaugstināts spiediens liecina par augstspiediena cilindra darba pasliktināšanos, bet pazemināts spiediens — par zemspiediena cilindra darba pasliktināšanos. Abos gadījumos nepieciešams kompresoru pārbaudīt un remontēt.

Ja nepieciešams samazināt augstspiediena cilindra slodzi, vienlaikus jāsamazina arī zemspiediena cilindra slodze, pieverot ventili zemspiediena cilindra sūcējvadā, lai nepārslogotu starptrauku.

Lai kontrolētu divpakāpju aukstuma iekārtas darbu, mērķtiecīgi lietot rūpnīcas dotos grafikus, pēc kuriem var noteikt spiedienu starptraukā.

**Aukstuma iekārtu apstādina** saskaņā ar rūpnīcas doto instrukciju. Vispirms aizver regulējošo ventili. Pēc tam aizver ventili kompresora sūcējvada, izslēdz kompresora elektrodzinēju, pārtrauc ūdens padevi uz kondensatoru un izslēdz sāls šķīduma cirkulācijas sūkni. Pēc kompresora apstādināšanas noslēdz ventili kompresora spiediena pusē un aptausta kustošās daļas, lai pārbaudītu to temperatūru. Atklātos trūkumus novērš.

Apstādinot divpakāpju aukstuma iekārtu, vispirms noslēdz regulējošos ventili, pārtraucot šķidrā aukstuma aģenta piegādi iztvaikotājam un starptraukam. Pēc tam noslēdz tvaika padevi uz zemspiediena cilindra un tvaika padevi uz augstspiediena cilindra, aptur elektrodzinēju, aizver ventili kompresora spiediena pusē, pārtrauc ūdens padevi uz kondensatoru un kompresora cilindra apvalku. Ziemas laikā, lai izsargātos no



XII-3. att. Temperatūra divpakāpju amonjaka iekārtas starptraukā  $t_{01}$  atkarībā no vārīšanās temperatūras  $t_{02}$  ( $t_k = 30^\circ\text{C}$  pie pilnas starpdzesēšanas).



ūdens sasalšanas, to izlaiž no kompresora cilindru apvalkiem, kondensatora, pārdzesētāja, ūdens sūkņiem un cauruļvadiem.

**Freona iekārtu apkalpes īpatnības** nosaka aukstuma aģentu freona-12 un freona-22 specifiskās īpašības.

Freoniem ir laba plūstamība, tie spēj izspiesties cauri vissīkākajām sūcēm, tiem nav smakas. Apkalpojošam personālam uzmanīgi jāseko tam, lai sistēma būtu hermētiska, savlaicīgi jāatklāj un jānovērš radušās sūces. Sūces meklē ar speciāliem indikatoriem — lampām.

Šķidr freons-12 un eļļa savstarpēji šķīst neierobežotā daudzumā. Šo apstākli izmanto, lai kompresora karterā uzturētu nemainīgu eļļas līmeni. Eļļa sistēmā cirkulē kopā ar aukstuma aģentu un nepārtraukti atgriežas atpakaļ kompresora karterā. Lai eļļa neuzkrātos apvilkta cauruļu kūļa iztvaikotajos, no iztvaikotāja nosūc mitru freona tvaiku. Kopā ar šķidrā freona pilieniem no iztvaikotāja aizplūst arī eļļa, kas izšķīdusi šķidrā freonā.

Regeneratīvajā siltumapmainītājā, kas novietots aiz iztvaikotāja, freona tvaiku pārkarsē tam pretim plūstošais šķidrās aukstuma aģents. Eļļa izdalās no tvaika un pa sūcējvadu nonāk kompresora sūkšanas kamerā, no kurienes pa speciālu kanālu atgriežas kompresora karterā.

Raksturīga freona aukstuma iekārtas īpatnība ir kompresora aukstuma ražīguma un darba ekonomiskuma atkarība no iesūcamā tvaika pārkarsēšanas pakāpes. Ja tvaika pārkarsēšanas pakāpe nav liela, kompresora aukstuma ražīgums samazinās un vienlaikus īpatnējais elektroenerģijas patēriņš palielinās. Lai panāktu vajadzīgo tvaika pārkarsēšanas pakāpi, uzstāda regeneratīvos siltumapmainītājus, kuros tvaiku pārkarsē šķidrās aukstuma aģents, kas plūst no kondensatora uz iztvaikotāju. Vajadzīgo tvaika pārkarsēšanas pakāpi panāk, regulējot šķidrā aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju.

Ūdens, kas iekļuvis sistēmā, freonā nešķīst un traucē iekārtas darbu, radot metāla koroziju un sasilstot (zemās temperatūrās) regulējošajā ventilī. Mitrumu atdala filtrā-mitrumatdalītājā, kuru ieslēdz šķidrums vadā starp kondensatoru un regulējošo ventilī. Filtrā-mitrumatdalītāja pildījumu (silikagelu vai ceolītu) regenerē karsējot.

Freoni ir labi šķīdinātāji, un tie labi nomazgā dažādus netīrumus no metāla virsmas, kuri pēc tam var iekļūt kompresora cilindros un regulējošajās ierīcēs. Tāpēc jāraugās, lai pārbaudes laikā, kā arī eļļas un freona iepildīšanas laikā sistēmā neiekļūtu netīrumi. Lai netīrumi kopā ar tvaiku neiekļūtu kompresorā, kompresora sūcējvadā uzstāda filtru.

Freona iekārtas atšķirībā no amonjaka iekārtām vairumā gadījumu ir pilnīgi automatizētas, tāpēc nav nepieciešama to pastāvīga uzraudzība darba laikā. Apkalpojošais personāls veic profilaktisku iekārtas apkalpi.

#### 4. Defekti aukstuma iekārtas darbā un to novēršana

XII-2. tabula

Amonjaka aukstuma iekārtu defekti

Defekta pazīmes	Defekta cēloņi	Defekta novēršana
Paaugstināts kondensācijas spiediens (temperatūra)	Nepietiekama ūdens padeve	Palielina ūdens padevi
	Nevienmērīga ūdens sadale pa atsevišķām kondensatora sekcijām	Noregulē ūdens sadales iekārtu
	Netīra kondensatora sildvirsmā	No kondensatora sildvirsmas notīra katlakmeni (ūdens pusē) un eļļu (amonjaka pusē)
	Gaisa klātbūtne sistēmā	Atdala gaisu no sistēmas
	Liels aukstuma aģenta daudzums sistēmā	Ljeko aukstuma aģentu izlaiž rezerves resiveros vai balonos
	Nepietiekams kondensatora sildvirsmas laukums	Ieslēdz papildu kondensatorus
Pazemināts spiediens (temperatūra) iztvaikotājā (sāls šķīduma un vārišanās temperatūru starpība lielāka par 5 °C, kameras un vārišanās temperatūru starpība lielāka par 10 °C)	Pārāk liels ieslēgto kompresoru aukstuma ražīgums	Dažus kompresorus apstādina
	Nepietiekama ieslēgto iztvaikotāju sildvirsmā	Ieslēdz papildu iztvaikotājus
	Nepietiekams aukstuma aģenta daudzums sistēmā	Uzpilda sistēmu
	Bieza sarmas kārtā uz dzesējošajiem ķermeņiem	Notīra sarmas kārtu
	Apledojušas iztvaikotāja caurules sāls šķīduma vājas koncentrācijas dēļ	Atjauno sāls šķīduma koncentrāciju atbilstoši eksploatācijas noteikumiem
	Netīra iztvaikotāja sildvirsmā	Notīra sildvirsmu, izlaiž eļļu
	Nepietiekama aukstuma aģenta padeve nepareizas regulēšanas dēļ; aizsērējis filtrs šķidrā aukstuma aģenta vadā un regulējošais ventilis; bojātas automātiskās regulēšanas ierīces	Noregulē aukstuma aģenta padevi, iztīra filtru, izpūš cauruļvadus un ventilus, noregulē automātiskās regulēšanas ierīces



Defekta pazīmes	Defekta cēloņi	Defekta novēršana
Paaugstināts iztvaikošanas spiediens (temperatūra), maza kameras gaisa un vārišanās temperatūru starpība	Nepietiekams ieslēgto kompresoru ražīgums  Kompresorā ieplūst mitrs tvaiks  Traucējumi kompresora darbā (neblīvi vārsti, izdiluši virzuļu blīvgredzeni)	Ieslēdz papildu kompresorus  Noregulē šķidrā aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju  Kompresoru remontē
Paaugstināta pārdzesēšanas temperatūra (pārdzesētā aukstuma aģenta un dzesējošā ūdens temperatūru starpība lielāka par 3 °C)	Nepietiekama ūdens padeve uz pārdzesētāju  Netīra pārdzesētāja sildvirsmā	Palielina ūdens padevi uz pārdzesētāju  Notīra sildvirsmu
Augsta pārkarsēšanas pakāpe (virs 10 °C)	Nepareizi noregulēta šķidrā aukstuma aģenta padeve uz iztvaikotāju. Nepietiekami atvērts regulējošais ventīlis  Nepietiekams aukstuma aģenta daudzums sistēmā  Slikta sūčējvadu izolācija	Vairāk atver regulējošo ventīli un noregulē šķidrā aukstuma aģenta padevi  Uzpilda sistēmu  Izremontē izolāciju
«Mitrais gājiens» kompresorā (iesūcāmā tvaika temperatūra vienāda ar vārišanās temperatūru; saspiestā tvaika temperatūra zemāka par normālo; uz cilindra parādās sarma)	Nepareizi noregulēta šķidrā aukstuma aģenta padeve uz iztvaikotāju  Sistēmā pārāk daudz aukstuma aģenta	Piever regulējošo ventīli, pareizi iestāda automātiskās regulēšanas ierīces  Pareizi sadala aukstuma aģentu pa iztvaikošanas sistēmas aparātiem. Lielo aukstuma aģentu iepilda balonos vai rezerves resiveros
Augsta saspiestā tvaika temperatūra	Nepareizi noregulēta aukstuma aģenta padeve uz iztvaikotāju  Sistēmā pārāk maz aukstuma aģenta	Vairāk atver regulējošo ventīli, pareizi iestāda automātiskās ierīces  Uzpilda sistēmu

Defekta pazīmes	Defekta cēloņi	Defekta novēršana
	Nepietiekama ūdens padeve uz kompresora cilindra apvalku	Palielina ūdens padevi
	Bojāts kompresors (nenoslēdzas vārsti, izdiluši blīvredzeni utt.)	Veic kompresora pārbaudi un remontu
	Pārāk garš sūcējvads, bojāta tā izolācija	Izremontē izolāciju
	Sistēmā iekļūst gaiss	Novērs sistēmas sūces, ieslēdz gaisa atdalītāju

XII-3. tabula

Automatizēto freona-12 aukstuma iekārtu defekti

Aukstuma mašīnas darba raksturojums	Defekta pazīmes	Defekta cēloņi	Defekta novēršana
-------------------------------------	-----------------	----------------	-------------------

Kameras temperatūra augsta

I. Mašīna nedarbojas	Vārīšanās un kondensācijas spiedieni vienādi ar 0	Sistēmā nav freona	Pārbauda sistēmas hermētiskumu, novērs sūces, uzpilda sistēmu ar freonu
	Vārīšanās spiediens zems; kondensācijas spiediens normāls vai pazemināts	Sasalis ūdens termoregulējošajā ventilī	Atkausē termoregulējošo ventili ar karstā ūdeni samērcētu drānu. Ja sasalšana atkārtojas, sistēma jāsausina
	Vārīšanās spiediens zems; kondensācijas spiediens normāls vai pazemināts; šķidrā freona vads ir auksts	Aizsērējis šķidrā freona filtrs	Filtru noņem, iztīra, izžāvē un atkal pievieno
		Aizsērējis mitruma atdalītājs	Noņem mitruma atdalītāju, izkarsē adsorbentu, iztīra sietu
		Noslēgts šķidrā freona ventilis pie kondensatora	Atver ventili
	Ķēdē nav sprieguma	Pārbauda elektroiekārtu	



Aukstuma mašīnas darba raksturojums	Defekta pazīmes	Defekta cēloņi	Defekta novēršana
II. Iss mašīnas darba laiks; ilga dikstāve	Vārīšanās spiediens paaugstināts; kondensācijas spiediens normāls vai pazemināts	Bojāts spiediena relejs, tā kontakti palikuši nesavienoti  Bojāts kompresors	Pārbauda spiediena releja mehānismu  Ar roku pārbauda vārpstas griešanos. Ja vārpsta negriežas, kompresors jāremontē
	Vārīšanās spiediens zems; kondensācijas spiediens zems	Sistēmā maz freona	Uzpilda sistēmu ar freonu
	Vārīšanās spiediens zems; kondensācijas spiediens normāls vai pazemināts	Iztvaikotājs pārklāts ar biezu sarmas kārtu vai apledojs	Atkausē sarmas kārtu
	Vārīšanās spiediens zems; kondensācijas spiediens normāls vai pazemināts; sarma uz šķidrā freona vada	Daļēji aizsērējis filtrs  Daļēji aizsērējis mitruma atdalītājs	Noņem filtru, to iztīra, izžāvē un no jauna pievieno  Noņem mitruma atdalītāju, izkarsē adsorbentu, iztīra sietu
III. Iss mašīnas darba cikls	Vārīšanās spiediens normāls; kondensācijas spiediens augsts	Aizsērējis kondensators; nedarbojas ventilators, kondensatoram nepieplūst ūdens; noslēgts šķidrā freona ventīlis  Nav pilnīgi atvērts ventīlis spiedvadā	Pārbauda kondensatora darbību un novērš defektus  Atver ventīli
	Vārīšanās un kondensācijas spiedieni normāli	Noregulēts pārāk mazs spiediena vai termoreleja diferenciālis	Noregulē automātiskās ierīces
IV. Ilgs darba laiks; īsa dikstāve	Vārīšanās un kondensācijas spiedieni pazemināti	Freona daudzums sistēmā nav pietiekams	Papildina sistēmu ar freonu
	Vārīšanās spiediens paaugstināts; kondensācijas spiediens normāls	Daudz siltu produktu kamerā  Slikti noslēdzas durvis, bojāta durvju blīve	Samazina kamerā slodzi  Instruē personālu, izlabo durvis

Aukstuma mašīnas darba raksturojums	Defekta pazīmes	Defekta cēloņi	Defekta novēršana
V. Mašīna darbojas nepārtraukti	Sūkšanas spiediens paaugstināts; kondensācijas spiediens normāls; sarma uz ārējām kameras sienām	Sliktas kvalitātes izolācija, izolācija kļuvusi mitra	Pārbauda izolāciju. Ja nepieciešams, izolē no jauna
	Sūkšanas spiediens paaugstināts; kondensācijas spiediens normāls	Nenoslēdzas ieplūdes vārsts	Apmaina vārstu
	Griežot kompresoru ar roku, nav jūtama kompresija	Izdiluši virzuļa blīvgredzeni	Apmaina blīvgredzenus

### Kameras temperatūra normāla vai paaugstināta

I. Mašīnas darba cikls normāls	Vārišanās spiediens normāls; kondensācijas spiediens paaugstināts	Slikti darbojas kondensators	Pārbauda kondensatora darbību un novērš defektus
		Sistēmā ir gaiss	Izvada gaisu
		Nav pilnīgi atvērts ventilis spiedvadā	Atver ventili
II. Iss mašīnas darba cikls	Vārišanās un kondensācijas spiediņi normāli	Sistēmā maz freona	Uzpilda sistēmu ar freonu
		Pārāk mazs spiediena vai termoreleja diferenciālis	Noregulē automātiskās ierīces
III. Ilgs mašīnas darba laiks; īsa dikstāve	Vārišanās un kondensācijas spiediņi normāli; apsarmojis sūcējvads un, iespējams, arī kompresora karters	Liela šķidrā freona padeve caur termoregulējošo ventili	Noregulē termoregulējošo ventili
		Slikti noregulēts spiediena relejs vai termorelejs	Iestāda pareizu izslēgšanās spiedienu (temperatūru)
IV. Mašīna darbojas bez pārtraukuma	Vārišanās spiediens normāls vai paaugstināts; kondensācijas spiediens normāls; apsarmojis sūcējvads un, iespējams, arī kompresora karters	Termoregulējošā ventija termobalons slikti piestiprināts pie sūcējvada	Ar speciālu skārda skavu piestiprina termobalonus, iepriekš notīrot cauruli
		Bojāts termoregulējošais ventilis	Ņem ventili, iztīra filtru, izmazgā ventili ar spirtu



Aukstuma mašīnas darba raksturojums	Defekta pazīmes	Defekta cēloņi	Defekta novēršana
	Vārišanās spiediens paaugstināts; kondensācijas spiediens normāls; kompresors sakarst virs 100 °C	Nenoslēdzas izplūdes vārsts	Apmaina vārstu

#### Klaudzieni mašīnā

	Hidrauliskie triecieni	Mašīnu apstādina, ļauj tai pastāvēt 2...3 minūtes un iedarbina no jauna
	Maz eļļas karterā	Papildina eļļu
	Izdilis kloķa-klaņa mehānisms	Kompresoru remontē

### 5. Aukstuma iekārtu pamatelementu apkalpe

**Kompresora apkalpe.** Eksploatējot kompresoru, stingri jāievēro rūpnīcas instrukcijas un drošības tehnikas noteikumi. Apkalpojošā personāla uzdevums ir uzturēt kompresorā optimālo spiedienu un temperatūras režīmu, nodrošināt eļļošanas sistēmas darbību un kvalificētu profilaktisko remontu. Kompresora darbu mašīnists kontrolē ar dažādām mērīšanas ierīcēm un pēc skaņas, kā arī aptausot. Eļļošanas sistēmas darbības kontrole ir viens no svarīgākajiem kompresora apkalpes uzdevumiem. Traucējumi eļļošanas sistēmā var padarīt kompresoru nelietojamu. Mašīnists veic šādas eļļošanas sistēmas pārbaudes operācijas: pārbauda spiedienu eļļas cirkulācijas sistēmā un eļļas padevi uz visiem eļļošanas punktiem (atver kontrolē aizgriežņus); kontrolē eļļas temperatūru pēc dzesēšanas — tā nedrīkst pārsniegt 35 °C; periodiski pārslēdz un tīra filtrus; uztur vajadzīgo līmeni eļļas tvertnē, lubrikatorā un kompresora karteros.

Horizontālo kompresoru cirkulācijas sistēmas eļļa jāmaina ik pēc 3000 darba stundām, iepriekš izmazgājot eļļas tvertni, filtrus un cauruļvadus. Kompresora kartera eļļu maina ik pēc 1500 darba stundām, iepriekš iztīrot un izmazgājot karteru, filtrus, eļļas sūkni un izpūšot cauruļvadus. Karteram eļļu var papildināt kompresora darba laikā. Šim nolūkam uz eļļas ventīļa īscaurules uzmauc gumijas šļūteni, kuras otru galu ievieto traukā ar tīru eļļu. Noslēdz aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju un piever kompresora ieplūdes ventili, lai karterā radītu vakuumu. Pēc tam atver eļļas ventili un piepilda karteru ar eļļu līdz dotajam līmenim. Pēc eļļas

uzpildīšanas noslēdz eļļas ventili, atver iepļūdes ventili un atjauno aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju. Mašīnu zālē, kur uzstādīts daudz kompresoru, eļļu tajos iepilda no centrālās sistēmas ar sūkni, netraucējot kompresora darba režīmu uzpildīšanas laikā. Kartera tipa kompresoru eļļošanas sistēmā spiedienu regulē ar pārplūdes ventili, uzturot to par 1,0...1,2 kg/cm<sup>2</sup> augstāku nekā spiediens karterā.

Kompresoru eļļošanai galvenokārt lieto *minerāleļļas*. Lēngaitas kartera tipa kompresoru un horizontālo kompresoru cilindru eļļošanai ieteicama XA markas eļļa (ГОСТ 5546-66), lieto arī spolišu eļļu AY, spolišu eļļu Nr. 2 un industriālo eļļu 12 (ГОСТ 1707-51). Ātrgaitas vienpakāpes kompresoriem ieteicams lietot palielinātas viskozitātes eļļu X-23. Ātrgaitas divpakāpju kompresoru eļļošanai lieto vēl viskozākas eļļas X-30 un X-34 (ГОСТ 5546-66).

Zemu vārīšanās temperatūru ( $t_0 < -40^{\circ}\text{C}$ ) aukstuma mašīnu kompresoru eļļošanai bieži lieto *sintētiskās eļļas*, kas sastāv no ogļūdeņražiem un silīcija organiskajiem savienojumiem (silikoniem). Šīm eļļām raksturīga zema sastingšanas temperatūra un mazas viskozitātes izmaiņas temperatūras ietekmē.

Horizontālo kompresoru krustgalvjus un gultņus eļļo ar industriālo eļļu 50 vai mašīneļļu CY.

Freona-12 un freona-22 kompresoru eļļošanai lieto attiecīgi eļļas XΦ-12 un XΦ-22 (ГОСТ 5546-66).

Katram kompresoram kontrolē iesūcāmā un saspīestā tvaika temperatūru. Sistemātiski novēro kompresora cilindru vārstu un kustošos mehānismu darbu. Rodoties viegliem kļaudzieniem, noskaidro to iemeslus un izlemj, vai iespējama tālāka kompresora darbināšana. Ja rodas stipri trokšņi, kompresors nekavējoties jāapstādina. Mašīnistam jāpārbauda cauruļvadu savienojumu un blīvslēgu hermētiskums, kā arī kustošos daļu temperatūra. Gultņu temperatūra nedrīkst vairāk par 25°C pārsniegt apkārtējā gaisa temperatūru. Dzesējot cilindrus ar ūdeni, aizplūstošā ūdens temperatūra nedrīkst būt augstāka par 35...40°C. Nedrīkst karsta kompresora cilindru apvalkā ielaist aukstu ūdeni, jo tas var izraisīt virzuļa iestrēgšanu un cilindra plaisāšanu. Ziemas apstākļos pēc kompresora apstādināšanas no cilindru apvalka izlaiž ūdeni. Mašīnista pienākums ir uzturēt tīru kompresoru un mašīntelpu, sistemātiski izdarīt nepieciešamās atzīmes maiņas žurnālā. Apkalpojošais personāls veic kompresoru periodiskas apskates, raugās, lai savlaicīgi izdarītu remontu, un novērs sīkus traucējumus.

**Traucējumi kompresora darbā un to novēršana.** Eļļas spiediens var strauji samazināties šādu iemeslu dēļ: bojāts manometrs, plīsums eļļas cauruļvadā, bojāts eļļas sūkņa pārplūdes vārsts, pazeminājies eļļas līmenis karterā, salūzis eļļas sūkns. Visos gadījumos kompresors jāapstādina un traucējumi jānovērš.

Eļļas spiediens var pakāpeniski samazināties šādu iemeslu dēļ: izdiluši kļauņi gultņi (dzirdams troksnis); neblīvumi eļļas vadu savienojumos; aizsērējis siets sūcējvadā; samazinājusies eļļas visko-



zitāte. Jāatrod eļļas spiediena samazināšanās cēlonis. Ja spiediens kļūst zemāks par  $0,8 \text{ kgf/cm}^2$ , kompresors nekavējoties jāapstādina.

Piedegumi uz blīvgredzeniem, virzuļiem, cilindru vākiem un vārstiem rodas no pārāk augsta eļļas līmeņa karterā vai neatbilstošas kvalitātes eļļas lietošanas. Piedegumi sekmē gāzu noplūdi gar virzuli, paaugstina saspiesto tvaiku temperatūru un pasliktina cilindra dzesēšanas apstākļus. Piedegumus vislabāk notīrīt ar mehāniskiem paņēmieniem, vienlaikus sekojot tam, lai netiktu bojātas cilindru un vārstu darba virsmas. Cietu piedegumu var labi notīrīt ar dihloretānu. Ja cilindram pievada pārāk daudz eļļas, tad eļļa uzkrājas spiedvadā un pārāk strauji piepildās eļļas atdalītājs. Šajā gadījumā eļļas padeve nekavējoties jāsamazina, jo lieks eļļas daudzums cilindrā un spiedvadā veido koksu, kas gaisa klātbūtnē var izraisīt pašaiždegšanos.

Nepietiekamas eļļas padeves cēlonis var būt bojājumi vienvirziena vārstos, kas ievietoti eļļas spiedvados vai lubrikatorā.

Katlakmens uz cilindrā dzesējošā apvalka sienām paaugstina saspiektā tvaika temperatūru un palielina darba patēriņu. To var notīrīt ar mehāniskiem paņēmieniem (sukām, skrāpjiem) vai šķīdināšanu, apvalkā uz 1 stundu ielejot 10% sālskābes šķīdumu. Pēc šķīduma izlaišanas cilindra apvalku skalo ar ūdeni, pēc tam ar 10...15% sodas šķīdumu un atkal ar ūdeni. Lai mazinātu katlakmens veidošanos, aizplūstošā dzesējošā ūdens temperatūra nedrīkst pārsniegt  $35^\circ\text{C}$ . Jo lielāks ūdens cietums, jo zemākai jābūt aizplūstošā ūdens temperatūrai.

Starpspiediens divpakāpju kompresorā paaugstinās, ja bojāti otrās pakāpes cilindru ieplūdes un izplūdes vārsti. Vārstam var būt šādi defekti: vārsta plāksnīte nepieguļ cieši slēgvirsmai, vārsta darba virsmā izveidojušies defekti, bojāta vārsta atspere, vārsta plāksnīte paceļas pārāk augstu, plaisas un citi vārsta plāksnītes bojājumi. Ja vārsta plāksnīte nepieguļ cieši slēgvirsmai, bet nav pārāk izdilusi, to var pieslīpēt pie slēgvirsmas ar otru, neizdilušo pusi. Stipri izdilusi plāksnīte jānomaina. Ja bojātas slēgvirsmas, tās apstrādā uz virpas. Vārsta detaļas, kurām ir plaisas, un bojātās atsperes jānomaina. Vārsts darba laikā lūst šādu iemeslu dēļ: hidrauliskie triecieni, kurus rada cilindrā iekļuvušais aukstuma aģents vai eļļa; vārsts nepareizi nostādīts ligzdā.

Aukstuma aģents izplūst caur horizontālā kompresora blīvslēgu, ja izdiluši blīvgredzeni; salūzušas atsperes, kas piespiež blīvgredzenus kātam; izdilis kāts, radušies defekti uz blīvgredzenu un virzuļa kāta darba virsmām. Blīvslēga kompresoros, izdilstot blīvslēga blīvgredzeniem, palielinās eļļas izplūde caur blīvslēgu un izplūst aukstuma aģents kompresora dīkstāves laikā.

Stipri kļaudzieni kompresorā rodas šādos gadījumos: starp virzuli un vāku iekļuvuši metāla priekšmeti (gabali no salūzušas atsperes, vārsta u. c.); virzulis atsitas pret vāku nepietiekama kaitīgās telpas augstuma dēļ; cilindrā iekļuvuvis šķidrās aukstuma aģents vai liels eļļas daudzums; valģis virzuļa nostiprinājums uz

kāta un vārstu nostiprinājums ligzdās; pārāk lielas spraugas starp krustgalvja slīdeni un vadīklām.

Dobji klaudzieni kompresorā rodas, izdilstot kloķvārpstas kļauņu gultņiem un pamatgultņiem.

Kompresora kustošajām daļām pieļaujama temperatūra 50...60 °C. Sasilumu var noteikt ar tausti vai termometru. Visbiežāk gultņi pārkarst šādu iemeslu dēļ: nepietiekama vai pārtraukta eļļas padeve; netīra eļļa vai neatbilstoša eļļas marka; slikti pielāgoti gultņu ieliktni; nepietiekama atstarpe starp vārpstas kakliņu un gultņu ieliktniem; vārpsta sasilstot nevar brīvi pagarināties; nesakrīt gultņu ass, izliekta vārpsta; nepareiza eļļas sadale gultnī, sameties gultņa ieliktnis. Ja gultnis sakarsis, jāpalielina eļļas padeve un, ja iespējams, gultnis jāatbrīvo. Ja tas nelīdz, kompresoru apstādina, gultni izņem, konstatē sakaršanas cēloni un to novērš. Pēc tam gultni izmazgā, labi ieeļļo un kompresoru iedarbina.

Horizontālo kompresoru kāta un blīvslēga pārkaršanas cēloņi ir šādi: blīvslēgs pārāk pievilkts; blīvslēga vāks, skrūves pievelkot, sašķiebtis; kāts saliekts; kāta un blīvslēga kameras ass nesakrīt; maza atstarpe starp kātu un blīvslēga pamatbuksi vai vāku; blīvslēgs nepareizi salikts; nepietiekama blīvslēga eļļošana. Ja kāts sakarsis, jāatbrīvo blīvslēgs un jāpalielina eļļas padeve.

**Kompresors nekavējoties jāapstādina** šādos gadījumos: manometrs neuzrāda spiedienu eļļas sistēmā; eļļas līmenis karterā zemāks par zemāko atzīmi; neizplūst ūdens no kompresora dzesēšanas sistēmas; manometra rādītājs pārsniedz sarkano iedaļu vai saspīstā tvaika temperatūra sasniedz 150 °C un no dzesējošā apvalka izplūstošā ūdens temperatūra pārsniedz 40 °C; spiediens, ko rada eļļas sūknis, zemāks par 0,8 kgf/cm<sup>2</sup> vai augstāks par 3 kgf/cm<sup>2</sup>; kādā no mezgliem dzirdami klauzieni un paaugstinās kustošos daļu temperatūra.

**Kompresora ekspluatācijas laikā aizliegts** nostiprināt savienojumus, pievilkt skrūves, atvērt rāmja lūkas (horizontālajiem kompresoriem); ielaist cilindrā aukstu ūdeni gadījumā, ja kompresors ticis iedarbināts bez ūdens; lietot kompresora eļļošanai neatbilstošas kvalitātes eļļu; uzglabāt kompresora eļļošanai paredzēto eļļu mašīnēļļas, petrolejas vai benzīna traukos; mazgāt kompresora cilindrus ar benzīnu; atstāt instrumentus un citus priekšmetus uz kompresora vai tā pamata mašīnas darba laikā.

**Kompresora periodiskā apskate.** Lai nodrošinātu kompresora ilgstošu darbu bez traucējumiem, periodiski jāpārbauda tā mezgls un detaļu stāvoklis, nosakot remonta darbu termiņus. Vienlaikus ar apskati pārbauda skrūvju savienojumu nostiprinājumus un izdara sīkus remontus. Tālāk doti kompresoru periodisko apskāšu orientējoši termiņi.

Ik pēc 1500 kompresora darba stundām visus kompresora vārstus nomaina ar rezerves vārstiem; nomontētos vārstus iztīra, iegremdējot uz 2...3 stundām 5% nātrija hidroksīda šķīdumā, pēc



tam izmazgā un pārbauda vārstu noslēgšanos. Šim nolūkam uz vārsta slēgvirsmas uzlej 10...15 mm biezu petrolejas slāni. Vārsts ir derīgs, ja petroleja iztek caur vārstu atsevišķu retu pilienu veidā. Ja vārsts nenoslēdzas un ir atklāti kaut kādi plāksnišu defekti, tad vārstu izjauc un defektus novērš. Vārstu saliekot, jāraugās, lai vārsta turētājs tiktu cieši piespiests pie slēgvirsmas. Saliktajam vārstam jāpārbauda plāksnišu kustība — vai plāksnišu gali nav iespiesti starp vārsta turētāju un slēgvirsmu. Apskata un pārbauda arī kļauņa gultņus, vajadzības gadījumā regulējot to atstarpes. Pārbauda kļauņa skrūvju un blīvslēga stāvokli. Apskata eļļošanas sistēmu, veic vajadzīgo remontu un eļļas padeves regulēšanu. Pārbauda sajūga uznavu centrējumu, iztīra un ar petroleju izskalo netīrumu uztvērēju.

Ik pēc 3000 darba stundām pārbauda kļauņa galvas gultņu stāvokli, pēc vajadzības regulējot atstarpi. Apskata virzuļa gredzenus un cilindra spoguļi. Izdilušos gredzenus — ar palielinātu spraugu starp to galiem — un maz elastīgos gredzenus nomaina ar jauniem. Cilindru spogulim jābūt pulētam. Virzuļa virsmai jābūt tīrai — bez svitrām, skrumbām un ierāvumiem. Atklātie defekti jālikvidē. Notīra piedegumus no virzuļa un cilindra vāka. Pārbauda arī blīvslēga detaļu stāvokli un atklatos defektus novērš. Ar smilšpapīru noslīpē virzuļa kātu (horizontālajiem kompresoriem). Visas detaļas izmazgā, ieeļļo un kompresoru saliek.

Ik pēc 6000 darba stundām rūpīgi apskata kompresoru un pārbauda visu atstarpiju lielumus. Izņem krustgalvi no vadīklām un uzmanīgi to apskata, lai pārlicinātos, vai nav plaisu. Atklājot pat vissīkāko plaisu, krustgalvi nomaina. Līdzīgi pārbauda kompresora rāmi un kloķvārpstas pamatgultņus. No cilindru apvalkiem iztīra katlakmeni. Apskata kloķvārpstas gultņu kaklus, pārbaudot, vai tie nav konusveida vai eliptiski. Iztīra un izmazgā lubrikatora rezervuāru. Apmaina eļļu cirkulācijas sistēmā. Pēc katras eļļas apmaiņas izmazgā kompresora rāmja kameru (karteru) un eļļas filtru. Izpilda visus darbus, kas ietilpst iepriekšējās apskatēs. Pēc visu detaļu pārbaudes, izmazgāšanas un atklāto defektu novēršanas kompresoru samontē, piestrādā tukšgaitā un nodod ekspluatācijā.

**Kondensatora apkalpe.** Aukstuma iekārtas darba laikā mašīnists seko ūdens padevei uz kondensatoru, mēra pieplūstošā un aizplūstošā ūdens temperatūru, periodiski izlaiž no kondensatora eļļu un gaisu, pārbauda savienojumu hermētiskumu. Lai samazinātu aukstuma iekārtas ekspluatācijas izdevumus, kompresora darbināšanai patērētās enerģijas un kondensatora dzesēšanai nepieciešamā ūdens daudzuma izmaksu kopējai summai jābūt minimālai. Dažos gadījumos, ņemot vērā ūdens un elektroenerģijas izmaksas, kondensatorā pieļauj paaugstinātu spiedienu. Tomēr vēlams strādāt tā, lai kondensācijas temperatūra būtu pēc iespējas zemāka. To panāk, pievadot kondensatoram pietiekami daudz dzesējošā ūdens ar iespējami zemu temperatūru. Kondensācijas spiedienu pazemina arī, uzlabojot siltuma pārejas apstākļus kondensatorā. Kondensatora

sildvirsmas jābūt brīvai no eļļas un katlakmens. Aukstuma iekārtas remonta laikā kondensatora sildvirsmu periodiski tīra.

Aprasināšanas virsmas kondensatoru sildvirsmas tīra ar skrāpjiem, apvilkta cauruļu kūļa kondensatoru sildvirsmas — ar speciālam tērauda sukām, lietojot lokanu vārpstu. Aprasināšanas virsmas kondensatoru sildvirsmas var notīrīt, ja atdzesētas kondensatora caurules strauji sakarsē, ievadot karstu amonjaka tvaiku. Katlakmens saplaisā un viegli atdalās. Citu tipu kondensatoriem šo paņēmieni lietojot nevar, jo var rasties sūces cauruļu valcējumu vietās. Visefektīvākais ir kondensatora tīrīšanas ķīmiskais paņēmieni. Cauruļu tīrīšanai lieto 5% sālsskābes šķīdumu, kam piejaukti korozijas palēninātāji — *inhibitori*, ņemot 1...2 g šīs vielas uz 1 l šķīduma. Par inhibitoriem lieto tehnisko urotropīnu, asins plazmu un citas vielas. Šķīdumu sagatavo atsevišķā tvertnē, no kuras ar cirkulācijas sūkni to ievada kondensatorā. Šķīduma cirkulācijas laikā katlakmens izšķīst un sālsskābes koncentrācija samazinās, tāpēc šķīdumam no jauna jāpievada sālsskābe. Kad viss katlakmens izšķīdis, šķīduma koncentrācija vairs nemainās. Katlakmens paliekas iztīra ar sukām un caurules izskalo ar ūdeni. Tīrīšanas laikā kondensatoru atbrīvo no aukstuma aģenta.

Gaisa klātbūtne kondensatorā paaugstina kondensācijas spiedienu un temperatūru, līdz ar to palielinot elektroenerģijas patēriņu. Gaisu no kondensatora aizvada caur speciāliem gaisa atdalītājiem, bet, ja tādu nav, — caur ventili kondensatora vai resivera augšējā daļā. Gaisa atdalīšanas laikā kondensatoru dzesē ar ūdeni.

Eļļu no kondensatora un resivera izvada ne retāk kā reizi mēnesī. Šo operāciju veic gāzmaskā un gumijas cimdos. Eļļu stundu pēc kompresora apstādināšanas izvada caur šļūteni, kuru pievieno pie eļļas savācēja ventija.

Aprasināšanas virsmas kondensatora caurules vienmērīgi jāaprasina ar ūdeni, ko panāk, attiecīgi regulējot un iztīrot ūdens sadales sistēmu. Ja lieto gradētavas, jāraugās, lai to darba virsma tiktu vienmērīgi aprasināta; lietojot izsmidzināšanas baseinus, jāpanāk pareiza sprauslu darbība. Vertikālajos apvilkta cauruļu kūļa kondensatoros jāpanāk pareiza dzesējošā ūdens sadale pa cauruļu iekšējo virsmu, tāpēc regulāri jāiztīra aizsērējušās ūdens sprauslas. Lai varētu kontrolēt šķidrā aukstuma aģenta līmeni resiverā, attiecīgajiem līmeņrādā ventīļiem jābūt atvērtiem.

Sakarā ar to, ka amonjaka kondensatorā var rasties sūces un tāpēc dzesējošajā ūdenī var būt izšķīdis amonjaks, katru mēnesi no kondensatora izplūstošo ūdeni analizē. Amonjaka klātbūtni pārbauda, pievienojot ūdenim dažus pilienus Neslera reagenta ( $K_2HgJ_4$ ). Amonjaka klātbūtnē šīs šķidrums nokrāsojas dzeltenā krāsā. Ja ūdenī ir daudz amonjaka, tad izkrīt brūnas nogulsnes. Kondensatora sekciju, kurā radušās sūces, izslēdz un pēc pilnīgas amonjaka izvadīšanas defektus novērš — aizmetina bojātās vietas vai apmaina bojātās caurules.



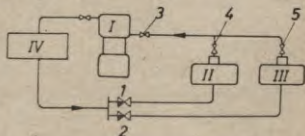
No apvilkta cauruļu kūļa kondensatoriem un pārdzesētājiem ziemā ūdeni izlaiž, jo iespējama tā sasalšana kompresora dikstāves laikā.

**Izтваikotāja apkalpe.** Neatkarīgi no izтваikotāja veida eksploatacijas laikā no tā periodiski jāizlaiž eļļa, jākontrolē aukstuma aģenta un sāls šķīduma līmenis, jāpārbauda sāls šķīduma koncentrācija, jāpārbauda savienojumi un jātīra sildvirsmas.

Pirms izтваikotāja pieslēgšanas sistēmai jāpārbauda noslēdzošo ventīļu stāvoklis, sāls šķīduma sūkņu un maisītāju darbība, maisītāja gultņu stāvoklis. Sevišķi uzmanīgi izтваikotājs jāpieslēdz pie jau darbojošās aukstuma iekārtas, jo, strauji pazeminoties spiedienam, notiek intensīva šķidrā aukstuma aģenta vārišanās, kuras rezultātā kompresorā var iekļūt šķidrums, radot hidrauliskos triecienus.

Ja kompresors *I* darbojas ar izтваikotāju *II* (XII-4. att.) un tam nepieciešams pieslēgt vēl izтваikotāju *III*, tad aukstuma aģenta padevi uz izтваikotāju *II* pārtrauc, aizverot regulējošo ventīli *1* un kompresora ieplūdes ventīli *3*. Pakāpeniski atver ventīli *5* pie izтваikotāja *III*, bet pēc tam kompresora ieplūdes ventīli *3*. Kad izтваikotājs pieslēgts, neregulē šķidrā aukstuma aģenta padevi ar regulējošajiem ventīļiem *1* un *2*. Lai izslēgtu kādu no izтваikotājiem, iepriekš noslēdz kompresora ieplūdes ventīli. Aukstuma aģenta līmeni izтваikotājā kontrolē ar distances līmenrādi.

Eksploatējot vertikālo cauruļu izтваikotāju, jāraugās, lai sāls šķīduma līmenis atrastos 100...150 mm virs izтваikotāja sekcijas augšējās horizontālās caurules. Tad jūtami samazinās izтваikotāja cauruļu korozija. Darba laikā kontrolē ieplūstošā un izplūstošā sāls šķīduma temperatūru, kā arī vārišanās un iesūcamā tvaika temperatūru. Periodiski izlaiž gaisu no sāls šķīduma sistēmas, pārbauda savienojumu un armatūras hermētiskumu. Ne retāk kā 2...3 reizes mēnesī no izтваikotāja izlaiž eļļu. Pirms eļļas izlaišanas izтваikotāju sasilda, t. i., izslēdz un uzsilda ar karstiem amonjaka tvaikiem vai siltu sāls šķīdumu. Sistemātiski kontrolē sāls šķīduma koncentrāciju, nosakot tā sasalšanas temperatūru atkarībā no blīvuma (pielikuma 8. un 9. tabula). Sāls šķīduma koncentrāciju atjauno, pievienojot sāli. Kalcija hlorīda šķīdumam nedrīkst pievienot vārāmo sāli (un otrādi), lai nerastos dubultsāļu nogulsnes. Pirms pievienošanas sāli izšķīdina atsevišķā tvertnē un pēc tam filtrē. Nepieciešams uzturēt sārmainu šķīduma reakciju (pH 7,5...8,5). Lai vājinātu koroziju, sāls šķīdumam pievieno hromskābes un fosforskābes sāļus. Lieto arī elektroķīmisko aizsardzību pret koroziju, ievietojot sāls šķīdumā cinka plati — protektoru.



XII-4. att. Otra izтваikotāja pieslēgšanas shēma:

*I* — kompresors; *II* un *III* — izтваikotāji;  
*IV* — kondensators; *1* un *2* — regulējošie ventīļi; *3*, *4*, *5* — noslēdzošie ventīļi.

Sāls šķīdumā izveidojas galvaniskais pāris. Sajā gadījumā protektora metāls darbojas kā anods, kas elektrolītā korodē, bet aparāta metāls ir katods, kurš nekorodē. Protektora virsmu periodiski tīra, nolietotos protektoros nomaina. Lai sāls šķīduma sistēmu pasargātu no aizsērēšanas, sāls šķīduma vadā pie iztvaikotāja uzstāda filtrus, kurus periodiski tīra un mazgā.

Reizi gadā remonta laikā iztvaikotāju pilnīgi iztīra no eļļas, izpūšot ar gaisu. Tā ārējo virsmu tīra ar skrāpjiem, sukām un noskalo ar ūdens strūklu. Katru mēnesi kontrolē iztvaikotāja hermētiskumu, pārbaudot  $\text{NH}_3$  klātbūtni sāls šķīdumā ar Neslera reaģentu. Iztvaikotāja darba rādītājus ik pēc 2 stundām ieraksta žurnālā.

Iztvaikotāju izslēdzot, pārtrauc aukstuma aģenta padevi uz iztvaikotāju un kādu laiku vēl turpina aukstuma aģenta atsūkņēšanu. Pēc tam izslēdz sāls šķīduma cirkulācijas sūkni un aizver aizbīdņi sāls šķīduma vadā. Vertikālo cauruļu iztvaikotājiem izslēdz maisītāju. Ja iztvaikotāju izslēdz uz ilgu laiku, tad noslēdz ventili iztvaikotāja sūcējvadā, Iztvaikotāja izslēgšanas laiku atzīmē žurnālā. Lai samazinātu aukstuma zudumus, jāuztur pilnīgā kārtībā iztvaikotāja un cauruļvadu siltumizolācija.

**Tiesās iztvaices dzesējošo ķermeņu (bateriju) apkalpe.** Ja iekārta nav automatizēta, šķidrā aukstuma aģenta sadali pa atsevišķiem dzesējošajiem ķermeņiem veic, attiecīgi vairāk vai mazāk atverot regulējošos ventīļus. Ja kādam no dzesējošajiem ķermeņiem ir samazināta siltuma slodze, tad šķidrā aukstuma aģents tajā uzkrājas un tā var nepietikt citiem dzesējošajiem ķermeņiem. Lai to novērstu, aukstuma aģents no pārpildītajiem dzesējošajiem ķermeņiem jāatsūknē. Atsūkņējot rodas iespēja iesūkt kompresorā mitru tvaiku un radīt hidrauliskos triecienus. Tāpēc dzesējošo ķermeņu automatizācija vislabāk atrisina temperatūras regulēšanu un pasargā kompresoru no hidrauliskajiem triecieniem un avārijām.

Ja dzesējošajā ķermenī notiek intensīva vārišanās, tā caurules no ārpuses pārklājas ar vienmērīgu sarmas kārtu, kas pasliktina siltuma pāreju un pazemina vārišanās temperatūru. Vislabāk sarmu no dzesējošo ķermeņu virsmas atkausēt ar karstiem amonjaka tvaikiem (XII-5. att.). To izdara šādi:

1) produktus, kas novietoti zem dzesējošajiem ķermeņiem, nosedz ar brezentu, lai pasargātu no kūstošās sarmas;

2) aizver ventīļus 1 un 3, atvienojot atkausējamo ķermeni no sistēmas;

3) atver ventili 2, drenāžas resiveru savienojot ar sūcējvadu, samazina spiedienu līdz sūkšanas spiedienam un ventili aizver. Ventilis 2 jāatver ļoti uzmanīgi, jo resiverā var būt šķidrā amonjaks;

4) atver ventili 4 un šķidrā aukstuma aģentu no dzesējošajiem ķermeņiem ievada resiverā. Ja nav iespējams dzesējošos ķermeņus iztukšot ar paštēci, jāatver ventilis 5, šķidrums izspiežot resiverā. Pēc tam ventili 5 aizver un uzmanīgi atver ventili 2, lai atsūknētu



no resivera tvaiku un pazeminātu spiedienu līdz sūkšanas spiedienam. Pēc spiediena pazemināšanās ventili noslēdz;

5) noslēdz ventili 4, atvienojot resiveru no dzesējošajiem ķermeņiem;

6) atver ventili 5 un no šķidrums atbrīvotajos dzesējošajos ķermeņos ievada karstu amonjaka tvaiku;

7) pēc sarmas kārtas atkausēšanas aizver ventili 5 un atver ventili 1 un 3;

8) atver ventili 8 un 9, izlaižot eļļu no resivera eļļas savācējā. Pēc eļļas izlaišanas aizver ventili 8 un 9 un pazemina spiedienu eļļas savācējā, atverot ventili 10. Kad spiediens pazeminājies līdz sūkšanas spiedienam, ventili 10 aizver un izlaiž eļļu no eļļas savācēja;

9) atver ventili 6 un 7, kā arī regulējošo ventili pie regulēšanas stacijas un šķidro aukstuma aģentu no drenāžas resivera ievada iztvaikošanas sistēmā;

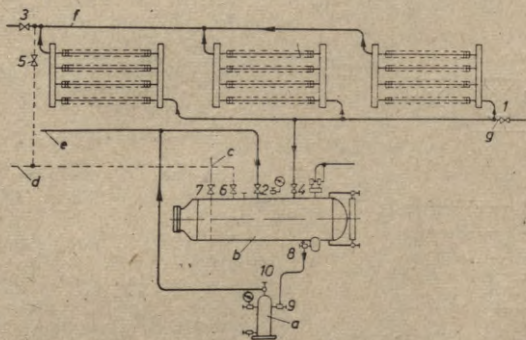
10) pēc drenāžas resivera iztukšošanas ventili 6 un 7 noslēdz;

11) atver ventili 2 un, kad spiediens resiverā pazeminājies līdz vārišanās spiedienam, ventili 2 noslēdz;

12) atkausēšanu beidzot, visus ventili pārslēdz darba stāvoklī atbilstoši tās uzdevumam.

No gludām caurulēm sarmu var noņemt nokasot vai noslaukot, bet noņemt sarmu, sifot pa caurulēm, aizliegts.

Amonjaka cauruļu izpūšanu, lai noņemtu eļļas plēvi un citus netīrumus, veic vienu reizi 2...3 gados iekārtas remonta laikā, iepriekš atbrīvojot kameras no produktiem. Šim nolūkam no



XII-5. att. Shēma sniega kārtas atkausēšanai no tiešās iztvaicošanas dzesējošajiem ķermeņiem:

a — eļļas savācējs; b — drenāžas resiveris; c — šķidrā amonjaka caurulvads, kas savienots ar regulēšanas staciju; d — karstā amonjaka tvaika vads; e — caurulvads, kas savienots ar sūcēvadu pirms šķidrums atdalītāja; f — sūcēvads; g — šķidrā amonjaka vads.

dzesējošajiem ķermeņiem atsūknē visu amonjaku līdz vakuumam, atbrīvo skrūves vienā no atloku savienojumiem un sistēmā ielaiž gaisu. Pēc tam izpūš ar saspīestu gaisu katru dzesējošo ķermeni atsevišķi. Dzesējošos ķermeņus var izpūst ar karstiem amonjaka tvaikiem sarmas kārtas atkausēšanas beigās.

Apkalpojot piespiedu cirkulācijas dzesēšanas sistēmas, jāseko amonjaka sūkņa darbībai, pārbaudot gultņu temperatūru un blīvslēga hermētiskumu. Pirms iedarbināšanas sūkni pagriež ar roku un pārbauda, vai blīvslēgs nav pārāk cieši pievilkts, tikai pēc tam ieslēdz elektrodzinēju. Pirms sūkņa apstādināšanas aizver ventili spiedvadā. Pēc tam izslēdz elektrodzinēju un pievekl blīvslēgu, ja tas laiž cauri amonjaku.

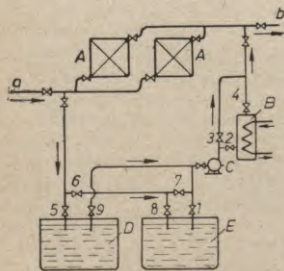
**Sāls šķīduma dzesējošo ķermeņu apkalpe.** Lai intensificētu siltuma atdevi, dzesējošo ķermeņu cauruļu virsma periodiski jāatbrīvo no sarmas kārtas. Lielās saldētavās to veic ar uzsildītu sāls šķīdumu. Šim nolūkam nepieciešama rezerves tvertne, kurā iepilda sāls šķīdumu no atkausējamiem ķermeņiem, un boilers sāls šķīduma uzsildīšanai līdz  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Lai iztukšotu dzesējošos ķermeņus (XII-6. att.), atver aizbīdņus 1, 2, 4 un 5 un ar sūkni atkausējamā baterijā ievada boilerā uzsildīto sāls šķīdumu. Pēc tam aizbīdņus 5 un 1 aizver, bet atver aizbīdņus 6 un 7, lai caur atkausējamo ķermeni cirkulētu uzsildītais sāls šķīdums. Pēc sarmas atkausēšanas aizbīdņus 7, 2 un 4 aizver, bet aizbīdņus 9, 3 un 8 atver, lai silto sāls šķīdumu izlaistu tvertnē E un dzesējošo ķermeni piepildītu ar auksto sāls šķīdumu no tvertnes D. Kad no dzesējošā ķermeņa izplūst jau auksts sāls šķīdums, aizver aizbīdņus 6, 9, 8 un 3 un apstādina sāls šķīduma cirkulācijas sūkni. Lietojot šo paņēmienu; sarmas kārtu var atkausēt 20...30

minūtēs, pie tam netiek uzsildīts aukstais sāls šķīdums.

Ja sāls šķīduma cirkulācijas sistēmā nav izplešanās trauka, gaisu 2 reizes mēnesī izlaiž caur krāniem, kas novietoti dzesējošo ķermeņu augšdaļā.

**Gaisa dzesētāju apkalpe.** Pirms sauso gaisa dzesētāju ieslēgšanas pārbauda, vai tiem nav aukstuma aģenta vai sāls šķīduma sūču. Pārbauda eļļas esamību ventilatoru un elektrodzinēju gultņos, ar roku pagriež ventilatora asi un pārliecinās, vai darba rats nepieskaras korpusam. Tiešās iztvaices dzesētājiem vispirms atver ventili sūcējvadā un tikai pēc tam šķidrā aukstuma aģenta vadā. Pēc ventilatora ieslēgšanas pārliecinās, vai tas



XII-6. att. Shēma sniega kārtas atkausēšanai no sāls šķīduma dzesējošajiem ķermeņiem:

A — dzesējošie ķermeņi; B — boilers; C — sūkns; D — aukstā sāls šķīduma tvertne; E — siltā sāls šķīduma tvertne; a — aukstā sāls šķīduma pievads; b — sāls šķīduma pievads iztvaikotājam.



griežas pareizā virzienā. Sarmas kārtas atkausēšanu veic tāpat kā dzesējošajiem ķermeņiem.

**Sāls šķiduma un ūdens sūkņu apkalpe.** Centrbēdzes sūkņus iedarbina ar noslēgtu izplūdes aizbīdņi, iepriekš pārlicinoties, vai sūknis un sūcējvads piepildīts ar šķidrumu. Aizbīdņiem sūcējvadā jābūt atvērtiem. Pirms sūkņa iedarbināšanas pārbauda, vai sūkņa un elektrodzinēja gultņi ieeļļoti un vai sūknis brīvi griežas. Kad sūknis sāk radīt spiedienu, pakāpeniski atver spiediena puses aizbīdņi, vienlaikus sekojot manometra rādījumam. Sūkņa gultņi un blīvslēgs nedrīkst sakarst. Jāpanāk labs blīvslēga noblīvējums, lai sūknī neiekļūtu gaiss un neiztecētu šķidrums. Sūkņa ražīgumu regulē, izmainot spiedienu, kā arī pieverot vai atverot aizbīdņi. Sūknī apstādinot, vispirms aizver spiedvadu, bet pēc tam izslēdz elektrodzinēju. Ja pēc sūkņa apstādināšanas šķidrums tek caur blīvslēgu, to viegli pievelk. Ziemā, lai nenotiktu sasaldšana, no sūkņiem izlaiž ūdeni.

**Eļļas atdalītāja apkalpe.** Eļļu no eļļas atdalītāja izlaiž pēc grafika — apmēram ik pēc 7... 10 diennaktīm un ne ātrāk kā 20 minūtes pēc kompresora apstādināšanas. Tā kā amonjaks eļļā absorbējas, pirms eļļas izlaišanas uzliek gāzmasku un gumijas cimds, kā arī iedarbina mašintelpas ventilatoru. Eļļas atdalītāju pilnīgi atbrīvo no eļļas caur šļūteni, kuru pievieno pie eļļas izlaišanas ventiļa, kas tiek nedaudz atvērts. Izlaistās eļļas daudzumu izmēra. Eļļu nostādina, filtrē un izlieto no jauna.

**Šķidruma atdalītāju un starptraukņu apkalpe.** Iekārtas darba laikā kontrolē šķidruma līmeni aparātā. Līmeņa kontroli atvieglo distances līmeņrāži. Starptraukos šķidruma līmeni var noteikt pēc līmeņrāžu cauruļu apsarmojuma. Eļļu izlaiž ne retāk kā reizi mēnesī pēc aparāta izslēgšanas un sasildīšanas. Eļļas izlaišanas brīdī spiedienam aparātā jābūt lielākam par atmosfēras spiedienu. Periodiski jāpārbauda aparāta izolācijas stāvoklis.

**Aukstuma aģenta papildināšana sistēmā.** Iekārtas ekspluatācijas laikā aukstuma aģents izplūst caur neblīvumiem kompresora un ventiļu blīvslēgos un cauruļvadu savienojumos, kā arī izlaižot no aparātiem eļļu, gaisu utt. Izplūstošā aukstuma aģenta daudzums atkarīgs no iekārtas aukstuma ražīguma, dzesēšanas sistēmas, darba ilguma un spiediena lieluma. Tāpat noplūdi ietekmē iekārtas apkalpes darbu kvalitāti. Vienlaikus ar aukstuma ražīguma samazināšanos aukstuma aģenta trūkums sistēmā rada traucējumus kompresora darbā — pārāk augstu iesūcamā un saspīestā tvaika pārkarsēšanas pakāpi, kas veicina vārstu un blīvslēga bojāšanos.

Aukstuma aģenta daudzumu sistēmā papildina tādā pašā kārtībā, kā uzpildot jaunu samontētu iekārtu (sk. 293. lpp.).

**Automatizēto aukstuma iekārtu apkalpe.** Automatizētajām aukstuma iekārtām nav vajadzīga pastāvīga apkalpe, bet tām nepieciešama tehniskā uzraudzība un periodiska automātisko ierīču darbības pārbaude un iestādīšana. Sevišķi plaši izplatītas mazās automatizētās freona aukstuma iekārtas tirdzniecības un sabiedriskās

ēdināšanas uzņēmumos, kā arī gaisa kondicionēšanas iekārtās. No kvalitatīvas tehniskās uzraudzības atkarīga normāla iekārtas darbība, darbmūžs, rezerves daļu patēriņš un dotās dzesējamā objekta temperatūras nodrošināšana. Parasti tehnisko uzraudzību veic remonta mehāniskie kombināti uz noslēgto līgumu pamata.

Tehniskās uzraudzības izpildi uzdod kvalificētiem, speciāli sagatavotiem mehāniķiem, kuri labi pārzina automatiskās ierīces.

Mehāniķiem jāveic šādi galvenie darbi:

- 1) agregāta un it īpaši kondensatora un elektrodzinēja tīrīšana no putekļiem un netīrumiem;
- 2) kūstošo drošinātāju, magnētisko palaidēju spoļu, termoreleju apmaiņa un regulēšana;
- 3) automātisko ierīču elektrokontaktu tīrīšana un pārbaude;
- 4) sistēmas hermētiskuma pārbaude un sūču novēršana;
- 5) sistēmas papildināšana ar freonu un eļļu;
- 6) temperatūras režīma pārbaude dzesējamajos objektos un automātisko ierīču regulēšana;
- 7) sarmas atkausēšana no ribotu cauruļu iztvaikotājiem;
- 8) kompresora elektrodzinēja pārbaude un ziežvielu apmaiņa gultņos.

Bez plānotās tehniskās uzraudzības mehāniķa pienākums ir ierasties objektā ne vēlāk kā 24 stundu laikā pēc izsaukuma saņemšanas šādos gadījumos:

- 1) kompresors strādā bez pārtraukumiem vai tā darbību pavada nenormāli trokšņi, kļaudzieni, dūkoņa;
- 2) elektriskajās ierīcēs novērojama dzirksteļošana;
- 3) parādās eļļas plankumi cauruļvadu un citu detaļu savienojumu vietās, kas norāda uz freona izplūdi;
- 4) nepietiekama dzesējamā objekta dzesēšana, neskatoties uz ilgstošu kompresora darbu.

## 6. Aukstuma iekārtas remonts

Plānotā *profilaktiskā remonta* veikšana ir svarīgs aukstuma iekārtas ilgstoša normāla darba priekšnoteikums. Remonta darbu apjomu un raksturu nosaka pēc rūpīgas iekārtas tehniskā stāvokļa un atsevišķu detaļu izdiluma pakāpes pārbaudes. Par remontējām iekārtām sastāda defektu aktus ar īsu defektu un to rašanās cēloņu aprakstu. Pēc defektu aktiem sastāda remonta kalendāro plānu un orientējošu remonta izmaksu tāmi.

Plānoto profilaktisko remontu izpilda periodā, kad ievērojami samazinās aukstuma patēriņš. Tā, piemēram, sadales saldētavu iekārtu remontu veic ziemā. Remonta veikšanai organizē brigādes



no kadriem, kuri pārzina remonta tehniku, un apgādā tās ar nepieciešamajiem materiāliem, rezerves daļām un instrumentiem. Izšķir siko, vidējo un kapitālo remontu.

*Siko remontu* veic ik pēc 720 iekārtas darba stundām, novēršot sīkus defektus. Tas dod iespēju bez traucējumiem darbināt aukstuma iekārtu periodā starp remontiem. Kompresoram iztīra un izmazgā atsevišķus mezglus, apmaina ātri dilstošas detaļas, pārbauda savienojumu sastiprinājumus, regulē atstarpes kustošajos mehānismos un apmaina eļļu. Siltumapmaiņas aparātiem pārbauda un remontē armatūru, novērš sūces un tīra sildvirsmas. Siko remontu izpilda pēc grafika 8... 12 stundās.

*Vidējo remontu* veic vienu reizi gadā (parasti ziemā). Remonta periodā pilnīgi izjauc kompresoru un izpilda tādus darbus, kurus nav iespējams veikt sīkā remonta laikā. Tā, piemēram, ieļej gultņos bābitu, pieslīpē darba virsmas, remontē un nomaina vārstus, blīvslēgus, filtrus, sūkņus, bojātas caurules siltumapmaiņas aparātos utt. Vidējā remonta izpildes laiks ir apmēram viens mēnesis.

*Kapitālais remonts* ir atbildīgs darbu komplekss, kura laikā remontē un apmaina lielas detaļas un mezglus, lai pilnīgi atjaunotu iekārtas darba spējas. Sādu remontu veic pēc ilgstoša iekārtas darba (5 gadiem un vairāk), ja konstatē svarīgāko detaļu lielu izdilu, piemēram, pārvirpo un izslīpē cilindrus, izslīpē klokvārpstas gultņu kakliņus, apmaina virzuļus utt. Augstas kvalitātes materiālu lietošana un paaugstināta detaļu apstrādes precizitāte ievērojami palielina iekārtas darbmužu līdz kapitālajam remontam. Dažas operācijas, kuras agrāk attiecās uz kapitālo remontu, tagad var veikt vienkārši, apmainot izdilušās detaļas, piemēram, nav jāpārvinpo blokkartera kompresoru cilindri ar maināmām čaulām. Daudzos gadījumos nav mērķtiecīgi kapitāli remontēt nolietojušos iekārtu — izdevīgāk to nomainīt ar jaunu, modernāku un augstāzīgāku.

## 7. Drošības tehnika aukstuma iekārtas ekspluatācijā

Ekspluatējot aukstuma iekārtas, iespējamās avārijas, kuru cēlonis galvenokārt ir nepareiza apkalpe. Avārijas ne tikai bojā aukstuma iekārtu, bet aukstuma aģentu indīguma un sprādzienu nedrošības dēļ apdraud apkalpojošā personāla veselību un dzīvību. Pat, lietojot samērā nekaitīgo freonu-12, iespējama noslāpšana, ja freona-12 tvaiku daudzums gaisā pārsniedz 30%. Freonam-12 sadaloties temperatūrā virs 400°C, rodas indīgi savienojumi. Apkalpojošam personālam bīstams ir arī paaugstinātais spiediens kompresorā un aparātos, kā arī iespēja apsaldēt ādu un traumēt acis, nokļūstot šķidrājam amonjakam vai freonam-12 uz cilvēka ķermeņa.

Lai novērstu avārijas, pasargātu apkalpojošā personāla dzīvību un veselību, kā arī saglabātu vērtīgo iekārtu, nepieciešams stingri

ievērot aukstuma iekārtu ekspluatācijas drošības tehnikas noteikumus. Šie noteikumi sastādīti, ņemot vērā aukstuma aģentu īpašības un aukstuma iekārtas aukstuma ražīgumu. Pēc šīm pazīmēm aukstuma iekārtas iedala grupās.

*Amonjaka* iekārtas ar nominālo aukstuma ražīgumu virs 100 000 kcal/h un divpakāpju aukstuma iekārtas ietilpst A grupā; iekārtas ar nominālo aukstuma ražīgumu 15 000...100 000 kcal/h — B grupā; iekārtas ar nominālo aukstuma ražīgumu, mazāku par 15 000 kcal/h, C grupā.

*Freona* aukstuma iekārtas ar kompresora virzuļa 1 stundā aprakstīto tilpumu, lielāku par 62 m<sup>3</sup>/h, ietilpst A grupā; iekārtas ar virzuļa aprakstīto tilpumu 62 m<sup>3</sup>/h un mazāku B grupā. Iekārtas ar centrēdzes kompresoriem ietilpst A grupā.

Vairākpakāpju un kaskādes tipa iekārtas grupu nosaka zemspiediena kompresora virzuļa laika vienībā aprakstītais tilpums. Atbilstoši virzuļa aprakstītajam tilpumam A grupai pieder freona-12 kompresori ar nominālo aukstuma ražīgumu ( $t_0=15^{\circ}\text{C}$ ;  $t_k=-30^{\circ}\text{C}$ ;  $t_t=15^{\circ}\text{C}$ ), lielāku par 12 000 kcal/h, B grupai — ar nominālo aukstuma ražīgumu 12 000 kcal/h un mazāku.

Aukstuma iekārtas drīkst apkalpot tikai personāls, kam izdarīta medicīniskā pārbaude un kam ir apliecības par attiecīgas mācību iestādes vai kursu beigšanu, kuri dod tiesības apkalpot aukstuma iekārtas. Instrukcija par drošības tehniku obligāta visiem no jauna pieņemtajiem darbiniekiem neatkarīgi no viņu stāža un kvalifikācijas. Periodisku apkalpojošā personāla zināšanu pārbaudi ne retāk kā reizi gadā veic speciāla komisija, kuru apstiprina rūpnīcas vadība. Pārbaudes rezultātus ieraksta speciālā žurnālā.

Apkalpojošajam personālam jāzina iekārtas darbības princips, uzbūve, ekspluatācijas un drošības tehnikas noteikumi; aukstuma mašīnas darbības fizikālie pamati; aukstuma aģenta raksturojums un īpašības; aukstuma iekārtas darba režīms; iekārtas remonta un uzpildīšanas noteikumi; vienkāršākie elektromontāžas darbi; atskaites dokumentu sastādīšana par aukstuma iekārtas darbu.

Aparātu reģistrāciju un pārbaudi izdara uzņēmums vai valsts tehniskās uzraudzības orgāni (atkarībā no kārtības, kādu noteikuši republikas valsts tehniskās uzraudzības orgāni). Uzņēmumā ar pavēli jāapstiprina persona, kas atbildīga par aukstuma iekārtas ekspluatācijas drošību un tehnisko uzraudzību.

Mašīnu zālē redzamā vietā jābūt izliktām instrukcijām par aukstuma iekārtas ekspluatāciju, pirmās palīdzības sniegšanu cietušajiem, ātrās palīdzības un ugunsdzēsēju komandas telefonu numuri; pie automātiskajām iekārtām jābūt tās organizācijas telefona numuram, kura iekārtu uzrauga. Bez tam mašīnu zālē jāizkras instrukcijas par mašīnu un aparātu apkalpi, kā arī aukstuma aģenta, sāls šķīduma vadu un ūdensvadu shēmas.

Jaunu samontētu aukstuma iekārtu pieņem ekspluatācijā ar arodbiedrības tehniskās inspekcijas pārstāvja piedalīšanos. Iekārtu



pieņemot, jābūt šādiem dokumentiem: iekārtas projekts, celtniecības un montāžas darbu izpildes akti; iekārtas hermētiskuma un izturības pārbaudes akti; aukstuma iekārtas pases.

Nepiederošām personām mašīnu un aparātu zālē uzturēties aizliegts. Ārpusē pie durvīm jābūt uzstādītai zvana pogai apkalpojošā personāla izsaukšanai.

Aukstuma iekārtu nedrīkst nodot ekspluatācijā, ja manometrus nav pārbaudījis un aizplombējis Valsts standartu komitejas pilnvarotais.

Automātiskās regulēšanas un drošības ierīces — pludiņa tipa regulējošie ventiļi, termoregulatori un spiediena regulatori, ūdens regulatori, elektriskie ventiļi, distances līmeņrāži un caurplūdes releji — ne retāk kā reizi gadā rūpīgi jāpārbauda un jāregulē. Aizliegts lietot bojātas ierīces.

Izdarot cilindru, kartera, eļļas atdalītāja un citu aparātu iekšējo apskati, apgaismošanai drīkst lietot pārnesamās elektriskās spuldzes sprādzienu drošā izpildījumā ar spriegumu, ne lielāku par 12 V, kuras droši pasargātas no mehāniskas bojāšanās. Iekšējās apskates laikā lietot atklātu uguni aizliegts.

Izlaižot eļļu no eļļas savācējiem, eļļas atdalītājiem un citiem aparātiem, kā arī atgaisojot rešiverus un kondensatorus, jālieto amonjaka gāzmaska un gumijas cimdi.

Uzpildot iekārtu, aizliegts jebkādā veidā sildīt amonjaka balonus, aizliegts pievienot balonu caur gumijas šļūteni. Aizliegts izmērit kaitīgo telpu, kompresoram darbojoties. Aizliegts pieskarties pie ieslēgtu mašīnu kustošajām daļām, kā arī automatizēto mašīnu kustošajām daļām mašīnu dikstāves laikā.

Mašīnu zālē atrodas aukstuma iekārtas darba žurnāls, kurā mašīnists atzīmē visus aukstuma iekārtas darba rādītājus, traucējumus un avārijas. Ierakstus žurnālā pārbauda atbildīgā persona ne retāk kā divas reizes mēnesī.

Telpā, kur ieplūdis amonjaka tvaiks, bez gāzmaskas ieiet aizliegts. Avārijas darbus šādā telpā atļauts veikt ne mazāk kā diviem cilvēkiem. Gāzmaskas un citi individuālās aizsardzības līdzekļi visam maiņas personālam glabājas mašīnu zālē speciālā skapī ar stiklotām durvīm. Mašīnu zāles ārpusē blakus ieejas durvīm jānovieto rezerves gāzmaskas. Gāzmaskām ne retāk kā reizi sešos mēnešos pārbauda amonjaka caurlaidību.

Pirmā palīdzība, ja notikusi saindēšanās ar amonjaku. Cietušais jāizved svaigā gaisā vai tīrā, siltā telpā. Ja nepieciešams, jāizdara mākslīgā elpināšana. Cietušais jāatbrīvo no apģērba, kas traucē elpošanu. Netīrais apģērbs jānomaina un cietušajam jādod pilnīgs miers. Cietušajam jādod ieelpot silts tvaiks, kas satur 1...2% citronskābes (no tējkanas caur papīra cauruli), jādod dzert stipru saldu tēju, kafiju, limonādi vai 3% pienskābes šķīdumu. Visos saindēšanās gadījumos ieteicams cietušajam dot 30...45 minūtes ieelpot skābekli, kā arī sasildīt cietušo ar termoforiem. Ja

cietušais aizmidzis un iespējama sāpju sajūtas mazināšanās, jāuzmanās, lai nerastos apdegumi. Ja ir applaucēšanās pazīmes, nepieciešams izskalot degunu un rīkli ar 2% dzeramās sodas šķīdumu vai ūdeni. Neatkarīgi no cietušā stāvokļa tas jānogādā pie ārsta. Ja ir klepus un smakšanas pazīmes, cietušo transportē gulošā stāvoklī.

Amonjakam iekļūstot acīs, tās jāskalo ar tīru ūdens strūklu, līdz ārsta apskatei jāuzliek tumšas brilles. Nedrīkst acis pārsiet.

Ja amonjaks nokļuvis uz ādas un radušies apdegumi, apdegušo vietu noskalo ar ūdens strūklu, pēc tam cietušo locekli iegremdē siltā ūdenī (35...40°C) uz 5 minūtēm. Ja cietusi lielāka ķermeņa virsmas daļa, cietušo ieliek vannā. Pēc vannas ādu nosusina ar mikstu dvieli, bet nedrīkst berzēt. Pēc tam cietušo ādas daļu ieziež ar Višņevska vai penicilīna ziedi. Ja ziedes nav, lieto sviestu vai saulespuķu eļļu. Ja uz ādas rodas tūlznas, tās nepārspiežot uzliek pārsēju ar ziedi.

**Pirmā palīdzība cilvēkam, kas cietis no freona.** Ja cilvēks cieš no smakšanas, kuru izraisa skābekļa trūkums telpā, kas pildīta ar freonu, cietušais nekavējoties jānogādā svaigā gaisā un līdz ārsta ierašanās jāizdara mākslīgā elpināšana (ja cietušais pārstājis elpot). Vēlams cietušajam dot ieelpot skābekli. Vispārēja vājuma gadījumā dod stipru tēju vai kafiju. Ja, nokļūstot šķidrājam freonam uz ādas, rodas apsaldējumi, apsaldēto ādas daļu berzē ar sterilu vates vai marles tamponu, kamēr atjaunojas jutība un āda kļūst sāta. Ja uz ādas veidojas tūlznas, ādu berzēt nedrīkst.

Ja freons iekļuvis acīs, tās jāmazgā ar ūdens strūklu (istabas temperatūrā), pēc tam iepilinoj tajās vazelīna eļļu.

## 8. Atskaite par aukstuma iekārtas tehnisko ekspluatāciju

Atskaiti par aukstuma iekārtas tehnisko ekspluatāciju sastāda katru mēnesi. Atskaite nepieciešama iekārtas darba kontrolei un ekonomiskās efektivitātes noteikšanai.

Atskaiti sastāda pēc mašīnu nodaļas darba žurnāla ierakstiem. Pēc ierakstiem aprēķina vidējo mēneša iztvaikošanas, kondensācijas, pārdzesēšanas, sūkšanas, saspīstā tvaika, ūdens, sāls šķīduma un gaisa temperatūru, kā arī sāls šķīduma blīvumu. Pēc temperatūras režīma un darba stundu skaita aprēķina katra kompresora saražoto aukstuma daudzumu, t. i.,

$$Q = \frac{V_h q_v \lambda h}{1000} \quad (\text{MJ}), \quad (\text{XII-1})$$

kur  $V_h$  — kompresora virzuļa 1 stundā aprakstītais tilpums ( $\text{m}^3/\text{h}$ );  
 $\lambda$  — padeves koeficients;



$q_v$  — aukstuma aģenta īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums ( $\text{kJ}/\text{m}^3$ );

$h$  — kompresora darba stundu skaits.

Divpakāpju kompresora saražoto aukstuma daudzumu aprēķina pēc zemspiediena cilindra aukstuma ražīguma, nosakot padeves koeficientu  $\lambda$  atkarībā no spiedienu attiecības starptraukā un iztvaiņotājā.

Elektroenerģijas patēriņu aukstuma ražošanai nosaka pēc skaitītāja rādījumiem, bet ūdens patēriņu — pēc ūdens mērītāja rādījumiem.

Iekārtas darba ekonomisko efektivitāti novērtē pēc īpatnējiem elektroenerģijas, ūdens, aukstuma aģenta, ziežvielu, remonta un apkalpes izdevumiem. Analizējot šos rādītājus, var plānot pasākumus iekārtas darba uzlabošanai.

## XIII nodaļa

### AUKSTUMTEHNIKAS PIELIETOŠANA

Pārtikas rūpniecības, ķīmiskās rūpniecības, naftas un gāzes rūpniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumu attīstība nav iedomājama bez aukstumtehnikas izmantošanas, bez pilnveidotu un ekonomisku aukstuma mašīnu lietošanas.

Bez šiem galvenajiem mākslīgā aukstuma patērētājiem to izmanto vēl citās tautas saimniecības nozarēs — celtniecībā, metālu apstrādē, gaisa kondicionēšanā, transportā, lauksaimniecībā, māj-saimniecībā un citur.

Sajā nodaļā aplūkoti mūsu republikai raksturīgākie mākslīgā aukstuma izmantošanas veidi.

#### 1. Pārtikas produktu dzesēšana

Pārtikas produktus dzesējot, to temperatūru pazemina līdz *krioskopiskajai* jeb sulas sasalšanas temperatūrai, bet ne zemāk par to. Atdzesētu produktu temperatūra ir robežās no 0°C līdz 5°C. Atdzesēti produkti var samērā ilgi saglabāt savas sākotnējās īpašības bez ievērojamām kvalitātes izmaiņām. Tā, piemēram, atdzesētas zivis var uzglābāt līdz 10 dienām, gaļu — 20...30 dienas, augļus un olas — dažus mēnešus. Lai produktus labāk saglabātu, tie jāatdzesē nekavējoties — tūlī pēc to iegūšanas.

Dzesējot produkta temperatūra pazeminās pēc Furjē siltuma vadīšanas likuma cietos ķermeņos nestacionārā režīmā. Sākumā atdziest ķermeņa virskārta, bet pēc tam pakāpeniski ķermeņa dziļākie slāņi. Pēc laika ķermeņa visu slāņu temperatūras kļūst vienādas un tuvas ārējās vides temperatūrai.

Ķermeņa atdzesēšanas ātrums un ārējai videi atdotais siltuma daudzums nav nemainīgi lielumi (XIII-1. att.). Tie ir tieši proporcionāli dzesējamā ķermeņa un dzesējošās vides temperatūru starpībai. Vislielākie tie ir atdzesēšanas sākumā, bet atdzesēšanas beigās kļūst vienādi ar nulli.

Produktu dzesēšanai atkarībā no to dabiskajām īpašībām lieto dažādas dzesējošās vides. Dzesēšana *gaisā* ir universāls paņē-



miens, kura galvenais trūkums ir samērā mazais dzesēšanas ātrums, jo siltuma atdeves koeficients no produkta uz gaisu ir mazs. Dzesējot produktu gaisā, siltuma apmaiņa notiek ar konvekciju, starošanu un mitruma iztvaikošanu no mitrā produkta virsmas. Mitruma iztvaikošana samazina produkta masu un pasliktina tā ārējo izskatu. Samazinot produkta dzesēšanas laiku, var samazināt produkta nožuvumu. Lai paātrinātu dzesēšanu, pazemina gaisa temperatūru  $t_g$  un palielina tā cirkulācijas ātrumu aukstuma kamerā. Kā apstiprina pētījumi, ar gaisa kustības ātruma palielināšanos produkta nožuvums laika vienībā pieaug, bet, tā kā ievērojami palielinās siltuma atdeves koeficients  $\alpha$  un samazinās dzesēšanas laiks, tad masas zudumi visā dzesēšanas laikā samazinās.

Dzesēšana šķidrumā (ūdenī, sāls šķīdumā) notiek ātrāk nekā gaisā, it sevišķi dzesēšanas sākumā, kad siltums no dziļākajiem slāņiem intensīvi pieplūst produkta virsmai. Tomēr daudziem produktiem šis paņēmieni neder, jo notiek virsmas atkrāsošanās, uzbriecšana, sāļšanās un citi procesi, kas pasliktina produkta kvalitāti un ārējo izskatu.

Iespējama arī dzesēšana ar ledu un ledus-ūdens maisījumu.

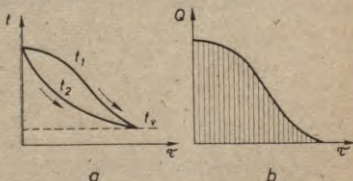
Gaļu, putnus, olas, augļus, iesaiņotus piena produktus un konditorejas izstrādājumus parasti dzesē ar gaisu. Aukstos šķidrums dzesē zivis, putnu kautķermeņus un vīnu pudelēs. Siltumapmaiņas aparātos dzesē šķidrums produktus — pienu, krējumu, sulas, vīnu un citus. Kūstošā ledū dzesē zivis, putnus, dzērienus pudelēs un dažus dārzeņus.

**Gaļas dzesēšana.** Dzesējamās kautķermeņus aukstuma kamerās pakar pie zemgriestu sliekšņu ceļiem. Kamerās ar ventilatoriem nodrošina intensīvu gaisa cirkulāciju. Attālums starp zemgriestu ceļu sliekšņiem ir 0,8...1 m, sliekšņu noslodze 200...280 kg/m, vidējā kameras noslodze 250 kg/m<sup>2</sup>.

Gaļas subproduktus dzesē uz paplātēm, kuras aukstuma kamerā novieto uz pakarinātiem vai pārvietojamiem plauktiem.

Dzesējošā gaisa temperatūrai jābūt  $-1...0^{\circ}\text{C}$ , bet relatīvajam mitrumam 92...95%. Ja gaisa cirkulācija intensīva, liellopu gaļas atdzesēšana ilgst apmēram diennakti. Gaļu uzskata par atdzesētu, ja temperatūra gūžas muskuļa vidū sasniedz  $+4^{\circ}\text{C}$ , bet uz virsmas izveidojusies apzuvusi gāroziņa, kas pasargā gaļu no mikrobu iekļūšanas un neļauj izdalīties aromātiskajām vielām.

Dzesēšanas laikā mitruma iztvaikošanas dēļ zūd 1...1,5% no gaļas masas.

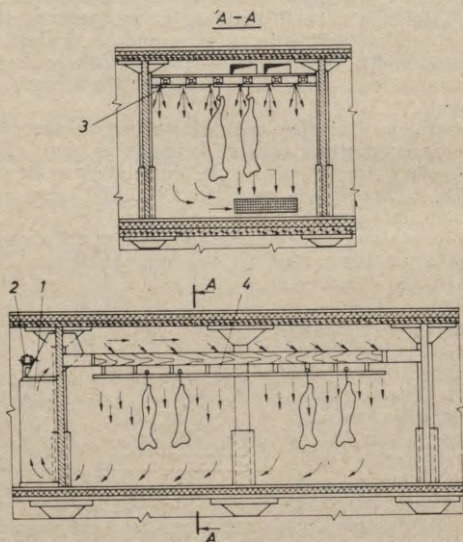


XIII-1. *aff.* Dzesējamā produkta temperatūras (a) un no tā aizvadītā siltuma daudzuma (b) atkarība no dzesēšanas laika:  $t_v$  — dzesējošās vides temperatūra;  $t_1$  un  $t_2$  — produkta virsmas un iekšienes temperatūra.

Galas dzesēšanai visbiežāk lieto sausos gaisa dzesētājus. Gaisa dzesētājā atdzesēto gaisu ievada *kanālā*, kas atrodas zem griestiem visā kameras platumā (XIII-2. att.). No kanāla caur spraugām gaiss zem spiediena nonāk aukstuma kamerā un dzesē pakārtos kautķermeņus. Šāda dzesēšanas metode nodrošina vienmērīgu gaisa sadalījumu kamerā un ātru visu kautķermeņu atdzesēšanu. Gaisa kustības ātrums starp kautķermeņiem ir 0,7...0,8 m/s.

Vēl ātrāk kautķermeņus atdzesē *tuneļu kamerās*, kuras dzesē ar sausajiem vai mitrajiem gaisa dzesētājiem (XIII-3. att.). Auksto gaisu ar ventilatoriem ievada telpā virs dubultgriestiem, no kurienes tas caur sprauslām ieplūst kamerā ar ātrumu 20 m/s. Telpā starp kautķermeņiem gaisa ātrums ir 4...5 m/s. Tuneļu kamerās dzesēšana var būt nepārtraukta. Tādā gadījumā kautķermeņus pa konveijeru virza eauri kamerai. Kameras var izmantot arī cikliskam darbam, t. i., pirms dzesēšanas kameru piekrauj ar kautķermeņiem, bet pēc atdzesēšanas iztukšo.

Teorētiski produkta atdzesēšanai nepieciešamais aukstuma daudzums ir vienāds ar dzesējamā produkta masas un entalpiju starpības reizinājumu.



XIII-2. att. Kamera galas dzesēšanai ar gaisa padevi caur griestiem:

1 — gaisa dzesētājs; 2 — ventilatori; 3 — gaisa izplūdes sprauga; 4 — zemgriestu ceļš.



Periodiskas darbības kamerās vislielākais aukstuma pateriņš ir dzesēšanas sākumā. Līdz ar produkta temperatūras pazemināšanos produkta un gaisa temperatūru starpība samazinās, tāpēc samazinās arī aukstuma pateriņš.

**Putnu un olu dzesēšana.** Visbiežāk putnus dzesē gaisā. Putnu kautķermeņus ietin papīrā un iesaiņo standartkastēs. Kastes bez vākiem novieto vienu virs otras uz kameras grīdas, liekot starp kastēm koka listes. Kameras gaisa temperatūra ir  $0 \dots -1^\circ\text{C}$ , relatīvais mitrums  $85 \dots 90\%$ , gaisa plūsmas ātrums  $1 \dots 1,5$  m/s, kameras noslodze  $180 \dots 200$  kg/m<sup>2</sup>.

Dzesēšanas beigās putnu temperatūra ir  $2 \dots 3^\circ\text{C}$ . Dzesēšanas ilgums atkarībā no kautķermeņa izmēra, barojuma, iesaiņojuma veida un gaisa cirkulācijas ap kautķermeņiem ir  $12 \dots 24$  stundas. Produkta nožuvums dzesējot nav lielāks par  $1,2\%$ .

Intensīvāka putnu dzesēšana notiek tuneļu kamerās, kuru gaisa temperatūra ir  $2^\circ\text{C}$ , relatīvais mitrums  $85 \dots 90\%$  un cirkulācijas ātrums  $4 \dots 5$  m/s. Kautķermeņus novieto uz pārvietojamu ratiņu režģveida plauktiem. Dzesēšanas laiks šādā režīmā ir  $4 \dots 6$  stundas.

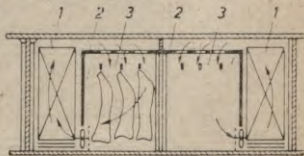
Arzēmēs putnu dzesēšanai plaši izmanto aukstu ūdeni. Ipašos grozos ievietotos kautķermeņus iegremdē ūdenī. Dzesēšana ilgst  $2 \dots 3$  stundas. Šādi dzesējot, novērsts nožuvums un iekraušanas un izkraušanas operācijas var pilnīgi mehanizēt.

Olas dzesē kastēs, kuras sakrauj grēdās ar starplikām starp rindām. Gaisa temperatūra aukstuma kamerās ir  $0 \dots -2^\circ\text{C}$ , relatīvais mitrums  $75 \dots 85\%$ . Ieteicams lietot gaisa dzesētājos vai kondicionētājos atdzesēta gaisa piespiedu cirkulāciju.

**Zivju dzesēšana.** Nekavējoša zivju atdzesēšana pēc nozvejas ir to galvenais kvalitātes saglabāšanas priekšnoteikums. Dzesēšanai lieto ledu, aukstu ūdeni vai  $3 \dots 4\%$  sāls šķīdumu. Dzesēšanu gaisā nepielieto, jo apžūst zivs virsma un bojājas izskats.

Zivis dzesē kastēs, mucās vai kuģu tilpnēs, liekot kārtām zivis un sasmalcinātu ledu. Sis ir vienkāršs, bet darbietilpīgs paņēmieni, sevišķi, ja lieto dabisko ledu. Netiek arī nodrošinātas sanitāri higiēniskās prasības.

Uz zvejas kuģiem ātrāk un efektīvāk zivis var dzesēt jūras ūdenī, kuru savukārt atdzesē aukstuma iekārtas iztvaikotājā. Jūras ūdens nepasliktina zivju garšu un vērtību, kā arī zivis nedeformējas un mehāniski nebojājas, kas notiek, dzesējot ar ledu. Jūras ūdeni var atdzesēt līdz  $-2^\circ\text{C}$ . Laba siltuma atdeve no zivs virsmas uz cirkulējošo šķīdumu palielina dzesēšanas ātrumu. Dzesēšanas ātrums, lietojot cirkulējošu ūdeni, ir 5 reizes lielāks, nekā lietojot ledu.



XIII-3. att. Tuneļu kamera gaļas dzesēšanai:

1 — gaisa dzesētājs; 2 — dubultgriesti;  
3 — kameras.

Savlaicīga, ātra un pilnīga (līdz krioskopiskajai temperatūrai) zivju atdzesēšana ievērojami palēnina bakteriālos un fermentatīvos procesus zivs ķermenī un dod iespēju palielināt atdzesētu zivju uzglabāšanas laiku.

Zivis aukstā jūras ūdenī atdziest laikā no dažām minūtēm līdz 1,5 stundām atkarībā no zivju izmēra un ūdens cirkulācijas intensitātes.

Saldūdenī dzesēšana notiek lēnāk, jo to nevar atdzesēt līdz tik zemai temperatūrai kā jūras ūdenī. Zivju temperatūra dzesēšanas beigās augstāka un pieļaujama uzglabāšanas laiks īsāks nekā jūras ūdenī atdzesētām zivīm. Saldūdenī intensīvāk notiek difūzijas un osmozes procesi, kuri izmaina produkta fizikālās un ķīmiskās īpašības (uzbriešana, šķīstošo slāpekļa savienojumu ekstrakcija u. c.). Ja dzesēšanai lieto saldūdeni, tam piejauc 3...4% vārāmā sāls.

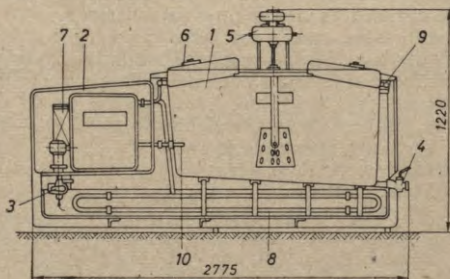
Zivis ūdenī dzesē ar iegremdēšanas paņēmieni, cirkulācijas tipa dzesētājos vai ar aprasināšanas paņēmieni.

Visizplatītākais ir *iegremdēšanas paņēmieni*. Nozvejotās zivis ievieto tvertnēs ar aukstu jūras ūdeni, kuru nepārtraukti dzesē ar aukstuma mašīnu. Lai dzesēšanu intensificētu, ūdeni maisa.

*Cirkulācijas tipa dzesētājos* zivis dzesē atdzesēta jūras ūdens plūsmā. Tā ir nepārtrauktas darbības iekārta, kas piemērota sīku zivju dzesēšanai.

Ar *aprasināšanas paņēmieni* var dzesēt dažāda izmēra zivis. Zivis dzesē tilpnēs uz režģu paliktņiem vai transportieriem.

**Piena un piena produktu dzesēšana.** Piena fermās piens pēc slaukšanas un attīrīšanas nekavējoties jāatdzesē līdz 4...6°C un jāuzglabā līdz nosūtīšanai uz pienotavu. Šādā temperatūrā var saglabāt pienu bez kvalitātes izmaiņām 18 stundas, nogādājot to pār-



XIII-4. att. Vanna BO-1000 piena dzesēšanai un uzglabāšanai fermā:

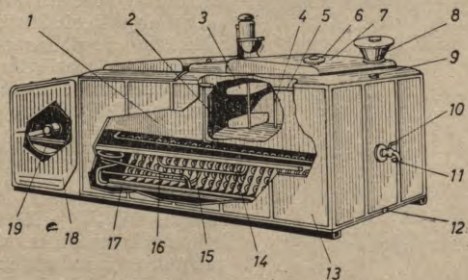
- 1 — vanna; 2 — mašīnas nodalījums; 3 — aukstā ūdens sūkņi; 4 — tukšošanas krāns; 5 — maisītāja mehānisms; 6 — piena iepildīšanas lūka; 7 — aukstuma agregāts; 8 — iztvaikotājs; 9 — perforēta caurule; 10 — termobalons.



strādāšanas uzņēmumiem vienu reizi diennaktī. Pienu līdz vēlamai temperatūrai atdzesē ar ledus ūdeni, aukstuma iekārtā atdzesētu ūdeni, kā arī pielietojot aukstuma aģenta (freona-12) tiešo iztvaici. Ledus sagāde, uzglabāšana un lietošana ir darbietilpīgs process, kā arī pasliktina sanitāros apstākļus fermā, tāpēc priekšroku dod mākslīgā aukstuma iekārtām.

Lietojot aukstuma iekārtas, pienu dzesē vai nu tieši uzglabāšanas tvertnēs (tankos, vannās), vai arī caurplūdes tipa dzesētājos, atdzesēto produktu uzglabājot izolētās tvertnēs. Pirmajam papēmienam ir tā priekšrocība, ka iespējams uzturēt nemainīgu atdzesētā piena temperatūru. Tomēr pašam atdzesēšanas procesam jāpatērē ilgāks laiks, nekā lietojot caurplūdes tipa dzesētājus, kuros piens sasniedz uzglabāšanas temperatūru tūlīt pēc izslaukšanas.

Vissavienības Piena rūpniecības zinātniskās pētniecības institūts (ВНИМИ) izstrādājis *piena filtrācijas, dzesēšanas un uzglabāšanas vannas* BO-1000 konstrukciju (XIII-4. att.). Vanna izgatavota no nerūsējoša tērauda ar dubultsienām. No ārpuses tā izolēta ar stikla vati. Starpsienu telpas augšā pie vannas iekšējās sienas pa perimetru novietota perforēta caurule — aprasinātājs, no kura aukstais ūdens apskalo vannas sienu. Zem vannas novietots cauruļu tipa iztvaikotājs, kas pievienots pie freona aukstuma agregāta ИФ-56 ar aukstuma ražīgumu 3000 kcal/h. Ūdeni, kura līmenis ir 15...20 mm virs iztvaikotāja augšējās caurules, atdzesē līdz 0°C un ar sūkni pievada aprasinātājam. Aukstuma agregātu ieslēdz 1,5 stundas pirms piena iepildīšanas. Sajā laikā uz iztvaikotāja virsmas uzsalst 10...15 mm bieza ledus kārtā, kas akumulē aukstumu. Pienu vannā apmaisa ar mehānisku maisītāju. Līdz temperatūrai 4...5°C piens atdziest 1,5...2 stundās. Pēc atdzesēšanas pienu



XIII-5. att. Piena dzesēšanas tanks TOM-2,0A:

1 — piena tvertne; 2 — termobalons; 3 — maisītājs; 4 — mērlīnēāls; 5 — aprasināšanas sistēma; 6 — lūkas vāks; 7 — tanka vāks; 8 — piena filtrs; 9 — ūdens ielietne; 10 — piena krāns; 11 — kontroles caurule; 12 — tukšošanas izvads; 13 — tanka korpuss; 14 — paneļu tipa iztvaikotājs; 15 — sūcējvads; 16 — šķidruma cauruļvads; 17 — ūdens kolektors; 18 — aizsargrežģis; 19 — kompresora-kondensatora agregāts.

šajā vannā arī uzglabā. Ja glabāšanas laikā tā temperatūra paaugstinās, aukstuma agregāts automātiski ieslēdzas.

Līdzīgs pēc konstrukcijas ir *piena dzesēšanas tanks TOM-2,0A* (XIII-5. att.). Dzesējošā ūdens atdzesēšanai un ledus uzsaldešanai zem piena tvertnes uzstādīts paneļu tipa iztvaikotājs. Piens šādā tvertnē atdziest 2,5 stundās.

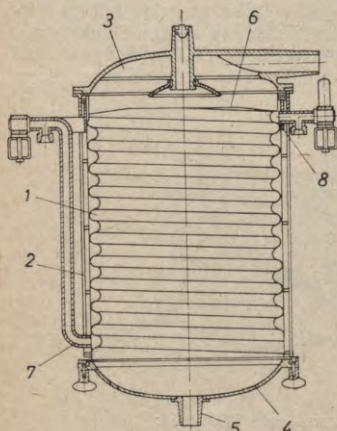
#### Piena dzesēšanas tvertņu tehniskais raksturojums

Marka	BO-1000	TOM-2,0A
Piena tvertnes ģeometriskais tilpums (l)	1150	2000
Piena tvertnes darba tilpums (l)	1000	1800
Aukstuma mašīnas ražīgums (kcal/h)	3000	11 500
Kompresora elektrodzinēja jauda (kW)	2,8	4,5
Iztvaikotāja sildvirsmas laukums (m <sup>2</sup> )	20	21,4
Izmēri (mm):		
garums	2775	4037
platums	1230	1667
augstums	1720	1175
Masa (kg)	1180	1518

Fermās, kur pienu slauc piena vadā, *lieto caurplūdes tipa slēgtos vakuuma dzesētājus* (XIII-6. att.).

Piens no slaukšanas aparātiem iziet caur filtru, kas ievietots piena vadā, attīrās no mehāniskajiem piemaisījumiem un nonāk uz

dzesētāja cilindra viļņveidīgās virsmas. No dzesētāja atdzesēto pienu aizvada caur iscauruli, kas atrodas dzesētāja dibenā. Pienu dzesētājam pievada ar vakuumu, bet no dzesētāja pienu izsūknē ar speciālu piena sūkni vai arī ar paštecī aizvada uz hermētiskām uzglabāšanas tvertnēm, kuras pieslēgtas pie vakuuma sistēmas. Dzesētāja ražīgums ir 350 l/h. Dzesējošo ūdeni atdzesē aukstuma iekārtas MXV-8 iztvaikotāja tvertnē un ar cirkulācijas sūkni pievada piena dzesētājam. Aukstuma iekārtā MXV-8 (XIII-7. att.) ietilpst kompresors ФВ-6, ar gaisu dzesējams kondensators un paneļu tipa iztvaikotājs. Kompresors un kondensators novietoti uz iztvaikotāja tvertnes. Aukstuma iekārtu ieslēdz apmēram stundu pirms piena dzesēšanas. Šajā laikā uz iztvaikotāja



XIII-6. att. Piena vakuuma dzesētājs:

- 1 — gofrēts cilindrs; 2 — ārējais cilindrs;  
 3 — vāks; 4 — dibens; 5 — piena izvads;  
 6 — sadales šķīvīš ar urbumiem; 7 un 8 — ūdens pievads un izvads.



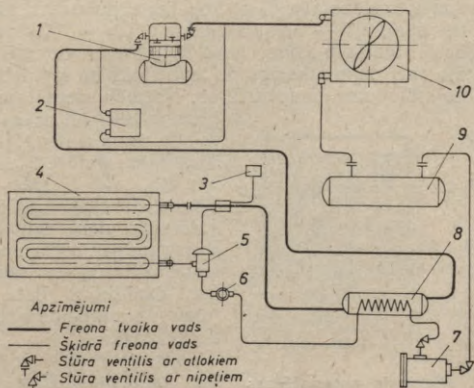
virsmas uzsaldē 20...30 mm biezu ledus kārtu. Ledū akumulēto aukstumu lieto piena dzesēšanas laikā — tas dod iespēju iztikt ar mazāka ražīguma aukstuma iekārtām. Iekārtas MXY-8 aukstuma ražīgums ir 8000 kcal/h. Iekārta tiek pilnīgi samontēta rūpnīcā, pēc pieslēgšanas pie elektrotīkla un uzpildīšanas tā gatava lietošanai.

Piena dzesēšanas un uzglabāšanas iekārta ar darba tilpumu 4000 l (XIII-8. att.) raksturīga ar to, ka pienu dzesē ar freona tiešu iztvaici cauruļu tipa dzesētājā, t. i., piens plūst pa caurulēm, bet freons iztvaiko starpcauruļu telpā. Iekārta sastāv no piena pieņemšanas tvertnes, piena dzesētāja, vertikāla izolēta tanka ar maisītāju, kompresora-kondensatora agregāta, regulēšanas stacijas un piena sūkņa.

#### Iekārtas ar tilpumu 4000 l tehniskais raksturojums

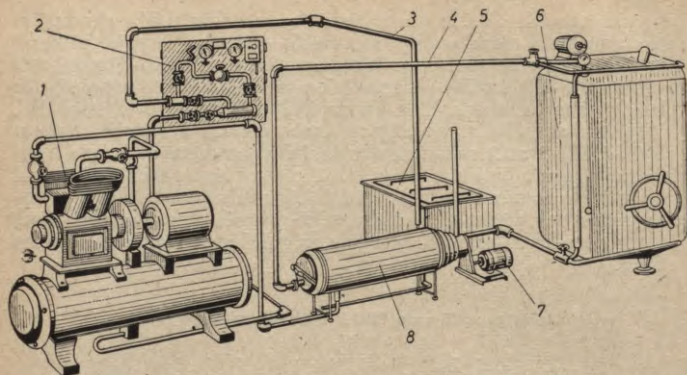
Ražīgums (l/h) . . . . .	1000
Tanka tilpums (l) . . . . .	4000
Aukstuma mašīnas ražīgums (kcal/h) . . . . .	30 000
Uzstādītā jauda (kW) . . . . .	22
Uzstādīšanai nepieciešamais laukums (m <sup>2</sup> ) . . . . .	10
Masa (kg) . . . . .	3070

Izolētājā tankā līdz 5 °C atdzesēta piena temperatūra 12 stundās paaugstinās par 2 °C. Pienu no tanka uz autocisternu pārsūknē ar sūkni. Pabeidzot dzesēšanu, automātiskās ierīces izslēdz aukstuma mašīnu.



XIII-7. att. Aukstuma iekārtas MXY-8 shēma:

1 — kompresors; 2 — spiediena relejs; 3 — termorelejs; 4 — iztvaikotājs; 5 — termoregulējošais ventīlis; 6 — novērošanas stikls; 7 — filtrs-mitrumatdalītājs; 8 — siltumapmainītājs; 9 — rezervers; 10 — kondensators.



XIII-8. att. Piena pieņemšanas, dzesēšanas un uzglabāšanas iekārta ar darba tilpumu 4000 l:

1 — freona aukstuma iekārta; 2 — regulēšanas stacija АИР-60; 3 — freona cauruļvads; 4 — piena vads; 5 — piena tvertne; 6 — piena tanks ar maisītāju un izolāciju; 7 — piena sūkņis ОЦН-5; 8 — apvilkta cauruļu kūļa iztvaikotājs (piena dzesētājs).

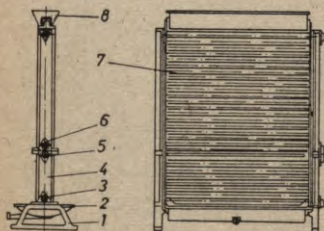
Piena rūpniecības uzņēmumos svaigā un pasterizētā piena dzesēšanai lieto aprasināšanas, plāksņu un cauruļu tipa dzesētājus.

Plakano aprasināšanas tipa divsekciju dzesētāju (XIII-9. att.) augšējā sekcijā, kas sastāda  $\frac{2}{3}$  no kopējās sildvirsmas, pienu dzesē ar ūdeni, bet apakšējā — ar sāls šķīdumu ( $t = -5^{\circ}\text{C}$ ) vai ar aukstuma iekārtā atdzesētu ūdeni ( $t = 2^{\circ}\text{C}$ ). Pienu atdzesē līdz  $4^{\circ}\text{C}$ .

Dzesētāja ražīgums atkarīgs no ieplūstošā un izplūstošā piena, ūdens un sāls šķīduma temperatūras. Normāls dzesētāja noslogojums ir 1000 l/h uz katru dzesētāja garuma metru. 1 l piena atdzesēšanai patērē 2...3 l ūdens un 1,5...2 l sāls šķīduma.

Ūdens dzesētāja augšējā sekcijā atdzesētā piena temperatūra ir apmēram par  $3^{\circ}\text{C}$  augstāka nekā ieplūstošā ūdens temperatūra. Šos dzesētājus lieto arī krējuma un saldējuma maisījuma dzesēšanai.

Visizplatītākie ir hermētiskie plāksņu tipa dzesētāji (XIII-10. att.). Tie ir izjaucami siltumapmaiņas aparāti, kuri sastāv no divām sekcijām — ar ūdens un sāls šķīduma



XIII-9. att. Plakana aprasināšanas tipa divsekciju piena dzesētājs:

1 — statne; 2 — atdzesētā piena savācējs; 3 un 5 — sāls šķīduma pievads un izvads; 4 — kolektors ar vāku; 6 — ūdens pievads; 7 — caurules; 8 — piena uztveršanas un sadales silīte.



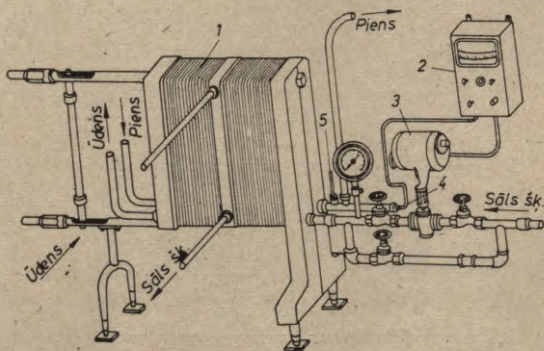
dzesēšanu. Sekcijas sastāda no vienāda tipa plāksnēm, kuras kopā ar gumijas blīvēm saspiež skrūves mehānisms. Katrā plāksņu sekcijā izveido divas izolētas — piena un dzesējošā šķiduma kanālu sistēmas. Pienu-caur dzesētāju vada sūkņi.

Piena pasterizāciju un tai sekojošo dzesēšanu var veikt universālā siltumapmaiņas aparātā, kas sastāv no reģenerācijas, pasterizācijas un divām dzesēšanas sekcijām (XIII-11. att.). Pienu vispirms uzsilda reģenerācijas sekcijā ar pasterizētu pienu. Pēc tam to pasterizē pasterizācijas sekcijā, sildot ar karstu ūdeni vai tvaiku, un atdzesē ūdens un sāls šķiduma dzesēšanas sekcijās.

Plāksņu tipa dzesētājus lieto arī citās pārtikas rūpniecības nozarēs — alus, vīna, bezalkoholisko un citu dzērienu dzesēšanai.

Dzesēšanu plaši pielieto arī sviesta, skāba krējuma, biezpiena, kefira un citu piena produktu ražošanā. Tā, piemēram, sviesta ražošanai paredzēto krējumu fizikālās un bakteriālās nogatavināšanas laikā dzesē speciālās vannās vai tankos; kulšanas laikā atdzesē sviestu, lai uzlabotu tā konsistenci un samazinātu tauku zudumus ar paniņām; gatavo sviestu tālāk atdzesē kamerās zem  $0^{\circ}\text{C}$ . Arī siera ražošanas dažādās stadijās dzesēšanu lieto, lai radītu apstākļus, kas regulē vēlamās vai kaitīgās mikrofloras darbību; sieru sālot, ar dzesēšanu panāk vienmērīgu sāls difūziju siera masā; nogatavināšanas laikā dzesēšana palielina siera iznākumu un samazina nožuvumu.

Saldētāvās bieži jādzesē krējums, biezpiens, siers, kura temperatūrai jābūt augstākai par  $0^{\circ}\text{C}$ . Šim nolūkam lieto aukstuma kameras ar gaisa dzesēšanas sistēmu, kurās uztur temperatūru  $-1 \dots -2^{\circ}\text{C}$ .



XIII-10. att. Plāksņu tipa dzesētājs OOO-M:

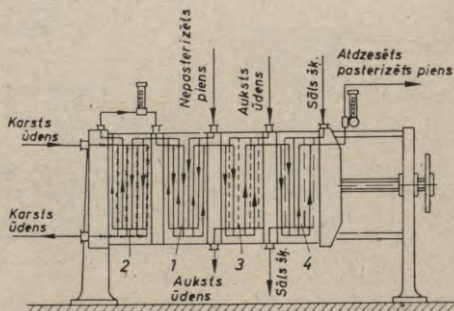
- 1 — plāksņu aparāts; 2 — vadības pulsts; 3 — izpildmehānisms;  
4 — pretestības termometrs; 5 — dzīvsudraba termometrs.

**Augļu un dārzeņu dzesēšana.** Ilgstošai uzglabāšanai un transportēšanai paredzētos augļus un dārzeņus atdzesē aukstuma kamerās ar intensīvu gaisa cirkulāciju. Kameras augļu un dārzeņu dzesēšanai un uzglabāšanai ierīko kolhozos, sovhozos, augļu uzglabāšanas saldētavās, konservu un vīna ražošanas rūpnīcās.

Gaisa dzesētāji kamerās uztur temperatūru  $0 \dots -1^{\circ}\text{C}$  un relatīvo mitrumu  $85 \dots 95\%$ . Kastes ar augļiem novieto grēdās šahveidā, liekot starp kastēm līstes, lai sekmētu gaisa piekļūšanu augļiem no visām pusēm. Dzesēšanas laikā kamerā rada intensīvu gaisa cirkulāciju (gaisa apmaiņa kamerā notiek  $60 \dots 120$  reizes stundā). Augļus no  $+25^{\circ}\text{C}$  līdz  $+4^{\circ}\text{C}$  temperatūrai atdzesē 20 stundu laikā. Kameru ražīgumu aprēķina atkarībā no diennaktī kamerā ievietotā augļu daudzuma.

Dažās valstīs (ASV, Bulgārijā) augļu dzesēšanai pielieto gaisaledus dzesēšanas paņēmieni. Kamerās ierīko speciālus bunkurus, kurus piepilda ar ledu. Ventilatori sūc gaisu caur augļu kastu grēdām, vada to cauri ledum un pa spiedvadu sistēmu vienmērīgā plūsmā ievada aukstuma kamerā. Šajā gadījumā kamerā panāk lielāku gaisa mitrumu un organizētas gaisa cirkulācijas dēļ arī dzesēšana notiek intensīvāk.

Augļus un dārzeņus transportējot lielos atstatumos, tos dzesē izotermiskajos vagonos, pūšot cauri gaisu ar ventilatoriem. Gaisa dzesēšanai lieto stacionāras aukstuma iekārtas, kuras novietotas ārpus vagona, vai arī ventilatorus un bunkurus ar ledu un sāli, kas novietoti pašā vagonā. Ja gaisa temperatūra ir  $-2 \dots -1^{\circ}\text{C}$ , tad augļus atdzesē tarā līdz  $+4^{\circ}\text{C}$  temperatūrai  $10 \dots 12$  stundās. Kravas vienmērīgai dzesēšanai gaisa plūsmas virzienu periodiski maina.



**XIII-11. att.** Universālā siltumapmaiņas aparāta shēma:

1 — reģenerācijas sekcija; 2 — piena pastērizācijas sekcija;  
3 — ūdens dzesēšanas sekcija; 4 — sāls šķīduma dzesēšanas sekcija.



*Vakuuma dzesēšana* pamatojas uz daļēju ūdens iztvaikošanu no augļiem un dārzeņiem vakuumā, kuras rezultātā no augļiem un dārzeņiem tiek atņemts ūdens iztvaikošanas siltums un to temperatūra pazeminās. Vakuuma dzesēšanu veic īpašās hermētiskās metāla kamerās, kurās vakuumu rada ar tvaika ežektoriem. ASV šo paņēmieni plaši pielieto tādu dārzeņu dzesēšanai, kuriem liela īpatnējā virsma (salāti, kāposti, dārzeņu maisījumi u. c.). Iztvaikojošā ūdens daudzums sastāda 2...3%, kas ir apmēram tikpat daudz vai pat mazāk nekā produkta nožuvums, dzesējot gaisā. Dzesēšana vakuumā ilgst 20...25 minūtes.

*Hidrodzesēšanu* — dzesēšanu ar ledus ūdeni — var izdarīt, lietojot iegremdēšanas vai aprasināšanas paņēmieni. Dzesēšanu veic īpašos aparātos, kuri apgādāti ar transportieriem grozu pārvietošanai. Dzesēšana ilgst 10...30 minūtes.

Ar sasmalcinātu ledu siltā laika periodā dzesē ātri vīstošus dārzeņus (salātus, gurķus, sīpolu lokus, spinātus u. c.).

Vissavienības Aukstumtehnikas rūpniecības zinātniskās pētniecības institūtā (ВНИИХИ) izveidots agregāts, ar kuru ledu sasmalcina un izkaisa uz dārzeņiem (40% no dārzeņu masas). Pēc tam dārzeņus piegādā tirdzniecības uzņēmumiem.

**Dzesēšanas laika un dzesētāju slodzes noteikšana.** Produktu dzesēšanas laiku nosaka eksperimentāli vai arī aprēķina aptuveni, lietojot sakarības, kas pareizas, dzesējot noteiktas ģeometriskas formas ķermeņus.

Nomogrammās (XIII-12. att.) dota cieta dzesējamā ķermeņa temperatūras izmaiņa (forma — plāksne, cilindrs, lode) atkarībā no laika.

Uz abscisu ass atlikta Furjē kritērija  $Fo = \frac{a\tau}{\delta^2}$  vērtības, kur  $a$  — produkta temperatūras vadītspējas koeficients ( $m^2/h$ );  $\tau$  — dzesēšanas laiks ( $h$ );  $\delta$  — puse no produkta biezuma ( $m$ ), ja produktam ir plāksnes veids, rādiuss — cilindram vai lodei.

Uz ordinātu ass atlikts bezdimensionāls lielums

$$\Theta = \frac{t_2 - t_v}{t_1 - t_v}, \quad (\text{XIII-1})$$

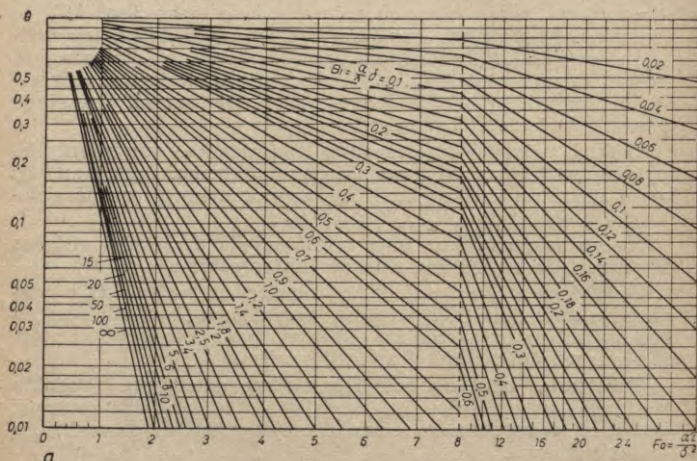
kur  $t_1$  un  $t_2$  — produkta centra temperatūra dzesēšanas sākumā un beigās ( $^\circ C$ );

$t_v$  — dzesējošās vides temperatūra ( $^\circ C$ ).

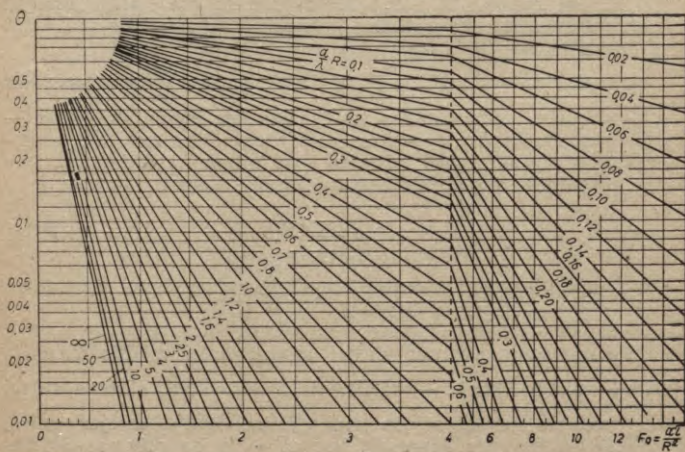
Katrai nomogrammas linijai atbilst noteikta Bio kritērija  $Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda}$  vērtība, kur  $\alpha$  — koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no produkta uz dzesējošo vidi [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]. Dzesējot gaisā,  $\alpha = 6,2 + 4,2 w$  (pēc Jurgesa), kur  $w$  — gaisa plūsmas ātrums ( $m/s$ ); dzesējot šķidrumā, ja brīva konvekcija,  $\alpha = 300 \dots 350 W/(m^2 \cdot K)$ , bet, ja šķidruma plūsmas ātrums  $0,5 \dots 0,6 m/s$ ,

$\alpha = 900 \dots 1000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $\lambda$  — produkta siltumvadītspējas koeficients  $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ .

Lai noteiktu produkta dzesēšanas ilgumu pēc dotās beigu tem-



a



b

XIII-12. att. Nomogrammas ģeometrisku  
a — plāksnei; b — cilindram;



peratūras, tad atrod lielumu  $\Theta$  pēc vienādības (XIII-1). Pēc tam nosaka Bio kritēriju un no nomogrammas atrod atbilstošo Furjē kritērija vērtību. Produkta dzesēšanas ilgumu aprēķina šādi:

$$\tau = \frac{F_0 \delta^2}{a} \quad (\text{h}), \quad (\text{XIII-2})$$

Dzesējamā produkta siltumvadītspējas un temperatūras vadītspējas koeficientus atrod rokasgrāmatās.

Dzesētāju vidējo siltuma slodzi aprēķina kā kopējā aukstuma patēriņa attiecību pret dzesēšanas ilgumu. Periodiskas darbības aukstuma kameru dzesētāju sildvirsmu aprēķina, ņemot vērā siltuma slodzes nevienmērīgumu dzesēšanas laikā, t. i., pieņemot siltuma slodzi par 30% lielāku nekā vidējā siltuma slodze.

1. piemērs. Noteikt kautķermeņa puses dzesēšanas laiku no sākuma temperatūras 30°C līdz beigu temperatūrai 3°C kamerā ar 0°C un gaisa dabisko cirkulāciju. Lielākais kautķermeņa puses biezums 20 cm. Gaļas siltumvadītspējas koeficients  $\lambda = 0,455 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ; temperatūras vadītspējas koeficients  $a = 4,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ .

Vislielākais kautķermeņa biezums ir gūžas daļā, kuru pieņem par cilindriskas formas ķermeni. Pārējo daļu, kuras biezums mazāks, pieņem aptuveni par plāksni. Plāksne, kuras biezums vienāds ar cilindra diametru, atdziest lēnāk nekā cilindrs.

Aplūko gūžas daļas dzesēšanu. Pēc vienādības (XIII-1) aprēķina lielumu

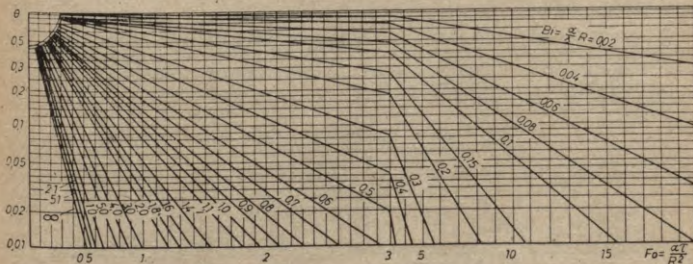
$$\Theta = \frac{t_2 - t_v}{t_1 - t_v} = \frac{3 - 0}{30 - 0} = 0,1.$$

Nosaka koeficientu, kas raksturo siltuma atdevi no kautķermeņa virsmas uz gaisu, pieņemot  $w = 0,15 \text{ m/s}$ , t. i.,

$$\alpha = 6,2 + 4,2 w = 6,2 + 4,2 \cdot 0,15 \approx 7 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \approx 6 \text{ kcal/(m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K)}.$$

Bio kritēriju  $\left( \delta = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ m} \right)$  aprēķina šādi:

$$\text{Bi} = \frac{\alpha \delta}{\lambda} = \frac{7}{0,455} = 0,1 = 1,53.$$



c  
ķermeņa atdzesēšanas laika noteikšanai:  
c — lodei.

Pēc aprēķinātajiem  $\Theta$  un  $Bi$  no nomogrammas (XIII-12. att. *b*) atrod Furjē kritērija lielumu, t. i.,  $Fo=1,2$ .

Saskaņā ar (XIII-2) formulu

$$\tau = \frac{Fo\delta^2}{a} = \frac{1,2 \cdot 0,1^2}{4,5 \cdot 10^{-4}} \approx 27 \text{ h.}$$

Pēc tam aprēķina pārējās kautķermeņa daļas (plāksnes) dzesēšanas laiku. Pieņem, ka  $\delta = \frac{0,12}{2} = 0,06 \text{ m}$ , tad

$$Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda} = \frac{7 \cdot 0,06}{0,455} = 0,92.$$

Zinot  $\Theta$  un  $Bi$ , pēc nomogrammas plāksnei (III-12. att. *a*) atrod  $Fo=3,2$ . Saskaņā ar (XIII-2) formulu produkta dzesēšanas laiks

$$\tau = \frac{Fo\delta^2}{a} = \frac{3,2 \cdot 0,06^2}{4,5 \cdot 10^{-4}} \approx 26 \text{ h.}$$

2. piemērs. Noteikt kautķermeņa puses temperatūru gūžas daļas vidū pēc 20 stundu dzesēšanas kamerā ar gaisa temperatūru  $-1^\circ\text{C}$  un cirkulācijas ātrumu  $\omega=3 \text{ m/s}$ . Gaļas sākuma temperatūra  $30^\circ\text{C}$ , gūžas daļas biezums  $20 \text{ cm}$ .

Pieņem, ka kautķermeņa gūžas daļa ir cilindriskas formas ķermenis. Tāpat kā iepriekšējā piemērā,  $\lambda=0,455 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ,  $a=4,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$  un  $\delta=0,1 \text{ m}$ . Pēc formulām aprēķina šādus lielumus:

$$Fo = \frac{a\tau}{\delta^2} = \frac{4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 20}{0,1^2} = 0,9,$$

$$\alpha = 6,2 + 4,2 \cdot 3 \approx 19 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

un

$$Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda} = \frac{19 \cdot 0,1}{0,455} = 4,2.$$

Zinot  $Fo$  un  $Bi$  vērtības, pēc nomogrammas (cilindram) atrod, ka bezdimensionālais lielums  $\Theta \approx 0,05$ . Tā kā

$$\Theta \approx 0,05 = \frac{t_2 - t_v}{t_1 - t_v} = \frac{t_2 + 1}{30 + 1},$$

tad  $t_2 = 0,6^\circ\text{C}$ .

3. piemērs. Noteikt piena dzesēšanas ilgumu no  $30^\circ\text{C}$  līdz  $5^\circ\text{C}$ . Pienu dzesē kannās, kuras iegremdētas ledus ūdenī ar dabisko cirkulāciju. Kannas diametrs  $25 \text{ cm}$ . Pienam  $\lambda=0,61 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ,  $a=4,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ . Siltuma atdeves koeficients ūdens brīvai cirkulācijai  $\alpha=350 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ .

Aprēķina šādus lielumus:

$$\Theta = \frac{t_2 - t_v}{t_1 - t_v} = \frac{5 - 0}{30 - 0} = 0,167;$$

$$Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda} = \frac{350 \cdot 0,125}{0,61} = 72.$$

Pēc nomogrammas (cilindram), zinot  $\Theta$  un  $Bi$ , atrod, ka  $Fo=0,4$ . Saskaņā ar (XIII-2) formulu piena dzesēšanas ilgums

$$\tau = \frac{Fo\delta^2}{a} = \frac{0,4 \cdot 0,125^2}{4,5 \cdot 10^{-4}} \approx 14 \text{ h.}$$



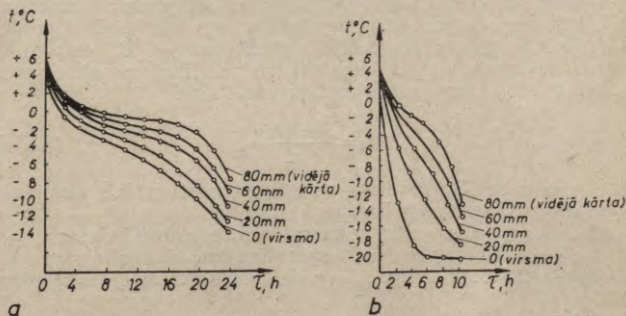
## 2. Pārtikas produktu sasaldēšana

*Sasaldēšana* — pārtikas produktu termiskās apstrādes process, kura rezultātā produktos esošais ūdens pilnīgi vai daļēji pārvēršas ledū. Sasaldē produktus (gaļu, zivis, melanžu, augļus, ogas, dārzeņus un dažus piena produktus), kuri paredzēti ilgstošai glabāšanai —  $-15^{\circ}\text{C}$  un zemākā temperatūrā.

Sasaldētus produktus atšķirībā no atdzēsētiem var ilgāk uzglabāt, jo ūdens trūkums un zemā temperatūra kavē mikroorganismu attīstību. Vairumam sasaldējamo produktu krioskopiskā temperatūra (sulas sasaldēšanas temperatūra) atrodas robežās  $-0,5 \dots -2,5^{\circ}\text{C}$ .

Ledus kristāli, kas veidojas sasaldēšanas procesa sākumā, sastāv galvenokārt no tīra ūdens, bet vielas, kas izšķīdušas produkta sulā, paliek šķidrā fāzē. Katrai produkta temperatūrai, kas zemāka par krioskopisko, atbilst pilnīgi noteikts no šķidruma izsaldētā ūdens daudzums. Pilnīgi viss šķidrums produktā sasalst, tikai sasniedzot *kriohidrātisko* jeb *eitektisko* temperatūru, kas pārtikas produktiem ir  $-55 \dots -65^{\circ}\text{C}$  un parasti netiek sasniegta sasaldēšanas laikā. Produkta temperatūras izmaiņas sasaldēšanas procesā dažādos attālumos no sasaldējamā parauga virsmas raksturo temperatūras liknes (XIII-13. att.). Šādas liknes tipiskas visiem sasaldējamiem produktiem un izmainās tikai atkarībā no dzesēšanas intensitātes. Sasaldēšanas laiku pēc materiāla temperatūras izmaiņu rakstura var iedalīt trijos periodos.

*Pirmajā periodā* temperatūra strauji pazeminās visās produkta kārtās, sasaldējot to kā gaisā, tā arī sāls šķīdumā. *Otrajā periodā* temperatūras pazemināšanās nenotiek tik strauji, kas vislabāk redzams pēc vidējā slāņa temperatūras liknes, sasaldējot produktu gaisā.



XIII-13. att. Temperatūras izmaiņas dažādā attālumā no virsmas agara plāksnītes sasaldēšanas laikā:

a — plāksnīti lēni sasaldējot gaisā; b — plāksnīti intensīvi sasaldējot sāls šķīdumā.

Sasaldējot produktu sāls šķīdumā, virskārtās nav vērojama jūtama temperatūras pazemināšanās palēnināšanās tik ilgi, kamēr šo kārtu temperatūra nesasniedz dzesējošās vides temperatūru. Tas izskaidrojams ar intensīvu siltuma atdevi. Beidzot iestājas *trešais periods*, kad temperatūras pazemināšanās dziļākajās kārtās atkal kļūst straujāka. Šī parādība vislabāk novērojama vidējā kārtā, sasaldējot produktu gaisā, bet nav novērojama virskārtās, sasaldējot to sāls šķīdumā.

No siltuma apmaiņas likumsakarībām saprotams, ka, sasaldējot produktu, jebkurā laika momentā viszemākā temperatūra ir produkta virskārtām un tā palielinās virzienā uz centru. Kad virskārta pietiekami atdzisusi un tajā sācis veidoties ledus, temperatūras pazemināšanās palēninās sakarā ar kušanas siltuma izdalīšanos. Pie tam produkta dziļākajās kārtās temperatūras pazemināšanās turpinās, un robeža starp kārtu, kur sācis veidoties ledus, un kārtu, kur vēl ledus neveidojas (ledus veidošanās fronte), pārvietojas virzienā no perifērijas uz centru. Pārvietošanās ātrumu nosaka intensitāte, ar kādu siltumu aizvada no produkta.

Sasalšana produkta dziļākajās kārtās var sākties tikai tad, kad perifērijas kārtās sasalis jau ievērojams ūdens daudzums, attiecīgi samazinājusies kušanas siltuma izdalīšanās, pazeminājusies temperatūra un ledus veidošanās fronte pārvietojas produkta dziļumā. Tātad lēnā temperatūras pazemināšanās vai pat uz laiku konstantas temperatūras saglabāšanās produkta dziļākajos slāņos notiek, produktam šeit atrodoties vēl atdzēsētā, nesasalstētā stāvoklī. Tiklīdz ledus veidošanās fronte sakarā ar siltuma aizvadīšanu pārvietojas un sasniedz doto kārtu, tur sākas ledus veidošanās šķīdumā, kas var notikt tikai, pazeminoties temperatūrai. Ar to izskaidrojama paātrināta temperatūras pazemināšanās produkta dziļākajās kārtās trešajā periodā.

Pēc noteikta laika ledus sāk veidoties arī produkta centrālajā daļā, kur temperatūra sāk pazemināties zem krioskopiskā punkta. Ja produkta temperatūra centrā zemāka par  $-5^{\circ}\text{C}$ , temperatūra virzienā no centra uz perifēriju mainās pēc lineāras sakarības un produkta vidējo temperatūru var aprēķināt šādi:

$$t_{\text{vid}} = \frac{t_{2c} + t_{2v}}{2}, \quad (\text{XIII-3})$$

kur  $t_{\text{vid}}$  — sasaldēta produkta vidējā temperatūra, kas vienāda ar uzglabāšanas kameras gaisa temperatūru;

$t_{2c}$  — produkta centra temperatūra dzesēšanas beigās;

$t_{2v}$  — produkta virsmas temperatūra dzesēšanas beigās;

$t_{2v} = (0,8 \dots 1) t_g$ , kur  $t_g$  — aukstuma kameras gaisa temperatūra.

*Vidējo temperatūru* sasaldētais produkts sasniedz uzglabāšanas laikā, kad notiek siltuma apmaiņa produkta iekšienē, kuras rezultātā izlīdzinās centra un perifērijas kārtu temperatūras.



Produktā sasaldētā ūdens daudzums atkarīgs tikai no temperatūras, līdz kādai produkts sasaldēts, bet nav atkarīgs ne no sasaldēšanas paņēmiena, ne no ilguma. Grafiskās sakarības starp sasaldētā ūdens daudzumu un produkta temperatūru rāda, ka vairāk nekā puse no produktā ietilpstošā ūdens daudzuma sasilst temperatūrā  $-4 \dots -5^{\circ}\text{C}$  (XIII-14. att.). Temperatūru tālāk pazeminot, sasaldētā ūdens daudzums uz katru temperatūras grādu strauji samazinās.

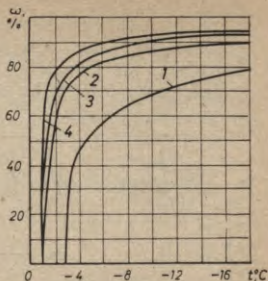
Produktu sasaldēšanas ātrumu nosaka ledus veidošanās frontes pārvietošanās ātrums virzienā no perifērijas uz centru. Tā maksimālā vērtība ir sasaldēšanas procesa sākumā pie produkta virsmas. Līdz ar ledus veidošanās frontes pārvietošanos uz centru produkta sasaldēšanas ātrums pakāpeniski samazinās.

Tas ir tāpēc, ka palielinās sasaldētās daļas biezums un līdz ar to termiskā pretestība, notiek siltuma aizvadišana no vēl nesasalušajām produkta daļiņām, kas atrodas sasaldētajā daļā, un samazinās produkta un dzesējošās vides temperatūru starpība.

Sasaldēšana ir lēna, ja tās ātrums  $0,1 \dots 1$  cm/h, intensīva —  $1 \dots 5$  cm/h un ātra —  $5 \dots 20$  cm/h.

Sasaldējot lēni, produkta audos notiek mitruma pārvietošanās un starpšūnu telpā veidojas lieli ledus kristāli, kuri bojā audus. Atkausējot audi mitrumu pilnīgi neuzsūc, un tā sākotnējais sadalījums neatjaunojas. Sasaldējot ātri, ledus kristāli veidojas atbilstoši mitruma dabiskajam sadalījumam produktā, t. i., veidojas struktūra ar daudzām sīkiem ledus kristāliem, kuri vienmērīgi sadalīti produkta audos. Šādu produktu atkausējot, labi atjaunojas tā sākotnējās īpašības.

Sasaldēšanas ilgums jāzina, lai varētu aprēķināt sasaldēšanas iekārtas. Precīzi aprēķināt sasaldēšanas ilgumu nav iespējams, jo dzesēšanas ātrums atkarīgs no liela mainīgo lielumu skaita. Vēl vairāk aprēķinu sarežģī sasaldējamo produktu formu daudzveidība. Uzdevumu var atrisināt, ja vienkāršības labad izdara šādus pieņēmumus: produkts visā tā tilpumā pirms sasaldēšanas atdzesēts līdz krioskopiskajai temperatūrai; koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no produkta virsmas uz dzesējošo vidi, ir konstants; dzesējošās vides temperatūra ir konstanta; produkta sasaldētās daļas īpatnējais siltums ļoti mazs salīdzinājumā ar kušanas siltumu; ūdens produktā sasilst noteiktā temperatūrā; sasaldētā produkta siltumvadītspējas koeficients sasaldēšanas laikā nemainās; sasaldēšanu uzskata par pabeigtu, kad produkta temperatūra tā centrā



XIII-14. att. Produktos sasaldētā ūdens daudzuma atkarība no produkta temperatūras:

1 — āboliem, bumbieriem, plūmēm un kartupeļiem; 2 — gaļai un putniem; 3 — zivīm; 4 — olām.

pazeminās līdz krioskopiskajai temperatūrai. Ņemot vērā vienkāršojumus, produktu sasaldēšanas ilguma  $\tau$  noteikšanai R. Planks ieguva šādas formulas: *plāksnes veida* produktiem, tos sasaldējot no abām pusēm (gaļas un zivju blokiem, kautķermeņu pusēm),

$$\tau = \frac{q_3 \rho \delta}{2 \cdot 4 \cdot 3,6 \lambda \Delta t} \left( \delta + \frac{4\lambda}{\alpha} \right) \quad (\text{h}); \quad (\text{XIII-4})$$

*cilindriskas formas* produktiem (lielām zivīm, kautķermeņu gūžas daļai)

$$\tau = \frac{q_3 \rho \delta}{4 \cdot 4 \cdot 3,6 \lambda \Delta t} \left( \delta + \frac{4\lambda}{\alpha} \right) \quad (\text{h}); \quad (\text{XIII-5})$$

*lodveida formas* ķermeņiem (augļiem, dārzeniņiem)

$$\tau = \frac{q_3 \rho \delta}{6 \cdot 4 \cdot 3,6 \lambda \Delta t} \left( \delta + \frac{4\lambda}{\alpha} \right) \quad (\text{h}). \quad (\text{XIII-6})$$

Formulās lietoti šādi apzīmējumi:

$q_3$  — produkta sasaldēšanas siltums (kJ/kg);  $q_3 = \varphi \omega r_3$ ;

$\varphi$  — produkta mitruma saturs (kg/kg);

$\omega$  — sasaldētā ūdens daļa atbilstoši sasaldētā produkta vidējai temperatūrai [kg/(kg ūdens)];

$r_3$  — ūdens sasaldēšanas siltums; praktiskiem aprēķiniem pieņem  $r_3 = 335$  kJ/kg;

$\rho$  — produkta blīvums (kg/m<sup>3</sup>);

$\delta$  — plāksnes biezums, cilindra vai lodes diametrs (m);

$\lambda$  — produkta siltumvadītspējas koeficients vidējā sasaldēšanas temperatūrā [W/(m·K)];

$\Delta t$  — produkta krioskopiskās un dzesējošās vides temperatūru starpība (°C);

$\alpha$  — koeficients, kas raksturo siltuma atdevi no produkta uz dzesējošo vidi [W/(m<sup>2</sup>·K)].

Produktiem ar paralēlskalda formu (gaļa un subprodukti veidnēs, iesaiņoti produkti), ievērojot minētos vienkāršojumus, sasaldēšanas ilgums

$$\tau = \frac{q_3 \rho \delta}{3,6 \lambda \Delta t} \left[ R \delta + P \lambda \left( \frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \right] \quad (\text{h}), \quad (\text{XIII-7})$$

kur  $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$  — sienīņu, kas atrodas starp produktu un dzesējošo vidi, termisko pretestību summa (metāla veidņu sienas, iesaiņojums, gaisa slānis u. c.);

$\delta$  — paralēlskalda augstums (m);

$R$  un  $P$  — koeficienti.

Ja siltumu novada no divām pusēm, tad  $R=0,125$  un  $P=0,5$ . Planka formulās nav ņemts vērā laiks, kas nepieciešams produkta atdzesēšanai līdz krioskopiskajai temperatūrai, ja tā temperatūra



sasaldēšanas sākumā  $t_1$  augstāka nekā krioskopiskā temperatūra. Nav ievērojams arī laiks, kurš nepieciešams produkta centrālās daļas atdzesēšanai līdz dotajai temperatūrai  $t_2$ , kas sasaldēšanas beigās vienmēr zemāka par krioskopisko temperatūru.

Plāksnes veida produktu sasaldēšanas laiku jebkurām  $t_1$  un  $t_2$  vērtībām var aprēķināt pēc D. Rjutova un D. Hristodulo formulas, t. i.,

$$\tau = \frac{\rho}{3,6\lambda} \left[ \frac{q_3(1+0,053t_1)}{8(t_{kr}-t_v)} + \frac{nc_w}{\pi^2} \left( \ln \frac{t_{kr}-t_v}{t_2-t_v} - 0,21 \right) \right] \times \\ \times \delta \left( \delta + \frac{4\lambda}{\alpha} \right) \quad (h), \quad (\text{XIII-8})$$

kur  $\delta$  — sasaldējamās plāksnes kopējais biezums (m);

$t_v$  — dzesējošās vides temperatūra ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_{kr}$  — krioskopiskā temperatūra ( $^{\circ}\text{C}$ );

$n$  — korekcijas koeficients (ātri sasaldējot,  $n=1,03\dots 1,06$ , lēni —  $n=1,16\dots 1,22$ );

$c_w$  — kopējais produkta sasaldēšanas īpatnējais siltums, ieskaitot fāzu maiņas siltumu [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ].

Kopējo produkta sasaldēšanas īpatnējo siltumu var aprēķināt šādi:

$$c_w = \frac{c_0(t_1 - t_{kr}) + \varphi\omega r_3 + c_m(t_{kr} - t_{vid})}{t_1 - t_{vid}} \quad [\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})], \quad (\text{XIII-9})$$

kur  $c_0$  — nesasaldēta produkta īpatnējais siltums [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ];

$c_m$  — sasaldēta produkta īpatnējais siltums [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ];

$t_{vid}$  — sasaldēta produkta vidējā temperatūra.

Dotās formulas nav precīzas, un aprēķinu rezultāti var ievērojami atšķirties no eksperimentu rezultātiem. Šīs formulas rāda, kā atsevišķi faktori ietekmē sasaldēšanas ilgumu un kuriem faktoriem jāpievērš īpaša uzmanība, konstruējot jaunas aukstuma iekārtas.

Izšķiroša nozīme sasaldēšanas paātrināšanā ir dzesējošās vides temperatūras  $t_v$  pazemināšanai, materiāla biezuma  $\delta$  samazināšanai un siltuma atdeves koeficienta  $\alpha$  palielināšanai.

Pazeminot dzesējošās vides temperatūru, tieši proporcionāli samazinās produkta sasaldēšanas laiks, bet vienlaikus palielinās aukstuma ražošanas enerģētiskie un kapitālie izdevumi. Praksē produktus saldē temperatūrā  $-20\dots -40^{\circ}\text{C}$ .

Sasaldējamā produkta biezuma samazināšana vēl jūtāmāk saīsina sasaldēšanas laiku (sasaldēšanas laiks aptuveni proporcionāls produkta biezuma kvadrātam). Intensificēt sasaldēšanu ar produkta biezuma samazināšanu iespējams tikai, sasaldējot blokus iesaiņotus produktus. Produkta biezums reti ir mazāks par 4... 5 cm.

Siltuma atdeves koeficienta  $\alpha$  palielināšana sevišķi jūtami ietekmē produkta sasaldēšanas ātrumu, ja tā absolūtā vērtība nav

liela (dzesējot ar gaisu) un ja dzesējamā produkta biežums ir mazs.

**Aukstuma patēriņu produkta sasaldēšanai**, ieskaitot tā atdzesēšanu līdz krioskopiskajai temperatūrai, sasaldēšanas siltumu un produkta temperatūras pazemināšanu līdz sasaldēta produkta vidējai temperatūrai, var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$Q = Gc_w(t_1 - t_{vid}) \quad (\text{kJ}), \quad (\text{XIII-10})$$

kur  $G$  — sasaldējamā produkta daudzums (kg).

Var lietot arī šādu formulu:

$$Q = G(i_1 - i_2) \quad (\text{kJ}), \quad (\text{XIII-11})$$

kur  $i_1$  un  $i_2$  — nenasaldēta un sasaldēta produkta entalpija (kJ/kg).

Sasaldēšanas iekārtu dzesējošo ķermeņu vidējo siltumu slodzi aprēķina, ņemot kopējo aukstuma patēriņu ar dzesēšanas laiku.

Praksē visbiežāk produktus sasaldē kameru un tuneļu saldētavās gaisā, ātrsaldēšanas aparātos auksta gaisa plūsmā, kā arī ātrsaldēšanas kontakta tipa aparātos, izmantojot par dzesējošo vidi sālšķidrumu vai iztvaikojošu aukstuma aģentu.

**Sasaldēšana kameru un tuneļu saldētavās.** Gaļas kautķermeņu puses un lielas zivis visērtāk sasaldēt pakārtā stāvoklī kameru un tuneļu tipa saldētavās. Šādās saldētavās novieto dzesējošos ķermeņus vajadzīgās temperatūras sasniegšanai un ierīko zemgriestu ceļus produktu pakarināšanai un transportēšanai. Lieto kameras ar dabisko un piespiedu gaisa cirkulāciju.

*Kamerās ar dabisko gaisa cirkulāciju* zemu temperatūru uztur ar cauruļu tipa dzesējošajiem ķermeņiem, kuri novietoti pie sienām un griestiem. Lai gan tiek sasniegta ļoti zema temperatūra ( $-25^{\circ}\text{C}$ ), tomēr šīm kamerām ir būtiski trūkumi: kamerās nav vienmērīgas temperatūras, produkts sasilst lēni (kautķermeņu sasaldēšanai gaisā, kura temperatūra  $-23^{\circ}\text{C}$ , nepieciešams ne mazāk kā divas diennaktis).

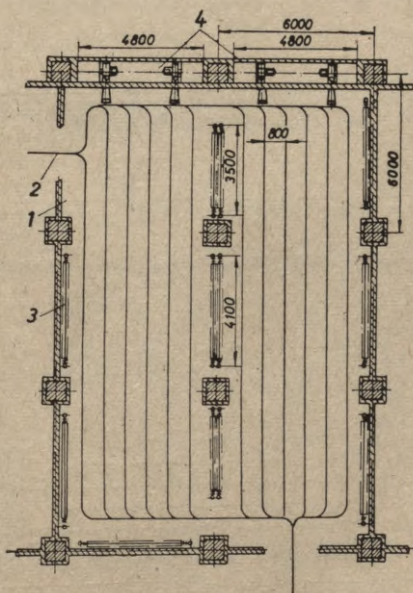
Lai saīsinātu sasaldēšanas laiku, lieto *kameras ar gaisa piespiedu cirkulāciju*. Šādā gadījumā saldēšanas kamerā bez dzesējošajiem ķermeņiem uzstāda arī gaisa dzesētājus, ventilatorus un gaisa sadales iekārtas.

Gaisu no dzesētājiem kamerā var ievadīt caur ežektoriem (A. Seffera sistēma) (XIII-15. att.). Gaisa, ar lielu ātrumu izplūstot no ežektora, raug līdzī apkārtējās telpas gaisu un rada visas telpas gaisa masas kustību. Produkta sasaldēšanas laiks šādās kamerās ir par 20...25% mazāks nekā kamerās ar dabisko gaisa cirkulāciju. Ežektoru sistēmas trūkums ir cirkulējošā gaisa nevienmērīga sadale, kuras rezultātā dažādās kameras vietās ir dažāds produkta sasaldēšanas ātrums. Lai intensificētu sasaldēšanu, dzesējošos ķermeņus novieto ne tikai pie sienām, bet arī starp pakārto kautķermeņu rindām. Tādējādi kautķermeņi atrodas intensīvas gaisa cirkulācijas zonā tuvu pie dzesējošajiem ķermeņiem. Ievērojami uzlabojas siltuma apmaiņa ar konvekciju un starošanu. Sa-



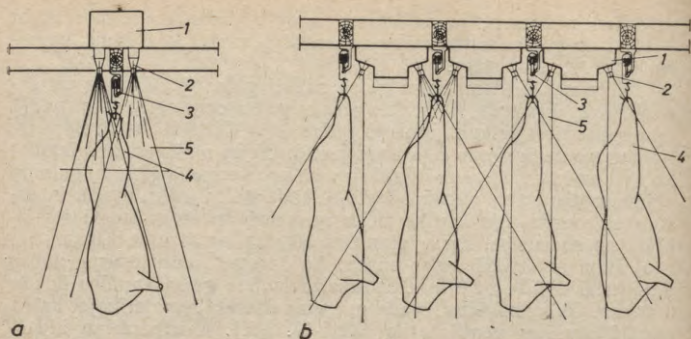
saldēšanas ilgums, ja aukstuma aģenta vārīšanās temperatūra  $-40^{\circ}\text{C}$  un gaisa kustības ātrums augšējā zonā 2 m/s, šādās kamerās ir 20...25 stundas.

Lai panāktu vienmērīgu gaisa sadali gaļas dzesēšanas un saldēšanas kamerās, A. Seffers iesaka gaisu caur sprauslām padot no augšas tieši uz kautķermeņu gūžas daļu (XIII-16. att.). Sprauslas izvieto zemgriestu ceļa abās pusēs. Gaisa strūkļas, kas izplūst no sprauslām, pakāpeniski izplešas un kautķermeņa gūžu augstumā veido kopēju gaisa plūsmu. Lietojot šādu gaisa dušu, panāk intensīvu un vienmērīgu kautķermeņa apskalošanu ar gaisu. Gais izplūst no sprauslas, kuras diametrs 50 mm, ar ātrumu 9,6 m/s un rauj līdzī apkārtējā gaisa masu. Tā ātrums kautķermeņa gūžas augstumā ir 2,2...2,5 m/s. Sprauslas izvieto gaisa kanālos ik pēc 160 mm. Gaisu kanālos ievada no gaisa dzesētājiem, ierīkojot katrā kanālā aksiālos ventilatorus (XIII-17. att.). Kautķermeņu atdzesēšanai līdz  $4^{\circ}\text{C}$  nepieciešamas 10,8...13,4 stundas, bet iepriekš



XIII-15. att. Saldēšanas kamera ar gaisa piespiedu cirkulāciju:

1 — kamera; 2 — zemgriestu ceļi; 3 — ribotas dzesējošās baterijas; 4 — gaisa dzesētāji.

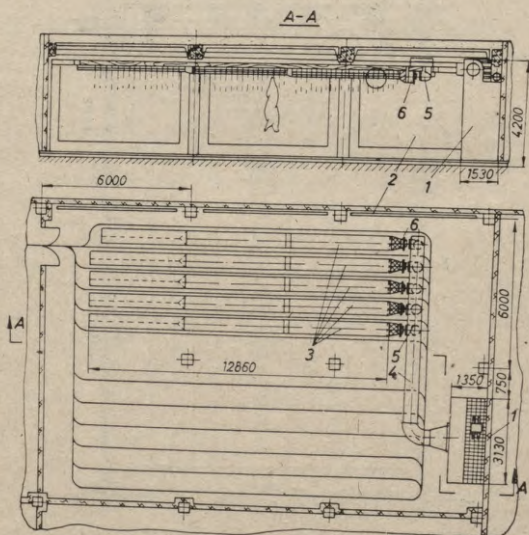


a

b

XIII-16. att. Gaiša padeves shēma sprauslu lietošanas gadījumā:

a — sprauslas ievietotas zemgriestu ceļā kamerā; b — sprauslas novietotas zem karkasa;  
 1 — gaisa vads; 2 — sprausla; 3 — zemgriestu ceļš; 4 — kautķermeņa puse; 5 — gaisa strūkļa.



XIII-17. att. Kameras daļa ar gaisa pievadkanāliem:

1 — gaisa dzesētājs; 2 — dzesējošās baterijas; 3 — kanāli ar sprauslām, kuru diametrs 50 mm; 4 — gaisa pievads no gaisa dzesētāja; 5 — cilindriska sprausla, kuras diametrs 300 mm; 6 — aksiālais ventilators.



neatdzesētas gaļas sasaldēšanai (35... -8°C) — 24 stundas. Ar šādu paņēmieni iespējams arī gaļas defrostāciju.

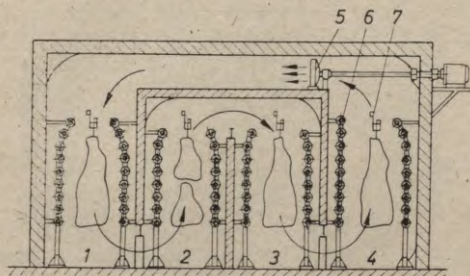
Valsts Aukstuma iekārtu projektēšanas institūts (Гипрохолод) izstrādājis saldēšanas kameras ar intensīvu gaisa cirkulāciju, kuru ražīgums 10...30 t diennaktī. Gaiss kamerā ieplūst pa spraugām, kuras izveidotas dubultgriestos.

Vissavienības Aukstumtehnikas rūpniecības zinātniskās pētniecības institūts (ВНИИХИ) izveidojis *tuneļu saldētavu ar intensīvu gaisa cirkulāciju* (XIII-18. att.). Tuneļi izvietoti kameras kravas telpā.

Laukumā 6×6 m izvietoti četri tuneļi ar zemgriestu ceļiem. Tuneļi norobežoti ar starpsienām, kurās ierikoti atvērumi gaisa caurplūdei. Gar tuneļu sienām izvietoti vienrindas ribotu cauruļu tiešās iztvaices dzesējošie ķermeņi. Gaiss, kuru padod ventilators, izplūst caur visiem tuneļiem ar ātrumu 3...3,5 m/s. Intensīvas konvektīvās siltuma apmaiņas un radiācijas siltuma apmaiņas dēļ sasaldēšanas ilgums, ieskaitot gaļas iekraušanas un izkraušanas laiku, ja gaisa temperatūra -35°C, nepārsniedz 14 stundas. Tuneļu piekraušana un izkraušana mehanizēta, to ražīgums ir 10 t diennaktī. Izveidotas arī tuneļu saldētavas ar ražīgumu 20 t diennaktī, kuras aizņem laukumu 6×12 m.

Pēdējā laikā gaļu sasaldē bez iepriekšējas atdzesēšanas — *vienfāzes sasaldēšana*, pie tam gaļas kvalitāte saglabājas tikpat augsta, kā sasaldējot iepriekš līdz 4°C atdzesētu gaļu. Vienfāzes sasaldēšanas paņēmieni ir ekonomiskāks nekā divfāzu paņēmieni, jo par 42% samazinās tehniskās apstrādes laiks un nepieciešamais sasaldēšanas kameru laukums, 2 reizes samazinās gaļas zudumi un par 40...43% palielinās strādnieku darba ražīgums.

Vienfāzes gaļas sasaldēšanu mērķtiecīgi pielietot uzņēmumos, kur iekārtotas zemu temperatūru saldēšanas kameras (gaisa temperatūra -30...-35°C), kurās nodrošināta ātra gaļas sasaldēšana.



XIII-18. att. Tuneļu saldētavas shēma:

- 1, 2, 3, 4 — tuneļi; 5 — ventilators; 6 — dzesējošās baterijas;  
7 — zemgriestu ceļi.

Sādu kameru piekraušana un izkraušana mehānizēta un sinhronizēta ar lopu pirmapstrādes galvenā konveijera darbu.

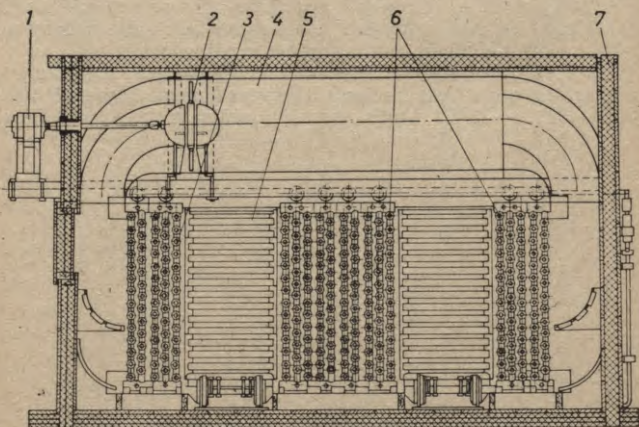
Ārzemēs gaļas kautķermeņu puses, ceturtdaļas un lielas zivis sasaldē ar intensificētu metodi — temperatūrā  $-30 \dots -50^{\circ}\text{C}$  un ar gaisa plūsmas ātrumu pie produkta virsmas līdz 5 m/s. Galvenokārt lieto tuneļu saldētavas.

Sasaldēšana ātrsaldēšanas aparātos auksta gaisa plūsmā. Ātrsaldēšanas aparātos produktu saldēšanu veic zemā temperatūrā un liela ātruma gaisa plūsmā — līdz 10 m/s.

Sādi aparāti ir universāli, tos lieto visu pārtikas produktu veidu — gaļas gabalu, subproduktu, iesaiņotas gaļas, putnu, zivju, augļu, ogu, pusfabrikātu, kulinārijas izstrādājumu un citu produktu sasaldēšanai.

Aparāti ar dzesēšanu gaisa plūsmā ļoti izplatīti pārtikas rūpniecībā (70...80% no kopējā sasaldēšanas aparātu skaita). To īpatnējā noslodze sasniedz 600...1100 kg uz 1 m<sup>2</sup> grīdas laukuma. Šādos aparātos vieglāk mehānizēt un automatizēt iekraušanas un izkraušanas darbus, organizēt nepārtrauktu tehnoloģisko procesu.

*Kobulašvili konstrukcijas (ВНИИХИ) СА типа ātrsaldēšanas aparāts* paredzēts putnu, gaļas, zivju un citu kastēs ievietotu produktu sasaldēšanai (XIII-19. att.). Aparāts sastāv no izolētas kameras, kurā ievietoti gaisa dzesētāji, ventilatori, kravas ratiņiplaukti un to pārvietošanas ierīces. Ratiņus-plauktus ievieto divos tuneļos starp gaisa dzesētājiem. Tos pārvieto pa sliedēm ar rokām



XIII-19. att. Divu tuneļu ātrsaldēšanas aparāts ar intensīvu gaisa cirkulāciju:  
1 — elektrodzinējs; 2 — ventilators; 3 un 6 — dzesējošās baterijas; 4 — gaisa vads; 5 — ratiņplaukti ar produktiem; 7 — karkass ar siltumizolāciju.



vai speciālu bīdīšanas ierīci. Gaisa cirkulāciju nodrošina reversīvie aksiālie ventilatori. Ja gaisa temperatūra  $-30 \dots -32^{\circ}\text{C}$  un gaisa plūsmas ātrums 4 m/s, tad aparātā līdz  $-18^{\circ}\text{C}$  zivis 60...70 mm biežā slānī var sasaldēt 2,5 stundās, zivis 60...65 mm biežos blokos — 4...5 stundās, subproduktus 150 mm biežos blokos — 8 stundās, putnus — 4...4,5 stundās.

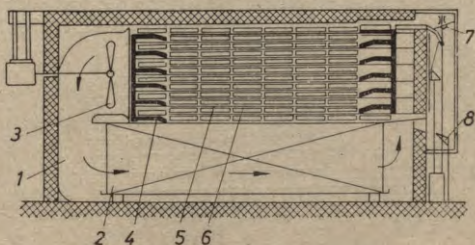
Aparātus izgatavo ar ražīgumu 3,3 t (CA-3 tipa), 10 t (CA-1 tipa) un 20 t (CA-2 tipa) diennaktī.

So aparātu trūkumi — nepieciešams liels apkopes laukums, nav mehanizēta ratiņu-plauktu piekraušana, izkraušana un pārvietošana.

*Universālais gravitācijas tipa ātrsaldēšanas aparāts ГКА-2*, kas veidots Vissavienības Aukstumtehnikas rūpniecības zinātniskās pētniecības institūtā (ВНИИХИ), piemērots dažādu pārtikas produktu sasaldēšanai (XIII-20. att.). Aparāta kamera ar horizontālu starpsieni sadalīta divās daļās. Augšējā daļā atrodas plaukti ar sasaldējamo produktu, apakšējā daļā — gaisa dzesētāji. Produktu novieto uz paplātēm, kuras savukārt novieto uz rāmjiem. Rāmjus ar paplātēm novieto uz aparāta augšējā plaukta. Ar bīdīšanas mehānismu rāmjus pakāpeniski pārvieto pa visiem horizontālajiem plauktiem. Sasaldēšanas procesa beigās tie atrodas uz pēdējā apakšējā plaukta, no kurienes tos izvada no kameras.

Aparāta iekraušana, izkraušana, produkta pārvietošana un ventilatora reversēšana ir automatizēta. Aparātu apkalpo viens strādnieks. Konveijera mehānisms apgādāts ar ātruma variatoru un pārvadu kārbu, kas dod iespēju regulēt produkta atrašanās laiku aparātā no 34 minūtēm līdz 400 minūtēm.

Ventilators nodrošina gaisa plūsmas ātrumu 6 m/s. Gaisa temperatūra aparātā ir  $-30 \dots -32^{\circ}\text{C}$  (aukstuma aģenta vārišanās temperatūra  $-40^{\circ}\text{C}$ ). Šādā aparātā 60 mm bloku sasaldēšana ilgst



XIII-20. att. Gravitācijas konveijera tipa ātrsaldēšanas aparāts ГКА-2:

1 — izolēta kamera; 2 — gaisa dzesētājs; 3 — ventilators; 4 — bīdīšanas mehānisms; 5 — plaukti-vadīklas; 6 — paplātes; 7 — iekraušanas ierīce; 8 — izkraušanas ierīce.

4 stundas, tā ražīgums ir 5,3...20 t/h. Konstruēti 18 dažāda ražīguma šī tipa ātrsaldēšanas aparāti.

E. Kuriļevs un V. Teiders-konstruējuši *lentas tipa aparātu* pelmeņu, sīku zivju un citu produktu sasaldēšanai (XIII-21. att.). Produkts, kas novietots uz metāla lentas augšējā posma, piesalst pie lentas un pārvietojas kopā ar to. Skrāpis, kas atrodas pie piedziņas veltna, nokasa sasaldēto produktu no lentas, un tas iekrīt tekņē. Produkta sasaldēšana ilgst 10 min., ja gaisa temperatūra  $-35^{\circ}\text{C}$  un plūsmas ātrums 6...8 m/s.

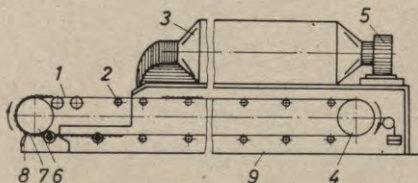
Saldējuma briketes sasaldē uz paplātēm. Paplātes novietotas uz šūpolēm, kuras piekārtas pie konveijera ķēdēm. Konveijers ievietots kamerā ar intensīvu atdzesēta gaisa cirkulāciju. Ventilatori vada gaisu caur gaisa dzesētājiem uz saldējamu produktu.

**Kontakta tipa saldēšanas aparāti.** Gaļas un zivju bloku, kā arī mīkstā tarā iesaiņotu produktu (sīki iesaiņotas gaļas, zivju filejas, sīku zivju, augļu, ogu, dārzeņu) sasaldēšanai lieto kontakta tipa saldēšanas aparātus ar metāla plātēm.

*Daudzplašu ātrsaldēšanas aparātā* (XIII-22. att.) produktu sasaldē starp metāla plātēm. Tajās izveidoti kanāli, kuros cirkulē sāls šķīdums vai iztvaiko aukstuma aģents. Šādos aparātos produkta sasaldēšana notiek ātrāk nekā aparātos ar gaisa dzesēšanu. Aparātiem raksturīgs liels īpatnējais ražīgums (2...3 t uz 1 m<sup>2</sup> grīdas laukuma diennaktī).

Daudzplašu saldēšanas aparātiem ir 8...21 horizontāla plate, kuru garums 1,5...2,0 m, platums 0,7...1,2 m, biezums 25...60 mm. Attālums starp plātēm, kurš nosaka sasaldējamā produkta biezumu, ir 25...100 mm. Aparātu ražīgums ir 3...25 t diennaktī.

Plates vertikālā virzienā pārbīda ar hidrauliskas piedziņas sviras tipa pantogrāfu. Produktu novieto starp plātēm, kad tās viena no otras atbīdītas. Pēc tam plates satuvina, lai panāktu ciešu saskari ar produktu. Automātiskais pārplūdes vārsts hidrauliskās piedziņas eļļas sistēmā un līdz ar to arī uz produkta virsmas sasaldēšanas laikā uztur nemainīgu spiedienu (15...70 kPa). Ja



XIII-21. att. Aparāta shēma produkta sasaldēšanai uz konveijera lentas:

1 — konveijera lenta; 2 — veltniši; 3 — gaisa dzesētājs; 4 — spriegošanas veltnis; 5 — ventilators; 6 — dzenošais veltnis; 7 — uztveršanas tekne; 8 — skrāpis; 9 — saldēšanas tunelis.



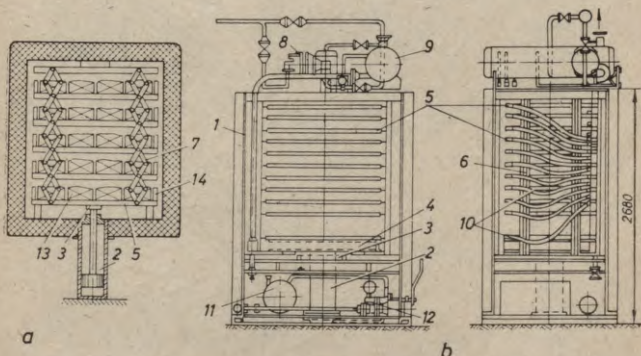
aukstuma aģenta vārīšanās temperatūra ir  $-34^{\circ}\text{C}$ , tad 90 mm biezu celofānā iesaiņotu gaļas bloku var sasaldēt (no  $+10$  līdz  $-18^{\circ}\text{C}$ ) 190 minūtēs, kartonā iesaiņotu gaļas bloku — 300 minūtēs, bet 50 mm biezas paketes līdzīgos apstākļos var sasaldēt attiecīgi 84 un 165 minūtēs.

Aparāts ievietots izolētā korpusā, produktu ievieto un izņem caur divviru durvīm.

*Rotācijas tipa pusautomātiskais ātrsaldēšanas aparāts* (XIII-23. att.) paredzēts gaļas un zivju sasaldēšanai blokos. Rotors sastāv no dobās vārpstas, kuras galos ir diski. Starp diskkiem ar šarnīriem piestiprināti nerūsējoša tērauda veidņu bloki. Rotors nosegts ar apvalku. Katrs veidņu bloks sastāv no divām dubultsienu platēm, kuras darba stāvoklī veido taisnstūrveida ligzdu. Platēs cirkulē sāls šķīdums, kuru pievada caur vārpstu un lokanām šļūtenēm. Veidnes piepilda un tukšo automātiski.

Sasaldējamo produktu ar transportieri iepilda tvertnē-dozatorā, bet no tā kasetēs, kuras piestiprinātas pie pildīšanas ierīces rāmja. Hidrauliska ierīce iepilda produktu no kasetēm veidņu blokos un atgriež veidnes izejas stāvoklī. Veidņu platēm saspiežot produktu, tas iegūst plāksnes veidu, kuras izmēri  $800 \times 250 \times 60$  mm un masa apmēram 12 kg.

Kad viens veidņu bloks piepildīts, hidrauliska ierīce pagriež rotoru un nostāda nākamo veidņu bloku pret iekraušanas ierīci. Aparāts darbojas nepārtraukti, pēc katra rotora pagriežiena pret tukšošanas vietu nonāk kārtējais veidņu bloks ar sasaldēto produktu.



XIII-22. att. Daudzplašu ātrsaldēšanas aparāts:

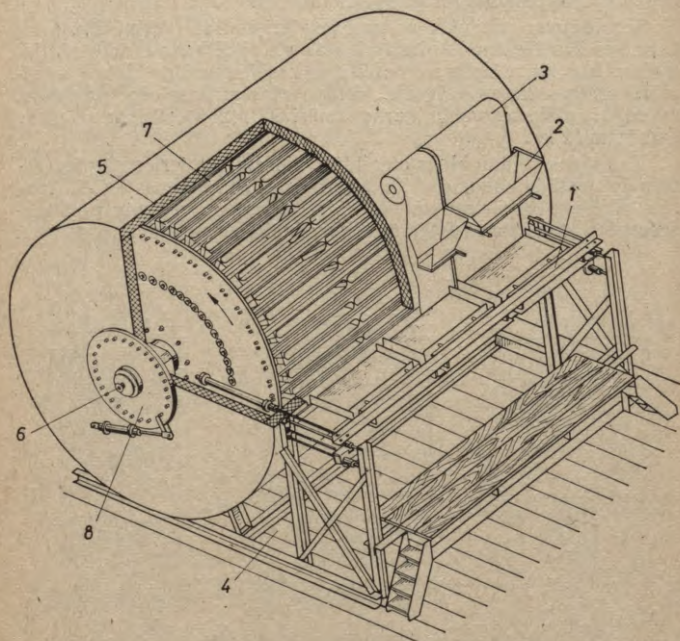
*a* — shēma (plates paceltas); *b* — aparāts; 1 — karkass; 2 — hidrauliskais cilindrs; 3 — paceļamais galds; 4 — paceļamais rāmis; 5 — dzesējošās plates; 6 — plašu vadīklas; 7 — platformas; 8 — plūdiņa tipa ventīlis; 9 — šķidruma atdalītājs; 10 — gumijas šļūtenes ar metāla pinuma apvalku aukstuma aģenta pievadīšanai un aizvadīšanai; 11 — eļļas tvertne; 12 — eļļas sūkņi; 13 — sasaldējamais produkts; 14 — koka paliktņi.

Speciāls mehānisms atver veidņu bloku, un sasaldētā produkta plāksne izkrīt.

Aparātam ir apmēram 102 veidņu bloki. Aprēķinātais sasaldēšanas ilgums ir apmēram 90 min., aparāta ražīgums 18 t diennaktī.

*Membrānu tipa ātrsaldēšanas aparāti* ir sasaldēšanas-veidošanas agregāti, kuros gaļu, sīkas zivis un subproduktus sasaldē blokos, nelietojot veidnes. Agregāts sastāv no taisnstūrveida tvertnes ar ligzdām bloku veidošanai. Ligzdas veido nerūsoša tērauda membrānas, bloku biezuma ierobežotāji un pārvietojams dibens (XIII-24. att.).

Speciāls dozators ievieto bloku veidošanas ligzdās parafinēta papīra maisus ar tajos iesaiņotu produktu. Produktu sasaldē ar kalcija hlorīda šķīdumu, kas cirkulē starp membrānām. Membrānas

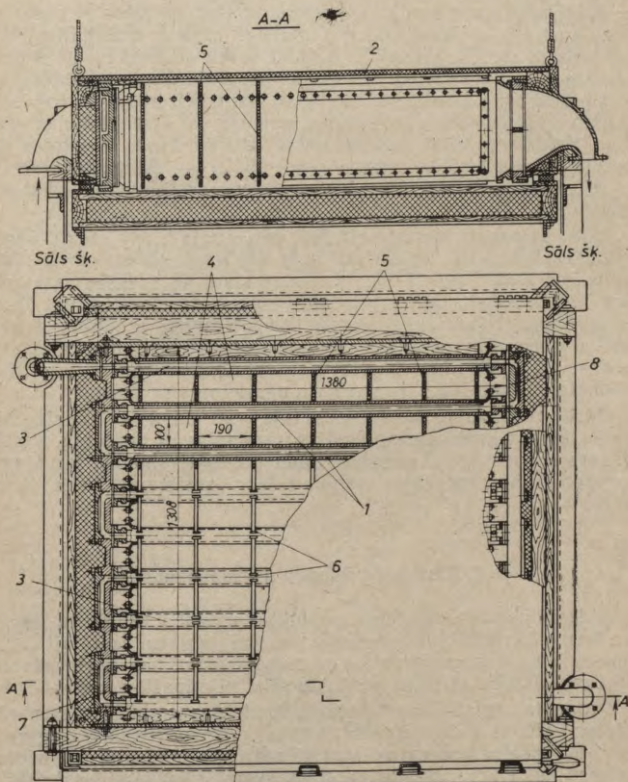


XIII-23. att. Rotācijas tipa ātrsaldēšanas agregāts:

1 — iekraušanas ierīce; 2 — tvertne-dozators; 3 — iesaiņojamā papīra padeves mehānisms; 4 — karkass; 5 — izolēts rotora apvalks; 6 — doka vārpsta; 7 — veidņu bloki; 8 — rotora pagriešanas ierīce.



savienotas ar gumijas manšetēm. Cirkulējošais sāls šķīdums piespiež membrānas blīvi pie sasaldējamā produkta. Mitrumu necaur-laidīgais papīrs novērš produkta piesalšanu pie membrānām. Pēc produkta sasaldēšanas sāls šķīdumu izlaiž un membrānas atbrīvo blokus. Tie paliek uz aparāta dibena, kuru nolaiž uz leju un sagāž. Bloki noslīd uz transportieri. Pēc tam tvertnes dibenu paceļ un



XIII-24. att. Membrānu tipa aparāts produktu sasaldēšanai blokus (konstruējis A. Seffers):

1 — plāksnes no nerūsoša tērauda; 2 — noņemams gumijas vāks; 3 — membrānu kameras; 4 — līgzdas; 5 — bloku biezuma ierobežotājs; 6 — ierobežotāju nokāpes; 7 — atloks; 8 — čuguna sāls šķīduma kolektors.

novieto vietā. Šādā aparātā sasaldēto bloku izmēri ir  $380 \times 190 \times 100$  mm (masa 75 kg), bet sasaldēšana ilgst 4 stundas, ja sāls šķīduma temperatūra  $-28^\circ\text{C}$  un produkta beigu temperatūra  $-12^\circ\text{C}$ . Aparāta ražīgums 2 t/h. Cehā iespējams uzstādīt vairākus aparātus, kurus pēc kārtas apkalpo kopējas izejvielas padeves un dozēšanas ierīces. Pēc īpatnējā ražīguma, rēķinot uz  $1 \text{ m}^2$  gridas laukuma, šie aparāti līdzvērtīgi lēnas konveijera ātrsaldēšanas aparātiem ar intensīvu gaisa cirkulāciju.

*Saldējuma masu* uzputo un sasaldē īpašos aparātos — frīzeros. Masu apstrādā dubultsienu horizontālā cilindrā ar maisītājiem. Cilindru dzesē ar tiešu amonjaka iztvaici. Izšķir periodiskas un nepārtrauktas darbības frīzerus. Saldējuma uzputošanas un sasaldēšanas laiks periodiskas darbības frīzeri ilgst 5 min. Frīzeri sagatavoto saldējumu tālāk nocietina saldēšanas kamerās vai ātrsaldēšanas aparātos. Saldējumu «Eskimō» nocietina veidnēs, kuras ievietotas atdzesēta kalcija hlorīda tvertnē ( $t = -30^\circ\text{C}$ ) — eskimoģeneratorā. Nocietināšana ilgst apmēram 20 min. Pirms saldējuma izņemšanas veidnes īslaicīgi iegremdē karstā ūdenī.

Birstošu produktu (zaļo zirnīšu, ogu, augļu u. c.) sasaldēšanai ārzemēs (Bulgārijā, Zviedrijā) lieto «*virstošā slāņa*» ātrsaldēšanas aparātus. Kamerā caur produkta slāni no apakšas uz augšu pārvietojas auksta gaisa plūsma, kuras ātrums sasniedz produkta daļiņu līdināšanās ātrumu. Nepārtraukta produkta daļiņu kustība gaisa plūsmā veicina siltuma apmaiņu un samazina sasaldēšanas laiku. Šādām iekārtām nav vajadzīgas transporta ierīces produkta pārvietošanai, jo produktu pārvieto gaisa plūsma.

Pārtikas produktu sasaldēšanai līdz  $-70^\circ\text{C}$  lieto šķidru slāpekli ( $t = -196^\circ\text{C}$ ), kuru caur sprauslām izsmidzina uz produktu. Sasaldēšanas ilgums ir 1,5 stundas. Sādu produktu ilgstoši iespējams transportēt izotermiskajos vagonos bez dzesēšanas ierīču lietošanas.

### 3. Pārtikas produktu uzglabāšana

Atdzesētus vai sasaldētus produktus uzglabā saldētavu kamerās. Kamerās uzstādītie dzesējošie ķermeņi un gaisa dzesētāji uztur nepieciešamo temperatūras un mitruma režīmu, kas uzglabāšanas laikā maksimāli nodrošina produktu sākotnējo īpašību saglabāšanu.

**Produkta uzglabāšanas apstākļi.** Produktus uzglabājot, kamerās jāuztur noteikts gaisa temperatūras un mitruma režīms. Uzglabāšanai paredzētos produktus iepriekš atdzesē vai sasaldē. Ja uzglabāšanas laikā produkta temperatūra svārstās, sīkie ledus kristāli, kuri rodas, produktu ātri sasaldējot, pārkristalizējas lielos kristālos. Tas pasliktina produkta kvalitāti un palielina sulas zudumus, produktu atlaidinot. Līdz ar temperatūru svārstās arī kameras gaisa mitrums. Temperatūrai kamerā strauji pazeminoties, iespējama



mitruma kondensēšanās uz produktu virsmas, kas sevišķi nevēlama atdzesētiem produktiem (rodas gļotas, pelējums utt.).

Lai kamerā nodrošinātu stabilu gaisa temperatūru un mitrumu, nepieciešams uzturēt labā kārtībā tās siltumizolāciju. Gaisa temperatūrai kamerā jābūt pēc iespējas zemākai, jo tad produkts mazāk nožūst un mazāk attīstās mikroorganismi. Jo zemāka kameras gaisa temperatūra, jo lielāks pieļaujams gaisa mitrums.

*Atdzesētus* produktus uzglabā temperatūrā, kas par 0,5...1,0°C augstāka nekā krioskopiskā temperatūra; gaisa relatīvais mitrums uzglabāšanas kamerās ir 80...90%. Augstākā temperatūrā uzglabā dažus siltzemju augļus (ananasi, banāni) un dārzeņus (gurķi, melones, baklažāni u. c.), kuri jutīgi pret zemām pozitīvām temperatūrām. Ja gaisa mitrums par mazu, palielinās produkta nožuvums, turpretim pārāk liels gaisa mitrums sekmē pelējuma attīstību. Gaļu īslaicīgi (3...5 dienas) uzglabā temperatūrā 2...4°C, jo tad gaļa ātri nogatavinās.

Svaigas atdzesētas zivis vislabāk uzglabāt sausas temperatūrā -1...-2°C gaisā ar relatīvo mitrumu 100%. Ja zivju temperatūra virs 0°C, tās nepieciešams pārkaisīt ar sasmalcinātu ledu. Atdzesētas zivis uzglabā ne ilgāk kā 10 dienas, skaitot no nozvejas brīža. Zvejas vietās reizēm zivis īslaicīgi uzglabā atdzesētā jūras ūdenī, kura temperatūra -1...-2°C.

*Sasaldētus* produktus uzglabā temperatūrā -18...-20°C gaisā ar relatīvo mitrumu 95...100%. Šādā gaisā ir minimāls produkta nožuvums.

#### XIII-1. tabula

Sasaldētu produktu pieļaujama uzglabāšanas ilgums (mēnešos)

Produkta veids	Uzglabāšanas temperatūra (°C)			
	-10	-12	-15	-18
Liellopu un aitas gaļa	7	8,5	12	17
Cūkgaļa un liesas zivis	5,5	7	10	14
Vistas gaļa	5	6,5	9	12,5
Zoss un truša gaļa, treknas zivis	4	5	7	10
Sviests	7	8	10	12,5

Gaisa piespiedu cirkulāciju, kuru rada ar ventilatoriem, lieto tikai atdzesētu produktu uzglabāšanas kamerās, lai izlīdzinātu gaisa temperatūru un mitrumu visā kameras tilpumā, aizvāktu mitrumu, gāzes un siltumu (elpojot augļiem un dārzeņiem), ko izdala paši produkti. Gaisa plūsmas ātrumam jābūt 0,1...0,2 m/s.

Sasaldētu produktu uzglabāšanas kamerās gaisa piespiedu cirkulācija kaitīga, jo palielina produktu nožuvumu. Šādās kamerās pilnīgi pietiekama dabiskā gaisa cirkulācija ar ātrumu 0,03...0,08 m/s.

Mākslīgā ventilācija nepieciešama tikai dažādu atdzesētu produktu uzglabāšanas kamerās (gaļas subproduktu, augļu, dārzeņu). Vairumam produktu pietiek, ja kameras gaisu apmaina 3 reizes diennaktī. Vēdināšanai nepieciešamo gaisu iepriekš atdzesē un sausa gaisa dzesētājā, kā arī attīra no putekļiem un mikroorganismiem ar aktīvās oglek filtru, kuru ievieto gaisa vadā aiz dzesētāja. Cīņai pret pelējumu kameru konstrukcijas apstaro ar ultravioleto staru lampām. Smakas iespējams likvidēt ar gaisa ozonēšanu.

Nepieciešamo gaisa temperatūru un mitrumu uzglabāšanas kamerās nodrošina pareiza dzesēšanas sistēma. Atdzesētas gaļas uzglabāšanas kamerās pie sienām uzstāda tiešās iztvaices dzesējošos ķermeņus un gaisa dzesētājus; olu, dārzeņu un augļu uzglabāšanas kamerās uzstāda gaisa dzesētājus un pielieto intensīvu gaisa cirkulāciju. Sasaldētu produktu uzglabāšanas kamerās tiešās iztvaices dzesējošos ķermeņus uzstāda pie sienām un griestiem.

Uz dzesējošo ķermeņu virsmas sarmas vai pilienu veidā kondensējas gaisa mitrums. Gaisa mitruma un ūdens tvaiku parciālā spiediena samazināšanās kamerā veicina mitruma iztvaikošanu no produkta virsmas, un produkts uzglabāšanas laikā zaudē svaru. Ja kamerai sliktā siltumizolācija, tad palielinās siltuma pieplūde un arī produkta nožuvums. Lai samazinātu produkta nožuvumu, dzesējošos ķermeņus novieto pie tām virsmām, caur kurām kamerā ieplūst siltums. Lai samazinātu siltuma pieplūdi no ārpusē un palielinātu gaisa relatīvo mitrumu, sasaldētu produktu uzglabāšanas kamerām dažreiz ierīko dubultsienas, dzesējošos ķermeņus novietojot starpsienu telpā. Sajā gadījumā starp kameras gaisu un sienu siltuma apmaiņa nenotiek un produkta dabiskais nožuvums ievērojami samazinās. Gaisa relatīvo mitrumu kamerā var palielināt ar *ledus ekrānu*, kuru uzstāda starp produktu un dzesējošajiem ķermeņiem. Ekrānu izveido, uzsaldējot ledu uz brezenta auduma. Dabiskos produktu zudumus samazina arī ūdens tvaika necaurīdīgs iesaiņojums un sasaldētu produktu grēdu pārklāšana ar samitrinātu brezentu.

#### 4. Aukstuma iekārtu lietošana tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos

Pārtikas produktu uzglabāšanai tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos ir savas īpatnības (XIII-2. tab.).

1. Produktu uzglabāšanas laiks parasti nav lielāks par dažām diennaktīm, tāpēc pieļaujamas augstākas temperatūras, nekā ilgstoši uzglabājot.

2. Gaisa mitrumu uzglabāšanas laikā neregulē, kamerām nav vēdināšanas ierīces, kas atdzesē un sausa ievadāmo gaisu.

3. Kameru vidējā noslodze ir 200 kg/m<sup>2</sup>, skapju, vitrīnu un lešu plauktu — 20...70 kg/m<sup>2</sup>.



Pārtikas produktu uzglabāšanas apstākļi  
tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos

Produkts	Temperatūra (°C)	Uzglabāšanas laiks (d.)	Kameras noslodze (kg/m <sup>2</sup> )	Iesaiņojuma veids
Gaļa, atdzesēta	0...+4	3...5	160...180	Neiesaiņota, pakārta
Gaļa, sasaldēta	-2	3...5	260...300	Neiesaiņota, grēdās
Gaļa, iesaiņota	-1...+4	1...2	160...200	Celofānā
Gaļas pusfabrikāti	-1...+4	1...2	160...200	Uz paplātēm
Putni, atdzesēti	0...+4	2...3	160...200	Uz plauktiem
Putni, sasaldēti	-2...0	3...5	250...300	Kastēs
Medījumi, sasaldēti	-2...0	3...5	250...300	Kastēs
Gastronomijas preces	+2...+4	3...5	160...200	Dažādā tarā
Zivis, atdzesētas	0...+4	2...3	160...180	Kastēs un mucās ar ledu
Zivis, sasaldētas	-5...-2	3...5	260...300	Kastēs, neiesaiņotas
Zivju fileja, sasaldēta	-5...-2	3...5	260...300	Kastēs
Ikri	-2...0	10...20	300...400	Mucās un kārbās
Sviests	-2...+5	3...10	300...400	Kastēs
Sviests, kausēts	+5...+10	20...30	300...400	Mucās
Margarīns	-2...+5	10...20	300...400	Kastēs
Augu eļļa	+5...+10	10...20	250...350	Mucās
Piens	+1...+4	1	250...300	Pudelēs, kannās
Salds krējums	+1...+4	1	250...300	Pudelēs
Skābs krējums, biezpiens	+2...+5	5...10	250...300	Pudelēs, kannās
Siers	+5...+10	5...10	160...250	Plauktos
Tortes un kūkas	0...+2	2...3	160...200	Plauktos
Saldējums	-12...-8	3...5	160...200	Dažāds
Saldēti augļi un dārzeņi	-10...-8	5...8	250...300	Kartona tarā
Augļi, dažādi	+1...+10	3...8	200...250	Grozos, kastēs
Ogas, dažādas	0...+3	2...3	160...200	Grozos
Olas	+2...+10	10...20	250...300	Kastēs
Vins	+3...+6	—	300...400	Mucās, pudelēs
Alus	+3...+6	10...20	300...400	Mucās, pudelēs
Ēdnicu atkritumi	+4...+6	1...2	150...200	Mucās, kannās

4. Aukstuma kameras un skapji paredzēti iepriekš atdzesētu vai sasaldētu produktu uzglabāšanai.

Galvenās tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumu aukstuma iekārtas ir stacionārās kameras, saliekamās kameras, skapji, vitrīnas, letes, tirdzniecības automāti un produktu sagatavošanas iekārtas.

XIII-3. tabula

## Pārtikas preču veikalu aukstuma kameru laukums

Produkts	Uz vienu darba vietu (m <sup>2</sup> )
Gaļa un gaļas produkti	5
Zivis un zivju produkti	3
Piens un piena produkti	5
Gastronomijas preces	4
Augļi un ogas	3
Dārzeņi	4

XIII-4. tabula

## Sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumu aukstuma kameru skaits un laukums

Uzņēmums	Apmeklētāju vietu skaits	Aukstuma kameru skaits	Kopējais kameru laukums (m <sup>2</sup> )	Laukums freona agregātu novietošanai (m <sup>2</sup> )
Ednīca, vispārēja tipa	50	1	6	2
	100	1...2	9	2
	150	2...3	13	3
	200	2...3	18	4
	250	2...3	22	4
Ednīca slēgta tipa rūpniecības uzņēmumā	50	1	7	2
	100	1...2	9	2
	150	2...3	12	3
	200	2...3	15	4
	250	2...3	16	4
Ednīca atklāta tipa rūpniecības uzņēmumā	100	2...3	13	3
	150	2...3	18	4
	200	2...3	24	5
	250	2...3	30	6
Ednīca studentiem	150	1...3	20	4
	200	1...3	24	5
	250	1...3	32	6
Restorāni	75	1	8	2
	100	1...2	12	2
	150	2...3	15	3
	200	2...3	18	3
Kafejnīcas	25	1	4	1
	50	1	4	1
	75	1	5	2
	100	1	7	2



XIII-4. tabulas turpinājums

Uzņēmums	Apmeklētāju vietu skaits	Aukstuma kameru skaits	Kopējais kameru laukums (m <sup>2</sup> )	Laukums freona agregātu novietošanai (m <sup>2</sup> )
Bufetes	25	1	4	1
	50	1	4	1
	75	1	6	2
	100	1...2	8	2
Mājas virtuves	—	1...2	4...10	2

XIII-5. tabula

## Saliekamo aukstuma kameru raksturojums

Marka	Garums×platums×augstums (mm)	Masa (kg)	Temperatūra (°C)	Derīgais tilpums (m <sup>3</sup> )	Grīdas un plauktu laukums (m <sup>2</sup> )	Ievieļojamais produkta daudzums (kg)	Aukstuma agregāts	Iztvaikošā sildvirsmas laukums (m <sup>2</sup> )
KX-6	1970×1970×2300	670	-2...+2	6,0	5,3	800	ΦAK-1,1E2	2×8,5
KX-12	3440×1970×2300	1000	-2...+2	12,0	—	2100	ΦAK-1,5M3	2×13,6
KX-18	4910×1970×2300	2800	0...+2	18,0	—	3000	ΦAK-1,5M3	2×13,6
IXKP-M	2000×2248×2394	1600	0...2	7,35	4,4	600	ΦAK-1,1E2	13,6
2XKP-M	5280×2032×2420	2800	0...2	18,3	14,4	1200	ΦAK-1,5M3	2×13,6
3XKP-a	2140×2150×2170	1680	4...6	6,0	4,9	600	ΦAK-1,5M3	13,6
HKP-1	3200×2260×2346	1300	-12... ...-15	7,9	3,0	800	ΦAK-1,5M3	3×8,67

Tirdzniecības aukstuma iekārtas apzīmē ar šādiem indeksiem: B — vitrīna; Π — lete; ΠB — lete-vitrīna; ШХ — saldēšanas skapis; ШХХ — kombinētais saldēšanas skapis; KH — zemu temperatūru kamera. Aiz indeksa raksta skaitli, kurš rāda iekšējo tilpumu (m<sup>3</sup>).

Stacionāro aukstuma kameru skaits veikalā atkarīgs no darba vietu skaita, sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumā — no uzņēmuma tipa, apmeklētāju vietu skaita un ēdienu sortimenta (XIII-3. un XIII-4. tab.).

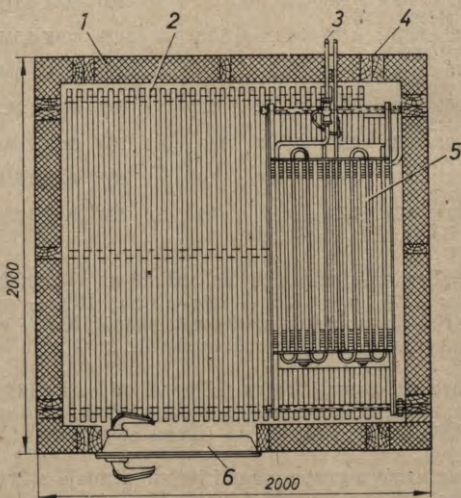
Aukstuma kameru grupu parasti izvieto pirmajā stāvā vai puspagraba stāvā, apvienojot kopējā blokā. Tās kopā ar vējtveri plānā veido taisnstūri. Minimālais pieļaujamais kameru laukums 4 m<sup>2</sup>. Kamerās nedrīkst atrasties apkures, ūdensvada, kanalizācijas un

gāzes caurules, kā arī kopīgās ventilācijas vadi. Freona aukstuma agregātu atļauts novietot gaitenī vai vējtverī. Aukstuma kamerās ievieto ribotu cauruļu freona iztvaikoņus.

**Saliekamās aukstuma kameras** (XIII-5. tab.), tāpat kā stacionārās kameras, lieto produktu rezervju uzglabāšanai (XIII-25. att.). Tās ceļ no atsevišķiem paneļiem, kurus uzstādīšanas vietā savieno un sastiprina ar skrūvēm. Panelis sastāv no karkasa ar metāla vai koka apšuvumu. Starp apšuvumiem ievietota siltumizolācija no mīporas, putuplasta vai gofrēta kartona. Paneļu savienojumu hermētiskumu nodrošina gumijas starplikas. Šādas kameras piegādā komplektā ar freona agregātiem, ribotu cauruļu iztvaikoņiem, armatūru un cauruļvadiem.

**Saldēšanas skapjus** (XIII-6. tab.) lieto produktu uzglabāšanai tirdzniecības zālē pārdevēju darba vietās, kā arī pusfabrikātu un gatavās produkcijas uzglabāšanai sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumu ražošanas cehos. Saldēšanas skapjus ar stikla durvīm lieto arī produkcijas demonstrēšanai.

Tirdzniecības tipa saldēšanas skapjus uzstāda sausā telpā tālāk no apkures radiatoriem, ievērojot produktu ievietošanas un izņemšanas ērtības. Visbiežāk lieto metāla skapjus, kuri samontēti no atsevišķiem izolētiem paneļiem. Paneļu rāmis izgatavots no leņķveida profila tērauda un no abām pusēm apšūts ar skārdu.



XIII-25. att. Saliekamā kamera KX-6:

1 — siltumizolācija; 2 — grīdas režģis; 3 — montāžas cauruļvadi; 4 — gumijas blīve; 5 — iztvaikoņi; 6 — durvis.



Starp apšuvumiem ievieto izolāciju (miporu, putuplastu, minerālvaļi u. c.). Skapjos ievietoti dažādā augstumā uzstādāmi cinkotu stieplu plaukti.

Skapis ИХХ-0,4 (XIII-26. att.) ir bāze skapjiem ИХХ-0,8 un ИХХ-1,2 ar hermētisko aukstuma agregātu. Skapjos uzstādīti ribotu cauruļu freona iztvaikotāji.

Skapis ИИСО-1 piemērots kulinārijas izstrādājumu demonstrēšanai un uzglabāšanai. Skapi ИВД lieto gaļas produktu uzglabāšanai un demonstrēšanai. Skapjiem Т<sub>2</sub>-125М un ИВД-2 aukstuma agregāts kompresors-kondensators novietots blakus uz atsevišķa pamata.

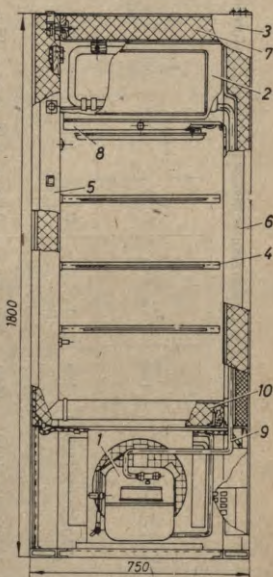
**Atdzesējamas letes un vitrīnas** lieto iepriekš atdzesētu ātri bojājošos produktu, auksto ēdienu un uzkožamo uzglabāšanai pārdošanas laikā. Visbiežāk tās izgatavo komplektā ar iebūvētām aukstuma mašīnām.

Lešu un vitrīnu klasifikācija un tehniskais raksturojums dots XIII-7. tabulā. B tipa vienrindas vitrīnas ar dabisko gaisa cirkulāciju (XIII-27. att.) lieto veikalos ar pārdevēju. Vitrīnas priekšpuse nosepta ar stiklu, izgriezums starp augšējo plauktu un darba galdu pārdevēja pusē atvērts. Aukstuma agregāts ФАК-0,7Е2 apkalpo divas šādas vitrīnas. Atdzesētās derīgās telpas augstums ir 100...110 mm, temperatūra +6 °С. Zemas temperatūras vitrīnas ВН-П lieto iesaiņota saldējuma, saldētu augļu, zivju, gaļas un kulinārijas izstrādājumu uzglabāšanai un demonstrēšanai.

Vitrīna В-1 piemērota ātri bojājošos gastronomijas preču pārdošanai pašapkalpošanās veikalos.

Vitrīnu В-ИИ lieto iesaiņotu gastronomijas preču uzglabāšanai. Gaisa piespiedu cirkulācijai uzstādīti divi aksiālie ventilatori.

Vitrīnai В-3 ir trīs atdzesējami nodalījumi. Vitrīnu komplektē ar atsevišķi novietotu agregātu ФАК-1,5. Katrā vitrīnas nodalījumā ievietots ribotu cauruļu iztvaikotājs, kuru no produkta telpas norobežo metāla vairogs. Vitrīnu В-3 lieto gaļas, zivju, gastronomijas preču, piena produktu, augļu un dārzeņu uzglabāšanai.



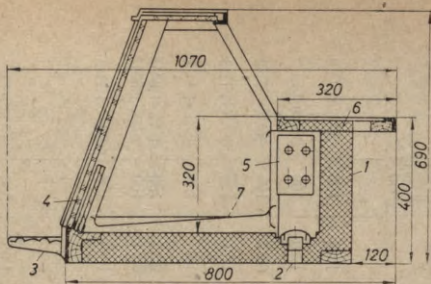
XIII-26. att. Saldešanas skapis ИХХ-0,4:

1 — aukstuma agregāts; 2 — iztvaikotājs; 3 — durvis; 4 — plaukti; 5 un 6 — izolēti sānu paneli; 7 — griestu panelis; 8 — kondensāta savācējs; 9 — cauruļvadi; 10 — izolēts grīdas panelis.

Tirdzniecības uzņēmumu saldiešanas skapju raksturojums

Marka	Garums × platums × augstums (mm)	Masa (kg)	Tempera- tūra (°C)	Tiņk- pūms (m <sup>3</sup> )	Pliktu laukums (m <sup>2</sup> )	Izvietojā- mais pro- dukta dau- dzums (kg)	Aukstuma agregāts	Izvaiķotāja sildvirsmas laukums (m <sup>2</sup> )
ИХХ-0,4	750 × 750 × 1800	180	1...3 (-9... ...-12)	0,4	1,2	80	BC0,45; BC <sub>p</sub> 0,35	—
ИХХ-06 «Kijeв»	1200 × 840 × 1910	350	0...6	0,6	2,15	125	BC0,45; ΦГК-0,45	4,2
ИХХ-0,8	1500 × 750 × 1800	300	1...3	0,8	3,0	160	BC0,7; ΦГК-0,7	—
ИХХ-1,2	2250 × 750 × 1800	420	1...3	1,2	4,5	240	BC0,7; ΦГК-0,7	11,14
T-60M	1210 × 855 × 1870	325	0...6	0,6	2,0	125	BC0,45; ΦГК-0,45	4,2
T <sub>2</sub> -125M	1740 × 890 × 2190	410	0...5	1,25	3,43	250	ΦAK-0,7E2	8,5
T <sub>4</sub> -125	1530 × 830 × 1955	390	0...6	1,25	2,98	250	BC0,7; ΦAK-0,7E2	6,5
ИСО-1	2000 × 690 × 1880	450	{ 2...4 5...8	1,27	4,4	250	ΦAK-1,1E3	14,6+1,46
ИВД-2	2000 × 800 × 2200	450	{ 1...3 4...6	1,16	3,32	400	ΦAK-1,1E3	{ 7,0 3,54 × 2





XIII-27. att. Vitrina B:

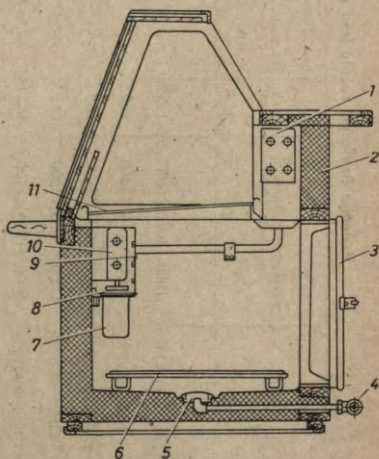
1 — siltumizolācija; 2 — hidrauliskais slēgs; 3 — plauktipīš somām; 4 — stikla siena; 5 — iztvaikotājs; 6 — plauktis svāriem; 7 — režģis.

Zemas temperatūras vitrīna BH-C paredzēta sasaldētu produktu un saldējuma uzglabāšanai. Vitrīnas koka karkass no iekšpuses apšūts ar nerūsošu tēraudu, bet no ārpuses — ar tērauda skārdu. Starp apšuvumiem ievietota putuplasta izolācija. Gludu cauruļu iztvaikotāji piestiprināti pie iekšējām sienām izolācijas pusē. Tie izvietoti pie vitrīnas griestiem, aizmugures un galu sienām.

Lete-vitrīna ПВ-П (XIII-28. att.) piemērota dažādu preču pārdošanai. Labākai apskatei preces vitrīnā izvieto vienā rindā uz emaljētām paplātēm. Leti izmanto produktu rezervju uzglabāšanai, kuras pēc vajadzības pārvieto vitrīnā.

Lete-vitrīna ПВ-Б (XIII-29. att.) piemērota bufetēm un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumiem. Tā apgādāta ar divrindu vitrīnu auksto ēdienu, pusfabrikātu, sviestmaižu, kūku un citu produktu demonstrēšanai un pārdošanai.

Aukstuma agregātus lieto arī tirdzniecības



XIII-28. att. Lete-vitrīna ПВ-П:

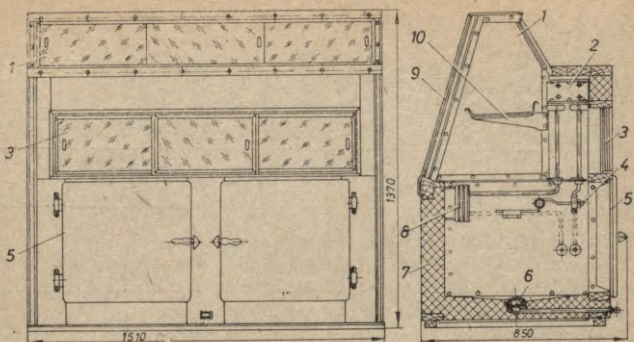
1 un 10 — iztvaikotāji; 2 — siltumizolācija; 3 — durvis; 4 — kondensēta ūdens izvads; 5 — hidrauliskais slēgs; 6 un 11 — režģi produktu novietošanai; 7 — trauks kondensāta savākšanai; 8 — panelis; 9 — iztvaikotāja nožogotājs.

## Padomju Savienībā ražoto lešu un vitrīnu raksturojums

Marka un pielietojums	Garums×platums× augstums (mm)	Masa (kg)	Temperatūra (°C)		Derīgais telpums (m <sup>3</sup> )		Piauktu laukums (m <sup>2</sup> )	Izvie- toja- ma- pro- duktu dau- dzums (kg)	Aukstuma agregāta marka
			letei	vitrīnai	letei	vitrīnai			
<b>Vitrīnas:</b>									
B — vienrindas, veikalim ar pārdeveju	1960×1070×625	135	—	5	—	0,28	1,05	120	ΦAK-0,7E2
BH — veikalim ar pār- deveju	2000×800×1250	250	—	—10... ...15	—	0,2	1,35	100	BH-0,55
B-1 — vienrindas, veika- liem	2000×800×522	180	—	2...8	—	0,37	0,87	120	ΦAK-0,7E2
B-1L — veikalim ar paš- apkalpošanas	2000×920×1200	285	—	6	—	0,3	1,71	120	ΦAK-1,1E3
B-2Φ — divrindu, augliem un dārzeņiem	2000×1010×1700	365	—	6	—	0,3	1,6	120	ΦAK-1,1E2
B-3 — trisrindu	2000×1100×1680	365	—	5	—	0,5	2,86	180	ΦAK-1,5M3
BH — pašapkalpošanas vei- kalim	200×815×1195	300	—	—13... ...15	—	0,3	0,94	100	ΦAK-1,5M3
BД-1 — demonstrēšanas vajadzībām	1770×520×1555	440	—	4...5	—	0,80	1,76	200	ΦAK-1,1E3
<b>Letes-vitrīnas veikalim ar pārdeveju:</b>									
ПВ-П	1960×1070×1250	210	2...4	4...6	0,48	0,28	1,05	280	ΦAK-0,7E2
ПВ-Пb	1960×1070×1250	270	2...4	4...6	0,3	0,28	1,05	200	ΦГK-0,7
АПВ-1	2000×1090×1300	390	2...4	4...10	0,35	0,12	0,98	100	ΦAK-0,7E2
«Пингвин»	2040×1180×1325	300	2...4	4...6	0,35	0,12	0,98	100	ΦAK-0,7E2
«Пингвин»-B	2040×1180×1325	350	2...4	4...6	0,2	0,12	0,98	100	ΦГK-0,7
ПВ-М — skābpiena pro- duktiem	2000×930×1260	250	3...5	4...6	0,5	0,06	1,7	—	ΦAK-0,7E2



ПВ-С — pašapkalpošanās veikalim	2000 × 800 × 1050	230	2...4	4...6	0,23	0,18	1,57	290	BC 0,7~3
ПВ-Ш — skolām	2068 × 1044 × 1035	400	2...4	4...6	—	—	—	40	BC 0,7~3
ПВ-Б — bufetēm	1510 × 850 × 1370	200	3...5	6...8	0,28	0,32	1,25	115	ΦAK-0,7E
ПВ-Р — aukstajiem uzko- žamajiem	1620 × 950 × 1150	300	3...5	6...8	0,25	—	0,70	—	ΦAK-0,7E2
С-К — kafetērijām	1600 × 912 × 1500	190	3...5	6...8	0,25	—	0,70	—	ΦAK-0,7E2
<i>Letes zemām temperatūrām:</i>									
4 × ПН	2000 × 800 × 975	150	6...10	—	0,4	—	—	150	ΦAK-0,7E2
ПН-0,4	2000 × 800 × 900	230	13...15	—	0,43	—	—	—	ВН-0,35
П-10	1000 × 840 × 825	75	13...15	—	0,17	—	—	50	ΦAK-0,7E2
П-10Б	1330 × 740 × 825	200	13...15	—	0,17	—	—	50	ΦГК-0,7
ПН-0,2	1400 × 800 × 900	190	13...15	—	0,205	—	—	50	ΦГК-0,45
П-М — piena izliešanai	1850 × 1050 × 1845	470	4...8	—	0,4	—	—	160	ΦAK-0,7E2
П-К — kokteiļiem	2016 × 864 × 1405	400	5...15	5	—	—	—	80	ΦAK-0,7E2
П-С — sulu pārdošanai	1835 × 630 × 1250	—	3...6	—	0,42	—	—	114	BC 0,45~3



XIII-29. att. Lete-vitrīna IIB-B:

1 un 3 — atbīdāmas vitrīnas durvis; 2 un 8 — iztvaikotāji; 4 — TRV; 5 — letes durvis; 6 — hidrauliskais slēgs; 7 — siltuma izolācija; 9 — stikla siena; 10 — plaukts.

automātos gāzētā ūdens, alus, piena dzesēšanai. Frīzerus lieto mīkstā saldiejuma ražošanai kafējnicās un bāros.

## 5. Gaisa kondicionēšana

*Gaisa kondicionēšana* ir gaisa apstrāde, kuras rezultātā no apkārtējās vides norobežotā telpā automātiski uztur vajadzīgo gaisa temperatūru, mitrumu, kustības ātrumu, spiedienu un tīrības pakāpi. Šāds mākslīgais klimats nepieciešams tehnoloģisko procesu veicināšanai un cilvēku pašsajūtas uzlabošanai. Vasarā telpā ievadāmais āra gaiss jādzesē un jāsausina, bet ziemā — jāsilina un jāmitrina.

*Tehnoloģisko* jeb rūpniecisko gaisa kondicionēšanu pielieto pārtikas, ķīmiskās, poligrāfiskās rūpniecības un tekstilrūpniecības uzņēmumu telpās.

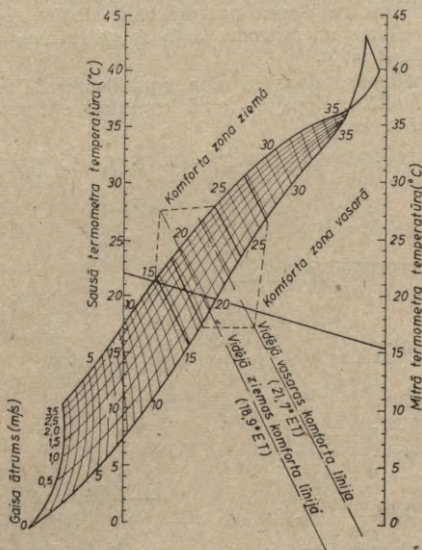
*Komforto* gaisa kondicionēšanu pielieto teātros, kinozālēs, bibliotēkās, dzīvojamās telpās, tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos, pasažieru vagonos, automašīnās, lidmašīnās un kosmosa kuģos.

**Higiēnas un komforta apstākļi.** Galvenais cilvēka pašsajūtas pasliktināšanās cēlonis ir traucējumi siltuma apmaiņā starp organismu un apkārtējo vidi. Siltuma apmaiņa atkarīga no gaisa temperatūras, mitruma un plūsmas ātruma.



Vienādu siltuma sajūtu rada dažādas gaisa temperatūras  $t$ , mitruma  $\phi$  un plūsmas ātruma  $w$  kombinācijas. Lai novērtētu gaisa vides, kas rada vienādu sajūtu, lieto efektīvo temperatūru (ET). Par efektīvo temperatūru sauc tādu piesātināta gaisa temperatūru, kas cilvēka organismu atvēsina tāpat kā gaiss ar doto temperatūru un mitrumu. Efektīvās temperatūras noteikšanai sastādītas diagrammas (XIII-30. att.). Uz efektīvo temperatūru skalas atzīmētas «komforta zonas» vasaras un ziemas periodam. Labākie komforta apstākļi vasarā ir pie 21,7°ET, bet ziemā pie 18,9°ET. Vienādu siltuma sajūtu rada sauss gaiss ar samērā augstu temperatūru un mitrs gaiss ar daudz zemāku temperatūru. Jo augstāka gaisa temperatūra, jo mazākam jābūt tā mitrumam. Cilvēka siltuma sajūta atkarīga arī no cilvēka muskuļu darba.

**Galvenie aprēķini.** Uzturēt telpā doto gaisa temperatūru un mitrumu, kas ir galvenais kondicionēšanas uzdevums, iespējams, ievadot telpā vai izvadot no tās noteiktu siltuma un mitruma daudzumu. Šim nolūkam pēc iespējas precīzi jānosaka telpas siltuma un mitruma bilance. Siltumu un mitrumu telpā izdala cilvēki ( $Q_1$ ;  $W_1$ ) un ražošanas iekārta ( $Q_2$ ;  $W_2$ ). Apstrādājamais materiāls



XIII-30. att. Efektīvo temperatūru diagramma.

## Kondicionēta gaisa komforta parametri

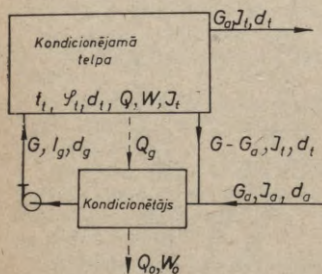
Kondicionējamās telpas	Ziemas un pārejas periodā			Vasaras periodā		
	$t$ (°C)	$\varphi$ (%)	$w$ (m/s)	$t$ (°C)	$\varphi$ (%)	$w$ (m/s)
Sabiedriskās un dzīvojamās telpas	19...21	35...60	0,15	22...25	35...60	0,2
Ražošanas telpas	16...18	35...60	0,25	18...23	35...60	0,3

atkarībā no tā sākuma temperatūras var siltumu un mitrumu izdalīt vai uzņemt ( $\pm Q_3$ ;  $\pm W_3$ ). Bez tam siltumu izdala apgaismošanas ķermeņi ( $Q_4$ ). Arī saules radiācijas siltums ( $Q_5$ ), kas ieplūst caur logiem un sasilda telpas sienas un priekšmetus, pieder pie iekšējiem siltuma avotiem.

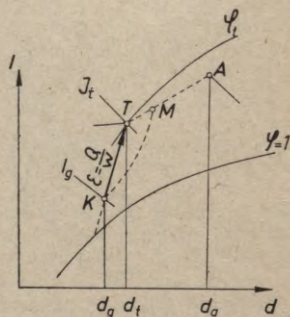
No kondicionējamās telpas siltumu un mitrumu vasaras periodā aizvada ar aukstuma mašīnu vai citiem dzesēšanas līdzekļiem (ledu, artēzisko ūdeni). Tā iespējams telpu atdzesēt līdz temperatūrai, kas zemāka par apkārtējā gaisa temperatūru. Šajā gadījumā telpā no āra ieplūst siltums un mitrums caur atvērtajām durvīm ( $Q_6$ ;  $W_6$ ), siltums vadīšanas procesā caur sienām, griestiem un grīdu ( $Q_7$ ), siltums un mitrums kopā ar gaisu caur porām ( $Q_8$ ;  $W_8$ ), t. i., ar *infiltrāciju*.

Kondicionējamās telpas siltuma un mitruma bilances shēma dota XIII-31. attēlā. Kopējais telpā ievadītais siltuma daudzums pēc siltuma bilances

$$Q = Q_1 + Q_2 \pm Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 = G(I_t - I_g) \text{ (kW)}. \text{ (XIII-12)}$$



XIII-31. att. Kondicionējamās telpas siltuma un mitruma bilances shēma.



XIII-32. att. Gaisa stāvokļa maiņa kondicionēšanas procesā.



Kopējais telpā ievadītais mitruma daudzums pēc mitruma bilances

$$W = W_1 + W_2 \pm W_3 + W_6 + W_8 = G(d_t - d_g) \text{ (kg/s)}, \quad (\text{XIII-13})$$

kur  $G$  — telpā ievadāmā gaisa daudzums (kg/s);

$I_t$  — telpas gaisa entalpija (kJ/kg);

$I_g$  — kondicionētā gaisa entalpija (kJ/kg);

$d_t$  — telpas gaisa mitruma saturs (kg/kg);

$d_g$  — kondicionētā gaisa mitruma saturs (kg/kg).

*Kondicionētājam pievadītais siltuma daudzums*

$$Q_0 = Q + Q_9 + G_a(I_a - I_t) \text{ (kW)} \quad (\text{XIII-14})$$

un *pievadītais mitruma daudzums*

$$W_0 = W + G_a(d_a - d_t) \text{ (kg/s)}, \quad (\text{XIII-15})$$

kur  $Q_9$  — siltuma daudzums, kas sastāv no ventilatora patērētajam darbam ekvivalentā siltuma daudzuma un caur kondicionētāja un gaisa vadu sienām pieplūstošā siltuma daudzuma;

$G_a$  — telpā ievadāmā āra gaisa daudzums (kg/s);

$d_a$  — āra gaisa mitruma saturs (kg/kg);

$I_a$  — āra gaisa entalpija (kJ/kg).

Ar svaigo āra gaisu kondicionējamai telpai pievadītais siltuma daudzums

$$Q_a = G_a(I_a - I_t) \text{ (kW)} \quad (\text{XIII-16})$$

un *pievadītais mitruma daudzums*

$$W_a = G_a(d_a - d_t) \text{ (kg/s)}. \quad (\text{XIII-17})$$

Ja kondicionētājā gaisu tikai dzesē, tad siltuma daudzums  $Q_0$  vienāds ar aukstuma mašīnas aukstuma ražīgumu. Ja pēc atdzesēšanas gaisu kondicionētājā uzsilda, tad aukstuma mašīnas aukstuma ražīgums vienāds ar  $Q_0$  un gaisa uzsildīšanai nepieciešamā siltuma daudzuma summu.

Lai novērstu saaukstēšanos, tad telpas un telpā ievadāmā gaisa temperatūru starpība ( $t_t - t_g$ ) nedrīkst pārsniegt 4...8°C. Ievērojot šo nosacījumu, aprēķina cirkulējošā gaisa daudzumu  $G$ .

Kā redzams no vienādojuma (XIII-14), kondicionēšanai patērētais aukstuma daudzums palielinās, ja palielinās pievadāmā svaigā gaisa daudzums. Šis lielums var mainīties no minimālās vērtības, kuru nosaka sanitārās normas, līdz kopējam kamerā ievadāmajam gaisa daudzumam  $G$  (kg/s). Pēdējā gadījumā no kondicionētāja telpā ieplūst tikai svaigais gaiss bez atkārtoti izmantojamā gaisa piejaukuma un aukstuma patēriņš palielinās 1,5...2 reizes. Tāpēc visur, kur vien iespējams, svaigā gaisa padeve jāsamazina līdz sanitārajam minimumam, kuru aprēķina pēc kaitīgo gāzu pieļaujamā daudzuma telpā. Nav pieļaujams darbs bez atkārtotas gaisa izmantošanas tehnoloģiskajā gaisa kondicionēšanā pārtikas rūpniecībā, kad parasti telpās jāuztur pazemināta temperatūra.

Izdalot vienādojumu (XIII-12) ar (XIII-13), iegūst attiecību  $\epsilon$ , kas raksturo kondicionējamās telpas gaisa stāvokļa maiņas virzienu  $I-d$  diagrammā, t. i.,

$$\epsilon = \frac{Q}{W} = \frac{I_t - I_g}{d_t - d_g} \text{ (kJ/kg)}. \quad (\text{XIII-18})$$

So attiecību sauc par *leņķisko mērogu*, un tā staru veidā atlikta uz  $I-d$  diagrammas malām (pielikuma 1. diagramma). Atkarībā no telpas izmantošanas leņķiskais mērogs  $\epsilon$  komforta kondicionēšanā ir robežās no 8400 kJ/kg (teātriem, auditorijām) līdz 16 800 kJ/kg (dzīvokļiem).

XIII-32. attēlā  $I-d$  diagrammā parādīta gaisa stāvokļa maiņa, kondicionējot saskaņā ar XIII-31. attēla shēmu.

No telpas atkārtoti izmantojamais gaiss, kura stāvokli raksturo punkts  $T$ , samaisās ar āra gaisu, kura stāvokli raksturo punkts  $A$ . Gaisa maisījums, kura stāvokli raksturo punkts  $M$ , ieplūst kondicionētājā, kur pēc apstrādes tam jāiegūst punktam  $K$  atbilstošie parametri. Gaisa stāvokļa maiņa kondicionētājā nosacīti attēlota ar svītrliniju.

Kondicionētājā atdzesēto gaisu ievadot telpā, tas atņem no telpas siltumu un mitrumu saskaņā ar vienādojumiem (XIII-12) un (XIII-13).

No vienādojumiem (XIII-12) un (XIII-13) redzams, ka konstantām  $I_t$  un  $d_t$  vērtībām, kas raksturo nemainīgu gaisa stāvokli telpā, un konstantam cirkulējošā gaisa daudzumam  $G$  katrai  $Q$  un  $W$  vērtībai atbilst noteikta  $I_g$  un  $d_g$  vērtība, t. i., pilnīgi noteikti telpā ievadāmā gaisa parametri, (punkts  $K$ ). Izmainoties siltuma daudzumam  $Q$  un mitruma daudzumam  $W$ , kas izdalās telpā, punkta  $K$  stāvoklim jāizmainās tā, lai punkta  $T$  stāvoklis nemainītos un pie nemainīga ievadāmā gaisa daudzuma  $G$  lielumi  $I_g$  un  $d_g$  apmierinātu siltuma un mitruma bilances vienādojumus (XIII-12) un (XIII-13). Tas arī ir galvenais kondicionēšanas uzdevums.

Nemainīgu telpas gaisa stāvokli automātiski uztur divas viena no otras neatkarīgi darbojošās ierīces: termoregulators, kas uztur nemainīgu telpas gaisa temperatūru, un mitruma regulators, kas uztur nemainīgu telpas relatīvo mitrumu. Šīs ierīces darbina izpildmehānismus, kuri regulē siltuma un mitruma padevi. Tā kā punkta  $T$  stāvoklis nemainās, tad visus punktā  $K$  iespējamos gaisa stāvokļus var attēlot polārajā koordinātu sistēmā ar vektora  $TK$  garumu un slīpumu  $\epsilon$  (XIII-32. att.).

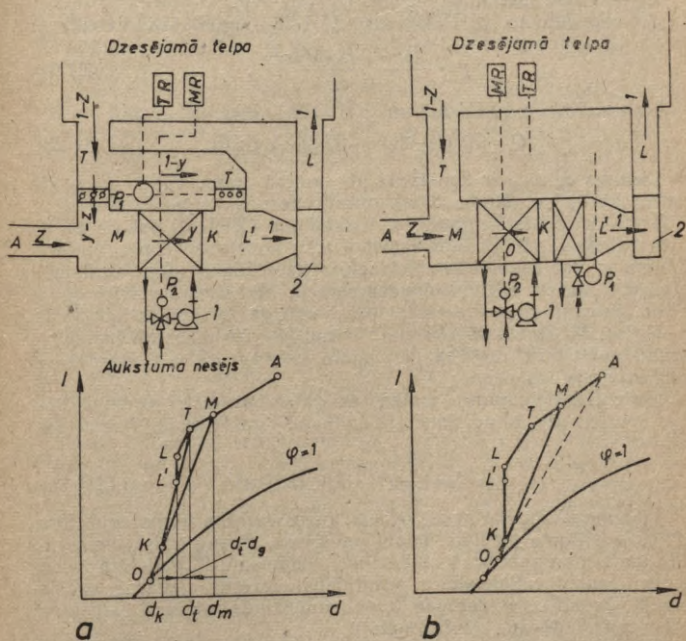
Bez galvenā uzdevuma — telpas gaisa temperatūras un mitruma regulēšanas — kondicionēšanas iekārta izpilda arī šādas funkcijas: ar vēdināšanu izvada no telpas nevēlamas gāzes un tvaikus, kurus izdala cilvēki, iekārta un produkti; attīra gaisu no putekļiem, kas iekļūst telpā no ārienes vai rodas telpā; likvidē telpā smakas; paaugstina telpā vieglo jonu koncentrāciju, kas labvēlīgi ietekmē cilvēka pašsajūtu; rada telpā mērenu gaisa cirkulāciju, kas izlīdzina temperatūru un mitrumu darba zonā.



**Gaisa apstrādes shēmas.** Gaisu ar noteiktu temperatūru un mitrumu, kas savus parametrus maina atkarībā no telpā izdalītā siltuma un mitruma daudzuma, iespējams iegūt, izmantojot dažādas apstrādes shēmas.

Kondicionētāja aukstuma ražīgumu ērti regulēt, laižot lielāku vai mazāku gaisa daudzumu pa apejas kanālu (baipas) gar kondicionētāju (XIII-33. att. a).

Kondicionējamās telpas gaiss (punkts  $T$ ) samaisās ar āra gaisu (punkts  $A$ ), un šāds maisījums (punkts  $M$ ) ieplūst kondicionētājā, kurš ir sausais vai mitrais gaisa dzesētājs ar virsmas temperatūru, kas zemāka nekā āra gaisa rasas punkta temperatūra. Gaisa maisījums (punkts  $M$ ) saskaras ar dzesētāja virsmu, atdziest un sausējas līdz stāvoklim  $K$ . Pēc tam notiek sajaukšanās ar telpas gaisu, kas pieplūst pa apejas kanālu, veidojot gaisa maisījumu (punkts



XIII-33. att. Gaisa apstrādes shēmas kondicionētājā:  
 a — ar apejas kanālu; b — ar gaisa uzsildīšanu; 1 — sūknis;  
 2 — ventilators.

$L'$ ). Sis gaiss, nedaudz uzsilstot ventilatorā un kanālā, nonāk kondicionējamā telpā stāvoklī  $L$ . Āra gaisa daudzumu un kondicionētājā atdzesētā gaisa daudzumu var noteikt pēc šādām attiecībām:

$$y = \frac{G_k}{G} \text{ un } z = \frac{G_a}{G},$$

kur  $G_k$  — kondicionētājā atdzesētā gaisa daudzums (kg/s).

Lielumu  $z$  izvēlas pēc sanitārajām normām, bet lielumu  $y$  nosaka pēc gāzu samaisīšanas vienādojuma punktā  $L'$ , t. i.,

$$G(1-y)I_t + GyI_k = GI_{g'} \quad (\text{kW}). \quad (\text{XIII-19})$$

$$\text{Entalpija } I_{g'} = I_g - c_g \Delta t_{\text{vent}} \quad (\text{kJ/kg}), \quad (\text{XIII-20})$$

kur  $\Delta t_{\text{vent}}$  — gaisa temperatūras pieaugums ventilatorā un kanālā uz darba termiskā ekvivalenta un siltuma pieplūdes rēķina ( $^{\circ}\text{C}$ );

$c_g$  — gaisa īpatnējais siltums [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ].

No vienādībām (XIII-19) un (XIII-20) iegūst šādu izteiksmi:

$$y = \frac{I_t - I_g + c_g \Delta t_{\text{vent}}}{I_t - I_k}. \quad (\text{XIII-21})$$

No vienādībām (XIII-21) un (XIII-12) iegūst, ka

$$Q = G[y(I_t - I_k) - c_g \Delta t_{\text{vent}}] \quad (\text{kW}). \quad (\text{XIII-22})$$

Lielums  $c_g \Delta t_{\text{vent}}$  ir konstants un samērā mazs. Tāpēc aptuveni var uzskatīt, ka siltuma daudzums  $Q$ , kuru aizvada no telpas, ir tieši proporcionāls lielumam  $y$ . Vienādības (XIII-22) labajā pusē, ja nemainās  $\varepsilon$ , visi lielumi, izņemot  $y$ , ir konstanti. Tāpēc, mainot lielumu  $y$ , var regulēt kondicionētāja dzesēšanas spēju atbilstoši telpā izdalītajam siltuma daudzumam  $Q$ . Maksimālā vērtība  $y=1$  ir tad, ja caur gaisa dzesētāju plūst viss gaiss (apejas kanāls ir noslēgts). Minimālā vērtība  $y=z$  ir tad, ja viss atkārtoti izmantotajamais gaiss plūst caur apejas kanālu, bet caur gaisa dzesētāju — tikai svaigais āra gaiss.

Mainoties lielumam  $y$ , mainās arī gaisa parametri pirms dzesētāja (punkts  $M$ ). Kondicionētājā ieplūstošā gaisa maisījuma entalpija

$$I_m = I_t + \frac{z}{y} (I_a - I_t) \quad (\text{kJ/kg}). \quad (\text{XIII-23})$$

Lielumu  $y$  izmaina ar aizvāriem, kurus darbina termoregulators (TR). Ja siltuma pieplūde telpai palielinās, pieaug gaisa temperatūra un termoregulators ar piedziņas mehānismu  $P_1$  palielina gaisa padevi caur kondicionētāju, vienlaikus pieverot aizvarus apejas kanālā. Ja siltuma pieplūde telpai samazinās, aizvars samazina gaisa caurplūdi caur kondicionētāju.

Mitruņa pieplūdes svārstības telpā var kompensēt, attiecīgi izmainot gaisa dzesētāja sausināšanas spēju. To panāk, regulējot dzesētāja sildvirsmas temperatūru, kas nosaka procesa  $TL$  slīpumu



*I-d* diagrammā. Samazinot sildvirsmas temperatūru, *TL* slīpums arī samazinās. Sajā gadījumā nemainīgas siltuma pieplūdes apstākļos mitruma saturu starpība  $d_t - d_g$  palielinās, tātad palielinās dzesētāja sausināšanas spēja.

Dzesētāja sildvirsmas temperatūru paaugstinot, dzesētāja sausināšanas spēja samazinās tik ilgi, kamēr temperatūra sasniedz telpas gaisa rasas punkta temperatūru. Sajā gadījumā  $d_k = d_t$ ,  $W = 0$  un gaisa dzesētājs sausina tikai āra gaisu.

Ja dzesētāja sildvirsmas temperatūra augstāka nekā telpas gaisa rasas punkta temperatūra, tad mitrais gaisa dzesētājs gaisu mitrina. Lietojot sauso gaisa dzesētāju, vajadzīga speciāla mitrināšanas ierīce.

Dzesētāja sildvirsmas temperatūru regulē, izmainot aukstuma nesēja padevi vai temperatūru. Pēdējo panāk, piejaucot klāt atstrādāto aukstuma nesēju. Vārstu piedziņas mehānismu  $P_2$  vada mitruma regulators (*MR*).

Ar dzesētāja sildvirsmas temperatūras pazemināšanos līnijas *TL* slīpums samazinās tik ilgi, kamēr līnija *MK* kļūst par liknes  $\varphi = 1$  pieskari.

Ja  $\epsilon$  vērtība maza, līnija *MK* ar likni  $\varphi = 1$  nekrustojas. Tas raksturīgs tehnoloģiskajai gaisa kondicionēšanai pārtikas rūpniecības uzņēmumos, kuru telpās izdalās daudz mitruma. Šādos gadījumos pielieto shēmu kondicionēšanai ar gaisa uzsildīšanu (XIII-33. att. b.).

Pēc šīs shēmas atkārtoti izmantojamā gaisa un āra gaisa maisījums (punkts *M*) nonāk gaisa dzesētājā, kur atdziest un tiek sausināts līdz stāvoklim *K*. Pēc tam gaisu līdz stāvoklim *L'* uzsilda kaloriferā, bet līdz stāvoklim *L* ventilatorā un kanālā. Mainot uzsildītā gaisa temperatūru un dzesētāja sildvirsmas temperatūru, iespējams daudz plašākās robežās mainīt telpā ievadāmā gaisa temperatūru un mitrumu, nekā lietojot shēmu ar aplejas kanālu. Shēmā ar gaisa uzsildīšanu aukstuma patēriņš vienmēr lielāks nekā shēmā ar aplejas kanālu par kaloriferam pievadīto siltuma daudzumu. Lietderību iespējams palielināt, lietojot kombinētu shēmu — ar aplejas kanālu un gaisa uzsildīšanu.

**Gaisa kondicionēšanas sistēmas.** *Centralizētu* gaisa kondicionēšanas sistēmu lieto, ja kondicionējamo telpu tilpums ir liels un aukstuma patēriņš pārsniedz 350 kW. Aukstuma iekārtu un gaisa dzesētājus-kondicionētājus novieto pagrabos — ārpus kondicionējamām telpām. Atzēsēto un atstrādāto gaisu telpām pievada un aizvada pa kanāliem. Kondicionējamās telpās nav dzirdams ventilatoru un aukstuma mašīnu darba troksnis.

*Vietējā* gaisa kondicionēšanas sistēma atšķiras no centralizētās ar to, ka aukstumu un siltumu ražo centralizēti, bet gaisa apstrādi veic vietējos bezkanālu kondicionētājos, kuri parasti ievietoti kondicionējamā telpā. Aukstuma un siltuma nesēju pievada kondicionētājiem pa cauruļvadiem. Galvenais šīs sistēmas trūkums ir lielais āra gaisa pievadu skaits.

*Autonomajai* gaisa kondicionēšanas sistēmai raksturīga decentralizēta aukstuma iegūšana un gaisa apstrāde atsevišķos kondicionētājos, kuri apgādāti ar aukstuma agregātiem. Šīs sistēmas priekšrocība — kondicionējamās telpās iespējams iegūt dažādas temperatūras, bet trūkums — ievērojams troksnis, ko rada aukstuma mašīna un ventilatori. Lieto šāda tipa autonomos kondicionētājus: istabu kondicionētājus (aukstuma ražīgums 2,3... 7,0 kW), dzīvokļu kondicionētājus (aukstuma ražīgums 7... 18 kW) un zāļu kondicionētājus (aukstuma ražīgums līdz 140 kW). Istabu kondicionētājus parasti uzstāda logā vai zem palodzes. Dzīvokļu un zāļu kondicionētājus visbiežāk izveido kā skapjus, kurus uzstāda kondicionējamā telpā vai ārpus tās, pievadot apstrādāto gaisu pa īsiem kanāliem.

XIII-9. tabula

Orientējošs aukstuma patēriņš komforta kondicionēšanā

Kondicionējamās telpas	Ipatnējais aukstuma patēriņš
Teātri, kino	200... 230 W/cilv.
Sanāksmju zāles	230... 290 W/cilv.
Nelieli veikali	120... 180 W/m <sup>2</sup>
Lieli universālveikali	180... 260 W/m <sup>2</sup>
Ednīcas, restorāni	290... 350 W/cilv.
Kafejnīcas, bufetes	350... 470 W/cilv.
Kantori	120... 140 W/m <sup>2</sup>
Dzīvokļi	70... 95 W/m <sup>2</sup>



PIELIKUMS

Mitra gaisa termodinamiskās īpašības barometriskajam spiedienam 760 mm Hg

Temperatūra $t$ (°C)	Piesātinātā tvaika spiediens barometriskajam spiedienam $p^s$ (mm Hg)	Piesātinātā tvaika masa uz 1 kg sausa gaisa $d^s$ (g/kg)	Ipatnējais tilpums		Entalpija			
			1 kg sausa gaisa v s · g (m <sup>3</sup> /kg)	piesātinātām gaisam uz 1 kg sausa gaisa v m · g (m <sup>3</sup> /kg)	1 kg sausa gaisa I s · g		piesātinātām gaisam uz 1 kg sausa gaisa I	
					kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg
-40	0,093	0,0762	0,66006	0,66014	-40,186	-9,600	-40,001	-9,556
-38	0,119	0,0974	0,66573	0,66583	-38,176	-9,120	-37,942	-9,064
-36	0,150	0,1228	0,67139	0,67152	-36,167	-8,640	-35,870	-8,569
-34	0,185	0,1514	0,67706	0,67722	-34,158	-8,160	-33,794	-8,073
-32	0,227	0,1858	0,68272	0,68292	-32,148	-7,680	-31,701	-7,573
-30	0,280	0,2292	0,68839	0,68864	-30,139	-7,200	-29,591	-7,069
-28	0,345	0,2825	0,69406	0,69437	-28,130	-6,720	-27,452	-6,558
-26	0,423	0,3464	0,69972	0,70011	-26,121	-6,240	-25,292	-6,042
-24	0,521	0,4267	0,70539	0,70587	-24,111	-5,760	-23,090	-5,516
-22	0,636	0,5210	0,71106	0,71165	-22,102	-5,280	-20,859	-4,983
-20	0,772	0,6323	0,71672	0,71745	-20,093	-4,800	-18,586	-4,440
-18	0,935	0,7660	0,72239	0,72328	-18,084	-4,320	-16,137	-3,855
-16	1,128	0,9240	0,72805	0,72913	-16,074	-3,840	-13,881	-3,316
-14	1,357	1,1126	0,73372	0,73503	-14,065	-3,360	-11,319	-2,704
-12	1,627	1,3344	0,73938	0,74096	-12,056	-2,880	-8,761	-2,093
-10	1,946	1,5970	0,74505	0,74696	-10,046	-2,400	-6,091	-1,455
-8	2,321	1,9050	0,75071	0,75300	-8,037	-1,920	-3,311	-0,791
-6	2,761	2,2680	0,75646	0,75908	-6,028	-1,440	-0,393	-0,094
-4	3,276	2,6920	0,76204	0,76534	-4,019	-0,960	2,679	0,640
-2	3,879	3,1900	0,76771	0,77165	-2,009	-0,480	5,936	1,418



0	4,579	3,7720	0,77338	0,77807	0,000	0,00	9,410	2,248
2	5,290	4,3600	0,77904	0,78450	2,009	0,480	12,901	8,082
4	6,100	5,033	0,78471	0,79101	4,019	0,960	16,614	3,969
6	7,010	5,790	0,79037	0,79773	6,028	1,440	20,541	4,907
8	8,040	6,650	0,79604	0,80455	8,037	1,920	24,727	5,907
10	9,210	7,630	0,80161	0,81144	10,046	2,400	29,227	6,982
12	10,520	8,757	0,80737	0,81879	12,056	2,880	33,982	8,118
14	11,990	9,97	0,81304	0,82607	14,065	3,360	39,202	9,365
16	13,630	11,359	0,81871	0,83366	16,074	3,840	44,757	10,692
18	15,480	12,935	0,82437	0,84151	18,084	4,320	50,793	12,134
20	17,53	14,672	0,83000	0,84958	20,093	4,800	57,252	13,677
22	19,83	16,664	0,83570	0,85809	22,102	5,280	64,368	15,377
24	22,38	18,870	0,84137	0,86689	24,110	5,760	72,041	17,210
26	25,21	21,340	0,84703	0,87609	26,121	6,240	80,405	19,208
28	28,35	24,101	0,85270	0,88574	28,130	6,720	89,530	21,388
30	31,82	27,180	0,85837	0,89587	30,139	7,200	99,485	23,766
32	35,66	30,620	0,86403	0,90656	32,148	7,680	110,385	26,370
34	39,90	34,460	0,86970	0,91788	34,158	8,160	122,315	29,220
36	44,56	38,600	0,87536	0,92968	36,167	8,640	135,082	32,270
38	49,69	43,430	0,88103	0,94253	38,176	9,120	149,650	35,750
40	55,32	48,815	0,88669	0,95627	40,186	-9,600	165,640	39,570
42	61,50	54,706	0,89236	0,97041	42,195	10,080	183,012	43,720
44	68,26	61,378	0,89803	0,98663	44,204	10,560	202,393	48,350
46	75,65	68,760	0,90369	1,00641	46,213	11,040	223,700	53,440
48	83,71	76,990	0,90936	1,02190	48,223	11,520	247,267	59,070
50	92,51	86,200	0,91502	1,04181	50,232	12,000	273,555	65,350

Piesātinātā amonjaka (NH<sub>3</sub>) tvaika parametri

Temperatūra t (°C)	Absolūtais spiediens p		Ipatnējais tilpums		Blīvums		Entalpija				Izvaikošanas siltums r	
	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	šķidrū- mam (dm <sup>3</sup> /kg)	tvaikam v <sup>o</sup> (m <sup>3</sup> /kg)	šķidrū- mam (kg/m <sup>3</sup> )	tvaikam (kg/m <sup>3</sup> )	šķidrūmam t'		tvaikam t''		kJ/kg	kcal/kg
							kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg		
-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	386,7	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
-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	323,78
-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	1,4839	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	1334,5	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	0.23434	2.410	1.5185	0.5087	658.5	1.966	350.0	83.59	1662.7	397.12	1312.7	313.53
-14	0.24354	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
-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
0	0.42943	4.217	1.5627	0.3002	639.9	3.332	414.0	98.89	1680.0	401.25	1265.9	302.36
+2	0.46248	4.379	1.5660	0.2897	638.6	3.452	418.7	100.00	1681.1	401.52	1262.4	301.52
+4	0.49748	4.716	1.5727	0.2700	635.8	3.703	427.9	102.21	1683.3	402.04	1255.4	299.84
+6	0.53446	5.073	1.5796	0.2520	633.1	3.969	437.1	104.43	1685.4	402.55	1248.3	298.13
+8	0.57359	5.450	1.5866	0.2353	630.3	4.250	446.5	106.65	1687.4	403.04	1240.9	296.39
+10	0.61398	5.849	1.5936	0.2200	627.5	4.546	455.8	108.87	1689.3	403.50	1233.6	294.63
+12	0.65867	6.271	1.6008	0.2058	624.7	4.859	465.2	111.11	1691.3	403.95	1223.2	292.84
+14	0.70442	6.715	1.6081	0.1927	621.8	5.189	474.6	113.35	1693.0	404.38	1218.5	291.03
+16	0.75285	7.183	1.6156	0.1706	619.0	5.537	484.0	115.59	1694.8	404.79	1210.8	289.20
+18	0.80375	7.677	1.6231	0.1694	616.1	5.904	493.4	117.85	1696.4	405.19	1203.0	287.34
+20	0.85716	8.196	1.6308	0.1591	613.2	6.289	502.9	120.11	1698.0	405.57	1195.2	285.46
+21	0.88496	8.741	1.6386	0.1491	610.3	6.694	512.4	122.32	1699.6	405.93	1187.2	283.55
+22	0.91340	9.024	1.6426	0.1449	608.0	6.904	517.2	123.52	1700.2	406.10	1183.1	282.58
+23	0.94252	9.314	1.6466	0.1405	607.3	7.119	521.9	124.66	1701.0	406.27	1179.1	281.61
+24	0.97230	9.615	1.6507	0.1363	605.8	7.339	526.7	125.80	1701.5	406.43	1174.9	280.63
+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

Pielikuma 2. tabulas turpinājums

Temperatūra <i>t</i> (°C)	Absolūtais spiediens <i>p</i>		Ipatnējais tilpums		Blīvums		Entalpija				Iztvaikošanas siltums <i>r</i>	
	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	šķidr- mām (dm <sup>3</sup> /kg)	tvaikam <i>v</i> <sup>0</sup> (m <sup>3</sup> /kg)	šķidr- mām (kg/m <sup>3</sup> )	tvaikam (kg/m <sup>3</sup> )	šķidrūmam <i>t'</i>		tvaikam <i>t''</i>		kJ/kg	kcal/kg
							kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg		
+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
+27	1,0650	10,870	1,6672	0,1209	599,8	8,273	545,9	130,39	1704,1	407,03	1158,3	276,65
+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	408,37	1100,5	262,85

-Pielikuma 3. tabula

Piesātināta difluordihlorometāna (CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, freons-12) tvaika parametri

Temperatūra <i>t</i> (°C)	Absolūtais spiediens <i>p</i>		Ipatnējais tilpums		Blīvums		Entalpija				Iztvaikošanas siltums <i>r</i>	
	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	šķidr- mām (dm <sup>3</sup> /kg)	tvaikam <i>v</i> <sup>0</sup> (m <sup>3</sup> /kg)	šķidr- mām (kg/m <sup>3</sup> )	tvaikam (kg/m <sup>3</sup> )	šķidrūmam <i>t'</i>		tvaikam <i>t''</i>		kJ/kg	kcal/kg
							kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg		
-60	0,02270	0,2315	0,6349	0,6394	1575	1,564	367,1	87,68	544,3	130,00	173,2	42,92
-55	0,03006	0,3065	0,6406	0,4930	1561	2,028	371,1	88,63	546,7	130,59	175,7	41,96
-50	0,03922	0,3999	0,6468	0,3854	1546	2,595	375,1	89,59	549,2	131,18	174,1	41,59
-48	0,04346	0,4432	0,6493	0,3504	1540	2,854	376,7	89,97	550,2	131,42	173,5	41,45
-46	0,04808	0,4900	0,6515	0,3193	1535	3,132	378,3	90,36	551,2	131,65	172,9	41,29
-44	0,05304	0,5409	0,6540	0,2914	1529	3,432	380,0	90,76	552,2	131,89	172,2	41,13
-42	0,05843	0,5958	0,6566	0,2665	1523	3,753	381,6	91,15	553,2	132,13	171,6	40,98



-40	0.06424	0.6551	0.6592	0.2441	1517	4.097-	383.9	91.55	554.2	132.36	170.9	40.81
-39	0.06732	0.6865	0.6605	0.2337	1514	4.279	384.1	91.75	554.7	132.46	170.5	40.73
-38	0.07050	0.7189	0.6618	0.2239	1511	4.466	385.0	91.95	555.2	132.60	170.2	40.65
-37	0.07378	0.7523	0.6631	0.2146	1508	4.666	385.8	92.15	555.7	132.72	169.9	40.57
-36	0.07723	0.7875	0.6645	0.2057	1505	4.862	386.7	92.35	556.1	132.83	169.5	40.48
-35	0.08079	0.8238	0.6658	0.1973	1502	5.069	387.5	92.55	556.6	132.95	169.1	40.40
-34	0.08443	0.8610	0.6671	0.1894	1499	5.280	388.4	92.76	557.1	133.07	168.8	40.31
-33	0.08826	0.9000	0.6684	0.1818	1496	5.501	389.2	92.96	557.6	133.19	168.4	40.23
-32	0.09218	0.9400	0.6698	0.1747	1493	5.724	390.0	93.16	558.2	133.30	168.1	40.14
-31	0.09628	0.9818	0.6711	0.1678	1490	5.960	390.9	93.37	558.7	133.43	167.7	40.06
-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	566.0	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
-7	0.24353	2.4833	0.7062	0.07078	1416	14.13	412.2	98.45	570.2	136.20	158.1	37.75
-6	0.25214	2.5712	0.7077	0.06852	1413	14.60	413.1	98.67	570.7	136.32	157.6	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

Pielikuma 3. tabulas turpinājums

Temperatūra t (°C)	Absolūtais spiediens p		Ipatnējais tilpums		Blīvums		Eiptalpija				Iztvaikošanas siltums r	
	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	šķidr- mām v <sup>0</sup> (dm <sup>3</sup> /kg)	tvaikam v <sup>v</sup> (m <sup>3</sup> /kg)	šķidr- mām (kg/m <sup>3</sup> )	tvaikam (kg/m <sup>3</sup> )	šķidrūmām l'		tvaikam f''		kJ/kg	kcal/kg
							kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg		
-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	154,9	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	35,05
+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	1298	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
+34	0,82460	8,4087	0,7825	0,02192	1278	45,62	451,9	107,94	587,9	140,43	136,0	32,49
+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



Amonjaka (NH<sub>3</sub>) teorētiskais īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums  $q_v$  (kJ/m<sup>3</sup>)

Vārīšanās temperatūra $t_0$ (°C)	$q_v$ , ja temperatūra pirms regulējošā ventiļa $t_p$ (°C)							
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	±0	+5
-60	277,8	273,8	268,8	264,2	259,2	254,5	249,5	244,5
-55	377,6	368,7	364,7	358,0	351,7	345,0	338,3	331,6
-50	505,3	497,0	488,2	479,8	471,0	462,2	453,4	444,6
-45	665,3	654,8	643,9	632,6	621,3	610,0	598,3	586,6
-40	866,2	851,6	837,4	822,7	807,6	793,0	778,3	763,2
-37,5	982,2	965,4	949,6	932,8	916,1	899,3	882,6	865,8
-35	1111,0	1093,0	1075,0	1056,0	1037,0	1018,0	999,3	980,1
-32,5	1254,0	1233,0	1212,0	1191,0	1170,0	1148,0	1127,0	1106,0
-30	1411,0	1387,0	1364,0	1344,0	1317,0	1293,0	1269,0	1245,0
-27,5	—	1557,0	1530,0	1504,0	1478,0	1451,0	1424,0	1397,0
-25	—	1743,0	1713,0	1683,0	1654,0	1624,0	1595,0	1494,0
-22,5	—	—	1912,0	1879,0	1846,0	1813,0	1780,0	1747,0
-20	—	—	2130,0	2094,0	2057,0	2021,0	1984,0	1946,0
-17,5	—	—	—	2327,0	2286,0	2246,0	2204,0	2163,0
-15	—	—	—	2580,0	2536,0	2491,0	2446,0	2400,0
-12,5	—	—	—	—	2805,0	2755,0	2705,0	2656,0
-10	—	—	—	—	3099,0	3044,0	2989,0	2933,0
-7,5	—	—	—	—	—	3354,0	3293,0	3232,0
-5	—	—	—	—	—	3689,0	3622,0	3474,0
-2,5	—	—	—	—	—	—	3965,0	3895,0
0	—	—	—	—	—	—	4358,0	4278,0

Vārīšanās temperatūra $t_0$ (°C)	$q_v$ , ja temperatūra pirms regulējošā ventiļa $t_p$ (°C)						
	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40
-60	239,5	234,5	229,4	224,4	219,4	213,9	208,9
-55	324,9	318,2	311,5	304,8	297,7	291,0	283,9
-50	435,8	426,6	417,0	408,6	399,4	390,2	381,0
-45	574,8	562,7	550,6	538,4	526,3	514,1	502,0
-40	748,2	733,1	717,6	702,1	686,6	671,1	655,2
-37,5	849,1	832,3	814,8	797,2	779,6	762,0	744,0
-35	960,9	941,6	922,3	902,7	882,6	862,9	842,4
-32,5	1084,0	1063,0	1090,0	1019,0	996,9	974,3	951,2
-30	1221,0	1197,0	1172,0	1147,0	1122,0	1097,0	1071,0
-27,5	1370,0	1343,0	1315,0	1288,0	1259,0	1232,0	1203,0
-25	1492,0	1504,0	1473,0	1442,0	1411,0	1379,0	1347,0
-22,5	1713,0	1680,0	1645,0	1611,0	1576,0	1541,0	1506,0
-20	1909,0	1872,0	1833,0	1795,0	1756,0	1717,0	1678,0
-17,5	2122,0	2080,0	2039,0	1996,0	1953,0	1910,0	1866,0
-15	2353,0	2308,0	2261,0	2214,0	2167,0	2119,0	2071,0
-12,5	2605,0	2554,0	2503,0	2451,0	2400,0	2345,0	2293,0
-10	2878,0	2821,0	2765,0	2708,0	2650,0	2592,0	2533,0
-7,5	3171,0	3109,0	3047,0	2984,0	2922,0	2857,0	2793,0
-5	3488,0	3421,0	3352,0	3283,0	3214,0	3144,0	3073,0
-2,5	3823,0	3752,0	3679,0	3605,0	3530,0	3453,0	3375,0
0	4197,0	4117,0	4034,0	3952,0	3869,0	3784,0	3700,0

Difluordihlormetāna (freona-12) teorētiskais īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums  $q_v$  (kJ/m<sup>3</sup>)

Vārīšanas temperatūra $t_v$ (°C)	$q_v$ , ja temperatūra pirms regulējošā ventīļa $t_p$ (°C)														
	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45
-70	127,5	123,5	119,5	115,5	111,5	107,4	103,2	98,8	94,59	90,44	85,83	81,63	—	—	—
-65	173,2	167,6	162,7	157,3	151,9	146,4	140,8	135,2	129,3	123,5	117,6	111,8	—	—	—
-60	231,8	224,9	217,9	210,9	203,6	196,5	189,1	181,7	174,2	166,2	166,1	150,7	—	—	—
-55	305,5	296,7	287,6	278,5	269,2	260,9	250,4	240,8	230,7	220,6	210,6	200,5	—	—	—
-50	397,3	386,0	374,3	362,7	350,7	337,9	326,6	314,1	301,4	288,8	275,9	262,9	—	—	—
-45	509,9	495,8	481,4	466,3	451,4	436,2	420,8	405,3	389,4	373,1	356,7	340,4	—	—	—
-40	647,3	629,6	611,4	592,8	574,0	554,4	535,9	516,2	496,7	476,4	456,0	425,5	415,0	—	—
-35	813,4	791,6	768,7	746,1	722,6	699,1	675,3	651,0	626,9	601,5	577,0	551,4	525,4	—	—
-30	1011,0	983,4	955,8	928,0	899,9	870,5	841,5	811,9	781,5	751,7	721,0	689,4	658,3	626,4	—
-25	1243,0	1211,0	1177,0	1143,0	1109,0	1073,0	1038,0	1002,0	965,9	929,0	892,0	854,3	816,3	748,1	738,0
-20	—	1477,0	1404,0	1396,0	1355,0	1313,0	1270,0	1226,0	1183,0	1139,0	1094,0	1049,0	1003,0	956,9	910,0
-17,5	—	—	1585,0	1541,0	1495,0	1449,0	1403,0	1355,0	1307,0	1258,0	1209,0	1160,0	1110,0	1059,0	1008,0
-15	—	—	1742,0	1693,0	1644,0	1594,0	1543,0	1492,0	1407,0	1386,0	1333,0	1279,0	1224,0	1168,0	1112,0
-12,5	—	—	1861	1807,0	1753,0	1697,0	1649,0	1582,0	1525,0	1467,0	1408,0	1350,0	1289,0	1227,0	—
-10	—	—	2041	2041	1983,0	1923,0	1863,0	1801,0	1739,0	1676,0	1613,0	1545,0	1484,0	1418,0	1352,0
-7,5	—	—	—	—	2169,0	2105,0	2039,0	1972,0	1906,0	1836,0	1767,0	1697,0	1628,0	1556,0	1483,0
-5	—	—	—	—	—	2225,0	2156,0	2083,0	2009,0	1930,0	1859,0	1782,0	1704,0	1626,0	—
-2,5	—	—	—	—	—	2434,0	2354,0	2274,0	2195,0	2114,0	2032,0	1951,0	1867,0	1781,0	—
0	—	—	—	—	—	2648,0	2556,0	2480,0	2393,0	2307,0	2218,0	2128,0	2036,0	1944,0	—
+2,5	—	—	—	—	—	2883,0	2792,0	2700,0	2607,0	2513,0	2417,0	2320,0	2222,0	2123,0	—
+5	—	—	—	—	—	3138	3038,0	2937,0	2857,0	2735,0	2632,0	2529,0	2423,0	2316,0	—
+7,5	—	—	—	—	—	—	3188	3188,0	3079,0	2969,0	2859,0	2752,0	2637,0	2521,0	—
+10	—	—	—	—	—	—	—	3567,0	3452,0	3335,0	3218,0	3098,0	2981,0	2858,0	2733,0



Pielikuma 6. tabula

**Amonjaka (NH<sub>3</sub>) teorētiskais dzesēšanas koeficients  $\epsilon_t$**

Temperatūra (°C)		Vārišanās temperatūra $t_0$ (°C)							
kon- densā- cijas	pār- dzesē- šanas	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35
+20	+10	13,073	10,067	8,069	6,641	5,574	4,748	4,088	3,550
	+15	12,822	9,872	7,912	6,510	5,465	4,653	4,007	3,479
	+20	12,569	9,677	7,753	6,381	5,355	4,559	3,926	3,408
+25	+15	10,267	8,234	6,786	5,699	4,859	4,187	3,642	3,188
	+20	10,064	8,071	6,650	5,586	4,762	4,102	3,567	3,123
	+25	9,860	7,906	6,514	5,470	4,662	4,016	3,498	3,057
+30	+15	8,567	7,069	5,944	5,072	4,377	3,809	3,338	2,943
	+20	8,399	6,939	5,826	4,970	4,288	3,733	3,270	2,883
	+25	8,228	6,787	5,706	4,867	4,200	3,655	3,202	2,821
	+30	8,056	6,643	5,586	4,755	4,110	3,576	3,133	2,759
+35	+20	7,217	6,076	5,188	4,481	3,905	3,426	3,023	2,679
	+25	7,071	5,951	5,083	4,388	3,823	3,355	2,959	2,622
	+30	6,922	5,824	4,976	4,295	3,741	3,281	2,895	2,565
	+35	6,772	5,698	4,866	4,200	3,659	3,208	2,830	2,507
+40	+25	6,262	5,306	4,587	4,001	3,514	3,102	2,753	2,451
	+30	6,075	5,193	4,490	3,915	3,438	3,036	2,693	2,398
	+35	5,943	5,079	4,392	3,829	3,361	2,969	2,633	2,344
	+40	5,810	4,965	4,292	3,742	3,285	2,899	2,571	2,288

Freona-12 teorētiskais dzesēšanas koeficients  $\epsilon_t$ 

Temperatūra		Vārīšanās temperatūra $t_0$ (°C)										
kondensācijas	pārdzesēšanas	+5	0	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-50	
+20	+10	17,639	13,185	7,640	6,244	5,698	4,750	4,023	3,651	3,203	2,599	
	+15	17,001	12,737	7,384	5,988	5,488	4,587	3,866	3,523	3,076	2,483	
	+20	16,500	12,289	7,093	5,808	5,291	4,413	3,727	3,384	2,953	2,355	
+25	+15	13,093	10,355	6,907	5,663	4,884	4,215	3,634	3,349	2,890	2,288	
	+20	12,628	9,988	6,651	5,441	4,721	4,052	3,494	3,221	2,779	2,215	
	+25	12,198	9,622	6,407	5,250	4,523	3,890	3,349	3,081	2,657	2,142	
+30	+20	10,628	8,478	5,895	4,959	4,314	3,820	3,221	3,081	2,616	2,112	
	+25	10,250	8,158	5,686	4,773	4,140	3,663	3,087	2,959	2,512	1,992	
	+30	9,872	7,838	5,465	4,576	3,971	3,517	2,959	2,825	2,395	1,924	
+35	+25	8,581	7,101	4,930	4,407	3,814	3,419	2,983	2,773	2,372	1,930	
	+30	8,267	6,828	4,744	4,233	3,657	3,273	2,860	2,657	2,373	1,894	
	+35	7,936	6,555	4,547	4,047	3,494	3,128	2,727	2,535	2,163	1,743	
+40	+30	7,099	6,072	4,320	3,936	3,390	3,041	2,686	2,262	2,157	1,756	
	+35	6,831	5,822	4,140	3,762	3,233	2,919	2,570	2,157	2,052	1,663	
	+40	6,581	5,572	3,965	3,593	3,081	2,767	2,442	2,052	1,942	1,580	
+45	+35	6,814	5,326	4,012	3,512	3,157	2,767	2,494	2,215	2,000	1,619	
	+40	6,552	5,110	3,843	3,366	3,006	2,628	2,360	2,105	1,930	1,538	
	+45	6,244	4,860	3,651	3,192	2,843	2,488	2,233	1,994	1,794	1,451	
+50	+40	5,302	4,599	3,488	3,087	2,721	2,436	2,169	1,938	1,750	1,465	
	+45	5,058	4,372	3,320	2,930	2,581	2,273	2,064	1,849	1,692	1,343	
	+50	4,831	4,180	3,163	2,779	2,459	2,151	1,936	1,740	1,560	1,262	









## LITERATURA

1. *Ciemiņš R., Nagla J., Saveļjevs P.* Siltumtehnika. Izdevn. «Zvaigzne», R., 1967.
2. *Jankevičs T.* Tehniskā termodinamika. LVI, R., 1964.
3. *Kreslīņš A.* Gaisa kondicionēšana. Izdevn. «Liesma», R., 1969.
4. *Osipovs L.* Ķīmijas tehnoloģijas pamatprocesi un aparāti, I d. LVI, R., 1962 un II d. Izdevn. «Zvaigzne», R., 1968.
5. *Reiņikovs I.* Dzesešana un saldēšana. Lauksaimniecības mehanizācijas rokasgrāmata, II sēj. Izdevn. «Liesma», R., 1969.
6. *Андерсен С. А.* Холодильная автоматика. Машгиз, М., 1963.
7. *Бадилькес И. С.* Рабочие вещества и процессы холодильных машин. Госторгиздат, М., 1961.
8. *Бадилькес И. С.* Обобщенный метод расчета термодинамических свойств холодильных агентов. Госторгиздат, М., 1963.
9. *Бондаренков К. А., Белов И. П.* Монтаж аммиачных холодильных установок. Госторгиздат, М., 1962.
10. *Бурмакин А. Г.* Справочник по производству замороженных продуктов. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1970.
11. *Гоголин А. А.* Кондиционирование воздуха в мясной промышленности. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1966.
12. *Головкин Н. А., Чижов Г. Б., Школьников Е. Ф.* Холодильная технология пищевых продуктов. Госторгиздат, М., 1955.
13. *Горбатов В. М., Манербергер А. А.* Применение холода в мясной промышленности. Пищепромиздат, М., 1963.
14. *Зайцев В. П.* Холодильная техника. Госторгиздат, М., 1962.
15. *Зайцев В. П., Березина А. К.* Холодильная техника в рыбной промышленности. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1969.
16. *Заславский Е. И., Пирог П. И.* Теплоизоляционные работы на холодильниках. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1967.
17. *Зеликовский И. Х., Каплан Л. Г.* Справочник по малым холодильным машинам и установкам. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1968.
18. *Кантарович В. И.* Основы автоматизации холодильных установок. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1968.
19. Каталог холодильного оборудования ЦКБХМ. Машгиз, М., 1963.
20. Журнал «Холодильная техника», 1967... 1971.
21. *Комаров Н. С.* Справочник холодильщика. Машгиз, М., 1962.
22. *Кочетков Н. Д.* Холодильная техника. Изд. «Машиностроение», М., 1966.
23. *Лукин О. Г.* Теплообменные аппараты пищевой промышленности. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1967.
24. *Мельцер М. Э.* Смазка фреоновых холодильных машин. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1969.
25. *Мухин В. В.* Кондиционирование воздуха в пищевой промышленности. Пищепромиздат, М., 1963.
26. *Нестеренко А. В.* Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. Изд. «Высшая школа», М., 1965.
27. *Кобулашвили Ш. Н., Ротенберг А. Г.* и др. Новые скороморозильные аппараты. Госторгиздат, М., 1963.

28. *Пирог П. И.* Теплоизоляция холодильников. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1966.
29. *Покровский Н. К.* Руководство для машинистов холодильных установок. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1965.
30. *Покровский Н. К.* Холодильные машины и установки. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1969.
31. *Розенфельд Л. М., Ткачев А. Г.* Холодильные машины и аппараты. Госторгиздат, М., 1955.
32. *Рубинович Л. Д.* Изготовление и монтаж трубопроводов и охлаждающих приборов холодильных установок. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1970.
33. *Сурков В. Д., Липатов Н. Н., Барановский Н. В.* Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1970.
34. *Томбаев Н. И.* Справочник по оборудованию предприятий молочной промышленности. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1967.
35. *Ужанский В. С.* Автоматизация холодильных установок. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1966.
36. *Цинман М. М., Янюк В. Я.* Холодильники для фруктов. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1969.
37. *Чуклин С. Г., Никульшина Д. Г., Чумак И. Г.* Примеры расчетов холодильных установок. Пищепромиздат, М., 1964.
38. *Чупахин Н. М.* Монтаж, эксплуатация и ремонт холодильных установок. Изд. «Пищевая промышленность», М., 1968.
39. *Шеффер А., Саатчан Л., Кончаков Г.* Рациональное распределение воздуха в камерах холодильной обработки мяса. Ж. «Мясная индустрия СССР», 1970, № 2.
40. Энциклопедический справочник «Холодильная техника», т. 1, 2 и 3. Госторгиздат, М., 1960, 1961, 1962.
40. Taschenbuch Kälteanlagen. VEB Verlag Technik Berlin, 1968.



## SATURS

Priekšvārds . . . . .	3
Ievads . . . . .	4

### PIRMĀ DAĻA

#### Aukstuma mašīnas un aparāti

<i>I nodaļa.</i> Mākslīgās dzesēšanas termodinamiskie pamati . . . . .	5
1. Aukstuma jēdziens . . . . .	5
2. Zemu temperatūru iegūšanas paņēmieni . . . . .	6
3. Otrais termodinamikas likums kā aukstuma mašīnas darbības pamats . . . . .	9
4. Apgrieztie cikli . . . . .	10
5. Aukstuma mašīnu klasifikācija . . . . .	13
6. Gāzu kompresijas aukstuma mašīnas cikls . . . . .	14
7. Tvaika kompresijas aukstuma mašīnas cikls . . . . .	16
8. Absorbcijas aukstuma mašīnas . . . . .	21
9. Tvaika ežekcijas aukstuma mašīnas . . . . .	23
10. Termoelektriskās dzesējošās baterijas . . . . .	25
<i>II nodaļa.</i> Tvaika kompresijas aukstuma mašīnu darba vielas (aukstuma aģenti) . . . . .	28
1. Vispārīgas ziņas . . . . .	28
2. Aukstuma aģentu fizikālās īpašības . . . . .	29
3. Aukstuma aģentu termodinamiskās īpašības . . . . .	31
4. Aukstuma aģentu fizioloģiskās īpašības . . . . .	35
5. Izplatītāko aukstuma aģentu ekspluatācijas īpašības . . . . .	36
6. Aukstuma aģentu baloni . . . . .	40
7. Aukstuma nesēji . . . . .	40
<i>III nodaļa.</i> Tvaika kompresijas aukstuma mašīnu cikla aprēķins . . . . .	42
1. Cikla konstruēšana pēc darba parametriem . . . . .	42
2. Teorētiskā darba cikla aprēķins . . . . .	44
3. Darba apstākļu ietekme uz aukstuma iekārtas aukstuma ražīgumu . . . . .	48
4. Darba vielas tilpuma zudumi aukstuma mašīnas reālajā darba ciklā . . . . .	50
5. Enerģētiskie zudumi . . . . .	55
6. Aukstuma mašīnu raksturojošie parametri . . . . .	57
<i>IV. nodaļa.</i> Vairāpkāpju aukstuma mašīnas . . . . .	60
1. Vairāpkāpju aukstuma mašīnu lietošana . . . . .	60
2. Divpakāpju aukstuma mašīnas shēma . . . . .	62
3. Divpakāpju aukstuma mašīnas aprēķins . . . . .	65
4. Trīspakāpju aukstuma mašīnas . . . . .	69
5. Kaskādes tipa aukstuma mašīnas . . . . .	71
<i>V. nodaļa.</i> Tvaika kompresijas aukstuma mašīnu kompresori . . . . .	72
1. Kompresoru iedalījums . . . . .	72
2. Virzuļkompresori . . . . .	72
3. Virzuļkompresoru aukstuma ražīguma regulēšana . . . . .	105

4. Virzuļkompresoru aprēķins . . . . .	105
5. Rotācijas kompresori . . . . .	109
6. Centrbēdzes kompresori (turbokompresori) . . . . .	115
<b>VI. nodaļa. Aukstuma mašīnu siltumapmaiņas aparāti . . . . .</b>	<b>119</b>
1. Siltuma pāreja siltumapmaiņas aparātos . . . . .	119
2. Kondensatori un pārdzesētāji . . . . .	135
3. Izlvaikotāji un dzesējošie ķermeņi . . . . .	150
4. Siltumapmaiņas aparātu aprēķini . . . . .	162
5. Gaisa dzesētāji . . . . .	171
6. Mitra gaisa parametru maiņa gaisa dzesētājā . . . . .	173
7. Gaisa dzesētāju aprēķins . . . . .	178
<b>VII nodaļa. Palīgaparāti, ierīces un mehānismi . . . . .</b>	<b>181</b>
1. Eļļas atdalītāji un savācēji . . . . .	181
2. Šķidrums atdalītāji . . . . .	183
3. Starptrauki . . . . .	184
4. Gaisa atdalītāji . . . . .	185
5. Resiveri . . . . .	186
6. Filtri . . . . .	188
7. Cauruļvadi un armatūra . . . . .	189
8. Palīgmehānismi . . . . .	194
<b>VIII nodaļa. Aukstuma agregāti . . . . .</b>	<b>197</b>
1. Galvenie aukstuma agregātu tipi . . . . .	197
2. Amonjaka aukstuma agregāti . . . . .	198
3. Freona aukstuma agregāti . . . . .	202

## OTRĀ DAĻA

### Saldētavas un aukstuma iekārtas

<b>IX nodaļa. Saldētavas . . . . .</b>	<b>213</b>
1. Saldētavu iedalījums . . . . .	213
2. Saldētavu konstrukcija un plānojums . . . . .	214
3. Saldētavas kameru tilpuma un laukuma aprēķins . . . . .	221
4. Saldētavas mašīntelpas . . . . .	223
5. Saldētavu siltumizolācijas materiāli . . . . .	226
6. Tvaika izolācija un hidroizolācija . . . . .	228
7. Izolācijas konstrukcijas . . . . .	230
8. Izolācijas kārtas biezuma aprēķins . . . . .	235
9. Saldētavā ieplūstošā siltuma daudzuma noteikšana . . . . .	238
10. Saldētavas kameru dzesējošo ķermeņu aprēķins . . . . .	245
<b>X nodaļa. Saldētavu dzesēšanas sistēmas . . . . .</b>	<b>247</b>
1. Aukstuma aģenta tiešās iztvaices dzesēšanas sistēmas . . . . .	247
2. Aukstuma nesēja dzesēšanas sistēmas . . . . .	252
3. Gaisa dzesēšanas sistēmas un jauktas dzesēšanas sistēmas . . . . .	255
4. Dzesēšanas sistēmu izvēle . . . . .	256
<b>XI nodaļa. Aukstuma iekārtu automatizācija . . . . .</b>	<b>257</b>
1. Automātiskās vadības un regulēšanas ierīces . . . . .	258
2. Galveno parametru automātiskā regulēšana . . . . .	273
3. Automātiskā aizsardzība un signalizācija . . . . .	277
4. Aukstuma iekārtu automatizācijas shēmas . . . . .	281
<b>XII nodaļa. Aukstuma iekārtu ekspluatācija . . . . .</b>	<b>289</b>
1. Ekspluatācijas organizēšana . . . . .	289
2. Jaunas samontētas aukstuma iekārtas pārbaude un iedarbināšana . . . . .	290
3. Aukstuma iekārtas iedarbināšana, regulēšana un apstādināšana . . . . .	295
4. Defekti aukstuma iekārtas darbā un to novēršana . . . . .	302
5. Aukstuma iekārtu pamatelementu apkalpe . . . . .	307
6. Aukstuma iekārtas remonts . . . . .	318



7. Drošības tehnika aukstuma iekārtas ekspluatācijā . . . . .	319
8. Atskaite par aukstuma iekārtas tehnisko ekspluatāciju . . . . .	322
<i>XIII nodaļa. Aukstumtehnikas pielietošana . . . . .</i>	<i>324</i>
1. Pārtikas produktu dzesēšana . . . . .	324
2. Pārtikas produktu sasaldēšana . . . . .	339
3. Pārtikas produktu uzglabāšana . . . . .	354
4. Aukstuma iekārtu lietošana tirdzniecības un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos . . . . .	356
5. Gaisa kondicionēšana . . . . .	366
<i>Pielikums</i>	
1. tabula. Mitra gaisa termodinamiskās īpašības barometriskajam spiedienam 760 mm Hg . . . . .	376
2. tabula. Piesātināta amonjaka (NH <sub>3</sub> ) tvaika parametri . . . . .	378
3. tabula. Piesātināta difluordihlormetāna (CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , freons-12) tvaika parametri . . . . .	380
4. tabula. Amonjaka (NH <sub>3</sub> ) teorētiskais īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums $q_v$ . . . . .	383
5. tabula. Difluordihlormetāna (freona-12) teorētiskais īpatnējais tilpuma aukstuma ražīgums $q_v$ . . . . .	384
6. tabula. Amonjaka (NH <sub>3</sub> ) teorētiskais dzesēšanas koeficients $\epsilon_t$ . . . . .	385
7. tabula. Freona-12 teorētiskais dzesēšanas koeficients $\epsilon_t$ . . . . .	386
8. tabula. Nātrija hlorīda ūdens šķīduma fizikālās īpašības . . . . .	387
9. tabula. Kalcija hlorīda ūdens šķīduma fizikālās īpašības . . . . .	388
I. Mitra gaisa <i>I-d</i> diagramma	
II. Amonjaka (NH <sub>3</sub> ) <i>T-s</i> diagramma	
III. Amonjaka (NH <sub>3</sub> ) <i>lg p-i</i> diagramma	
IV. Freona-12 (CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ) <i>lg p-i</i> diagramma	
V. Freona-22 (CHF <sub>2</sub> Cl) <i>lg p-i</i> diagramma	
Literatūra . . . . .	389

Рейников И. Я., Юревиц Э. Я.

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Издательство «Звайгзне»

На латышском языке

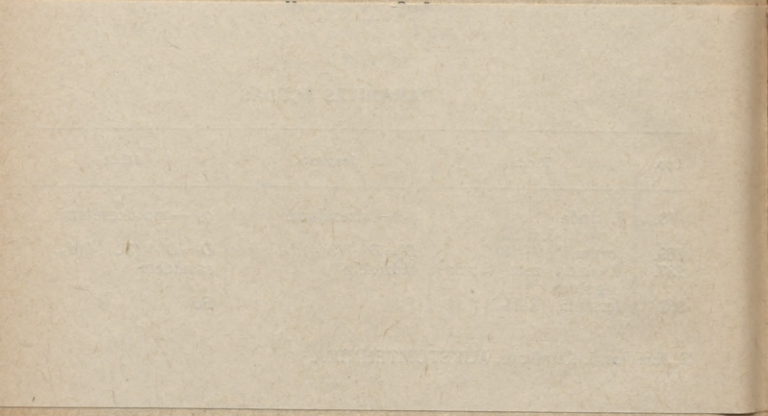
Рига 1972



## PAMANĪTĀS KĻŪDAS

Lpp.	Rinda	Iespiests	Jābūt
10.	7. rinda zem I-3. attēla	$q_0$ — dzesējamā	$q_0$ — no dzesējamā
169.	formulā (VI-58)	$D_1 = D' + (3 \ 4) d_a.$	$D_1 = D' + (3 \dots 4) d_a.$
237.	4. rinda zem tabulas galvas	atdzesētu	sasaldētu
337.	formulā (XIII-2)	$F_0$	$F_0$

E. Jurēvics, I. Reiņikovs. AUKSTUMTEHNIKA.





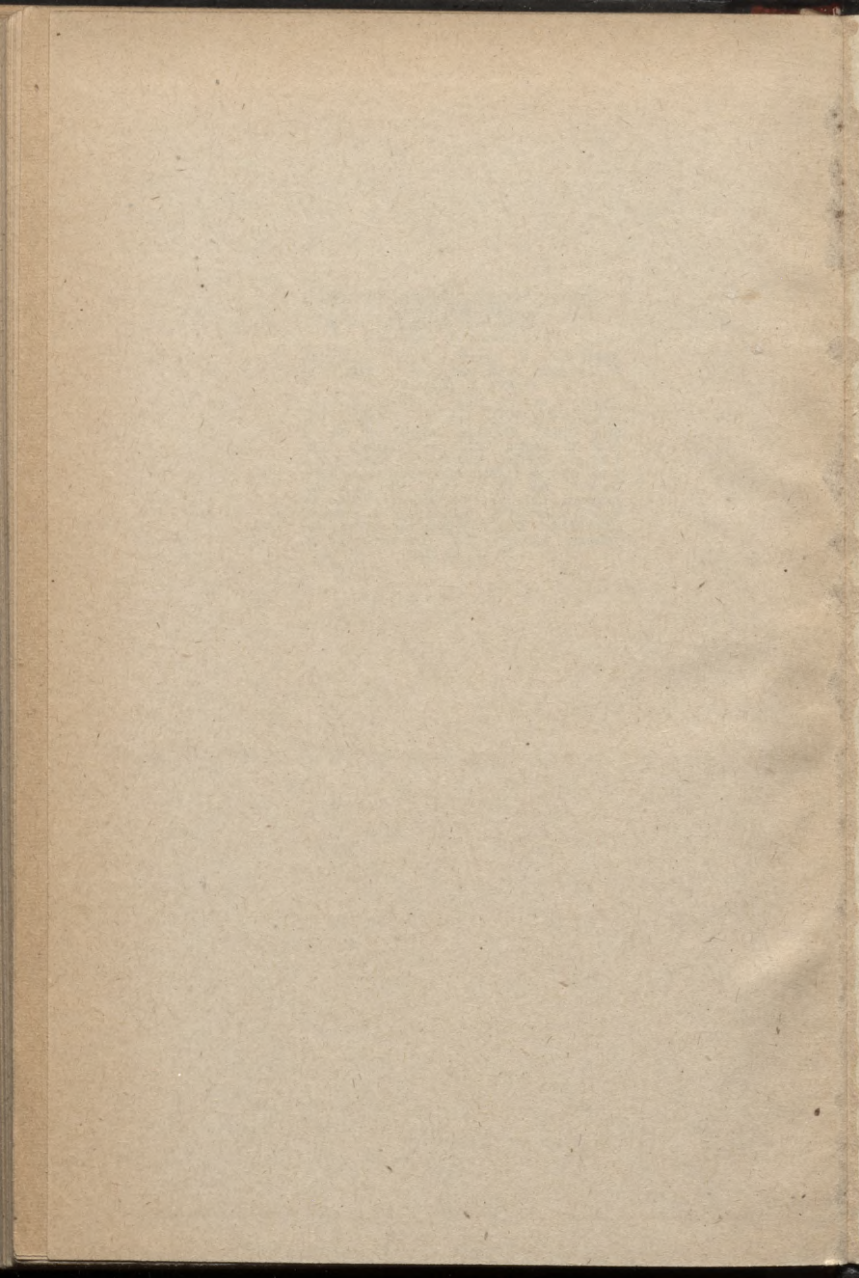
*Imants Reiņikous, Ernests Jurēvics*  
AUKSTUMTEHNIKA

Vāku zīmējis *A. Grinbergs.*

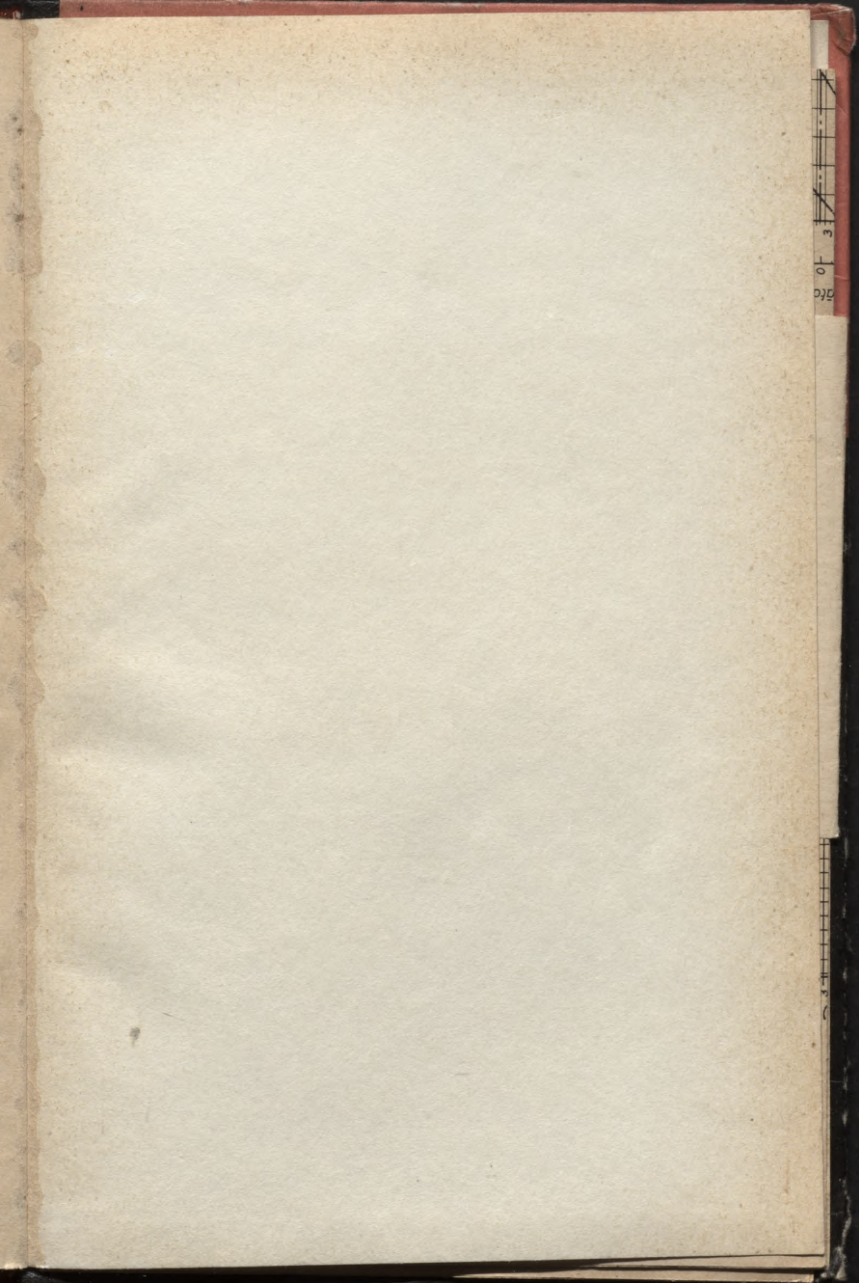
Redaktore *A. Strode.* Māksl. redaktore  
*A. Lubgāne.* Tehn. redaktore *I. Roga.* Ko-  
rektore *S. Lazareva.*

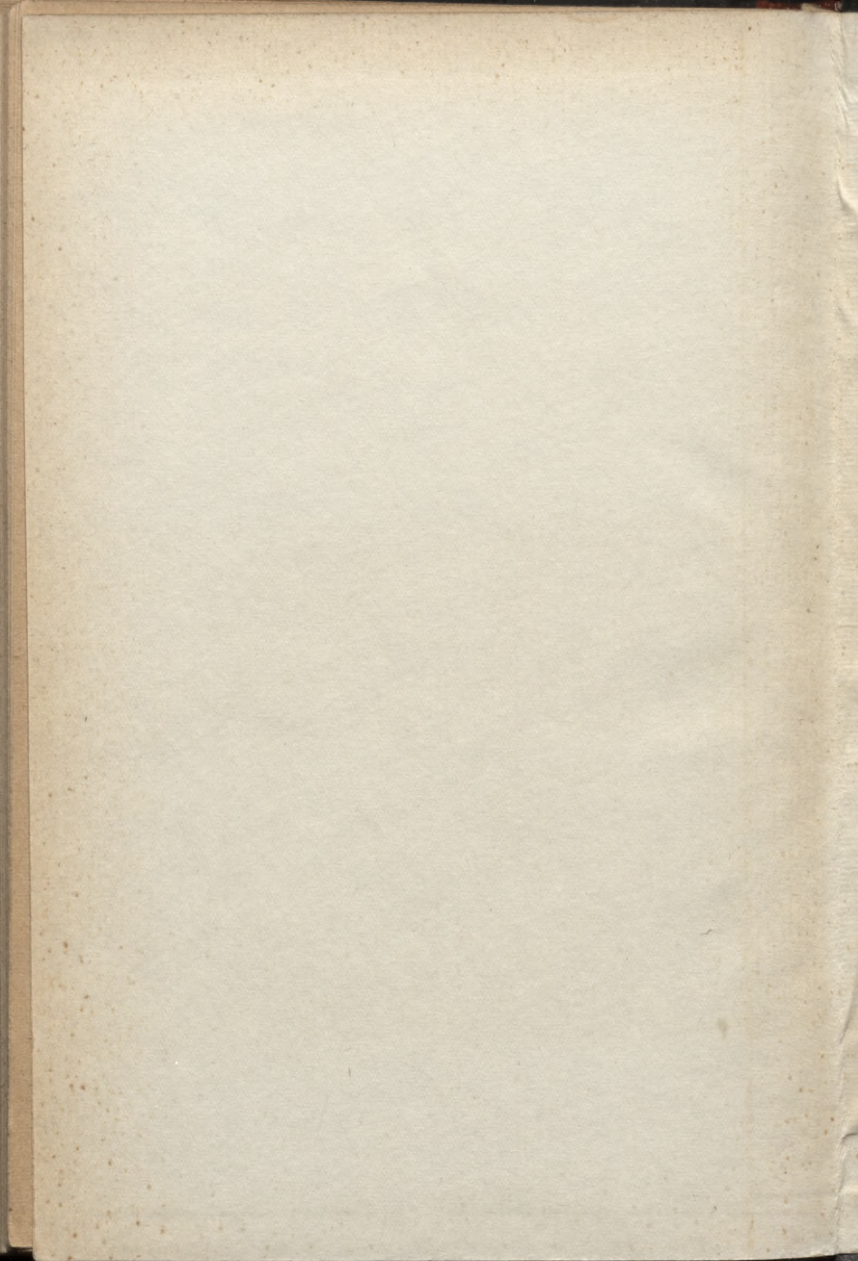
Nodota salikšanai 1972. g. 29. februārī. Pa-  
rakstīta iespiešanai 1972. g. 3. oktobrī. Pa-  
pīra formāts 60×90/16. Tipogr. pap. Nr. 3.  
26,25 fiz. iespiedl.; 26,25 uzsk. iespiedl.; 27,80  
izdevn. l. Metiens 3000 eks. JT 19396. Maksā  
1 rbl. 13 kap. Izdevniecība «Zvaigzne» Rīgā,  
Gorkija ielā 105. Izdevn. Nr. 2100/A-459.  
Iespiesta Latvijas PSR Ministru Padomes  
Valsts izdevniecību, poligrāfijas un grāmatu  
tirdzniecības lietu komitejas tipogrāfijā «So-  
vetskaja Latvija» Rīgā, Dzirnavu ielā 57.  
Pasūt. Nr. 696.













LATVIJAS NACIONĀLĀ BIBLIOTĒKA



0309090696

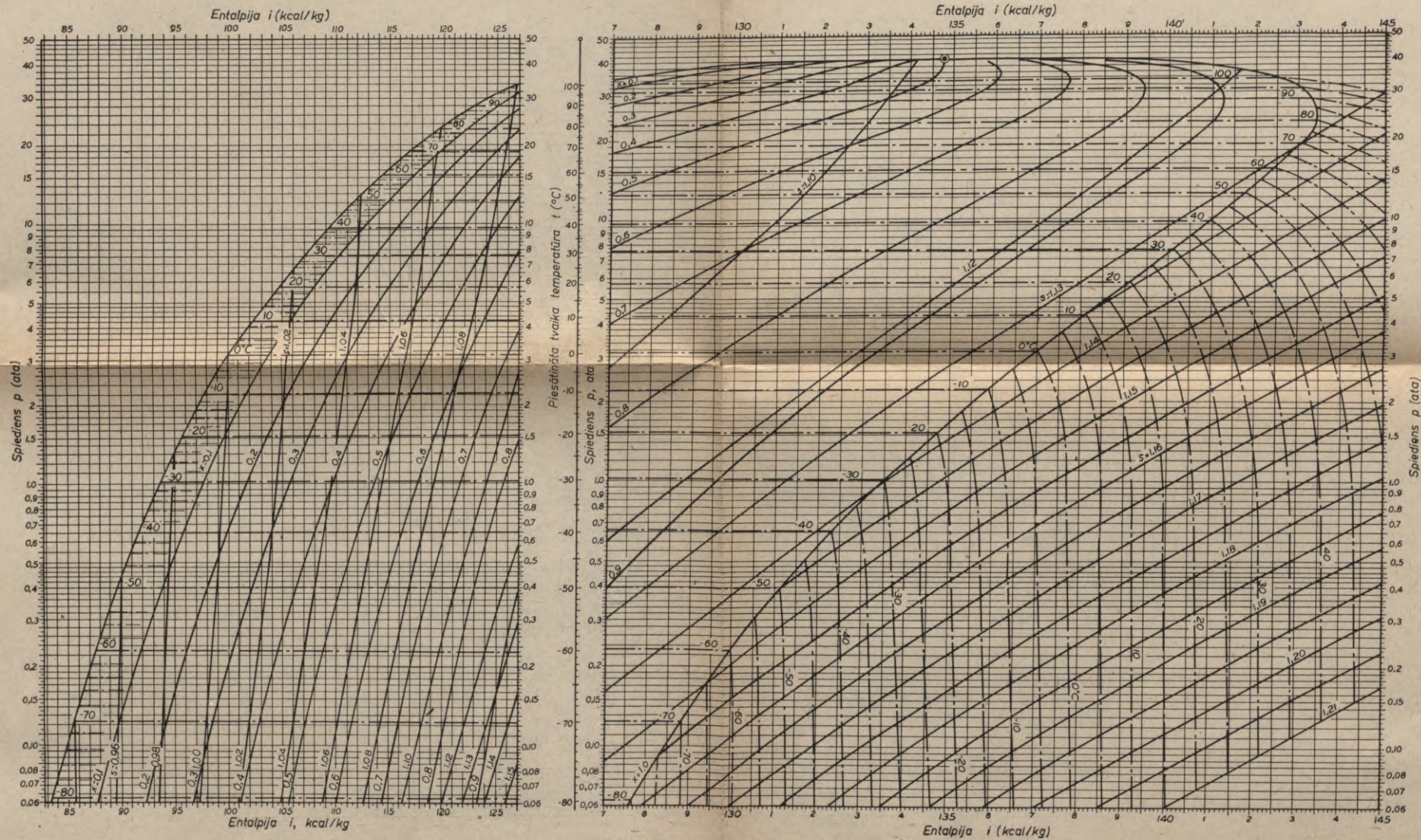


Pielikuma IV diagramma

Freona-12 (CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) lg p-i diagramma.

Koeficienti pārrēķināšanai SI sistēmā:

spiediens . . . . . 1 ata = 98,1 · 10<sup>3</sup> Pa;  
 entalpija . . . . . 1 kcal/kg = 4,19 · 10<sup>3</sup> J/kg.

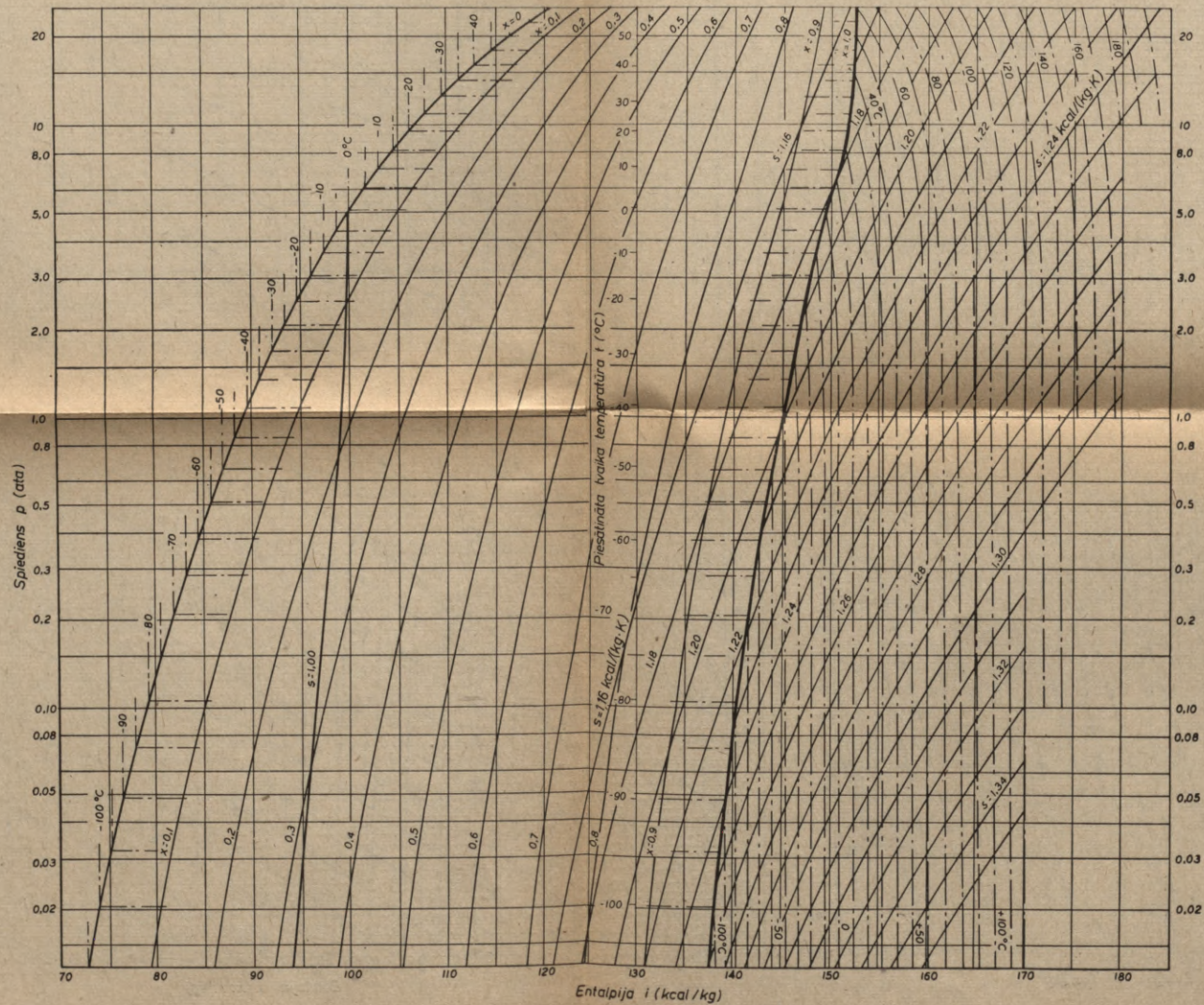




Pielikuma V diagramma

Freona-22 (CHF<sub>2</sub>Cl) lg p-i diagramma.

Koeficienti pārreķināšanai SI sistēmā:  
 spiediens . . . . . 1 ata = 98,1 · 10<sup>3</sup> Pa;  
 entalpija . . . . . 1 kcal/kg = 4,19 · 10<sup>3</sup> J/kg.

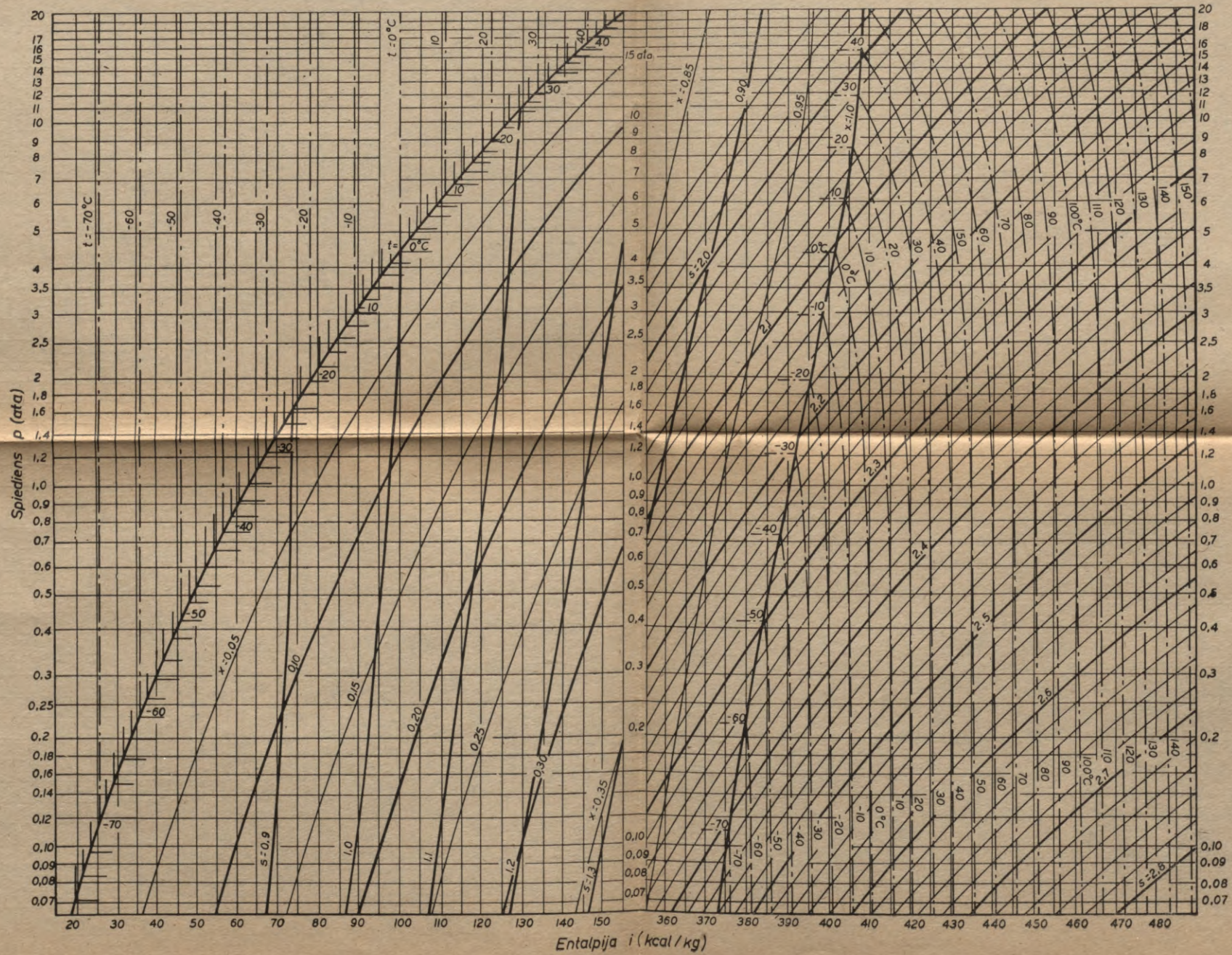




Pielikuma III diagramma

Amonjaka (NH<sub>3</sub>) lg p-i diagramma.

Koeficienti pārrēķināšanai SI sistēmā:  
 spiediens . . . . . 1 ata = 98,1 · 10<sup>3</sup> Pa;  
 entalpija . . . . . 1 kcal/kg = 4,19 · 10<sup>3</sup> J/kg.





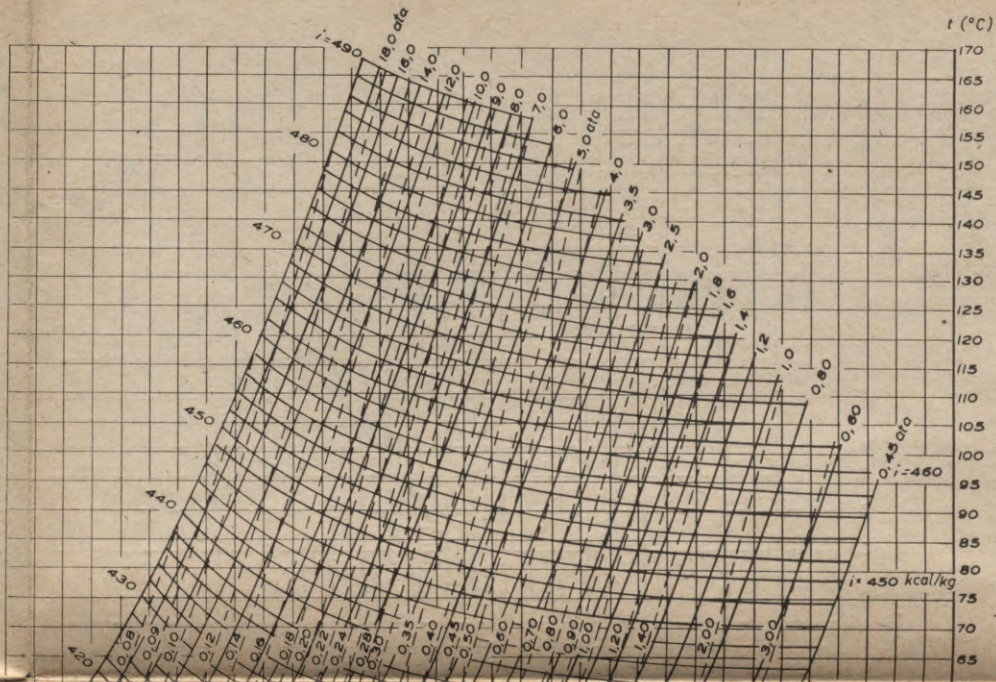
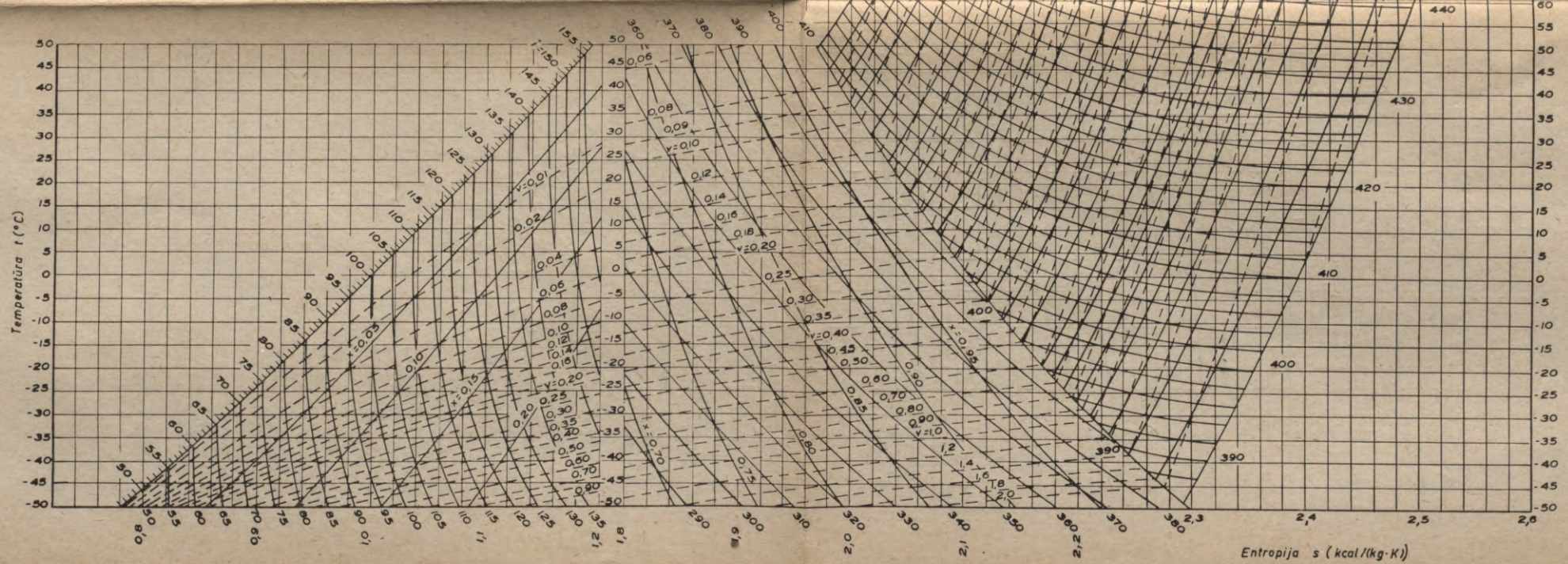
Pielikuma II diagramma

Amonjaka (NH<sub>3</sub>) T-s diagramma.

Koeficienti pārreķināšanai SI sistēmā:

spiediens . . . . . 1 ata = 98,1 · 10<sup>3</sup> Pa;

entropija . . . . . 1 kcal/(kg · K) = 4,19 · 10<sup>3</sup> J/(kg · K).





1 rbl. 13 kap.