E. ILJIN • E. MALGINA

KÜLMUTUS-SEADMED

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS

A-21384

E. V. ILJIN, E. V. MALGINA

KÜLMUTUS-SEADMED

NSV Liidu Kaubandusministeeriumi Õppeasutuste Valitsuse poolt soovitatud õpikuks nõukogude kaubanduse ja ühiskondliku toitlustamise tehnikumide külmutusala osakondadele.

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1956

Originaali tiitel:

Е. В. Ильин, Е. В. Мальгина

Холодильные машины и аппараты

Госторгиздат

Москва 1954

Tõlkinud L. Abo ja H. Järvis

2

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
41175

Е. В. Ильин, Е. В. Мальгина

ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярну маантеэ 10.

*

Toimetaja H. Märtson.

Tehniline toimetaja I. Vahtre.

Korrektorid H. Abo ja A. Pedajas.

Ladumisele antud 20. VIII 1956. Trükkimisele antud 10. XII 1956. Paber 60×92. 1/16. Trükipoognaid 20,75+2 lisa. Arvutuspoognaid 23,48. Trükiarv 1000. Tellimise nr. 2862.

Trükikoda «Tartu Kommunist», Tartu, Ülikool 17/19.

Hind rbl. 8.20

EESSÕNA

Kunstlikul külmal on nõukogude kaubanduses ülisuur tähtsus. NSV Liidu Kaubandusministeeriumi kaubandusettevõtetes säilitatakse liha-, kala- ja piimasaadusi, puuvilju ja konserve, rasvaineid ja toidukontsentraate, samuti ka teisi kiiresti riknevaid kaupu.

Jaotus- ja tootmiskülmhoonetest suunatakse toidukaubad baasidesse ja ladudesse, kauplustesse ja sööklatesse, kus neid samuti säilitatakse kunstliku külma tingimustes. Külma kasutamiseta oleks täiesti võimatu säilitada kiiresti riknevate kaupade kvaliteeti. Kaubandusettevõtetes ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes kasutatakse laialdaselt väikesi külmutusseadmeid — kappe, lette, vitriine ja kambreid.

Kunstlikku külma rakendatakse ka paljudes teistes rahvamajandusharudes. Keemiatööstuses kasutatakse külma mitmesuguste keemiliste ainete tootmisel, mäeasjanduses käikude ja tunnelite rajamisel. Külma rakendatakse ka metallurgias mitmesuguste materjalide katsetamisel madalatel temperatuuridel jne.

Kunstlik külm soodustab toorainete ja materjalide säilimist ning parandab tehnoloogiliste protsesside kulgemise tingimusi paljudes tööstusharudes, jahutab õhku elu- ja tööstushoonetes. Esimesed külmutusmasinad võeti Venemaal kasutusele 1888. a.; neid kasutati algul veetranspordis ja seejärel toiduainetetööstuse ettevõtetes. Tsaari-Venemaal puudus külmutusmasinate tööstus, mistõttu kasutati väga vähe statsionaarseid külmutusseadmeid ning külmutusala arenes nõrgalt.

Külmutusseadmete tööstus hakkas hoogsalt arenema alles pärast Suurt Sotsialistlikku Oktoobrirevolutsiooni.

Meie maal on loodud külmutusseadmete ehitamiseks võimas tootmistehniline baas. Moskva tehas «Kompressor» toodab suure ja keskmise külmatootlikkusega külmutusmasinaid; Moskva tehased «Krasnõi Fakel» ja «Iskra» — väikesi freoonkülmutusmasinaid; Odessa tehas — väikesi ja keskmisi külmutusmasinaid; Jaroslavi Autoremonditehas — ammoniaakagregaate ЯК-10; Harkovi tehas «Mehhanolit» — väikesi freoonkülmutusagregaate. Külmutuslette, jahutatavaid vitriine, külmutuskappe ja kokkupandavaid kambreid toodavad Kaubandusliku Inventari Peavalitsuse tehased Joškar-Olas ja Ljubertsõs. Moskva Autotehas, tehas «Gasoaparat» Mosk-

vas ning samuti Leningradi ja Saraatovi tehased laseva:d välja majapidamises kasutatavaid elektrikülmutusseadmeid.

Suurt tähelepanu pööratakse kaubandusettevõtete a ühiskondliku toitlustamise ettevõtete varustamisele külmutu seadmetega. 1948. aastal oli kaubandusvõrgus 1650 masinkülmut seadet, 1952. aastal aga kasvas nende arv juba 18 000-ni. Viie a viisaastaku lõpuks oli kaubandusvõrgu käsutuses juba 40 000 masinkülmutusseadet.

Käesolev raamat on ette nähtud õpikuks külmutusseadmete kursuse omandamisel nõukogude kaubanduse ja ühiskondliku toitlustamise tehnikumides ja on koostatud kinnitatud programmi alusel.

Õpikus käsitletakse peamiselt väiksemaid kompressioonmasinaid, mis on kaubandusettevõtetes ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes kõige enam levinud. Lühidalt on toodud andmed absorbtsioonkülmutusmasinate kohta.

Peatükid I—VI on kirjutanud E. V. Malgina, peatükid VII—XIII — E. V. Iljin.

Arvamused ja märkused käesoleva raamatu kohta palutakse saata aadressil: Tallinn, Pärnu mnt. 10, Eesti Riiklik Kirjastus, tehnilise kirjanduse toimetus.

I peatükk

TERMODÜNAAMIKA ALUSED JA KÜLMUTUSMASINATE TÖÖPROTSESSID

§ 1. Jahutuse füüsikalised alused

Jahutamiseks nimetatakse soojuse ärajuhtimist kehalt. Selle protsessiga kaasub kõige sagedamini temperatuuri langus. Soojust võib kehalt ära võtta teine keha, mille temperatuur on madalam jahutatava keha temperatuurist, sest soojus võib siirduda ainult soojemalt kehalt külmemale kehale. Järelikult võib loomulik jahutus toimuda ainult meid ümbritseva keskkonna temperatuurini, näiteks õhu või vee temperatuurini. Kuid õhu ja vee temperatuur sõltub aastaajast, mistõttu talvel on võimalik teostada antud keha loomulikku jahutust madalama temperatuurini, suvel aga on jahutuse piirtemperatuur kõrgem. Jahutatava keha temperatuuri alandamine alla ümbritseva keskkonna temperatuuri on teostatav ainult kunstlikult. Rakendades kunstlikku jahutust, võib tekitada igasuguseid jahutustemperatuure sõltumatult aastaajast.

Kunstlikku jahutust käsitleb tehnika eriharu — külmutustehnika, mis haarab mitmesuguseid tehnilisi vahendeid ja madalate temperatuuride saamise viise antud jahutatavas keskkonnas.

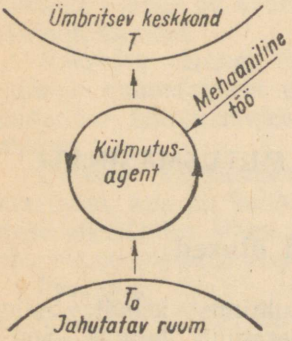
Jahutatavaks keskkonnaks võib olla kamber kiiresti riknevate toiduainetega, vesi jää saamisel, maapind kaevanduskäikude rajamisel vesistes pinnastes jt. Jahutusmeetodid on samuti mitmesugused.

Jahutamiseks kasutatakse külmutustehnikas järgmisi füüsikalisi protsesse:

1) sulamine — tahkete kehade vedeldumine;
2) sublimatsioon — tahkete kehade gaasistumine;
3) keemine — vedelate kehade aurustumine.

Kõik loetletud protsessid kulgevad konstantsel temperatuuril, mis sõltub keha füüsikalistest omadustest, ja nendega kaasub alati soojuse neelamine. Jahutajatena kasutatakse külmutustehnikas madala sulamis- ja sublimatsioonitemperatuuriga kehi. Nende kehade hulka kuulub jää, mille sulamistemperatuur on 0° ja sulamissoojus 80 kcal/kg, samuti jää ja soola segu, mille

sulamistemperatuur on madalam ja sõltub soola kontsentratsioonist. Madala sublimatsioonitemperatuuriga kehaks on näiteks tahke süsihape, mida nimetatakse «kuivaks jääks». Niisuguse jää sublimatsioonitemperatuur on atmosfäärirõhul (760 mm Hg) −78,9°. Iga kilogramm kuiva jääd neelab sublimeerumisel umbes 137 kcal soojust.



Joon. 1. Külmutusmasina töötamise põhimõtteline skeem.

Loetletud jahutusvahendid, võttes soojust jahutatavatelt kehadelt, muudavad oma agregaatolekut ning kaotavad seega jahutusvõime.

Kunstliku külma pidevaks saamiseks kasutatakse kõige enam masinmeetodit, mis on osutunud kõige otstarbekamaks. Selle meetodi puhul on madala temperatuuri allikaks töötav keha, mille temperatuuri hoitakse madalal tasemel külmutusmasina abil.

Töötavate kehadena ehk külmutusagentidena kasutatakse külmutusmasinas vedelikke, mille temperatuur atmosfäärirõhul on madal. Nendest vedelikkudest on kõige enam levinud ammoniaak, väävlishappe anhüdriid, freoonid jt.

Need vedelikud muudavad külmutusmasinas oma agregaatolekut ja seejuures kaasneb keemisele soojuse võtmine jahutatavalt keskkonnalt, millega saavutataksegi jahutamine.

Vedeliku keemistemperatuuri alandatakse rõhu vähendamisega. Näiteks vesi keeb atmosfäärirõhul temperatuuril 100°, kuid rõhu vähendamisel kuni 0,006 ata-ni langeb vee keemistemperatuur 0°-ni. Ammoniaak (NH_3) keeb atmosfäärirõhul temperatuuril — 33,4°, rõhu alandamisel kuni 0,5 ata-ni langeb keemistemperatuur vastavalt — 46°-ni.

Peale selle kasutatakse ka töötavaid kehi, mis ei muuda oma agregaatolekut. Niisuguseks kehaks on näiteks õhk. Võttes soojust jahutatavalt keskkonnalt, õhu temperatuur tõuseb.

Pideval jahutamisel masinmeetodil annab jahutatav keskkond (näiteks külmutuskambri õhk) soojust töötavale kehale, mille temperatuur hoitakse jahutatava keskkonna temperatuurist madalam, töötava keha poolt vastuvõetud soojus aga antakse edasi ümbritsevale keskkonnale, mille temperatuur on töötava keha temperatuurist kõrgem (näiteks vesi või õhk).

Nagu teada termodünaamikast, on selleks, et võtta soojust madalama temperatuuriga keskkonnast ja anda edasi kõrgema temperatuuriga keskkonnale, vaja kulutada tööd, mis on vajalik pideva jahutamise saamiseks.

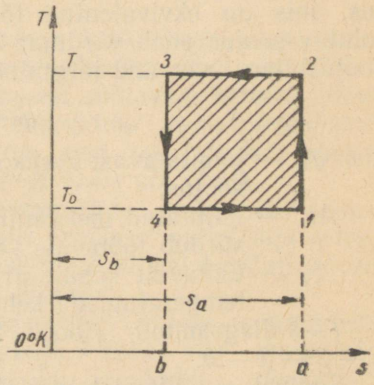
Külmutusmasina töötamise põhimõtteline skeem on kujutatud joonisel 1, kus jahutatava keskkonna temperatuur T_0 on madalam ümbritseva keskkonna temperatuurist T.

§ 2. Carnot' pöördringprotsess

Selleks et jahutamise protsess masina abil toimuks pidevalt, peab töötav keha (külmutusagent) läbi tegema külmutusringprotsessi. Üheks niisuguseks ringprotsessiks on Carnot' pöördringprotsess, mis on kujutatud joonisel 2.

Carnot' ringprotsess koosneb kahest isotermilisest ja kahest adiabaatilisest protsessist.

Isotermilises protsessis $4 — 1$ siirdub soojus jahutatavast keskkonnast töötavale kehale, kusjuures jahutatava keskkonna temperatuur T_0 ei muutu. Töötava keha adiabaatiline komprimeerimisprotsess $1 — 2$ toimub ilma soojuse vahetamiseta ümbritseva keskkonna ja töötava keha vahel. Komprimeerimisel tõuseb töötava keha temperatuur nivoolt T_0 nivooni T. Isotermilises protsessis $2 — 3$ siirdub soojus töötavalt kehalt ümbritsevasse keskkonda, temperatuur aga jääb konstantseks. Töötava keha adiabaatilises paisumisprotsessis $3 — 4$ langeb töötava keha temperatuur nivoolt T nivooni T_0.



Joon. 2. Carnot' pöördringprotsess.

Carnot' ringprotsessi tingimuseks on, et temperatuurid jahutatava keskkonna ja töötava keha vahel, samuti ümbritseva keskkonna ja töötava keha vahel, ei erineks, s. t. T_0 on töötava keha ja jahutatava keskkonna temperatuur, T aga töötava keha ja ümbritseva keskkonna temperatuur. Soojusvahetuse protsessid $4 — 1$ ja $2 — 3$ saavad kulgeda isotermiliselt, kui jahutatav keskkond ja ümbritsev keskkond on lõpmatult suured kehad, millede temperatuur soojusvahetusel ei muutu.

Carnot' pöördringprotsessi teostamise tulemusena siirdub soojus isotermilises protsessis $4 — 1$ madala temperatuuriga (T_0) kehalt töötavale kehale, millega saavutataksegi jahutamine (ehk keha temperatuuri säilitamine muutumatult madalal tasemel). Protsessis $2 — 3$ siirdub soojus töötavalt kehalt kõrge temperatuuriga (T) kehale. Niisuguse soojusülekande läbiviimiseks tuleb viia töötava keha temperatuur nivoolt T_0 kõrgema nivooni T. Seda ülesannet täidab ringprotsessis adiabaatiline komprimeerimisprotsess $1 — 2$. Selle protsessi teostamiseks kulutatakse töö AL_s. Töötava keha temperatuuri järgnev langemine nivoolt T kuni nivooni T_0 toimub adiabaatilises paisumisprotsessis $3 — 4$, millega kaasub kasuliku töö AL_p tootmine ($A = \frac{1}{427}$ kcal/kg m). Kompri-

meerimis- ja paisumistöö vahe kujutab endast tööd AL, mis on kulutatud pöördringprotsessi teostamiseks:

$$AL = AL_s - AL_p.$$

Seega ringprotsessi teostamise tulemusena võeti soojus q_0 madala temperatuuriga (T_0) kehalt ja anti edasi kõrge temperatuuriga (T) kehale. Töö AL muundus soojuseks, soojus aga siirdus töötavale kehale. Seepärast ei antud kõrge temperatuuriga kehale mitte ainult soojus q_0, mis võeti jahutatavalt kehalt, vaid ka soojus, mis on ekvivalentne tööga AL. Töötavale kehale juurdejuhitav soojus peab võrduma ärajuhitava soojusega. Järelikult on soojusbilansi võrrand järgmine:

$$q_0 + AL = q_k, \tag{1}$$

kus q_0 — jahutatavast keskkonnast töötavale kehale juurdejuhitav soojus;

AL — kulutatud mehaanilise tööga ekvivalentne soojus, mis siirdub töötavale kehale;

q_k — töötavalt kehalt ärajuhitav soojus, mis siirdub kõrge temperatuuriga kehale.

T—s-diagrammil (joon. 2) väljendab soojust q_k pindala $a-2-3-b$.

Soojust q_0 väljendab pindala $a-1-4-b$.

Ringprotsessi teostamiseks kulutatud töö soojusühikutes võib leida soojusbilansi võrrandist:

$$AL = q_k - q_0.$$

T—s-diagrammil väljendab tööd AL viirutatud pindala $1-2-3-4$.

Külmutusringprotsessi efektiivsust hinnatakse külmustegu-riga ε, mis võrdub jahutatavalt kehalt võetud soojusehulga q_0 ja kulutatud mehaanilise töö suhtega:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{AL}. \tag{2}$$

T—s-diagrammil väljendavad suurusi q_0 ja AL vastavad pindalad ja Carnot' ringprotsessis avalduvad need järgmiselt:

$$q_0 = T_0(s_a - s_b),$$
$$AL = (T - T_0)(s_a - s_b).$$

Asendades kirjutatud võrdused avaldisse (2), saame:

$$\varepsilon = \frac{T_0(s_a - s_b)}{(T - T_0)(s_a - s_b)} = \frac{T_0}{T - T_0}. \tag{3}$$

Avaldisest (3) nähtub, et Carnot' ringprotsessi külmustegur ei sõltu töötava keha omadustest, vaid on määratud ainult temperatuuridega T_0 ja T, s. t. jahutatava keskkonna ja temperatuuriga T_0 ning soojust vastuvõtva keskkonna temperatuuriga T.

Külmutusmasina tegelikes töötingimustes on jahutatavaks keskkonnaks näiteks kamber toiduainetega, vesi jää saamiseks jne. Külmutusagendilt soojust vastuvõtvaks keskkonnaks valitakse odavamad kehad, nimelt vesi või õhk.

Külmustegur on seda suurem, mida kõrgem on jahutatava keskkonna temperatuur T_0 ja mida madalam on jahutava õhu või vee temperatuur T. Mida suurem on ε, seda ökonoomsemalt töötab külmutusmasin.

Carnot' ringprotsessis on külmutusringprotsessi teostamiseks kulutatav tööhulk kõige väiksem.

Tegelikes tingimustes peab jahutatava keskkonna temperatuur olema alati kõrgem töötava keha temperatuurist, sest siis siirdub soojus protsessi *4 — 1* kohaselt iseenesest töötavale kehale. Jahutava keskkonna, s. o. vee või õhu temperatuur peab olema alati madalam töötava keha temperatuurist, sest siis siirdub soojus protsessi *2 — 3* kohaselt töötavalt kehalt veele või õhule.

Soojusvahetusprotsess on temperatuuride erinevuse korral tagastamatu protsess, iga tagastamatu protsessi puhul aga esinevad kaod. Temperatuuride erinevusest tingitud kaod põhjustavad külmutusmasinas täiendavat, kasutut töökulu.

Temperatuuride erinevuse vähendamiseks tuleks suurendada soojusvahetusaparaatide töötavat pinda, kuid siis muutuksid soojusvahetusaparaadid liiga kohmakaks ja kalliks. Seepärast tuleb leppida suuremate kadudega, sest see võimaldab vähendada külmutusmasina gabariite ja hinda.

Me käsitlesime Carnot' pöördringprotsessi, mille teostamiseks tuleb kulutada mehaanilist tööd. Tuleb aga märkida, et pöördringprotsessi võib teostada väljastpoolt juurdeantava soojusenergia arvel.

Vastavalt sellele võib kõik olemasolevad külmutusmasinad jaotada kahte rühma.

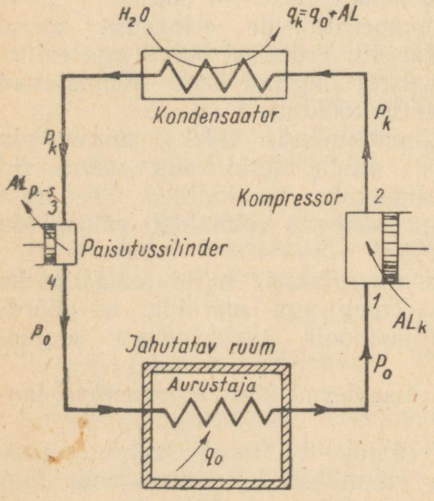
Külmutusmasinate esimesse rühma kuuluvad kompressioonkülmutusmasinad, mis omakorda jaotatakse külmutusagendi liigi järgi kahte tüüpi: õhuga ja auruga töötavad külmutusmasinad. Tänapäeval on kõige enam levinud auruga töötavad kompressioonkülmutusmasinad. Nendes masinates on külmutusagendiks ained, milledel on atmosfäärirõhul madal keemistemperatuur. Niisugused külmutusagendid, teostades külmutusmasinas ringprotsessi, muudavad perioodiliselt oma agregaatolekut, muundudes vedelikust auruks ja aurust jälle vedelikuks. Külmutusmasinates kasutatavatest külmutusagentidest on kõige enam levinud: ammoniaak (NH_3), dikloordifluormetaan (freoon — 12, CF_2Cl_2), väävlishappe anhüdriid (SO_2), metüülkloriid (CH_3Cl) jt.

Külmutusmasinate teise rühma, mis kulutavad külma tootmiseks välist soojust, kuuluvad absorbtsioon- ja auruežektorkülmutusmasinad. Absorbtsioonkülmutusmasinates on külmutusagendiks mitmesugused segud, peamiselt ammoniaagi vesilahus. Auruežektormasinates on külmutusagendiks veeaur.

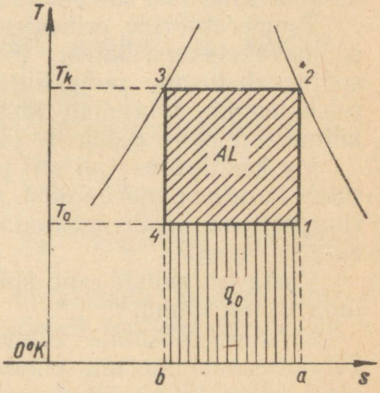
Käesolevas kursuses on ette nähtud üksikasjaliselt käsitleda auruga töötavaid kompressioonkülmutusmasinaid ja lühidalt käsitleda absorbtsioonkülmutusmasinaid; õhuga töötavaid ja auruežektorkülmutusmasinaid ei käsitleta.

§ 3. Auruga töötava kompressioonkülmutusmasina ringprotsess

Joonisel 3 on kujutatud kompressorist, kondensaatorist, paisutussilindrist ja aurustajast koosneva külmutusmasina skeem. Kõik need elemendid on ühendatud järjestikku torustiku abil. Selles masinas kasutatakse külmutusringprotsessi teostamiseks külmutusagendina niisket auru (selline ringprotsess on kujutatud joonisel 4).



Joon. 3. Külmutusmasina töötamise skeem.



Joon. 4. Auruga töötava külmutusmasina ringprotsess niiske auru piirkonnas.

Kompressor imeb endasse aurustajast niisket auru rõhul P_0 olekus *1* (joon. 3 ja 4) ning komprimeerib selle adiabaatiliselt kõrgema rõhuni P_k. Seejuures tõuseb auru temperatuur nivoolt T_0 nivooni T_k. Komprimeerimisprotsessi teostamiseks kompressoris kulutatakse töö AL_k. Komprimeeritud aur surutakse kondensaatorisse kuiva küllastunud auruna olekus *2*. Kondensaatoris jahutatakse külmutusagenti vee või õhuga, mistõttu küllastunud aur veeldub, s. t. kondenseerub protsessis *2* — *3*. Kondenseerumisprotsess, samuti nagu keemisprotsesski, toimub konstantsel temperatuuril ja rõhul. Vedel külmutusagent olekus *3* läheb paisutussilindrisse,

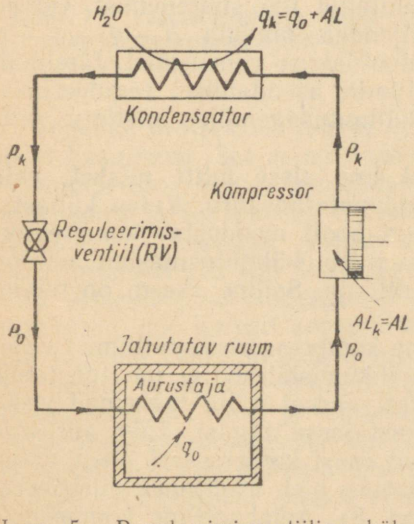
kus see adiabaatiliselt paisub olekuni *4*. Paisumisprotsessis *3* — *4* langeb rõhk suuruselt P_k suuruseni P_0; seejuures langeb ka temperatuur nivooni T_0. Olekus *4* läheb madala temperatuuriga külmutusagent aurustajasse. Aurustajas juhitakse külmutusagendile soojust jahutatavast keskkonnast ja külmutusagent keeb konstantsel rõhul P_0 ja konstantsel temperatuuril T_0, siirdudes olekust *4* olekusse *1*. Olekus *1* imeb kompressor auru uuesti endasse ja ringprotsess kordub lakkamatult.

Külmutusagendi poolt jahutatavast keskkonnast võetud soojushulk määrab külmutusmasina külmatootlikkuse. *T*—*s*-diagrammil (vt. joon. 4) väljendab külmatootlikkust pindala *a* — *1* — *4* — *b*. Külmutusagendi poolt kondensaatoris äraantud soojushulka väljendab pindala *a* — *2* — *3* — *b*.

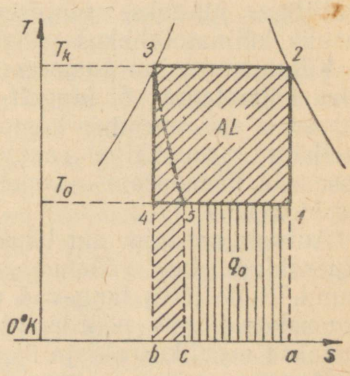
Praktiliselt toimub külmutusringprotsess erinevalt Carnot' ringprotsessist.

Auruga töötavas külmutusmasinas puudub paisutussilinder ja seda asendab reguleerimisventiil. See on põhjustatud asjaolust, et sellistes külmutusmasinates tuleb paisutussilindrisse vedelik, mille maht on auru mahust tunduvalt väiksem. Seetõttu peaks paisutussilinder olema väga väikeste mõõtmetega, kuid konstrueerida niisugust silindrit on väga raske, samal ajal on aga reguleerimisventiil ehituselt lihtne ja võimaldab kergesti reguleerida külmutusmasina tööd mitmesugustes ekspluatatsioonitingimustes.

Joonisel 5 on kujutatud reguleerimisventiiliga külmutusmasina skeem. Külmutusmasina aurustajas keeb külmutusagent, võttes soojust jahutatavast ruumist. Tekkinud aur imetakse ära kompressoriga, komprimeeritakse ja surutakse kondensaatorisse. Kondensaatoris aur veeldub veega jahu-



Joon. 5. Reguleerimisventiiliga külmutusmasina skeem.



Joon. 6. Auruga töötava külmutusmasina ringprotsess, kui külmutusagenti drosseldatakse.

tamise tõttu ja vedel külmutusagent läheb reguleerimisventiili kaudu uuesti aurustajasse.

Reguleerimisventiil tekitab kohaliku ahenduse külmutusagendi liikumise teel ja põhjustab drosseldumise, s. o. ebaühtlase paisumise ning rõhu langemise. Reguleerimisventiili kasutamisel ei teki külmutusagendi paisumisprotsessis kasulikku tööd, sest see töö muundub hõõrdumise tõttu soojuseks, mis juhitakse külmutusagendile. Drosselduspротsessis temperatuur langeb.

Joonisel 6 on adiabaatiline paisumisprotsess *3 — 4* asendatud drosselduspротsessiga *3 — 5*. Drosselduspротsessi kui tagastamatut protsessi tähistame leppeliselt punktiirjoonega.

Paisutussilindri asendamine reguleerimisventiiliga põhjustab teatavaid kadusid:

a) läheb kaduma kasulik paisumistöö, mistõttu suureneb pöördringprotsessi teostamiseks vajalik töö *AL*. Reguleerimisventiili kasutamisel võrdub töö *AL* kompressori tööga;

b) drosselduspротsessis külmutusagendile juhitav soojus põhjustab kasutut auru moodustamist ja vähendab seega kasulikku külmatootlikkust. *T—s*-diagrammil (joon. 6) väljendab külmatootlikkuse vähenemist pindala *b — 4 — 5 — c*, kasulikku külmatootlikkust aga väljendab pindala *a — 1 — 5 — c*.

Ringprotsessi töö *AL* väljendub soojusbilansi põhjal järgmiselt:

$$AL = q_k - q_0.$$

T—s-diagrammil väljendub ringprotsessi töö pindalade vahena: pindala *a — 2 — 3 — b* — pindala *a — 1 — 5 — c* = pindala *c — 5 — 1 — 2 — 3 — b*.

Uuekujulises ringprotsessis kulutatud töö suurenemist, võrreldes Carnot' ringprotsessiga, väljendab pindala *b — 4 — 5 — c*. Sama pindala väljendab ka külmatootlikkuse vähenemist. Järelikult töö, mis läks kaduma paisutussilindri asendamisel reguleerimisventiiliga, juhitakse soojusena külmutusagendile, mistõttu selle kasulik külmatootlikkus väheneb.

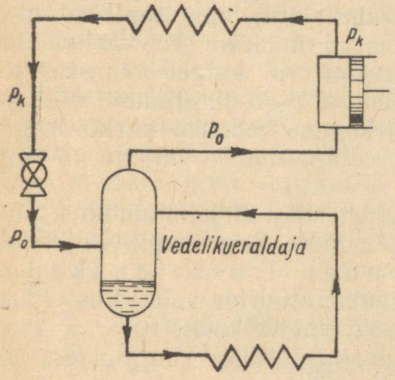
Külmutusmasina kompressor ei ime sisse mitte niiskет, vaid kuiva küllastatud või kergelt ülekuumutatud auru. Kuiva küllastatud auru sisseimemine kompressori poolt moodustab kompressori kuivkäigu. Kuivkäigu saamiseks tuleb külmutusmasina skeemi sisse viia lisaaparaat — vedelikueraldaja. Selline skeem on näidatud joonisel 7.

Aurustajast tulev aur läbib enne kompressorisse sattumist vedelikueraldaja, kus väheneb auru liikumiskiirus ja muutub selle suund. Selle tõttu langevad niiskest aurust välja raskemad vedelikuosakesed, mis pöörduvad aurustajasse tagasi, kuiv aur aga imetakse vedelikueraldaja ülemisest osast kompressori poolt välja.

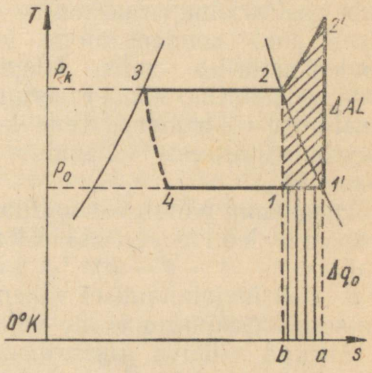
Kompressorisse saabuva kuiva auru olek asub auru piirkõveral ja on tähistatud punktiga *1'* (joon. 8). Adiabaatiline komprimeerimisprotsess kompressoris kulgeb sel juhul ülekuumendatud auru piirkonnas kuni komprimeerimisadiabaadi ja konstantse rõhu

kõvera liitumiseni, s. o. protsess $1'-2'$ (ülekuumendatud auru piirkonnas konstantsete rõhkude jooned ei ühti isotermidega).

Üleminek niiske auru sisseimemiselt (punkt *1*) kuiva auru sisseimemisele (punkt *1'*) põhjustab ühelt poolt külmatootlikkuse suurenemist, mida T—s-diagrammil väljendab pindala $a-1'-1-b$ (vertikaalviirutus), teiselt poolt aga ka kulutatud töö suurenemist, mida diagrammil väljendab pindala $1'-2'-2-1$ (kaldviirutus). Nende protsesside üksikasjalisemal käsitlemisel selgub, et $\varepsilon = \frac{q^0}{AL}$ on suurem kui $\frac{q_0+\Delta q_0}{AL+\Delta AL}$, s. t. töökulu suureneb suhteliselt rohkem kui külmatootlikkus. Sellest järeldub, et kompressori kuivkäik pole teoreetiliselt kasulik.



Joon. 7. Vedelikueraldaja lülitamine külmutusmasina skeemi.



Joon. 8. Kompressori kuivkäigu mõju külmutusmasina ringprotsessile.

Tegelike protsesside korral on kompressori kuivkäik praktiliselt siiski kasulikum. See asjaolu seletub järgmiselt.

Kompressori seinad soojendavad sisseimemisel aurustajast saabuvat auru ja see paisub. See nähtus vähendab kompressori tootlikkust[1]. Niiskekäigul (niiske auru sisseimemisel) on soojendamine intensiivsem kui kuivkäigul. See seletub sellega, et niiske auru sisseimemisel sadestuvad silindri seintele rasked vedelikupiisakesed, mis kiiresti aurustuvad, sest soojusülekandetegur vedeliku ja seina vahel on küllalt suur. Kuiva auru sisseimemisel väheneb seinte soojendav mõju märgatavalt, sest soojusülekandetegur ülekuumendatud auru ja seinte vahel on väiksem.

Niiskekäigu puuduseks on ka see, et kiires komprimeerimisprotsessis silindri seintele sadestunud vedelikupiisakesed jäävad osaliselt kompressori surnud ruumi, s. o. ruumi, mis asub silindri

[1] Soojusvahetuse mõju kompressori tööle on lähemalt käsitletud § 5 «Kompressori tegelik tööprotsess».

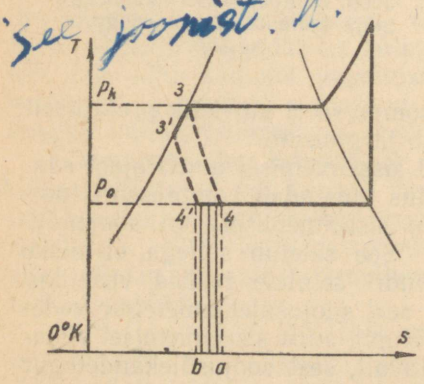
kaane ja kolvi vahel, kui kolb on piirasendis. Et vedelik ei ole praktiliselt kokkusurutav, siis selle olemasolu suuremal hulgal surnud ruumis võib esile kutsuda hüdraulilisi lööke kompressori silindris ja isegi selle purunemise.

Loetletud eriomaduste tõttu on tegelik külmutustegur kompressori kuivkäigul suurem kui niiskekäigul, s. t. tegelikes tingimustes loob kuivkäik kompressori töötamiseks soodsamad tingimused.

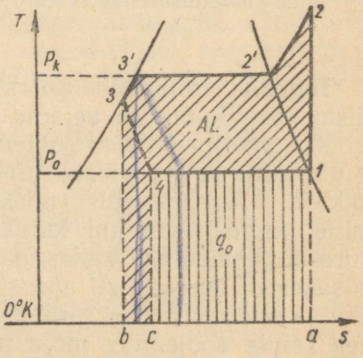
Auruga töötavas külmutusmasinas toimub vedela külmutusagendi ülejahutus kondenseerumistemperatuurist madalama temperatuurini. Ülejahutamist võib teostada veega, mille temperatuur on madalam kondenseerumistemperatuurist. Pannes külmutusagendi ja vee voolama vastassuunas, võib tunduvalt alandada vedela külmutusagendi temperatuuri. Vedela külmutusagendi ülejahutus toimub vastuvooluaparaatides — ülejahutajates, mis seatakse üles teisele poole kondensaatorit, või teatud määrani ka vastuvoolukondensaatorites endis. Ülejahutusprotsess kulgeb konstantsel rõhul, mis võrdub kondenseerumisrõhuga. *T—s*-diagrammil ühtivad konstantse rõhu jooned vedeliku piirkonnas vedeliku piirkõveraga. Ülejahutusprotsess väljendub sel diagrammil lõiguga $3-3'$ (joon. 9).

Diagramm näitab ülevaatlikult, et vedeliku ülejahutamine suurendab külmatootlikkust (mida diagrammil väljendab pindala $a-4-4'-b$)[1] ja vähendab drosselduskadusid, sest ülejahutamisel väheneb temperatuuride vahe drosselduse protsessis. Seejuures ei ole vaja täiendavat töökulu.

Auruga töötava külmutusmasina teoreetiline ringprotsess on esitatud joonisel 10 *T—s*-diagrammil.



Joon. 9. Külmutusagendi ülejahutamise mõju külmutusagendi ringprotsessile.



Joon. 10. Auruga töötava külmutusmasina ringprotsess *T—s*-diagrammil.

[1] Iga ülejahutuse kraadi kohta suureneb külmatootlikkus ammoniaakmasinas 0,4%, freoonmasinas aga 0,8%.

Protsessis *1* — *2* kulutatakse kompressoris tööd külmutusagendi adiabaatiliseks komprimeerimiseks;

protsessis *2* — *3* juhitakse kondensaatoris soojust külmutusagendilt jahutavale keskkonnale, seejuures piirkond *2*—*2′* — ülekuumendussoojuse ärajuhtimine, *2′*— *3′* — külmutusagendi kondenseerumissoojuse ärajuhtimine, *3′*— *3* — külmutusagendi ülejahutussoojuse ärajuhtimine;

protsessis *3* — *4* toimub reguleerimisventiilis külmutusagendi drosseldamine;

protsessis *4* — *1* juhitakse aurustajas soojust jahutatavast keskkonnast külmutusagendile.

Külmutusagendile aurustajas juurdejuhitavat soojust q_0 väljendab diagrammil pindala *a* — *1* — *4* — *c*.

Külmutusagendilt kondensaatoris ärajuhitavat soojust q_k väljendab pindala *a* — *2* — *3* — *b*.

Kompressori tööd *AL* kujutab pindala *c* — *4* — *1* — *2* — *3* — *b*.

Tuleb märkida, et tegelikul külmutusmasinal on veel mitmesuguseid abiaparaate, milledel on oluline praktiline tähtsus. Nii näiteks tagab vedelikueraldaja kompressori kuivkäigu; filter väldib mehaaniliste võõrkehakeste sattumist kompressorisse; õlieraldaja peab kinni külmutusagendi aurudega kompressorist väljakantava õli, takistades seega õli sattumist kondensaatorisse ja aurustajasse jne.

§ 4. Auruga töötava külmutusmasina teoreetilise tööringprotsessi arvutus

Külmutusmasina ringprotsessi arvutamiseks peab teadma külmutusagendi parameetreid, milleks ei ole mitte ainult lihtparameetrid, nimelt rõhk *p*, temperatuur *T*, erimaht *v*, vaid ka liitparameetrid entalpia *i* ja entroopia *s*.

Kahel viimasel parameetril — entalpial ja entroopial — on eriti suur tähtsus protsesside ülevaatlikul graafilisel kujutamisel, samuti arvutustel.

Külmutusagentide parameetreid määratakse graafiliselt termodünaamiliste diagrammide abil. Neist on levinumateks diagrammid koordinaatidega:

temperatuur — entroopia (*T*—*s*),
rõhk — entalpia (*p*—*i*).

Peale selle kasutatakse arvutustel laialdaselt külmutusagentide tabeleid, mis on koostatud eksperimentaalsete andmete põhjal. Õpiku lõpus on antud mõnede külmutusagentide tabelid ja diagrammid.

T—*s*-diagrammil väljendavad juurde- ja ärajuhtivat soojust ning samuti kompressori tööd (soojusühikutes) pindalad. Praktilistel arvutustel on aga pindalade määramine tülikas, seepärast kasutatakse arvutuste lihtsustamiseks arvutuslikku parameetrit —

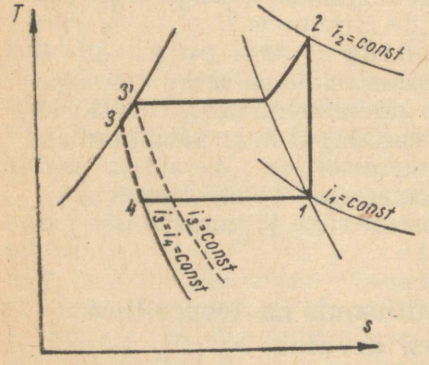
entalpiat. Sel juhul määratakse konstantsel rõhul juurde- ja ärajuhitavat soojust ning masina tööd adiabaatilises komprimeerimisprotsessis entalpiate vahega protsessi alguses ja lõpus. T—s-diagrammile (joon. 11) on kantud konstantsete entalpiate jooned.

Aurustajas kulgeb protsess konstantsel rõhul ja juurdejuhitav soojushulk määratakse valemiga:

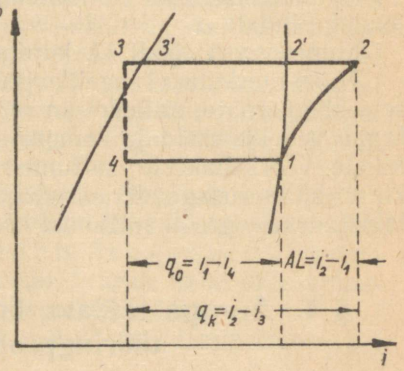
$$q_0 = i_1 - i_4 \text{ kcal/kg.}$$

Kondensaatoris kulgeb protsess samuti konstantsel rõhul ja ärajuhitav soojushulk määratakse valemiga:

$$q_k = i_2 - i_3 \text{ kcal/kg.}$$



Joon. 11. Konstantsete entalpiate jooned T — s-diagrammil.



Joon. 12. Auruga töötava külmutusmasina ringprotsess lg p — i-diagrammil.

Kompressoris toimub adiabaatiline komprimeerimine ja kompressori töö

$$AL = i_2 - i_1 \text{ kcal/kg.}$$

Drosselduspротsessis jääb entalpia konstantseks:

$$i_3 = i_4 = \text{const.}$$

Praktilised arvutused lihtsustuvad veelgi, kui kasutada lg$p$—i-diagrammi, mille abstsissteljeks on entalpia, ordinaatteljeks aga rõhk (kujutamise lihtsustamiseks on rõhk esitatud logaritmilise skaala järgi). Joonisel 12 on külmutusmasina ringprotsess kujutatud lg$p$—i-diagrammil, kus:

protsess *1 — 2* — komprimeerimine kompressoris;

protsess *2 — 3* — soojuse ärajuhtimine kondensaatoris, kusjuures *2 — 2'* — ülekuumutussoojuse ärajuhtimine, *2'— 3'* — kondenseerimissoojuse ärajuhtimine, *3'— 3* — ülejahutussoojuse ärajuhtimine;

protsess *3* — *4* — drosseldamine;
protsess *4* — *1* — keemine aurustajas.

Sellel diagrammil väljendavad juurde- ja ärajuhitavat soojust ning samuti ringprotsessi tööd vastavad joonlõigud.

Läheme üle ringprotsessi soojusarvutusele.

Soojushulka kilokalorites, mida külmutusmasin võtab jahutatavalt keskkonnalt tunni jooksul kcal/h, nimetatakse selle masina külmatootlikkuseks ja tähistatakse Q_0.

Antud külmatootlikkusega külmutusmasina teoreetiline ringprotsess on määratud järgmiste temperatuuridega:

1) külmutusagendi keemine;
2) külmutusagendi kondenseerumine;
3) ülejahutamine;
4) kuiva küllastunud või ülekuumendatud auru imemine kompressori silindrisse.

Ringprotsessi arvutamisel kasutatakse külmutusagendi kaalulist ja mahulist külmatootlikkust.

Kaaluline külmatootlikkus q_0 (kcal/kg) on 1 kg külmutusagendi külmatootlikkus. Mahuline külmatootlikkus q_v (kcal/m³) on 1 m³ külmutusagendi külmatootlikkus.

Kaalulise ja mahulise külmatootlikkuse vahel kehtib järgmine seos:

$$q_0 = q_v v_1 \text{ ehk } q_v = \frac{q_0}{v_1}, \tag{4}$$

kus v_1 — kompressori poolt sisseimetava auru erimaht.

Teoreetilise ringprotsessi soojusarvutus seisab vajalike parameetrite määramises punktides *1, 2, 3, 4,* samuti järgmiste suuruste arvutamises.

1. Kaaluline külmatootlikkus — entalpiate vahe punktides *1* ja *4*:

$$q_0 = i_1 - i_4 \text{ kcal/kg ehk } q_0 = i_1 - i_3.$$

2. Tunnis tsirkuleeriva külmutusagendi kogus G kg/h antud külmatootlikkuse Q_0 kcal/h korral:

$$G = \frac{Q_0}{q_0} \text{ kg/h.} \tag{5}$$

3. Tunnis tsirkuleeriva külmutusagendi maht V m²/h:

$$V = G \cdot v_1 \text{ m}^3/\text{h.} \tag{6}$$

Asendades valemis (6) G kg/h valemis (5) toodud avaldisega, saame:

$$V = \frac{Q_0}{q_0} \cdot v_1 = Q_0 \cdot \frac{v_1}{q_0}.$$

Valemi (4) põhjal

$$\frac{v_1}{q_0} = \frac{1}{q_v},$$

siis $$V = \frac{Q_0}{q_v}. \qquad (7)$$

Järelikult määravad tunnis tsirkuleeriva külmutusagendi mahu antud külmatootlikkus Q_0 ja mahuline külmatootlikkus q_v.

4. Külmutusagendilt kompressoris võetav soojushulk Q_k — entalpiate vahe punktides *2* ja *3* ($i_2 - i_3$), korrutatud tunnis tsirkuleeriva külmutusagendi hulgaga G kg/h:

$$Q_k = G(i_2 - i_3) \text{ kcal/h}. \qquad (8)$$

5. Kompressori teoreetiline töö, mis kulutatakse ringprotsessi teostamiseks:

$$AL = G(i_2 - i_1) \text{ kcal/h}. \qquad (9)$$

6. Kompressoris kulutatud teoreetiline võimsus:

$$N_T = \frac{AL}{632} = \frac{G(i_2 - i_1)}{632} \text{ HJ}$$

ehk

$$N_T = \frac{G(i_2 - i_1)}{860} \text{ kW}, \qquad (10)$$

kus 632 — 1 HJh soojusekvivalent;
860 — 1 kWh soojusekvivalent.

7. Külmustegur — külmatootlikkuse q_0 ja kulutatud töö AL (soojusühikutes) suhe:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{AL} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1}$$

ehk

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{AL} = \frac{G(i_1 - i_4)}{G(i_2 - i_1)}. \qquad (11)$$

Külmutusmasina töö efektiivsust võib hinnata ka külmatootlikkuse ja kulutatud võimsuse suhtega; seda suhet tähistatakse tähega K:

$$K = \frac{Q_0}{N_T} = \frac{Q_0}{\frac{AL}{632}} = 632\,\frac{Q_0}{AL} = 632\,\varepsilon \text{ kcal/HJh}$$

ehk

$$K = 860\,\varepsilon \text{ kcal/kWh}.$$

Näide 1. Teostada ammoniaakkülmutusmasina põhisuuruste teoreetiline soojusarvutus, kui külmutusmasina külmatootlikkus $Q_0 = 10\,000$ kcal/h. Töötamise tingimused on järgmised:

1. Keemistemperatuur $t_0 = -15°$;
2. Kondenseerumistemperatuur $t_k = +25°$;
3. Ülejahutustemperatuur $t_ü = +20°$;
4. Kompressor imeb sisse kuiva küllastatud auru.

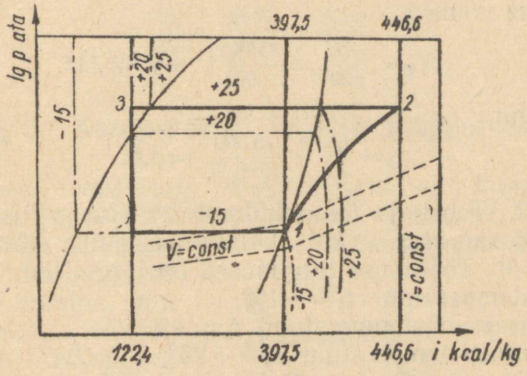
Arvutuse võib teostada kas lg$p$—i- või T—s-diagrammi või ammoniaagi tabelite abil.

Arvutuse käik.

Vajalikud parameetrid.

Kasutades lg*p*—*i*-diagrammi, määrame järgmised suurused.

a) Kompressori poolt sisseimetava kuiva küllastunud auru entalpia $i_1 = 397{,}46$ kcal/kg. Kuiva küllastunud auru olekut iseloomustab diagrammil punkt *1*, mis asub auru piirkõveral (temperatuuril $t_0 = -15°$). Punkti *1* entalpia leitakse diagrammi horisontaalteljel (joon. 13).



Joon. 13. Parameetrite määramine lg *p* — *i*-diagrammi järgi.

b) Ülekuumendatud auru entalpia komprimeerimise lõpul $i_2 = 446{,}6$ kcal/kg. Ülekuumendatud auru olekut komprimeerimise lõpul iseloomustab punkt *2*, mis asub punkti *1* läbiva adiabaadi ja kondensaatoris esineva rõhu joone lõikepunktis (rõhk kondensaatoris on määratud antud kondenseerumistemperatuuriga $t_k = 25°$).

c) Ülejahutatud vedeliku entalpia $i_3 = i_4 = 122{,}40$ kcal/kg. Ülejahutatud vedeliku olekut iseloomustab diagrammil punkt *3*, mis asub kondenseerumisrõhu joone ja temperatuurile 20° vastava joone lõikepunktis.

d) Kompressorisse imetava auru erimaht $v_1 = 0{,}5088$ m³/kg. Erimaht määratakse joone järgi, mis läbib punkti *1* ja on paralleelne punktiirjoonega.

Parameetreid punktides *1* ja *3*, s. o. i_1, v_1, $i_3 = i_4$, võib määrata ka ammoniaagi küllastunud auru tabelite järgi, mis on toodud õpiku lisas.

Kaaluline külmatootlikkus

$$q_0 = i_1 - i_4 = 397{,}46 - 122{,}4 = 275{,}06 \text{ kcal/kg.}$$

Tunnis tsirkuleeriva ammoniaagi kogus

$$G = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{10\,000}{275{,}06} = 36{,}34 \text{ kg/h.}$$

Tunnis tsirkuleeriva ammoniaagi maht

$$V = Gv_1 = 36{,}34 \cdot 0{,}5088 = 18{,}49 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Ammoniaagilt kondensaatoris võetav soojushulk tunnis

$$Q = G(i_2 - i_3) = 36{,}34(446{,}6 - 122{,}4) = 11791{,}42 \text{ kcal/h}.$$

Kompressori teoreetiline töö

$$AL = G(i_2 - i_1) = 36{,}34(446{,}6 - 397{,}46) = 1786{,}11 \text{ kcal/h}.$$

Teoreetiline võimsus

$$N_T = \frac{AL}{632} = \frac{1786{,}11}{632} = 2{,}82 \text{ HJ}.$$

Külmustegur

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{AL} = \frac{10\,000}{1786{,}11} = 5{,}6.$$

N ä i d e 2. Teostada freoonkülmutusmasina põhisuuruste teoreetiline soojusarvutus, kui külmutusmasina külmatootlikkus $Q_0 = 5000$ kcal/h. Töötamise tingimused on järgmised:

1. Keemistemperatuur $t_0 = -10°$;
2. Kondenseerumistemperatuur $t_k = +30°$;
3. Ülejahutuse temperatuur $t_{ü} = +25°$;
4. Kompressor imeb sisse ülekuumendatud auru, mille temperatuur on —5°.

Vajalikud parameetrid.

Kompressori poolt sisseimetava auru entalpia

$$i_1 = 136{,}55 \text{ kcal/kg}.$$

Auru entalpia komprimeerimise lõpul

$$i_2 = 142{,}00 \text{ kcal/kg}.$$

Ülejahutatud vedeliku entalpia

$$i_3 = i_4 = 94{,}61 \text{ kcal/kg}.$$

Kompressori poolt sisseimetava auru erimaht

$$v_1 = 0{,}08 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Kaaluline külmatootlikkus

$$q_0 = i_1 - i_4 = 136{,}55 - 94{,}61 = 41{,}94 \text{ kcal/kg}.$$

Tunnis tsirkuleeriva freooni kogus

$$G = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{5000}{41{,}94} = 119{,}22 \text{ kg/h}.$$

Tunnis tsirkuleeriva freooni maht

$$V = Gv_1 = 119{,}22 \cdot 0{,}08 = 9{,}5 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Freoonilt kondensaatoris võetav soojushulk tunnis

$$Q = G(i_2 - i_3) = 119{,}22\ (142{,}0 - 94{,}61) = 5649{,}8 \text{ kcal/h}.$$

Kompressori teoreetiline töö

$$AL = G(i_1 - i_2) = 119{,}22(142{,}0 - 136{,}55) = 649{,}8 \text{ kcal/h}.$$

Teoreetiline võimsus

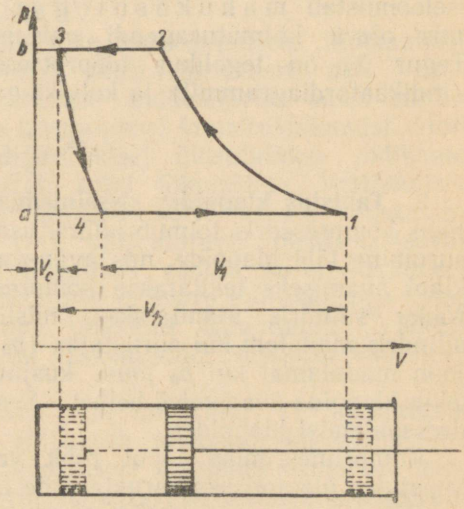
$$N_T = \frac{AL}{632} = \frac{649{,}8}{632} = 1{,}03 \text{ HJ}.$$

Külmustegur

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{AL} = \frac{5000}{649{,}8} = 7{,}7.$$

§ 5. Kompressori tegelik tööprotsess

Teoreetiline tööprotsess kompressoris on kujutatud p—v-koordinaatides joonisel 14, kus joon a — *1* kujutab sisseimemist, *1* — *2* — komprimeerimist, *2* — b — väljasurumist. Tegelikku tööprotsessi võib kujutada indikaatordiagrammina, mis on üles võetud töötavalt kompressorilt. Niisugune tegelik tööprotsess erineb teoreetilisest protsessist.



Joon. 14. Kompressori tööprotsess.

Erinevuse põhjused on järgmised:

1) surnud ruum kompressori silindris;

2) takistused klappides sisseimemisel ja väljasurumisel;

3) soojusvahetus silindri seinte ja külmutusagendi vahel;

4) liikuvate osade hõõrdumine ja ebatihedused kompressoris.

Kõik loetletud põhjused vähendavad tegeliku kompressori tootlikkust.

Käsitleme neid põhjusi üksikasjalisemalt.

1. Surnud ruum kompressori silindris. Surnud ruum kompressoris on ruum piirasendis oleva kolvi ja silindri kaane vahel (siia kuuluvad samuti klapisüvendid). Surnud ruum on vajalik selleks, et vältida kolvi lööki vastu silindri kaant, juhul kui väntmehhanism soojenemise tõttu pikeneb, sest see võib põhjustada avariid. Peale selle kaitseb surnud ruum kompressorit niiskekäigul hüdraulilise löögi eest.

Surnud ruum väljendatakse silindri töömahu osades:

$$C = \frac{V_c}{V_h}, \qquad (12)$$

kus V_c — surnud ruumi maht;

V_h — töömaht ehk kolvikäigu maht (joon. 14).

Surnud ruumi olemasolu korral ei lähe kolb tihedalt vastu silindri kaant; seda kolvi asendit iseloomustab joonisel 14 punkt *3*. Surnud ruumis on külmutusagent kõrge surve p_k all. Kolvi tagasilükkumisel paisub külmutusagent rõhuni p_0 (protsess *3 — 4*). Alles pärast seda algab sisseimemisprotsess *4 — 1*.

p—V-diagrammil (joon. 14) on protsess *4 — 1* külmutusagendi sisseimemine; *1 — 2* — komprimeerimine; *2 — 3* — väljasurumine; *3 — 4* — surnud ruumis oleva külmutusagendi paisumine.

Diagrammilt on näha, et surnud ruumi olemasolul sisseimemismaht ehk nn. kasutusmaht V_1 väheneb, võrreldes kolvikäigu mahuga.

Järelikult põhjustab surnud ruum mahukadusid. Neid kadusid iseloomustab mahukasutegur λ_c, mis arvestab surnud ruumis oleva külmutusagendi paisumisest tingitud mahukadusid. Tegur λ_c on tegelikus tööprotsessis esineva kasutusmahu V_1 (indikaatordiagrammil) ja kolvikäigu mahu V_h suhe:

$$\lambda_c = \frac{V_1}{V_h}. \qquad (13)$$

2. **Takistus klappides sisseimemisel ja väljasurumisel.** Tegelikus kompressoris toimub külmutusagendi sisseimemine ja väljasurumine läbi klappide, mis avanevad rõhkude vahe mõjul. Imiklapi avamiseks tekitatakse kompressori silindris hõrendus, s. t. rõhku silindris alandatakse, mistõttu sisseimemisel on rõhk silindris madalam kui aurustajas (p_0). Joonisel 15 on sisseimemisjoon madalamal kui p_0 joon, kusjuures kõige suurem hõrendus tekib klappide avanemise hetkel. See rõhkude vahe põhjustab auru drosseldamist klappides.

Komprimeerimise lõpul rõhk veidi tõuseb, mis on vajalik takistuste ületamiseks suruklappide avanemisel.

Rõhu langemine sisseimemisel põhjustab mahukadusid, s. o. silindrisse imetava auru mahulise koguse vähenemist, sest rõhu langemisel auru erimaht suureneb. Peale selle kasutatakse kolvi liikumisel vastassuunas (paremalt vasakule) osa kolvikäiku kasutult rõhu tõstmiseks silindris väärtuseni p_0 (protsess *1 — 1'*).

Klappides tekkivast drosseldamisest põhjustatud kadusid arvestab drosseldustegur λ_d, mis kujutab endast mahu V_2 ja mahu V_1 suhet, kusjuures mahud on mõõdetud tegelikus tööprotsessis (indikaatordiagrammil):

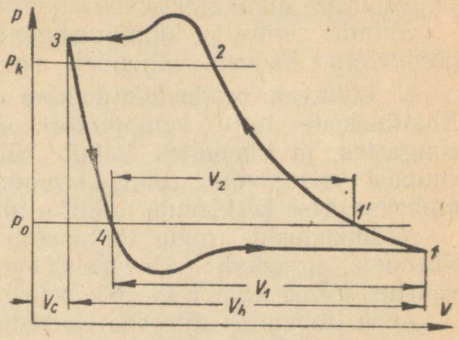
$$\lambda_d = \frac{V_2}{V_1} \qquad (14)$$

Surnud ruumist ja klappides tekkivast drosseldamisest põhjustatud mahukadusid võib ühendada üheks teguriks, mida nimetatakse *indikaatordiagrammi mahukasuteguriks* ja tähistatakse

$$\lambda_v = \lambda_c \lambda_d. \qquad (15)$$

Indikaatordiagrammist avaldub λ_v mööda konstantse rõhu joont mõõdetava mahu V_2 ja kolvikäigu mahu V_h suhtena:

$$\lambda_v = \frac{V_2}{V_h}. \qquad (16)$$



Joon. 15. Kompressori tegelik tööprotsess.

Tegeliku indikaatordiagrammi võib saada spetsiaalse riista — indikaatori abil, mis ühendatakse silindri siseruumiga ja mis joonestab diagrammi. Indikaatordiagramm väljendab kompressoris esineva rõhu sõltuvust kolvi asendist silindris.

Silindris toimuvate rõhumuutuste edasiandmiseks indikaatorile ühendatakse see silindriruumiga indikaatorikraani abil. Kolvi asendi muutumine silindris antakse indikaatorile edasi mitmel viisil, sõltuvalt inditseeritava kompressori konstruktsioonist. Horisontaalsete kompressorite inditseerimisel ühendatakse indikaator ristpeaga, mille liikumine vastab kolvi liikumisele. Vertikaalsete kompressorite inditseerimisel antakse kolvi asendi muutumine silindris indikaatorile edasi võlli väljaulatuval otsal asetsevate ekstsentrikute abil, millede liikumine vastab kolvi liikumisele silindris. Käesoleval ajal on keskmise ja suure tootlikkusega kompressorite inditseerimise tehnika täielikult omandatud. Väikeste kompressorite inditseerimine on raskendatud, mistõttu käesoleval ajal neid ei inditseerita.

Indikaatordiagrammi alusel võib määrata: 1) kompressori silindris kulutatud töö, mida väljendab indikaatordiagrammi pindala; 2) surnud ruumist ja kompressori klappides esinevast takistusest põhjustatud kaod (tegurid λ_c ja λ_d); 3) indikaatordiagrammi järgi võib kindlaks teha kompressori töös esinevaid defekte, mis selguvad üksikute protsesside kujutamisel.

Indikaatordiagrammilt (joon. 15) on näha, et auru drosseldamise tõttu klappides diagrammi pindala suureneb, s. t. tegelik kulutatav tööhulk suureneb.

Järelikult ei põhjusta drosseldamine klappides mitte ainult mahukadusid, vaid ka energeetilisi kadusid.

3. Soojusvahetus silindri seinte ja külmutusagendi vahel. Silindri seinad soojendavad sisseimetavat külmutusagenti, mistõttu see paisub. Järelikult silindrisse saabuva külmutusagendi

erimaht suureneb, kaaluline kogus aga väheneb. See tähendab, et külmutusagendi soojendamine silindris põhjustab mahukadusid.

Soojusvahetusest tingitud kaod ei avaldu indikaatordiagrammis ja seepärast nimetatakse neid nähtamatuteks kadudeks.

Silindri seinte ja külmutusagendi vahelisest soojusvahetusest põhjustatud kadusid väljendab soojendustegur λ_w.

4. Liikuvate osade hõõrdumine ja ebatihedused kompressoris. Ebatiheduste tõttu kompressori imi- ja suruklappides, kolvirõngastes ja tihendites imbub külmutusagent kõrgema rõhuga ruumist madalama rõhuga ruumi või vahetult surveruumist ümbritsevasse keskkonda, näiteks tihendi kaudu.

Mahukadusid, mida põhjustab auru imbumine läbi ebatiheduste, arvestab tihedustegur λ_t. Selle teguri arvuline väärtus sõltub kompressori konstruktsioonist ja kulumise astmest.

Auru imbumine läbi ebatiheduste põhjustab peale mahukadude veel energeetilisi kadusid, sest energia, mis kulutati auru komprimeerimiseks, läheb kaduma.

Kõiki mahukadusid kompressoris arvestab kasutustegur λ. Kasutustegur on kompressorist ühel kolvikäigul väljasurutud auru mahu V_k (m³/h) ja teoreetilise mahu ehk kolvikäigu mahu V_h (m³/h) suhe:

$$\lambda = \frac{V_k}{V_h}. \qquad (17)$$

Et kasutustegur arvestab kõiki mahukadusid, siis võib seda väljendada kõigi mahutegurite korrutisena:

$$\lambda = \lambda_c \lambda_d \lambda_w \lambda_t.$$

Nagu juba teada, iseloomustavad kaks esimest tegurit λ_c ja λ_d mahukadusid, mis on põhjustatud surnud ruumist ja drosseldamisest klappides. Need kaod avalduvad indikaatordiagrammil.

Kaks viimast tegurit λ_w ja λ_t iseloomustavad mahukadusid, mis on põhjustatud soojusvahetusest silindris ja ebatihedustest. Need kaod ei avaldu indikaatordiagrammil.

Mahutegurid määratakse kompressorite katsetamiste põhjal. Katsetamistulemused on antud joonistel 29, 45, 46, 69, 70, 83, 84.

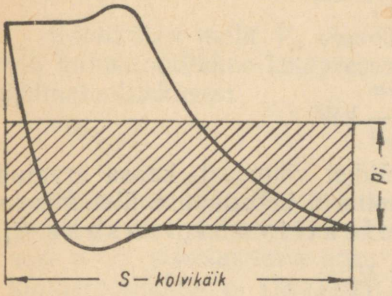
§ 6. Kompressori võimsus ja energeetilised tegurid

§ 4 tehtud arvutused käivad teoreetilise kompressori kohta, s. o. kompressori kohta, millel puudub surnud ruum, soojusvahetus, takistus klappides ja hõõrdumine ning milles komprimeerimisprotsess toimub adiabaatiliselt.

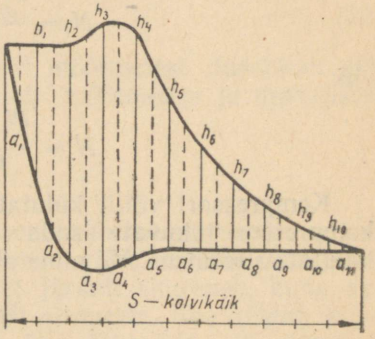
Tegeliku kompressori poolt tarbitav võimsus on suurem kui teoreetilise kompressori oma ja seda võib määrata indikaatordiagrammilt, mis on üles võetud töötavalt kompressorilt.

Indikaatorvõimsuse N_i määramiseks kasutatakse keskmise indikaatorrõhu p_i väärtust.

Keskmist indikaatorrõhku p_i väljendab sellise ristküliku kõrgus, mille pindala võrdub indikaatordiagrammi pindalaga ja mille aluseks on kolvikäik (joon. 16).



Joon. 16. Keskmise indikaatorrõhu väärtus.



Joon. 17. Keskmise indikaatorrõhu määramine.

Indikaatordiagrammi pindala määratakse erilise riistaga — planimeetriga. Saadud pindala jagatakse kolvikäiguga ja saadakse keskmise indikaatorrõhu p_i väärtus:

$$p_i = \frac{\text{indikaatordiagrammi pindala}}{\text{kolvikäik indikaatordiagrammi mastaabis}}.$$

Planimeetri puudumisel võib p_i määrata graafiliselt (joon. 17). Selleks tuleb kolvikäigu pikkus jagada paarituks arvuks võrdseteks lõikudeks (mitte vähem kui 11) ja lõikude otstest tõmmata vertikaaljooned. Edasi tuleb mõõta vertikaallõikude pikkused diagrammi pinnal ja määrata iga kahe kõrvutiasuva vertikaallõigu keskmised väärtused:

$$a_1 = \frac{0+h_1}{2};\quad a_2 = \frac{h_1+h_2}{2};\quad \ldots\ldots\ldots;\quad a_{11} = \frac{h_{10}+0}{2}.$$

Saadud väärtuste aritmeetiline keskmine ongi keskmine indikaatorrõhk diagrammi mastaabis:

$$p_i = \frac{a_1+a_2+a_3+\ldots\ldots+a_{11}}{11}.$$

Saadud väärtuse jagamisel indikaatorvedru mastaabiga saame keskmise indikaatorrõhu p_i kg/m².

Kui on teada keskmine indikaatorrõhk p_i kg/m² ja kolvikäigu maht V_h m³/min, siis indikaatorvõimsus

$$N_i = \frac{p_i V_h}{60 \cdot 75}\ \text{HJ}.$$

Tavaliselt ei anta silindri suurust mitte kolvikäigu mahuga V_h, vaid silindri läbimõõduga D, kolvikäiguga S ja kompressori võlli pöörlemiskiirusega n p/min. Kompressori indikaatorvõimsus väljendub siis järgmiselt:

$$N_i = \frac{Pi \frac{\pi D^2}{4} S \cdot n}{60 \cdot 75} \text{ HJ}$$

ehk

$$N_i = \frac{Pi \frac{\pi D^2}{4} S \cdot n}{60 \cdot 102} \text{ kW.}$$

Kompressori võllil kulutatavat üldist võimsust, kaasa arvatud kompressori liikuvate osade vahel esineva hõõrdumise ületamiseks kulutatav võimsus N_f, nimetatakse efektiivvõimsuseks N_e:

$$N_e = N_i + N_f.$$

Kompressori poolt tarbitav tegelik võimsus on suurem kui teoreetiline võimsus, sest kompressoris esinevad energeetilised kaod. Neid kadusid iseloomustavad energeetilised tegurid.

Kompressori teoreetilise võimsuse N_T ja indikaatorvõimsuse N_i suhet nimetatakse indikaatorkasuteguriks η_i:

$$\eta_i = \frac{N_T}{N_i}. \tag{18}$$

Indikaatorvõimsuse ja efektiivvõimsuse suhet nimetatakse mehaaniliseks kasuteguriks η_m:

$$\eta_m = \frac{N_i}{N_e}. \tag{19}$$

Energeetilised tegurid on alati ühest väiksemad, sest võimsus tegelikus kompressoris muutub sellises järjestuses:

$$N_T < N_i < N_e.$$

Energeetilised tegurid määratakse kompressorite katsetamise alusel. Katsetamistulemused on antud joonistel 29, 45, 85.

§ 7. Külmatootlikkuse muutumine, «normaalsed» töötingimused, külmatootlikkuse ümberarvutus

Külmatootlikkust tunnis võib väljendada kompressorist väljasurutava külmutusagendi tegeliku mahu V_k m³/h ja mahulise külmatootlikkuse q_v kcal/m³ korrutisena:

$$Q_0 = V_k q_v \text{ kcal/h.} \tag{20}$$

Tegelikku mahtu V_k võib avaldada kolvikäigu mahu V_h kaudu:

$$V_k = \lambda V_h, \tag{21}$$

kus λ — kompressori kasutustegur.

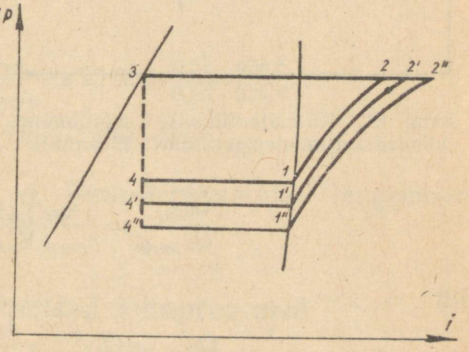
Siis külmatootlikkus

$$Q_0 = \lambda V_h q_v \text{ kcal/h}. \tag{22}$$

Kolvikäigu maht V_h oleneb silindri mõõtmetest. Järelikult sõltub külmatootlikkus kompressori silindri mõõtmetest ja mahulisest külmatootlikkusest

$$q_v = \frac{q_0}{v_1}.$$

Mahuline külmatootlikkus q_v väheneb keemistemperatuuri langemisel, sest seejuures langeb ka keemisrõhk, mistõttu kompressori poolt sisseimetava auru erimaht järsult suureneb, kuna aga külmatootlikkus q_0 (kcal/kg) peaaegu ei muutu. See nähtub kujukalt $\lg p - i$-diagrammil (joon. 18), kus lõigud $4-1$, $4'-1'$ ja $4''-1''$ väljendavad külmatootlikkust q_0. Mitmesugustel keemistemperatuuridel ja konstantsel kondenseerumistemperatuuril on need lõigud peaaegu ühepikkused.



Joon. 18. Külmatootlikkuse muutumine keemistemperatuuri langemisel.

Mahuline külmatootlikkus väheneb samuti kondenseerumistemperatuuri tõusmisel. Joonisel 19 näidatud $\lg p - i$-diagrammil, kus lõigud $4-1$, $4'-1$ ja $4''-1$ väljendavad külmatootlikkust q_0, on näha, et q_0 väheneb kondensatsioonitemperatuuri tõusmisel, kuna aga sisseimetava auru maht V_1 jääb konstantseks.

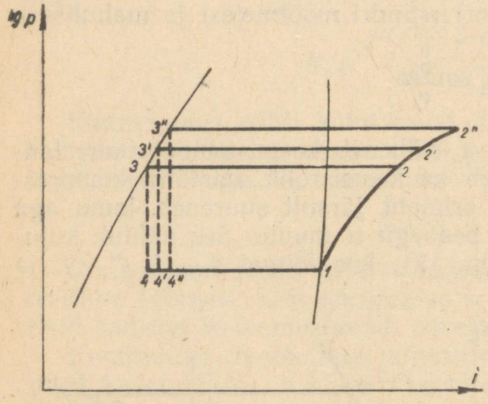
Järelikult sõltuvad kompressori külmatootlikkus ja kulutatud tööhulk masina töötingimustest, keemis-, kondenseerumis- ning ülejahutustemperatuurist ja auru olekust kompressorisse sisseimemisel.

Külmutusmasinate võrdlemiseks tuleb määrata nende külmatootlikkus ühesugustes töötingimustes.

Külmutusmasinate võrdlemiseks on tarvitusele võetud «normaalsed» töötingimused: keemistemperatuur $t_0 = -10°$, kondenseerumistemperatuur $t_k = 25°$, ülejahutustemperatuur $t_{ü} = 15°$ (kompressor imeb kuiva küllastatud auru). Masina külmatootlikkust niisugustel tingimustel nimetatakse «normaalseks» külmatootlikkuseks.

Peale selle kasutatakse külmutusmasinate võrdlemiseks nn. «standardseid» töötingimusi: keemistemperatuur $t_0 = -15°$, kondenseerumistemperatuur $t_k = 30°$, ülejahutustemperatuur $t_{ü} = 25°$; sisseimemine toimub 5° kõrgemal keemistemperatuurist, s. t. $t_1 = -10°$.

Külmutusmasinate külmatootlikkuse võrdlemiseks tuleb tegelik külmatootlikkus ümber arvutada «normaalseks» külmatootlikkuseks ja, vastupidi, masina töörežiimi muutumisel tuleb tema tegeliku külmatootlikkuse määramiseks «normaalne» külmatootlikkus ümber arvutada tegelikuks külmatootlikkuseks.



Joon. 19. Külmatootlikkuse muutumine kondenseerumistemperatuuri tõusmisel.

Ümberarvutamiseks võib kasutada kahte võrdust, mis väljendavad antud külmutusmasina tegelikku ja «normaalset» külmatootlikkust:

$$Q_{0teg} = \lambda_{teg} V_h q_{v\,teg},$$

$$Q_{0\,norm} = \lambda_{norm} V_h q_{v\,norm}.$$

Jagades esimese võrduse teisega, saame:

$$\frac{Q_{0\,teg}}{Q_{0\,norm}} = \frac{\lambda_{teg} V_h q_{v\,teg}}{\lambda_{norm} V_h q_{v\,norm}}.$$

Siit

$$Q_{0\,teg} = Q_{0\,norm} \frac{\lambda_{teg} q_{v\,teg}}{\lambda_{norm} q_{v\,norm}} \qquad (23)$$

ehk

$$Q_{0\,norm} = Q_{0\,teg} \frac{\lambda_{norm} q_{v\,norm}}{\lambda_{teg} q_{v\,teg}}. \qquad (23a)$$

N ä i d e 1. Määrata ammoniaakkülmutusmasina tegelik külmatootlikkus, kui külmutusagendi keemistemperatuur $t_0 = -20°$, kondenseerumistemperatuur $t_k = 25°$, ülejahutustemperatuur $t_{ü} = 20°$. Masina «normaalne» külmatootlikkus $Q_0 = 10\,000$ kcal/h.

Kasutusteguri λ väärtuse tegelikel ja «normaalsetel» töötingimustel saab määrata joonisel 46 esitatud graafiku järgi. Sellel graafikul on λ antud sõltuvalt surumisrõhu ja imemisrõhu suhtest $\frac{p_k}{p_0}$. Rõhud määratakse õpikule lisatud tabelite järgi vastavalt antud keemis- ja kondenseerimistemperatuurile.

Tegelikes tingimustes

$$\frac{p_k}{p_0} = \frac{10{,}2}{1{,}93} = 5{,}28.$$

«Normaalsetel» tingimustel

$$\frac{p_k}{p_0} = \frac{10{,}2}{2{,}96} = 3{,}45.$$

Kasutustegurid

$$\lambda_{teg} = 0{,}53,$$

$$\lambda_{norm} = 0{,}66.$$

Mahuline külmatootlikkus võetakse tabelitest sõltuvalt keemistemperatuurist ja temperatuurist enne reguleerimisventiili, s. o. ülejahutustemperatuurist:

$$q_{v\,teg} = 438{,}5 \text{ kcal/m}^3,$$

$$q_{v\,norm} = 674{,}4 \text{ kcal/m}^3.$$

Tegelik külmatootlikkus

$$Q_{0\,teg} = Q_{0\,teg} \frac{\lambda_{teg} q_{v\,teg}}{\lambda_{norm} q_{v\,norm}} = 10\,000 \frac{0{,}53 \cdot 438{,}5}{0{,}66 \cdot 674{,}4} =$$

$$= 10\,000 \cdot 0{,}523 = 5230 \text{ kcal/h}.$$

Saadud tulemus näitab, et keemistemperatuuri langemisel masina külmatootlikkus väheneb.

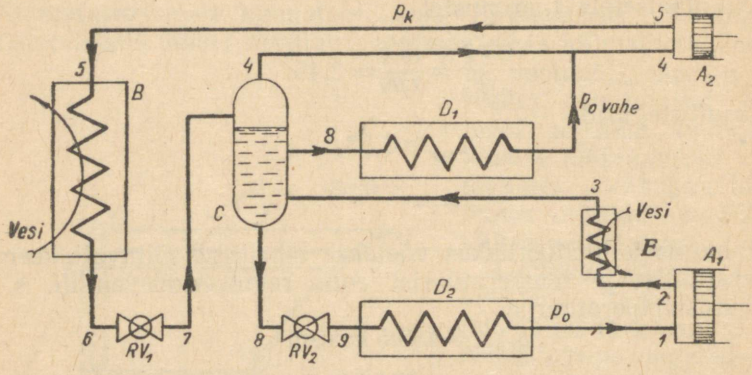
§ 8. Mitmeastmelised kompressorid

Kui külmutusmasin peab töötama väga madalate keemistemperatuuride ja kõrgete kondenseerumistemperatuuridega, siis komprimeerimise alg- ja lõpprõhu suhe $\frac{p_k}{p_0}$ suureneb järsult. See vähendab kompressori tootlikkust, sest tema tööd iseloomustavad tegurid halvenevad, ja suurendab drosselduskadusid. Peale selle raskendab suurest rõhkude vahest tingitud kõrge temperatuur komprimeerimise lõpul kompressori määrimise tingimusi. Praktiliselt kasutatakse juhul, kui rõhkude suhe on üle 8, kaheastmelist komprimeerimist ja reguleerimist. Kaheastmelises külmutusmasinas võib säilitada kaht keemistemperatuuri. See võimaldab ühe külmutusmasinaga jahutada kaht ruumi, hoides neis erinevad temperatuurid. Niisuguse kaheastmelise ja kahe keemistemperatuuriga külmutusmasina skeem on näidatud joonisel 20, kuna joonistel 21 ja 22 on toodud ringprotsessid T—s- ja lg$p$—i-diagrammidel.

Kondensaatoris B toimub külmutusagendi kondenseerimine ja

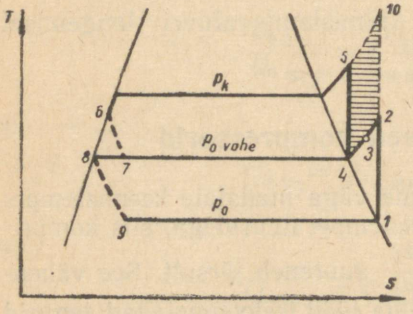
ülejahutamine rõhul p ning olekus *6* suunatakse ta esimesse reguleerimisventiili *RV-1*.

Drosseldamise tõttu (protsess *6—7*) langeb külmutusagendi rõhk ja temperatuur ja niiske auruna (olekus *7*) saabub ta vahe-

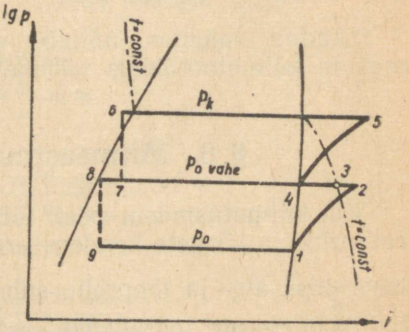


Joon. 20. Täieliku vahejahutusega kaheastmelise külmutusmasina skeem.

anumasse *C*, kus, nagu tavalises vedelikueraldajaski, toimub külmutusagendi liikumissuuna ja -kiiruse muutumise tagajärjel küllastunud auru eraldumine (olek *4*) küllastatud vedelikust. Edasi suu-



Joon 21. Kaheastmelise komprimeerimise ja reguleerimise ringprotsess T — s-diagrammil.



Joon. 22. Kaheastmelise külmutusmasina ringprotsess lg p — i-diagrammil.

natakse osa vedelikku (olekus *8*) aurustajasse D_1, kus see vedelik keeb vaherõhul p_{0v} ja -temperatuuril t_{0v} (protsess *8 — 4*), jahutades ümbritsevat ruumi. Teine osa vedelikku suunatakse olekus *8* teise reguleerimisventiili *RV-2*, kus see teistkordselt drosseldub (protsess *8 — 9*) ja olekus *9* saabub madalrõhuaurustajasse D_2. Aurustajas D_2 keeb külmutusagent rõhul p_0 ja temperatuuril t_0 (protsess *9 — 1*), võttes soojust ümbritsevast ruumist.

Keemisel tekkinud kuiv küllastunud aur (olekus *1*) imetakse ära esimese astme kompressori A_1 poolt ja komprimeeritakse adiabaatiliselt vaherõhul p_{0v} (protsess *1 — 2*). Pärast seda läheb aur vahekondensaatorisse *E*. Selles kondensaatoris juhitakse soojus konstantsel rõhul külmutusagendilt veele (protsess *2 — 3*).

Seejärel suunatakse aur (olekus *3*) täieliku vahejahutuse sooritamiseks vaheanumasse *C*.

Täielikuks vahejahutamiseks nimetatakse auru jahutamist kuiva küllastunud olekuni.

Vaheanumas jahtub vahekondensaatorist tulev aur (olekus *3*) osa vedeliku aurustumise arvel kuiva küllastunud auru olekuni (*4*).

Nüüd suunatakse külmutusagent olekus *4* teise astme kompressorisse A_2. Samaaegselt saabub vaheanumast kompressorisse A_2 esimesel drosseldamisel saadud aur ja samuti aur, mis tekkis keemisel kõrgrõhuaurustajas D_1. Kogu see aur komprimeeritakse adiabaatiliselt teise astme kompressoris (protsess *4 — 5*) ja surutakse uuesti kondensaatorisse, kus ta jälle kondenseerub (protsess *5—6*) ning suunatakse uuesti reguleerimisventiili *RV-1* kaudu vaheanumasse uue ringprotsessi teostamiseks.

Kaheastmelistes külmutusmasinates kõrgrõhuaurustaja D_1 tavaliselt puudub.

Erijuhtudel, kui rõhkude vahe on väga suur, kasutatakse ka kolmeastmelist komprimeerimist.

Üleminek üheastmeliselt komprimeerimiselt kahe- ja kolmeastmelisele komprimeerimisele võimaldab vähendada energiakulu järgmistel põhjustel:

1. Mitmeastmelisel komprimeerimisel toimub komprimeerimisastmete vahel külmutusagendi vahejahutamine;

2. Paranevad kompressori tööd iseloomustavad tegurite väärtused. See seletub asjaoluga, et mitmeastmelisel komprimeerimisel vähenevad rõhkude vahed ühe astme kohta, mistõttu vähenevad kahjulikust mahust, soojusvahetusest, klappide takistusest ja ebatihedustest tingitud kaod;

3. Vähenevad drosselduskaod reguleerimisventiilides. Peale selle pole karta liiga kõrge temperatuuri tekkimist (üle 145°) komprimeerimise lõpul. Samuti paranevad kompressori määrimise tingimused (ei esine määrdeõli riknemist).

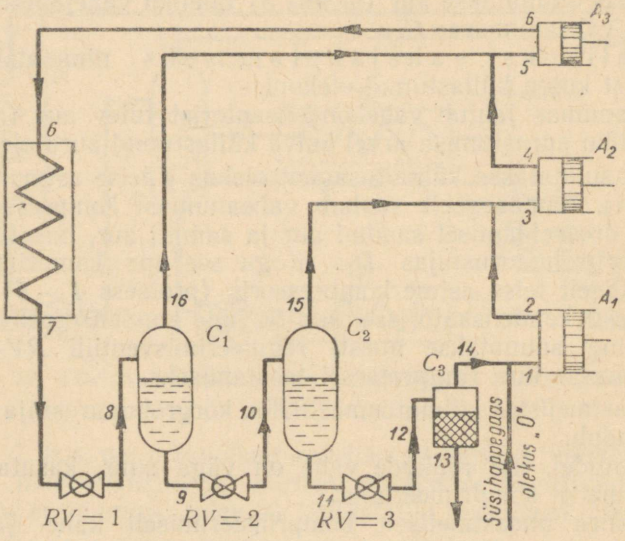
Peatume ühel kolmeastmelise komprimeerimise skeemil, nimelt tahke süsihappegaasi («kuiva jää») saamise skeemil.

Süsihappel (CO_2) on rida eriomadusi. Üheks neist on kõrge kolmikpunkt (kriitiline punkt), millele vastab rõhk $p=5{,}26$ atü ja temperatuur $t=-56{,}6°$. Seega võib süsihape märgitud rõhul ja temperatuuril olla korraga kolmes olekus — tahke, vedel ja gaasiline. Kui rõhk on alla 5,26 atü, võib süsihape olla ainult kahes olekus, nimelt tahke ja gaasiline.

Tahke süsihape aurustub rõhul 1 atm temperatuuril —78,9°. Seega atmosfääritingimustes tahke süsihape sublimeerub, s. o.

siirdub tahkest olekust otse gaasilisse olekusse, jättes vahele vedela faasi, millest tekkiski nimetus «kuiv jää».

Kuiva jääd valmistatakse süsihappegaasist, mida saadakse looduslikest allikatest või kütuse (söe, põlevkivi jne.) põlemisel tekkinud gaasidest.



Joon. 23. Kuiva jää saamise põhimõtteline skeem.

Üks kuiva jää saamise viis süsihappegaasist põhineb kolmeastmelisel komprimeerimisel ja drosseldamisel.

Niisugune kuiva jää saamise skeem on näidatud joonisel 23, joonisel 24 aga on näidatud ringprotsess T—s-diagrammil.

Süsihappegaas komprimeeritakse kolmeastmelises kompressoris kõrge rõhuni — 60—70 atü — ja surutakse kondensaatorisse olekus *6*.

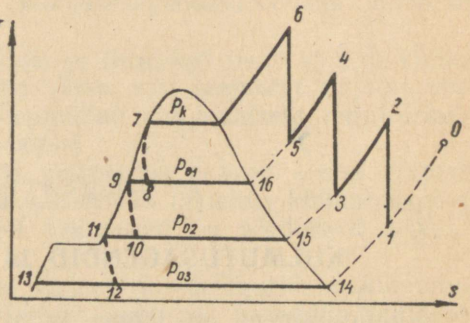
Kondensaatoris süsihappegaas veeldub (protsess *6* — *7*) ja seejärel drosseldub esimeses reguleerimisventiilis *RV-1* vaherõhuni p_{01} (protsess *7* — *8*). Niiske aur suunatakse pärast esimest drosseldamist olekus *8* esimesse vaheanumasse C_1, kus toimub küllastunud auru (olekus *16*) eraldamine küllastunud vedelikust (olekus *9*). See vedelik suunatakse teise reguleerimisventiili *RV-2*, kus toimub teistkordne drosseldamine vaherõhuni p_{02}. Niiske aur suunatakse olekus *10* teise vaheanumasse C_2, kus samuti toimub küllastunud auru (olekus *15*) eraldamine küllastunud vedelikust. Vedelik olekus *11* drosseldatakse kolmandat korda reguleerimisventiilis *RV-3* atmosfäärirõhuni p_{03} (protsess 11—12).

Lõpliku drosseldamisprotsessi joon *11*—*12* läbib kriitilise punkti, seepärast ei saada drosseldamisel niisket auru, nagu see esines

drosseldamisel ülevalpool kriitilist punkti, vaid auru ja tahke süsihappe segu. See segu suunatakse pärast kolmandat drosseldamist kolmandasse vaheanumasse C_3, kus toimub tahke süsihappe ploki moodustumine (olekus *13*) ja küllastunud auru eraldumine olekus *14*.

Vaheanumat, kus moodustub kuiva jää plokk, nimetatakse jäägeneraatoriks.

Saadud kuiv jää võetakse jäägeneraatorist perioodiliselt välja ja kasutatakse jahutajana mitmesugustel juhtudel (näiteks jäätise müügil).



Joon. 24. Kuiva jää saamise ringprotsess $T - s$-diagrammil.

Viimasel drosseldamisel saadud kuiv aur imetakse olekus *14* jäägeneraatorist välja esimese astme silindrisse A_1. Peale selle imetakse silindrisse A_1 süsihappegaas olekus *0*. Sellist süsihappegaasi tuleb juurde nii palju, kui palju eraldus tahket süsihapet jäägeneraatoris. Enne esimese astme silindrit süsihappegaas olekus *14* ja olekus *0* segunevad ja siis imeb kompressor A_1 sisse süsihappegaasi olekus *1* ning komprimeerib vaherõhuni p_{02} (protsess *1* — *2*).

Süsihappegaas olekus *2* seguneb vaheanumast C_2 tuleva auruga ja imetakse teise astme silindrisse A_2.

Teises astmes komprimeeritakse süsihappegaas vaherõhuni p_{01} (protsess *3* — *4*).

Olekus *4* surutakse süsihappegaas silindrist A_2 välja ja ta seguneb auruga, mis on olekus *16*. Seejärel imetakse aur olekus *5* kolmanda astme silindrisse A_3. Kolmandas astmes komprimeeritakse süsihappegaas rõhuni p_k (protsess *5* — *6*) ja olekus *6* surutakse kondensaatorisse, kus see jälle veeldatakse ja järgnevalt drosseldatakse atmosfäärirõhuni, mispuhul saadaksegi kuiv jää.

II peatükk

KÜLMUTUSAGENDID JA KÜLMAKANDJAD

Külmutusagent on töötav keha, mille abil külmutusmasinas võetakse soojust jahutatavalt keskkonnalt ja antakse soojust veele või õhule. Auruga töötavas külmutusmasinas võtab külmutusagent jahutatavalt keskkonnalt soojust keemise teel.

§ 9. Külmutusagentidele esitatavad nõuded

Külmutusagendid peavad vastama paljudele ja väga mitmesugustele nõuetele. Neid nõudeid võib tinglikult liigitada järgmisse nelja rühma: termodünaamilised, füüsikalis-keemilised, füsioloogilised ja majanduslikud nõuded. Käsitleme üksikasjaliselt iga rühma.

1. Termodünaamilised nõuded. Üheks vajalikuks nõudeks on külmutusagendi madal keemistemperatuur atmosfäärirõhul. Madalamate rõhkude tekitamiseks kolbkülmutusmasinate kasutamise korral ei tohi külmutusagendi normaalne keemistemperatuur (rõhul 760 mm Hg) olla üle — 10°.

Kolbmasinate aurustajas on soovitav hoida külmutusagendi rõhk lähedane atmosfäärirõhule või sellest isegi kõrgem. Kui rõhk on aurustajas madalam atmosfäärirõhust (hõrendus), võib välisõhk tungida läbi ebatiheduste külmutusmasina süsteemi, mis halvendab külmutusmasina tööd. Õhk külmutusmasina süsteemis tõstab rõhku, vähendab külmatootlikkust ja põhjustab asjatut mehaanilise energia kulu õhu komprimeerimiseks. Seda nõuet on kerge täita, kasutades külmutusagente, milledel on atmosfäärirõhul madal keemistemperatuur.

Külmutusagendi rõhk kondensaatoris ei tohi olla liiga kõrge — mitte üle 12—15 ata. See alandab nõudeid tihendite suhtes ja vähendab külmutusagendi kaotsimineku ohtu läbi ebatiheduste.

Külmutusagendi mahuline külmatootlikkus $q_v = \frac{q_0}{v_1}$ peab keskmise ja suure tootlikkusega kolbkompressormasinate korral olema

võimalikult suur. See võimaldab vähendada tsirkuleeriva külmutusagendi mahtu $V = Gv_1 = \frac{Q_0}{q_v}$ ja järelikult ka kompressori mõõtmeid. Kuid väikese külmatootlikkusega kolbkompressorite ja turbokompressorite korral peab külmutusagentidel olema mahuline külmatootlikkus väike.

Ka kaaluline külmatootlikkus q_0 (kcal/kg) peab väikese külmatootlikkusega masinates olema väike, sest seejuures vajatav suur tsirkuleeriva vedeliku hulk kergendab automaatsete reguleerimisventiilide konstruktiivset teostamist.

Külmutusagendi erikaal ja viskoossus peavad olema võimalikult väikesed. See võimaldab vähendada takistusi külmutusagendi tsirkuleerimisel masinas, sest takistused on võrdelised erikaalu ja viskoossusega.

Suured soojusjuhtivus- ja soojusülekandetegurid on külmutusagentide positiivseteks omadusteks, sest see parandab aurustaja ja kondensaatori tööd, tõstes soojusülekande intensiivsust.

2. Füüsikalis-keemilised nõuded. Külmutusagendi omadusel lahustuda õlis on nii positiivsed kui ka negatiivsed küljed.

Õlis täielikult lahustuvate külmutusagentide korral on kompressori määrimise tingimused paremad, sest õli koos külmutusagendiga tungib igale poole (ka raskesti ligipääsetavatesse kohtadesse). Peale selle pole praktiliselt karta õlikihi moodustumist aurustaja ja kondensaatori sisepinnal, mis halvendaks soojuse ülekannet. Selliste külmutusagentide puuduseks aga on suur määrdeõli ärakandumine kompressori silindrist ja kõrgem keemistemperatuur.

Õlis nõrgalt lahustuvate külmutusagentide eelisteks on väiksem õli ärakandumine kompressori silindrist ja konstantne keemistemperatuur aurustajas. Niisuguste külmutusagentide puuduseks on õli kogunemine aurustaja ja kondensaatori sisepinnale, mistõttu vähenevad nende aparaatide soojusülekandetegurid.

Külmutusagendi positiivseks omaduseks on ühineda niiskusega, mis on ühel või teisel põhjusel masinasse sattunud. Sel juhul ei ole karta masinas jääkorkide moodustumist.

Külmutusagendid ei tohi reageerida metallidega, milledest on masin valmistatud. Külmutusagendid peavad olema püsivate omadustega — nad ei tohi laguneda kõrgetel temperatuuridel, mis esinevad kompressoris. Külmutusagendid ei tohi olla süttivad ega plahvatusohtlikud.

Külmutusagentide võime tungida läbi ebatiheduste peab olema võimalikult väike, ja juhul, kui läbitungimist esineb, peavad nad võimaldama kiiresti määrata läbivoolukoha.

3. Füsioloogilised nõuded. Külmutusagent ei tohi olla ohtlik inimese elule ja tervisele; järelikult ei tohi ta olla mürgine ja lämmatav ega omada ärritavat toimet.

4. Majanduslikud nõuded. Peale loetletud nõuete peab külmutusagent olema kättesaadav ja odav.

Kõikidel tänapäeval kasutatavatel külmutusagentidel on ühed või teised puudused. Ühe või teise külmutusagendi valik sõltub külmutusmasina mõõtmetest ja konstruktsioonist, tema ülesandest ning töötingimustest.

§ 10. Külmutusagentide omadused

Külmutusagentideks on esmajärjekorras ammoniaak NH_3 (esitatud 1870. a.), väävlishappe anhüdriid (väävlisgaas) SO_2 (1874. a.), metüülkloriid CH_3Cl (1878. a.). Käesoleval ajal kasutatakse üha laialdasemalt kloori ja fluori derivaate (ühendeid süsivesinikkudega — metaani ja etaaniga), mida nimetatakse freoonideks. Neist on rohkem levinud freoon-12 (CCl_2F_2). Tabelis 1 on esitatud levinumate külmutusagentide mõningad füüsikalised omadused.

Tabel 1

Külmutusagentide füüsikalisi omadusi

Nimetus	Keemiline valem	Molekulkaal	Keemistemperatuur t_0 rõhul 1 atm	Kriitiline temperatuur t_{kr}	Kriitiline rõhk $p_{kr\ ata}$	Külmumistemperatuur t_3
Ammoniaak	NH_3	17,03	—33,4	132,4	115,2	—77,7
Väävlisgaas	SO_2	64,06	—10,08	157,2	80,28	—75,2
Metüülkloriid	CH_3Cl	50,42	—23,74	143,1	68,09	—97,6
Süsihappegaas	CO_2	44,1	—78,9	31,0	75,0	—56,6
Freoon-12	CCl_2F_2	120,92	—29,8	111,5	40,8	—155,0

Ammoniaak (NH_3). Sellel külmutusagendil on head termodünaamilised omadused. Ammoniaagi keemistemperatuur atmosfäärirõhul on —33,4°. Rõhk aurustajas on normaalsetes töötingimustes kõrgem atmosfäärirõhust ja ainult juhul, kui keemistemperatuur on alla —33,4°, muutub rõhk atmosfäärirõhust madalamaks. Rõhk kondensaatoris ei ole isegi kõige soojema jahutusvee korral (30°) üle 15 ata, normaalsetes töötingimustes aga on rõhk 8 — 13 ata.

Et ammoniaagi mahuline külmatootlikkus on võrdlemisi suur (vt. tabel 2), siis on masinas tsirkuleeriva külmutusagendi maht suhteliselt väike, mis tagab külmutusmasina kompaktsuse.

Ammoniaak õlis peaaegu ei lahustu, kuid vees lahustub intensiivselt. Ühes mahuühikus vees lahustub temperatuuril 15° 700 mahuühikut ammoniaaki. Viimane omadus väldib jääkorkide tekkimise võimaluse süsteemis. Tehniline ammoniaak ei tohi sisaldada vett üle 0,2%.

Mustade metallidega (malm, teras) ammoniaak ei reageeri, kuid mõjudes vasele või selle sulamitele niiskes keskkonnas, põh-

justab ta vase ja selle sulamite tugevat oksüdeerimist. See omadus ei võimalda kasutada amooniaakmasinates vasest ja selle sulamitest detaile. Ammoniaagi imbumisel läbi ebatiheduste on seda kerge kindlaks teha lõhna järgi. Läbivoolukoha määramiseks kasutatakse lakmuspaberit, mis ammoniaagi olemasolu korral värvub punaseks.

Ammoniaagil on iseloomulik terav lõhn ja ta mõjub inimorganismile kahjustavalt. Kui õhus on mahuliselt üle ühe protsendi ammoniaaki, siis on võimalik mürgistus. Ammoniaak on süttiv — kui teda on õhus 13,1 kuni 26,8% (mahuliselt), võib lahtine tuli tekitada plahvatuse. Gaasiline ammoniaak on õhust kergem.

Ammoniaagiga töötava külmutusmasina hooldamisel tuleb rangelt täita ohutustehnika eeskirju. Ammoniaak on kättesaadav ja odav külmutusagent. Teda kasutatakse mitmesuguse ülesandega kolbkülmutusmasinates.

Väävlisgaas (SO_2). Väävlisgaasi keemistemperatuur atmosfäärirõhul on —10°. Keemistemperatuuri alandamisel alla —10° tekib aurustajas hõrendus, s. o. rõhk on madalam atmosfäärirõhust. Hõrenduse tagajärjel tungib külmutusmasina süsteemi õhk ja koos sellega ka niiskus, mis moodustab väävlisgaasiga väävelhappe.

Väävelhape rikub malm- ja terasdetaile, kuid üldse ei reageeri vasega.

Väävlisgaasiga töötava külmutusmasina kondensaatoris ei ole rõhk üle 4—6 atü. Et väävlisgaasi mahuline ja kaaluline külmatootlikkus on väiksem kui ammoniaagil, siis on selle külmutusagendiga töötava masina mõõtmed suuremad kui sama külmatootlikkusega ammoniaakkülmutusmasinal.

Väävlisgaas õlis ei lahustu, kuid väga kõrgetel rõhkudel moodustab ta õliga keemilisi ühendeid. Väävlisgaasil on endal teatavaid määrivaid omadusi, mistõttu väävlisgaasiga töötavas kompressoris on määrdeainekulu väike.

Väävlisgaas on külmutusagentidest kõige mürgisem. Väävlisgaasi läbivoolukoht leitakse nuuskpiirituse abil. Tänapäeval väävlisgaasi peaaegu ei kasutata ja teda võib leida ainult väikestes automatiseeritud külmutusseadmetes, kus SO_2 neutraalsus värviliste metallide suhtes kergendab automaatikaseadmete valmistamist.

Metüülkloriid (CH_3Cl). Termodünaamilistelt omadustelt asub metüülkloriid ammoniaagi ja väävlisgaasi vahel. Tema keemistemperatuur atmosfäärirõhul on —23,7°. Rõhk kondensaatoris on 6—7 atü. Metüülkloriidis lahustuvad õli ja ka kummi, mistõttu kloormetüülmasinas ei kasutata kummist tihendeid.

Metüülkloriid ei reageeri metallidega (malmiga, terasega, vasega ja selle sulamitega) ega ühine praktiliselt veega. Jääkorkide vältimiseks ei tohi veesisaldus süsteemis olla üle 0,01%. Metüülkloriidil on imal lõhn ja ta on kahjulik inimorganismile. Kahjuliku toime poolest seisab ta kolmandal kohal pärast väävlishapendit ja ammoniaaki. Kui õhk sisaldab mahuliselt 8,1 kuni 17,2% metüülkloriidi, võib tekkida plahvatus. Gaasiline metüülklo-

riid on õhust raskem. Tänapäeval kasutatakse metüülkloriidi vähe — ainult väikestes automatiseeritud külmutusseadmetes.

Freoonid. Freoonid on süsivesinikud, millede vesinik on osaliselt või täiesti asendunud kloori või fluooriga. Kasutatavamate freoonide saamisel on lähtesüsivesinikkudeks metaan CH_4 ja etaan C_2H_6. Freoonide omadused muutuvad sõltuvalt fluori-, kloori- ja vesinikuaatomite sisaldusest.

Igal freoonil on number, mis vastab tema keemilisele valemile. Tänapäeval on laialdasemat kasutamist leidnud ainult mõned freoonid: freoon-11 (CCl_3F), freoon-12 (CCl_2F_2), freoon-21 ($CHCl_2F$), freoon-22 ($CHClF_2$), freoon-113 ($C_2Cl_3F_3$), freoon-114 ($C_2Cl_2F_4$). Neist kasutatakse kõige enam freooni-12, millel peatumegi lähemalt.

Freoon-12 on füsioloogiliselt toimelt üks ohutumaid külmutusagente; ta on lõhnatu ja leiab kasutamist igasuguse võimsusega kompressioonkülmutusmasinates.

Freooni-12 keemistemperatuur atmosfäärirõhul on —29,8° ja seega on rõhk aurustajas masina normaalsete töötingimuste korral atmosfäärirõhust kõrgem. Rõhk kondensaatoris ei ole üle 10 ata.

Freooni-12 mahuline külmatootlikkus on madalamatel temperatuuridel väiksem kui ammoniaagil ja seetõttu on freoonikompressori mõõtmed ühesuguse tootlikkuse korral suuremad kui ammoniaagikompressoril.

Freoon on suure erikaaluga: kuiva küllastunud freooniauru erikaal on 5—6 korda suurem ammoniaagiauru erikaalust. See põhjustab suurt takistust freooni voolamisel. Takistuse vähendamiseks vähendatakse külmutusagendi liikumiskiirust masinas. Selleks suurendatakse freooni poolt läbitavaid ristlõikeid ja torude läbimõõte. Freooni-12 kasutamisel peab torude läbimõõt olema suurem kui ammoniaagi korral. Freooni liikumiskiirus torudes ja kompressori klappides peab olema 2—2,5 korda väiksem ammoniaagi liikumiskiirusest.

Freoon-12 lahustub intensiivselt õlis, mille viskoossus seejuures järsult langeb. Korraliku määrimise tagamiseks tuleb kasutada spetsiaalseid, viskoossemaid määrdeõlisid.

Peale selle, tingitult freooni-12 omadusest lahustuda õlis, tuleb kasutada skeeme, mis tagavad õli tagasipöördumise soojusvahetusaparaatidest kompressorisse. Selleks kasutatakse peamiselt siugtorudest aurustajaid, kus külmutusagent keeb torude sees; seejuures antakse vedelat freooni juurde ülalt ja aurud eemaldatakse alt. Freoonkülmutusseadmes peavad vedeliku- ja imemistorud olema ilma järskude käänakuteta, et vältida õli kogunemist.

Vesi freooniga ei ühine ja seepärast ei tohi veesisaldus süsteemis jääkorkide ja reguleerimisventiili kinnikülmumise vältimiseks olla üle 0,004% (kaaluliselt). Enne masina täitmist freooniga-12 tuleb süsteem hoolikalt kuivatada.

Freoon-12 on niiskuse puudumisel neutraalne kõigi masinaehi-

tuses kasutatavate metallide suhtes, kuid niiskes keskkonnas põhjustab korrosiooni.

Freoonil-12 on omadus läbi tungida kõige väiksematest ebatihedustest ka sellistes kohtades, kust õhk või ammoniaak samadel tingimustel läbi ei tungi. Seejuures on väga raske leida freooni läbivoolukohta, sest ta on lõhnatu. Nimetatud iseärasus seab suuri nõudeid freoonmasina tihendustele. Freooni väljavoolamise vältimisel on ka majanduslik tähtsus, sest freoon on praegu veel kallis külmutusagent — tema maksumus ületab tunduvalt ammoniaagi maksumuse. Freooni väljavoolukohta määratakse halogeenlambi abil, mille leek muutub freooni olemasolul roheliseks.

Freooni-12 peamiseks eeliseks on tema suhteline kahjutus inimorganismi suhtes, sest alles siis, kui õhus on mahuliselt üle 30% freooni, ilmnevad organismi mürgistumise tunnused hapniku puuduse tõttu. Temperatuuril üle 400° (kokkupuutumisel kuumade pindade või lahtise tulega) freoon laguneb, kusjuures tekivad kloor- ja fluorvesinik ja vähesel hulgal mürgist gaasi — fosgeeni.

Freooni aurud ei avalda mõju liha- ja piimasaaduste ning köögiviljade maitsele ega värvusele.

Freooni-12 füüsikalis-keemilised omadused (Keemiatööstuse Ministeeriumi Tehniliste Tingimuste põhjal).

Välimus — värvitu, läbipaistev.
Freooni-12 sisaldus — mitte alla 98,5%.
Freooni-11 sisaldus — mitte üle 1,5%.
Niiskusesisaldus — mitte üle 0,0025%.
Mittelenduvate osiste sisaldus — mitte üle 1%.
Happed puuduvad.

Freooni-12 kasutatakse kolbkompressorites alates kõige väiksematest majapidamises kasutatavatest külmutuskappidest ja lõpetades suure tootlikkusega masinatega. Eriti laialdaselt kasutatakse freooni seadmetes, kus õhu mürgistamine pole lubatud (õhu konditsioneerimine, kaubandusettevõtted ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtted, majapidamis-külmutuskapid jt.).

Väikesi freoonkülmutusmasinaid on kerge automatiseerida. Freooni-12 võib kasutada suure tootlikkusega agregaatide korral ka turbokompressorites.

Tabel 2

Külmutusagentide termodünaamilisi omadusi

Nimetus	Keemiline valem	Kondenseerumisrõhk temperatuuril $t_k = +30°$	Keemisrõhk temperatuuril $t_0 = -15°$	Kaaluline külmatootlikkus q_0 kcal/kg	Mahuline külmatootlikkus q_v kcal/m³
Ammoniaak	NH_3	11,9	2,4	263,6	518,0
Freoon-12	CCl_2F_2	7,6	1,86	28,32	305,6
Metüülkloriid	CH_3Cl	6,7	1,47	83,5	287,3
Väävlisgaas	SO_2	4,65	0,82	79,1	195,1

Tabelis 2 on antud mõned külmutusagentide termodünaamilised omadused, kui keemistemperatuur $t_0 = -15°$ ja kondenseerumistemperatuur $t_k = +30°$.

Viimane tulp tabelis 2 on antud ühesuguse tootlikkusega kompressorite mõõtmete võrdlemiseks, kui kasutatakse erinevaid külmutusagente. Nagu teada, sõltuvad silindri mõõtmed mahulisest külmatootlikkusest q_v; mida suurem on q_v, seda väiksemad on kompressori mõõtmed.

Kõik külmutusagendid võib jaotada viide rühma, sõltuvalt inimorganismile mõjuva kahjuliku toime tugevusest.

Tabelis 3 on esitatud külmutusagentide võrdlus kahjulikkuse seisukohalt ja on antud ohtlikud tingimused inimese viibimisel külmutusagenti sisaldavas atmosfääris. Selles tabelis on samuti toodud külmutusagentide erikaalu ja õhu erikaalu suhe, mille järgi võib otsustada külmutusagendi leviku üle õhus.

Tabel 3

Külmutusagentide kahjulikkuse võrdlus

Nimetus	Kahjulikkuse rühm	Ohtlikud tingimused		Külmutusagendi ja õhu erikaalude suhe temperatuuril 0° ja rõhul 1 ata
		aurude sisaldus (kaaluprotsentides) õhus	inimese viibimise aeg (minutites)	
Väävlisgaas	1	0,5—0,8	5	2,07
Ammoniaak	2	0,5—0,8	30	0,55
Metüülkloriid	3	2,0—2,5	120	1,63
Süsihappegaas	4	25—30	30	1,42
Freoon-12 (lahtise tule puudumisel)	5	20—30	60	3,43

Tabelis 4 on näidatud peamiste külmutusagentide mõned omadused, mis mõjutavad soojusläbikannet.

Tabel 4

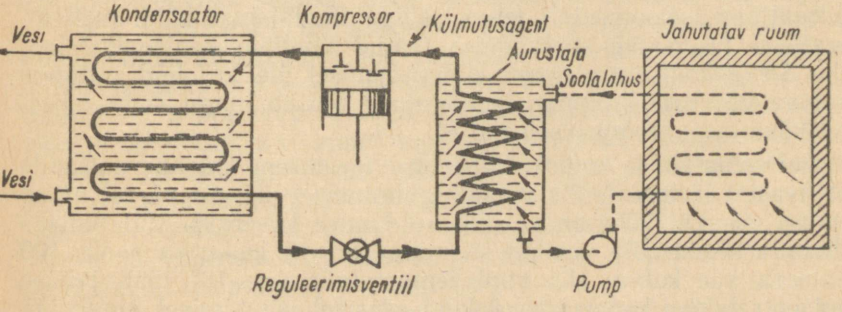
Külmutusagentide omadused, mis mõjutavad soojusläbikannet

Füüsikalised omadused	Külmutusagendid				
	NH_3	SO_2	CO_2	CH_3Cl	CCl_2F_2
Dünaamiline viskoossus: a) vedelikul $\eta' \times 10^6$ (kgsec/m²) temperatuuril 20°	22,60	31,60	7,15	24,90	26,8
10°	23,42	34,30	8,86	26,05	28,2
0°	24,36	39,25	10,27	27,4	29,9
—10°	25,10	44,45	11,34	29,0	32,1
—20°	25,75	49,50	11,40	30,8	34,8

Füüsikalised omadused	Külmutusagendid				
	NH_3	SO_2	CO_2	CH_3Cl	CCl_2F_2
b) aurul $\eta'' \times 10^6$ (kgsec/m²) temperatuuril 20°	1,32	1,54	2,07	1,08	1,26
10°	1,26	1,38	1,87	1,05	1,23
0°	1,20	1,25	1,77	1,02	1,21
—10°	1,15	1,15	1,70	0,99	1,17
—20°	1,11	1,08	1,06	0,95	1,14
Soojusjuhtivus: a) vedelikul λ' (kcal/mh°) temperatuuril 20°	0,42	0,17	0,08	14,0	0,077
10°	0,44	0,175	0,09	14,7	0,08
0°	0,46	0,18	0,10	15,5	0,083
—10°	0,48	0,186	0,11	16,2	0,086
—20°	0,51	0,192	0,12	17,0	0,090
b) aurul $\lambda'' \times 10^3$ (kcal/mh°) temperatuuril 20°	21,0	8,0	13,9	9,0	8,0
10°	20,0	7,5	13,2	8,5	7,5
0°	19,0	7,0	12,5	8,0	7,2
—10°	18,2	6,7	11,7	7,5	7,0
—20°	17,4	6,4	11,0	7,0	6,6
Vedeliku soojusmahtuvus C (kcal/kg°) temperatuuril 20°	1,14	0,35	1,0	0,38	0,24

§ 11. Külmakandjad

Külmakandjad on kehad, mida kasutatakse külmutustehnikas külma ülekandmiseks teatud kaugusele. Nagu on näidatud joonisel 25, toimub külmakandja jahutamine külmutusmasina aurustajas. Pumba abil saadetakse seejärel külmakandja külmutus-



Joon. 25. Külmutusseadme skeem, kus kasutatakse külmakandjana soolalahust.

kambrisse. Siin ta soojeneb, võttes soojust ümbritsevast keskkonnast, ja pöördub uuesti aurustajasse. Aurustajas annab külmakandja soojuse külmutusagendile, mille järel ta suunatakse jälle külmutuskambrisse, nii et toimub selle ruumi pidev jahutamine. Järelikult tagab külmutuskambri jahutamist külmutusmasin, kusjuures soojus siirdub külmutuskambrist aurustajat läbivale külmutusagendile külmakandja vahendusel.

Külmakandjad peavad vastama järgmistele nõuetele:

1) madal külmumistemperatuur;
2) suur soojusjuhtivus;
3) keemiline neutraalsus metallide suhtes, milledest on valmistatud aparaadid ja torustik;
4) väike maksumus.

Kõige odavamateks ja kättesaadavamateks külmakandjateks on õhk ja vesi. Õhku kasutatakse külmakandjana harva, sest tal on väike soojusmahtuvus. Siiski on õhkjahutamise puhul õhul külmakandjana rida eeliseid.

Vee soojusmahtuvus on suur, mis on külmakandja positiivseks omaduseks, kuid seejuures on vee oluliseks puuduseks kõrge külmumistemperatuur, mis piirab tema kasutamist külmakandjana. Seepärast kasutatakse vett ainult temperatuuril üle 0°.

Temperatuuril alla 0° kasutatakse külmakandjatena soolade vesilahuseid (soolalahuseid).

Soolalahuse saamiseks kasutatakse naatriumkloriidi (keedusoola) NaCl, kaltsiumkloriidi $CaCl_2$, magneesiumkloriidi $MgCl_2$.

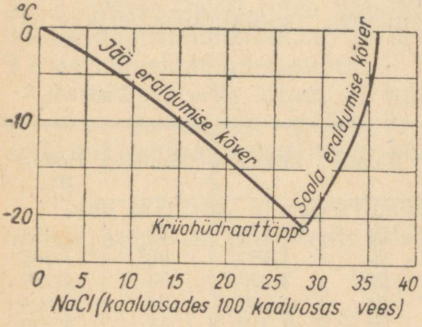
Soolalahuste omadused sõltuvad soola kontsentratsioonist lahuses. Jooniselt 26 ja 27 nähtub soolalahuse külmumistemperatuuri sõltuvus soola kontsentratsioonist vees. Abstsissteljele on kantud soola kontsentratsioon, ordinaatteljele — soolalahuse külmumistemperatuur.

Kõverate vasakpoolsed harud näitavad, et soola kontsentratsiooni suurenemisel soolalahuse külmumistemperatuur langeb. Temperatuur langeb kuni krüohüdraattäpini, mis vastab temperatuurile, mille juures kogu soolalahus külmub homogeenseks massiks, koosnedes jää ja soola kristallidest — krüohüdraadist. Krüohüdraattäpp iseloomustab lahuse kõige madalamat külmumistemperatuuri ja vastab soolalahuse teatud kindlale kontsentratsioonile. Soola kontsentratsiooni suurendamisel üle krüohüdraattäpile vastava väärtuse külmumistemperatuur tõuseb, nagu seda näitavad kõverate parempoolsed harud.

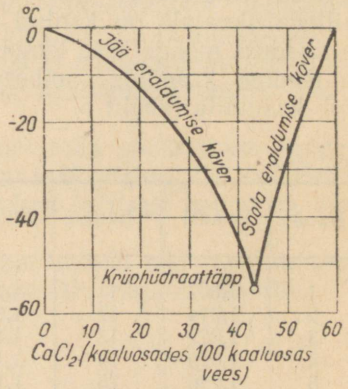
Kui soolalahuse kontsentratsioon on väiksem krüohüdraattäpile vastavast väärtusest, siis eraldub külmumisel jää. Seepärast nimetatakse vasakut kõveraharu jää eraldumise kõveraks. Kui näiteks jahutada keedusoola vesilahust, milles on 15 kaaluosa soola 100 kaaluosa vee kohta, siis kuni temperatuurini —10° jääb lahuse kontsentratsioon konstantseks, kuid edasisel jahutamisel algab jää eraldumine. Järelejääva vedela lahuse kontsentratsioon suureneb,

külmumistemperatuur aga vastavalt langeb. Seda muutumist iseloomustavad jää eraldumise kõvera punktid. Jää eraldumise protsess ja soolalahuse kontsentratsiooni suurenemine kestab seni, kuni soolalahuse temperatuur saavutab krüohüdraattäpi temperatuuri, sest siis külmub kogu lahus homogeense seguna.

Kui jahutatava soolalahuse kontsentratsioon on suurem krüohüdraattäpile vastavast kontsentratsioonist, kulgeb protsess analoogiliselt. Näiteks soolalahuse jahutamisel, mis sisaldab 35 kaaluosa soola 100 kaaluosa vee kohta, jääb lahuse kontsentratsioon muutumatuks kuni temperatuurini —7°, s. o. kuni kõvera parempoolse haruni. Edasisel jahutamisel algab külmumine, mida iseloomustab soolakristallide eraldumine. Järelejääva vedela lahuse kontsentratsioon väheneb kuni krüohüdraattäpini. Seda protsessi iseloomustavad punktid soola eraldumise kõveral.



Joon. 26. NaCl lahuse külmumistemperatuuride diagramm.



Joon. 27. $CaCl_2$ lahuse külmumistemperatuuride diagramm.

Kui jahutada vedelikku, mille kontsentratsioon võrdub krüohüdraattäpi omaga, siis ei eraldu jääd ega soola ja krüohüdraattäpi saavutamisel soolalahus külmub korraga jää ja soola kristallidest koosnevaks seguks, mida nimetatakse eutektiliseks seguks.

NaCl vesilahusel on krüohüdraattäpi temperatuur —21,2° ja soolasisaldus 29 kaaluosa 100 kaaluosa vee kohta, $CaCl_2$ vesilahusel — temperatuur —55° ja soolasisaldus 42,7 osa, $MgCl_2$ vesilahusel — temperatuur —33,6° ja soolasisaldus 27,6 osa. Soolalahuste omadused on samuti toodud õpiku lisas olevates tabelites.

Nagu ülalöeldust selgub, sõltub soolalahuse külmumistemperatuur soola kontsentratsioonist ja liigist. Seejuures tuleb silmas pidada, et kontsentratsiooni suurendamisel suureneb ka soolalahuse erikaal ja väheneb soojusmahtuvus, see aga põhjustab suuremat energiakulu soolalahuse pumpamiseks.

Soolalahuse kontsentratsioon peab olema küllaldane, et ta ei külmuks aurustajas, kuid seejuures ei tohi kontsentratsioon olla

ka liiga kõrge, selleks et vältida liigset energiakulu lahuse pumpamiseks. Soolalahuse kontsentratsiooni valik sõltub tema töötemperatuurist. Kontsentratsioon valitakse selline, et külmumistemperatuur oleks 6—8° võrra madalam külmutusagendi keemistemperatuurist. See tingimus määrab mitmesuguste soolalahuste kasutamise piirid: nimelt saab NaCl lahust kasutada ainult juhul, kui külmutusagendi keemistemperatuur on üle —16°, madalamate temperatuuride korral (kuni —50°) aga kasutatakse $CaCl_2$ lahust.

Soolalahuse kontsentratsiooni määratakse spetsiaalse mõõteriistaga — areomeetriga, mis lastakse mõõtmiseks soolalahusesse. Areomeetri sukeldumise sügavus sõltub soolalahuse tihedusest või erikaalust.

Seega võib areomeetri sukeldumise järgi määrata soolalahuse kontsentratsiooni. Areomeetreid on kahte tüüpi: 1) areomeetrid, millede skaalale on kantud soolalahuse erikaal, 2) areomeetrid, millede skaalale on kantud Baumè kraadid. Soolalahuse erikaalu ja tihedust mõõdetakse temperatuuril 15°.

Baumè kraadide ümberarvutamiseks soolalahuse erikaaluks võib kasutada tabelit 5.

Tabel 5

° Baumè	Erikaal	° Baumè	Erikaal	° Baumè	Erikaal	° Baumè	Erikaal
1	1,007	11	1,083	21	1,171	31	1,274
2	1,014	12	1,091	22	1,180	32	1,285
3	1,022	13	1,100	23	1,190	33	1,297
4	1,029	14	1,108	24	1,200	34	1,308
5	1,036	15	1,116	25	1,210	35	1,320
6	1,045	16	1,125	26	1,220	36	1,332
7	1,052	17	1,134	27	1,231	37	1,345
8	1,060	18	1,142	28	1,241	38	1,357
9	1,067	19	1,152	29	1,252	39	1,370
10	1,075	20	1,162	30	1,263	40	1,383

Soolalahuse kontsentratsiooni ja samuti erikaalu määramisel töötemperatuuridel võib kasutada lisas toodud tabeleid.

Külmutusmasina ekspluatatsioonil soolalahuse kontsentratsioon väheneb, sest lahus neelab õhust niiskust. Seepärast tuleb soolalahusesse perioodiliselt lisada soola.

Soolalahuste puuduseks külmakandjana tuleb lugeda nende toimet metallidele. Soolalahused põhjustavad tugevat korrosiooni: söövad läbi nendega kokkupuutuvad metalldetailid, näiteks aurustaja, külmutuskambri patarei, samuti kõik soolalahusetorud. Korrosioon muudab soolalahusesüsteemi töökõlbmatuks ja nõuab üksikute torude, aparaatide või kogu süsteemi asendamist, mis on seotud lisakuludega. Seepärast tuleb püüda vähendada soolalahuse korrodeerivat toimet.

Metallide korrosioon aeglustub hapnikusisalduse vähenemisel soolalahuses. Seega tuleb korrosiooni vähendamiseks takistada hapniku pääsemist soolalahusesse. Hapnik satub soolalahusesse selle küllastumisel õhuga soolalahuse lahtise pinna korral. Järelikult tuleb selleks, et vähendada hapniku sattumist lahusesse, vähendada õhuga kokkupuutuvat soolalahuse pinda. Selleks kasutatakse sageli kinnist soolalahusesüsteemi.

Korrosiooni võib vähendada, kui lisada lahusele vastavaid passivisaatoreid, s. o. aineid, mis aeglustavad metallide korrosiooni. Passivisaatoritena kasutatakse naatriumbikromaati ($Na_2Cr_2O_7$) koos naatriumhüdroksüüdiga (seebikivi) (NaOH).

$CaCl_2$ lahuse korrodeeriva toime vähendamiseks tuleb iga kuupmeetri soolalahuse kohta lahustada 1,6 kg naatriumbikromaati; peale selle tuleb iga 10 kg naatriumbikromaadi kohta lisada 2,7 kg naatriumhüdroksüüdi, kui soolalahuse reaktsioon on negatiivne ($pH=7$, s. t. vabade vesinikuioonide sisaldus soolalahuses on 7). NaCl lahuse korral tuleb igas kuupmeetris soolalahuses lahustada 3,2 kg naatriumbikromaati ja iga 10 kg naatriumbikromaadi kohta 2,7 kg naatriumhüdroksüüdi.

Passivisaatorite lisamisel tuleb saavutada soolalahuse kergelt aluseline reaktsioon ($pH=8,5$). Seda määratakse fenoolftaleiini abil, mis lahusega segamisel peab andma lahusele heleroosa värvingu.

Tuleb märkida, et naatriumbikromaat mõjub sööbivalt inimese nahale, seepärast tuleb tema lahustamisel olla väga ettevaatlik.

III peatükk

KÜLMUTUSMASINATE KOMPRESSORID

Kompressor on üks peamisi külmutusmasina osi. Tema ülesandeks on külmutusagendi imemine aurustajast, komprimeerimine ja surumine kondensaatorisse.

Auruga töötavate külmutusmasinate juures kasutatakse peamiselt kolbkompressoreid, kuid uute külmutusagentide — freoonide — ilmumisega hakkavad levima ka turbokompressorid. Kolbkompressorid võivad olla edasi-tagasi liikuva või pöörleva kolviga. Viimaseid nimetatakse rotatsioonkompressoriteks.

§ 12. Kolbkompressorite klassifikatsioon

Külmatootlikkuse järgi liigitatakse kompressoreid leppeliselt järgmiselt:

a) kõige väiksemad kompressorid, külmatootlikkusega kuni 5000 kcal/h (kappide, lettide, vitriinide ja kokkupandavate kambrite jahutamiseks);

b) väikesed kompressorid, külmatootlikkusega 5000—50 000 kcal/h (peamiselt hoiuruumide jahutamiseks kaubandusettevõtetes ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes);

c) keskmised kompressorid, külmatootlikkusega 50 000 kuni 300 000 kcal/h (kasutatakse tööstusettevõtetes jahutamiseks mitmesugustel eesmärkidel);

d) suured kompressorid, külmatootlikkusega üle 300 000 kcal/h (kasutatakse tööstuslikes külmutusseadmetes).

Komprimeerimisastmete järgi eristatakse ühe-, kahe- ja kolmeastmelisi kompressoreid.

Sõltuvalt külmutusagendi liikumise suunast silindris liigitatakse kompressorid otsevoolukompressoriteks, kus külmutusagent liigub silindri suhtes ühes suunas, alates sisseimemismomendist kuni väljasurumismomendini, ja ristvoolukompressoriteks, kus külmutusagent muudab oma liikumise suunda vastavalt kolvi liikumisele.

Töötamisviisi järgi jagunevad kompressorid ühepoolse ja kahepoolse töötamisega kompressoriteks. Ühepoolse töötamisega komp-

ressorites komprimeeritakse külmutusagenti ainult kolvi ühe poolega. Kahepoolse töötamisega kompressorites toimub komprimeerimine vaheldumisi kolvi mõlema poolega.

Silindrite arvu järgi liigitatakse kompressorid ühesilindrilisteks ja mitmesilindrilisteks kompressoriteks; silindrite asendi järgi — horisontaalseteks, vertikaalseteks ja nurkasetuses silindritega (V-kujulisteks) kompressoriteks; võlli pöörlemiskiiruse järgi — aeglase- ja kiirekäigulisteks (üle 500 p/min).

Käesoleval ajal on enam levinud järgmise konstruktsiooniga kolbkompressorid:

a) kahepoolse töötamisega horisontaalsed kompressorid (tüüp ГД);

b) ühepoolse töötamisega vertikaalsed mitmesilindrilised otsevoolukompressorid (tüüп ВП);

c) ühepoolse töötamisega vertikaalsed ristvoolukompressorid (tüüp B);

d) nurkasetuses silindritega otsevoolukompressorid (V-kujulised, tüüp УП).

Kahepoolse töötamisega horisontaalsed kompressorid töötavad peamiselt ammoniaagiga. Külmatootlikkuselt kuuluvad nad suurte kompressorite hulka.

Ekspluatatsioonis on veel keskmised kompressorid külmatootlikkusega 45 000 kcal/h ja üle selle.

Horisontaalsete kompressorite puuduseks on aeglane käik, kogukus, masina suur kaal ja raske vundament, suur hõivatav pind, silindri ja kolvi ühepoolne kulumine kolvi raskuse mõjul.

Tänapäeval tõrjutakse keskmise tootlikkusega horisontaalsed kompressorid välja V-kujuliste vertikaalsete otsevoolu- ja ristvoolukompressorite poolt.

Vertikaalsed otsevoolukompressorid on väikese ja keskmise külmatootlikkusega, alates 10 000 kuni 300 000 kcal/h. Nad töötavad ammoniaagi freooniga-12.

Selliste kompressorite eeliseks on masina kompaktsus, väike hõivatav pind, väike kaal, kerge vundament ja väikesed kapitaalkulutused. Nad valmistatakse täielikult kinnise karteriga; see aga nõuab masina hoolikat teenindamist.

Vertikaalsed ristvoolukompressorid on väikese külmatootlikkusega (kuni 10 000 kcal/h) ja neid kasutatakse automaatsetes freoonkülmutusmasinates, mida laialdaselt kasutatakse kaubandus- ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes.

Nurkasetuses silindritega kompressorid on külmutusmasinates kasutatavatest kompressoritest kõige täiuslikumad; neid lastakse välja külmatootlikkusega 10 000 kuni 200 000 kcal/h. Silindrite nurkasetus tagab suurima kompaktsuse ja tasakaalustatuse ning võimaldab suurendada kompressori võlli pöörlemiskiirust.

Uute masinate projekteerimisel ja valmistamisel peetakse silmas konstruktsioonide unifitseerimist, et mitmesugustes kompressorites saaks kasutada standardseid, ühesuguseid detaile. See või-

maldab vähendada omahinda ja tagab detailide vastastikuse vahetamise võimaluse, millel on ekspluatatsioonis suur tähtsus.

Standardseteks detailideks on karter ja väntmehhanism. Muutuvad silindrid, kolvid ja klapid, sõltuvalt kompressori külmatootlikkusest.

Kodumaiste tehaste poolt väljalastavate praegusaegsete külmutuskompressorite tehnilised andmed on toodud tabelites 6, 7a ja 7b.

Tabel 6

Freoonikompressorite tehnilised andmed

Mark	Tüüp	Silindrite arv	Kolvikäik	Silindri läbimõõt	Pöörlemiskiirus	Kolvikäigu maht	Külmatootlikkus	
							kui $t_0 = -10°$	kui $t_0 = -15°$
			mm	mm	p/min	m^3/h	kcal/h	
2ФВ-4	В	2	30	40	600— 800	2,71 3,62	1100— 1500	500— 700
2ФВ-4/4,5	В	2	45	40	450 650 1000	3,05 4,41 6,78	—	700 1100 1500
2ФВ-5	В	2	40	50	600 800	3,65 7,55	2200 3000	1100 1500
2ФВ-6,5	В	2	50	65	600 800 1000	11,9 15,9 19,8	5000 6500 8000	2500 3200 4000
2ФУ-10	УП	2	80	100	500 720 960	38,0 54,3 72,5	15000 20000 30000	7500 10000 15000
4ФУ-10	УП	4	80	100	720 960	108,6 145,0	40000 60000	20000 30000
2ФУ-19	УП	2	140	190	480 720	228 342	100000 150000	50000 75000
4ФУ-19	УП	4	140	190	480 720	456 685	100000 300000	100000 150000
2ФВ-39	ВП	2	250	350	360 480	1038 1385	450000 600000	225000 300000

Tabel 7a

Ammoniaagikompressorite tehnilised andmed

Mark	Tüüp	Silindrite arv	Kolvikäik	Silindri läbimõõt	Pöörlemiskiirus	Kolvikäigu maht	Külmatootlikkus kui $t_0 = -10°$	Külmatootlikkus kui $t_0 = -15°$
			mm	mm	p/min	m³/h	kcal/h	
ЯК-10 МЗИ-46 И-10	ВП	2	85	75	500	22,5	10 000	8 000
2АУ	УП	2	80	80	500 720 960	24,3 35,0 46,5	10 000 16 000 20 000	8 000 12 000 15 000
4АУ-8	УП	4	80	80	720 960	70,0 93,0	30 000 40 000	24 000 32 000
1АВ	ВП	2	110	110	500 720	62,8 90,4	30 000 45 000	24 000 36 000
2АВ-15	ВП	2	140	150	480 720	142,5 214,0	65 000 100 000	50 000 75 000
4АУ-15	УП	4	140	150	480 720	285,0 428,0	130 000 200 000	100 000 150 000
2АВ-27	ВП	2	250	270	360 480	618,0 824,0	300 000 400 000	225 000 300 000
3АГ	ГД	1	550	450	167	1708,8	800 000	600 000
4АГ	ГД	2	550	450	167	3417,6	1600 000	1200 000

Tabel 7b

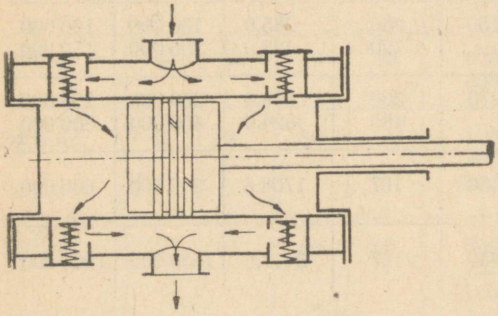
Aastatel 1935—1941 väljalastud ammoniaagikompressorite tehnilised andmed

Mark	Tüüp	Silindrite arv	Kolvikäik	Silindri läbimõõt	Pöörlemiskiirus	Kolvikäigu maht	Külmatootlikkus kui $t_0 = -10°$
			mm	mm	p/min	m³/h	kcal/h
ВП-60	ВП	2	60	60	500	10,2	3 000
ВП-80	ВП	2	80	80	500	24,3	10 000
2АВ (ВП-180/2)	ВП	2	180	180	375	206,0	100 000

Mark	Tüüp	Silindrite arv	Kolvikäik	Silindri läbimõõt	Pöörlemiskiirus	Kolvikäigu maht	Külmatootlikkus kui $t_0 = -10°$
			mm	mm	p/min	m³/h	kcal/h
4AB (ВП-180/4)	ВП	4	180	180	375	412,0	200 000
НГ-180	ГД	1	180	130	130 260	—	15 000 30 000
ГМ-8	ГД	1	220	140	160 240	63,0 94,5	30 000 45 000
ГМ-10	ГД	1	300	190	140 200	138,0 198,0	70 000 100 000

§ 13. Horisontaalsed ammoniaagikompressorid

Horisontaalsed ammoniaagikompressorid kujutavad endast kahepoolse töötamisega ristvoolukompressoreid. Sellise kompressori tööpõhimõte selgub jooniselt 28.



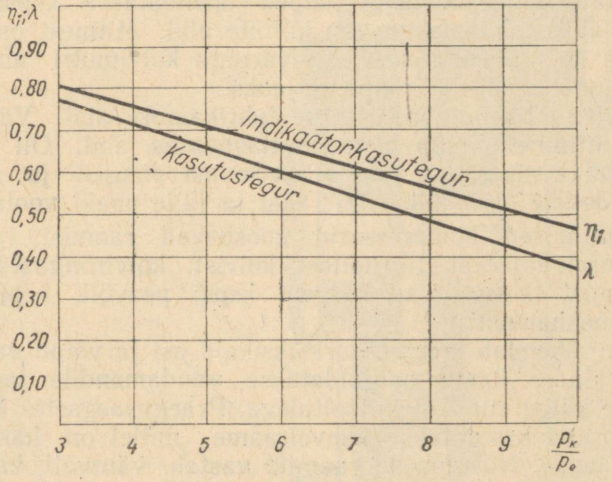
Joon. 28. Kahepoolse töötamisega horisontaalse kompressori silindri skeem.

Kahepoolse töötamisega kompressorites toimub komprimeerimine vaheldumisi kolvi mõlemal poolel, kusjuures külmutusagent liigub sisseimemisel kolvi järel ühes suunas, komprimeerimisel ja väljasurumisel aga teises suunas, mis iseloomustabki ristvoolukompressorit.

Konstruktiivsete tunnuste järgi jaotatakse horisontaalsed kompressorid kahte rühma: 1) kompressorid sfääriliste silindrikaantega, 2) kompressorid tasapinnaliste silindrikaantega. Sfääriliste kaantega kompressorite konstruktsioon on vananenud. Käesoleval ajal neid kompressoreid ei toodeta. Siiski on sfääriliste silindrikaantega kompressoreid veel kasutusel, muuhulgas ka ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes. Selliseks kompressoriks on näiteks ГМ-8, külmatootlikkusega 30 000—45 000 kcal/h.

Kompressoril ГМ-8 on kahveltüüpi raam (kahvelraam). Silindrid on sfääriliste kaantega. Esikaas on valatud ühes tükis silindriga, mis asetub vahetult raamil. Silindri kaantes paiknevad imiklapid (sisselaskeklapid) ja suruklapid (väljalaskeklapid). Kum-

maski kaanes on üks imiklapp ja üks suruklapp. Silindri külgedel asuvad imi- ja surustutserid sulgemisventiilidega. Need stutserid ühendatakse vastavate klappidega silindri keres olevate kanalite kaudu. Silindri tagakaanes on kaitseklapp. Esikaane küljes on metalltihend kolvivarda tihendamiseks. Kompressori väntvõll toetub kahele sümmeetrilisele laagrile. Keps ühendatakse lahtivõetava pea abil väntvõlliga ja lahtivõetamatu pea abil ristpeaga, mis liigub mööda silindrilise pinnaga paralleele (juhtpindu). Ristpea on kolvivardaga ühendatud kiilliitega. Kolb on lahtivõetav, peale-



Joon. 29. Horisontaalse ammoniaagikompressori ГМ-10 kasutusteguri ja indikaatorkasuteguri sõltuvus.

pandaval kolvivööl on ringõnarad (rõngapesad) kolvirõngaste jaoks. Kolb ühendatakse varrega kolvisse kinnitatud kolvimutri abil.

Silindrit ja tihendit määritakse värtnaõliga nr. 2 spetsiaalsest lubrikaatorist. Väntmehhanismi määritakse hariliku masinaõliga, mida saadakse ristpea kohal asuvast üldisest õlireservuaarist. Raami alumisse ossa valgunud õli pumbatakse tagasi jaotusreservuaari rotatsioonpumbaga. Lubrikaatorit ja rotatsioonpumpa käitatakse väntvõllilt.

Analoogilise konstruktsiooniga on ka kompressor ГМ-10, külmatootlikkusega 70 000—100 000 kcal/h.

Joonisel 29 esitatud graafik väljendab horisontaalse kompressori ГМ-10 kasutusteguri λ ja indikaatorkasuteguri η_i tegelikke väärtusi, sõltuvalt sisseimemisrõhu ja väljasurumisrõhu suhtest. Neid andmeid võib kasutada samatüübiliste masinate arvutamisel.

Kahepoolse töötamisega horisontaalsete kompressorite praegusaegseteks kontsruktsioonideks on tasapinnaliste silindrikaantega

TRÜ Raamatukogu

kompressorid, külmatootlikkusega 600 000 kcal/h ja rohkem. Neid kompressoreid toodab tehas «Kompressor».

Kompressori 3АГ (joon. 30) on kahvelraam koos silindriliste paralleelidega ristpea jaoks. Raami esiosa külge on kinnitatud silinder, mis peale selle toetub iseseisvale plaadile. Imi- ja suruklapid paiknevad silindris radiaalselt, kaitseklapp asetseb silindri ülaosas. Silindri külgedele on horisontaalselt paigutatud imi- ja surustutserid. Niisugune stutserite paigutus on otstarbekas torustiku alumise asetuse korral. Silindri esikaanes on tihend. Kompressoril on väntvõll, väntvõlliga ühendatav pea on lahtivõetav. Äravõetavate malmliudadega ristpea ühendatakse kepsuga ristpeasõrme abil, kolvivarrega aga kiilliite abil. Mitmest osast koosnev õõnes kolb ühendatakse kolvivarrega kolvimutri abil, kolvivõõl on ringõnarad kolvirõngaste jaoks.

Silindrit ja tihendit määritakse lubrikaatori abil. Väntmehhanismi määrimine toimub hammasrataspumba abil. Õli imetakse pumba abil kompressori juures asetsevast paagist ja surutakse hõõrdepindadele (tööpindadele), kust ta jälle paaki voolab.

Horisontaalsed kompressorid koosnevad raamist, silindrist, imi- ja suruklappidest, tihenditest, kolvist, kolvirõngastest, väntmehhanismist (kolvivarras, ristpea, keps, peavõll, hooratas) ja määrimismehhanismist.

Raam ühendab kompressori üksikuid osi ja võtab vastu neis tekkivaid jõude. Raam paigaldatakse vundamendile ja kinnitatakse selle külge vundamendipoltidega. Praegusaegsetes külmutuskompressorites kasutatakse kahvelraame, millel on kaks laagrit väntvõlli jaoks. Niisugusele raamile vastab väntvõll kahe sümmeetrilise laagriga.

Raamid on valatud hallmalmist Сч-36. Mehaaniliselt on töödeldud raami tald, ristpea paralleelid ja laagripesad.

Silinder on kompressori põhiosa, kus toimub tööprotsess, s. o. külmutusagendi sisseimemine, komprimeerimine ja väljasurumine. Kahepoolse töötamisega horisontaalse kompressori silinder koosneb kolmest osast: silindrilisest osast — silindrikerest — ja kahest kaanest. Kolvivarrepoolset kaant nimetatakse esikaaneks, vastaspoolset kaant tagakaaneks. Kolvivarda tihendamiseks on silindri esikaanes tihend. Mõnikord valatakse esikaas ühes tükis silindrikerega, näiteks kompressoril ГМ-8.

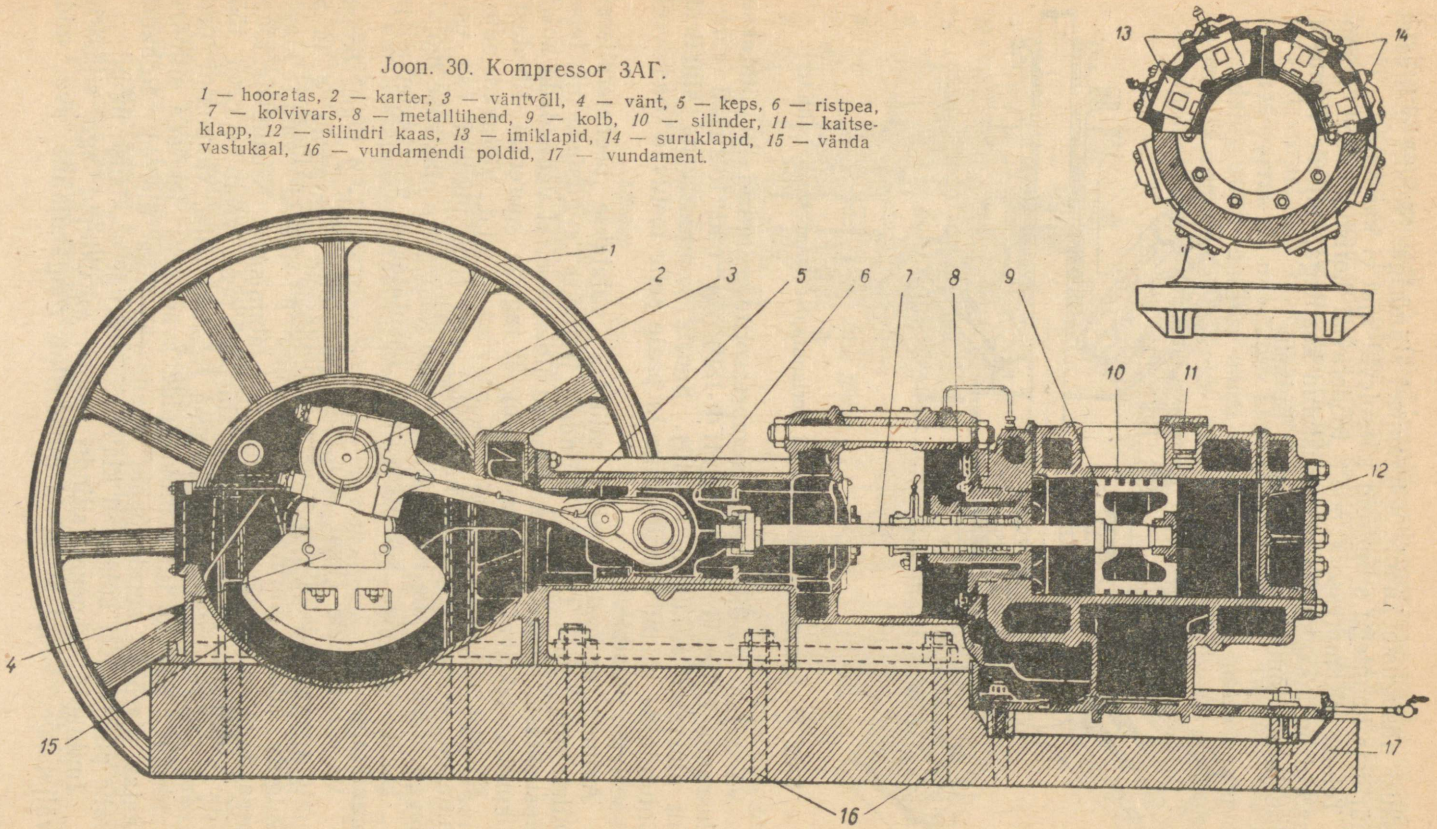
Kompressori silindrites paiknevad imi- ja suruklapid. Sfääriliste kaantega silindrite korral paiknevad klapid kaantes. Tasapinnaliste kaantega silindrite korral asetsevad klapid silindrikeres.

Sfääriliste kaantega silindrite eeliseks on see, et neisse on kerge ära mahutada klappe ning samuti on surnud ruum minimaalse mahuga.

Sfääriliste kaantega silindri puuduseks on kaante valamise keerukus, sest valamisel jäävad kaantesse jääkpinged, mis põhjustavad mõnikord pragude tekkimist kaantes. Peale selle on

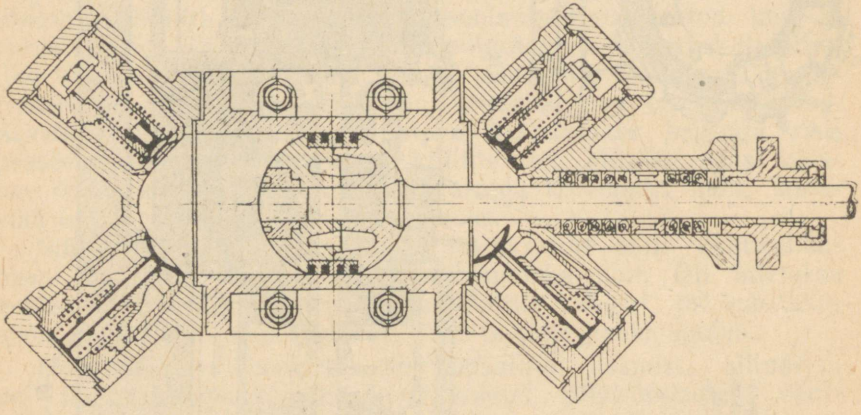
Joon. 30. Kompressor 3АГ.

1 — hooratas, *2* — karter, *3* — väntvõll, *4* — vänt, *5* — keps, *6* — ristpea, *7* — kolvivars, *8* — metalltihend, *9* — kolb, *10* — silinder, *11* — kaitseklapp, *12* — silindri kaas, *13* — imiklapid, *14* — suruklapid, *15* — vända vastukaal, *16* — vundamendi poldid, *17* — vundament.



raskusi niisuguste kaante sobitamisel silindriga. Nendel põhjustel sfääriliste kaantega silindreid käesoleval ajal ei kasutata.

Tehase «Kompressor» poolt toodetavad horisontaalsed kompressorid on tasapinnaliste lihtsustatud kaantega, millede valmistamine ja sobitamine on tunduvalt lihtsam.



Joon. 31. Kahepoolse töötamisega horisontaalse kompressori silinder.

Väiksema tootlikkusega kompressorite silindrid kinnitatakse alusraami külge konsoolselt (НГФ-180) või nad toetuvad vahetult alusraamile (ГМ-8, ГМ-10). Suurte kompressorite silindrid kinnitatakse raami esiosa külge ja peale selle toetuvad nad veel iseseisvale plaadile.

Ammoniaagikompressorite silindrid valatakse peeneteralisest hallmalmist mark Сч-40. Silindrid treitakse augusüsteemi teise täpsusklassi järgi. Seejärel silindrid lihvitakse, et vähendada kolvi liikumisel tekkivat hõõrdumist ning et tagada suuremat tihedust.

Kompressori imi- ja suruklapid töötavad automaatselt — nad avanevad kummalgi pool klapi liikuvat osa esinevate rõhkude vahe mõjul ja sulguvad klapivedru elastsuse mõjul.

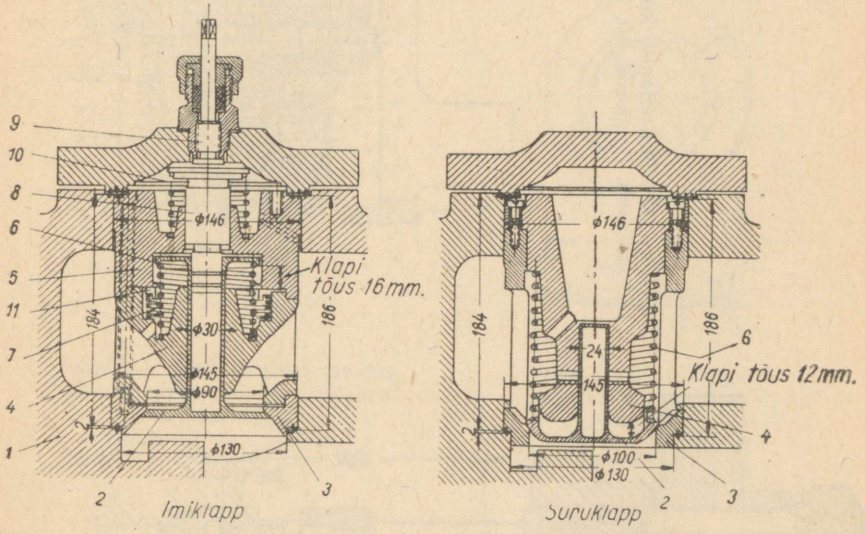
Horisontaalsetes kompressorites kasutatakse varrasklappe ja plaatklappe.

Varrasklappide (joon. 32) põhiosaks on sulgur *2* koos õõnsa juhtvardaga, mis liigub mööda spetsiaalseid juhtpindu *4* ja *5*. Sulguri taldrik surutakse töövedruga *6* tihedalt vastu klapipesa *3*, mille tagajärjel sulgub klapi läbimisava. Niisuguste klappide avamiseks tuleb ületada taldrikut pesa vastu suruva töövedru *6* surve. Selleks tekitatakse rõhkude vahe kummalgi pool taldrikut. Näiteks tuleb imiklappide avamiseks tekitada silindris teatav alarõhk, suruklappide avamiseks aga ülerõhk. Rõhkude vahe puudumisel sulguvad klapid töövedrude elastsuse mõjul.

Imiklapid avanevad silindri poole, suruklapid aga silindrist väljapoole. Klapi avamisel moodustub rõngakujuline ava, mida

läbib külmutusagent. Varrasklappide sujuvat avanemist tagatakse klapi töötamisel tekitatava gaasipadjaga või ka spetsiaalsete amortisatsioonivedrudega *7*, mis toetuvad vastavatele tugedele *11*.

Horisontaalse kompressori käivitamise hõlbustamiseks on imiklapid varustatud seadisega nende käsitsi avamiseks. Selleks on olemas varras *9*, mis läbib klapi kaanes asuva tihendi. Vardale avaldatav surve antakse edasi sõrmele *8*, mis siseneb juhtvarda õõnde ja eemaldab taldriku pesast. Seega jäävad kompressori käivitamise algperioodil klapid kogu aja avatuks.



Joon. 32. Horisontaalse kompressori varrasklapid:
1 — kere, *2* — klapi sulgur koos vardaga, *3* — pesa, *4—5* — varda juhtpuksid, *6* — töövedru, *7* — amortisatsioonivedru, *8* — sõrm, *9* — tugivarras, *10* — seadevedru, *11* — tugirõngas.

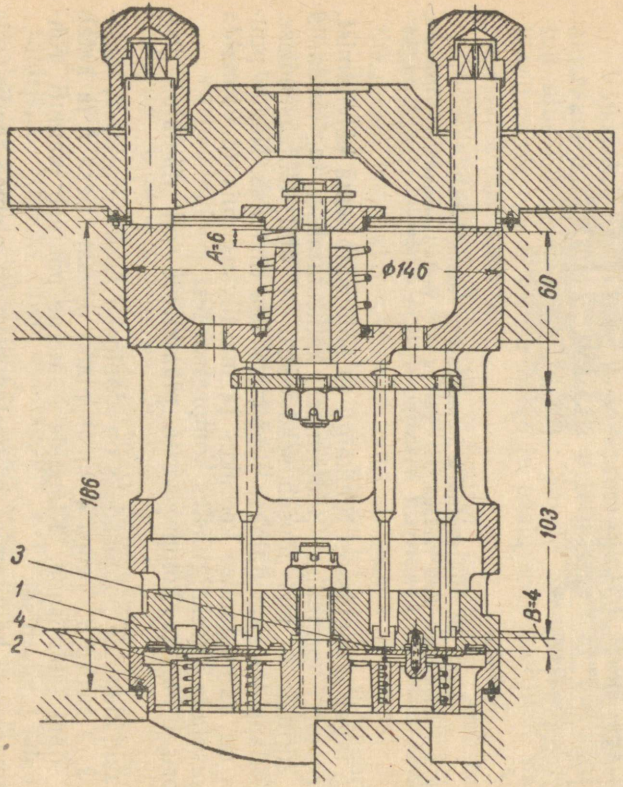
See tagab kompressori tühikäigu ja hõlbustab tema käivitamist. Kompressori normaalsel töötamisel katkestatakse tugivarda *9* surve sõrmele *8*, mis tõuseb seadevedru *10* abil lähteasendisse. Varrasklappides saavutatakse sulgemisel hea tihendus. Nende puuduseks on valmistamise keerukus ja massiivsus, mis ei võimalda neid kasutada kiirekäigulistes kompressorites.

Horisontaalsete kompressorite plaatklapid on näidatud joonisel 33.

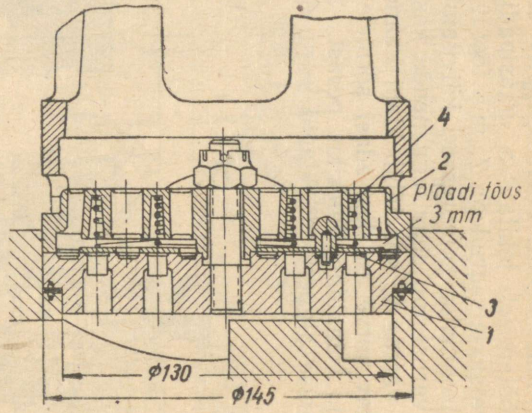
Nende klappide põhiosadeks on klapipesa *1*, surverosett *2*, klapiplaat *3* ja vedru *4*. Vedru *4* surub plaati *3* vastu pesa *1* ja katab seega klapi läbimisava. Klappide avamine põhineb samuti rõhkude vahe tekitamisel.

Kompressori käivitamise hõlbustamiseks on olemas seadis, mis hoiab imiklapi avatuna.

Plaatklappide eelisteks on konstruktsiooni lihtsus, kompaktsus,

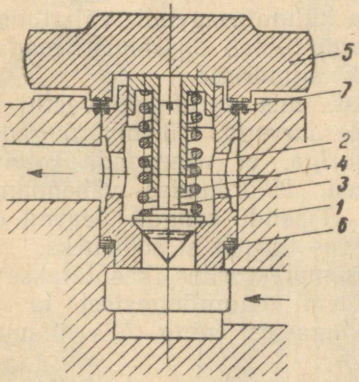


Joon. 33. Horisontaalse kompressori plaatklapid:
1 — klapipesa, *2* — surverosett, *3* — klapiplaat, *4* — vedru.

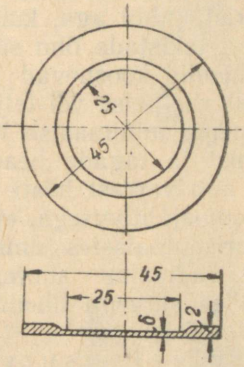


võimalus kasutada neid plaatide kerguse tõttu kiirekäigulistes kompressorites.

Klapipesad ja juhtpinnad valatakse malmist Сч-36. Varrasklappide taldrikud valmistatakse kroomterasest, plaatklappide tööplaadid valtsitud lehtkroomterasest 35-ХГСА. Klappide taldrikud ja plaadid lihvitakse ja soveldatakse pesadele. Hästi valmistatud ja kokkupandud klapp ei tohi läbi lasta bensiini.



Joon. 34. Horisontaalse ammoniaagikompressori ГМ-12 vedrukaitseklapp:
1 — klapipesa, *2* — juhtpuks, *3* — sulgur, *4* — vedru, *5* — kaas, *6—7* — vahelehed.



Joon. 35. Plaatkaitseklapi malmplaat.

Kaitseklapid. Kaitseklapi ülesandeks on hoida kompressorit purunemast rõhu ülemäärasel tõusmisel kompressori silindris külmutusagendi komprimeerimisel. Rõhk võib tõusta ohtlikult kõrgeks, näiteks kompressori käivitamisel, kui surustutseri sulgventiil on suletud.

Kompressori normaalsel töötamisel peab kaitseklapp olema suletud, kuid rõhu tõusmisel kompressori silindris üle lubatud väärtuse (sisseimemisrõhu ja väljasurumisrõhu maksimaalne vahe on 17—18 ata) kaitseklapp avaneb ja ühendab kompressori survepoole imemispoolega.

See takistab rõhu tõusu ja väldib avariivõimalust. Kasutatakse kaht tüüpi kaitseklappe: vedru-kaitseklappe ja plaat-kaitseklappe.

Vedru-kaitseklapp (joon. 34) koosneb klapipesast *1*, juhtpuksist *2*, sulgurist *3* ja vedrust *4*.

Klapi avamiseks tuleb ületada vedru *4* surve, mis vastab lubatavale rõhule kompressoris. Kui rõhk ületab lubatava väärtuse, surutakse sulgur *3* pesalt *1* üles ja moodustub rõngakujuline ava, mille kaudu külmutusagent voolab survepoolelt imemispoolele. Rõhkude vahe vähenemisel klapp sulgub.

Plaat-kaitseklapp (joon. 35) koosneb malmplaadist, mis rõhu ülemäärasel tõusmisel puruneb. Selle tagajärjel tekib ühendus surve- ja imemispoole vahel ja avariid ei teki. Selleks et purunenud plaadi killud ei satuks silindrisse, on üles seatud kilde kinnipidav võrk. Kompressori normaalse töörežiimi taastamiseks tuleb sel juhul kohale panna uus plaat. Kaitseklapi plaat valmistatakse malmist Сч-36.

Tihendid paiknevad horisontaalse kompressori esikaanes ja nende ülesandeks on takistada külmutusagendi väljatungimist silindrist, juhul aga, kui kompressor töötab õhurõhust madalama rõhuga, takistada õhu sisseimemist silindrisse.

Tihendid koosnevad rõngastest, mis surutakse vastu kolvivarrast radiaalse või teljesuunalise survega. Tihendi rõngad peavad olema minimaalse hõõrdeteguriga, et vähendada kolvivarda kulumist ja tagada head tihendust. Hõõrdumise vähendamiseks tuleb kolvivarrast hästi määrida. Tihendi rõngad peavad olema hea soojusjuhtivusega, et kolvivarras liigselt ei soojeneks.

Horisontaalsetes ammoniaagikompressorites kasutatakse peamiselt radiaalse survega tihendeid malmrõngastest ja teljesuunalise survega tihendeid pliirõngastest ning õlis immutatud puuvillnöörist.

Radiaalse survega metallrõngastest tihend (joon. 36) koosneb 14—24 lahtivõetavast rõngast, mis surutakse radiaalselt vastu kolvivarrast spetsiaalse vedruga *2*.

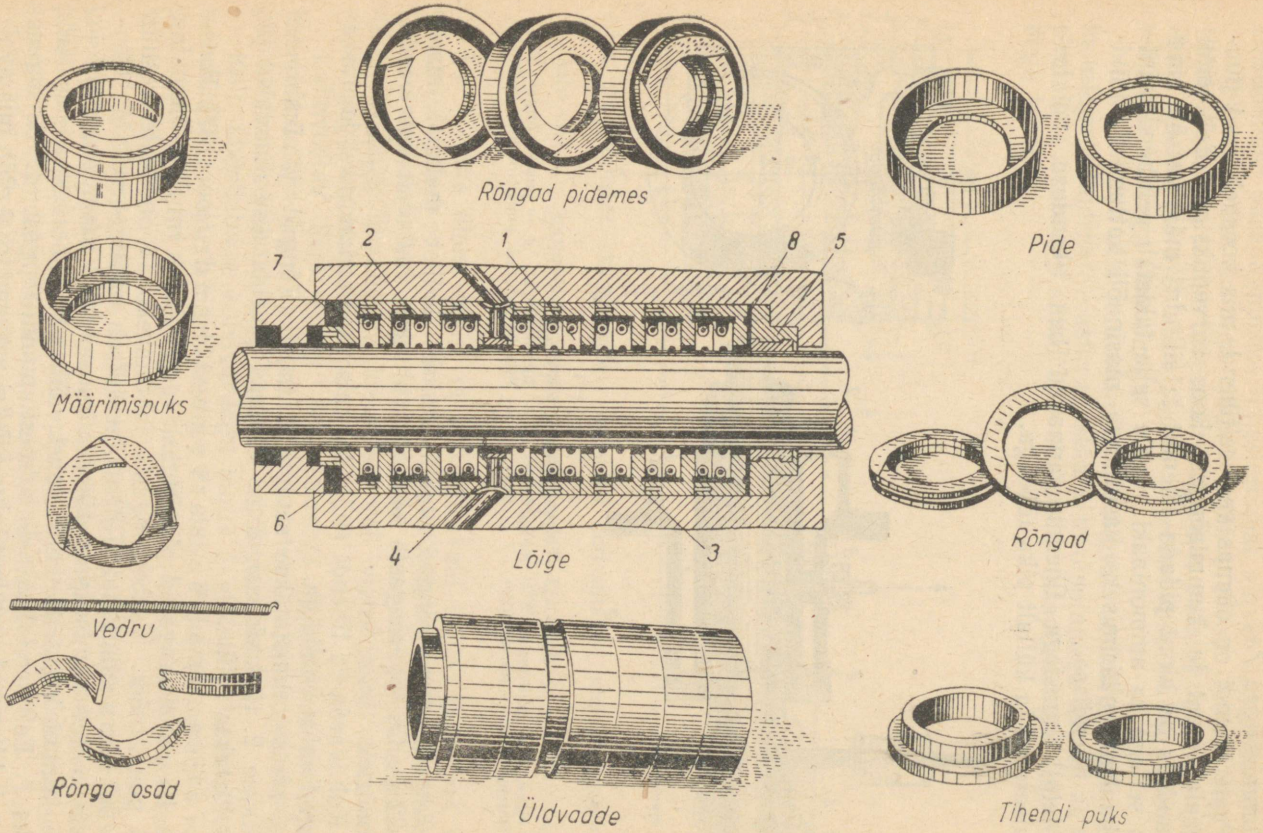
Need tihendusrõngad asetsevad malmümbrise *3* pesades. Ümbrise välisläbimõõt vastab tihendikarbi siseläbimõõdule. Tihendusrõngad *1* koosnevad kolmest tangentsiaalselt lahtilõigatud osast. Rõnga välispinnal on õnar, kus paikneb vedru *2*. Niisuguse konstruktsiooniga rõngad on isereguleerivad. Vastavalt kulumisele surub vedru rõnga radiaalselt vastu kolvivarrast, tagades pidevalt hea tihenduse. Seejuures ei mõjuta soojusnähtused tihenduse kvaliteeti ega põhjusta tihendi ülemäärast kulumist. Näiteks surub kolvivarras soojenemisel rõnga suuremaks, mis on võimalik vedru *2* venimise arvel, ja tihendus jääb endiseks. Kolvivarre jahtumisel toimub vastupidine protsess vedru elastsuse tõttu.

Tihendusrõnga sisepinnal on ääristega õnarad, millede ülesandeks on hea määrimise tagamine ja õliluku moodustamine, mis takistab ammoniaagiauru väljatungimist silindrist. Ääriste kulumisel halvenevad määrimistingimused ja samuti tihendus.

Tihendit ja kolvivarrast määritakse tihendi keskel asetsevas määrimispuksis *4* olevate kanalite kaudu.

Horisontaalse kompressori silindris esinevad vaheldumisi madal (sisseimemisel) ja kõrge (väljasurumisel) rõhk.

Tihendi töö kergendamiseks ja parema tihenduse saavutamiseks ühendatakse tihendi määrimispuksi kanalid kompressori imemispoolega ja läbi tihendi ühe poole tunginud ammoniaak imetakse kompressori poolt määrimispuksi kaudu välja. Järelikult on tihendi teine pool ainult sisseimemisrõhu all.

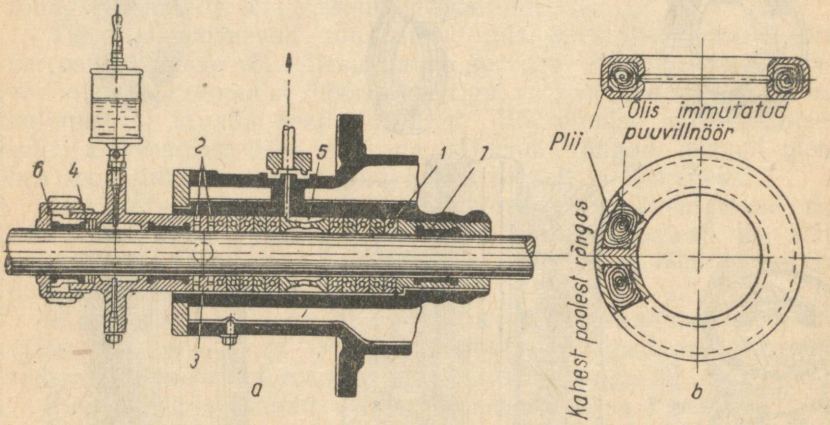


Joon. 36. Radiaalse survega tihend malmrõngastest.

Tihendite otstes asetsevad otspuksid *5* ja *6*, klingeriitvaheleht *8* ja kummirõngas *7*.

Peale tihendi on olemas veel eeltihend, mis koosneb 3—4 puuvillpaelakeerust ja kummirõngast koos survepuksiga. Eeltihendi ülesandeks on kinni pidada tihendit ja silindrit määrivat õli ning koos sellega ka ammoniaaki. Peale selle takistab eeltihend väntmehhanismi määrimiseks kasutatava masinaõli sattumist silindrisse ja tihendisse.

Metallrõngastega tihendid annavad hea tihenduse, on isereguleerivad ja küllalt pika tööeaga.



Joon. 37. Teljesuunalise survega tihend:
a — lõige, *1* — pliirõngas, *2* — malmrõngas, *3* — kummirõngas, *4* — puuvillrõngas, *5* — määrimispuks, *6* — survemutter, *7* — puks; *b* — õlis immutatud puuvillnöörist täidisega pliirõngas.

Tihendi metallrõngad valmistatakse hallist malmist mark Сч-32 ja Сч-36; rõngaste kõvadus valitakse vastavalt kolvivarda kõvadusele.

Kolvivarda ja tihendi enda kulumise vähendamiseks kaetakse rõngad vahel babiidiga.

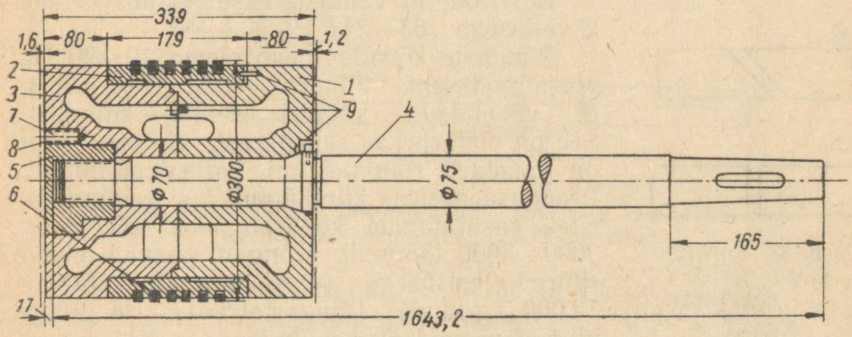
Ümbris valmistatakse samuti malmist. Rõngad ja ümbrised treitakse 2. täpsusklassi järgi. Rõngad soveldatakse omavahel ja soveldatakse võllile.

Teljesuunalise survega tihend (joon. 37) koosneb 10 poolekslõigatud pliirõngast *1*, mille sees on õlis immutatud puuvillnöör. Naaberrõngaste lahtilõikekohad on üksteise suhtes 90° võrra nihutatud. Tihendi keskel on määrimispuks *5*. Rõngaste kokkusurumiseks on tihendi esiosas kaks malmrõngast *2* ja üks kummirõngas *3* nende vahel. Tihendi teises otsas asetseb puks *7*. Eeltihend koosneb kolmest puuvillrõngast *4*. Niisuguse tihendi tihendust reguleeritakse käsitsi survemutri *6* abil, mis avaldab tihendile survet telje suunas. Kolvivarda temperatuuri tõusmisel tuleb hõõrdumise vähendamiseks teljesuunalist survet tihen-

dile vähendada. Kompressori jahtumisel või seiskamisel tuleb tihendamise parandamiseks teljesuunalist survet suurendada.

Teljesuunalise survega tihend vajab pidevat järelevalvet. Ta kulub kiiresti ja töötab tunduvalt halvemini metallrõngastega tihendist. Käesoleval ajal asendatakse teljesuunalise survega tihendid radiaalse survega tihenditega.

Kolb võib olla mitmekujuline, sõltuvalt silindrist. Sfääriliste kaantega silindritele vastavad sfäärilise otspinnaga kolvid. Tasapinnaliste kaantega silindritele vastavad tasapinnaliste otspindadega kolvid.



Joon. 38. Tehases «Kompressor» toodetava horisontaalse ammoniaagikompressori kolb:

1 — kolvi kere, *2* — kolvivöö, *3* — kolvi kaas, *4* — kolvivars, *5* — mutter, *6* — kolvirõngas, *7* — pidekruvi, *8* — lõhis, *9* — tihvtid.

On olemas ühest tükist ja lahtivõetavaid kolbe, kusjuures nii ühed kui teised on seest õõnsad. Lahtivõetavaid kolbe on keerulisem valmistada kui ühest tükist kolbe, kuid nende eeliseks on võimalus kolvi ühe detaili kulumisel või vigastamisel asendada seda uuega, vahetamata kogu kolbi.

Lahtivõetav kolb (joon. 38) koosneb järgmistest osadest: kerest *1*, kolvivööst *2*, kaanest *3* ja mutrist *5*. Kolvi silindrilisel pinnal (kolvivööl) on ringõnarad kolvirõngaste jaoks.

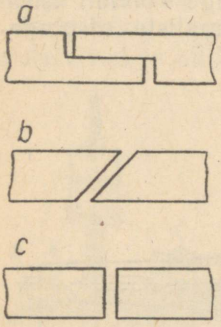
Kolb ühendatakse kolvivardaga mutri *5* abil, mis kinnitatakse teraslõhisega varustatud pidekruvi *7* abil. Pidekruvi asetseb nii mutri kui ka kolvi kehas ning ta takistab kolvimutrit iseenesest lahti keerdumast.

Kolvid valmistatakse hallmalmist Сч-36. Välispind treitakse, kolvirõngaste jaoks treitakse kolvivöösse ringõnarad. Kolvi sisepind soveldatakse tiheduse saavutamiseks kolvivarda koonilisele astmele. Kolvimutter valmistatakse terasest Ст-35.

Kolvirõngaste ülesandeks on tihenduse tagamine kolvi ja silindri seinte vahel ja hõõrdumise vähendamine kolvi liikumisel silindris. Heaks tihendamiseks peab kolvirõnga välispind kogu

ulatuses tihedalt hoiduma vastu silindrit ja avaldama silindrile ühtlast survet.

Kolvirõngaid liigitatakse sõltuvalt kolvirõnga luku konstruktsioonist järgmiselt (joon. 39): kolvirõngad ülekattelukuga (*a*), kaldlukuga (*b*) ja ristlukuga (*c*). Kõige paremad on ülekattelukuga rõngad, kuid nende valmistamine on kallim. Kõige sagedamini kasutatakse kaldlukuga rõngaid, mis samuti tagavad hea tihenduse. Kolvirõngaste töökindlus sõltub nende materjalist ja valmistamisest.



Joon. 39. Kolvirõngaste lukud: *a* — ülekattelukk, *b* — kaldlukk, *c* — ristlukk.

Rõngastele mõjub töötamisel suur koormus, mille tõttu nad kuluvad kiiresti.

Kolvirõngad valmistatakse malmist Cч-36, kõvadusega 163—217 H_B.

Rõngaste kõvadus peab olema 10—20 H_B võrra väiksem silindri seinte kõvadusest, et vähendada silindri seinte kulumist. See on otstarbekas sellepärast, et kasulikum on vahetada rõngaid kui kalleid silindreid. Praegusaegsetes kiirekäigulistes kompressorites kasutatavate kolvirõngaste tööiga on 3000—5000 töötundi. Rõngad peavad olema suure elastsusega (elastsusmoodul 9000—12 000 kg/mm²). Rõngaste välis- ja külgpinnad peavad olema lihvitud.

Rõngad lõigatakse välja vastavast valandist, kusjuures jäetakse töötlemisvaru välis- ja külgpindade lihvimiseks. Seejärel lõigatakse rõngad lahti ja tõmmatakse laiali. Laialitõmmatud olekus kuumutatakse rõngaid temperatuurini 540° ja hoitakse sellel temperatuuril 45 minutit. Seejärel jahutatakse nad õhus. Pärast termilist töötlemist rõngaste välis- ja külgpinnad lihvitakse.

Kolvile õigesti pealepandud rõngas peab asetsema tihedalt ringõnaras, rõngaste lukud aga peavad olema omavahel nihutatud umbes 90° võrra, sest see tagab parema tihenduse. Rõnga lukku peab tööolukorras jääma pilu, et vältida silindri peegelpinna kriimustamist ja kolvirõngaste kinnikiilumist.

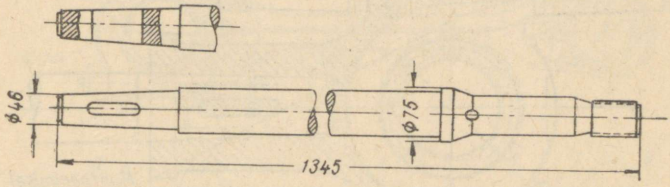
Ammoniaagikompressorite korral peab pilu kolvirõnga lukus, sõltuvalt rõnga läbimõõdust, olema 0,25—2 mm piires (kompressorite ГМ-8, ГМ-10 ja НГФ-180 korral on pilu 0,8 mm). Seisu ajal moodustab pilu rõnga lukus $^1/_{10}$ rõnga läbimõõdust.

Kolvirõngad on kolbmasinatel vastutusrikkamateks detailideks. Nende tööst sõltub kompressori tootlikkus ja tarbitav võimsus. Auru läbitungimine kolvirõngaste vahelt vähendab kompressori kasutustegurit, seejuures aga hõõrdumine kolvirõngaste ja silindri seinte vahel suurendab tarbitavat võimsust.

K o l v i v a r s ühendab kolbi ristpeaga. Kolvivars kinnitatakse ristpeaga kiilu abil. Selleks on kolvivarrel kooniline sabaosa, mis kinnitatakse ristpea puksi (joon. 40). Mõnikord ühendatakse kolvi-

vars ristpeaga keerme abil; seejuures kruvitakse kolvivars ristpea otspinnasse. Kolvivars valmistatakse süsnik-konstruktsiooniterasest 20 (OCT 7123) või kroomterasest 20 (OCT 7124). Kolvivarre pind tsementeeritakse ja lihvitakse. Tsementeerimine on vajalik kõvaduse suurendamiseks ja tihendi kulumise vähendamiseks.

Ristpea on üheks väntmehhanismi osaks ja tema ülesandeks on kolvivarre ühendamine kepsuga. Ristpea liigub sirgjooneliselt edasi-tagasi. Külmutuskompressoris kasutatakse kahveltüüpi ristpäid, millele vastab kinnine kepsulaager.



Joon. 40. Tehases «Kompressor» toodetava horisontaalse ammoniaagikompressori ГМ-12 kolvivars.

Ristpead on enamikus lahtivõetavad ja koosnevad kerest *1* ja kahest liugurist *2*, mis ühendatakse kerega poltide *10* abil. Kere ja liugurite vahel on komplekt vahelehti masina reguleerimiseks. Liugurite libisevad pinnad ja järelikult ka paralleelide pinnad on harilikult silindrilised.

Ristpea ühendatakse kolvivarrega kiilu *7* ja kiilupõskede *8* abil. Põsed kiilutakse laiali mutri *13* ja mütsi *9* abil, mis surub põskede otstele. Keps ühendatakse ristpeaga sõrme *3* abil, mis kinnitatakse kiilu *4* ja seibi *5* abil ristpea silmadesse.

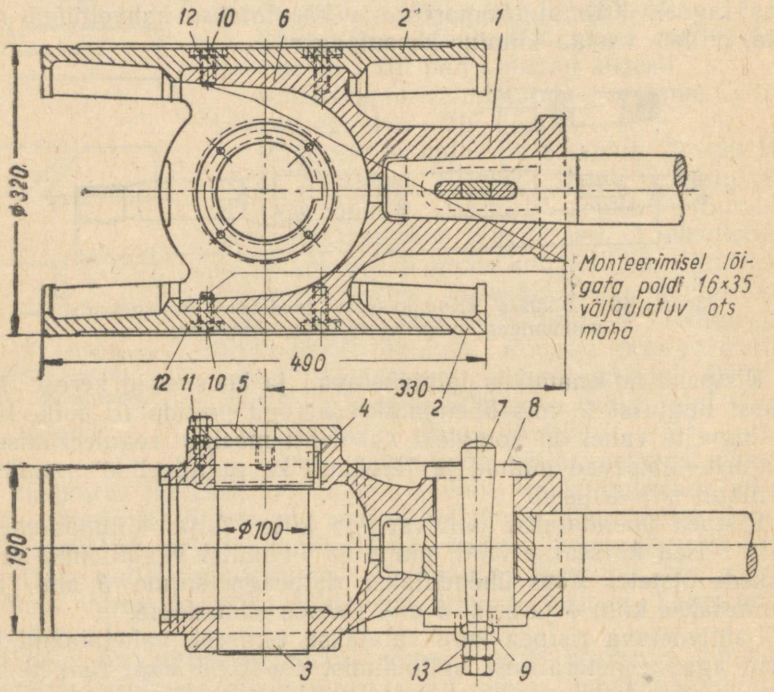
Lahtivõetava ristpea kere valatakse terasest, vahetatavad liugurid aga peeneteralisest hallmalmist Сч-36. Pärast ristpea kingade ja kere kokkupanemist treitakse kingad üle. Ristpea sõrm valmistatakse süsinik-konstruktsioonterasest 20 (OCT 7123) või kroomterasest 20X (OCT 7124). Sõrme pind tsementeeritakse kõvaduse andmiseks ja lihvitakse. Sõrme pind töödeldakse 1. täpsusklassi järgi. Väiksema töötlemistäpsuse korral tuleb sõrme kohaleasetamisel kepsu puks sõrmele ligi kaabitseda.

Keps ühendab väntvõlli ristpeaga ja tema ülesandeks on võlli pöörleva liikumise muutmine ristpea ja seejärel ka kolvi sirgjooneliseks liikumiseks.

Kepsul on otstes pead, milledest väntvõlliga ühendatav pea (kepsulaager) on lahtivõetav, ristpeaga ühendatav pea (silmlaager) aga lahtivõetamatu. Väntvõlliga ühendatav pea (joon. 42) koosneb kahest babiidiga kaetud poolest: alumisest *3* ja ülemisest *2*. Ta kinnitatakse kohale kepsupoltidega *4*, mis läbivad pea ja kepsukeha, ning mutritega *10*. Lahtikeerdumise vältimiseks kontreeritakse mutrid lõhistega (splintidega).

Ristpeaga ühendatavas kepsupeas asetseb pronksist laagriliud, mis koosneb ülemisest *5* ja alumisest osast *6*. Laagriliud surutakse kinni lahtivõetava seadekiilu *7* ja surveseibi *8* abil.

Kepsud valmistatakse vabasepistamise teel või väiksemate mõõtmete korral ka stantsimise teel koos järgneva noolutamise ja normaliseerimisega. Materjaliks on süsinik-martäänteras 35 (ОСТ 7123) või teras 5П (ОСТ 2897).



Joon. 41. Tehases «Kompressor» toodetava horisontaalse ammoniaagikompressori 2АГ ristpea:

1 — kere, *2* — malmliud, *3* — sõrm, *4* — põõn, *5* — kaas, *6* — messingist vahelehed, *7* — kiil, *8* — kiilupõsed, *9* — müts, *10—11* — poldid, *12* — lukustusseib, *13* — mutter.

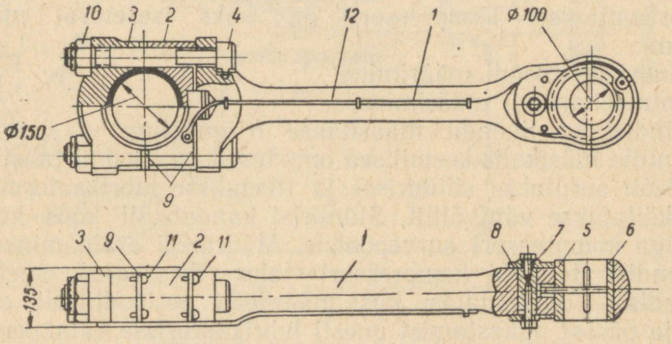
Kepsupoldid on kompressori väga vastutusrikkad detailid, sest poldi katkemine võib põhjustada kogu kompressori purunemist. Seepärast esitatakse kepsupoltide konstruktsioonile, materjalile ja valmistamisele suuri nõudeid. Materjalina kasutatakse parimat kroomterast 36ХА.

Laagriliuad kaetakse babiidiga Б-83. Laagriliuad ja laagrid sobitatakse kaabitsemisega. Kepsulaagri puksid valmistatakse antifriktsioonpronksist.

Peavõlliks on kompressoris peamiselt väntvõll ja temale vastab kahvelraam. Peavõll saab mootorilt pöörleva liikumise ja

ta võtab osa selle liikumise muutmisest kolvi sirgjooneliseks liikumiseks.

Peavõllid valmistatakse süsinikmartäänterasest 35 (ОСТ 7123) või terasest 5П (ОСТ 2897) sepisena. Kulumiskindluse suurendamiseks töödeldakse eriti hoolikalt võllikaelu. Kaelte pinda kõvendatakse kalestamise või karastamisega kõrgsagedusvoolu abil. Võllikaelad lihvitakse ja poleeritakse.



Joon. 42. Tehases «Kompressor» toodetava horisontaalse ammoniaagikompressori 2АГ keps:

1 — kepsu vars, *2* — kepsulaagri ülemine pool, *3* — kepsulaagri alumine pool, *4* — kepsupoldid, *5* — laagriliua alumine osa, *6* — laagriliua ülemine osa, *7* — seadekiil, *8* — surveseib, *9* — messingist vahelehed, *10* — kroonmutter, *11* — polt, *12* — õlikanal.

Peavõll toetub laagritele. Horisontaalsetes kompressorites kasutatakse liugelaagreid. Hõõrdumise vähendamiseks võlli pöörlemisel laagrites kaetakse malmist laagriliuad babiidiga. Pealaagrite (raamlaagrite) jaoks kasutatakse babiiti Б-16. Võlli paigaldamisel sobitatakse laagrid kaeltele kaabitsemisega.

Hooratas kinnitatakse kompressori peavõllile kiilliitega ja tema ülesandeks on, esiteks, liikumise edasiandmine mootorilt peavõllile ja, teiseks, mootori koormuse ühtlustamine. Mootori koormus suureneb, kui kolb liigub äärmise surnud punkti poole, ja väheneb, kui kolb liigub äärmisest surnud punktist eemale. Hooratas akumuleerub energiat, kui kolb eemaldub surnud punktist, ja annab selle ära, nagu aidates mootorit, kui kolb läheneb surnud punktile. Hooratas valmistatakse malmist.

Väikeste ja keskmiste kompressorite hoorattad valatakse ühe detailina, suurte kompressorite hoorattad aga on lahtivõetavad. Hooratta pöia siseküljel on hammasvöö hooratta pööramiseks enne kompressori käivitamist.

Kompressori määrimisseadmed on ette nähtud määrdeõli jaotamiseks. Määrimine vähendab liikuvate osade kulumist ja hõõrdumiseks kulutatavat energiat. Peale selle loob määrdeõli täiendava tihenduse klappides, kolvirõngastes ja tihendeis.

Kompressorites kasutatakse järgmisi määrimissüsteeme: a) barbotaaž- ja ringmäärimine (määrdeõli tsirkuleerib ilma rõhuta) — kasutatakse ühepoolse töötamisega väikestes kompressorites; b) määrimine isevooluga (väikese rõhu all) — kasutatakse väiksema tootlikkusega horisontaalsetes kompressorites; c) sundmäärimine (rõhu all).

Viimane määrimissüsteem on kõige täiuslikum ja leiab seetõttu laialdast kasutamist mitmesugustes kompressorites.

Horisontaalsel kompressoril on kaks iseseisvat määrimissüsteemi:

silindri ja tihendi määrimine,

väntmehhanismi määrimine.

Silindrit ja tihendit määritakse friigusõliga või värtnaõliga nr. 2, mille füüsikalis-keemilised omadused on toodud tabelis nr. 8. Määrdeõli surutakse silindrisse ja tihendisse lubrikaatorpumbaga, mida käitatakse väntvõllilt. Silindrist kandub õli koos külmutusagendiga kompressori survepoolele. Määrdeõli eraldamine külmutusagendist toimub kompressori taha ülesseatud spetsiaalses aparaadis — õlieraldajas, kust määrdeõli perioodiliselt eemaldatakse ja pärast puhastamist uuesti lubrikaatorisse valatakse.

Lubrikaator kujutab endast õlipressi. Lubrikaatori kolb pressib kolvi alla sattuva õli torustiku kaudu määrimiskohtadele.

Tabel 8

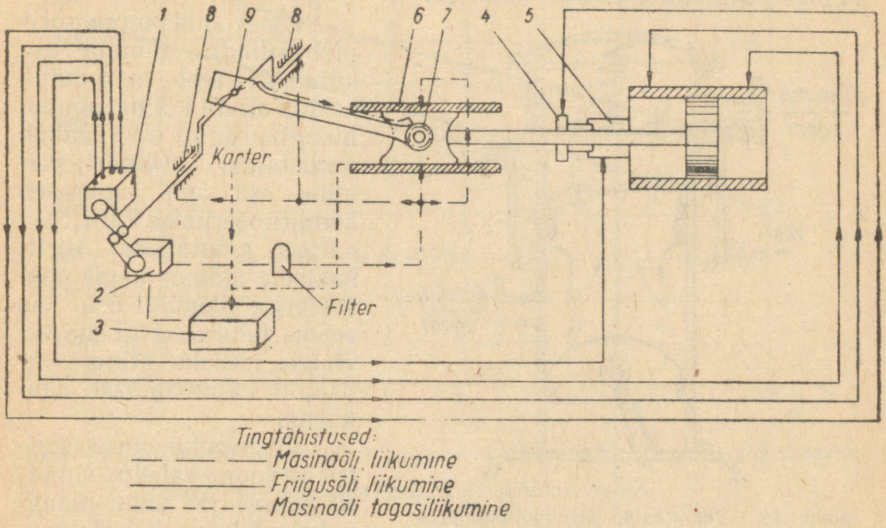
Määrdeõlide iseloomustus

Füüsikalis-keemilised omadused	Dimensioon	Värtnaõli nr. 2 ГОСТ 1887-12	Masinaõli ГОСТ 1707-42		
			Л	С	СУ
Viskoossus Engleri järgi temperatuuril 50°	$°E_{50}$	2,0—2,2	4—4,5	5,5—7,0	6,0—7,5
Hangumistemperatuur	°C	—30	—15	—10	—20
Leektäpp	°C	163	180	190	200
Tuhk, mitte üle	%	0,007	0,007	0,007	0,005
Mehaanilised lisandid	—	Puuduvad	0,007	0,007	0,005
Vesi	—	Puudub	Puudub	Puudub	Puudub

Väntmehhanismi määritakse hariliku masinaõliga (vt. tabel 8). Kompressorites ГМ-8, ГМ-10 ja НГФ-180 saabub õli hõõrdepindadele (ristpea, laagrid) isevoolu teel keskpaagist, mis asub kompressori kere kohal, ja voolab seejärel kompressori karterisse. Karterist pumbatakse õli väntvõllilt käitatava rotatsioonpumbaga uuesti paaki, kus õli filtreeritakse, mille järel see suundub jälle määrimiskohtadele.

Praegusaegsetes suurtes horisontaalsetes masinates kasutatakse väntmehhanismi sundmäärimist hammasrataspumba abil. Õli võetakse kompressori lähedal asuvast paagist ja rõhu all 0,8—2 atü

suunatakse määrimiskohtadesse. Seejärel voolab õli uuesti paaki, kus see filtreeritakse ja jahutatakse paaki paigutatud siugtorudega, kus voolab vesi.



Joon. 43. Horisontaalse kompressori määrimise skeem:
1 — lubrikaatorpump, *2* — hammasrataspump, *3* — õlipaak, *4* — eeltihend, *5* — tihend, *6* — ristpea, *7* — silmlaager, *8* — väntvõlli laagrid, *9* — kepsulaager.

Horisontaalse kompressori määrimise skeem on esitatud joonisel 43.

§ 14. Vertikaalsed ammoniaagikompressorid

Vertikaalsed ammoniaagikompressorid kujutavad endast ühepoolse töötamisega otsevoolukompressoreid.

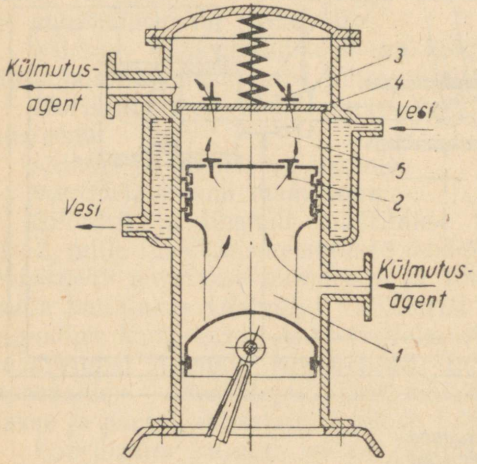
Sellise kompressori töötamise põhimõtteline skeem on näidatud joonisel 44.

Otsevoolu põhimõte teostatakse vertikaalsetes kompressorites sel teel, et külmutusagent imetakse kompressorisse ühelt poolt (silindri keskelt) ja surutakse välja teiselt poolt (silindri ülemisest osast).

Otsevoolukompressorites paiknevad imiklapid *2* kolvi *1* ülaosas. Kolvi liikumisel tekib silindris alarõhk, mistõttu imiklapid avanevad ja ammoniaagiaur voolab silindri *5* tööruumi. Kolvi liikumisel üles imiklapid sulguvad, ammoniaak komprimeeritakse ja surutakse silindrist välja silindri vahekaanes *4* olevate suruklappide *3* kaudu.

Suruklapid avanevad samuti rõhkude vahe mõjul.

Ühepoolse töötamisega horisontaalse kompressori väntmehhanism erineb kahepoolse töötamisega vertikaalse kompressori väntmehhanismist selle poolest, et temal puudub kolvivars ja ristpea. Viimase ülesannet täidab kolb ise.



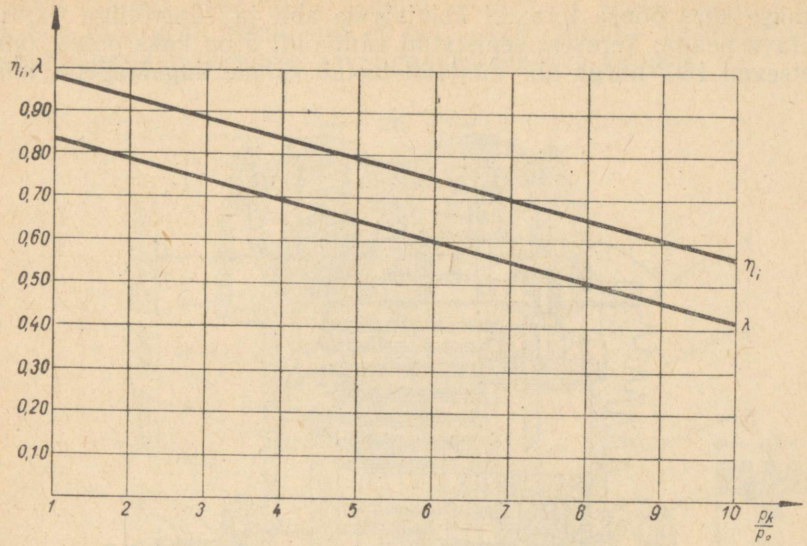
Joon. 44. Vertikaalse otsevoolukompressori silindri skeem:
1 — kolb, *2* — imiklapid, *3* — suruklapid, *4* — vahekaas, *5* — silindri tööruum.

Otsevoolukompressoris jääb silindri alumine osa külmaks, sest ta puutub kokku ainult külma ammoniaagiauruga, mis saabub aurustajast. Silindri ülemine osa aga kuumeneb komprimeerimise tõttu. Seepärast jahutatakse vertikaalsete ammoniaagikompressorite ülemist osa kas veega jahutussärgi abil või õhuga, milleks silindri välispind valmistatakse ribilisena.

Otsevoolukompressorites on soojusvahetus silindri seinte ja ammoniaagi vahel väiksem kui ristvoolukompressorites. Seoses sellega on otsevoolukompressoris ka soojendustegur λ_w suurem. Seetõttu on suuremad ka kompressori kasutustegur λ ja indikaatorkasutegur η_i. Joonistel 45 ja 46 on näidatud nende tegurite väärtused mõnede vertikaalsete kompressorite kohta, vastavalt Külmutusmasinate Keskkonstruktsioonibüroo (ЦКБХМ) ja tehaste andmetele. Abstsissteljele on kantud rõhkude suhe $\frac{p_k}{p_0}$, ordinaatteljele aga kasutusteguri λ ja indikaatorkasuteguri väärtused. Neid graafikuid võib kasutada samatüübiliste kompressorite arvutamisel.

Vertikaalsed kompressorid töötavad parema tasakaalustusega kui horisontaalsed kompressorid. See võimaldab suurendada nende väntvõlli pöörlemise kiirust, mistõttu vertikaalsed kompressorid on reeglina kiirekäigulised.

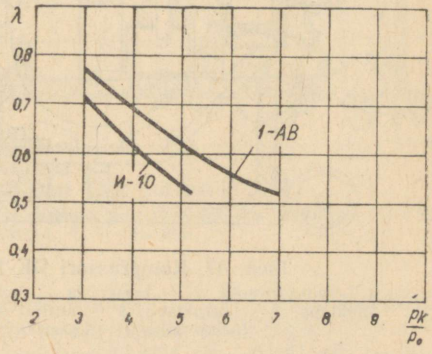
Kaubandusettevõtetes ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes kasutatakse laialdaselt vertikaalseid kahesilindrilisi otsevooluammoniaagikompressoreid, näiteks ЯК-10, МЗИ-46, И-10, külmatootlikkusega 10 000 kcal/h, ja kompressoreid 1AB, külmatootlikkusega 30 000—45 000 kcal/h. Suuremates ettevõtetes, nagu suurtes vabrik-köökides, hulgibaaside külmhoonetes jm., on üles seatud ka suuremaid kompressoreid, näiteks 2AB-15 jt. Peale selle on veel ekspluatatsioonis kompressorid ВП-60, ВП-80, ВП-180/2, ВП-180/4, mida praegu enam ei toodeta.



Joon. 45. Tehases «Kompressor» toodetava ammoniaagikompressori 2AB kasutusteguri ja indikaatorkasuteguri sõltuvus suhtest $\frac{p_k}{p_0}$.

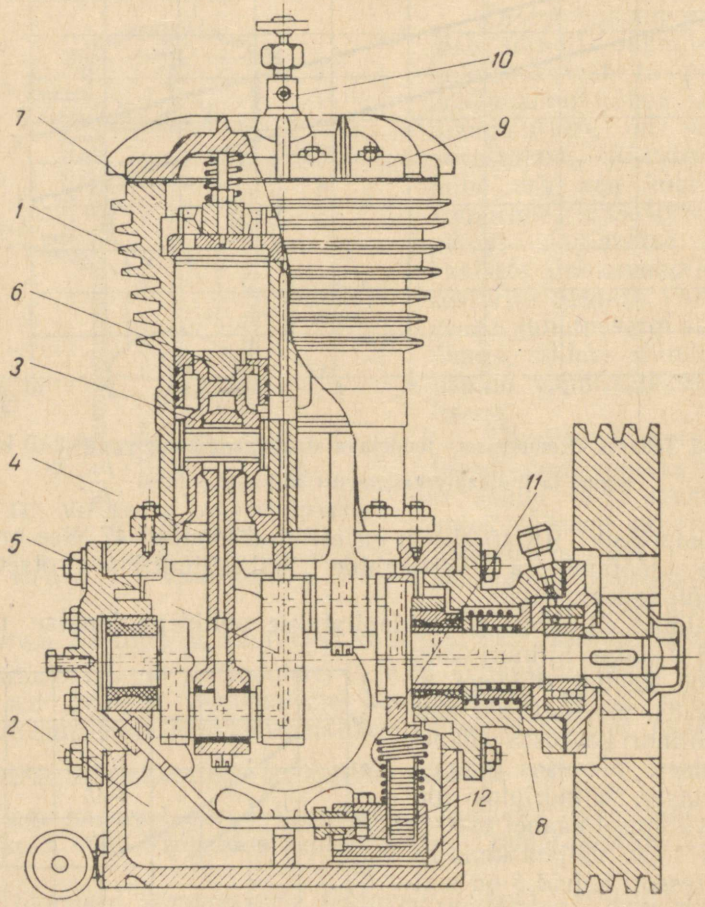
Kompressori ЯК-10 skeem on esitatud joonisel 47. See on ühepoolse töötamisega vertikaalne kahesilindriline otsevooluammoniaagikompressor.

Malmist silindriplokk *1* kinnitatakse poltidega kinnise malmkarteri *2* külge. Silindri välispind on kaetud ribidega, et saavutada paremat õhkjahutust. Silindri keskosas paikneb imistutser, ülemises osas — surustutser, silindriploki ülemisel välimisel kaanel asetseb ventiil õhu väljalaskmiseks. Kompressori kolvid *3* on malmist. Kolbides on kanalid, mida mööda imistutserist saabuv külmutusagent voolab imiklappideni, mis paiknevad silindri ülaosas, ja sealt edasi silindri tööruumi. Surukiapid *7* asetsevad silindri vahekaanes, mis surutakse vastu silindri keret amortisatsioonivedru abil. Kompressoril on plaatklapid. Kolbidel on kolm tihendusrõngast ja üks õlirõngas. Keps *4* on terasest. Kepsu alumine pea on varustatud babiidist laagriliudadega, ülemine pea aga pronkspuksiga. Kolviga ühen-



Joon. 46. Kompressorite И-10 ja 1AB kasutusteguri sõltuvus suhtest $\frac{p_k}{p_0}$.

datakse keps õõnsa terasest kolvisõrme abil ja väntvõlliga lahtivõetava peaga. Terasest sepistatud väntvõllil *5* on kaks põlve, mis asetsevad 180° nurga all. Väntvõll toetub kahele liugelaagrile, mis

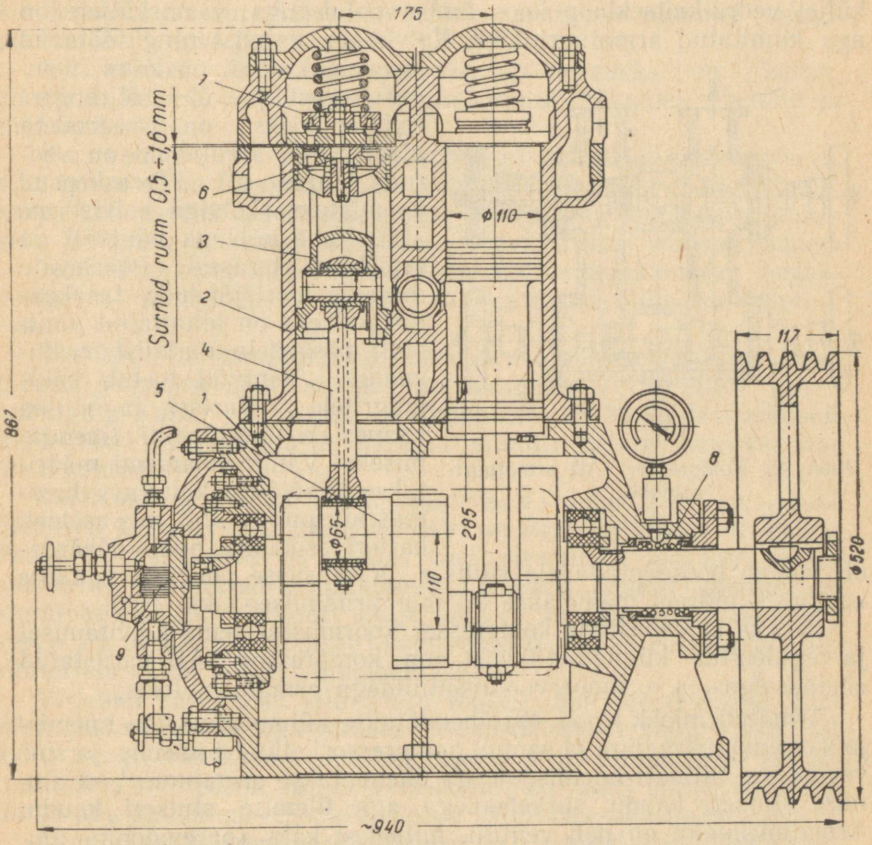


Joon. 47. Kompressori ЯК-10 ja МЗИ-46 skeem:
1 — silindriplokk, *2* — karter, *3* — kolb, *4* — keps, *5* — väntvõll, *6* — imiklapp, *7* — suruklapp, *8* — tihend, *9* — ülemine kaas, *10* — õhuväljalaskeventiil, *11* — ekstsentrik, *12* — kolbpump.

kujutavad endast malmpukse, ja ühele kuullaagrile. Karterist väljaulatuv võlliots varustatakse tihendiga.

Väntmehhanismi ja tihendi määrimine toimub rõhu all karteris asetseva plunžerpumba *12* abil. Pump käitatakse väntvõllil asetseva ekstsentrikuga *11*. Määrdeõli juhitakse hõõrdepindadele mööda spetsiaalseid torusid ja võllisse puuritud kanaleid. Määrdeõli reservuaariks on karter. Määrdeõli taset jälgitakse läbi vaate-

klaasi. Silindri määrimine toimub selliselt, et kepsu alumine pea pritsib määrdeõli laiali, nii et see satub silindri peegelpinnale. Kuullaagreid määritakse tavotiga vastava ava kaudu.



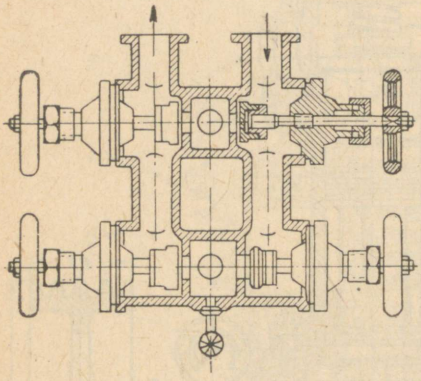
Joon. 48. Kompressori 1AB üldvaade:
1 — karter, *2* — silindrid, *3* — kolvid, *4* — kepsud, *5* — väntvõll, *6* — imiklapid, *7* — suruklapid, *8* — tihend, *9* — õlipump.

Kompressor käitatakse elektrimootorilt kiilrihmülekandega. Hooratas istatakse võlli väljaulatuvale otsale kiilliitega.

Avarii vältimiseks on kompressorid ЯК-10, МЗИ-46 ja И-10 varustatud plaat-kaitseklapiga.

Erinevalt kompressoritest ЯК-10 ja МЗИ-46 puudub kompressoril И-10 õlipump ja kõigi liikuvate osade määrimine toimub õli laialipritsimise teel karterist. Selleks on kepsulaagril spetsiaalsed laialipritsimisnukid. Peale selle on sellel kompressoril ka tihend mõnevõrra erineva konstruktsiooniga. Muus osas on kompressorid ЯК-10, МЗИ-46 ja И-10 ühesuguse ehitusega.

Joonisel 48 on toodud ühepoolse töötamisega vertikaalse kahesilindrilise otsevoolukompressori 1AB üldvaade. Kompressoril on malmsilindrid, mis on ümbritsetud vesijahutussärgiga. Silinder ja jahutussärk on valatud ühe plokina. Silindri ülaosas asetseb ühel küljel vedru-kaitseklapp koos ümbervoolutoruga, vastasküljele on aga kinnitatud armatuuriplokk. Kolvid on malmist ning töötavad otsevoolul. Neil on kolm tihendusrõngast ja üks õlirõngas. Imiklappideks on vedrudeta plaatklapid, suruklapid on vedrude surve all. Teraskepsud ühendatakse kolviga kolvisõrme abil. Kahe põlvega väntvõll on sepistatud terasest. Pöörlevate masside inertsjõudude tasakaalustamiseks on kinnitatud väntvõlli põskedele malmist vastukaalud. Väntvõll toetub kuullaagritele. Karteri tagumises kaanes on tihend võlli tihendamiseks. Väntmehhanismi määritakse väntvõllilt käitatava hammasrataspumba abil, mis asetseb karteri esikaane pool. Määrdeõli voolab hõõrdepindadele võllisse ja kepsusse puuritud kanalite kaudu. Silindreid määritakse õli laialipritsimisega karterist.



Joon. 49. Kompressor 1AB armatuuriplokk.

Selleks et vabastada kompressor koormusest tema käivitamisel ja reguleerida külmatootlikkust, on kompressor 1AB varustatud «baipassiga», s. o. ümbervooluventiilidega armatuuriplokis.

Armatuuriplokk (joon. 49) ühendatakse külmutusmasina imemis- ja survemagistraaliga ja samuti kompressori silindri imemis- ja survepoolega. Silindri imemispoolega ühendatakse armatuuriplokk alumise stutseri kaudu, survepoolega aga ülemise stutseri kaudu. Armatuuriplokil on neli ventiili, milledest kaks (parempoolne alumine ja vasakpoolne ülemine) on sulgklapid, kaks ülejäänud aga möödavooluklapid. Enne kompressori käivitamist suletakse kaks vasakpoolset ventiili ja avatakse kaks parempoolset. Seejärel lülitatakse sisse kompressorit käitav elektrimootor. Sel juhul imetakse ammoniaak silindrisse alumise stutseri kaudu ja surutakse ülemise stutseri kaudu tagasi imemispoolele, millega tagataksegi kompressori tühikäik. See vähendab elektrimootori koormust. Kui mootor saavutab nimipöörlemiskiiruse, avatakse vasakpoolne ülemine suruventiil ja samaaegselt suletakse kiiresti parempoolne ülemine möödavooluventiil. Nüüd imetakse ammoniaak silindrisse parempoolse alumise sulgventiili kaudu, komprimeeritakse ja surutakse vasakpoolse ülemise sulgventiili kaudu survepoolele.

Kui on vaja vähendada kompressori tootlikkust, avatakse veidi parempoolne ülemine ventiil. Siis voolab komprimeeritud külmutus-

agent osaliselt tagasi imemispoolele, millega võib vähendada kompressori tootlikkust kuni 50%. Peale selle võimaldab niisugune armatuuriplokk ümber lülitada imemis- ja survepoolt. See on vajalik näiteks selleks, et remondi korral pumbata ammoniaaki kondensaatorist aurustajasse. Selleks avatakse alumine vasakpoolne ja ülemine parempoolne ventiil.

Vertikaalse otsevoolukompressori põhiosadeks on: karter, silindrid, kolvid, kolvirõngad, klapid, väntmehhanism, tihendid ja määrimisseade.

Karter on ette nähtud kompressori detailide kinnitamiseks, s. t. tal on sama ülesanne, mis raamilgi. Ta kujutab endast kinnist karpi, kus asetseb väntmehhanism. Väntmehhanismi paigaldamiseks ja temale juurdepääsemiseks on karteril äravõetavad kaaned.

Hoorattapoolset karterikaant nimetatakse tagakaaneks, vastaspoolset — esikaaneks. Karteris on vaateaken õlitaseme jälgimiseks.

Vertikaalsete kompressorite karterite valmistamisel tuleb kinni pidada samadest nõuetest, mis horisontaalse kompressori raami puhulgi. Karter valatakse hallmalmist Сч-36. Mehaaniliselt töödeldakse laagripesad ja äärikud silindri ja kaantega kinnitamise kohtades.

Vertikaalsete otsevoolukompressorite silindritel on ainult ülemised kaaned, kuna alumises osas on nad ühenduses karteriga. Peale ülemise kaane on olemas veel sisemine vahekaas, milles paiknevad kompressori suruklapid. Erinevalt teistest kaantest ei kinnitata vahekaant silindri külge, vaid ta on amortisatsioonivedru surve all. Vahekaas kaitseb kompressorit avarii eest, juhul kui silindrisse satub vedelat ammoniaaki.

Vedeliku sattumisel silindrisse tõuseb rõhk ülemääraselt suureks, sest vedelik ei jõua voolata läbi suruklappide väikese ava. Sel juhul tõuseb vahekaas vedru lühenemise tõttu ülespoole ja silindrisse sattunud vedelik väljub vahekaane ja silindri vahele moodustunud pilu kaudu survepoolele. Seega välditakse avariivõimalus.

Ammoniaagikompressorite ülemist osa jahutatakse. Näiteks on kompressorite И-10 ja ЯК-10 silindritel ülemises osas ribid, mis tagavad silindrite intensiivse õhkjahutuse.

Kompressorite 1AB ja 2AB silindreid ümbritseb vesijahutussärk.

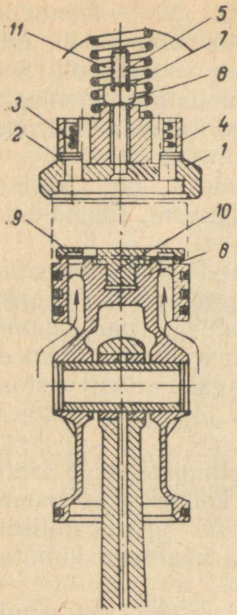
Kompressori silindrid valatakse plokina, millel on keskosas ühine imistutser ja ülemises osas ühine surustutser.

Nõuded silindrite materjalide ja töötlemise kohta on samad, mis horisontaalsete ammoniaagikompressorite korralgi.

Klappidena kasutatakse vertikaalsetes ammoniaagikompressorites kõige sagedamini automaatseid rõngasplaatklappe. Imiklapid paiknevad kolvi ülaosas, suruklapid — vahekaanes.

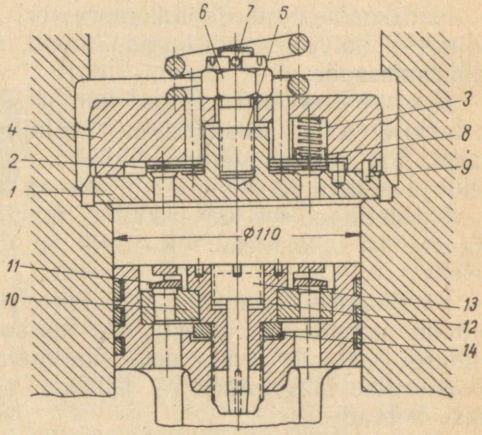
Joonistel 50 ja 51 on näidatud kompressorite ЯК-10 ja 1AB üherõngalised imi- ja suruklapid, joonistel 52 ja 53 aga suruklapid lahtivõetuna.

Suruklappides surutakse sulgplaat *2* vastu klapipesa *1* töö-



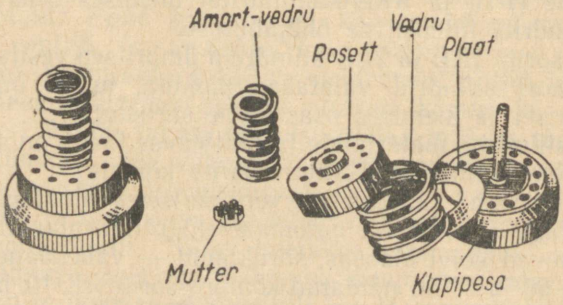
Joon. 50. Kompressori ЯК-10 imi- ja suruklapid:

1 — suruklapi pesa, *2* — suruklapi sulgplaat, *3* — töövedru, *4* — klapi rosett, *5* — tikkpolt, *6* — mutter, *7* — lõhis, *8* — imiklapi pesa, *9* — imiklapi sulgplaat, *10* — imiklapi juhtpind, *11* — amortisatsioonivedru.



Joon. 51. Kompressori 1AB imi- ja suruklapid:

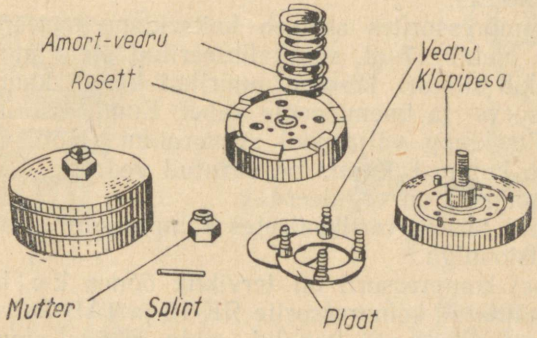
1 — suruklapi pesa, *2* — suruklapi sulgplaat, *3* — töövedru, *4* — klapi rosett, *5* — tikkpolt, *6* — mutter, *7* — lõhis, *8* — kann, *9* — seadetihvt, *10* — imiklapi pesa, *11* — imiklapi sulgplaat, *12* — imiklapi juhtpuks, *13* — pidepolt, *14* — seademutter.



Joon. 52. Kompressori ЯК-10 suruklapid lahtivõetult.

vedruga *3*. Kompressoris ЯК-10 asetub töövedru *3* kannus, mis on klapi rosetiks *4*. Kompressoris 1AB on sulgplaat nelja vedru surve all, mis paiknevad klapi rosetis *4*. Rosett ühendatakse klapipesaga tikkpoldi *5* ja kroonmutri *6* abil, mis lahtikeerdumise vältimiseks kontreeritakse lõhisega *7*. Kokkupandult moodustab suruklapp vahekaane, mis surutakse amortisatsioonivedruga vastu silindrit.

Niisugused automaatsed klapid avanevad rõhkude vahe mõjul, sulguvad aga töövedru *3* elastsuse mõjul.



Joon. 53. Kompressori 1AB suruklapid lahtivõetult.

Nende kompressorite imiklapid on ilma vedrudeta, sest selliste klappide sulgplaat langeb ja tõuseb inertsjõudude mõjul, mis tekivad kolvi üles-alla liikumisel.

Kui kolb üles liikudes jõuab ülemisse surnud punkti ja vahetades liikumissuunda, liigub alla, siis klapi sulgplaat püüab inertsi mõjul jätkata liikumist ülespoole ja klapp avaneb. Kui kolb, lõpetades sisseimemise, peatub alumises surnud punktis ja hakkab liikuma ülespoole, siis püüab avatud imiklapp inertsi mõjul jatkata liikumist allapoole ja sulgub.

Kompressoris ЯК-10 on imiklapi tugipinnaks, s. o. klapipesaks *8* kolvipea soveldatud pind. Klapi juhtpinnad kruvitakse kolvipeasse. Plaat *9* asetseb nende kahe pinna vahel ja võib tõusta ja langeda inertsjõudude mõjul ja rõhkude vahe mõjul.

Kompressoris 1AB kinnitatakse imiklapi pesa *10* ja juhtpuks *12* kolvi külge pidepoldiga *13*. Imiklapi sulgplaat *11* on ebaühtlase paksusega (keskelt paksem, äärtest õhem). Seepärast puutub plaat ülemise toe vastu ainult keskosaga. Seega võib aur ülestõusnud klapile survet avaldada ülaltpoolt. See on abinõuks plaadi kinnikleepumise vastu, mis võib toimuda õlikile olemasolu tõttu.

Suuremates vertikaalsetes kompressorites, näiteks 2AB, kasutatakse imi- ja suruklappidena kaherõngalisi vedrudega klappe. Sel juhul avanevad ka imiklapid nagu suruklapidki rõhkude vahe mõjul. Mõnikord kasutatakse kompressorites ka varrasklappe.

Klappide materjalile ja töötlemisele esitatavad nõuded on samad, mis horisontaalsete kompressorite klappide korral. Klapipesad ja klappide juhtpuksid valatakse malmist Сч-36, sulgplaadid on valtsitud lehtkroomterasest.

Kaitseklappidena kasutatakse vertikaalsetes kompressorites nii vedru- kui ka plaat-kaitseklappe. Kompressorites И-10 ja ЯК-10 kasutatakse plaat-kaitseklappe (joon. 54).

Klapi kalibreeritud malmplaat *1*, mis asetseb kahe klingeriitrõnga vahel, on surutud metallkorgiga *2* padrunisse *3*. Padrun on ühtlasi klapi kereks.

Nendes kompressorites asetseb kaitseklapp surveruumis. Kui rõhkude vahe ületab 17 at, siis kalibreeritud plaat puruneb, mille tagajärjel tekib silindri keresse puuritud kanali kaudu ühendus kompressori surve- ja imemispoole vahel. Kompressoris 1AB asetseb vedru-kaitseklapp väljaspool surveruumi (joon. 55). Selline klapp koosneb kannust *1*, mis on surutud vedruga *2* vastu klapipesa. Vedru pingsus on reguleeritav.

Kaitseklapid teistes vertikaalsetes kompressorites on analoogilise konstruktsiooniga.

Vertikaalsel kompressoril on terviklik õõnes kolb. Joonistel 56 ja 57 on näidatud kompressorite ЯК-10 ja 1AB kolvid.

Kolbides on aknad või kanalid, mida mööda ammoniaagiaur saabub kolvi ülemises osas asetsevate imiklappideni. Kolvi imemisruum on karterist eraldatud vaheseinaga. Vertikaalse kompressori kolb ühendatakse kepsuga kolvisõrme abil. Kolb täidab ühtlasi ka ristpea osa. Seetõttu on vertikaalse kompressori kolb tunduvalt pikem kui horisontaalsel kompressoril.

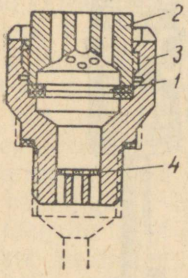
Kolvirõngad paiknevad ringõnarates kolvi silindrilisel pinnal. Ülemistes ringõnarates asetsevad tihendusrõngad, alumistes aga õlirõngad. Tihendusrõngaste ülesandeks on, samuti nagu horisontaalsete kompressorite korralgi, tihenduse tekitamine kolvi ja silindri vahel, et vältida külmutusagendi auru läbitungimist kõrgema surve poolelt madalama surve poolele.

Õlirõngaste ülesandeks on eemaldada liigne õli silindri seintelt. Need rõngad erinevad tihendusrõngastest selle poolest, et rõnga välispind on $^2/_3$ kõrguse ulatuses kooniline (joon. 58). Õlirõngad paigutatakse kolvile koonilise pinnaga ülespoole. Kolvi ülesliikumisel moodustub rõnga ja silindri seina vahel õlikiil, mis surub rõnga kolvi ringõnarasse. Selle tõttu ei haara õlirõngas määrdeõli kaasa.

Et mitte takistada õlirõnga kokkusurumist, peavad kolvis olema ringõnarate kohal avad, mille kaudu õnarasse sattunud õli võib voolata karterisse. Kolvi allaliikumisel koguneb õlirõnga poolt haaratud määrdeõli rõnga all asetsevasse ringrenni, kust ta valgub mööda kolvisse puuritud avasid kolvi sisemusse ja edasi karterisse.

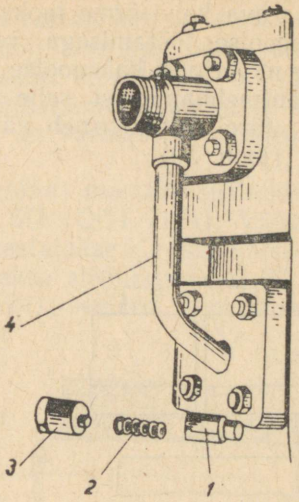
Enamikul vertikaalsetes ammoniaagikompressorites on 3 — 4 tihendusrõngast ja 1 õlirõngas.

Kolvid ja kolvirõngad valmistatakse malmist Сч-36. Kolvi väli-



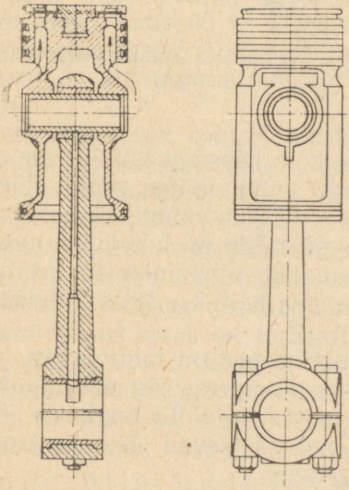
Joon. 54. Kompressori ЯК-10 kaitseklapp:

1 — plaat, *2* — kork, *3* — padrun, *4* — võrk.

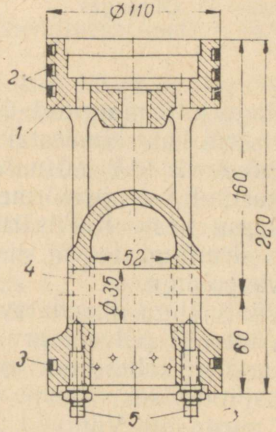


Joon. 55. Kompressori 1AB kaitseklapp:

1 — kann, *2* — vedru, *3* — kere, *4* — möödavoolutoru.



Joon. 56. Kompressori ЯК-10 kolb.

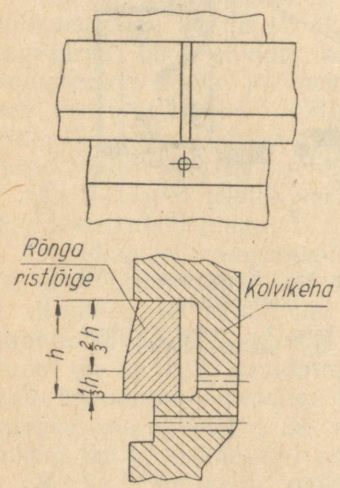


Joon. 57. Kompressori 1AB kolb:

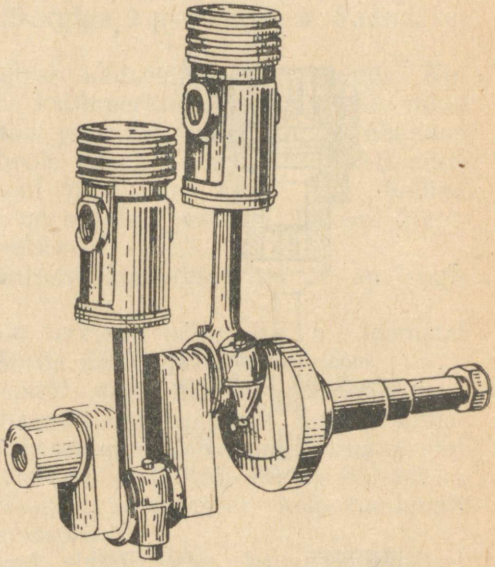
1 — kere, *2* — tihendusrõngas, *3* — õlirõngas, *4* — kolvisilm, *5* — poldid.

pind treitakse, samuti treitakse sisse ringõnarad kolvirõngaste jaoks ja ava kolvisõrme jaoks.

Ühepoolse töötamisega vertikaalse kompressori väntmehhanism erineb kahepoolse töötamisega horisontaalse kompressori väntmehhanismist selle poolest, et tal puudub kolvivars ja ristpea. Järelikult koosneb väntmehhanism väntvõllist, kepsust ja kolvist (joon. 59).



Joon. 58. Õlirõngas.



Joon. 59. Vertikaalse kompressori väntmehhanism.

Nagu juba märgitud, ühendatakse kolb kepsuga kolvisõrme abil. Kolvisõrm kas kinnitatakse poltidega kolvi külge, nagu näiteks kompressoris 1AB, mispuhul kepsu pea pöörleb vabalt sõrme ümber, või kasutatakse ujuvsõrme, mis võib pöörelda nii kolvisilmades kui ka kepsu peas. Kolvisõrme teljesuunalist nihkumist tõkestatakse kas vedrurõngaste või siis seibidega, mis hoitakse koos kolvisõrme läbiva poldiga.

Väntvõlliga ühendatav kepsu alumine pea on lahtivõetav.

Väntvõlli põlvede arv vertikaalses kompressoris sõltub silindrite arvust; kahesilindrilisel kompressori väntvõllil on kaks põlve, neljasilindrilisel — neli põlve. Põlved asetsevad üksteise suhtes 180° nurga all. Väntvõll toetub laagritele.

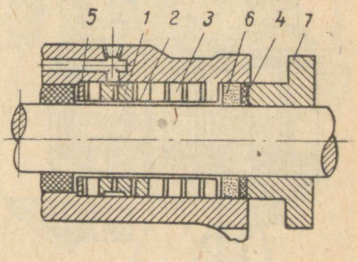
Kepsulaagrite liuad kaetakse babiidiga Б-83. Kepsu ülemiste peade puksid valmistatakse antifriktsioonpronksist. Vertikaalsete kompressorite kaasaegsetes konstruktsioonides kasutatakse väntvõlli laagritena liuge-, kuul- ja rull-laagreid. Nende laagrite kasu-

tamine vähendab hõõrdumist, mistõttu kompressori mehaaniline kasutegur paraneb, peale selle on nad vastastikku vahetatavad.

Väntvõllile kinnitatakse kiilliite abil hooratas, mille ülesanne on sama, mis horisontaalse kompressori korralgi, s. o. liikumise ülekandmine ja mootori koormuse ühtlustamine. Hoorattad on valmistatud ühest tükist. Hooratta pöid on varustatud soontega kiilrihmade jaoks.

Väntvõllid ja kepsud valmistatakse martään-süsinikterasest 35 (OCT 7123) või martäänterasest 5П (OCT 7124). Väntvõllide kaelte pind kalestatakse rullidega, karastatakse kõrgsagedusvooluga ja lihvitakse. Kolvisõrmed valmistatakse süsinikterasest 20 (OCT 7123) ja kroomterasest 20X (OCT 7124), seejärel tsementeeritakse ja lihvitakse. Nendele esitatakse samu nõudeid, mis horisontaalse kompressori ristpea sõrmelegi.

Juurdepingutatavad laagriliuad kaetakse babiidiga Б-16. Juurdepingutavate laagrite liuad ja kepsu laagrid kaetakse babiidiga Б-83. Kepsu silmlaagripuks valmistatakse antifriktsioonpronksist. Masina kokkupanekul sobitatakse laagrid kaabitsemise abil võllikaelte ja kolvisõrmega.



Joon. 60. Vertikaalse ammoniaagikompressori tihend pehme täidisega:
1 — määrimisava, *2* — pliirõngas, *3* — puuvilltäidis, *4* — metallrõngas, *5* — terasest tugirõngas, *6* — pehme tihendusrõngas, *7* — survepuks.

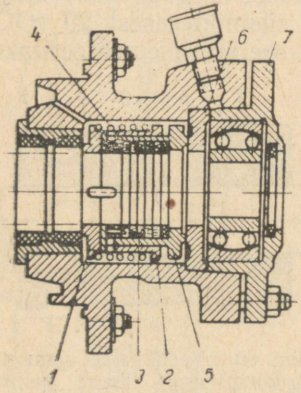
Tihendite ülesandeks vertikaalsetes kompressorites on karterist väljaulatuva väntvõlli tihendamine, et takistada külmutusagendi väljumist kompressori karterist ja samuti välisõhu sissetungimist süsteemi, kui rõhk karteris on madalam atmosfäärirõhust. Tihendipesa asetseb karterikehas.

Vertikaalsetes kompressorites kasutatakse järgmise konstruktsiooniga tihendeid: pehme täidisega ja teljesuunalise survega tihendeid, hõõrdtihenduspuksiga tihendeid ja membraantihendeid.

Pehme täidisega tihend on näidatud joonisel 60. Ta koosneb kuuest puuvillnööriringast *3*, mis asetsevad pliirõngastel *2*. Pliirõngad ümbritsevad vahetult võlli. Täidise tihendamiseks on tihendi esiosas pehme tihendusrõngas *6* ja metallrõngas *4*. Tihendi teises otsas on terasest tugirõngas *5*. Tihendit määritakse õlipumbaga ava *1* kaudu. Sellist tihendit reguleeritakse käsitsi survepuksi *7* abil, mis tekitab teljesuunalise surve. Niisugused teljesuunalise survega tihendid vajavad alalist jälgimist ja kuluvad ruttu. Seepärast kasutatakse neid käesoleval ajal harva.

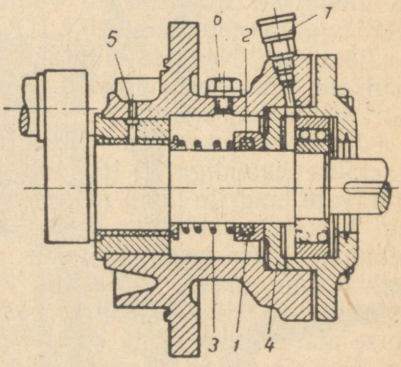
Hõõrdtihenduspuksiga tihend on näidatud joonisel 61. Sel tihendil on puuvilltäidis, mis erinevalt eelmisest tihendist pöörleb koos võlliga. Selline tihend koosneb seibist *1*, tihenduspuksist *2* ja survepuksist *5*, puuvilltäidisest *3*, vedrust *4* ja tihendusrõngast *6*.

Kompressori võllil paikneb kiiluga kinnitatud seib *1* ja survepuks *5*. Survepuksil asetsevad kaks pehmest kummist rõngast ja nende vahel puuvillrõngad *3*. Puuvillrõngad surutakse kokku vedruga *4* tihenduspuksi *2* abil. Kõik loetletud detailid pöörlevad koos kompressori võlliga. Tihenduspuks surutakse pidevalt kokkusurutud vedru *4* mõjul liikumatu rõnga *6* vastu. Tihenduspuksi ja liikumatu rõnga hõõrdepinnad soveldatakse; rõngaga kokkupuutuv tihenduspuksi pind on ekstsentriline, et vähendada kulumist ja isesoveldumist.



Joon. 61. Hõõrdtihendpuksiga tihend:

1 — seib, *2* — tihenduspuks, *3* — puuvilltäidis, *4* — vedru, *5* — survepuks, *6* — tihendusrõngas, *7* — karteri kaas.



Joon. 62. Kompressori И-10 tihend:

1 — muhv, *2* — kummist tihendusrõngas, *3* — vedru, *4* — liikumatu rõngas, *5* — õlikanal, *6* — õliava kork, *7* — määrimisava kork.

Seega luuakse võlli tihendus täidisega. Tihendikarbi tihedus tagatakse tihenduspuksi ja tihendusrõnga soveldatud pindadega, millede vahel asetseb õlikiht, ja samuti tihendusrõnga ja tihendikaane vahel asetseva paraniitvahelehega. Tihendit tuleb tingimata määrida. Määrdeõli surutakse õlipumbast võllisse puuritud kanalisse. Tihendi vedru surve ei tohi ületada arvutuslikku väärtust, s. o. 1 kg/cm², sest vedru liiga suure surve korral surutakse õlikiht hõõrdepindade vahelt välja, mille tagajärjel hõõrdumine järsult suureneb, tekivad kriimustused hõõrdepindaladel ja tihend võib muutuda töökõlbmatuks.

Selliseid tihendeid kasutatakse kompressorites ЯК-10 ja МЗИ-46.

Üheks isereguleeriva tihendi erikujuks on kompressoris И-10 kasutatav tihend (joon. 62).

Sellel tihendil survepuks puudub, tihenduspuksiks on aga muhv *1*, mille sisepinnas on ringõnar, kus asetseb vastupidavast kummist rõngas *2*. Muhv *1* surutakse oma soveldatud ekstsentrilise pinnaga vastu liikumatut rõngast *4*. Võll tihendatakse kummirõn-

gastega *2*, tihendikarbi tihedus aga tagatakse muhvi *1* ja rõnga *4* soveldatud pindadega.

Analoogilise konstruktsiooniga tihendit kasutatakse ka moderniseeritud kompressoris 1AB (joon. 63).

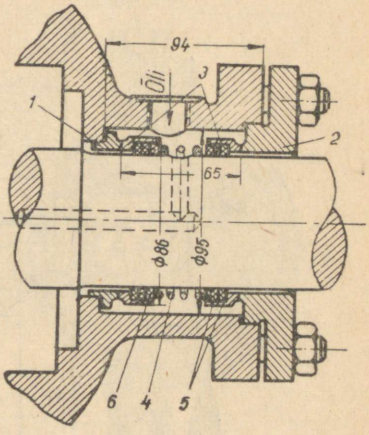
See tihend koosneb liikumatust malmrõngast *1*, kahest liikuvast terasrõngast *3* ja vedrust *4*. Kummaski liikuvas rõngas on vastavates ringõnarates kaks kummirõngast *5* ja üks seib *6*.

Liikuvad rõngad *3* soveldatakse liikumatule rõngale *1* ja malmkaanele *2* ning surutakse nende detailide vastu vedruga *4*. Liikuvad rõngad ja samuti kummirõngad, seibid ja vedru pöörlevad koos võlliga. Võlli tihendamine toimub kummirõngastega, tihendikarbi tihendus aga tekitatakse liikuvate rõngaste *3* ja liikumatu rõnga *1* ning kaane *2* soveldatud pindadega.

Liikuvaid rõngaid töödeldakse termiliselt kuni kõvaduseni 170—240 H_B.

Kummirõngad peavad olema vastupidavad määrdeõlile ja ammoniaagile.

Tihendit määritakse kompressori hammasrataspumba abil.



Joon. 63. Kompressori 1AB tihend:

1 — liikumatu malmrõngas, *2* — malmkaas, *3* — liikuv terasrõngas, *4* — vedru, *5* — kummirõngas, *6* — seib.

Membraantihend erineb kõigist eespool käsitletud tihenditest selle poolest, et tal puudub täidis. Sellises tihendis luuakse tihendus kahe rõngaspinna vahel, mis asetsevad võlliga risti. Järelikult ei kuluta see tihend võlli.

Membraantihendi konstruktsioon selgub jooniselt 64. Kompressori võllile kinnitatakse kiilu abil terasest tihendusrõngas *1*, mis pöörleb koos võlliga. Tihendus võlli tugipinna ja rõnga vahel saavutatakse pliivahelehe *17* abil. Tihedalt vastu terasrõngast *1* surutakse kaks liikumatut pronksrõngast *2* ja *3*. Liikumatud rõngad on kinnitatud mutrite *6* ja *7* abil membraanidega *4* ja *5*.

Membraanid valmistatakse leht-vedruterasest.

Membraanide reguleerimine, s. o. tihenduse reguleerimine rõngaste *1*, *2* ja *3* vahel toimub vahelehtede *14* ja *15* abil.

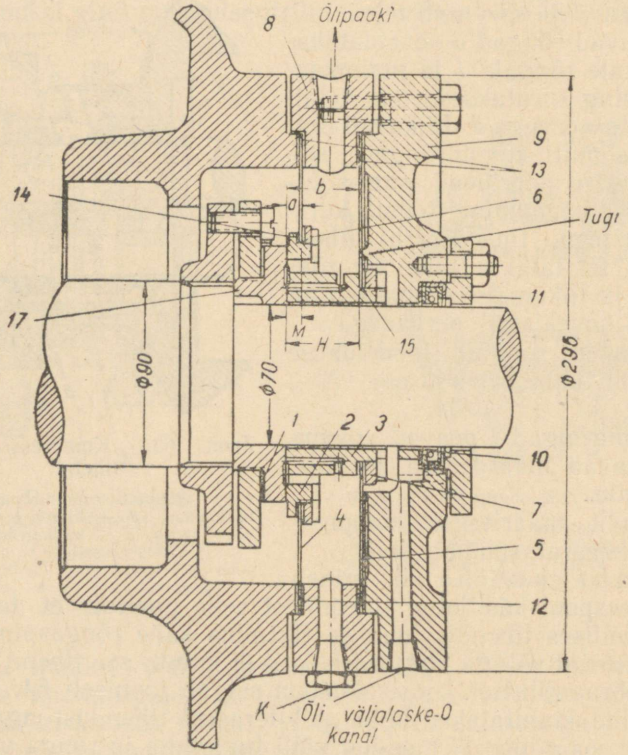
Membraan *4*, mis on tihendatud pliivahelehtedega *12* ja *13*, asetseb karteri ääriku ja tihendi puksi *8* vahel, membraan *5* aga puksi *8* ja tihendi kaane *9* vahel.

Kaanel *9* on rõngastugi, mis annab välimisele membraanile *5* eeldeformatsiooni.

Membraantihendis luuakse esiteks liikumatu tihendus metallrõnga *1* ja võlli vahel ning samuti liikumatu tihendus mööda välimist puutepinda vahelehtede abil ja, teiseks, eriti vastutusrikas

liikuv tihendus metallrõnga *1* ja pronksrõngaste *2* ja *3* vahel vedrumembraanide *4* ja *5* abil. Tihenduspinnad rõngaste vahel asetsevad risti võlli teljega.

Sellist tihendit määritakse sundmäärimisega kompressori õlipumba abil, mis surub määrdeõli tihendi puksi puuritud ava kaudu kahe membraani vahelisse ruumi (õlikambrisse). Määrdeõli, täites



Joon. 64. Membraantihend:
1 — terasest tihendusrõngas, *2—3* — pronksrõngad, *4—5* — membraanid, *6—7* — mutrid, *8* — tihendi puks, *9* — tihendi kaas, *10* — õlitihend, *11* — õlitihendi kaas, *12—13—14—15—17* — vahelehed.

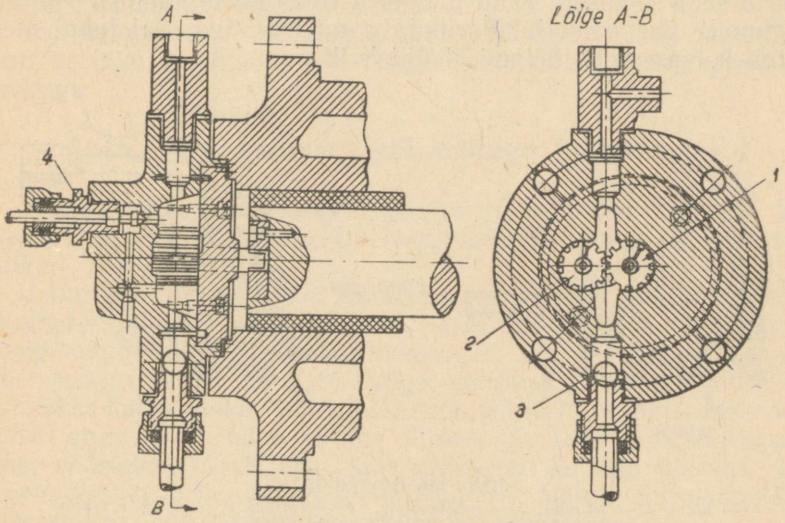
õlikambri, avaldab survet membraanidele, mis omakorda suruvad pronksrõngad *2* ja *3* vastu terasrõngast *1*. Peale selle tekitab määrdeõli õliluku ja moodustab õlikile rõngaste hõõrdepindade vahel. See vähendab hõõrduvate osade kulumist ja suurendab tihendi hermeetilisust.

Määrdeõli suundub tihendist selle kohal asetsevasse õlipaaki, sellest aga tagasi kompressori karterisse.

Õlipaagi olemasolu tagab tihendi määrimise kompressori seismisel ja selle käivitamisel, õlitaseme kõrgus paagis aga tagab

vajaliku surve membraanidele, mis on eriti tähtis juhul, kui karteris tekib vaakuum.

Määrdeõli väljatungimisel õlikambrist hoitakse see kinni õlitihendi *10* abil. Tihendi lahtivõtmisel lastakse määrdeõli puksisse *8* ja tihendi kaanesse *9* puuritud alumiste avade kaudu välja.



Joon. 65. Kompressori 1AB hammasrataspump.
1—2 — hammasrattad, *3* — kuulklapp, *4* — möödalaskeventiil.

Membraantihendid tekitavad töökindla tihenduse ja on oma konstruktsioonilt lihtsad. Neid tihendeid kasutatakse vertikaalsete ja V-kujuliste ammoniaagikompressorite 2AB-15, 4AУ-15 uutes konstruktsioonides ja samuti freoonikompressorites.

Vertikaalse kompressori määrimisseade erineb oluliselt horisontaalsete kompressorite määrimisseadisest. Vertikaalsetes kompressorites kasutatakse sundmäärimist ainult spetsiaalse määrdeõliga (värtnaõli nr. 2), millel on madal hangumistemperatuur ja kõrge leektipp.

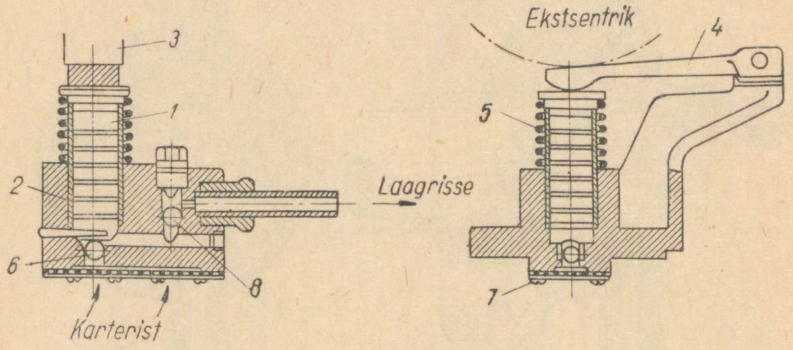
Vertikaalses kompressoris on õlireservuaariks karter, kust määrdeõli suunatakse pumba abil läbi spetsiaalse filtri väntmehhanismi hõõrduvatesse osadesse (väntvõlli laagritesse, kepsulaagritesse ja tihendisse), kust määrdeõli uuesti kompressori karterisse voolab. Vertikaalsetes kompressorites kasutatakse hammasratas- ja kolbpumpe.

Hammasrataspumbad (joon. 65) paigaldatakse karteri esikaanesse (vt. joon. 48) ja käitatakse kompressori väntvõllilt.

Hammasrataste *1* ja *2* pöörlemisel imetakse määrdeõli, mis läbib eelnevalt karteri põhjas paikneva filtri (peene metallvõrgu),

kuulklapi *3* kaudu pumbasse ja suunatakse rõhu all toru kaudu väntvõlli laagritesse ja tihendisse.

Väntvõlli laagritest voolab määrdeõli võllisse puuritud kanalite kaudu kepsulaagrisse ja seejärel kepsus oleva kanali ja spetsiaalse toru kaudu kepsu silmlaagrisse ja kolvisõrme. Sealt suundub määrdeõli karterisse tagasi ja, sattudes silindri seintele, määrib seda osaliselt. Kuid põhiliselt määritakse silindrit väntade ja alumise pea poolt laialipritsitava määrdeõliga. Sel juhul moodustub kompressori töötamisel õlilehvik.



Joon. 66. Kolbpump:
1 — kolb, *2* — silinder, *3* — ekstsentrik, *4* — nookur, *5* — vedru, *6* —kuulklapp, *7* — filter, *8* — kuulklapp.

Mõnikord määritakse vertikaalse kompressori silindrit määrdeõli laialipritsimisega nii, et vändad ja kepsu pead ainult riivavad õlipeeglit. Selleks tuleb hoida õlitase karteris selline, et kepsu laager alumises asendis puudutaks määrdeõli pinda. Selle laialipritsimismeetodi korral esineb suur õli ärakandumine kompressorist, mistõttu keskmistes ja suurtes kompressorites seda meetodit ei kasutata. Väikestes kompressorites kasutatakse aga seda meetodit tema lihtsuse tõttu laialdaselt.

Kolbpump (joon. 66) paigaldatakse karterisse ja käitatakse kompressori võllile kinnitatud ekstsentrikuga.

Ekstsentrik *3* surub nookuri *4* kaudu perioodiliselt kolvile *1*, mille tagajärjel kolb liigub silindris *2* allapoole. Kui ekstsentriku mõju kaob, tõuseb kolb vedru *5* mõjul uuesti üles. Kolvi ülesliikumisel imetakse määrdeõli karterist kuulklapi *6* kaudu pumbasse. Seejuures läbib määrdeõli eelnevalt filtri *7*. Kolvi allaliikumisel imiklapp *6* sulgub ja määrdeõli surutakse kuulklapi *8* kaudu masina hõõrdepindadele, seejärel aga voolab õli uuesti karterisse.

Niisugune pump on näiteks kompressoris ЯК-10 (vt. joon. 47), kus määrdeõli juhitakse rõhu all mööda toru väntvõlli esikaanepoolse otsa juurde. Siit suundub õli võllisse puuritud kanalite kaudu väntvõlli laagritesse, kepsulaagrisse ja tihendisse.

Kolvisõrme juurde saabub määrdeõli kepsulaagrist kepsusse puuritud kanali kaudu, seejärel voolab määrdeõli karterisse, määrides osaliselt silindri seinu. Kompressori ЯК-10 silindreid määritakse põhiliselt määrdeõli laialipritsimise teel. Selleks hoitakse määrdeõli tase karteris selline, et kepsulaager pöörlemisel puudutaks määrdeõli. Määrdeõli taset jälgitakse kompressori karterisse monteeritud vaateakna kaudu.

Kui kompressoril on laagrid väljaspool karterit, siis määritakse neid hariliku masinaõliga, väljaspool asetsevaid kuullaagreid aga tavotiga.

§ 15. Nurkasetuses silindritega kompressorid

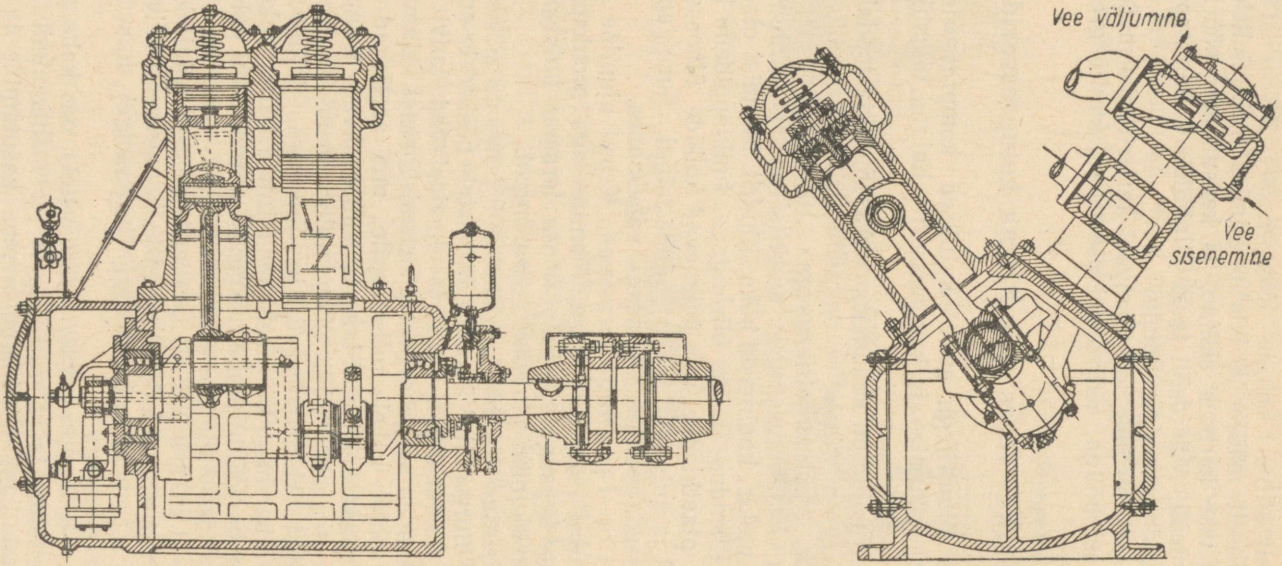
Nurkasetuses silindritega ehk V-kujulised kompressorid kuuluvad tänapäeval kasutatavate kompressorite hulgas täiuslikumate hulka.

Joonisel 67 on näidatud kompressor 4АУ-15, mida toodab tehas «Kompressor». See on V-kujuline neljasilindriline otsevoolu-ammoniaagikompressor, külmatootlikkusega 100 000—150 000 kcal/h. Kompressoril on vesijahutussärgiga ümbritsetud malmsilindrid, mis valatakse kahes plokis, kummaski kaks silindrit. Malmist otsevoolukolvid on nelja tihendus- ja ühe õlirõngaga. Imiklappidena kasutatakse vedrudeta plaatklappe, mis paiknevad kolbide ülaosas. Imiklapid avanevad ja sulguvad inertsjõudude mõjul. Suruklappidena kasutatakse vedruklappe, mis paiknevad vahekaanes.

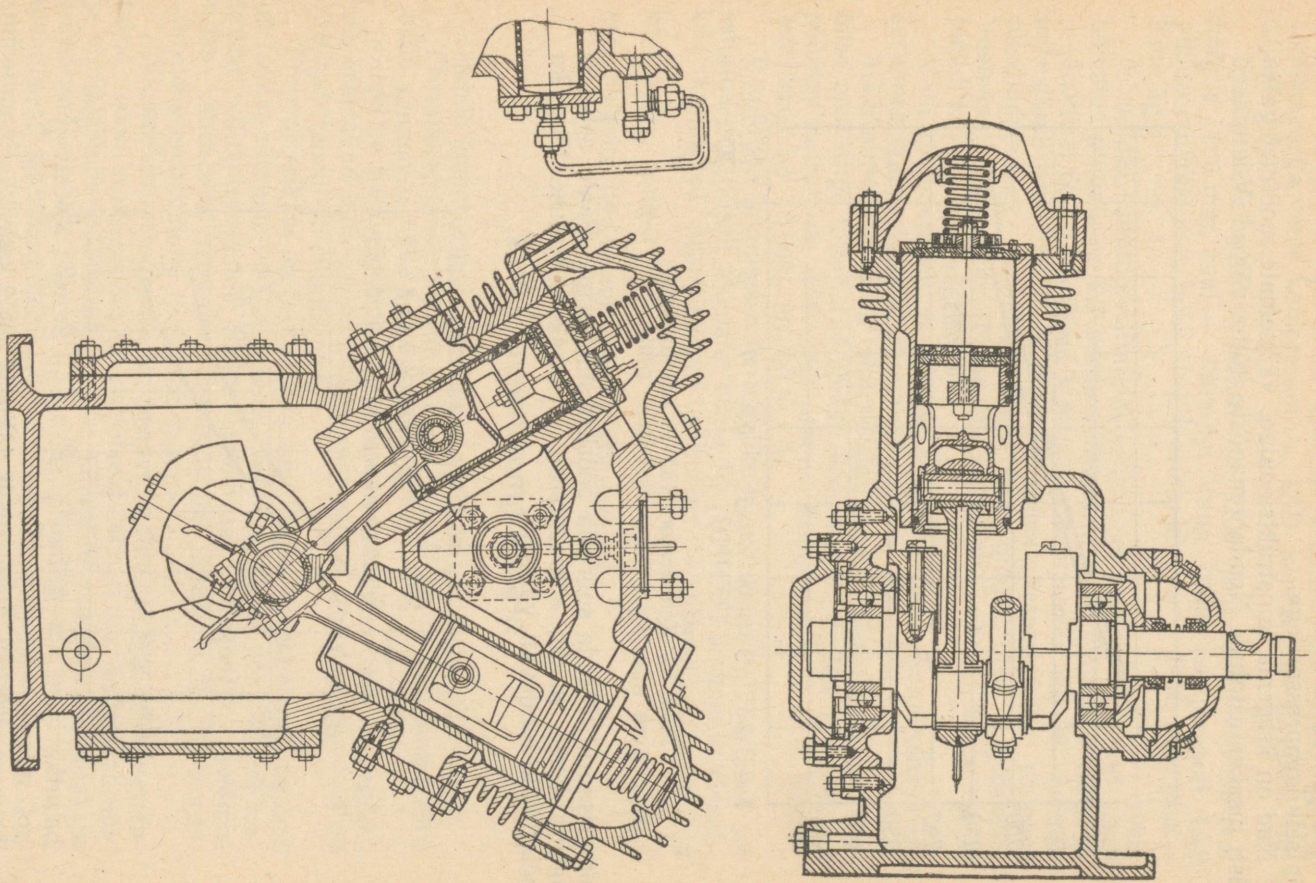
Kompressoril on I-profiiliga teraskeps. Kepsu alumine pea on varustatud babiidist laagriliudadega, ülemine aga pronkspuksiga. Keps ühendatakse kepsuga ujuvtüüpi õõnsa terasest kolvisõrmega. Kolvisõrme pikinihkumist piiravad vedrurõngad.

Terasest sepistatud väntvõllil on kaks põlve, mis asetsevad teineteise suhtes 180° nurga all. Väntvõlli äärmistele põskedele on kinnitatud malmist vastukaalud, mis tasakaalustavad kolvi inertsjõudusid, vähendades seega suurel pöörlemiskiirusel esinevat vibratsiooni. Võll toetub kahele rull-laagrile, mis asetsevad karteri sees. Hõlpsalt vahetatavad rull-laagrid suurendavad kompressori mehaanilist kasutegurit. Võlli tihendatakse membraantihendiga, millel on metallist tihendusrõngad, ja õlilukuga. Selline tihend tagab töökindla tihenduse. Väntmehhanismi määritakse sukeldatud hammasrataspumba abil. Pumba niisuguse asendi tõttu pole tarvidust käsipumba järele õli juurdepumpamiseks kompressori käivitamisel. Silindreid määritakse õli laialipritsimisega väntade poolt. Kompressor on varustatud kaitseklapiga ja kompressori käivitamise kergendamiseks möödavoolutorustikuga (baipassiga), mis ühendab imemispoole survepoolega.

Uute V-kujuliste kompressorite iseärasusteks on: kahe põlvega väntvõll nelja silindri jaoks, rull-laagrid ja vastukaalud, kergem kepsude ja kolbide kaal, sukeldatud pumba kasutamine ja lõpuks silindrite asetsemine nurga all.



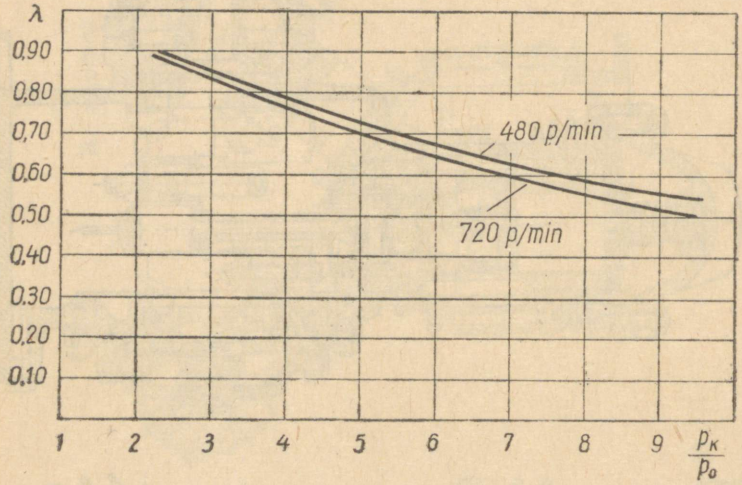
Joon. 67. Kompressor 4АУ-15.



Joon. 68. Kompressor 2АУ-8.

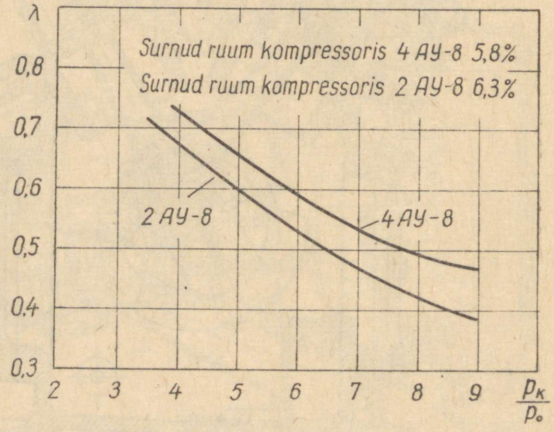
V-kujulistel kompressoritel on rida eeliseid, võrreldes vertikaalsete kompressoritega.

Nad on kergema konstruktsiooniga, väiksemate mõõtmetega ja hästi tasakaalustatud. Nende omaduste tõttu võivad V-kujulised



Joon. 69. Kompressori 4АУ-15 kasutustegur.

kompressorid töötada suurema pöörlemiskiirusega. Peale selle on masina kerge kaalu, kompaktsuse ja tasakaalustatuse tõttu ka metallikulu tunduvalt väiksem.



Joon. 70. Kompressorite 4АУ-8 ja 2АУ-8 kasutustegur.

Uut tüüpi kompressori 4AУ-15 võrdlemiseks sama külmatootlikkusega vana kompressoriga 4AB kõrvutame järgmisi näitajaid.

Kompressori 4AУ-15 pikkus on 1200 mm, laius — 1100 mm, kõrgus 1400 mm, kaal — 1300 kg. Vana tüüpi kompressori 4AB pikkus on 2660 mm, laius — 1100 mm, kõrgus — 1400 mm, kaal — 3580 kg.

Võrreldes esitatud näitajaid, selgub, et uue kompressori poolt hõivatav pindala on 2,2 korda väiksem ja kaal 2,8 korda väiksem.

Joonisel 68 on näidatud V-kujuline kompressor 2AУ-8. See on kahesilindriline otsevoolu-ammoniaagikompressor kahe rõngaga plaatklappidega. Silindritel on ribid õhkjahutuse tagamiseks. Vastukaaludega väntvõllil on üks põlv kahe silindri kohta ja ta toetub kahele kuullaagrile.

Võlli tihendatakse vedrutihendiga, mis oma konstruktsioonilt sarnaneb kompressori И-10 tihendiga.

Määrimine toimub õli laialipritsimise teel, milleks on kepsu alumise pea külge kinnitatud spetsiaalsed nukid. Sellise kompressori pöörlemiskiirus on 500—960 p/min. Kompressori 2AУ-8 külmatootlikkus on 10 000—20 000 kcal/h.

V-kujuliste kompressorite tegelike kasutustegurite väärtused on esitatud graafiliselt joonistel 69 ja 70 (ВНИХИ andmed). Graafikud kujutavad kasutusteguri sõltuvust kondenseerumisrõhu ja keemisrõhu suhtest $\frac{p_k}{p_0}$. Neid andmeid võib kasutada analoogilise konstruktsiooniga kompressorite arvutamisel.

§ 16. Freoonikompressorid

Nende kompressorite tehnilised andmed on toodud tabelis 6.

Freoonikompressorid ehitatakse vertikaalsete ja V-kujuliste otsevoolu-ammoniaagikompressorite baasil.

Siiski on freoonikompressorite konstruktsioonis rida iseärasusi, mis eraldavad teda ammoniaagikompressorist. Need iseärasused on tingitud freooni-12 omadustest.

Freooni erikaal on 5—6 korda suurem kui ammoniaagil, samuti on freoon suurema viskoossusega. Need omadused põhjustavad teatavasti külmutusagendi voolamistakistuse suurenemist. Seetõttu tuleb vähendada freooni liikumiskiirust ligikaudu 2—2,5 korda, võrreldes ammoniaagi liikumiskiirusega.

Liikumiskiiruse vähendamine saavutatakse sel teel, et suurendatakse freooni poolt läbitavaid ristlõikeid. Nimelt suurendatakse imija suruklappide mõõtmeid, torude läbimõõte (umbes 2 korda) ja silindrite läbimõõte (umbes 1,3 korda). Silindrite mõõtmed sõltuvad mahulisest külmatootlikkusest, mis on freoonil-12 väiksem kui ammoniaagil (umbes 1,6 korda). Vastavalt sellele kujunevad freoonikompressori silindrite mõõtmed suuremaks.

Freoonikompressori silindrite suurem läbimõõt ei takista siiski kasutamast ammoniaagikompressori karterit, sest freoonikompressori silindrid ei vaja jahutussärki. Seetõttu on silindrite läbimõõtu võimalik suurendada ammoniaagikompressori jahutussärgi arvel, nii et karteri mõõtmed jäävad endiseks.

Jahutussärgi puudumine on seletatav sellega, et freooni temperatuur pole komprimeerimise lõpul kuigi kõrge. Näiteks freoonil, mille keemistemperatuur on —15°, temperatuur sisseimemisel —10° ja kondenseerumistemperatuur 30°, moodustub temperatuur adiabaatilise komprimeerimise lõpul umbes 43°, kuna aga ammoniaagi temperatuur komprimeerimise lõpul on samadel tingimustel ligikaudu 107°.

Freooni omadus lahustuda õlis esitab suured nõuded kompressori määrimisele. Nende kompressorite määrimiseks kasutatakse spetsiaalseid õlisid, mille koostisse kuuluvad meditsiinparfümeeriaõli (99,6%) ja paraflou — lisand õli hangumistemperatuuri alandamiseks (0,4%).

Õlide füüsikalis-keemilised omadused:

leektäpp Brenkeni järgi	mitte alla 170°
viskoossus Engleri järgi temperatuuril 50°	mitte alla 3,5°
hangumistemperatuur	mitte üle —40°
mehaaniliste lisandite sisaldus % . . .	mitte üle 0,007
tuhasisaldus %	mitte üle 0,007
vees lahustuvate hapete ja leeliste sisaldus	ei ole
veesisaldus	ei ole

Õlipump paigaldatakse freoonikompressoris tavaliselt allapoole õlitaset.

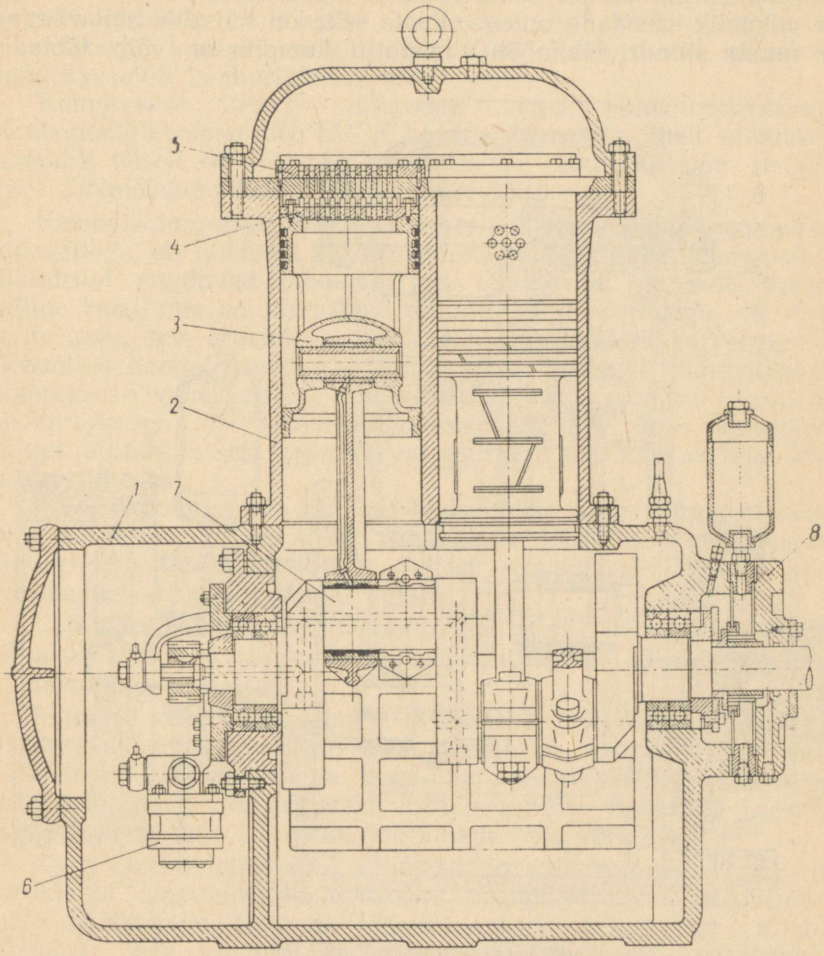
Freoonil on omadus tungida läbi pisimate ebatiheduste, isegi läbi metallipooride, mis esitab ranged nõuded valandite kvaliteedile ja detailide tihendustele.

Nagu juba nimetatud, ehitatakse freoonikompressorid ühisel baasil ammoniaagikompressoritega, kuid seejuures konstrueeritakse freoonikompressorite jaoks spetsiaalsed kolvid, klapid ja armatuur. Ülejäänud detailid on nii ammoniaagi- kui ka freoonimasinatel ühised.

Tehase «Kompressor» poolt käesoleval ajal toodetava freoonikompressori 4ФУ-19 konstruktsioon on näidatud joonisel 71. See on V-kujuline neljasilindriline otsevoolukompressor. Kompressori karter on jaotatud kahte ossa: ühes osas asetseb väntmehhanism, teises osas õlipumba mehhanism.

Silindrid on valatud kahe plokina, kummaski kaks silindrit. Otsevoolukolvi ülemises osas paiknevad imiklapid. Suruklapid asetsevad vahekaanes. I-profiiliga keps ühendatakse kolviga ujuvtüüpi õõnsa sõrmega. Väntvõlliga ühendatakse kepsu lahtivõetav pea. Väntvõllil on kaks põlve. Väntvõlli kummalegi kaelale kinnitatakse kaks kepsu. Väntvõll on varustatud vastukaaludega ja toetub kahele kuullaagrile. Võlli tihendatakse membraantihendiga.

Väntmehhanismi määritakse rõhu all õlipumba abil. Õli juhitakse hõõrduvatele pindadele torude ja väntvõllisse puuritud kanalite kaudu. Silindreid määritakse õli laialipritsimisega. Käivita-



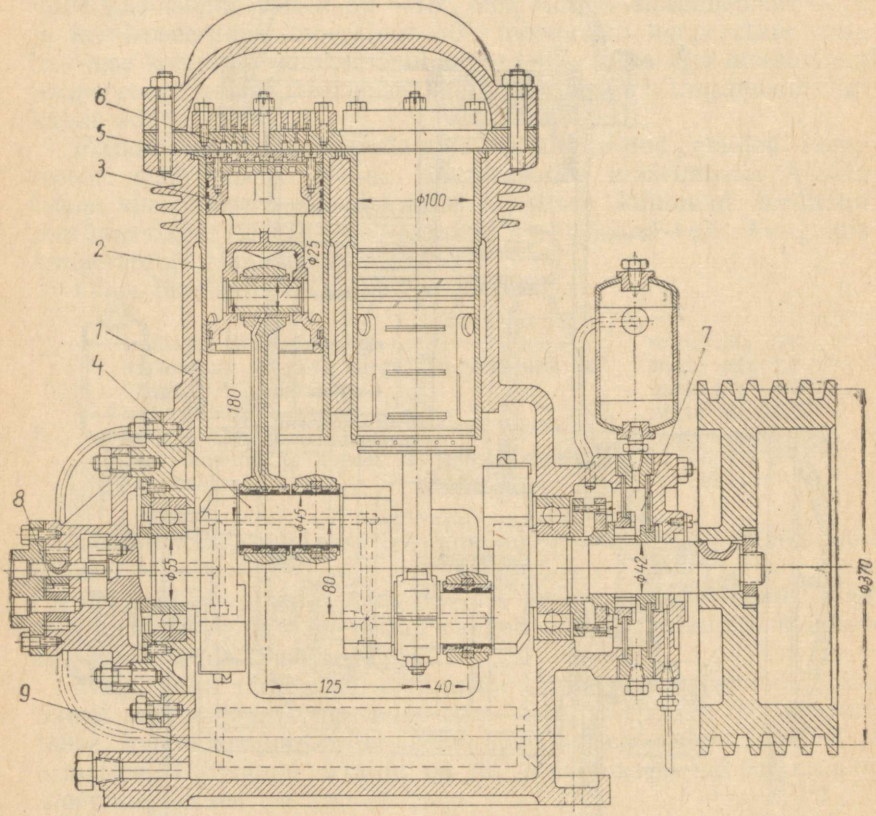
Joon. 71. V-kujuline neljasilindriline freoonikompressor 4ФУ-19:
1 — karter, *2* — silindrid, *3* — kolb, *4* — imiklapp, *5* — suruklapp, *6* — õlipump, *7* — väntvõll, *8* — membraantihend.

mise kergendamiseks ja külmatootlikkuse reguleerimiseks on kompressoril möödavoolutorustik (baipass), mis ühendab silindri surveruumi kompressori imemispoolega.

Joonisel 72 on kujutatud freoonikompressor 4ФУ-10. See on V-kujuline neljasilindriline otsevoolukompressor, külmatootlikkusega 35 000—45 000 kcal/h.

Silindrid koos karteriga on valatud kahe plokina. Plokk-karteril on kaks külgkaant, et võimaldada juurdepääsu väntmehhanismile ja silindrilisele õlifiltrile.

Silindritesse on pressitud spetsiaalsed hülsid. Kulunud hülsse on võimalik asendada uutega. Peale selle on hülsside abil võimalik muuta silindri läbimõõtu, mistõttu kompressor võib töötada



Joon. 72. Kompressor 4ФУ-10:

1 — plokk-karter, *2* — silindrihülsid, *3* — kolb, *4* — väntvõll, *5* — imiklapid, *6* — surukiapid, *7* — membraantihend, *8* — õlipump, *9* — õlifilter.

mitmesuguste külmutusagentide korral, kui kasutada vastava läbimõõduga hülsse ja kolbe. Väntvõll toetub kahele kuullaagrile. Võlli kaks põlve asetsevad teineteise suhtes 180° all; kummalegi võllikaelale kinnitatakse kaks kepsupead. Kolvil on kaks tihendusja üks õlirõngas. Kompressoris kasutatakse vedrudeta lintklappe ja õlilukuga membraantihendit.

Kompressorit määritakse väntvõllilt käitatava hammasrataspumba abil, mis paigutatakse karteri esikaane välisküljele. Pump

haarab karterist õli läbi võrkfiltri ja surub seda rõhu all, mis ületab 0,8—1,2 at võrra karteris valitseva rõhu, väntvõllisse puuritud kanali kaudu kepsulaagritesse ja edasi kepsude külge kinnitatud torude kaudu ülemiste peade juurde kolvisõrmede määrimiseks. Spetsiaalse toru kaudu suunatakse õli pumba juurest ka tihendikarpi, kust õli valgub karterisse. Kompressori silindreid määritakse õli laialipritsimise teel.

Kompressor 4ФУ-10 ehitatakse sama külmatootlikkusega ammoniaagikompressori 4АУ-8 baasil. Üleminek ühelt külmutusagendilt teisele on võimalik vahetatavate silindrihülsside ja vastava läbimõõduga kolbide kasutamise tõttu.

Freoonikompressori silindrid, võrreldes ammoniaagikompressori silindritega, on lihtsama konstruktsiooniga, sest freoonikompressori silindritel puuduvad jahutussärgid. Silindritel on kaks kaant: väline kaas, mis on kinnitatud silindri külge poltidega, ja sisemine kaas, mis eraldab silindri tööruumi silindri surveruumist. Sisemises kaanes paiknevad suruklapid. Erinevalt ammoniaagikompressori vahekaantest, mis surutakse vastu silindrit amortisatsioonivedruga, on freoonikompressori sisemine kaas kinnitatud jäigalt silindrile, sest vedruga vastusurutav vahekaas ei taga küllaldast tihedust.

Freoonikompressoris puudub hüdraulilise löögi oht, sest klappide läbivooluavad on küllalt suured, et läbi lasta kompressori silindrisse sattuvat vedelikku. Sellest seisukohast lähtudes pole vahekaane olemasolu samuti vajalik.

Vajaliku tihenduse tagamiseks paigaldatakse freoonikompressori silindrikaante ja silindrite endi kinnituspoldid tihedamini kui ammoniaagikompressoritel.

Silindrid valatakse malmist. Valanditele esitatakse erinõudeid tiheduse suhtes, sest nagu juba nimetatud, tungib freoon läbi väikseimate ebatiheduste ja isegi läbi metallipooride. Seejuures freoon, lahustades igasuguseid mittemetallilisi ühendeid ja eriti õli, tekitab malmis ise poore, kui valand pole küllalt tihe.

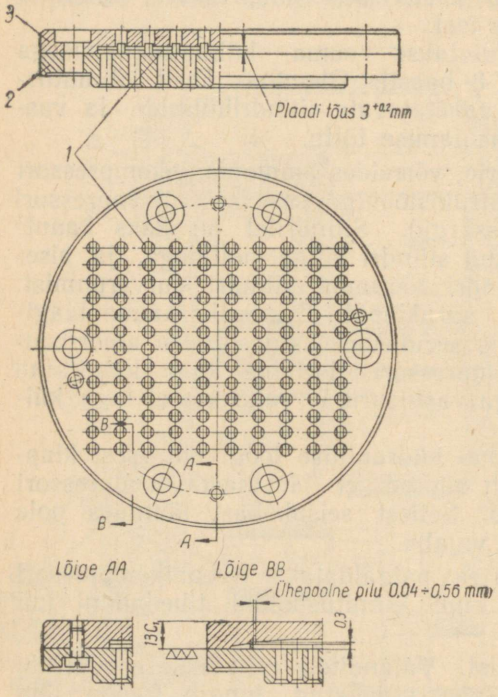
Nagu eespool nimetatud, erinevad freoonikompressori imi- ja suruklapid ammoniaagikompressori klappidest. Nad on suuremate mõõtmetega, suurema läbivooluavaga ja tagavad parema tihenduse. See saavutatakse spetsiaalsete vetruvate membraan- või lintklappide kasutamisega. Selline lintklapp on näidatud joonisel 73.

Klapi lint *1* surutakse tema elastsuse tõttu vastu klapipesa *2*. Survete vahe mõjul paindub lint välja, nii et tekib küllalt suur ristlõige freooni läbivoolamiseks.

Freoonikompressorite tihendid peavad tagama hea tihenduse. Seepärast ei kasutata sellistes kompressorites täidisega tihendeid, sest sel juhul esineb hõõrdumine ja võlli kulumine, mis halvendab tihendust. Freoonikompressorites kasutatakse õlilukuga membraantihendeid (vt. joon. 64), milles tihendus luuakse kahe rõngaspinna

vahel. Need pinnad asetsevad risti võlli teljega, mistõttu välditakse võlli kulumist.

Freoonikompressori määrimisel on rida iseärasusi. See on seletatav sellega, et freoonil on omadus lahustuda õlis, kusjuures lahustuvus sõltub õli rõhust ja temperatuurist. Mida kõrgem on õli rõhk ja mida madalam selle temperatuur, seda intensiivsemalt lahustub freoon õlis, mistõttu õli viskoossus väheneb.



Joon. 73. Freoonikompressori lintklapp:
1 — klapi lint, *2* — klapipesa, *3* — juhtpuks.

Vastupidi, õli temperatuuri tõusmisel toimub intensiivne freooni eraldumine õlist, kusjuures viimane võib isegi osaliselt vahustuda. Temperatuuri ja rõhu järsk muutus avaldab kahjulikku mõju freoonikompressori määrimise tingimustele ja õlipumba tööle. Kui näiteks õli temperatuur karteris on tunduvalt madalam kui laagrites, siis külma õli sattumisel soojenenud laagritele toimub freoonimullide eraldumine õlist, mis häirib normaalset määrimist ja katkestab õlikihi laagrites. Peale selle halveneb õli vahustumise ja viskoossuse muutumise tagajärjel õlipumba töö.

Järelikult tuleb freoonikompressori korraliku määrimise tagamiseks vältida õli temperatuuri ja rõhu järsku muutumist.

Õlipumba korralikuks töötamiseks asetatakse ta allapoole õlinivood ja käitatakse väntvõllilt.

Pumba abil surutakse õli torude ja kanalite kaudu masina hõõrdepindadele, kust ta voolab karterisse nagu ammoniaagikompressori määrimiselgi.

Freooni omadus lahustuda õlis mõjutab kompressori tootlikkust. Seda põhjustab asjaolu, et freooniauru rõhk ja temperatuur silindris pidevalt muutuvad, kuna aga silindri seintel asetseva õli ja samuti silindri seinte temperatuur muutub tähtsusetult vähe. Seetõttu on komprimeerimisel õli külmem kui aur ja viimane lahustub õlis; sisseimemisel auru rõhk langeb, mille tagajärjel freoon eraldub õlist.

Selline perioodiline freooni lahustumine õlis ja eraldumine õlist vähendab freoonikompressori kasutustegurit ja indikaatorkasutegurit ning järelikult ka külmatootlikkust.

Freooni perioodilise lahustumise kahjulik mõju väheneb, kui tõsta freooni ülekuumendustemperatuuri sisseimemisel. Küllalt kõrge ülekuumendustemperatuuri korral lähenevad freoonikompressori tööd iseloomustavate tegurite väärtused ammoniaagikompressori vastavate tegurite väärtustele.

§ 17. Väikeste külmutusmasinate kompressorid

Väikesed külmutuskompressorid on põhiliselt ette nähtud automatiseeritud seadmete jaoks, kus masinaid juhitakse ja reguleeritakse automaatsete aparaatide abil ilma teenindava personalita. Automaatika kasutamisel peab kompressori konstruktsioon ja eriti külmutusagent vastama erinõuetele.

Eespool käsitletud külmutusagentidest on automatiseeritud külmutusmasinate jaoks kõige sobivam freoon-12. Kõik käesoleval ajal valmistatavad väikesed automatiseeritud külmutusmasinad töötavad freooniga-12.

Enne freooni-12 kasutuselevõtmist kasutati väikestes külmutusmasinates teisi külmutusagente: väävlisgaasi ja metüülkloriidi. Ka praegu võib ekspluatatsioonis leida väävlisgaasiga ja metüülkloriidiga töötavaid väikesi automatiseeritud külmutusmasinaid. Ammoniaaki kasutatakse käesoleval ajal külmutusmasinates külmatootlikkusega 10 000 kcal/h ja rohkem.

Väikestes kompressorites kasutatakse vertikaalseid kahesilindrilisi otsevoolu- või ristvoolukompressoreid.

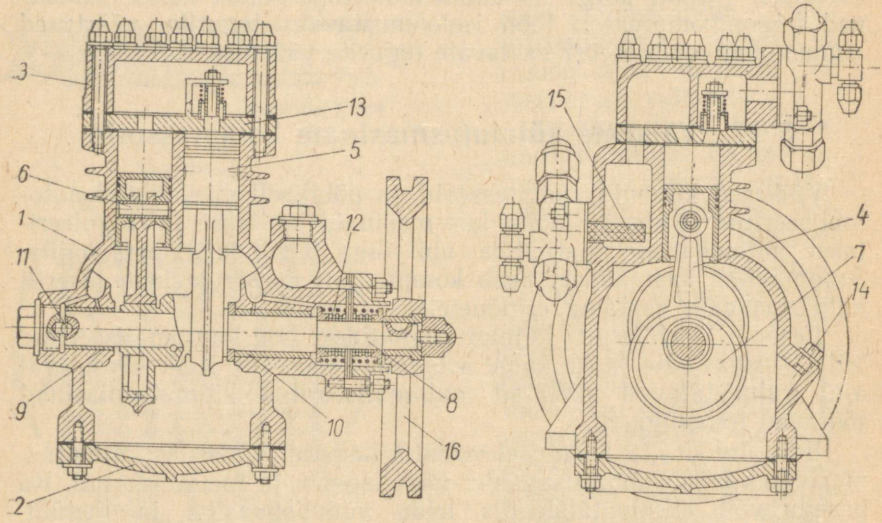
Otsevoolukompressorites, kus kasutatakse umbseid kolbe, on karteriruum sisseimetavast külmutusagendist eraldatud. Selle tagajärjel väheneb õli ärakandumine kompressori survepoolele (selliseid kolbe kasutatakse ammoniaagikompressorites). Läbiva avaga kolvil ei ole eraldavaid vaheseinu ja külmutusagendi sisseimemine toimub karteri kaudu. Sellise konstruktsiooni korral on õli ärakandumine kompressori karterist suurem. Need konstruktsioonid leiavad kasutamist väikestes väävlisgaasiga töötavates masinates.

Praegusaegsetes väikestes freooniga töötavates külmutusmasinates kasutatakse ristvoolukompressoreid, millede imi- ja suruklapid paiknevad silindri ülemises kaanes, nimelt vahelaes. Klappide puudumise tõttu on kolvid suhteliselt kergemad kui otsevoolukompressorites.

Ristvoolu kasutamine väikestes kompressorites on seletatav sellega, et otsevoolukompressori eelised on sel juhul tunduvalt väiksemad, sest kompressor imeb sisse tugevasti ülekuumendatud auru, mille tagajärjel soojusvahetus silindris ei avalda tema tootlikkusele märgatavat mõju.

Ristvoolukompressorite eeliseks on kolvi kergem kaal ja suhteliselt väike õli ärakandumine kompressori karterist.

Kaubandusettevõtetes ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes kasutatakse käesoleval ajal laialdaselt kõige väiksemaid freooniga töötavaid kolbkompressoreid 2ФВ-4, 2ФВ-4/4,5, 2ФВ-5, 2ФВ-6,5.



Joon. 74. Kompressor 2ФВ-4:

1 — karter, *2* — põhi, *3* — kaas, *4* — keps, *5* — kolb, *6* — kolvisõrm, *7* — ekstsentrikpuks, *8* — võll, *9* — eesmine puks, *10* — tagumine puks, *11* — tugilaager, *12* — tihend, *13* — klapilaud, *14* — kork, *15* — filter, *16* — hooratas.

Vertikaalne kahesilindriline ristvoolukompressor 2ФВ-4 on näidatud joonisel 74. Kompressori silindri läbimõõt on 40 mm, kolvikäik — 30 mm, pöörlemiskiirus on muudetav 600 kuni 800 p/min piires. Seda võib saavutada kompressori hooratta või elektrimootori rihmaratta vahetamisega. Kompressori külmatootlikkus standardsetes tingimustes on 500—700 kcal/h.

Kompressori silindrid valatakse ühes tükis karteriga peeneteralisest hallmalmist. Karteril *1* on äravõetav põhi *2*, mis avab juurdepääsu väntmehhanismile, ja stutser kompressori täitmiseks õliga.

Kompressoril on sirge võll *8*, mis valmistatakse terasest 20X termilise töötlemisega, kusjuures kõik tema hõõrdepinnad tsementeeritakse. Võll kinnitatakse antifriktsioonpronksist laagripuksidesse *9* ja *10*, mis on pressitud karterisse treitud avadesse. Võlli ots toetub peale selle kuul-tugilaagrile. Tugilaagri kuul asetseb karteri esiossa toetuvas võlliotsa treitud avas. Võlli vastaspoolsele otsale on istatud hooratas *16*.

Vända moodustamiseks kinnitatakse võlli keskmisele osale kiilpoldi abil ekstsentrikpuks *7* kahe kepsu jaoks. Ekstsentriku ja

tagumise laagripesa vahel on võllile asetatud kaks tugirõngast, mis takistavad võlli teljesuunalist nihkumist hooratta poole.

Kompressori lahtivõetamatute pesadega kepsud *4* valatakse antifriktsioonpronksist.

Alumise lahtivõetamatu pea abil ühendatakse keps ekstsentrikuga, ülemine pea ühendatakse kolvisõrme abil kolviga *5*. Kolvisõrmed on ujuvtüüpi, kusjuures nende teljesuunalise nihkumise piiramiseks on sõrmedele pandud pronksist tõkestid. Sõrmed valmistatakse terasest ja tsementeeritakse.

Kolvid on klappide puudumise tõttu kaalult kerged. Nad valmistatakse malmist. Kolbidel on kolm tihendusrõngast.

Karterist väljaulatuva võlliotsa tihendamiseks kasutatakse sülfoontihendit *12*.

Sülfoontihend kujutab endast metalltihendi erikuju. Selles tihendis, samuti nagu membraantihendiski, luuakse tihendus kahe rõngaspinna vahel, mis asetsevad risti kolvi teljega.

Sülfoontihendi põhimõtteline ehitus on näidatud joonisel 75. Ta koosneb sülfoonist, s. o. gofreeritud torust *3*, mille ühte otsa on joodetud pronksrõngas *2*, teise otsa aga ümmargune äärik, mis tavaliselt kinnitatakse karteri äärikuga, kusjuures äärikute vahele asetatakse vahelehed. Pronksrõngas on soveldatud võlli *1* kaelale ja surutakse selle vastu vedruga *4*, mis paikneb pronksrõnga ja ääriku vahel.

Sülfoon ei puutu kokku võlliga. Tihendus, mis luuakse pronksrõnga ja võllikaela vahel, takistab freooni ja õli väljavoolamist karterist.

Kompressoris 2ФВ-4 seatakse üles kaks sülfoontihendit (sisemine ja väline). Sisemise tihendi pronksrõngas on soveldatud kokku võlli kaelaga, väline tihend aga hooratta rummule. Sisemises tihendis on vedru 3,5 mm läbimõõduga traadist, välises tihendis 2,5 mm läbimõõduga traadist. See on selleks, et sülfoontihendi vedrude pingsuste vahe mõjul oleks tagatud tugilaagri kuuli pidev surve vastu tugilaagri pesa. Tihend valatakse üle õliga, mis loob täiendava tihenduse õliluku näol. Sellise konstruktsiooniga tihend on näidatud joonisel 76. Seda tihendit kasutatakse kompressoris 2ФВ-4/4,5.

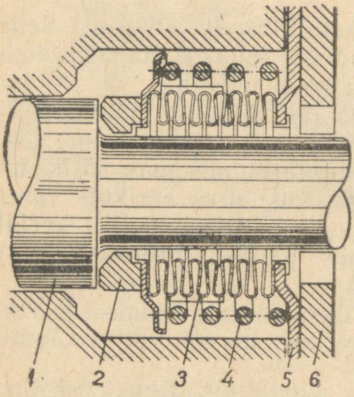
Kompressori 2ФВ-4 imi- ja suruklapid paiknevad silindri ülaosas klapilauas *1*, mis on jäigalt kinnitatud silindri kere külge, kusjuures vahele asetatakse pliivahelehed. Klapilaud koos klappidega on näidatud joonisel 77.

Vetruvad imiklapid valmistatakse 0,25 mm paksusest lehtvedruterasest. Klapi plaadi kaheharulised otsad kinnitatakse tihvtidega klapilaua külge silindri tööruumi poolele nii, et need plaadid katavad klapi sisselaskeava lauas. Imiklapi plaatide jaoks on klapilauas *1* vastavad süvendid.

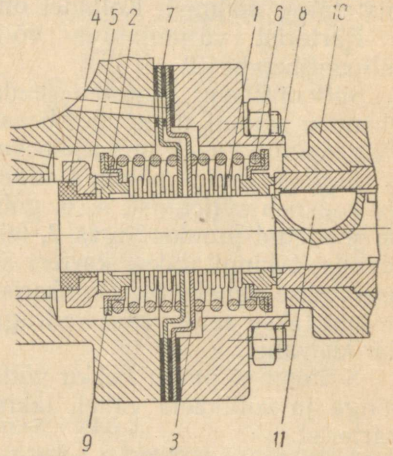
Suruklapid paigaldatakse klapilaua ülemisele pinnale. Nad koosnevad ümmargusest 0,3 mm paksusest terasplaadist *3*, mis on soveldatud vastu klapipesa. Klapi plaat surutakse klapipesa vastu

vedruga *4*, mis asetseb juhtpuksis *5*. Peale selle on suruklapid varustatud amortisatsioonivedrudega *7*, mis asetsevad juhtpuksi *5* ja toe *10* vahel. Nende vedrude ülesandeks on vältida vigastusi, juhul kui vedel freoon satub sisseimemisel silindrisse. Klappide töö- ja amortisatsioonivedrudel on ühine juhtpuks *6*.

Klapilaua kohal asetseb silindri ülemine kaas (silindripea), mille sisemine osa on jaotatud vaheseinaga imemis- ja surveruumiks. Silindripea kinnitatakse klapilaua külge tikkpoltidega. Silindripea ja laua vahele on asetatud pliivahelehed.



Joon. 75. Sülfoontihend:
1 — kompressori võll, *2* — tihendusrõngas, *3* — sülfoon, *4* — vedru, *5* — äärik.



Joon. 76. Sülfoontihend:
1 — sülfoon, *2* — rõngas, *3* — äärik, *4* — kummirõngas, *5* — terasrõngas, *6* — vedru, *7* — vaheleht, *8* — tihendi kaas, *9* — seib, *10* — hooratta puks, *11* — kiil.

Kompressori 2ФВ-4 imiventiil paikneb silindri külgseinas. Freooni aurud, läbides ventiili, suunduvad silindriplokis oleva kanali kaudu üles ja kohtavad oma teel vaheseina, mis soodustab õli eraldumist freoonist. Eraldunud õli voolab spetsiaalse ava kaudu karterisse, freooni aur aga, läbides veel filtri *15* (vt. joon. 74), suundub imiklappide juurde.

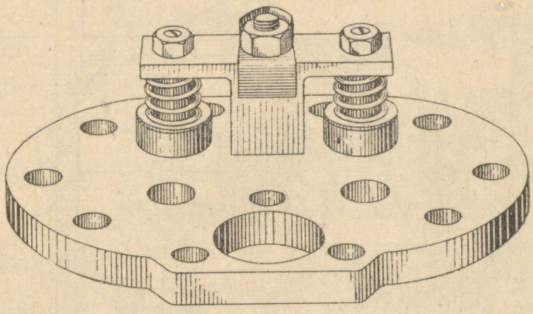
Kolvi allaliikumisel tekib silindris hõrendus rõhuni, mis on veidi madalam kui rõhk aurustajas, mille tagajärjel imiklapi plaat paindub veidi allapoole ja freooni aur tungib silindrisse.

Kolvi ülesliikumisel imiklapid sulguvad ja freooni aur komprimeeritakse rõhuni, mis veidi ületab rõhu kondensaatoris. Rõhkude vahe mõjul imiklapp avaneb ja freoon tõugatakse kompressori surveruumi, kust ta silindripea välisosas asetseva suruventiili kaudu voolab kondensaatorisse.

Kompressorit 2ФВ-4 määritakse õli laialipritsimise teel karte-

rist. Sülfoontihendi määrimiseks on tihendi kohal spetsiaalne õlireservuaar, mis õli juurdevalamiseks on varustatud korksulguriga.

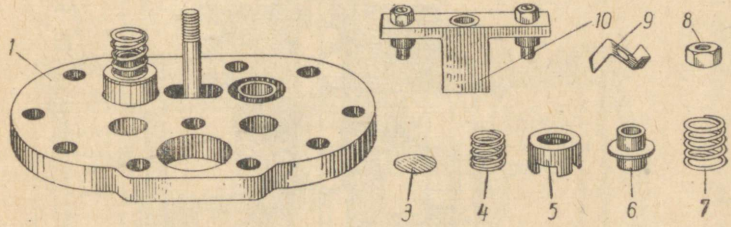
Kompressori 2ФВ-4 edasisel täiustamisel loodi uus mudel 2ФВ-4/4,5 (joon. 78), tehase mark КБ-1. See on vertikaalne kahesilindriline freoonikompressor. Silindri läbimõõt on 40 mm, kolvi-



Klapilaud kokkumonteeritult



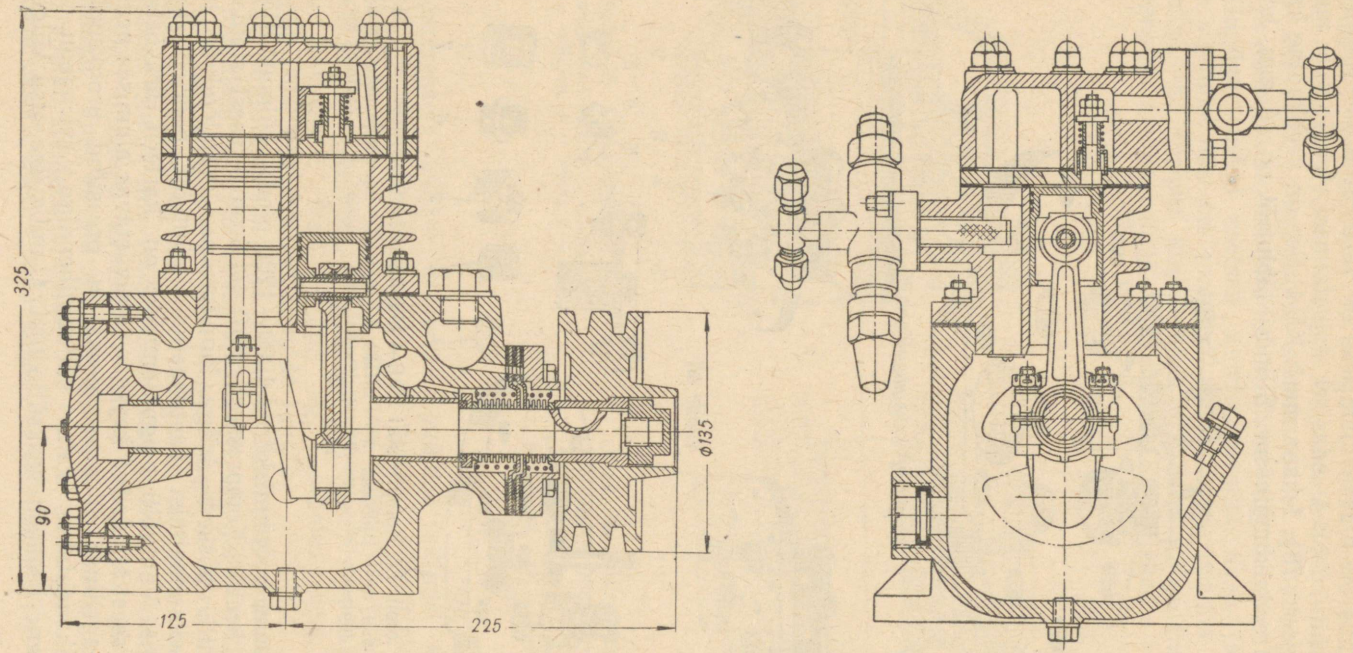
Vaade alt



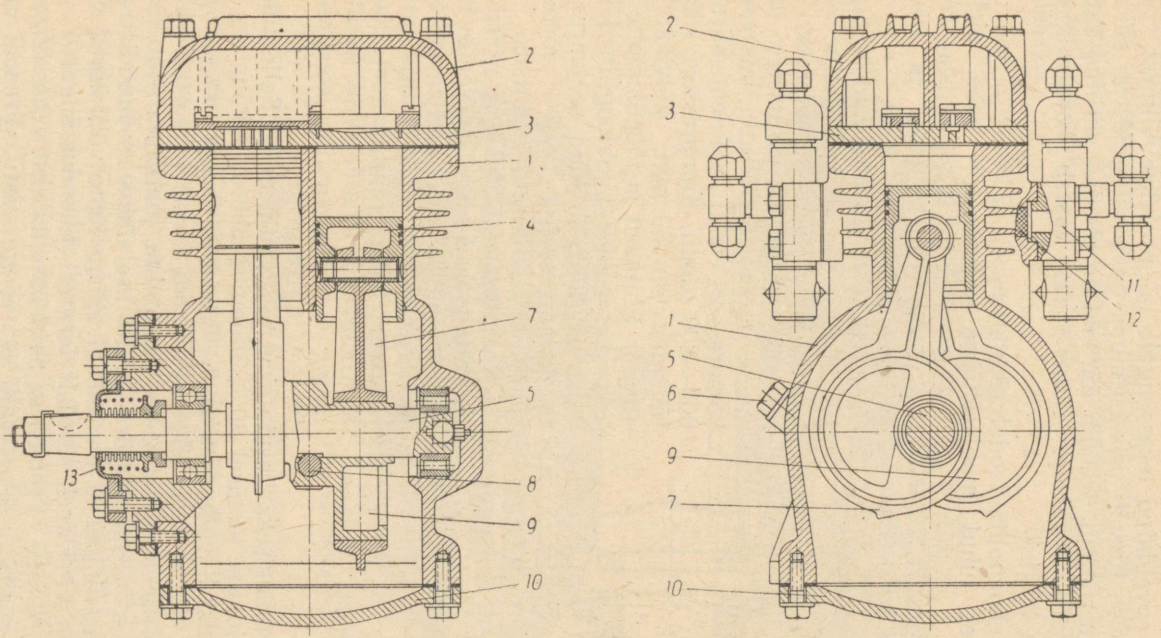
Joon. 77. Kompressori 2ФВ-4 klapilaud lahtivõetult:
1 — klapilaud, *2* — imiklapp, *3* — suruklapi plaat, *4* — suruklapi vedru, *5* — kaan, *6* — juhtpuks, *7* — amortisatsioonivedru, *8* — mutter, *9* — kontreerimisplaat, *10* — tugi.

käik — 45 mm, pöörlemiskiirus 1000—1200 p/min, külmatootlikkus 1500—2000 kcal/h. Kompressoril 2ФВ-4/4,5 on terasest stantsitud väntvõll, mille põskede külge kinnitatakse inertsjõudude tasakaalustamiseks malmist vastukaalud. Väntvõll pöörleb kahes pronkslaagris. Väntvõlli paigaldamiseks on karteril äravõetavad kaaned. Terasest stantsitud kepsude lahtivõetavas alumises peas on babiidist laagriliuad, ülemisse pessa on pressitud pronkspuksid.

Võlli tihendatakse kahe sülfoontihendiga (vt. joon. 76). Kumbki tihend koosneb vasksülfoonist *1*, mille ühe otsa külge on



Joon. 78. Kompressor 2ФВ-4,5.

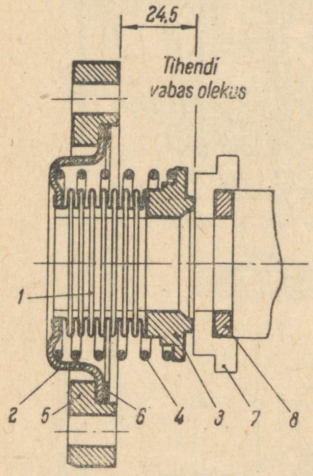


Joon. 79. Kompressor 2ФВ-5:

1 — plokk-karter, *2* — ülemine kaas, *3* — klapilaud, *4* — kolb, *5* — võll, *6* — õli sissevalamise ava kork, *7* — keps, *8* — piirdepolt, *9* — ekstsentrik, *10* — karteri alumine kaas, *11* — ventiil, *12* — võrk, *13* — sülfoontihend.

joodetud pronksrõngas, teise otsa aga äärik *3*. Väntvõllile on tihedalt istatud kummirõngas *4* (sevaniitkummist) ja karastatud terasest rõngas *5*, mis pöörlevad koos võlliga. Liikumatud pronksrõngad *2* on soveldatud terasrõngale ja surutakse viimase vastu vedruga *6*. Teise tihendi pronksrõngas on soveldatud ja surutud vastu hooratta rummu. Tihendi äärikud on tihedalt surutud karteri ja tihendi kaane *8* vahele. Muus osas vastab konstruktsioon kompressorile 2ФВ-4.

Tehas «Mehhanolit» toodab kompressorit 2ФВ-4/4,5 ka ilma tihendita. Sel juhul monteeritakse kompressor koos elektrimootoriga ühte hermeetilisse kesta. See väldib võlli kulumist ja freooni väljavoolamist.



Joon. 80. Kompressori 2ФВ-5 sülfoontihend:

1 — sülfoon, *2* — juhtkann, *3* — pronksrõngas, *4* — vedru, *5* — kaas, *6* — vaheleht, *7* — tihendusrõngas, *8* — sevaniitrõngas.

Joonisel 79 on näidatud kompressor 2ФВ-5. See on vertikaalne kahesilindriline ristvoolukompressor, külmatootlikkusega standardsetes tingimustes 1100—1500 kcal/h, mis vastab kompressori võlli pöörlemiskiirusele 600—800 p/min. Kompressori silindri läbimõõt on 50 mm, kolvikäik — 40 mm. Ehituselt ja tööpõhimõttelt on kompressor 2ФВ-5 analoogiline kompressoriga 2ФВ-4, kuid seejuures on tal kompressoriga 2ФВ-4 võrreldes rida konstruktiivseid iseärasusi.

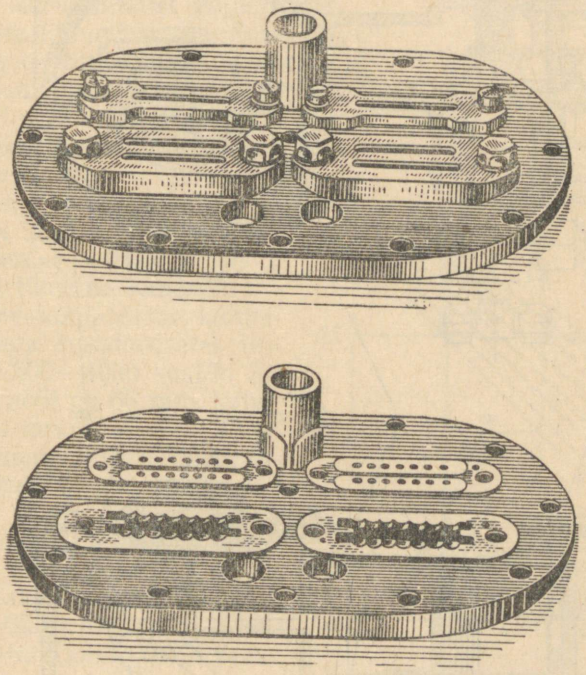
Kompressori 2ФВ-5 karteril on hoorattapoolsel küljel äravõetav kaas. Võll toetub kahele laagrile, milledest üks (rull-laager) on pressitud karterikeresse, teine (kuullaager) karteri äravõetavasse kaande. Võlli kuultugilaager on analoogiline kompressori 2ФВ-4 tugilaagriga.

Võlli tihendamiseks kasutatakse sülfoontihendit. Selle tihendi ehitus on näidatud joonisel 80. Sülfooni *1* ühe otsa külge on joodetud pronksist tihendusrõngas *3*, teise otsa külge terasest juhtkann *2*, mis kinnitatakse tihedalt tihendi kaane ja karteri vahele. Parema tiheduse saavutamiseks asetatakse juhtkannu ja karteri vahele vaheleht. Kompressori võllile asetatakse sevaniidist (õlikindel kummi) rõngas *8*, mis tihedalt liibub vastu võlli äärist. Seda kummirõngast ümbritseb tihedalt terasest tihendusrõngas *7*, mis pöörleb koos võlliga. Pronksrõngas *3* soveldatakse terasrõngale *7* ja surutakse vedruga *4* pidevalt terasrõnga vastu. Freooni väljapääsu karterist takistavad järelikult sülfoon, vaheleht tihenduse loomiseks juhtkannu ja karteri kaane vahel, kummirõngas tihenduse loomiseks terasrõnga ja võlli vahel ning lõpuks tihendusrõngaste soveldatud pinnad.

Tihendit ja teisi kompressori mehhanisme määritakse õli laialipritsimise teel karterist.

Kompressori imi- ja suruklappidena kasutatakse vetruvaid lintklappe (joon. 81).

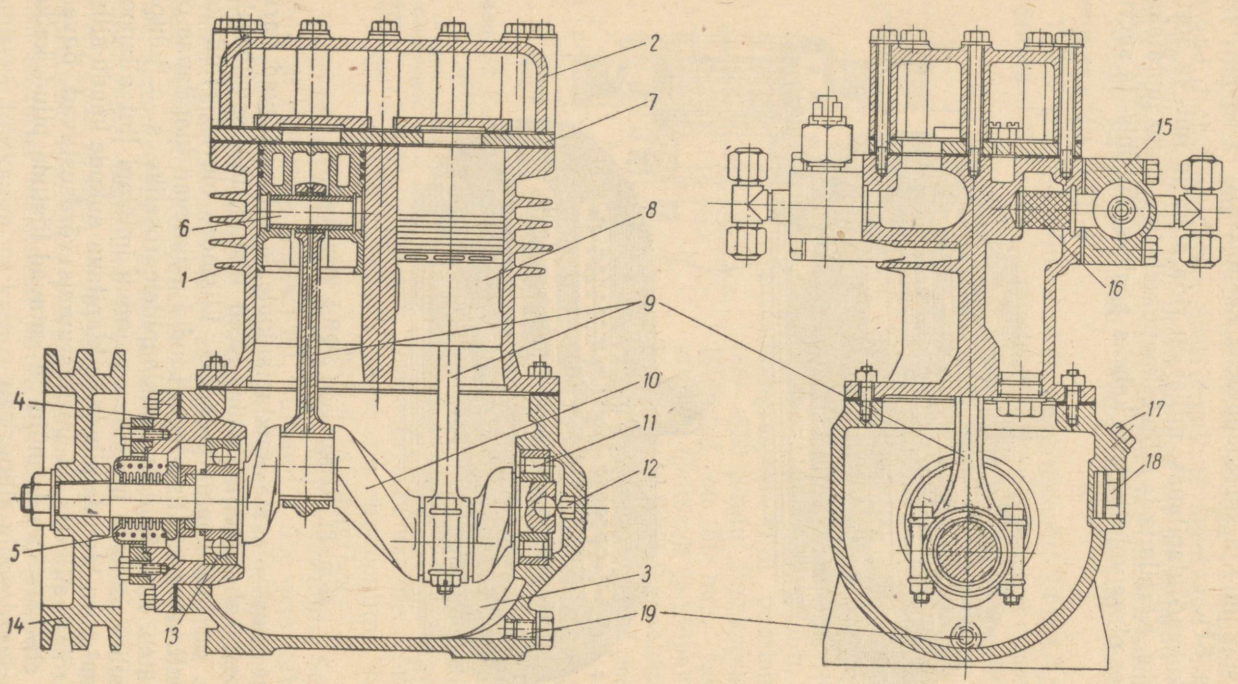
Nad paiknevad klapilauas, millel on rida aukusid imi- ja suruklappide jaoks. Klapilaua ja silindrikaane vaheline ruum jaotatakse silindrikaanes oleva vaheseinaga kaheks pooleks (imemis- ja survepooleks).



Joon. 81. Kompressori 2ФВ-5 klapilaud.

Klappide lauas olevate imiklapiaukude kohal asetsevad karastatud terasest kahe piluga liistud. Need liistud, mis soveldatakse klapilauale, on imiklappide pesadeks. Liistudes olevad pilud kaetakse altpoolt vetruvate lintidega. Lindid paiknevad klapilauas olevates õnarates. Klapilaud on imiklappidele rosetiks, s. o. juhtpinnaks. Kui silindris tekib hõrendus, paindub imiklapi lint allapoole, lastes freooni auru liistude pilude ja klapilaua aukude kaudu silindrisse. Kui rõhud silindris ja imemisruumis võrdsustuvad, õgvenevad lindid elastsusjõudude mõjul ja katavad liistude pilud, katkestades auru juurdevoolu silindrisse.

Suruklappides katab vetruv lint augud klapilauas, kusjuures klapilaud on antud juhul suruklappide pesaks. Ülevalpool klapi-

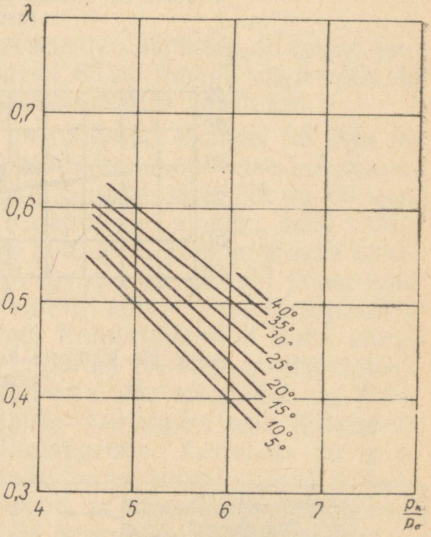


Joon. 82. Kompressor 2ФВ-6,5:

1 — silindriteplokk, *2* — ülemine kaas, *3* — karter, *4* — karteri kaas, *5* — sülfoontihend, *6* — kolvisõrm, *7* — klapilaud klappidega, *8* — kolb, *9* — keps, *10* — väntvõll, *11* — rull-laager, *12* — võlli tugi, *13* — kuullaager, *14* — hooratas, *15* — imiventiil, *16* — võrk, *17* — korgiga ava õli sissevalamiseks, *18* — vaateklaas, *19* — korgiga ava õli väljalaskmiseks.

lauda asetsevad lintide peal liistud, mis on suruklappide rosetiks. Kui rõhk silindris ületab rõhu surveruumis, paindub suruklapi lint ülespoole, väljudes klapilauas olevast avast, lastes seega freooni auru silindrist välja. Klapi lindi tõusu piirab klapi rosett, mis ühtlasi juhib selle lindi liikumist. Kui rõhud silindris ja surveruumis ühtlustuvad, õgvenevad lindid elastsusjõudude mõjul ja katavad ava klapilauas.

Klapilaua surveruumipoolsesse ossa on pressitud toru, mis kutsub esile surveruumist väljuva freooni auru liikumissuuna muutumise. Selle tõttu eraldub osaliselt freooni auru poolt silindrist kaasatoodud õli, mis klapitahvlile jäädes parendab klappide tihendust. Imi- ja suruklappide liistud kinnitatakse klapilaua külge poltidega.



Joon. 83. Freoonikompressori 2ΦB-4 kasutustegur.

Kompressor 2ΦB-6,5 (joon. 82) on vertikaalne kahesilindriline ristvoolukompressor, külmatootlikkusega standardsetes tingimustes 2500—4000 kcal/h. Silindri läbimõõt on 65 mm, kolvikäik — 50 mm.

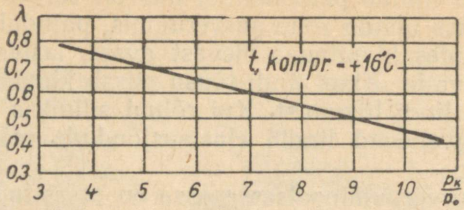
Selle kompressori konstruktiivsed iseärasused seisavad järgmises.

Kompressori 2ΦB-6,5 karter valatakse silindriplokist eraldi ja kinnitatakse selle külge ääriku abil tikkpoltidega. Äärik silindrite kinnitamiseks on tavalisest laiem, sest kompressori väntvõll siseneb karterisse selle ääriku kaudu.

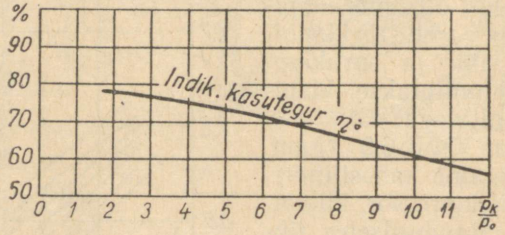
Silindriplokis on kanalid, mis ühendavad sulgventiile kompressori imemis- ja surveruumiga. Imikanal ühendatakse karteriga korksulgurit läbiva 3 mm läbimõõduga ava kaudu, mida mööda õli voolab karterisse tagasi.

Kompressoril on kahe põlvega terasest stantsitud väntvõll. I-profiiliga kepsud on stantsitud terasest. Kepsu alumine, lahtivõetav pea on kaetud babiidiga, ülemisse pesasse on pressitud pronkspuks. Keps ühendatakse kolviga ujuvtüüpi kolvisõrme abil, mille teljesuunalist nihkumist takistavad kolvi kehas olevatesse spetsiaalsetesse õnaratesse kinnitatud rõngasvedrud. Kolvil on kaks tihendus- ja üks õlirõngas.

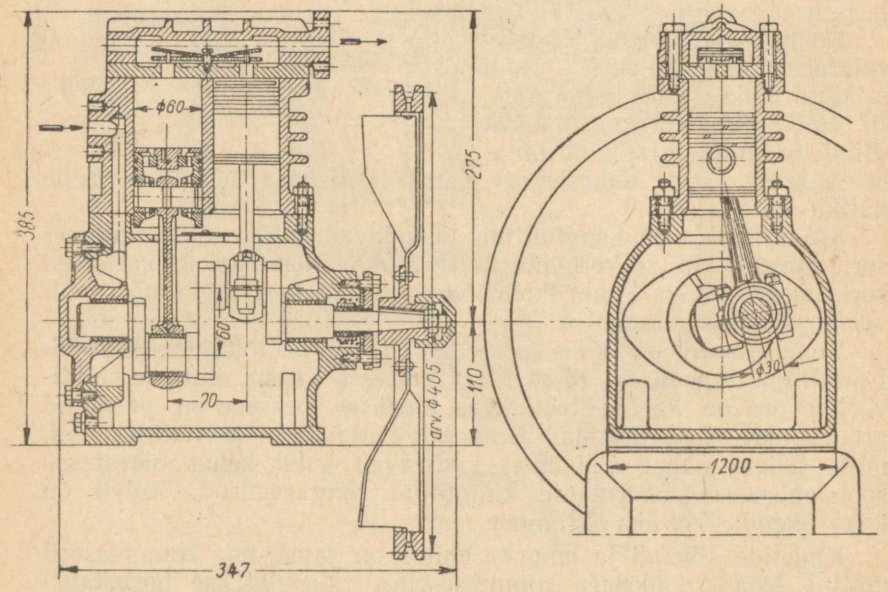
Klappide, tihendi ja laagrite ehitus on sama, mis kompressoril 2ΦB-5. Kõigis väikestes kompressorites rakendatakse barbotaažmäärimist.



Joon. 84. Kompressori 2ФВ-4/4,5 kasutustegur.



Joon. 85. Väikeste kompressorite indikaatorkasutegur.



Joon. 86. Väävlisgaasikompressor CA-7.

Kompressori 2ФВ-4 kasutusteguri väärtused on toodud joonisel 83 (НИИХИММАШ-i andmetel). Nagu graafikust nähtub, ei sõltu freoonikompressori kasutustegur mitte ainult imemisrõhu- ja surverõhu suhtest $\frac{p_k}{p_0}$, nagu see oli ammoniaagikompressorite korral, vaid ka ülekuumenduse määrast sisseimemisel, s. o. kompressorisse imetava auru temperatuuri ja külmutusagendi keemistemperatuuri vahest. Mida kõrgem on freooni auru temperatuur sisseimemisel, seda suurem on freoonikompressori kasutustegur ja järelikult ka tema tootlikkus.

Kompressori 2ФВ-4/4,5 kasutustegurite väärtused on antud joonisel 84 (ВНИХИ andmetel). Joonisel 85 on toodud väga väikeste kompressorite (М.Э.С.-12) indikaatorkasuteguri väärtused.

Väävlisgaasikompressor CA-7 on näidatud joonisel 86. See on vertikaalne kahesilindriline ühepoolse töötamisega otsevoolukompressor, külmatootlikkusega 700 kcal/h. Silindri läbimõõt on 60 mm, kolvikäik — 60 mm. Silindrid on valatud ühe plokina, kuid karterist lahus ja kinnitatakse selle külge poltidega. Imiklappidena kasutatakse üherõngalisi plaatklappe. Vetruvad suruklapid koosnevad ühest vetruvast terasplaadist kahe silindri kohta. Need terasplaadid kinnitatakse keskelt klapilaua külge. Komprimeeritud auru väljasurumisel paindub plaat ülespoole ja pärast rõhkude võrdsustamist langeb elastsuse tõttu tagasi klapipessa. Malmkolbidel on kolm tihendusrõngast. Kepsud valmistatakse stantsimise teel. Kolvisõrm kinnitatakse liikumatult kepsu silmlaagrisse, kusjuures ta võib vabalt pöörelda kolvis. Kahe põlvega terasväntvõll toetub kahele laagrile. Lahtivõetamatud pronkspuksid on pressitud karteri kaantesse. Väntvõlli väljaulatuvale otsale istatakse labadega hooratas. Võlli tihendamiseks kasutatakse sülfoontihendit.

Imistutser asetseb silindri seinas keskel. Väävlisgaasi aur voolab selle stutseri kaudu karterisse mööda silindri keresse puuritud kanalit. Karterist suundub aur läbi kolvi ja imiklappide silindri tööruumi. Sisseimemisel läbi karteri muutub külmutusagendi liikumise suund, mistõttu õli eraldub osaliselt külmutusagendi aurust. Komprimeeritud aur väljub silindri kaanes asetseva surustutseri kaudu. Kompressori määrimine toimub barboteerimismeetodil.

§ 18. Kolbkompressori põhiparameetrite määramine

Külmutuskompressorite põhiparameetriteks on suurused, mis määravad kompressori külmatootlikkuse ja tema poolt tarbitava võimsuse. Nendeks parameetriteks on silindri läbimõõt D, kolvikäik s, kompressori võlli pöörlemiskiirus n ja efektiivvõimsus kompressori võllil N_e.

Kompressori põhiparameetrite määramiseks peavad olema teada kompressori tüüp, tema külmatootlikkus ja töötingimused, s. o.

keemistemperatuur t_0, kondenseerumistemperatuur t_k, ülekuumendustemperatuur $t_ü$ ja sisseimemistemperatuur t_1.

Teades kolvikäigu mahtu V_h, võib määrata silindri mõõtmed. Väljendame V_h silindri mõõtmete kaudu:

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} \cdot Snz \ 60 \ \text{m}^3/\text{h}, \qquad (1)$$

kus D — kompressori silindri läbimõõt m;
n — kompressori võlli pöörlemiskiirus p/min;
S — kolvikäik m;
z — kompressori silindrite arv (horisontaalsete kahepoolse töötamisega kompressoritel võib võtta $z=2$).

Võrrandist (1) võib määrata silindri läbimõõdu:

$$D = \sqrt{\frac{4\,V_h}{\pi Snz \cdot 60}} \ \text{m}. \qquad (2)$$

Selles võrrandis on kolm tundmatut, nimelt D, S ja n. Läbimõõdu määramiseks viime võrrandisse (2) sisse kolvi keskmise kiiruse c_m. Kolvi keskmine kiirus, s. o. kolvi poolt sekundis läbitud tee avaldub järgmiselt:

$$c_m = \frac{2Sn}{60} = \frac{Sn}{30}. \qquad (3)$$

Siit

$$Sn = 30c_m.$$

Asendades võrrandis (2) korrutise Sn avaldisega $30c_m$, saame

$$D = \sqrt{\frac{4\,V_h}{\pi \cdot 30\,c_m \cdot z \cdot 60}} = \sqrt{\frac{V_h}{450\,\pi\,c_m \cdot z}} \ \text{m}. \qquad (4)$$

Kolvi keskmine kiirus tuleb valida sõltuvalt projekteeritava kompressori külmatootlikkusest. Nii töötavad praegusaegsed suured kompressorid harilikult kolvi keskmise kiirusega 2,5—3,5 m/sec, keskmised kompressorid — kiirusega 2,5—1,2 m/sec ja väikesed kompressorid kiirusega kuni 1,5 m/sec.

Kolvikäigu s määramiseks tuleb ette anda suurus $\frac{S}{D}$ (kolvikäigu S ja läbimõõdu D suhe). See suurus sõltub nii kompressori konstruktiivsest kujust kui ka külmutusagendist. Vertikaalsetes ammoniaagikompressorites on suhe $\frac{S}{D} = 1 \div 1{,}2$, kusjuures suurematele masinatele vastab ka suurem suhte $\frac{S}{D}$ väärtus. Horisontaalsetes ammoniaagikompressorites on see suhe veidi suurem, nimelt $1{,}1 \div 1{,}3$. Freoonikompressorites on kolvikäigu ja läbimõõdu suhe alati väiksem kui ammoniaagikompressorites ja on 0,7—0,8.

Kompressori võlli pöörlemiskiirus määratakse valemist (3):

$$n = \frac{30\ c^m}{S}.$$

Arvestuste õigsust võib kontrollida kompressori käiguteguriga n^2S, mis iseloomustab inertsjõudude suurust liikumismehhanismis. Aeglasekäigulistel masinatel on käigutegur 6000—12 000, keskmisekäigulistel masinatel 12 000—18 000 ja kiirekäigulistel masinatel üle 18 000.

Kui arvutustel saadud käigutegur erineb tunduvalt sama tüüpi masinate tavaliselt kasutatavatest väärtustest, siis tuleb arvutus ümber teha. Selleks tuleb ette anda teistsugune kolvi keskmise kiiruse suurus c_m ja teistsugune kolvikäigu ja silindri läbimõõdu suhe $\frac{S}{D}$.

Arvestuse hõlbustamiseks on otstarbekas ette anda mitu suhet $\frac{S}{D}$. See kergendab sobivamate suuruste valikut.

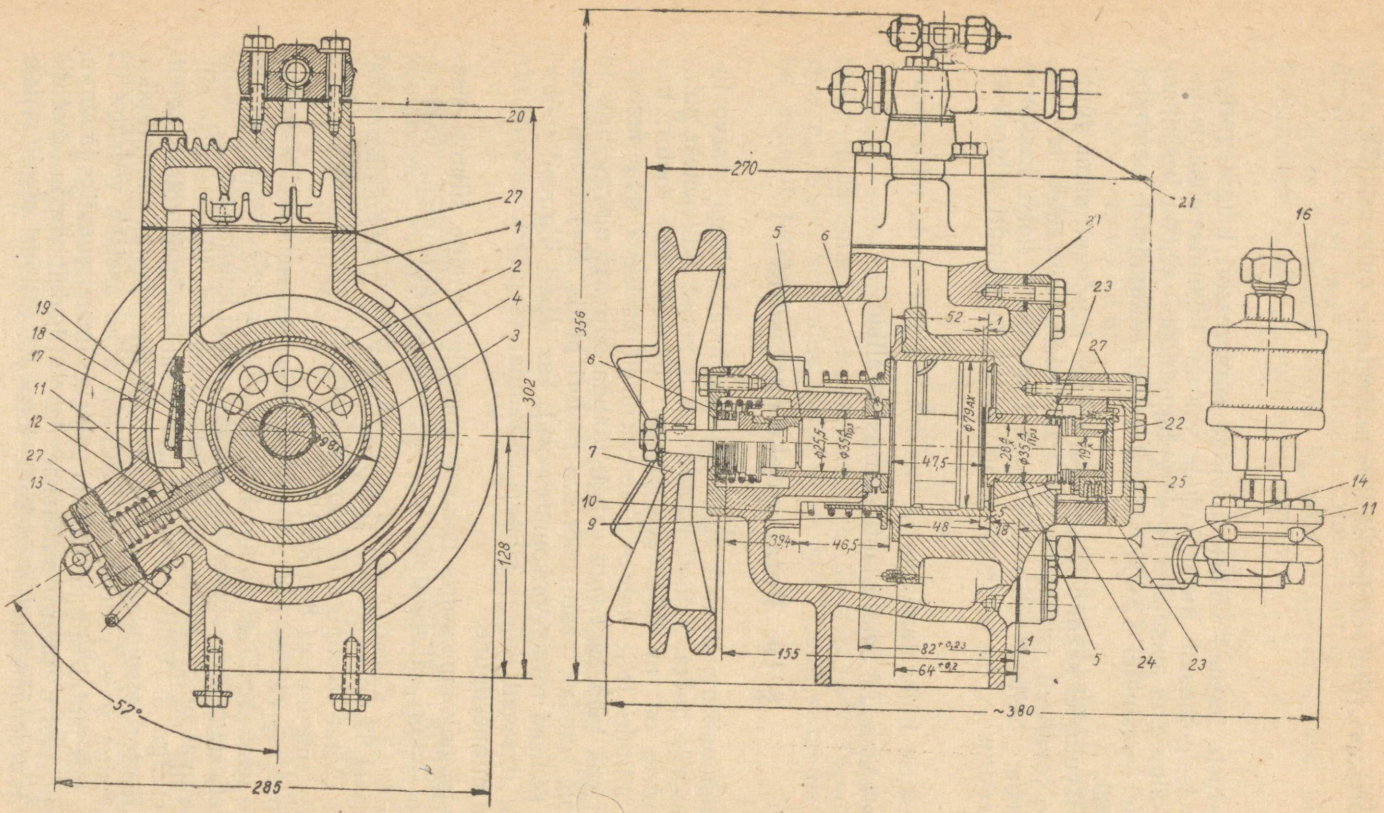
§ 19. Rotatsioonkompressorid

Rotatsioonkompressorid kuuluvad pöörleva kolviga otsevoolukompressorite hulka. Selliste kompressorite konstruktiivseteks põhielementideks on: a) liikumatu silinder; b) kolb ehk rootor, mis pöörleb silindri telje suhtes ekstsentriliselt asetseva telje ümber; c) plaat ehk laba, mis võib vabalt liikuda silindris olevas pilus ja mis surub tihedalt vastu pöörleva rootori pinda. Kasutamist leiavad ka sellised rotatsioonkompressorid, kus labad liiguvad rootori pilus ja libisevad mööda silindri sisepinda; seejuures võib labade arv olla mitmesugune.

Rotatsioonkompressoris põhineb komprimeerimine silindri sisepindade, rootori välispindade ja laba poolt piiratud mahu vähenemisel.

Joonisel 87 on kujutatud agregaadi ФРУ-08 rotatsioonkompressor, mis töötab freooniga-12. Kompressori külmatootlikkus on standardsetes tingimustes 800 kcal/h.

Kompressori keres *1* on silinder *2*, mille sees asetseb ekstsentrikvõllile *4* istatud pöörlev rootor *3*. Võll toetub kahele pronkslaagrile. Võlli teljesuunalist nihkumist takistab tugi-kuullaager *6*. Võlli väljaulatuvat otsa, millele kinnitatakse hooratas, tihendatakse sülfoontihendiga *8*. Võlli vastaspoolsel otsal paikneb rotatsioonõlipump. Rootori otspindade ja silindri vaheline tihedus saavutatakse survepuksiga *9* ja vedruga *10*. Silindri avas asetseb vedruga *12* laba *11*, mis jaotab silindri kaheks pooleks: imemisruumiks ja surveruumiks. Vedru mõjul surutakse laba tihedalt vastu rootorit. Labale juurdepääsemiseks on keres kaas *13*. Silindri otspinda kee-



Joon. 87. Rotatsioonkompressor ФРУ-0,8:

1 — kere, *2* — silinder, *3* — rootor, *4* — ekstsentrikvõll, *5* — pronkslaager, *6* — tugi-kuullaager, *7* — hooratas, *8* — tihend, *9* — survepuks, *10* — vedru, *11* — laba, *12* — vedru, *13* — kaas, *14* — imiventiil, *15* — tagasilöögiklapp, *16* — võrkfilter, *17* — suruklapp, *18* — vedru, *19* — piiraja, *20* — pea, *21* — suruventiil, *22* — pumbarootor, *23* — vedru, *24* — pumba kere, *25* — laba, *26* — vedru, *27* — vaheleht.

ratakse imiventiil *14* tagasilöögiklapiga *15* ja võrkfiltriga *16*. Silindri kere paikneb suruklapp *17*. Klapi plaat surutakse vastu silindri kere lehtvedruga *18*. Klapi plaadi tõus on piiratud, mida tagab piiraja *19*. Ülalt on kompressori kere külge kinnitatud pea *20*, kus asetsevad õlieraldaja ja suruventiil *21*.

Kompressori kõigi hõõrdepindade määrimine toimub surve all oleva õliga rotatsioonõlipumba abil. Pumba rootor *22* on istatud ekstsentrikvõlli otsale ja ta surutakse vedruga *23* tihedalt vastu kere kaant. Pumba keres *24* on pilu vedruga *26* laba *25* jaoks. Pumba töötamisel imetakse õli kompressori alumisest osast pumba silindrisse ja surutakse sealt sülfoontihendisse.

Kompressori hermeetilisuse tagamiseks kasutatakse plii- ja paraniitvahelehti *27* ja sülfoontihendit.

Kompressori rootor pöörleb hooratta poolt vaadates kellaosuti liikumise suunas. Kompressorit käitatakse elektrimootorilt kiilrihmülekande abil.

Ekstsentrikvõlli pöörlemisel rullub rootor mööda silindri sisepinda. Kui rootor asetseb surnud punktis, s. t. kui rootor on laba kohal surutud vastu silindrit, on silindris üks ruum, mis on täidetud freooniga. Rootori asendi muutumisel moodustub kaks labaga eraldatud ruumi. Rootori edasirullumisel tema ees oleva ruumi maht väheneb ja freooni aur komprimeeritakse. Seejuures rootori taga oleva ruumi maht suureneb ja selles ruumis tekib hõrendus. Seetõttu imetakse freooni aur aurustajast imiventiili ja tagasilöögiklapi kaudu kompressori silindrisse. Imemisprotsess lõpeb, kui rootor jõuab uuesti surnud punkti. Imemisruumi maht on sel hetkel maksimaalne. Rootori edasiliikumisel muutub imemisruum komprimeerimisruumiks. Samal ajal moodustub rootori taga jällegi imemisruum.

Kui rõhk komprimeerimisruumis ületab rõhu kondensaatoris, avaneb suruklapp ja komprimeeritud aur surutakse õlieraldaja kaudu kondensaatorisse. Õlieraldaja ülesandeks on kinni pidada freooni auruga kompressorist kaasaviidud õli ja seega vähendada kondensaatorisse sattuva õli hulka.

Kompressori imiventiili ees asetseb tagasilöögiklapp ja võrkfilter.

Tagasilöögiklapi ülesandeks on vältida freooni auru tagasipöördumist kompressorist aurustajasse. See on eriti tähtis masina seiskamise perioodil. Võrkfilter peab kinni montaaži ajal süsteemi sattunud mehaanilised osakesed.

Rotatsioonkompressorite eelised: 1) edasi-tagasi liikuvate detailide puudumine; 2) hea tasakaalustatus; 3) imiklappide, mõnel juhul ka suruklappide puudumine; 4) võimalus otseseks ühendamiseks elektrimootoriga küllalt suure pöörlemiskiiruse korral.

Puudused: 1) suuremad mehaanilised kaod, võrreldes kolbkompressoritega; 2) valmistamise suhteline keerukus; 3) piiratud suurusega lõpprõhk (mitte üle 8—10 at).

Kompressori ФРУ-08 tehnilised andmed:

1. Külmatootlikkus standardsetes tingimustes . . 800 kcal/h;
2. Silindri läbimõõt . . . . . 98 mm;
3. Rootori läbimõõt . . . . . 86 mm;
4. Rootori ühele pöördele vastav maht . . . . 83 cm^3;
5. Kompressori võlli pöörlemiskiirus . . . . . 790 p/min.

Kompressorit ФРУ-08 kasutatakse ühiskondliku toitlustamise ettevõtete ja kaubandusettevõtete külmutusseadmetes kappide, lettide, lahtivõetavate kambrite jt. jahutamiseks.

§ 20. Turbokompressorid

Turbokompressor (joon. 88) koosneb tööratastest *1* (kompressori rootor), mis on istatud kompressori sirgele võllile *2*. Tööratastel on rida labidaid *3* ja mööda ümbermõõtu difuusorid *4*. Võll pöörleb kahes kandelaagris *5* ja toetub vastu tugilaagrit *6*. Võlli väljumiskohta kestast *8* tihendatakse tihendiga *7*. Kompressori tööruumist väljaviidud laagrit ja tihendit määritakse hammasratas-pumba *9* abil.

Turbokompressorid töötavad suure pöörlemiskiirusega — 4000—8000 p/min.

Külmutusagendi aurude komprimeerimine turbokompressoris põhineb tsentrifugaaljõudude tekkimisel tööratta suure pöörlemiskiiruse tagajärjel ja külmutusagendi poolt tööratta labadel omandatud kineetilise energia (liikumisenergia) muundumisel potentsiaalseks energiaks. See muundumine toimub difuusoris, kus külmutusagendi liikumiskiiruse langemise arvel tema rõhk tõuseb.

Külmutusagendi aur satub imitoru *10* kaudu tööratta labidatele võlli juurest. Tööratta kiirel pöörlemisel ringkiirusega umbes 200 m/sec omandab külmutusagent kineetilise energia, mis seejärel külmutusagendi voolamisel läbi difuusori *4* muundub potentsiaalseks energiaks, tõstes rõhku. Järelikult külmutusagendi voolamisel läbi difuusori toimub rõhu tõusmine tööratta labidatel omandatud liikumiskiiruse langemise arvel.

Suunates auru järjekorras läbi mitme ratta, võib saada vajaliku lõpprõhu.

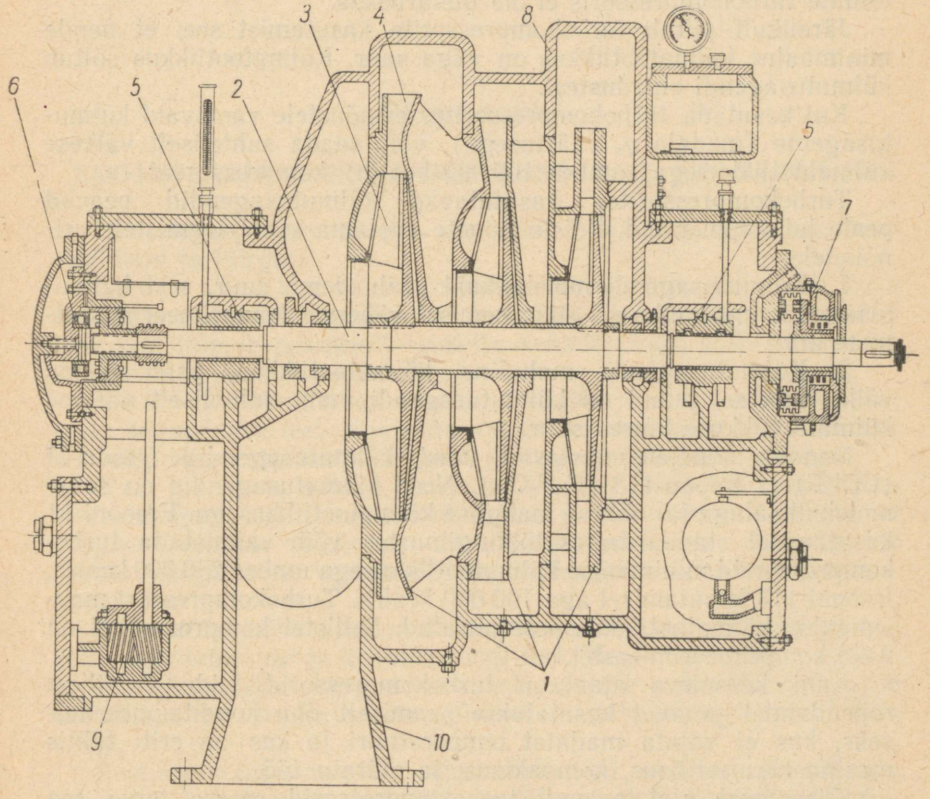
Turbokompressoritel on võrreldes kolbkompressoritega järgmised eelised:

1. Efektiivne võimalus valmistada suure tootlikkusega agregaate (3—5 milj. kcal/h);
2. käivitamise ohutus suletud suruventiili korral, sest komprimeerimise lõpprõhk sõltub ainult turbokompressori pöörlemiskiirusest;
3. liikuvate osadega klappide puudumine, mille takistust tuleb ületada kolbkompressoris;
4. sisemise määrimise puudumine, mistõttu välditakse määrdeõli sattumine soojusvahetusaparaatidesse (aurustajasse ja konden-

saatorisse), kus see, kattes soojusläbikandepinda, halvendab soojusläbikandetegurit;

5. masina hea hermeetilisus, mistõttu külmutusagendi väljatungimine ja õhu sisseimemine on minimaalne;

6. lihtne teostada mitmeastmelist komprimeerimist ja reguleerimist;



Joon. 88. Kolmeastmeline turbokompressor:
1 — tööratas, *2* — võll, *3* — labidad, *4* — difuusor, *5* — kandelaager, *6* — tugilaager, *7* — tihend, *8* — kest, *9* — õlipump, *10* — imitoru.

7. masina kompaktsus ja tasakaalustatus muutuvate inertsjõudude puuduse tõttu;

8. võrdlemisi väike hõivatav pind, väike kaal ja kerge vundament.

Vaatamata loetletud eelistele pole turbokompressorid veel leidnud laialdast kasutamist. See seletub asjaoluga, et turbokompressor töötab efektiivselt ainult tsirkuleeriva külmutusagendi suure mahu korral, sest ainult sel juhul ei mõjuta külmutusagendi ülevoolamine tööratast ja kesta vahel ning labidatega tööratast hõõrdumine auru keskkonnas tunduvalt turbokompressori kasu-

tegurit. Et tsirkuleeriva külmutusagendi maht peab turbokompressoris olema suur, siis peab ka tema külmatootlikkus olema suur. Näiteks ammoniaagiga töötava turbokompressori minimaalne külmatootlikkus küllaldaselt kõrge kasuteguri korral on 1 500 000 kcal/h; seejuures peab turbokompressoril olema 15 komprimeerimisastet. Sellest nähtub, et selliste külmutusagentide kasutamine turbokompressoris ei ole otstarbekas.

Järelikult piirab turbokompressorite kasutamist see, et nende minimaalne külmatootlikkus on väga suur. Külmatootlikkus sõltub külmutusagendi omadustest.

Kui kasutada turbokompressorites erinõuetele vastavaid külmutusagente (madala q_v väärtusega), võib saada suhteliselt väikese külmatootlikkusega (umbes 100 000 kcal/h) kompressoreid.

Turbokompressorites kasutatavad külmutusagendid peavad peale juba nimetatud üldiste nõuete vastama veel järgmistele erinõuetele:

1. Külmutusagendi molekulkaal peab olema suur, sest külmutusagendi molekulkaalu suurenemisel väheneb komprimeerimisastmete arv;
2. Külmutusagendi mahuline külmatootlikkus peab olema väike, sest sel puhul on külmutusagendi maht suhteliselt väikese külmatootlikkuse juures suur.

Nendele nõuetele vastavad uued külmutusagendid freoon-11 (CCl_3F) ja freoon-113 ($C_2F_3Cl_3$). Need külmutusagendid on suure molekulkaaluga ja väikese mahulise külmatootlikkusega. Freooni-11 kasutamisel standardsetes töötingimustes võib valmistada turbokompressoreid minimaalse külmatootlikkusega umbes 250 000 kcal/h, freooni-113 kasutamisel aga 100 000 kcal/h. Turbokompressori maksimaalne külmatootlikkus pole piiratud. Sellistel kompressoritel on 2—3 komprimeerimisastet.

Kuni käesoleva ajani on turbokompressorid leidnud vähest rakendamist ja neid kasutatakse peamiselt õhu konditsioneerimiseks, kus ei vajata madalat temperatuuri ja kus on eriti tähtis masina hermeetilisus, kompaktsus, ja müratu töö.

Käesoleval ajal peavad turbokompressorid seoses terve rea kõrgemolekulaarsete freoonide kasutuselevõtmisega leidma laialdast rakendamist.

Freoonide kasutamisel turbokompressorites langeb ära nende negatiivne omadus — intensiivselt tungida läbi ebatiheduste, sest turbokompressor on küllaldaselt hermeetiline masin. Hermeetilisuse tõttu on peaaegu välditud koos õhuga niiskuse sissetungimine, mis põhjustab jääkorkide moodustumist. Ka freooni teine negatiivne omadus — intensiivne lahustumine õlis — ei avalda kahjulikku mõju soojusvahetusaparaatide tööle, sest kompressori tööruumi ei määrita.

Freooniga töötava turbokompressori loetletud eelised lubavad oletada, et lähematel aastatel tõrjutakse kolbkompressorid tootlikkusega üle 500 000 kcal/h turbokompressorite poolt välja.

IV peatükk

SOOJUSLÄBIKANNE KÜLMUTUSSEADME APARAATIDES

Eristatakse kolme soojuse levimise viisi: soojusjuhtivus, konvektsioon ja kiirgus.

Soojusjuhtivus on nähtus, mispuhul soojus levib keha osakeste vahetu kokkupuutumise teel. Soojuse levimine soojusjuhtivuse teel toimub peamiselt tahketes kehades, kuid võib esineda ka vedelates ja gaasilistes kehades.

Konvektsioon on nähtus, mispuhul soojus levib keha osakeste segunemise teel. Konvektsioon esineb vedelates ja gaasilistes kehades. Konvektsiooniga kaasub alati soojusjuhtivuse nähtus.

Kiirgus on nähtus, mispuhul soojus levib läbi keskkonna elektromagnetiliste lainetena. Kiirguse puhul, erinevalt eelmistest soojuse levimise viisidest, toimub soojusenergia muundumine kiirgusenergiaks ja, vastupidi, kiirgusenergia muundumine soojusenergiaks.

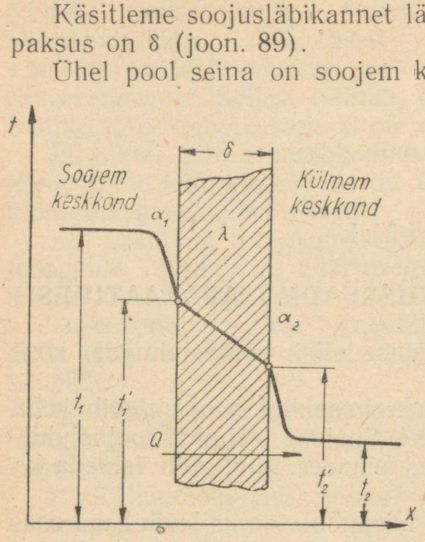
Külmutusseadme soojusvahetusaparaatides levib soojus peamiselt soojusjuhtivuse ja konvektsiooni teel. Nende aparaatide soojusarvutustel jäetakse kiirgus tavaliselt arvesse võtmata, sest selle osatähtsus on kompressoris esineva madala temperatuuri tõttu väike.

Soojusvahetusaparaatide ülesandeks on soojuse üleandmine soojemalt kehalt külmemale läbi eraldava seina. Seintena kasutatakse soojusvahetusaparaatides hästi soojust juhtivaid materjale, näiteks metalltorusid. Nendes aparaatides ei esine üksikud soojusvahetuse viisid puhtal kujul, vaid mitmesugustes kombinatsioonides üksteisega. Näiteks külmutusseadme aurustajas kandub soojus õhult või soolalahuselt torude välispinnale konvektsiooni teel. Aurustaja välispinnalt sisepinnale kandub soojust ainult soojusjuhtivuse teel. Ja lõpuks aurustaja sisepinnalt kandub soojus keevale külmutusagendile konvektsiooni teel. Soojuse ülekandmise protsessi soojemalt kehalt külmemale läbi eraldava vaheseina nimetatakse soojusläbikandeks.

§ 21. Soojusläbikande põhivõrrandid

Käsitleme soojusläbikannet läbi homogeense tasase seina, mille paksus on δ (joon. 89).

Ühel pool seina on soojem keskkond temperatuuriga t_1, teisel pool aga külmem keskkond temperatuuriga t_2. Soojusvoog Q on suunatud soojema keskkonna poolt külmema poole.



Joon. 89. Homogeenne tasane sein.

Soojusläbikanne läbi seina jaguneb kolmeks protsessiks: a) konvektsioon soojema keskkonna ja seina vahel, mida nimetatakse soojusülekandeks; b) soojusjuhtivus läbi seina; c) konvektsioon ehk soojusülekanne seina pinnalt külmemale keskkonnale.

Kui süsteemis esineb püsiv soojusrežiim, siis on soojemalt keskkonnalt seinale kanduv soojushulk, läbi seina kanduv soojushulk ja seinalt külmemale keskkonnale kanduv soojushulk võrdsed. Sel juhul avaldub läbikanduv soojushulk Q järgmiste võrranditega.

1. Soojemalt keskkonnalt seinale ülekanduv soojushulk

$$Q = \alpha_1 F (t_1 - t'_1) \text{ kcal/h}, \qquad (1)$$

kus α_1 — soojusülekandetegur kcal/m² h°, mis iseloomustab soojusvahetuse intensiivsust soojema keskkonna ja seina vahel. Soojusülekandeteguri väärtus on võrdne soojushulgaga, mis kandub keskkonnalt seinale ühes ajaühikus (tund) läbi ühe pinnaühiku (m²), kui temperatuuride vahe on 1°;

F — soojusülekandepind m²;

t_1 — soojema keskkonna temperatuur;

t'_1 — soojema keskkonna poolse seinapinna temperatuur.

2. Läbi seina kanduv soojushulk

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} F (t'_1 - t'_2) \text{ kcal/h}, \qquad (2)$$

kus δ — seina paksus m;

λ — seina soojusjuhtivustegur kcal/mh°, mis iseloomustab keha võimet juhtida soojust. Soojusjuhtivusteguri väärtus on võrdne soojushulgaga, mis kandub ajaühikus (tund) läbi pinnaühiku (m²), kui temperatuurilang on 1° pikkuseühiku (m) kohta;

t'_2 — külmema keskkonna poolse seinapinna temperatuur.

3. Seinalt külmemale keskkonnale antav soojushulk

$$Q = \alpha_2 F (t'_2 - t_2) \text{ kcal/h}, \tag{3}$$

kus α_2 — soojusülekandetegur seina pinnalt külmemale keskkonnale kcal/m²h°;

t_2 — külmema keskkonna temperatuur.

Määrame võrranditest (1), (2) ja (3) temperatuurilangud:

$$t_1 - t'_1 = \frac{Q}{F} \cdot \frac{1}{\alpha_1},$$

$$t'_1 - t'_2 = \frac{Q}{F} \cdot \frac{\delta}{\lambda},$$

$$t'_2 - t_2 = \frac{Q}{F} \cdot \frac{1}{\alpha_2}.$$

Summeerides kirjutatud võrrandid, saame üldise temperatuurilangu:

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{F}\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}\right),$$

millest soojushulk Q avaldub järgmiselt:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} F (t_1 - t_2) \text{ kcal/h}, \tag{4}$$

kusjuures

$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = k; \tag{5}$$

k — soojusläbikandetegur kcal/m²h°.

Soojusläbikandeteguri väärtus on võrdne soojushulgaga, mis kandub tunnis läbi 1 m² pinnaga seina, kui seinaga eraldatud keskkondade temperatuuride vahe on 1°.

Siis soojushulk avaldub järgmiselt:

$$Q = kF (t_1 - t_2) \text{ kcal/h}. \tag{6}$$

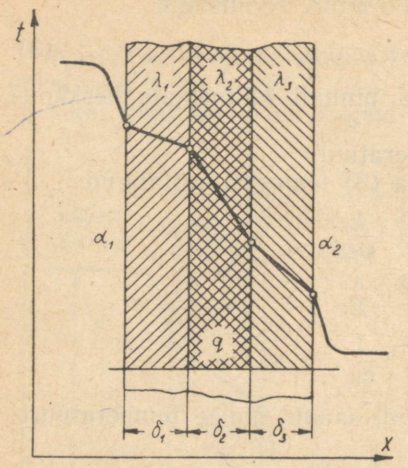
1 m²-le pinnale tunni jooksul juurde- või ärajuhitavat soojushulka nimetatakse aparaadi eri-soojuskoormuseks ehk eri-soojusvooks:

$$qF = k (t_1 - t_2) \text{ kcal/m²h}. \tag{7}$$

Soojusläbikandeteguri pöördeväärtust nimetatakse üldiseks termiliseks takistuseks ehk soojusläbikande termiliseks takistuseks:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1}. \tag{8}$$

Kui sein koosneb mitmest kihist paksustega $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n$ (joon. 90) ja nende kihtide soojusjuhtivustegurid on vastavalt $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_n$, siis soojusläbikandetegur



Joon. 90. Mitmekihiline tasane sein.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \cdots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (9)$$

Külmutusseadme soojusvahetusaparaatides tuleb eraldavaid seinu käsitada mitmekihilisena, sest aparaatide pinnad on mõlemalt poolt kaetud sadestistega, nagu õli, katlakivi, lumi, jää jne.

Soojusjuhtivustegur sõltub materjali füüsikalistest omadustest ja tema väärtus jääb antud materjali puhul peaaegu konstantseks. Soojusülekandetegur on aga muutuv suurus ja ta sõltub paljudest teguritest. Mõnede metallide soojusjuhtivustegurite väärtused on antud tabelis 9, tabelis 10 aga on toodud külmutusmasinates esinevate sadestiste soojusjuhtivustegurid. Soojusülekandeteguritest on juttu tagapool.

Tabel 9

Metallide soojusjuhtivustegurid

Nimetus	λ	Nimetus	λ
Alumiinium	175	Vask	320
Pronks	55	Plii	30
Raud	50	Teras	40
Messing	90	Malm	50

Tabel 10

Sadestiste soojusjuhtivustegurid

Nimetus	λ	Nimetus	λ
Määrdeõli	0,12	Naatriumkloriid	3,1
Jää	1,9	Kaltsiumkloriid	0,6
Lumi	0,5	Värv	0,2
Katlakivi	2,0		

Näide. Leida ammoniaakkülmutusmasina kondensaatoris külmutusagendilt veele kanduv soojushulk, kui kondensaatori soojusläbikandepind $F = 3$ m², sein on terasest paksusega 3 mm, kondenseerumistemperatuur on 25°, vee temperatuur 18°, soojusülekandetegur ammoniaagi poolel $\alpha_1 = 6000$ kcal/m²h°, soojusülekandetegur vee poolel $\alpha_2 = 4000$ kcal/m²h°.

Soojusläbikandepind on ammoniaagi poolelt mustunud õliga, mille kihi paksus $\delta = 0{,}1$ mm, ja vee poolelt kaetud katlakiviga, mille kihi paksus on 0,5 mm.

Soojusjuhtivustegurite väärtused võtame tabelitest 9 ja 10.

Soojusülekandetegur valemi (8) järgi:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{6000} + \frac{0{,}0001}{0{,}12} + \frac{0{,}003}{40} + \frac{0{,}0005}{2} + \frac{1}{4000}} = 636 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ.$$

Läbikanduv soojushulk valemi (6) järgi:

$$Q = kF(t_1 - t_2) = 636 \cdot 3(25 - 18) = 13\,356 \text{ kcal/h}.$$

Kui jätta õli- ja katlakivikiht soojusülekandepinnal arvesse võtmata, siis soojusläbikandetegur valemi (5) järgi:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{6000} + \frac{0{,}003}{40} + \frac{1}{4000}} = 2040 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ.$$

Läbikanduv soojushulk:

$$Q = 2040 \cdot 3 \cdot 7 = 42\,840 \text{ kcal/h}.$$

Saadud tulemuste võrdlemisel näeme, et soojusülekandepindade mustumine õliga ja katlakiviga vähendab järsult soojusläbikandetegurit.

§ 22. Soojusülekanne siledates ja ribilistes torudes

Soojemalt keskkonnalt külmemale läbi ühekihilise toru (silindrilise seina) (joon. 91) kanduv soojushulk määratakse valemiga:

$$Q = \frac{2\pi L(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 r_1} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 r_2}} \text{ kcal/h}, \qquad (10)$$

kus L — toru pikkus m;

t_1 ja t_2 — soojema ja külmema keskkonna temperatuurid;

α_1 ja α_2 — soojusülekandetegurid soojema ja külmema keskkonna poolel kcal/m²h°;

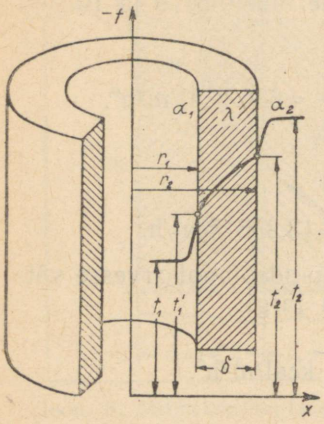
r_1 ja r_2 — toru sise- ja välisraadiused m.

Asendades valemis (10) toru raadiused läbimõõtudega, saame võrrandi:

$$Q = \frac{\pi L(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} \pi L(t_1 - t_2) =$$

$$= k_l \pi L(t_1 - t_2), \qquad (11)$$

kus k_l — lineaarne soojusülekandetegur (toru pikkuse 1 m kohta) kcal/mh°;



Joon. 91. Homogeenne silindriline sein

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} \cdot \qquad (11a)$$

Kui toru sein ei ole väga paks, s. t. kui toru siseläbimõõdu ja välisläbimõõdu suhe on üle 0,5 ($\frac{d_1}{d_2} > 0{,}5$), siis kasutatakse arvutuste lihtsustamiseks valemi (11) asemel valemit (6), millel sel juhul on järgmine kuju:

$$Q = k\pi d_x L(t_1 - t_2) = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \pi d_x L(t_1 - t_2), \qquad (12)$$

kus k — soojusläbikandetegur (sileda ühekihilise seina korral valemi (5) järgi, mitmekihilise seina korral aga valemi (8) järgi) kcal/m²h°;

d_x — toru keskmine läbimõõt m;

δ — toru seina paksus m;

$$\delta = \frac{d_2 - d_1}{2}.$$

Mitte alati ei tule valemisse (12) asetada toru keskmise läbimõõdu väärtus d_x, vaid kas sise- või välisläbimõõdu väärtus, sõltuvalt sellest, kummal poolel soojusülekandetegur on väiksem. Ainult juhul, kui soojusülekandetegurite väärtused α_1 ja α_2 on enamvähem võrdsed, asetatakse valemisse keskmine läbimõõt d_x.

N ä i d e. Leida ammoniaakkülmutusseadme survetorustikust ümbritsevasse õhku kanduv soojushulk, kui torude läbimõõt on 57×3,5 mm, pikkus 15 m, ammoniaagiauru temperatuur $t_1 = 90°$, toru ümbritseva õhu temperatuur $t_2 = 20°$, soojusülekandetegur ammoniaagi poolel $\alpha_1 = 300$ kcal/m²h° ja õhu poolel $\alpha_2 = 10$ kcal/m²h°.

Tasaste ühekihiliste seinte kohta kehtivate valemite (5) ja (12) järgi leiame soojusläbikandeteguri:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{0{,}0035}{40} + \frac{1}{10}} = 9{,}67 \text{ kcal/m}^2\text{h}°.$$

Läbikantav soojushulk

$$Q = k\pi d_x L(t_1 - t_2) = 9{,}67 \cdot \pi \cdot 0{,}057 \cdot 15(90 - 20) = 1819 \text{ kcal/h}.$$

Valemis esineb välisläbimõõt d_2, sest soojusülekandetegur õhu poolel $\alpha_2 = 10$ kcal/m²h° on tunduvalt väiksem kui $\alpha_1 = 300$ kcal/m²h°.

Soojusjuhtivustegurid on võetud tabelist 9.

Silindriliste seinte kohta kehtivate valemite (11a) ja (11) järgi lineaarne soojusülekandetegur

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} = \frac{1}{\frac{1}{300.0{,}05} + \frac{1}{2.40} 2{,}3 \lg \frac{0{,}057}{0{,}05} + \frac{1}{10.0{,}057}} =$$

$$= 0{,}55 \text{ kcal/mh°}$$

ja läbikanduv soojushulk

$$Q = k_l \pi L (t_1 - t_2) = 0{,}55 \cdot \pi \cdot 15 (90 - 20) = 1813 \text{ kcal/h.}$$

Tasaste ja silindriliste seinte valemitega arvutamisel saadud tulemused erinevad teineteisest vähe. Tasaste seinte valemitega arvutamisel on viga ligikaudu 0,4%.

Kui soojusülekandetegur seina ühel poolel on väga väike, võrreldes teisel poolel esineva soojusülekandeteguriga, siis läheneb soojusläbikandeteguri väärtus väiksemale soojusülekandetegurile. Sel juhul suurendatakse üldise soojusvoo suurendamiseks soojusülekandepinda, kasutades ribilisi pindu sel poolel, kus soojusülekandetegur on väiksem. Näiteks asub ühel pool seina kondenseeritud freoon, soojusülekandetegur $\alpha_1 = 1000 + 2000$ kcal/m²h°, teisel pool õhk, $\alpha_2 = 10 - 50$ kcal/m²h°. Sel juhul valmistatakse seina pind õhu poolelt ribilisena. Kui freooni ei jahutata õhuga, vaid veega, siis α_2 on suurem kui α_1, sest soojusülekandetegur vee poolel $\alpha_2 = 3000 - 5000$ kcal/m²h°. Sel juhul kasutatakse ribisid freooni poolel. Külmutusseadme soojusvahetusaparaatides rakendatakse ribistust sageli.

Läbi ribilise seina (joon. 92) kanduv soojushulk leitakse valemiga:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{1}{F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2}} (t_1 - t_2) \text{ kcal/h,} \qquad (13)$$

kus α_1 ja α_2 — soojusülekandetegurid vastavalt tasase ja ribilise pinna poolel kcal/m²h°;

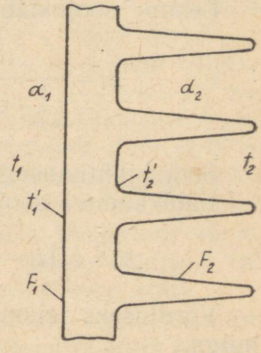
δ — tasase seina paksus m;

λ — seina soojusjuhtivustegur kcal/mh°;

F_1 — soojusülekandepind tasase pinna poolel;

F_2 — soojusülekandepind ribilise pinna poolel, mis koosneb ribide pinnast ja ribidevahelise seina pinnast, m²;

t_1 ja t_2 — soojema ja külmema keskkonna temperatuurid.



Joon. 92. Ribiline sein.

Läbi tasase seina pinnaühiku kanduv soojushulk leitakse valemiga:

$$q_1 = \frac{Q}{F_1} = k_1(t_1 - t_2) \text{ kcal/m}^2\text{h}, \quad (14)$$

$$\text{kus } k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{F_1}{F_2}} \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ. \quad (15)$$

Läbi ribilise seina pinnaühiku kanduv soojushulk leitakse valemiga:

$$q_2 = \frac{Q}{F} = k_2(t_1 - t_2) \text{ kcal/m}^2\text{h}, \quad (16)$$

$$\text{kus } k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{F_2}{F_1} + \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{F_2}{F_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ. \quad (17)$$

Ribilise pinna F_2 ja tasase pinna F_1 suhet nimetatakse ribistusteguriks.

Valemid ribilise pinna kohta on õiged madalate ribide korral. Kõrgete ribidega pinna korral tuleb arvestada temperatuurilangu ribi kõrgust mööda.

Ribid kas valatakse koos seinaga või valmistatakse eraldi ja kinnitatakse pinna, näiteks toru külge. Ribid tuleb kinnitada nii, et kontakt toru ja ribi vahel oleks tihe. Vastasel juhul esineb ribilt seinale üleminekukohas suur termiline takistus. Tihe kontakt saadakse ribide kinnitamisel kuumas olekus, misjärel liitekoht joodetakse ja tsingitakse.

N ä i d e. Leida soojushulk, mis kandub läbi veega jahutatava freoonikondensaatori 1 m²-se pinna. Kondensaatori pind on freooni poolel ribiline, kusjuures ribistustegur $\frac{F_2}{F_1} = 3{,}5$; seina paksus $\delta = 1{,}5$ mm, vee temperatuur $t_1 = 19°$, freooni temperatuur $t_2 = 25°$, soojusülekandetegur vee poolel $\alpha_1 = 4000$ kcal/m²h° ja freooni poolel $\alpha_2 = 1000$ kcal/m²h°. Kondensaatori torud on vasest.

Leiame soojusläbikandeteguri valemi (15) järgi:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{4000} + \frac{0{,}0015}{320} + \frac{1}{1000 \cdot 3{,}5}} = 1833 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ.$$

Soojusjuhtivustegur on võetud tabelist 9.

Läbikanduva soojushulga leiame valemi (14) järgi:

$$q_1 = k_1(t_1 - t_2) = 1833(25 - 19) = 10998 \text{ kcal/m}^2\text{h}.$$

Võrdluseks leiame läbi ribideta sileda seina kanduva soojuse hulga.

Arvutusel kasutame valemeid (5) ja (6):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{4000} + \frac{0{,}0015}{320} + \frac{1}{1000}} = \frac{1}{0{,}00025 + 0{,}000005 + 0{,}001} = 800 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ;$$

$q_F = 800 \cdot 6 = 4800$ kcal/m²h.

Arvutustulemuste võrdlemisel selgub, et pinna ribistamine suurendas soojusülekannet 2,3 korda.

§ 23. Keskmine temperatuuride vahe

Soojusvahetusaparaatides soojema ja külmema keskkonna temperatuur muutub. Seepärast tuleb soojemalt keskkonnalt külmemale kanduva soojushulga õigeks määramiseks kasutada valemites (6), (11) ja (13) keskmist temperatuuride vahet Δt_m. Sel juhul võtavad need valemid järgmise kuju:

tasase pinna korral

$$Q = kF\Delta t_m, \tag{18}$$

sileda toru korral

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} \pi L \Delta t_m; \tag{19}$$

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{1}{F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2}} \Delta t_m. \tag{20}$$

Keskmine temperatuuride vahe sõltub ühe keskkonna (vedeliku, auru või gaasi) liikumise suunast teise suhtes.

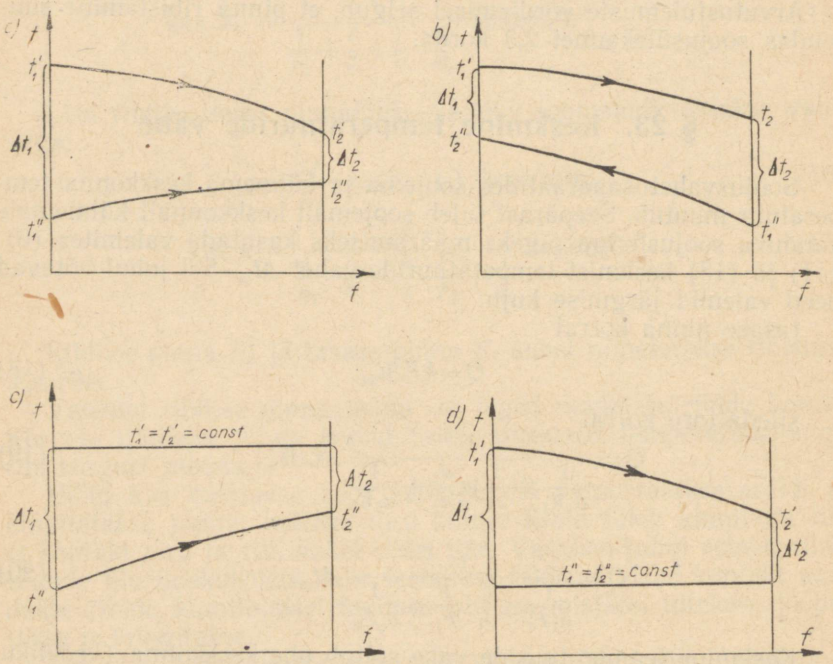
Külmutusseadmetes esinevad peamiselt järgmised seina poolt eraldatud keskkondade liikumise tingimused.

1. Soojust äraandev ja soojust vastuvõttev keskkond liiguvad ühes suunas — paralleelvool. Joonisel 93, *a* on näidatud keskkonna temperatuuri muutumine mööda pinda. Soojema keskkonna temperatuur langeb väärtuselt t'_1 väärtuseni t'_2, külmema keskkonna temperatuur aga tõuseb väärtuselt t''_1 väärtuseni t''_2.

2. Soojust äraandev ja soojust vastuvõttev keskkond liiguvad teineteise suhtes vastassuunas (joon. 93, *b*) — vastuvool. Soojema keskkonna temperatuur langeb väärtuselt t'_1 väärtuseni t'_2, külmema keskkonna temperatuur aga tõuseb väärtuselt t''_1 väärtuseni t''_2. Vastuvoolu rakendamisel võib saada madalamat jahutustemperatuuri kui paralleelvoolu korral, sest vastuvoolu korral kohtab soojust äraandev keskkond edasiliikumisel üha külmemat soojust vastuvõtvat keskkonda. Peale selle muutub temperatuuride vahe vastuvoolu korral soojusvahetuse protsessis võrdlemisi vähe.

3. Soojust äraandva keskkonna temperatuur jääb muutumatuks, s. t. $t'_1 = t'_2 = t = \text{const}$. Soojust vastuvõtva keskkonna temperatuur tõuseb väärtuselt t''_1 väärtuseni t''_2 (joon. 93, *c*). Sellised soo-

jusläbikande tingimused esinevad külmutusmasina kondensaatoris sel juhul, kui kondenseerumisprotsess kulgeb konstantsel temperatuuril ja kondenseerumissoojus juhitakse ära veega.



Joon. 93. Temperatuuri muutumine soojusläbikandel.

4. Soojust äraandva keskkonna temperatuur langeb väärtuselt t'_1 väärtuseni t'_2, soojust vastuvõtva keskkonna temperatuur jääb aga muutumatuks, s. t. $t''_1 = t''_2 = t_0 = \text{const}$ (joon. 93, *d*). Sellised soojusläbikande tingimused esinevad külmutusseadme aurustajas, kui külmutusagent keeb konstantsel temperatuuril, võttes selleks soojust veelt, soolalahuselt või õhult, millede temperatuur seejuures langeb.

Külmutusseadme soojusvahetusaparaatide arvutamisel kasutatakse tavaliselt keskmist logaritmilist temperatuuride vahet.

Keskmine logaritmiline temperatuuride vahe Δt_m väljendub valemiga:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2{,}3 \lg \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}, \qquad (21)$$

kus Δt_1 — temperatuuride vahe soojusläbikandepinna alguses;
Δt_2 — temperatuuride vahe soojusülekandepinna lõpus.

Vastavalt joonisel 93, *a*, *b*, *c* ja *d* toodud tähistustele on valemil (21) järgmine kuju:

paralleelvoolu korral

$$\Delta t_m = \frac{(t'_1 - t''_1) - (t'_2 - t''_2)}{2{,}3 \lg \frac{t'_1 - t''_1}{t'_2 - t''_2}}; \qquad (22)$$

vastuvoolu korral

$$\Delta t_m = \frac{(t'_1 - t''_2) - (t'_2 - t''_1)}{2{,}3 \lg \frac{t'_1 - t''_1}{t'_2 - t''_1}}; \qquad (23)$$

soojusvahetuse korral kondensaatoris

$$\Delta t_m = \frac{t''_2 - t''_1}{2{,}3 \lg \frac{t - t''_1}{t - t''_2}}; \qquad (24)$$

soojusvahetuse korral aurustajas

$$\Delta t_m = \frac{t'_1 - t'_2}{2{,}3 \lg \frac{t'_1 - t_0}{t'_2 - t_0}}. \qquad (25)$$

Kui temperatuuride vahed on soojusläbikande pindade alguses ja lõpus peaaegu ühesuurused, s. t. $\Delta t_1 \approx \Delta t_2$, samuti juhul, kui keskkondade temperatuurid soojusläbikandeprotsessis muutuvad võrdlemisi vähe, siis pole vaja arvutada logaritmilist keskmist temperatuuride vahet, vaid võib piirduda keskmise aritmeetilise temperatuuride vahega valemi järgi:

$$\Delta t_n = \frac{t'_1 + t''_1}{2} - \frac{t'_2 + t''_2}{2}. \qquad (26)$$

Näide. Leida külmutusagendi ja jahutusvee temperatuuride keskmine vahe kondensaatoris, kui kondenseerumistemperatuur $t_k = 30°$, kondensaatorisse siseneva vee temperatuur $t_{v_1} = 20°$ ja kondensaatorist väljuva vee temperatuur $t_{v_2} = 26°$.

Kasutades ülevaate saamiseks joonist 93, *c*, arvutame valemi (24) järgi keskmise aritmeetilise temperatuuride vahe:

$$\Delta t_m = \frac{t_{v_2} - t_{v_1}}{2{,}3 \lg \frac{t_k - t_{v_1}}{t_k - t_{v_2}}} = \frac{26 - 20}{2{,}3 \lg \frac{30 - 20}{30 - 26}} = 6{,}58°.$$

Arvutades valemi (26) järgi, leiame keskmise aritmeetilise temperatuuride vahe:

$$\Delta t_m = \frac{30 + 30}{2} - \frac{26 + 20}{2} = 30 - 23 = 7°.$$

Valemi (26) järgi arvutamisel on viga 6,7%.

§ 24. Vedelikkude, aurude ja gaaside soojusülekanne

Soojusülekanne on soojuse vahetuse protsess vedeliku ja seina vahel nende vahetul kokkupuutumisel. Niisugune soojuse vahetuse protsess toimub üheaegselt konvektsiooni ja soojusjuhtivuse teel.

Soojusülekanne sõltub paljudest teguritest: 1) vedeliku liikumise iseloomust ja kiirusest, 2) temperatuuride vahest, 3) vedeliku olekust ja füüsikalistest omadustest, 4) soojusülekandepinna kujust ja puhtusest jne.

Vedelik võib liikuda *vabalt* ja *sunnitult*.

Vabaks nimetatakse sellist liikumist, mis tekib kuumendatud ja külmade vedelikuosakeste tiheduse erinevuse tõttu. Vaba liikumist nimetatakse ka loomulikuks konvektsiooniks.

Vedeliku vaba liikumise korral sõltub soojusülekanne liikumise intensiivsusest, mis omakorda sõltub seina ja vedeliku temperatuuride vahest. Mida suurem on temperatuuride vahe, seda intensiivsem on vedeliku vaba liikumine ja seega ka soojusvahetus.

Sunnitud liikumine tekib väliste ergutajate mõjul, näiteks pumba või ventilaatori mõjul. Sunnitud liikumisega kaasub sageli vaba liikumine, mille mõju väheneb liikumiskiiruse suurenemisel. Suurtel kiirustel jäetakse vaba liikumise mõju arvesse võtmata.

Liikumise iseloomu järgi eristatakse kahte režiimi: *laminaarset* ja *turbulentset*. Laminaarse režiimi korral liiguvad vedelikuosakesed paralleelselt ja soojuse edasikandumine toimub peamiselt soojuse juhtivuse teel. Turbulentse režiimi korral liiguvad vedelikuosakesed korrapäratult ja sel juhul toimub soojuse edasikandmine osakeste intensiivse segunemise teel.

Vedeliku liikumise iseloomu määrab liikumiskiirus. Laminaarne liikumine esineb väikestel kiirustel, turbulentne liikumine aga suurtel kiirustel.

Laminaarne liikumine muutub turbulentseks, kui vedeliku liikumiskiirus saavutab teatud kindla väärtuse. Kiirust, mille juures laminaarne liikumine läheb üle turbulentseks, nimetatakse kriitiliseks kiiruseks.

Kriitiline kiirus ei ole kõigil vedelikel ühesuurune. Ta sõltub vedeliku füüsikalistest omadustest ja kanali ristlõikest, milles vedelik voolab.

Vedeliku liikumisel torudes avaldub kriitiline kiirus w_{kr} valemiga:

$$w_{kr} = 2200 \frac{\nu}{d} \text{ m/sec},$$

kus ν — vedeliku viskoossus;
d — toru läbimõõt.

Valemist selgub, et mida väiksem on vedeliku viskoossus, seda väiksem on ka kriitiline kiirus. Toru läbimõõdu vähenemisel kriitiline kiirus suureneb ja läbimõõdu suurenemisel väheneb. Järelikult saabub suure läbimõõduga torus turbulentne liikumine varem kui väikse läbimõõduga torus.

Turbulentse režiimi korral ei ole siiski kõik vedelikuosakesed korrapäratus liikumises. Toru seina juures on alati vedeliku piirikiht, mis säilitab laminaarse liikumise. Vedeliku liikumiskiirus toru selles ristlõike osas, kus esineb turbulentne liikumine, on enamvähem ühesuurune, kuid piirikihis on liikumiskiirus tunduvalt väiksem.

Piirikihi paksus sõltub vedeliku füüsikalistest omadustest ja tema liikumiskiirusest. Liikumiskiiruse suurenemisel piirikihi paksus väheneb.

Soojuse edasikandumine piirikihis toimub põhiliselt soojusjuhtivuse teel ja sõltub vedeliku soojusjuhtivustegurist. Piirikihi termiline takistus on märksa suurem kui turbulentselt liikuva vedeliku termiline takistus.

Soojusülekande intensiivistamiseks tuleb püüda vähendada piirikihi paksust, viimane aga, nagu teada, väheneb liikumiskiiruse suurenemisel. Seega sõltub vedeliku ja seina vahelise soojusülekande intensiivsus sunnitud liikumisel peamiselt vedeliku liikumiskiirusest.

Peale selle mõjutab soojusvahetust vedeliku ja seina vahel soojusülekandepind. Kui soojusülekanne toimub toru seina ja vedeliku vahel, siis võib sõltuvalt torude asendist saada mitmesuguse kujuga soojusülekandepinda. Näiteks võib toru asetseda horisontaalselt, vertikaalselt või kaldselt. Seejuures võib soojusülekandepind koosneda ühest torust või ka mitmest torust, mis moodustavad kimbu.

Vedelik võib voolata toru sees või toru ümber. Igal eri juhul on soojusvahetuse intensiivsus erinev.

Kõik ülalöeldu kehtib ka aurude ja gaaside puhul.

Soojusülekande teel edasikanduv soojushulk leitakse valemiga (1), kusjuures soojusülekande intensiivsust iseloomustab soojusülekandetegur α.

Vee liikumisel torudes arvutatakse soojusülekandetegur veelt seinale valemiga:

$$\alpha_v = 1750(1+0{,}017t_v)\,\frac{w^{0,87}}{d^{0,13}}\ \text{kcal/m}^2\text{h}^\circ, \qquad (27)$$

kus t_v — vee keskmine temperatuur;
w — vee liikumiskiirus torus m/sec;
d — toru siseläbimõõt.

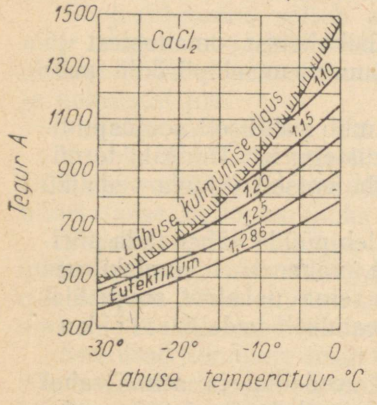
Näiteks külmutusseadme kondensaatoris on soojusülekandetegur veel seintele 3000—4000 kcal/m²h°, kui vee kiirus $w = 0{,}8-1$ m/sec.

Soolalahuse liikumisel torudes arvutatakse soojusülekandetegur soolalahuselt seintele valemiga:

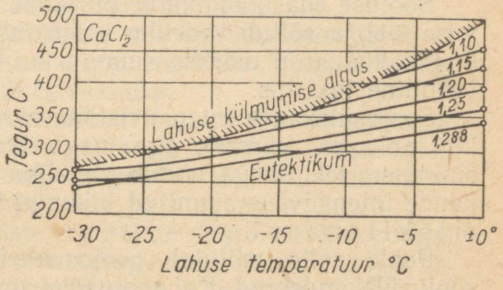
$$\alpha_s = A\left(\frac{l}{d}\right)^{-0,054}\cdot\frac{w^{0,8}}{d^{0,2}}\ \text{kcal/m}^2\text{h}^\circ, \qquad (28)$$

kus l — toru pikkus m;

d — toru siseläbimõõt m;
w — soolalahuse liikumiskiirus torus m/sec;
A — soolalahuse füüsikaliste omaduste mõju arvestav tegur. Teguri A väärtused on antud graafikul (joon. 94).



Joon. 94. Tegur A kaltsiumkloriidi lahuse kohta.



Joon. 95. Tegur C kaltsiumkloriidi lahuse kohta.

Kui soolalahus liigub ümber torude suunas, mis on risti torudega, arvutatakse soojusülekandetegur soolalahuselt toru välisseinale valemiga:

$$\alpha_s = C \frac{w^{0,5}}{d_v^{0,5}} \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ, \qquad (29)$$

kus w — soolalahuse kiirus kõige kitsamas ristlõikes torude vahel m/sec;
d_v — torude välisläbimõõt m;
C — soolalahuse füüsikaliste omaduste mõju arvestav tegur. Teguri C väärtused on antud graafikul (joon. 95).

Külmutusmasinates on soojusülekandetegur soolalahuselt toru seintele 1000—1500 kcal/m²h°. Soolalahuse liikumiskiirus külmutusmasina aparaatides on 0,6—0,8 m/sec.

Õhu voolamisel ümber torude arvutatakse soojusülekandetegur õhult toru välispinnale valemiga:

$$\alpha_õ = 5{,}71 \frac{w^{2/3}}{d^{1/3}} \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ, \qquad (30)$$

kus w — õhu liikumiskiirus m/sec;
d — torude läbimõõt m.

Ribiliste torude korral on soojusülekandetegur õhult torudele ligikaudu 2 korda suurem.

V peatükk

KONDENSAATORID

Kondensaator on soojusvahetusaparaat, milles soojus juhitakse külmutusagendilt ümbritsevale keskkonnale — veele või õhule. Kondensaatorisse saabub kompressorist külmutusagendi ülekuumendatud aur, mis jahtumise tagajärjel veeldub, s. t. kondenseerub.

Kondensaatoris juhitakse külmutusagendilt ära see soojus, mille ta sai aurustajas ja kompressoris ning samuti madalarõhutorustikus.

Kondensaatoritele kui soojusvahetusaparaatidele esitatakse rida nõudeid:

1) kondensaator peab tagama intensiivse soojusläbikande;
2) kondensaator peab olema konstruktsioonilt lihtne ja kompaktne;
3) kondensaatori ekspluatatsioon peab olema lihtne ja ohutu;
4) kondensaatorit peab olema hõlpus puhastada mustusest;
5) kondensaatori transport ja montaaž peavad olema lihtsad;
6) kondensaator peab olema odav.

Kõigist loetletud nõuetest on otsustava tähtsusega esimene nõue, s. o. soojusläbikande intensiivsus.

§ 25. Soojusläbikanne kondensaatorites

Külmutusmasina kondensaatoris kandub soojus külmutusagendilt veele või õhule läbi torude seina.

Soojusläbikande intensiivsus kondensaatoris sõltub:

1) soojusülekande intensiivsusest kondenseerumisel, 2) soojusülekande intensiivsusest jahutusvee või -õhu poolel, 3) soojusläbikandepinna mustumisest õliga, 4) soojusläbikandepinna mustumisest katlakiviga.

1. **Soojusülekande intensiivsus kondenseerumisel** sõltub järgmistest asjaoludest:

a) kondensaadi moodustamise iseloomust.

Eristatakse kaht kondenseerumismoodust: kile- ja tilkkondensatsiooni.

Kilekondensatsioonil sadestub vedelik külmale seinale pideva kilena. Selline nähtus esineb puhta auru sadestumisel puhtale pinnale; seejuures peab moodustunud kondensaat pinda hästi märgama.

Tilkkondensatsioonil sadestub vedelik seinale üksikute tilkadena. Tilkkondensatsioon on võimalik ainult juhul, kui kondensaat ei märga jahutuspinda. Sellist kondenseerumismoodust võib saada kunstlikult, lisades aurule või kandes jahutuspinnale märgamist halvendavaid aineid, näiteks õli.

Tegelikult esineb soojusvahetusaparaatides enamikel juhtudel kilekondensatsioon, kuid selle kõrval on võimalik ka segakondensatsioon, mille puhul aparaadi ühes osas toimub tilkkondensatsioon, teises osas aga kilekondensatsioon;

b) auru liikumiskiirusest ja -suunast.

Kui aur ja kile liiguvad ühes suunas (ülalt alla), eraldub kondensaat pinnalt kiiremini ja soojusülekandetegur suureneb.

Kui aur liigub alt üles, s. o. kile voolamisele vastupidises suunas, pakseneb kile tema allaliikumise pidurdamise tõttu ja soojusülekandetegur väheneb. Kuid kui sel puhul auru kiirus on küllalt suur, siis kisub auruvool kilet kaasa ja see eraldub pinnalt. Auru liikumiskiiruse edasisel suurenemisel hakkab soojusülekandetegur suurenema;

c) pinna seisukorrast.

Kui jahutuspind on krobeline, siis kondensaadikihi paksus suureneb, sest krobeline pind takistab kondensaadikihi liikumist, mistõttu sel puhul soojusülekandetegur väheneb;

d) õhusisaldusest aurus.

Õhu või teiste mittekondenseeruvate gaaside olemasolu aurus vähendab tunduvalt soojusülekandetegurit kondenseerumisel, sest jahutuspinnale kondenseerub ainult aur, kuna aga õhk jääb torusse ja aja jooksul koguneb see seina juurde, takistades auru liikumist. Tõepoolest, Daltoni seaduse põhjal võrdub segu rõhk p auru partsiaalrõhu p_a ja õhu partsiaalrõhu $p_õ$ summaga, s. t.:

$$p = p_a + p_õ.$$

Kondenseerumise tõttu on auru partsiaalrõhk p_a seina juures väiksem kui toru keskosas, õhu partsiaalrõhk aga on seina juures suurem. Järelikult on kondensaadikile kaetud gaasi-aurukihiga, milles auru on vähem kui toru keskosas.

See kiht takistab auru ja samuti soojuse liikumist seina juurde. Seega tekitab gaasi-aurukiht soojusülekandele täiendava termilise takistuse, mistõttu tõusevad kondenseerumistemperatuur ja -rõhk.

Rõhu tõus kondensaatoris toob endaga kaasa kompressori tööks vajaliku energiakulu suurenemise.

Õhk satub süsteemi läbi kompressori äärikliidete ja tihendi ning ventiilide. Õhu olemasolust tingitud puuduste kõrvaldamiseks tuleb õhku perioodiliselt süsteemist kõrvaldada;

e) soojusvahetusaparaadi konstruktsioonist.

Üksiku horisontaalse toru soojusülekandetegur on tunduvalt suurem kui vertikaalsel torul. Kui aga horisontaalsed torud paiknevad kimbus, siis soojusülekandetegur väheneb, sest kondensaat voolab ülemistelt torudelt alumistele, milledel moodustub paksem kondensaadikile.

Vertikaalsetel torudel on kondensaadikile toru alumises osas samuti paksem.

Igasuguse konstruktsiooniga aparaatides tuleb soojusülekandeteguri suurendamiseks tagada kondensaadi kiire ärajuhtimise soojusülekandepinnalt ja hoida jahutuspinnad puhtad.

Soojusülekandetegur külmutusagendi kondenseerumisel vertikaalsel seinal on ligikaudselt arvutatav valemiga:

$$\alpha_{ka} = \frac{1{,}13\,A}{\sqrt[4]{H\,(t_k - t_s)}} \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ,$$

kus H — seina kõrgus m;

t_k — külmutusagendi kondenseerumistemperatuur;

t_s — seina temperatuur;

A — külmutusagendi füüsikalisi omadusi arvestav tegur. Teguri A väärtus kaltsiumkloriidi lahuse kohta on antud joonisel 94.

Külmutusagendi kondenseerumisel horisontaalsete torude välispinnal arvutatakse soojusülekandetegur valemiga:

$$\alpha_{kt} = \frac{1{,}13\,A}{\sqrt[4]{z\,\pi d_v\,(t_k - t_s)}} \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ,$$

kus z — üksteise kohal asetsevate torude arv;

d_v — toru välisläbimõõt.

Umbkaudsed soojusülekandeteguri väärtused kondenseerumisel:

ammoniaagi korral 2000—6000 kcal/m²h°,
freooni korral 1000—2000 kcal/m²h°.

2. Soojusülekande intensiivsus jahutusvee või -õhu poolel. Soojusülekandeteguri väärtus vee või õhu poolel sõltub suurel määral liikumiskiirusest. Õhu või vee liikumiskiiruse suurenemisel soojusülekandetegur suureneb. Siiski vee väga suure kiiruse korral suureneb aparaadis hüdrauliline takistus, mille tõttu suureneb pumba poolt tarbitava energia kulu. Vee optimaalne liikumiskiirus kondensaatoris on enamikel juhtudel 0,8—1,0 m/sec piires.

Soojusülekandetegurit vee või õhu poolel saab arvutada § 24 toodud valemite järgi.

3. **Soojusülekandepinna mustumine õliga.** Õli satub kondensaatorisse kompressorist koos külmutusagendi auruga. Õli olemasolu soojusläbikandepinnal isegi väga väikesel hulgal vähendab järsult soojusläbikande intensiivsust, nagu selles võis veenduda § 21 toodud arvutusnäite põhjal.

4. **Soojusülekandepinna mustumine katlakiviga.** Kondensaatori jahutamisel veega sadestuvad soojusläbikandepinnale tahked osakesed, moodustades katlakivi. Seda liiki sadestised vähendavad järsult soojusläbikande efektiivsust, sest katlakivikiht on suure termilise takistusega. Katlakivikiht sõltub vee kvaliteedist ja kondensaatori töö kestusest.

Kondensaatori jahutamisel õhuga kattub soojusülekandepind tolmuga. Peale selle kaetakse aparaatide välispind värviga (näiteks niisutuskondensaatorid), ka võib soojusülekandepindadel esineda roostet. Kõik need sadestised ja katted halvendavad soojusläbikannet.

Seepärast tuleb külmutusseadmete ekspluateerimisel regulaarselt puhastada soojusvahetusaparaate igasugusest mustusest.

Kondensaatori soojusläbikande efektiivsust iseloomustab soojusläbikandetegur k ja samuti eri-soojusvoog q_F.

Eri-soojusvoo väärtus kujutab endast soojusülekandeteguri k ja külmutusagendi ning jahutusvee või -õhu temperatuuride keskmise vahe Δt_m korrutist:

$$q_F = k\Delta t_m \text{ kcal/m}^2\text{h}.$$

Külmutusmasinate kondensaatorites on temperatuuride vahe vesijahutuse korral 5—6° ja õhkjahutuse korral 8—12°. Temperatuuride vahe suurendamiseks tuleb tõsta külmutusagendi kondenseerumistemperatuuri, see aga põhjustab külmutusmasina tööks tarbitava energia kulu suurenemise, mis on ebaotstarbekas.

Mitmesuguse konstruktsiooniga kondensaatorite praktiliste soojusläbikandetegurite väärtused on toodud tabelis 18.

§ 26. Kondensaatorite konstruktsioonid

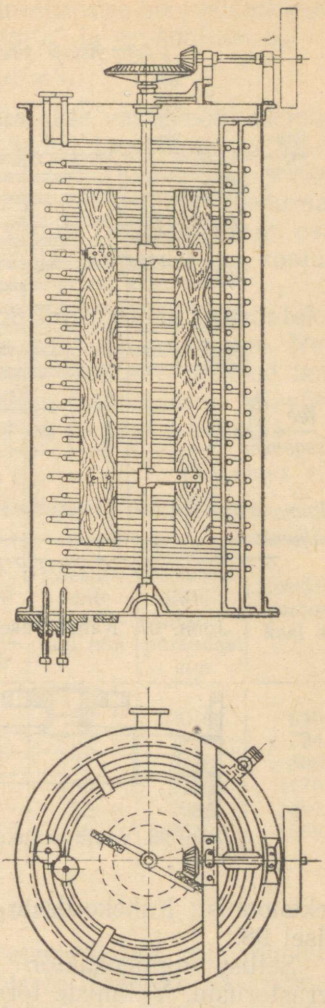
Jahutava keskkonna liigi järgi võib kondensaatorid jaotada kahte rühma:

1) vesijahutusega kondensaatorid (sukelduskondensaatorid, kahekordsete torudega vastuvoolukondensaatorid, elementkondensaatorid, kesttorukondensaatorid, niisutuskondensaatorid ja aurustuskondensaatorid);

2) õhkjahutusega kondensaatorid.

Sukelduskondensaatorid

Sukelduskondensaator koosneb siugtorudest, mis on sukeldatud ümmargusse või ristkülikukujulise ristlõikega paaki (joon. 96). Ülalt voolab siugtorudesse külmutusagendi aur, alt aga juhitakse ära vedel külmutusagent. Siugtorusid jahutatakse veega, mis, saabudes paaki alt, voolab ümber siugtorude ja väljub paagi ülemisest osast. Vee liikumiskiiruse suurendamiseks kasutatakse silindrilise paagiga kondensaatorites segajat; ristkülikukujulise paagiga kondensaatoritesse on pandud vaheseinad, mis jaotavad paagi sektsioonideks. Vesi saabub algul ainult ühte sektsiooni ja läbib seejärel järjekorras teised sektsioonid, millega saavutatakse vee liikumiskiiruse suurenemine. Vaatamata sellele on vee liikumiskiirus sellistes kompressorites väga väike — 0,1 m/sec.



Joon. 96. Sukelduskondensaator.

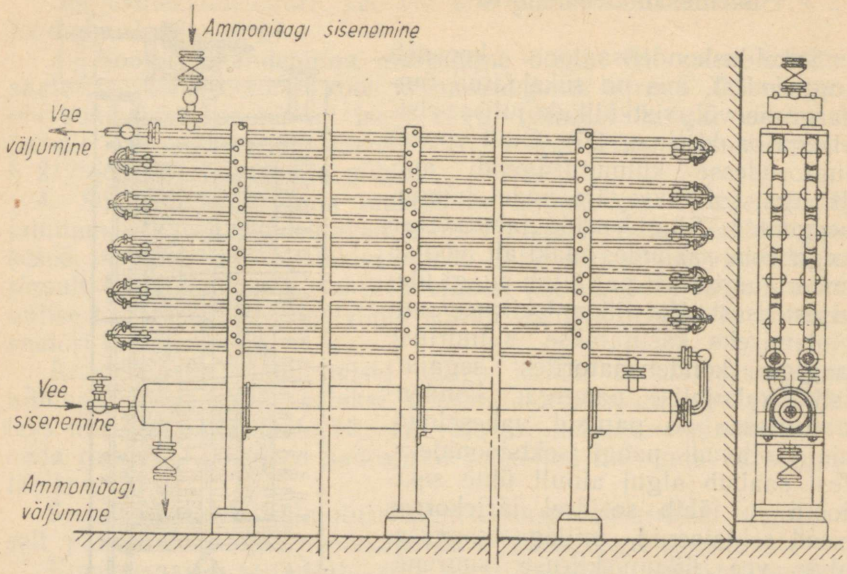
Soojusülekandetegur on sukelduskondensaatorites väike, nimelt $k = 150 \div 200$ kcal/m²h°.

See on seletatav vee väikese liikumiskiirusega ja vedela külmutusagendi ning õli halva ärajuhtimisega soojusülekandepinnalt. Siugtoru alguses moodustunud külmutusagent peab läbima kogu siugtoru; mistõttu selle sisepind on alati kaetud vedela külmutusagendi kihiga. Peale selle on siugtoru alumised keerud täidetud vedela külmutusagendiga ega võta seetõttu kondenseerimisest osa.

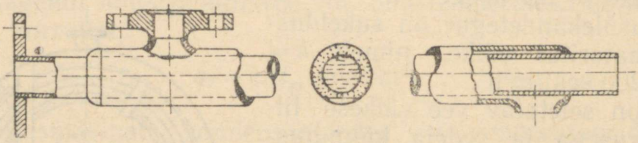
Sukelduskondensaator on üks vanemaid kondensaatoritüüpe. Käesoleval ajal kasutatakse seda vaid juhul, kui kondensaatoris esineb väga kõrge rõhk, näiteks vedela süsihappe ja kuiva jää tootmiseks ettenähtud väävlisgaasiga töötavates külmutusmasinates.

Kahekordsete torudega vastuvoolukondensaatorid

Joonisel 97 on näidatud tehases «Kompressor» toodetav kahekordsete torudega ammoniaagikondensaator, mis koosneb kahest



Joon. 97. Kahekordsete torudega vastuvoolukondensaator.



Joon. 98. Vastuvoolukondensaatori ülemine kahekordne toru.

sektsioonist. Kahekordsete torude konstruktsioon on näidatud joonisel 98.

Sellise kondensaatori valmistamiseks kasutatakse õmblusteta terastorusid. Välimiste torude läbimõõt on 57×3 mm ja sisemiste torude läbimõõt 38×3,5 mm. Välimise toru otsad painutatakse vastu sisemist toru ja keevitatakse selle külge. Külmutusagendi aur voolab torudevahelisse rõngasruumi ülalt, vedel külmutusagent aga juhitakse ära alt. Üleminek ühest rõngasruumist teise toimub väliste torude külge keevitatud äärikliidete abil. Et kondensaat torudest paremini välja jookseks, on torud paigaldatud väikese langusega külmutusagendi liikumise suunas. Vesi suunatakse sisemistesse torudesse alt. Need torud ühendatakse malmist torupõlvedega, kusjuures tihendamiseks kasutatakse kummivahelehti. Vee liikumiskiirus sellises kondensaatoris on 0,8—1,0 m/sec.

Kahekordsete torudega vastuvoolukondensaatori alumises osas on vedela külmutusagendi kogumiseks silindriline mahuti, mida nimetatakse ressiivriks.

Vastuvoolukondensaatorites toimub intensiivne soojusläbikanne. Soojusläbikandetegur $k = 800 \div 900$ kcal/m²h° ja eri-soojusvoog

$$q_F = 3500 \div 5000 \text{ kcal/m}^2\text{h}.$$

Selline kõrge soojusläbikanne saavutatakse vastuvoolu olemasolu tõttu külmutusagendi ja jahutusvee vahel ja samuti vee suure liikumiskiiruse tõttu kondensaatoris.

Vedela külmutusagendi äravoolamine soojusläbikandepinnalt ei toimu küllalt hästi, mistõttu alumiste torude rõngasruum on osaliselt täidetud vedela külmutusagendiga ja seepärast on soojusülekanne selles kondensaatoriosas halvem.

Kahekordsete torudega vastuvoolukondensaatoreid kasutatakse väikese ja keskmise külmatootlikkusega külmutusseadmetes. Neid toodetakse soojusülekandepinnaga 5,8 kuni 15,4 m². Sellised kondensaatorid leiavad kasutamist ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes. Nende kondensaatorite põhimõõtmed on toodud tabelis 11.

Tabel 11

Kahekordsete torudega vastuvoolukondensaatorite põhimõõtmed

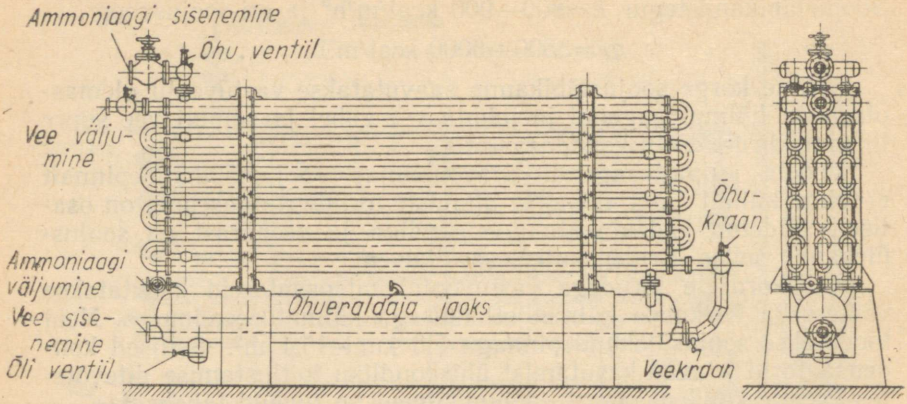
Jahutuspind m²	Sektsioonide arv tk.	Kahekordsete torude arv ühes sektsioonis tk.	Külmutusagendi stutserite läbimõõdud mm		Veestutserite läbimõõdud mm	Kondensaatori üldine kõrgus põrandast mm	Kondensaatori kaal kg
			aur	vedelik			
5,8	1	12	32	13	32	2010	640
6,7	1	14	32	13	32	2220	724
7,8	1	16	32	13	32	2430	806
11,5	2	11	38	25	50	2450	1170
13,5	2	13	50	25	50	2660	1391
15,4	2	15	50	25	50	2870	1558

Elementkondensaatorid

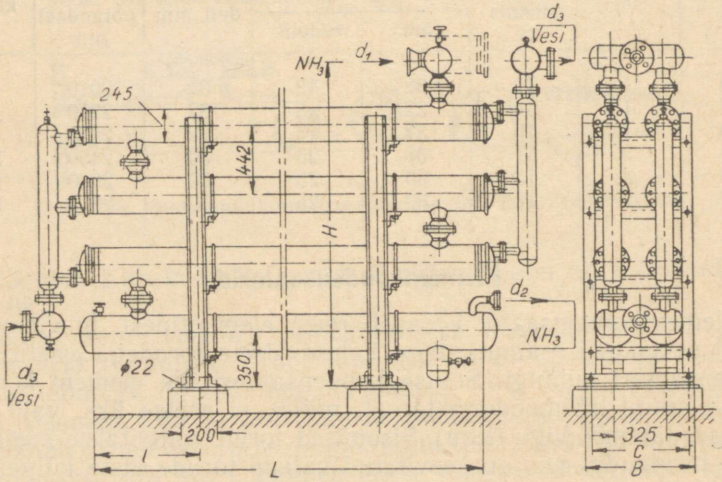
Elementkondensaator koosneb reast elementidest, mis moodustavad sektsiooni, samuti nagu kahekordsete torudega vastuvoolukondensaatori puhulgi. Sellise kondensaatori iga element koosneb küllalt suure läbimõõduga torust, milles ei asetse üks, vaid mitu väikese läbimõõduga toru. Sisemised torud valtsitakse spetsiaalsesse torulauda, mis on keevitatud väliste torude otste külge. Elemendid ühendatakse omavahel malmist torupõlvedega.

Külmutusagendi aur voolab ülalt torudevahelisse ruumi ja, läbides järjekorras kõik sektsiooni elemendid, kondenseerub. Vedel külmutusagent voolab ressiivrisse. Elementide torudevahelised ruumid ühendatakse omavahel spetsiaalsete torudega. Jahutusvesi liigub sisemistes torudes.

Vesi võib läbida kõik sektsiooni elemendid järjekorras (joon. 99), sisenedes alumisse ja väljudes ülemisest elemendist, või paralleelselt (joon. 100).



Joon. 99. Seitsme toruga ühekäiguline elementkondensaator.



Joon. 100. Tehase «Kompressor» neljateistkümne toruga mitmekäiguline elementkondensaator.

Soojusläbikande tingimused on elementkondensaatoris samad kui kahekordsete torudega vastuvoolukondensaatoriski. Soojusläbikandetegur $k = 800 \div 900$ kcal/m²h°.

Elementkondensaator on konstruktsioonilt kõige kompaktsem ja kergem, samuti on paralleelühenduste arv väike.

Elementkondensaatoreid kasutatakse keskmise ja suure külmatootlikkusega külmutusseadmetes. Neid võib küllalt sageli leida ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes.

Neljateistkümne toruga elementkondensaatori põhimõõtmed on antud tabelis 12.

Tabel 12

Neljateisttorulise elementkondensaatori põhimõõtmed

Jahutuspind m²	Sektsioonide arv tk.	Elementide arv tk.	Ammoniaagistutserite läbimõõdud mm		Veestutseri läbimõõt mm	Mõõtmed mm			Kaal kg
			aur	vedelik		pikkus	laius	kõrgus	
8	1	2	32	10	38	3000	480	1675	816
27	1	4	50	19	65	5515	480	2525	2360
40	1	6	65	19	76	5515	480	3375	3345
54	2	8	76	25	100	5515	630	2685	4375
67	2	10	100	25	100	5515	630	3175	5364
80	2	12	100	32	125	5515	630	3590	6070
100	3	15	125	32	125	5515	910	3225	8470
134	4	20	125	38	150	5515	1190	3225	11300
160	4	24	150	38	150	5515	1190	3740	13450
200	6	30	2×125	2×32	2×125	5515	1800	3325	—

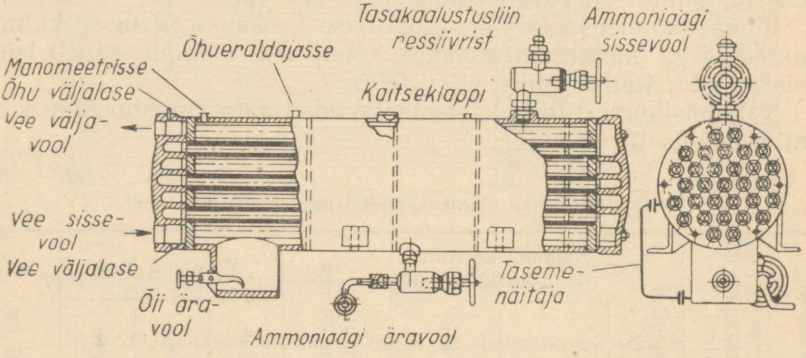
Kesttorukondensaatorid

Horisontaalne kesttorukondensaator (joon. 101) koosneb suure läbimõõduga silindrilisest kestast, kus asetsevad torud. Kesta kummagi otsa külge keevitatakse torulauad, milledesse valtsitakse või keevitatakse sisemised torud. Kondensaatoril on kahes otsas poltidega kinnitatud kaaned kummitihenditel.

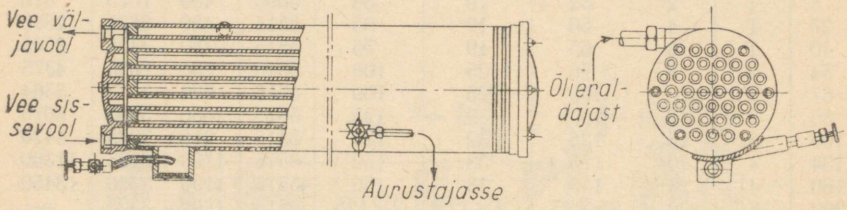
Külmutusagendi aur voolab ülalt torudevahelisse ruumi, vedel külmutusagent aga juhitakse ära alt. Vesi tsirkuleerib sisemistes torudes. Kondensaatori alumises osas on õlisadesti, millest õli perioodiliselt välja lastakse. Kesta ülaosas paiknevad kaitseklapp ja stutser õhu ärajuhtimiseks õhueraldajasse.

Jahutusvesi suunatakse kondensaatorisse alt kondensaatori kaanes asetseva stutseri kaudu, seejärel ta tsirkuleerib sisemistes torudes ja väljub soojendatuna alumise stutseri kaudu. Mitmekäigulisuse saavutamiseks on kondensaatori kaantesse tehtud vaheseinad, mis ei võimalda veel läbida mitte kõiki kondensaatori torusid, vaid suunavad selle ainult mõnedesse torudesse. Seetõttu vee

poolt läbitav ristlõige väheneb ja vesi voolab järjekorras läbi kondensaatori kõigi torude. Ristlõike vähenemise tõttu vee liikumiskiirus kondensaatoris suureneb, mis omakorda tõstab soojusläbikande efektiivsust.



Joon. 101. Horisontaalne kesttorukondensaator.



Joon. 102. Agregaadi И-10 horisontaalne kesttorukondensaator.

Horisontaalsetes kesttorukondensaatorites ulatub vee liikumiskiirus 0,8—1,0 m/sec. Soojusläbikandetegur $k = 600 \div 800$ kcal/m²h°, eri-soojusvoog $q_F = 4000$ kcal/m²h. Suur kondensaatori soojusläbikandetegur saavutatakse tänu kondensaadi heale ärajuhtimisele soojusläbikandepinnalt. Kondenseerumine toimub sisemistes horisontaalsetes torudes, kust kondensaat kergesti voolab kesta alumisse ossa. Vedela külmutusagendi kõrgus kestas peab olema 50—75 mm piirides, suurtes kondensaatorites aga kuni 100 mm.

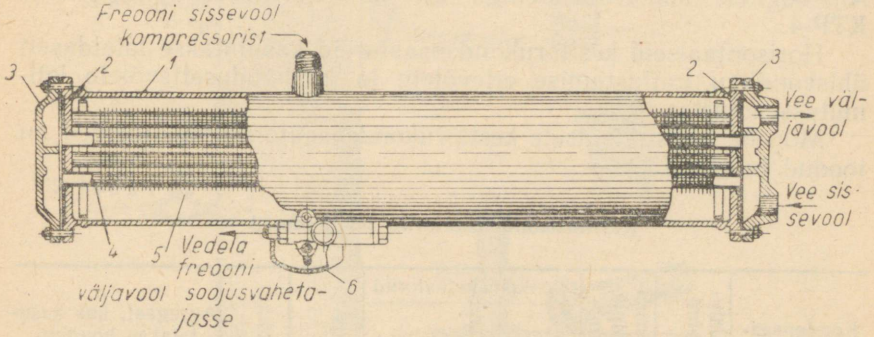
Selle kondensaatori headeks omadusteks on suur soojusläbikandetegur ja konstruktsiooni kompaktsus. Sageli on selline kondensaator ühendatud kompressoriga agregaadiks.

Horisontaalseid kesttorukondensaatoreid kasutatakse kõige väiksemates, väikestes ja keskmistes külmutusseadmetes.

Joonisel 102 on näidatud horisontaalne mitmekäiguline ammoniaagi-kesttorukondensaator, mida kasutatakse väikestes agregaatides И-10 ja ЯК-10, külmatootlikkusega 10 000 kcal/h. See kondensaator koosneb tõmmatud torust, mille läbimõõt on 267 mm

ja pikkus 1075 mm. Sisemised veetorud, läbimõõduga 27×4 mm, keevitatakse torulaudade külge. Üldine jahutuspind on 2,9 m².

Horisontaalsed freooni-kesttorukondensaatorid erinevad ammoniaagikondensaatoritest selle poolest, et neis kasutatakse vasest soojusvahetustorusid, mis on freooni poolelt varustatud ribidega. Näiteks on kondensaatoris КТР (кожухотрубный ребристый) soojusvahetustorud vee poolelt siledad (läbimõõt 13 mm), freooni poolelt aga ribilised (läbimõõt 21 mm). Ribid on madalad, koonusekujulised. Ribistustegur, s. o. ribilise välispinna ja sisepinna suhe on 3,8. Selliseid kondensaatoreid kasutatakse külmutusseadmetes



Joon. 103. Horisontaalne kesttorukondensaator 2Ф-КТГ:
1 — kere, *2* — torulauad, *3* — kaaned, *4* — sisemised torud, *5* — ribid, *6* — koguja.

15000—60000 kcal/h. Väikeste freoonkülmutusseadmete (külmatootlikkusega kuni 10 000 kcal/h) kondensaatorites kasutatakse samuti ribilisi torusid, kuid ribid on teistsugused. Joonisel 103 on kujutatud kondensaator 2Ф-КТГ, mis koosneb tõmmatud torust — kestast, läbimõõduga 159×4,5 mm, mille otstesse on keevitatud terasest torulauad. Kestas on 19 punasest vasest toru, läbimõõduga 18×1,5 mm, milledele on kinnitatud terasribid paksusega 0,5 mm ja sammuga 4 mm. Soojusvahetustorud ulatuvad läbi torulaudade ja kinnitatakse nende külge jootmise teel. Torulaua välisküljele on peale sulatatud õhuke messingikiht.

Freooni aur siseneb ülalt kondensaatori torudevahelisse ruumi, vedelik aga voolab vedela freooni kogujasse. Selleks kogujaks on kondensaatori kesta külge keevitatud torutükk, mille alumine ots on suletud sfäärilise põhjaga.

Vedel freoon juhitakse kogujast ära toruga, mille allapoole kõveraks painutatud ots ulatub koguja põhjani.

Erinevalt ammoniaagikondensaatoritest ei ole freoonikondensaatorite juures ette nähtud õli väljalaskmist kondensaatorist. Freoonkülmutusmasinates tsirkuleerib õli kogu süsteemis koos külmutusagendiga, sest freoon lahustub hästi õlis.

Kondensaatori kesta otsad on suletud malmkaantega. Kaante ja kesta vahel on tihendamiseks kummivahelehed, mis on kinnita-

tud poltidega kesta külge. Ühes kaanes paiknevad kaks stutserit jahutusvee sisse- ja väljalaskmiseks. Torudes tsirkuleeriv vesi teeb kondensaatoris kuus käiku, milleks kondensaatori kaantes on vaheseinad. Kummivahelehtede konfiguratsioon vastab vaheseinte asetusele.

Kesta alumises osas on kergesti sulava sulamiga kinnijoodetud nippel. Selle ülesandeks on freooni automaatne väljalaskmine tulekahju korral, et vältida plahvatust.

Kondensaatori 2Ф-КТГ soojusläbikandepind on freooni poolel 2 m². Kondensaatori üldpikkus on 950 mm, kesta pikkus — 860 mm. Analoogilise konstruktsiooniga on ka kondensaatorid КТР-3 ja КТР-4.

Horisontaalseid kesttorukondensaatoreid kasutatakse laialdaselt ühiskondliku toitlustamise ettevõtete ja kaubandusettevõtete külmutusseadmetes.

Mõnede horisontaalsete kesttorukondensaatorite põhiandmed on toodud tabelis 13.

Tabel 13

Kesttorukondensaatorite põhiandmed

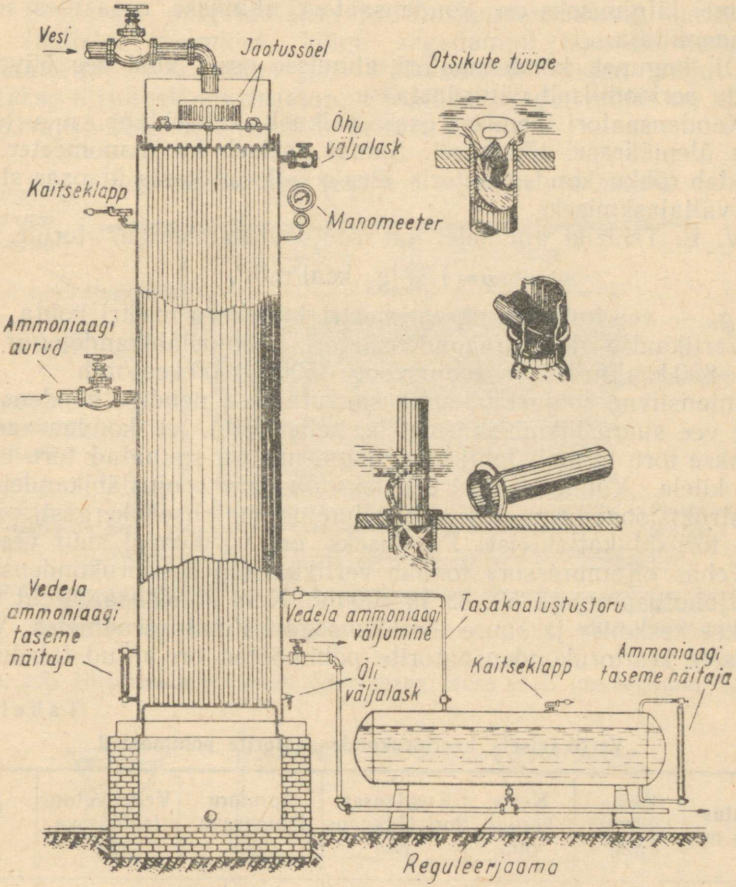
Kondensaatori tüüp	Soojusläbikandepind mm	Kondensaatori üldpikkus mm	Soojusvahetustorud		Ribistustegur	Vee käikude arv	Agregaat, kus kasutatakse kondensaatorit
			Siseläbimõõt	Väliläbimõõt			
			Ammoniaagikondensaatorid				
КТГ	2,9	1280	19	25	—	—	ЯК-10, И-10
КТГ-5	5	1670	19	25	—	14	АК-2АУ 20/10
КТГ-10	10	1700	19	25	—	10	АК-4АУ 40/30
			Freoonikondensaatorid				
2Ф-КТГ	2	950	15	—	—	6	АК2ФВ-5/3
КТР-3	3	—	15	—	—	6	АК2ФВ-6/3
КТР-4	4	—	15	—	—	6	АК2ФВ-8/4
КТР-9	9	1400	13	21	3,8	6	АК2ФУ-30/15
КТР-25	25	1670	13	21	3,8	6	АК4ФУ-60/30

Tabelis 13 on soojusläbikandepind antud ammoniaagikondensaatoritel torude sisepinna järgi, s. o. vee poolelt, freoonikondensaatoritel aga torude välispinna järgi, s. o. freooni poolelt.

Vertikaalsed kesttorukondensaatorid erinevad horisontaalsetest kesta asetuse ja vee jagunemise poolest. Nendes kondensaatorites ei täida vesi mitte toru kogu ristlõiget, vaid katab õhukese kihina toru sisepinda.

Joonisel 104 on kujutatud vertikaalne ammoniaagi-kesttorukondensaator. Ta koosneb vertikaalsest silindrilisest kestast, mille otstes on võrelised põhjad, milledesse on valtsitud või keevitatud

õmbluseta kahetollised torud. Jahutusvesi voolab ülalt veejaotusseadisesse, mis koosneb paagist, mille sees on silinder. Vee ühtlaseks jaotamiseks on silindri seinas pilud. Peale selle on iga toru



Joon. 104. Vertikaalne kesttorukondensaator.

otsas juhtseadis, mis annab veele spiraalse liikumise mööda toru sisepinda. Seega liigub vesi õhukese kihina mööda toru sisepinda ja voolab seejärel betoonreservuaari, mis on ühtlasi ka kondensaatori vundamendiks. Reservuaarist suunatakse vesi kanalisatsiooni või kasutatakse uuesti kondensaatori jahutamiseks. Viimasel juhul tuleb vett eelnevalt jahutada.

Veejaotusseadisele juurdepääsemiseks on kondensaatori kesta külge keevitatud klambrid (sangad).

Külmutusagendi (ammoniaagi) aur siseneb torudevahelisse

ruumi kesta keskossa. Kondenseerumine toimub vertikaalsete torude välispinnal.

Vedela ammoniaagi äravoolustutser asetseb põhjast veidi kõrgemal, et vähendada õli sattumist aurustajasse. Vedela ammoniaagi taseme jälgimiseks on kondensaatori alumisse ossa üles seatud tasemenäitaja.

Õli koguneb kondensaatori alumisse ossa, kust see õliventiili kaudu perioodiliselt välja lastakse.

Kondensaatori ülemises osas paikneb kaitseklapp, mis töötab rõhu ülemäärasel tõusmisel. Samas asetseb ka manomeeter, mis mõõdab rõhku kondensaatoris. Peale selle on kesta ülaosas stutser õhu väljalaskmiseks.

V. E. Tsidziki andmetel on soojusülekandetegur torult veele

$$\alpha = 1{,}37\ g_v\ \text{kcal/m}^2\text{h}^\circ,$$

kus g_v — vee hulk torude perimeetri 1 jooksva meetri kohta.

Vertikaalse kesttorukondensaatori soojusläbikandetegur on 600—800 kcal/m²h°, eri-soojusvoog 3500—4000 kcal/m²h.

Intensiivne soojusläbikanne saavutatakse nendes kondensaatorites vee suure liikumiskiiruse ja selle tõttu, et kondensaadikile kistakse toru pinnalt lahti aurujoaga, mis on suunatud toru keskel risti kilele. Kondensaatori eeliseks on suur soojusläbikandetegur, konstruktsiooni kompaktsus ja võimalus suhteliselt kergesti puhastada torusid katlakivist. Puuduseks on võrdlemisi suur veekulu.

Tehas «Kompressor» toodab vertikaalseid kesttorukondensaatoreid jahutuspinnaga 50, 85 ja 100 m². Neid kondensaatoreid kasutatakse keskmise ja suure tootlikkusega külmutusseadmetes. Vertikaalsete kesttorukondensaatorite põhimõõted on antud tabelis 14.

Tabel 14

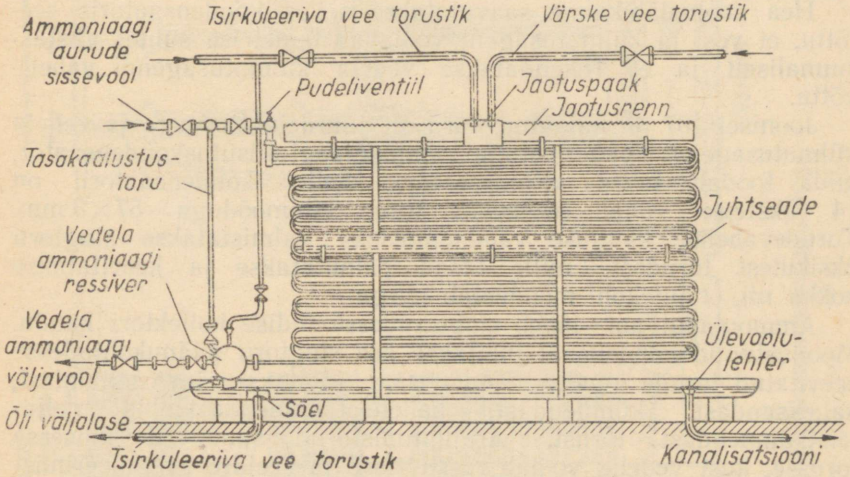
Vertikaalsete kesttorukondensaatorite põhimõõted

Jahutuspind m²	Kesta läbimõõt mm	Kesta kõrgus mm	Kondensaatori üldkogus mm	Aurutoru läbimisava mm	Vedelikutoru läbimisava mm	Kaal kg
50	725	5500	5908	76	25	3520
85	930	4500	5000	100	32	4470
100	1035	4500	5000	125	38	5530

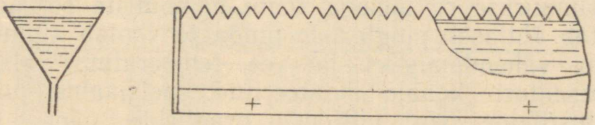
Niisutuskondensaatorid

Niisutuskondensaator külmutusagendi auru ülalt juurdejuhtimisega koosneb reast tasapinnalistest õmblusteta siugtorudest (joon. 105). Siugtorusid jahutatakse pealt veega. Vee ühtlasemaks jaotamiseks on siugtorude kohale paigaldatud jaotusrennid (joon. 106), kuhu vesi voolab vee-

jaotuspaagist. Siugtorude niisutamise ajal vesi osaliselt aurustub. Järelikult juhitakse niisutuskondensaatoris soojus külmutusagendilt ära osaliselt veega ja osaliselt õhuga. Sellise kondensaatori normaalseks töötamiseks on vajalik värske õhu hea juurdepääs. Seepärast paigaldatakse niisutuskondensaatorid spetsiaalsetes lahtistes ruumides, kõige sagedamini hoonete katustel, spetsiaalsetel estakaadidel jne. Päikesekiirte otsese mõju eest kaitstakse niisutuskondensaatoreid ülalt katusega, milles on väljatõmbeava, ja külgedelt võreliste seintega.



Joon. 105. Niisutuskondensaator ammoniaagi auru ülalt juurdejuhtimisega.



Joon. 106. Jaotusrenn.

Niisutusvesi voolab teras- või terasbetoonpaaki, mis asetseb kondensaatori all. Sellest paagist pumbatakse vesi kondensaatori jahutamiseks uuesti veejaotuspaaki, üleliigne vesi aga juhitakse kanalisatsiooni. Veejaotuspaaki lisatakse vastavalt vajadusele värsket külma vett.

Külmutusagendi aur siseneb siugtorudesse ülalt, vedel külmutusagent aga juhitakse ära alt. Soojusläbikanne on neis kondensaatoreis halb: soojusläbikandetegur $k = 200 \div 250$ kcal/m²h°, eri-soojusvoog $q_F = 1000 \div 1200$ kcal/m²h. See on seletatav külmutusagendi ja õli halva ärajuhtimisega soojusläbikandepinnalt. Siugtoru alumised keerud on harilikult täis vedelat külmutus-

agenti ega võta osa aktiivsest soojusvahetusest. Peale selle esineb neis kondensaatorites külmutusagendi ja vee paralleelvool, mis samuti vähendab soojusvahetuse efektiivsust. See kondensaatoritüüp on vananenud ja seepärast käesoleval ajal teda enam ei toodeta, kuid teda võib leida veel küllalt sageli vanades külmutusseadmetes.

Niisutuskondensaator külmutusagendi auru alt juurdejuhtimisega on niisutuskondensaatori moodne tüüp. Seda kondensaatorit iseloomustab suur soojusläbikandetegur — $k = 700 \div 900$ kcal/m²h°.

Hea soojusläbikanne saavutatakse selles kondensaatoris seetõttu, et vesi ja külmutusagent voolavad teineteise suhtes vastassuunaliselt ja et rakendatakse vedela külmutusagendi vaheltvõttu.

Joonisel 107 on näidatud auru alt juurdejuhtimisega ja vedela külmutusagendi vaheltvõtuga ammoniaagi-niisutuskondensaator, mida toodab tehas «Kompressor». Sellel kondensaatoril on 14 üksteise kohal asetsevat toru, läbimõõduga 57×3 mm. Torudevahelise kauguse vähendamiseks valmistatakse siugtoru üksikutest torudest, mille otsad painutatakse ja keevitatakse kokku nii, et liitekoht moodustab nurga.

Ammoniaagi aur läheb siugtorudesse üldise kollektori kaudu. Moodustunud kondensaat juhitakse ära siugtoru käänukohtadesse keevitatud torude kaudu. Kondensaat juhitakse ära neljandast, kaheksandast, kümnendast, kaheteistkümnendast ja neljateistkümnendast torust. Ärajuhtimistorud suubuvad ühisesse torusse, kust vedelik voolab ressiivrisse ja seejärel reguleerimisventiili.

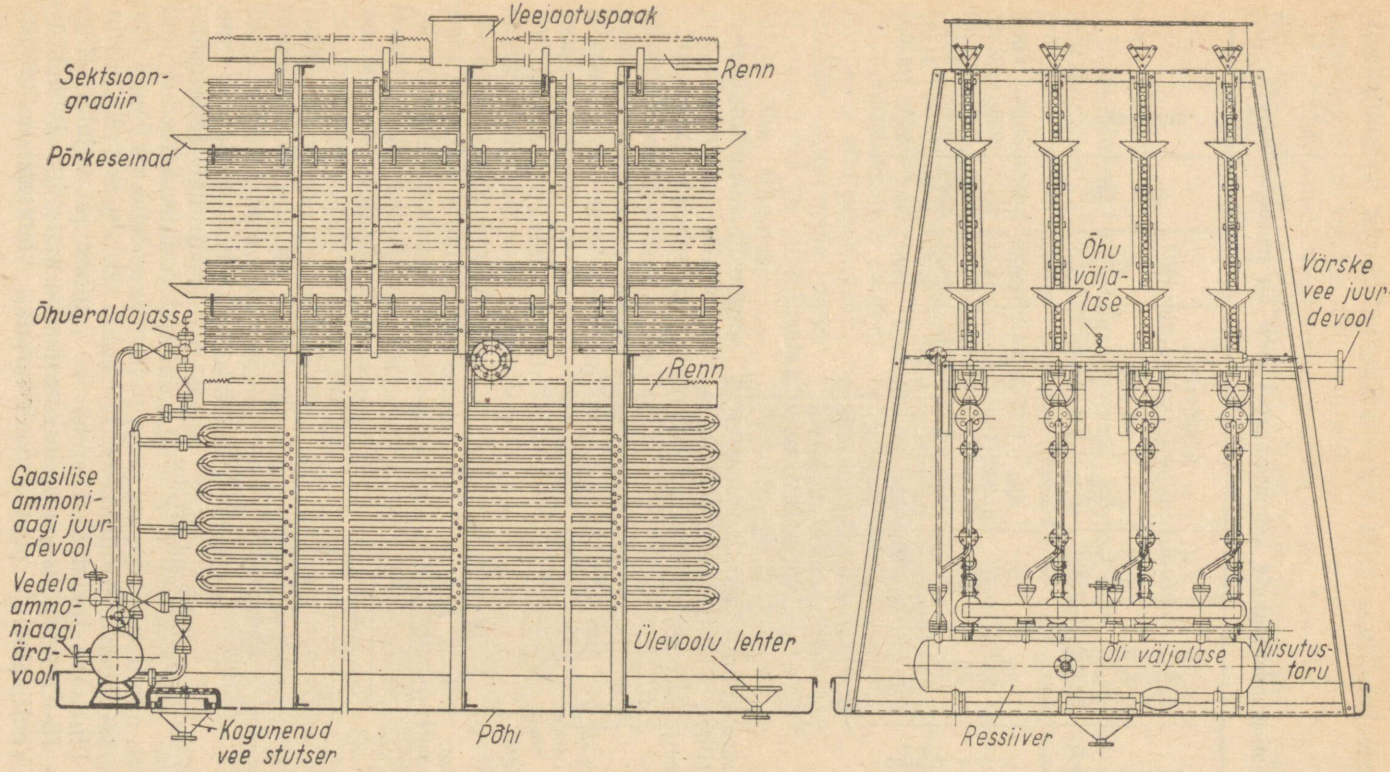
Kondensaatori ülemisest torust ja ressiivri ülemisest osast nähakse ette õhu ärajuhtimine.

Üle kolmnurkse ristlõikega renni hambuliste servade valguv vesi niisutab ühtlaselt siugtorude pinda ja voolab alumisse paaki.

Veekulu vähendamiseks ja vee temperatuuri alandamiseks on kondensaatori kohale monteeritud spetsiaalne jahutusseade kas jahutustiikide või lattidest gradiiride näol. Alumisest paagist pumbatakse vesi jahutusseadme (paagi, renni) kaudu gradiiri.

Sageli koosneb gradiir puitlattidest, mis asetsevad kondensaatori kohal. Õhukese kihina gradiiril nõrguv vesi osaliselt aurustub. Aurustamiseks vajalik soojus (ühe kg vee aurustamiseks on vaja 597 kcal/h soojust) võetakse veelt endalt, mis seetõttu jahtub. Jahtunud vett kasutatakse uuesti kondensaatori jahutamiseks. Jahutamise intensiivistamiseks on vaja õhu head tsirkulatsiooni.

Niisutuskondensaatorid külmutusagendi auru alt juurdejuhtimisega ei jää maha tänapäeva parimatest kondensaatoritüüpidest ja tal on olulised eelised neil juhtudel, kui jahutusvett ei ole küllaldaselt, kui vesi ei ole puhas ja on suure kalkusega,



Joon. 107. Niisutuskondensaator gradiiriga.

sest nende kondensaatorite puhastamine katlakivist on suhteliselt lihtne.

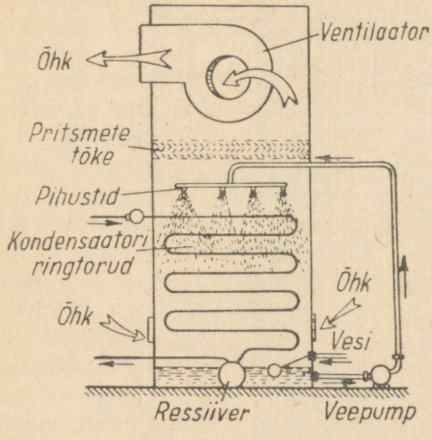
Tabel 15

Niisutuskondensaatorid külmutusagendi auru alt juurdejuhtimisega

Jahutuspind m^2	Sektsiooniide arv	Ammoniaagi auru stutseri läbimõõt mm	Vedela ammoniaagi stutseri läbimõõt mm	Ressiivri			Pikkus mm	Laius mm	Kõrgus mm	Kaal kg
				pikkus mm	arv	üldmaht m^3				
30	2	50	19	850	1	0,07	6490	1950	2205	1483
45	3	65	25	1400	1	0,11	6490	2500	2205	2146
60	4	76	25	1950	1	0,153	6490	3050	2205	2798
75	5	76	32	2500	1	0,194	6490	3600	2205	3450
90	6	100	32	3050	1	0,235	6490	4150	2205	4123
120	8	76×2	25×2	1950	2	0,153×2	6490	5400	2205	5460

Aurustuskondensaatorid

Aurustuskondensaatoris paiknevad siugtorud kinnises kestas (joon. 108). Külmutusagent voolab siugtorudes, mida niisutatakse veega. Veega vastassuunas liigub õhk, mis imetakse ventilaatori abil sisse kesta alumises osas olevate pilude kaudu. Õhuvoolus vesi aurustub intensiivselt, mistõttu kondensaatoris külmutusagendilt ärajuhitud soojus antakse üle õhule niiskuse kujul. Külmutusseadme püsistunud tööreŽiimis jääb vee temperatuur muutumatuks. Seepärast suunatakse kesta alumisse ossa langev vesi pumba abil uuesti siugtorude niisutamiseks, kusjuures vee vahejahutamine ei ole vajalik. Veekulu on sellises kondensaatoris väga väike, moodustades ainult umbes 5% kesttorukondensaatoris esinevast veekulust. Antud juhul kulub vett ainult nii palju, kui palju seda niiskusena koos õhuga ära kandub. Kondensaatoripinna 1 m^2 kohta kulub vett ligikaudu 50—70 l/h. Õhu liikumiskiirus on 3—5 m/sec ja vajalik õhuhulk — 75—100 m^2 kondensaatori soojuskoormuse iga 1000 kcal kohta. Ventilaatori ja pumba poolt tarbitav võimsus on umbes



Joon. 108. Aurutuskondensaator.

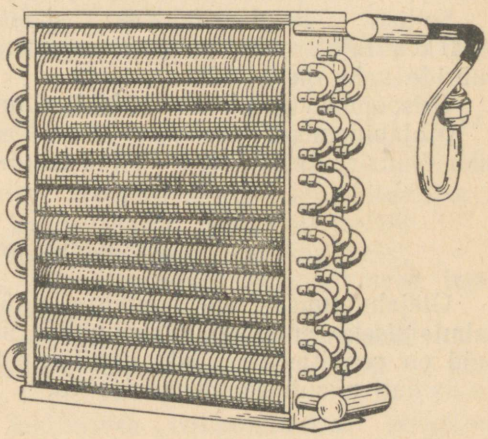
0,03 kW 1000 kcal/h kohta. Sellise kondensaatori soojusläbikandetegur on umbes 400 kcal/m²h°.

Aurustuskondensaatoreid on otstarbekas kasutada neil juhtudel, kui vett ei ole küllaldaselt. Neid võib üles seada kinnistesse hoonetesse.

Õhkjahutusega kondensaatorid

Õhkjahutusega kondensaatoreid kasutatakse väikestes külmutusseadmetes külmatootlikkusega kuni 3000 kcal/h, kus vesijahutuse rakendamine ei ole keerukama ekspluatatsiooni ja konstruktsiooni tõttu otstarbekas.

Sellised kondensaatorid koosnevad tavaliselt reast siugtorudest, mille sees liigub külmutusagent. Siugtorude ümber voolab õhk.



Joon. 109. Õhkkondensaator.

Soojusülekande suurendamiseks õhu poolel kinnitatakse siugtorude välispinnale ribid ja suurendatakse õhu liikumiskiirust ventilaatorite abil kuni 2 m/sec.

Joonisel 109 on kujutatud õhkjahutusega kondensaator, mida kasutatakse freoonagregaadis ФАК-06, külmatootlikkusega 600 kcal/h. Kondensaator koosneb 42 torust, mis paiknevad kolmes reas. Need torud, läbimõõduga 12×1 mm, on valmistatud punasest vasest või messingist. Torud ühendatakse omavahel 10×1 mm-se läbimõõduga torupõlvedega, mis joodetakse külge tinajoodisega. Ümber torude välispinna on keeratud spiraalselt messinglint, paksusega 0,15 mm ja kõrgusega 5 mm. Kontakti loomiseks ribi ja toru välispinna vahel lastakse kondensaator sulatina vanni. Kondensaator kinnitatakse karkassi külge, mis on varustatud difuusoriga. Jahutusõhu liikumiskiiruse suurendamiseks kasutatakse elektrimootoriga käitatavat tiivikventilaatorit, mis asetseb difuusori torus. Freooni aur suundub kondensaatorisse ülalt läbi kollektori, mis ühendab kõik sektsioonid. Vedelik juhitakse ära alt.

Kõik õhkjahutusega kondensaatorid on oma konstruktsioonilt sarnased ülalkirjeldatuga, erinedes ainult ribistuse osas. Mõnedes kondensaatorites kasutatakse tasaseid ribisid, mis on ühised kõigile torudele.

Kaubandusettevõtetes ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes kasutatavate kondensaatorite põhiandmed on antud tabelis 16.

Tabel 16

Õhkjahutusega kondensaatorite põhiandmed

Kondensaatori mark	Väline soojusläbikandepind m^2	Mõõtmed			Agregaadi tüüp
		pikkus	laius	kõrgus	
KB	2,35	411	94	368	ФАК-06
KB	3,25	—	—	—	ФАК-07
KB	2,4	411	130	388	ФРУ-08
KB-10	10,0	500	160	470	АК-2ФВ-5/3

Selliste kondensaatorite soojusläbikandetegur $k = 20 \div 30$ kcal/m²h°. Õhu ja kondenseeruva külmutusagendi temperatuuride vahe on 8—12°.

Erisoojusvoog $q_F = 200 - 300$ kcal/m²h.

Majapidamis-külmutuskappides kasutatakse mõnikord loomuliku õhutsirkulatsiooniga ribilisi kondensaatoreid.

Ülejahutajad

Ülejahutamist rakendatakse külmutusagendi täiendavaks jahutamiseks enne selle saabumist aurustussüsteemi. Ülejahutajaid on soovitav kasutada vertikaalsetes kesttorukondensaatorites ja samuti niisutuskondensaatorites.

Tabel 17

Ülejahutajate põhimõõtmed

Jahutuspind m^2	Sektsioonide arv tk.	Torude arv ühes sektsioonis tk.	Ammoniaagi sisenemise toru läbimõõt mm	Ammoniaagi väljumise toru läbimõõt mm	Veetorude läbimõõt mm	Mõõtmed mm			Kaal
						pikkus	laius	kõrgus	
3,9	1	8	32	32	32	5200	300	1600	386
4,9	1	10	32	32	32	5200	300	1750	486
5,85	1	12	32	32	32	5200	300	1910	550
6,8	1	14	32	32	32	5200	300	2070	630
7,8	1	16	32	32	32	5200	300	2220	711
9,8	2	10	38	38	50	5200	450	2220	935
11,7	2	12	38	38	50	5200	450	2360	1125
13,6	2	14	50	50	50	5200	450	2520	1258
15,6	2	16	50	50	50	5200	450	2670	1420

Ülejahutajad kujutavad endast kahekordsetest torudest vastuvooluaparaate. Jahutajana kasutatakse sageli kahekordsete torudega vastuvoolukondensaatorit, mida valmistab tehas «Kompressor». Jahutusvesi voolab sisemistes torudes. Ülejahutaja lülitatakse kondensaatori ja reguleerimisventiili vahele. Ülejahutaja tuleb varustada ümbervooluventiiliga (baipassventiiliga), et teda oleks võimalik remondiks ja ülevaatuseks välja lülitada. Ülejahutajaid valmistatakse jahutuspinnaga 3,9 kuni 15,6 m².

Ammoniaagi ja jahutusvee temperatuuride keskmine vahe on 4°, mispuhul soojusläbikandetegur on 600 kcal/m²h°.

§ 27. Kondensaatori arvutus

Kondensaatori arvutus seisab soojusläbikandepinna, veekulu ja konstruktiivsete põhimõõtmete leidmises.

1. Kondensaatori soojusläbikandepinda arvestatakse järgmise valemiga:

$$F = \frac{Q_{kond}}{k\Delta t_m}, \qquad (1)$$

kus Q_{kond} — külmutusagendilt kondensaatoris ärajuhitav soojushulk, s. o. kondensaatori tootlikkus kcal/h;

k — kondensaatori soojusläbikandetegur kcal/m³h°;

Δt_m — kondenseeruva külmutusagendi ja jahutusvee temperatuuride keskmine vahe.

Selles valemis esinevad suurused määratakse järgmiselt:

a) kondensaatori tootlikkus arvutatakse valemiga (8) (I peatükk);

b) külmutusagendi ja jahutusvee temperatuuride keskmine vahe Δt_m arvutatakse valemiga (24) (IV peatükk);

c) soojusläbikandetegur arvutatakse IV peatükis toodud valemitega või võetakse orienteeruvalt tabelist 18.

2. Veekulu G_v kondensaatoris määratakse tingimusel, et kogu kompressorist ärajuhitav soojus kanduks üle veele:

$$Q_{kond} = G_v c_v (t_{v_2} - t_{v_1}) \text{ kcal/h}, \qquad (2)$$

millest

$$G_v = \frac{Q_{kond}}{(t_{v_2} - t_{v_1}) c_v} \text{ kg/h ehk maht } V \text{ l/h}. \qquad (3)$$

Vee erisoojus $c_v = 1$ kcal/kg°.

Vee temperatuuri tõus kondensaatoris moodustab 4—7°.

Niisutuskondensaatorite jaoks vajalik veehulk on tehase andmeil 0,8—0,6 m³/h jahutuspinna iga ruutmeetri kohta. Seejuures moodustab värske vee kulu 10—12% tsirkuleeriva vee hulgast.

3. Kesttorukondensaatori konstruktiivsed põhimõõtmed:

Tabel 18

Soojusläbikandeteguri k ja soojusvoo q_F praktilised väärtused mitmesugust tüüpi kondensaatorite puhul

Kondensaatorite tüübid	k kcal/m²h⁰	q_F kcal/m²h	Märkused
Sukelduskondensaatorid	150÷250	800÷1200	
Kahekordsete torudega vastuvoolu kondensaatorid	800÷900	3500÷5000	
Elementkondensaatorid	800÷900	3500÷5000	
Horisontaalsed kesttorukondensaatorid	600÷800	3500÷4500	Kui $\Delta t_m = 4 \div 6°$
Vertikaalsed kesttorukondensaatorid	600÷800	3500÷4500	
Niisutuskondensaatorid auru ülalt juurdejuhtimisega	200÷250	1000÷1200	
Niisutuskondensaatorid auru alt juurdejuhtimisega ja vedeliku vaheltvõttudega	700÷900	3500÷5000	
Aurustuskondensaatorid	400÷500	1200÷1600	Kui $\Delta t_m = 2 \div 3°$
Õhkjahutusega kondensaator	20÷30	120÷300	Kui $\Delta t_m = 8 \div 12°$

a) valides eelnevalt toru läbimõõdu d, leiame kondensaatori torude üldpikkused:

$$L = \frac{F}{\pi d} \text{ m};$$

b) valides eelnevalt kondensaatori pikkuse l, leiame torude arvu n:

$$n = \frac{L}{l};$$

c) valides eelnevalt vee liikumiskiiruse, leiame torude tegevristlõike ehk torude üldise ristlõike ühes käigus:

$$f_{käik} = \frac{V_v}{3600 \cdot 1000\, w} \text{ m}^2,$$

kus $f_{käik}$ — torude tegevristlõige ühes käigus m;
V_v — läbivoolava vee maht l/h;
w — vee liikumiskiirus m/sec;

d) ühe toru ristlõige:

$$f_t = \frac{\pi d^2}{4} \text{ m}^2;$$

e) torude arv ühes käigus m:

$$m = \frac{f_{käik}}{f_t};$$

f) käikude arv kondensaatoris z:

$$z = \frac{n}{m}.$$

Kahekordsete torudega vastuvoolukondensaatoris vastab torude arvule ühes käigus kondensaatori sektsioonide arv.

N ä i d e. Arvutada ammoniaakkülmutusmasina horisontaalne kesttorukondensaator, kui külmutusmasina külmatootlikkus on 30 000 kcal/h, külmutusagendi keemistemperatuur $t_0 = -15°$ ja kondensaatorisse siseneva vee temperatuur $t_{v_1} = +18°$.

Arvutuse käik:

1. Võtame kondensaatorist väljuva vee temperatuuriks

$$t_{v_2} = t_{v_1} + 6 = 18 + 6 = 24°.$$

Külmutusagendi kondenseerumistemperatuur on väljuva vee temperatuurist 5° kõrgem:

$$t_k = 24 + 5 = 29°.$$

Ülejahutamist ei ole ette nähtud.

2. Arvutuseks vajalikud parameetrid leiame tabelitest ja graafikutest.

Kuiva auru entalpia $i_1 = 397{,}46$ kcal/kg.

Ülekuumendatud auru entalpia komprimeerimise lõpul $i_2 = 451{,}0$ kcal/kg.

Kondenseerunud vedeliku entalpia $i_3 = i_4 = 132{,}72$ kcal/kg.

3. Külmutusmasinas tsirkuleeriva külmutusagendi hulk

$$G = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{Q_0}{i_1 - i_4} = \frac{30000}{397{,}66 - 132{,}72} = 113{,}23 \text{ kg/h}.$$

4. Kondensaatori soojuslik koormus

$$Q_{kond} = G(i_2 - i_3) = 113{,}23\ (451{,}0 - 132{,}72) = 36038{,}8 \text{ kcal/h}.$$

5. Soojusläbikandetegur (tabelist 18)

$$k = 600 \text{ kcal/m}^2\text{h}°.$$

6. Keskmine logaritmiline temperatuuride vahe

$$\Delta t_m = \frac{t_{v_2} - t_{v_1}}{2{,}3 \lg \frac{t - t_{v_1}}{t - t_{v_2}}} = \frac{24 - 18}{2{,}3 \frac{11}{5}} = 7{,}63°.$$

7. Eri-soojusvoog

$$q_F = k \Delta t_m = 600 \cdot 7{,}63 = 4570 \text{ kcal/m}^2\text{h}.$$

8. Kondensaatori soojusläbikandepind

$$F = \frac{Q_{kond}}{q_F} = \frac{36038{,}8}{4570} = 7{,}88 \text{ m}^2.$$

9. Veekulu kondensaatoris

$$G_v = \frac{Q_{kond}}{t_{v_2} - t_{v_1}} = \frac{36038{,}8}{6} = 6006 \text{ kg/h}.$$

10. Valime torud läbimõõduga 38×3,5 mm ja leiame torude üldpikkuse kondensaatoris:

$$L = \frac{F}{\pi d} = \frac{7{,}88}{3{,}14 \cdot 0{,}031} = 81{,}2 \text{ jooksvat meetrit.}$$

11. Võttes torude pikkuseks 2 m, leiame torude arvu n kondensaatori kestas:

$$n = \frac{L}{l} = \frac{81{,}2}{2} \approx 41.$$

12. Võttes vee liikumiskiiruseks $w = 0{,}8$ m/sec, leiame torude tegevristlõike ühes käigus:

$$f_{käik} = \frac{V_v}{3600 \cdot 1000\, w} = \frac{6006}{3600 \cdot 1000 \cdot 0{,}8} = 0{,}00208 \text{ m}^2.$$

13. Ühe toru ristlõige

$$f_t = \frac{\pi \cdot 0{,}031^2}{4} = 0{,}000755 \text{ m}^2.$$

14. Torude arv ühes käigus

$$m = \frac{0{,}00218}{0{,}000755} = 2{,}76.$$

Valime kolm toru ühes käigus. Kui $m = 3$, siis vee kiirus $w = 0{,}75$ m/sec, mis on lubatav.

15. Käikude arv kondensaatoris

$$z = \frac{n}{m} = \frac{41}{3} \approx 14 \text{ käiku.}$$

16. Kondensaatori tegelik pind, kui torude arv on $14 \cdot 3 = 42$,

$$F = \pi \cdot 0{,}031 \cdot 2 \cdot 42 = 8{,}2 \text{ m}^2.$$

17. Kondensaatori tegelik eri-soojusvoog

$$q_F = \frac{36038{,}8}{8{,}2} = 4395 \text{ kcal/m}^2\text{h}.$$

Kondensaatori mõõtmed määratakse tema projekteerimisel. Külmutusseadmete projekteerimisel tuleb kõige sagedamini valida kondensaator külmutusseadmele, mille külmatootlikkus on antud. Sel juhul seisab arvutus soojusläbikandepinna määramises valemi (1) järgi. Seejärel valitakse soojusläbikandepinna suuruse järgi vastav kondensaatoritüüp kataloogide järgi, kuhu peavad olema koondatud kõik meie tehaste poolt väljalastavate kondensaatorite tüübid. Kondensaatorite valikul võib kasutada õpikus antud tabeleid.

VI peatükk

AURUSTAJAD

Aurustaja on niisugune soojusvahetusaparaat, kus soojus jahutatavalt keskkonnalt antakse edasi külmutusagendile. Aurustajasse sisenev vedel külmutusagent hakkab soojuse juurdesaamise tõttu keema ja muutub auruks.

Olenevalt jahutatava keskkonna iseloomust jaotatakse aurustajad mitmeks tüübiks:

1. Aurustajad vedeliku (vee või soolalahuse) jahutamiseks. Siia kuuluvad sukeldatud, vertikaaltoru- ja kesttoruaurustajad.

2. Aurustajad õhu jahutamiseks. Nende hulka kuuluvad:

a) aurustajad õhu loomuliku tsirkulatsiooniga — seina ja laepatareid ning riiulid;

b) aurustajad ventilaatori mõjul tekitatud õhu sundtsirkulatsiooniga, nn. õhujahutajad.

Soolalahuse tsirkulatsiooni iseloomu järgi eristatakse lahtist ja kinnist tüüpi aurustajaid. Lahtisteks nimetatakse niisuguseid aurustajaid, kus soolalahus aurustajast surve all külmutusseadmetesse (näiteks kambrite patareidesse) pumbatakse, milledest ta aurustajasse tagasi voolab. Kinnist tüüpi on niisugused aurustajad, milledes soolalahus surve all aurustajasse ja sealt jahutusseadmetesse saadetakse.

Kinnist tüüpi aurustajate heaks omaduseks on soolalahuse süsteemi korrosiooni aeglustamine, sest siin on õhuhapniku sattumine soolalahusesse takistatud. Peale selle vajab kinnise aurustaja soolalahuse süsteemis jõuallikas väiksemat võimsust, sest pump on alaliselt vedelikusamba surve all. Nende aurustajate puudusena võib märkida raskendatud soolalahuse jälgimise võimalust ja soolalahuse külmumise ohtu torudes.

Lahtist tüüpi aurustajate paremuseks on soolalahuse jälgimise lihtsus ja mugavus. Puuduseks on aurustaja ülemäära soolalahusega täitumise võimalus, samuti süsteemi suurem korrodeerimine.

Külmutusagendiga täitmise järgi jaotatakse aurustajad sukel-

datud ja sukeldamata aurustajateks. Sukeldatud aurustajates määratakse kindlaks vedeliku vaba nivoo.

Sukeldamata aurustajates ei ole vedelikul kindlat nivood; siia kuuluvad siugtoru seadised.

§ 28. Soojusülekanne aurustajates

Aurustajates toimub soojusülekanne jahutatavalt keskkonnalt külmutusagendile läbi toru seinte.

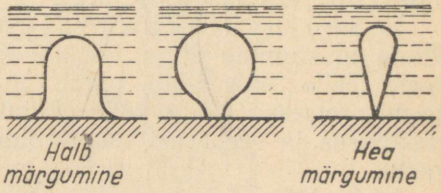
Soojusülekande intensiivsus aurustajates oleneb paljudest teguritest, nagu:

1. Soojusülekande intensiivsus keemisel. See omakorda oleneb:

a) auru tekkimise iseloomust. Eristatakse kahte liiki keemisrežiimi — mullilist ja kilelist.

Mulliline keemisrežiim ilmneb siis, kui soojusülekandepinna mõnes soodsas punktis tekivad üksikud aurumullid. Auru tekkimise keskusteks on kühmud ja konarused, samuti gaasimullikesed, mis kergesti eralduvad soojenduspinnal. Keemisprotsessi intensiivsust määratakse soojenduspinna temperatuuri t_n ja küllastustemperatuuri t_0 vahega $\triangle t$.

$$\triangle t = t_n - t_0.$$



Joon. 110. Aurumullide kujud.

Mida suurem on $\triangle t$, seda rohkem on aurutekkimise keskusi ja seda sagedamini eralduvad aurumullikesed pinnast. Tähendab, $\triangle t$ suurenemisega suureneb soojusülekande intensiivsus. Temperatuuride vahe suurenemine üle 25—30° toob enesega kaasa soojusülekandeteguri α järsu languse. See on tingitud sellest, et suurema temperatuuride vahe juures auru tekkimise keskuste arv suureneb niivõrd, et aurumullikesed liituvad ja tekitavad auru kile, mis eraldab soojendatava pinna vedelikust, tekitades termilise takistuse. Niisugune kile ei ole püsiv, ta rebeneb ja tõuseb pinnale suurte mullide kujul. Niisugust keemisrežiimi nimetatakse kileliseks;

b) keeva vedeliku füüsikalistest omadustest — soojusjuhtivusest, erikaalust, aurustussoojusest jne.;

c) pinna keeva vedelikuga märgumisest. Kui keev vedelik soojenduspinda hästi märgab, siis on tekkivad mullikesed väikesed (joon. 110). Niisugune vedelik nagu tõstab aurumulle, mis omavad väikese kokkupuutepinna soojenduspinnaga ja eralduvad sellelt kergesti.

Kui keev vedelik märgab soojendajat pinda halvasti, siis tekib aur kilekujuliselt või mullid omavad laia kokkupuutepinna

soojenduspinnaga. Soojusülekanne on kilelisel või suurte mullide tekkimisega keemisel tunduvalt madalam kui mullilisel keemisel, kus tekivad väikesed aurumullikesed;

d) keevas vedelikus lahustunud gaaside olemasolust, mis mõjuvad keemise algmomendil positiivselt, sest õhumullikesed on auru tekkimise keskusteks;

e) soojusülekandeseadme konstruktsioonist. Igasuguse konstruktsiooniga seade peab tagama auru kiire eraldamise soojusülekandepinnalt. Soojusülekandepinna efektiivsemaks ärakasutamiseks on otstarbekohane aurustajasse juhtida ainult vedelat külmutusagenti. Drosseldamisel saadud aur tuleb eraldada. Eraldamisprotsess viiakse läbi erilistes aparaatides — vedelikueraldajates.

2. Soojusülekande intensiivsus jahutusvedelikult või õhult. Soojusülekande intensiivsus vedelikult või õhult oleneb peamiselt majandusliku kaalutluse põhjal kindlaksmääratud liikumise kiirusest. Optimaalseks soolalahuse liikumise kiiruseks aurustajas on 0,6—0,8 m/sec. Vee, soolalahuse või õhu soojusülekandetegurit α arvutatakse § 24 valemite (28), (29) ja (30) järgi.

3. Soojusülekandepinna mustumine õliga. Pinna mustumine õliga tekitab suure termilise takistuse ning peale selle halvendab pinna märgumist, põhjustades kilelise keemisprotsessi. Kõige selle põhjal alaneb järsult soojusülekande efektiivsus ja seepärast tuleb võidelda õli aurustajasse sattumise vastu.

4. Soojusülekandepinna mustumine roostega, soolalahuse setetega, härmatisega. Soolalahus põhjustab torude roostetamist, peale selle tekivad torude soolalahuse poolsel pinnal setted jää, soola ja mitmesuguse mustuse kujul. Selle tagajärjeks on järsk termilise takistuse suurenemine ja soojusülekande vähenemine. Õhu jahutamiseks kasutatavate aurustajate soojusülekandepind kattub sageli härmatisega, mis loob samuti soojusülekandele termilise takistuse.

§ 29. Soolalahuse aurustajate ehitus

Sukeldatud aurustajad

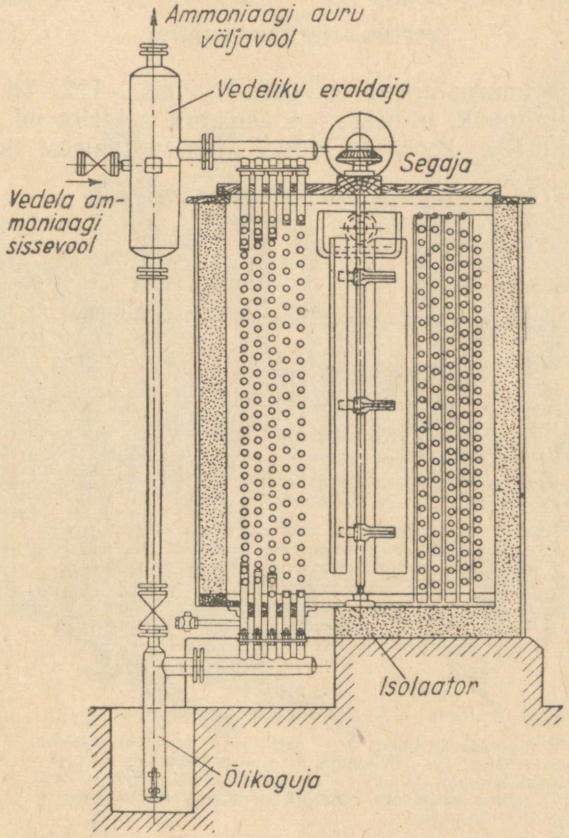
Need aurustajad sarnanevad oma ehituselt sukeldatud kondensaatoritega. Nad koosnevad ümmarguse või täisnurkse ristlõikega metallpaagist, millesse on asetatud vastava kujuga siugtorud (joon. 111).

Siugtorudesse alt sisenev külmutusagent keeb neis paagis-oleva soolalahuse soojuse arvel. Külmutusagendi aur väljub siugtorudest ülevalt ja imetakse ära kompressoriga.

Jahutatud soolalahus pumbatakse paagi alumisest osast

jahutusseadistesse, s. o. kambrite patareidesse. Kambrites soolalahus soojeneb, võttes soojust jahutatavalt keskkonnalt, ja voolab soojenenult aurustaja paaki ülevalt tagasi.

Sukeldatud aurustaja on lahtist tüüpi.



Joon. 111. Sukeldatud aurustaja.

Et soolalahuse liikumiskiirust aurustaja paagis suurendada, monteeritakse sinna segaja. Sellele vaatamata on seda tüüpi aurustajates soolalahuse liikumiskiirus väike ega ületa 0,1 m/sec.

Soojusülekandetegur niisugustel aurustajatel on madal: $k = 200-250$ kcal/m²h° C.

See on tingitud soolalahuse väikesest liikumiskiirusest ja halvast aurumullide eraldumisest soojusülekandepinnalt siugtorude suure pikkuse tõttu. Sukeldatud aurustajate siugtorude tõttu toimub ka õli eraldamine soojusülekandepindadelt halvasti.

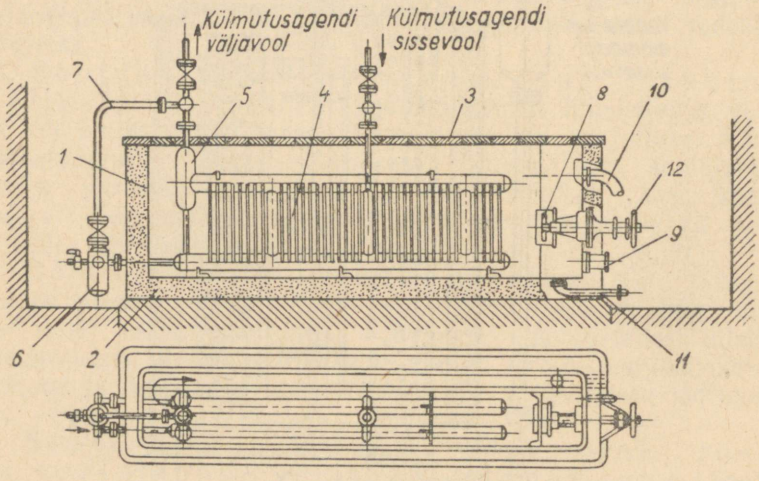
Ümbritsevalt keskkonnalt soojuse juurdevoolu vähendamiseks, s. o. külmakadude vähendamiseks, kaetakse aurustaja paak

väljastpoolt isolatsioonikihiga. Pealt kaetakse paak puust kaanega.

Sukeldatud aurustajad on vananenud tüüpi ja neid käesoleval ajal enam ei kasutata.

Vertikaaltoruaurustajad

Vertikaaltoruaurustaja on näidatud joonisel 112. Ta on neljakandiline metallpaak, millesse on asetatud sektsioonid. Iga sektsioon (joon. 113) koosneb kahest horisontaalsest kollektorist



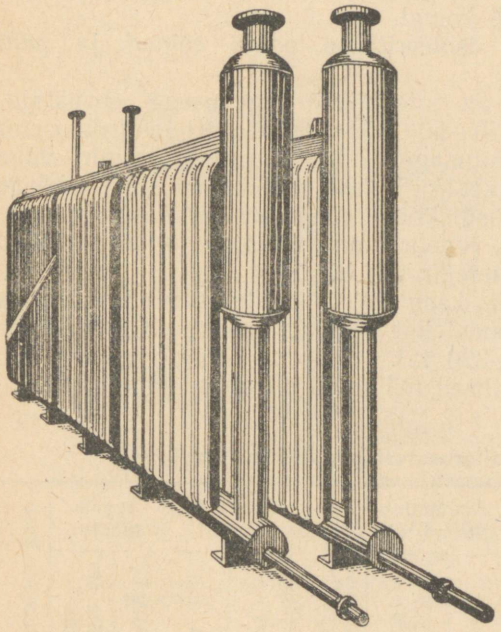
Joon. 112. Vertikaaltoruaurustaja:

1 — paak, *2* — soojusisolatsioon, *3* — kaas, *4* — aurustussektsioon, *5* — vedela külmutusagendi eraldaja, *6* — õlikoguja, *7* — survetasandaja toru, *8* — soolalahuse segaja, *9* — soolalahuse ärajuhtimine, *10* — soolalahuse ülejooksu toru, *11* — soolalahuse väljalaske toru, *12* — segaja rihmaratas.

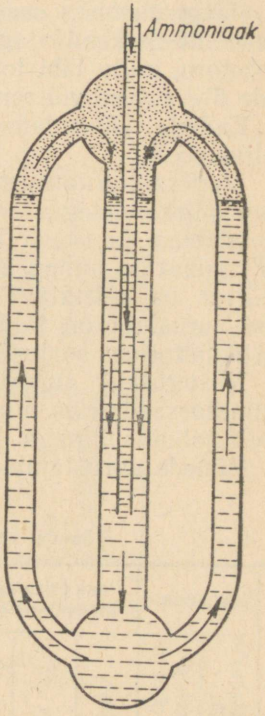
(ülemisest ja alumisest), mis keevitamise teel on omavahel ühendatud vertikaalsete püstikute ja otstest painutatud peente torudega. Kollektorid valmistatakse 121×4 mm-se läbimõõduga torudest, kusjuures ülemise ja alumise kollektori telgede vahe on 800 või 1500 mm. Peened torud on vastavalt läbimõõduga 38×3,5 või 57×3,5 mm. Vertikaalseteks püstikuteks kasutatavate torude läbimõõt on 76×4,5 mm. Ülemise kollektori ühe otsa külge keevitatakse vedelikueraldaja, millest vedeliku äravoolutoru läheb alumisse kollektorisse. Alumise kollektori külge keevitatakse horisontaalne õlikogujatoru. Õlikoguja asub väljaspool paaki ja on külmutusagendi aurude äraimemiseks ühendatud imemistorustikuga.

Vedel külmutusagent siseneb aurustajasse ülevalt läbi ühe püstiku. Toru, mille kaudu vedelik aurustajasse juhitakse, ulatub püstikus peaaegu alumise kollektorini. Selle tõttu siseneb vedelik

kohe alumisse kollektorisse ja seejärel vertikaalsetesse torudesse, mis on külmutusagendiga täidetud peaaegu ülemise kollektorini. Tänu suurele soojusülekandepinnale toimub peentes torudes intensiivne keemine. Torudes tormilisel keemisel tekkinud aur tungib ülemisse kollektorisse, võttes kaasa osa vedelikku. See



Joon. 113. Vertikaaltorudega aurustaja sektsioon.



Joon. 114. Külmutusagendi tsirkulatsiooni skeem vertikaaltorudega sektsioonaurustajas.

vedelik jookseb läbi püstikute tagasi alumisse kollektorisse. Nii on vertikaaltoru aurustajas kindlustatud külmutusagendi tsirkulatsioon alumisest kollektorist läbi torude ülemisse kollektorisse ja sealt püstikute kaudu tagasi alumisse. Külmutusagendi tsirkulatsioon suurendab tunduvalt aurustaja soojusülekannet. Külmutusagendi tsirkulatsiooni skeem on toodud joonisel 114.

Ülemisest kollektorist lähevad aurud vedelikueraldajasse, kus agendi liikumise suuna ja kiiruse muutumise tõttu kergem osa, aur, tõuseb üles ja imetakse ära kompressori abil, raskem osa, vedelik, langeb alla ja pöördub eritoru kaudu tagasi kollektorisse keemiseks.

Jahutatud soolalahus pumbatakse paagi alumisest osast jahutusseadmetesse, kust ta soojenenult paaki tagasi jookseb. See aurustaja on lahtist tüüpi.

Aurustajas luuakse soolalahuse tsirkulatsioon kruvitaolise segaja abil. Lisaks sellele on tsirkulatsiooni kindlustamiseks paaki tehtud vaheseinad. Soolalahuse liikumise kiirus on 0,5—0,7 m/sec.

Paagi ülemises osas on ülevoolutoru. Liigne soolalahus voolab ülevoolutoru kaudu tagavarapaaki. Paagi alumises osas on väljalasketoru, mille läbi toimub paagi tühjendamine aurustussektsioonide ülevaatuse või remondi korral.

Kadude vähendamiseks isoleeritakse paagi seinad ja põhi väljastpoolt.

Vertikaaltoruaurustaja on intensiivse tegevusega aurustaja. Soojusülekandetegur $k = 450 - 500$ kcal/m²h°, eri-soojuskoormus soolalahuse ja keeva külmutusagendi hariliku temperatuuri vahe (5°) puhul on umbes 2500 kcal/m²h. Soojusülekandeteguri k kõrge väärtus on seletatav soojusülekandepinna hea ärakasutamisega, sest aurustaja on täidetud vedela ammoniaagiga ja aur eraldub vertikaaltorude soojusülekandepinnalt hästi.

Niisuguseid aurustajaid kasutatakse keskmistes ja suurtes külmutusseadmetes ning toodetakse Moskva tehase «Kompressor» poolt jahutuspinnaga 120—320 m².

Mõnede aurustajate põhilised mõõtmed on antud tabelis 19.

Tabel 19

Mõnede vertikaaltoruaurustajate põhimõõtmed

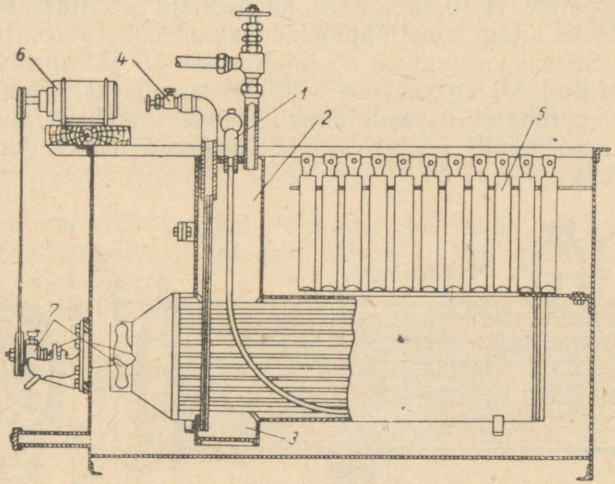
Jahutuspind m²	Sektsioonid		Paak (sisemised mõõtmed) mm			Ammoniaagitorud mm		Soolalahuse stutseri ava läbimõõt mm	Vundament mm		Segaja mootor		Metallosade kaal kg
	Sektsioonide arv tk.	Iga sektsiooni pind m²	Kõrgus	Laius	Pikkus	Auru	Vedela		Pikkus	Laius	Võimsus HJ	Pöörete arv minutis	
12	2	6	1350	720	2500	50	10	65	3100	1300	1	400	1170
15	2	7,5	1350	720	2850	50	13	65	3450	1300	1	400	1390
20	2	10	1350	720	3525	65	19	76	4125	1300	1	400	1600
25	2	12,5	1350	720	4050	65	19	76	4650	1300	1	400	2100
40	4	10	1350	1040	3925	76	19	100	4525	1640	2	220	2850
60	4	15	1350	1040	5000	100	25	125	5600	1640	2	220	4060
130	6	20	1350	1670	6150	150	32	200	6750	2270	2,5	220	7050
200	6	33,5	2050	2080	5565	150	38	200	6150	3680	2,5	220	10085
320	8	40	2050	2080	6450	200×2	38×2	300	7050	3400	5	220	14800

Kesttoruaurustajad

Kesttoruaurustajad on ehitatud kesttoru kondensaatorite põhimõttel ja koosnevad suure läbimõõduga horisontaalsest silindrilisest kestast ja sellesse asetatud hulgast peentest torudest, mis

on valtsitud või keevitatud kesta otstes asuvate torulaudade külge. Torudevahelises ruumis keeb külmutusagent, torusid mööda tsirkuleerib soolalahus. Soolalahuse liikumise järgi torudes jaotatakse aurustajad ühe- ja mitmekäigulisteks.

Ühekäiguline kesttoruaurustaja on näidatud joonisel 115. See aurustajatüüp leiab laialdast kasutamist kaubandus- ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes. Teda toodetakse komplektis koos agregaadiga И-10 ja ЯК-10, külmatootlikkusega 10 000 kcal/tunnis.



Joon. 115. Agregaadi И-10 ühekäiguline kesttoruaurustaja:

1 — vedela agendi juurdevoolu toru, *2* — aurukoguja, *3* — õlisadesti, *4* — ventiil õli väljalaskmiseks, *5* — jäävormid, *6* — elektrimootor, *7* — segaja.

Niisuguse ühekäigulise aurustaja aurustussektsiooniks on horisontaalne toru, läbimõõduga 350 mm ja pikkusega 1140 mm, mis on kahest otsast suletud keevitatud torulaudadega.

Torulaudade avadesse on keevitatud 52 toru, läbimõõduga 27×4 mm. Niisuguse aurustaja soojusülekandepind on 5,4 m².

Kesta ülemise osa külge on keevitatud aurukoguja — vedelikueraldaja, mis kujutab endast ülemisest otsast suletud 150 mm läbimõõduga toru. Alla on keevitatud õlikoguja, millest aurukogujat läbiva toru kaudu perioodiliselt õli välja lastakse. Õli tõus torus toimub aurustajas oleva surve mõjul. Aurustussektsioon asetatakse 400 l-se mahuga soolalahusepaaki.

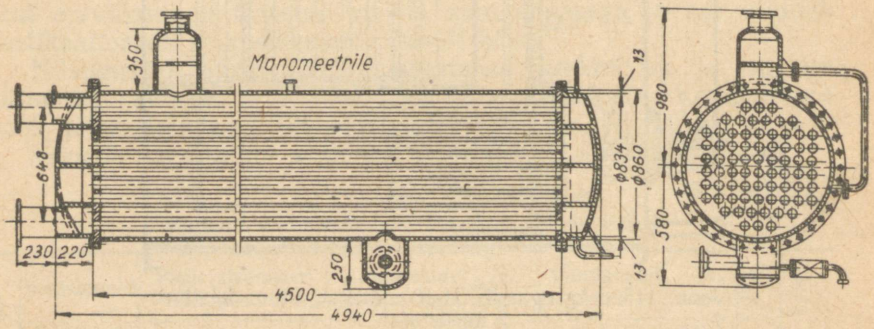
Vedel jahutusagent siseneb toru kaudu läbi aurukoguja aurustaja torudevahelise ruumi alumisse ossa ja täidab aurustaja mahust 90%.

Keemisel tekkiv aur tõuseb aurukogujasse, viies enesega kaasa vedelikuosakesi. Väikese liikumiskiiruse tõttu aurukogujas lange-

vad need vedelikuosakesed tagasi aurustajasse, kuna kuiv aur imetakse aurukogujast ära kompressori abil.

Soolalahus tsirkuleerib aurustaja torudes ning uhub kesta välispinda, mis moodustab 20% sisemiste torude soojusülekandepinnast. Propellersegaja mõjul siseneb soolalahus korraga kõigisse torudesse, s. o. läbib aurustaja kõik torud ühe käiguga. Soolalahuse liikumiskiirus torudes ei ületa 0,6 m/sec. Soojusläbikandetegur $k = 300-350$ kcal/m²h°, eri-soojuskoormus $q = 1600-1800$ kcal/m²h.

Agregaatide И-10 ja ЯК-10 aurustajaid kasutatakse kambrite jahutamiseks ning kunstjääplokkide saamiseks, s. o. jäägeneraatoriteks. Selleks asetatakse soolalahusesse 10 jäävormi. Iga vorm on arvestatud 3,6 kg raskuse jääploki saamiseks. Kambrite jahutamiseks pumbatakse soolalahus külmutuskambrite patareidesse, kust ta soojenenult voolab tagasi aurustaja paaki. Aurustaja on lahtist tüüpi.



Joon. 116. Mitmekäiguline kesttoruaurustaja.

Mitmekäiguline kesttoruaurustaja (joon. 116) valmistatakse keevitatud silindrilisest horisontaalsest kestast, mille otste külge on keevitatud torulauad. Kesta sisse on asetatud torulaudade külge valtsitud torud. Soolalahus, mis tsirkuleerib torudes, läbib neid järjestikku, tehes aurustajas mitu käiku. See saavutatakse vaheseinte ehitamisega kesta kaantesse, millised kinnitatakse kesta külge poltidega, kasutades vaheseintele vastava kujuga tihendeid.

Soolalahus siseneb pumba survel kaane alumise stutseri kaudu ja lahkub jahutatult läbi ülemise stutseri ning juhitakse seejärel külmutuskambrite patareidesse. Patareidest imetakse soolalahus pumba abil välja ja juhitakse jahutamiseks aurustajasse. Soolalahuse liikumise optimaalne kiirus seda tüüpi aurustajates on 0,6—0,8 m/sec. See aurustaja kuulub kinnist tüüpi aurustajate hulka.

Vedel agent siseneb torudevahelisse ruumi alt läbi õlikoguja külge keevitatud stutseri ja täidab 90% kesta mahust. Vedelïku

pinna kõrgus kestas tehakse kindlaks aurustaja vedeliku- ja aurutsooni ühendava näitajatoru härmatumise kõrguse järgi.

Aurud tõusevad aurukogujasse, kust nad kompressori abil ära imetakse. Et vedelikku aurust paremini eraldada, ehitatakse aurukogujasse erilised põrkeplekid, mille mõjul muudetakse auru liikumise suunda ja kiirust.

Soojusülekandetegur $k = 350—400$ kcal/m²h°.

Kui soolalahuse ja keeva agendi temperatuuride vahe on 5°, siis eri-soojuskoormus on 1500—2000 kcal/m²h.

Freooni-kesttoruaurustajatel, erinevalt ammoniaagiaurustajatest, on freoonipoolselt küljelt ribistatud vasksed soojusülekandetorud.

Kesttoruaurustajate eeliseks on nende lihtne ja kompaktne konstruktsioon, efektiivne soojusülekanne ja võimalus ehitada korrosiooni vähendamiseks kinnine tsirkulatsioonisüsteem.

Puuduseks on torude lõhkemise oht neis soolalahuse külmumise puhul.

Soolalahus võib torudes külmuda, kui soola kontsentratsioon on mitteküllaldane või kui soolalahuse pump jääb kompressori töötamise ajal seisma.

Ühekäigulisi kesttoruaurustajaid kasutatakse väikestes külmutusseadmetes ja neid toodetakse komplektis agregaadiga. Mitmekäigulisi kasutatakse väikestes, kuid peamiselt keskmise külmatootlikkusega seadmetes. Kesttoruaurustajate põhimõõtmed on toodud tabelis nr. 20.

Tabel 20

Ammoniaagi-kesttoruaurustaja põhimõõtmed

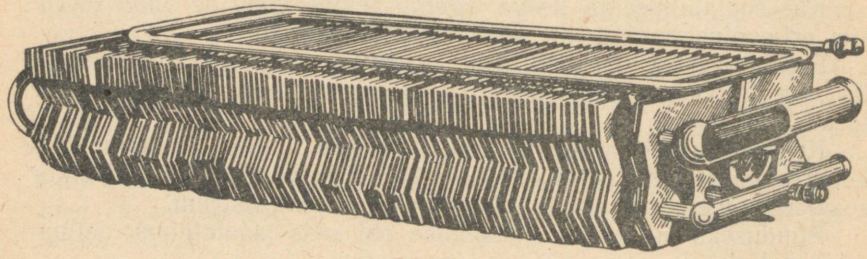
Jahutuspind m²	Ammoniaagi stutserite läbimõõt mm		Soolalahuse stutseri läbimõõt mm	Kesta sisemõõtmed mm			Torude arv kestas tk.	Paagi mõõtmed mm			Kaal kg
	Vedelikul	Aurul		Läbimõõt	Pikkus	Kõrgus ühes aurukogujaga		Pikkus	Laius	Kõrgus	
5,2	10	19	50	325	1140		52	1675	540	850	
50	19	65	100	860	4984	1660	72	—	—	—	3284
80	19	65	125	1026	5550	2000	104	—	—	—	4606
100	25	76	150	1224	4600	1724	160				4900

§ 30. Väikeste külmutusmasinate aurustajad.

Freooni, väävlisgaasi ja metüülkloriidiga töötavates väikestes külmutusmasinates kasutatakse õhkujahutavaid aurustajaid. Niisugused aurustajad asetsevad vahetult jahutatavates ruumides,

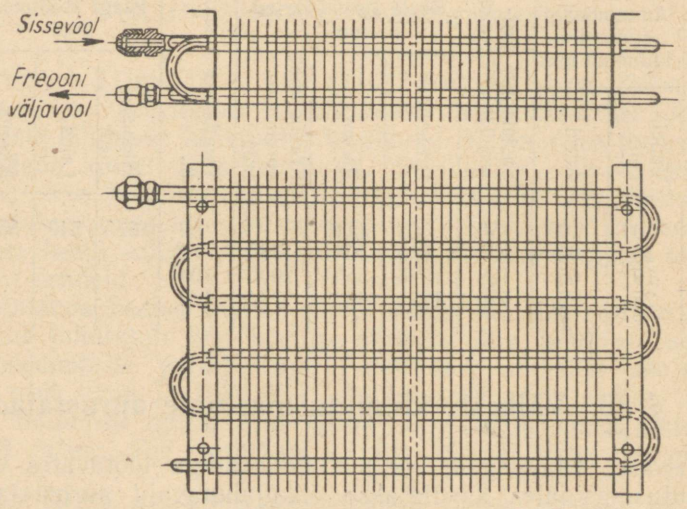
näiteks kodustes ja kaupluste kappides, lettides, vitriinides, lahtivõetavates kambrites jne.

Freoonkülmutusseadmetes leiavad kasutamist vedelikusse mittesukeldatud siugtorukujulised aurustajad. Need on valmistatud punasest vasest või messingtorudest. Õhupoolne torude pind on kaetud ribidega.



Joon. 117. Kauplusekapi *T-120M* aurustaja.

Joonisel 117 on näidatud freoonagregaadi ФАК-06 aurustaja, mida kasutatakse kauplusekapis T-120M ja mis asetatakse kapi lakke. Niisugune aurustaja koosneb 20×1 mm messingtorudest, mis on asetatud kahte ritta ülestikku, kummaski reas neli toru. Pind on kaetud lamedate messingribidega, mis on ühised kõikidele torudele. Ribide ja toruseina vahel hea kontakti loomiseks tõmmatakse läbi toru kerake, mille läbimõõt on veidi suurem toru sisemisest diameetrist. Ribid lõikuvad seejuures toru materjalisse ja tagavad hea kontakti.



Joon. 118. Aurustaja ИРСП-10.

Ülemise ja alumise rea torud ühendatakse ühest otsast põlvedega, teisest otsast aga kahe kollektoriga (ülemise ja alumisega). Vedel freoon siseneb alumisse kollektorisse, aurud väljuvad läbi ülemise kollektori, millesse on ehitatud vahesein auru väljaimemise ühtlustamiseks. Niisuguse aurustaja peale asetatakse spiraalikujuline auruülekuumendajatoru, millest ülekuumendatud aur kompressori abil ära imetakse.

Joonisel 118 on näidatud siugtorukujuline ribidega aurustaja ИРСП-10, mida kasutatakse väikestes lahtivõetavates kambrites seina külge kinnitatult.

Kõigis siugtoru-tüüpi freooniaurustajates, välja arvatud aurustaja kauplusekapile T-120M, siseneb vedel freoon ülevalt ja aur imetakse ära alt. See tagab õli hea tagasituleku kompressori karterisse ja võimaldab freoonseadmeid kergesti automatiseerida.

Õhu jahutamiseks kasutatavate freooniaurustajate iseloomustus on antud tabelis 21.

Tabel 21

Freoonaurustajate iseloomustavad andmed

Aurustaja asukoht	Mark	Väline soojusülekandepind m^2	Mõõtmed mm			Agregaadi mark, mille koosseisu aurustaja kuulub
			Pikkus	Laius	Kõrgus	
Vitriinis, üleval	—	2,32	1790	210	25	ФАК-07, ФАК-06
Letis, üleval	—	6,44	1820	150	130	ФАК-07
Leti seina ääres	—	6,75	1600	330	90	ФАК-07
Kapi lae all	—	7,2	1150	304	218	ФРУ-08
Kapi lae all	—	8,1	1060	470	210	ФАК-07, ФАК-06
Kambri lae all	—	9	1390	304	210	ФРУ-08
Kambri lae all	ИРСП-10	10	1760	460	170	АК-2ФВ 3/1,5
Kambri seina ääres	С-4-15	5,82	1570	92	380	АК-2ФВ 5/3

Ribidega aurustajate soojusülekandetegur oleneb aurustaja asetusest, torude arvust reas, ribi sammust ja vormist jne. Aurustajate soojusülekandetegurite suurused on antud tabelis 22.

Kambrite seinte ääres asuvate ribiliste aurustajate soojusülekandetegur k kõigub 2,5—3,5 kcal/m²h° piirides.

Kodustes kompressoritega külmutuskappides on aurustajad omapärase konstruktsiooniga. Koduses külmutuskapis peab aurustaja võimaldama endasse asetada vorme jää külmutamiseks ja toiduainete säilitamist kapi 0°-se keskmise temperatuuri juures. Väävlisgaasi külmutusmasina aurustaja on näidatud joonisel 119. See koosneb horisontaalsest vasest või messingist silindrilisest kollektorist *4*, mille alumisse ossa on tinutatud aasakujulised aurustustorud *3*. Ruumi, mille moodustavad aurustustorud, asetatakse enamikul juhtudel jääkuubikute valmistamiseks vormikesed *6*.

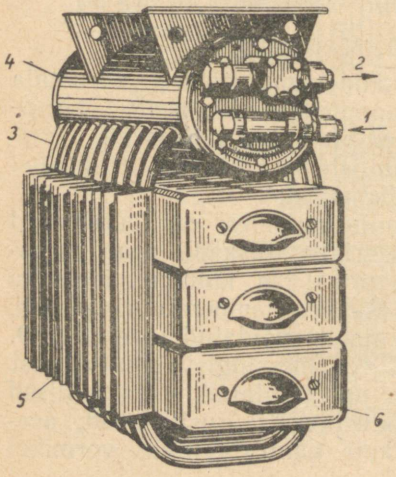
Tabel 22

Õhu jahutamiseks loomuliku tsirkulatsiooniga ribiliste siugtoruaurustajate soojusülekandetegurite suurused

Aurustaja asukoht	Soojusülekandetegur kcal/m²h°C arvestatud pinnale		Aurustaja summaarne pind m²	Ribipinna ja toru de välispinna suhe	Ribi samm mm	Torude horisontaalsete ridade arv	Torude arv	Torude väline läbimõõt mm
	väline k_v	Sisemine k_s						
Leti keskmise riiuli all	9,8	11,0	0,93	—	—	1	8	16
Sama	6,1	14,6	1,97	1,12	25,4	1	8	16
Leti ülemises osas	3,9	25,0	5,14	4,70	12,7	2	8	16
Leti tagumise seina juures (asetatud kilsale küljele)	3,3	21,2	5,14	4,70	12,7	4	8	16
Leti tagumise seina juures (punkris)	2,45	15,7	5,14	4,70	12,7	2	8	16
Leti ülemises osas	3,85	10,1	2,11	1,35	25,4	2	8	16
Leti lae all	2,92	24,2	7,22	6,53	19,0	3	12	19
Kapi, kambri lae all	4,63	—	10,38	10,8	12,7	2	8	19
Leti ülemises osas	3,9	48,2	4,47	10,2	12,7	2	4	19
Leti tagumises osas (punkris)	3,16	39,0	4,47	10,2	12,7	2	4	19
Kapi, kambri lae all	3,9	29,5	6,85	5,85	19,0	3	9	19

Vedel agent siseneb aurustajasse läbi stutseri *1*, mis asetseb kollektori kaanel, ja täidab aurustustorud ning osa kollektorist. Vedeliku nivoo hoitakse niisugustes aurustajates automaatselt püsiv. Agendi aurud imetakse kompressori abil kollektori ülemisest osast läbi stutseri *2* välja.

Sageli valmistatakse koduste külmutuskappide aurustajad üksteisele asetatud lehtedest, milledesse enne on stantsitud rida sooni. Üksteisele asetatud lehed keevitatakse äärtest ja kanalite vahelt kokku. Seega moodustub torude süsteem, mis on ühendatud kollektoriga, milles keeb agent.



Joon. 119. Kodustes kappides kasutatav vedelikuga täidetav väävlisgaasi aurustaja:
1, *2* — stutserid, *3* — aurustustorud, *4* — kollektor, *5* — ribid, *6* — väljatõmmatavad vormid jääkuubikute valmistamiseks.

§ 31. Aurustaja arvutus

Aurustaja arvutus seisab soojusülekandepinna suuruse ja tsirkuleeriva soolalahuse koguse kindlakstegemises.

Aurustaja soojusülekande pind F arvutatakse valemi abil:

$$F = \frac{Q_0}{k(t_{s_2} - t_0)} \text{ m}^2, \qquad (1)$$

kus Q_0 = aurustajasse toodud soojus, s. o. külmutusmasina külmatootlikkus kcal/h;

k = aurustaja soojusülekandetegur kcal/m²h°, mida võib võtta tabelite 22 ja 23 järgi;

t_{s_2} — aurustajast väljuva soolalahuse temperatuur °C.

Temperatuuride vahe $t_{s_2} - t_0$ võib võtta 5°.

Tsirkuleeriva soolalahuse kogus määratakse tingimusel, et aurustajasse tuuakse soojus soolalahusega ja määratakse valemi abil:

$$Q_0 = G_s c_s (t_{s_1} - t_{s_2}) \text{ kcal/h},$$

millest

$$G_s = \frac{Q_0}{c_s(t_{s_1} - t_{s_2})} \text{ kg/h}, \qquad (2)$$

kus G_s — tsirkuleeriva soolalahuse kogus kg/h;

c_s — soolalahuse erisoojus kcal/kg °C;

t_{s_1} — aurustajasse siseneva soolalahuse temperatuur °C.

Tsirkuleeriva soolalahuse maht V_s määratakse avaldisega:

$$V_s = \frac{Q_0}{c_s(t_{s_1} - t_{s_2})\gamma_s} \text{ l/h}, \qquad (3)$$

kus γ_s — soolalahuse erikaal kg/l.

Temperatuuride vahe $(t_{s_1} - t_{s_2})$ on harilikult 2—3°. Soolalahuse erisoojus c_s ja erikaal määratakse lisas toodud tabelite järgi. Võttes soolalahuse külmumise temperatuuri 5° alla agendi keemistemperatuuri (kesttoruaurustajatel 8° võrra), määratakse vastav soolalahuse kontsentratsioon.

Tabel 23

Praktiline soojusülekandetegur k ja soojusvoog q_F mitut tüüpi soolalahuse aurustajatele

Aurustaja tüüp	k kcal/m²h°	q_F kcal/m²h	Märkus
Sukeldatud	200—250	1000—1300	Temperatuuri vahe + 5°C juures
Vertikaaltorudega	450—500	2000—2500	
Kesttorudega:			
a) ühekäigulised	300—350	1600—1800	
b) mitmekäigulised	350—400	1800—2000	

Aurustaja konstruktiivsete mõõtmete määramine toimub analoogiliselt kondensaatori arvutusega.

Külmutusseadme projekteerimisel valitakse nõutava külmatootlikkusega aurustaja kataloogi järgi. Aurustaja valimisel võib kasutada ka õpikus leiduvaid tabeleid.

N ä i d e: Määrata soojusülekandepind ja tsirkuleeriva soolalahuse kogus vertikaaltorudega aurustajale, mille külmatootlikkus $Q_0 = 30\,000$ kcal/h ja aurustajasse siseneva soolalahuse temperatuur $t_{s_1} = -8°$. Aurustaja valida tabelite järgi.

Võttes aurustajas soolalahuse jahtumise 2°, saame $t_{s_2} = -10°$. Agendi keemistemperatuuri võtame 5° võrra madalama paagisoleva soolalahuse temperatuurist, s. o. $t_0 = t_{s_2} - 5 = -15°$. Paagis oleva soolalahuse temperatuuri võime võtta võrdsena väljuva soolalahuse temperatuuriga, sest paagi suure mahutavuse tõttu sinna siseneva soolalahuse temperatuur peaaegu mõju ei avalda.

Soolalahuse külmumistemperatuuri võtame 5° madalama agendi keemistemperatuurist, s. o. $t_{külm} = t_0 - 5 = -20°$. Neid nõudeid rahuldab naatriumkloriidi lahus. Tema erisoojus määratakse tabeli järgi lisas nr. 5. Kontsentratsiooni juures, mis vastab külmumistemperatuurile $t_{külm} = -19{,}4°$ $c_s = 0{,}803$ kcal/kg°, mis vastab soolalahuse töötemperatuurile $t_{s_2} = -10°$.

Soolalahuse erikaal γ_s määratakse lisa tabelitest 7 ja 8 ($\gamma_s = 1{,}169$ kg/l).

Soojusülekandetegur k võetakse tabelist 23 $k = 500$ kcal/m²h°.

Aurustaja soojusülekandepind

$$F = \frac{30\,000}{500 \cdot 5} = 12 \text{ m}^2.$$

Tabelist 19 valime vertikaaltorudega aurustaja, mille soojusülekandepind on 12 m². Aurustaja koosneb kahest sektsioonist, kummagi pind 6 m².

Tsirkuleeriva soolalahuse kogus:

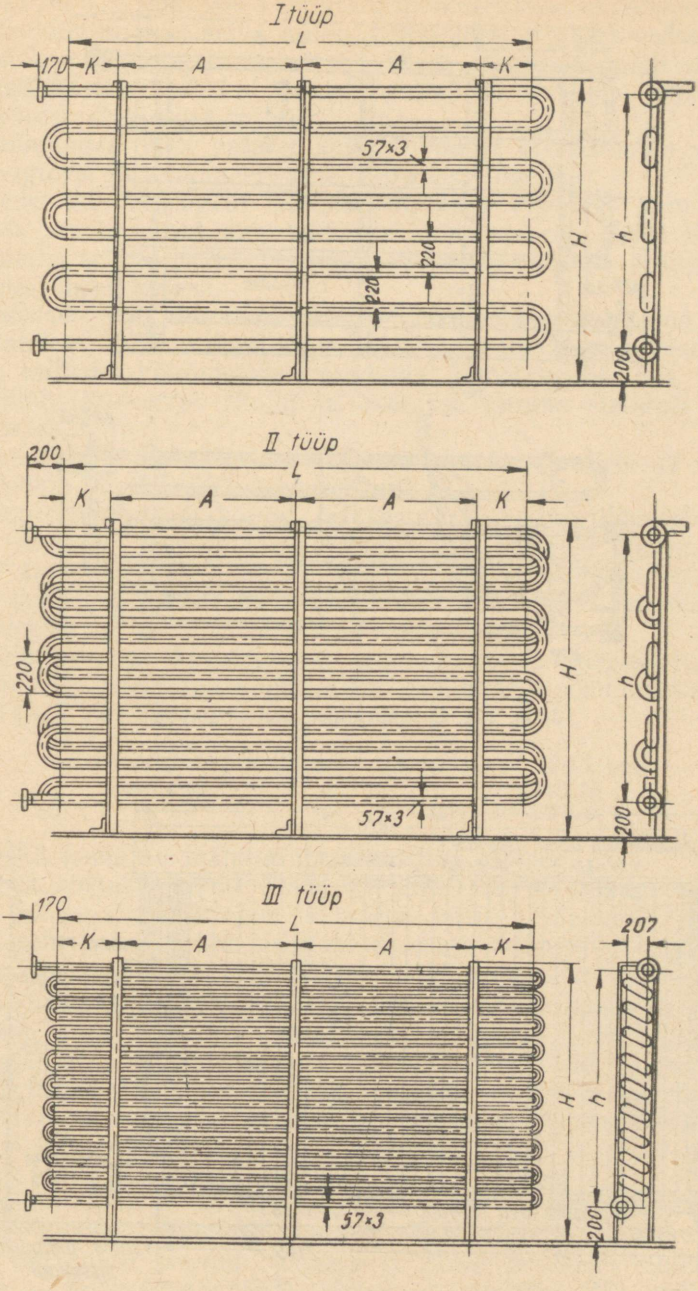
$$G_s = \frac{30\,000}{0{,}803 \cdot 2} = 18680 \text{ kg/h}.$$

Tsirkuleeriva soolalahuse maht:

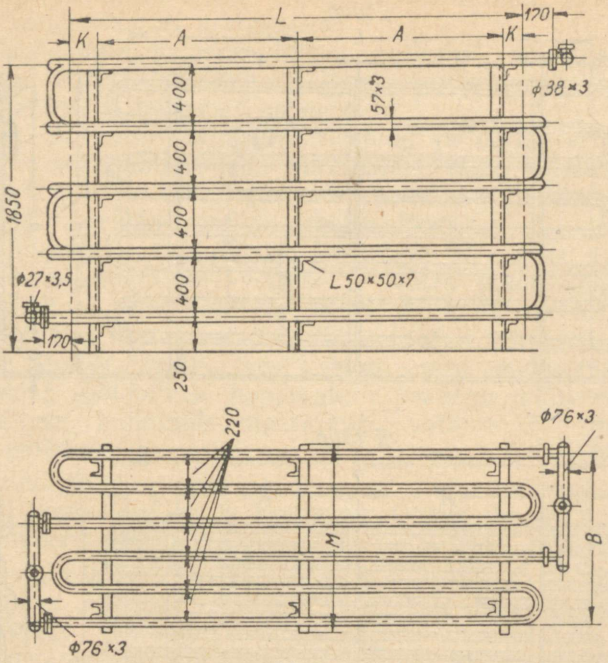
$$V_s = \frac{18680}{\gamma_s} = \frac{18680}{1{,}169} = 15900 \text{ l/h või } 15{,}9 \text{ m}^3\text{/h}.$$

§ 32. Külmutuskambrite patareid

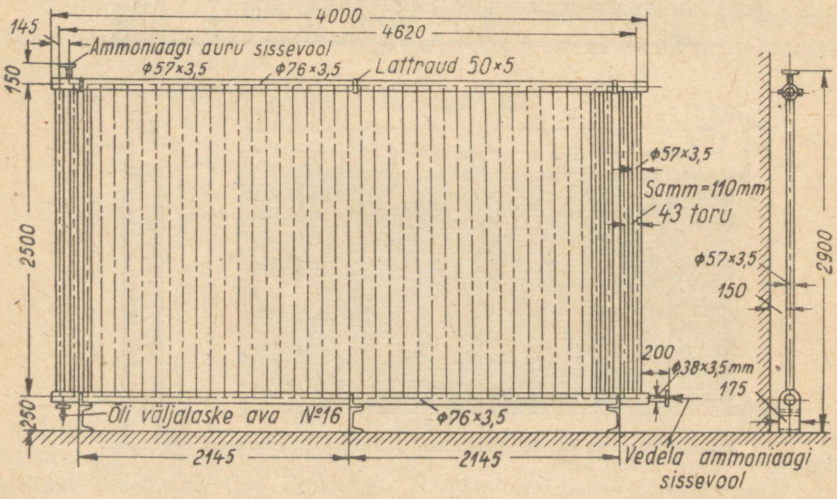
Joonisel 120 on näidatud kolme tüüpi siugtorupatareisid, mida kasutatakse ammoniaakkülmutusseadmeis. Esimene neist kujutab endast tasapinnalist siugtoru, mille telgede vahekaugus on 220 mm. Teine patarei koosneb kahest ühtesobitatud tasapinnalisest siugtorust tagasikäänatud põlvedega. Torude telgede vahe-



Joon. 120. Vahetuaurumisega siugtoru-seinapatareid.



Joon. 121. Otseaurumise stellaažpatarei.



Joon. 122. Vertikaalsete torudega patarei.

kaugus on 110 mm. Need patareid monteeritakse nurkrauast alustele ja kinnitatakse seina külge. Ühtesobitatud siugtorudest patarei on kompaktsem, ta tarvitab vähem ruumi ja omab suurema soojusülekandepinna, kui samade gabariitmõõtmetega ühest tasapinnalisest siugtorust patarei.

Kolmandat tüüpi patarei kujutab endast tasapinnalist spiraalset siugtoru, mis monteeritakse lattrauast tugedele.

Vedel külmutusagent siseneb patareisse alt, keeb kambri õhu soojuse arvel, aurud aga imetakse kompressoriga üles. Patareis on paaris arv torusid, et agendi juurdetoomine ja ärajuhtimine toimuks ühest küljest.

Joonisel 121 on näidatud stellaažide konstruktsioon, mida kasutatakse külmutuskambrites. Stellaažid koosnevad reast riiulitest, milledel külmutatakse produkte. Vedel agent, mis siseneb alt, läbib järjekorras riiulid ja imetakse auruna stellaaži ülemisest osast välja.

Laepatareid valmistatakse üherealiste, kaherealiste ja kimbukujulistena (ligikaudu 5 toru kõrguti).

Siugtorupatareide kõrval on kasutusel ka vertikaalsete torudega ja kahe horisontaalse kollektoriga patareid (joon. 122). Vedel agent siseneb alumisse kollektorisse ja täidab vertikaalsed torud peaaegu ülemise kollektorini. Aurud imetakse ära ülemisest kollektorist.

Külmhoonetes kasutatavate ammoniaak- ja laepatareide valmistamiseks kasutatakse järgmiste mõõtmetega õmblusteta torusid (ГОСТ 301-50):

kuumalt valtsitud	torud	läbimõõduga	57/3.5 mm
tõmmatud	„	„	38/2,25 „
„	„	„	32/2,25 „

Torud kaetakse mähitud ja stantsitud ribidega.

Kuna soojusülekanne õhule on halb, siis on niisuguste patareide soojusläbikandetegur *k* väga väike. Siledatest torudest 57×3 mm valmistatud ammoniaak-siugtorupatareide praktilised soojusläbikandetegurid ВНИХИ andmetel on toodud tabelis 24.

Soojusülekande intensiivsuse suurendamiseks kaetakse patarei välimine pind ribidega. Niisuguseid ribidega kaetud patareisid kasutatakse praegusel ajal laialdaselt, sest nad võimaldavad metalli kulu tunduvat kokkuhoidu ja patarei suuremat kompaktsust.

Ribide mähkimiseks kasutatakse torudel, mille Ø on 57 mm — 50 mm laiust, Ø — 38 mm — 46 mm laiust, ja Ø 32 mm — 40 mm laiust linti. Lindi paksus on 1,0—1,2 mm.

Torude ribidega katmiseks kasutatakse madala süsinikusisaldusega külmalt valtsitud terasest linte (ГОСТ 503-41). Lindi pinna omadused peavad vastama II klassi nõuetele, pinna töötlemine — poleerimata (НП), kõvadus — pehme (М), töötlemise täpsus — normaalne täpsus (Н), serv — lõigatud (О). Lubatud kõikumine lindi paksuses ±0,1 mm ja laiuses ±1 mm.

Tabel 24

Siledatest siugtorudest patareide soojusläbikandetegurid ВНИХИ andmetel

Patarei tüüp	Kambri õhu temperatuur °C	Õhu niiskus %	Temperatuuri vahe		
			5°	10°	15°
Seinapatareid					
a) üherealised	0	85	7,7—11,0	8,3—11,5	8,7—11,5
	—18	95	5,3— 7,5	5,7— 7,9	6,1— 8,2
b) kaherealised	0	85	6,9—10,1	7,5 - 10,7	7,9—11,1
	—18	95	4,7— 6,9	5,1— 7,2	5,5— 7,6
Laepatareid					
a) üherealised	0	85	6,8	7,3	7,8
	—18	95	4,6	5,0	5,4
b) kaherealised	0	85	5,9	6,5	7,0
c) kimbulised	—18	95	4,1	4,5	4,9

Mähitud ribide kõrval võib kasutada stantsitud ümmargusi või täisnurkseid kraega ribisid, mis kinnitatakse torude külge punktkeevitusega.

Sel juhul stantsitakse kraedega ribid vastava laiusega ja 1—1,2 mm paksusega teraslindist ja asetatakse torudele enne patareide monteerimist.

Tabel 25

Ribitorude tehnilised andmed

Torude läbimõõt mm	Samm mm	Lindi laius ja paksus mm	Ribide arv toru 1 j. m. kohta	1 j. m. ribidega kaetud toru jahutuspind m^2	1 j. m. torule vajalik lindi pikkus j. m.	Lindi kaal kg	Siletoru 1 j. m. kaal kg	Ribidega kaetud toru 1 j. m. kaal kg	Ribidega kaetud toru 1 j. m. maht l
57	35,8	50×1—1,2	28	1,12	13,8	5,4—6,5	4,6	10,0—11,1	1,96
38	35,8	46×1—1,2	28	0,80	11,5	4,2—5,0	1,98	6,2— 7,0	0,88
32	35,8	40×1—1,2	28	0,60	9,9	3,1—3,7	1,65	4,8— 5,4	0,59

Ribid stantsitakse madala süsinikusisaldusega külmalt valtsitud teraslindist (ГОСТ 503-41).

Vahetu aurustamise patareide arvutus seisneb soojusülekandepinna kindlaks tegemises.

Patarei soojusülekandepind arvutatakse valemi abil

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} \text{ m}^2,$$

kus Q — külma kulu külmkambris kcal/h (määratakse soojusliku arvutusega);

Δt — kambri õhu ja keeva külmutusagendi temperatuuride vahe võetakse 8—15°;

k — patarei soojusläbikandetegur kcal/m²h°.

Patareide soojusläbikandetegur oleneb kambri temperatuurist, kambri õhu ja keeva agendi temperatuuride vahest, patarei tüübist ja siugtoru torude arvust.

Siledaseinaliste ammoniaakpatareide soojusläbikandeteguri võib võtta tabelist 24.

Väiksema torude arvuga (6—8 toru reas) patareidele vastab soojusläbikandeteguri väiksem väärtus, kuna suurem k väärtus vastab suurema torude hulgaga (16—18 toru reas) patareidele.

Valides torude läbimõõdu ja patarei tüübi, võib teostada konstruktiivse arvutuse, s. o. määrata patarei gabariitmõõtmed, ridade arvu ja torude arvu igas reas.

Soolalahuse patareid tehakse tõmmatud ja kokkukeevitatud 57×3 mm torudest. Horisontaalsed torud on siugtorudeks ühendatud torupõlvede abil. Aurustajast pumbatakse külm soolalahus patareisse alt, soojenenud soolalahus väljub ülevalt tagasi aurustajasse. Niisuguse tsirkulatsiooni korral võtab soolalahus vahetpidamata soojust külmkambrist ja annab selle aurustajas edasi külmutusagendile.

Et soolalahuse sisse- — ja väljavool toimuks ühelt poolt, peab patareil olema paarisarv torusid. Torude üldpikkus patareis ei tohi ületada 200 m. Soolalahuse patarei kõrgemasse punkti asetatakse õhu väljalaskmiseks 6 mm läbimõõduga kraan.

Soolalahuse patareid tehakse seina- ja laepatareidena. Niisuguste patareide kõrgus on tavaliselt 12—16 rida torusid. Patareid monteeritakse nurkrauast alustele.

Soolalahuse laepatareid (üherealised, kaherealised ja kimbulised) monteeritakse nurkrauast riiulitele, latt- või nurkrauast ripatsite külge.

Soolalahuse patareide arvutus on sarnane vahetuaurumise patareide arvutusega. Nende patareide soojusläbikandetegurid on analoogilised ammoniaagi vahetuaurumise patareide soojusläbikandeteguritega.

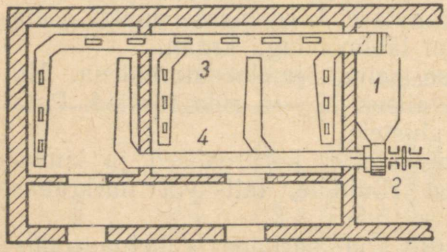
VII peatükk

ÕHUJAHUTAJAD

§ 33. Õhujahutajate tüübid ja konstruktsioonid

Õhujahutajad on soojusvahetuse aparaadid õhu jahutamiseks ja kuivatamiseks, kusjuures õhk pannakse liikuma ventilaatorite abil. Õhu jahutamine toimub aparaadi sees kas külmutusagendi vahetu aurumise tõttu siugtorudes või külma soolalahuse ja vee tsirkulatsiooni abil.

Õhujahutaja monteeritakse kas jahutatavasse kambrisse või väljapoole seda. Õhujahutaja abil ruumide jahutamise printsipiaalne plaan on näidatud joonisel 123.



Joon. 123. Õhujahutuse skeem:
1 — õhujahutaja, *2* — ventilaator, *3* — survekanalid, *4* — tõmbekanalid.

Kambrist imetakse õhk läbi kanali avade õhujahutajasse, kust ta pärast jahutamist läbi survekanali kambrisse surutakse.

Nii surve-, kui ka tõmbekanalid asuvad seinte ligidal lae all, üksteisega paralleelselt. Kanalite seintesse tehakse siibritega suletavad avad. Siibrite abil saab reguleerida õhuvahetust. Et vältida niiskuse kondenseerumist kanalite seintele, valmistatakse kanalid kuivadest laudadest või asbovineerist. Kasutatakse ka ilma kanaliteta jahutamist. Sel juhul monteeritakse õhujahutaja otse jahutatavasse kambrisse. Jahutuspinna iseloomult jaotatakse õhujahutajad kahte põhigruppi:

1) kuivad ehk toru-õhujahutajad (vahetuaurumisega, või soolalahuse jahutajad), milles soojusülekanne toimub läbi toruseinte;

2) märjad (niisutus- ja pihustus-) õhujahutajad, milledes soojusülekanne toimub õhult vahetult külmutusmasina aurustajas jahutatavale vedelikule (soolalahusele, veele).

On olemas veel sega-õhujahutajaid, milledes siugtorustikku niisutatakse soolalahusega.

Kuivade õhujahutajate puuduseks on asjaolu, et õhu miinustemperatuuride juures siugtorud kattuvad härmatisega (lumekihiga), mis takistab soojusülekannet. Härmatise kõrvaldamiseks tuleb õhujahutaja tegevus katkestada, et siugtorudel härmatis sulaks. Sega- ja märgadel õhujahutajatel ei teki härmatist, kuid soolalahus mõjub söövitavalt metallile ja põhjustab torude kiire kulumise.

Kuivade ehk toru-õhujahutajate hulka kuuluvad:

1. Vahetuaurustumisega õhujahutaja kujutab enesest suletud väikeste mõõtmetega kitsast isoleeritud kambrit. Kambri seinteks võib kasutada mitmesugust materjali. Sagedamini kasutatakse punnitud laudadest tehtud seinu.

Kui õhujahutaja asub väljaspool jahutatavat ruumi, siis isoleeritakse tema seinad soojust isoleeriva materjaliga ja krohvitakse.

Õhujahutaja kambrisse on asetatud külmutusagendi vahetuks aurumiseks siugtorud. Siugtorud asetatakse tasapinnaliselt piki või põiki kambrit. Õhku puhutakse kas piki või põiki torusid.

Olenevalt siugtorude asetusest eristatakse pikuti- või põikivooluga õhujahutajaid, ja olenevalt vaheseintest — ühe ja mitmekäigulisi õhujahutajaid.

Põikvooluga õhujahutajad koostatakse harilikult üksikutest malekujuliselt asetatud torudega sektsioonidest.

Soojusülekande intensiivsuse seisukohast on parematekspõikivooluga ja mitmekäigulised õhujahutajad.

Siugtorude kambrisse kinnitamiseks tehakse nurkrauast kandevõrestik. Torud kinnitatakse tugedele klambrite abil. Kõik siugtorud on ühendatud kahe kollektoriga — alumise ja ülemisega. Alumise kaudu juhitakse siugtorudesse vedel külmutusagent, ülemise kaudu imetakse ära aur, mis enne läbib vedelikueraldaja. Külmutusagendi kahanemise vältimiseks torustiku ühendused keevitatakse.

Õhujahutaja kambri ühte otsa asetatakse olenevalt õhu takistusest propeller- või tsentrifugaalventilaator (joon. 124).

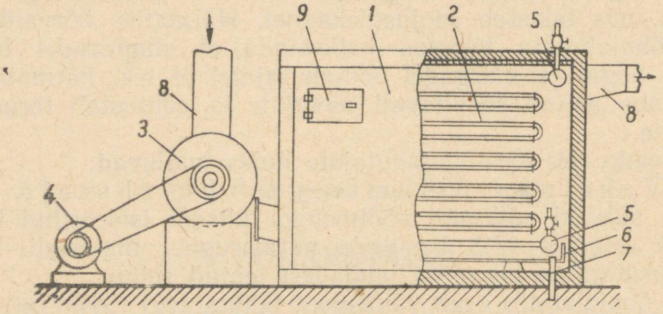
Ventilaatori külge monteeritakse tõmbetoru, kambri teise otsseina või lakke tehakse ava suruõhu toru jaoks. Õhujahutaja läbimisel kondenseerub õhus olev veeaur ja sadestub torudele härmatisena.

Lumekihi sulamisel tekkiva vee kogumiseks ja kõrvaldamiseks asetatakse torude alla terasplekist aluspannid.

2. Soolalahuse jahutusega õhujahutajad erinevad vahetu aurumisega õhujahutajatest ainult sellega, et neil tsirkuleerib patareides soolalahus. Soolalahuse jahutamine toimub külmutusseadme aurustajas.

3. Postament-õhujahutajad on eri liik põikivooluga õhujahutajaid. Siugtorud on ühendatud kahe kollektoriga, millest alumisse siseneb vedel külmutusagent või soolalahus.

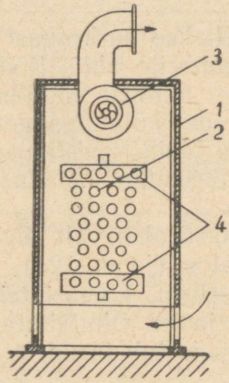
Ülemisest aga imetakse ära agendi aurud või soojenenud soolalahus. Jahutussüsteemi kandevõrestiku külge kinnitatakse metallkest. Õhk imetakse õhujahutajasse kesta alumise lahtise osa



Joon. 124. Õhujahutaja skeem:

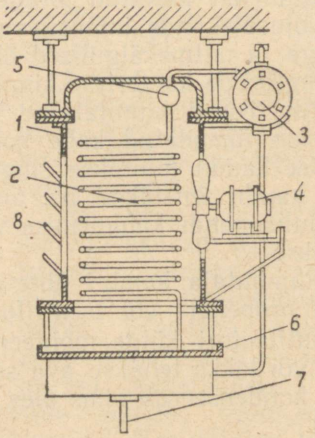
1 — kamber, *2* — külmutuspatareid, *3* — ventilaator, *4* — elektrimootor, *5* — kollektorid, *6* — aluspann, *7* — väljalasketoru; *8* — õhukanalid, *9* — vaateluuk.

kaudu. Kesta ülemises osas asetseb mitu tsentrifugaalventilaatorit (2—4 tükki), mis on elektrimootoritega ühisel võllil. Elektrimootor kinnitatakse väljaspool kesta asetsevale kronsteinile (joon. 125).



Joon. 125. Postament-õhujahutaja skeem:

1 — kest, *2* — külmutussiugtorud, *3* — ventilaator, *4* — kollektorid.



Joon. 126. Rippuva õhujahutaja skeem:

1 — kest, *2* — külmutussiugtorud, *3* — ujukreguleerventiil, *4* — ventilaator, *5* — kollektor, *6* — aluspann, *7* — väljalasketoru, *8* — juhtplaadid.

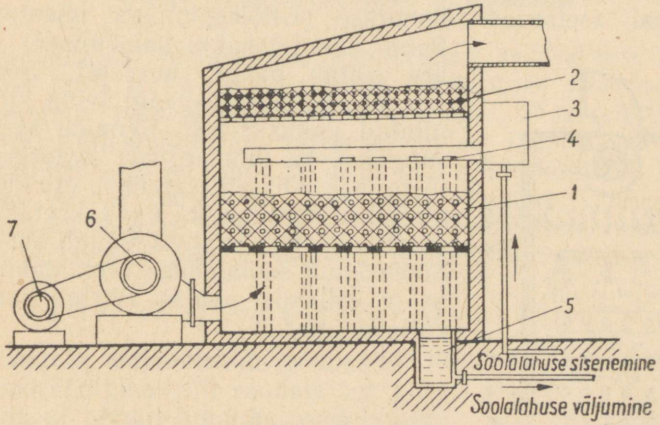
Ventilaatori survetoru külge kinnitatakse lühikesed metallist lehteravad.

Postament-õhujahutajad monteeritakse harilikult jahutatavasse kambrisse seina äärde.

Lehteravade abil on võimalik jahutatavas ruumis ilma spetsiaalsete õhukanalite ehitamiseta saavutada küllaldast õhujaotust ja tsirkulatsiooni.

4. Rippuvad õhujahutajad on väikeste kambrite jahutamiseks. Nendes toimub õhu jahutamine väikeste automaatkülmutusagregaatide — külmutuskompressorite abil. Niisuguse õhujahutaja kereks on ilma esi- ja tagaseinata metallkast. Kasti sisse on asetatud ribidega siugtorud.

Massiivse ülemise kaane külge kruvitakse kolm metallvarrast, millede abil õhujahutaja kinnitatakse lae külge (joon. 126). Agregaadi alla riputatakse aluspann, millesse kogutakse torude lumekatte sulamisel tekkiv vesi. Esiküljel on juhtplaadid väljuva õhu



Joon. 127. Niisutus-õhujahutaja skeem.

1 — rõngastega jahutuskiht, *2* — rõngastega takistuskiht, *3* — jaotuskarp, *4* — niisutustoru, *5* — soolalahuse koguja, *6* — ventilaator, *7* — elektriajam.

suunamiseks. Siugtorude tagaküljele kinnitatakse propellerventilaator. Töö reguleerimine ja perioodiline lume sulatamine torudelt toimub vastavate automaatseadmete abil.

Õhujahutaja väljalülitamine toimub imemistorustikku ehitatud elektromagnetilise ventiiliga termostaadi abil. Väljalülitamine toimub kas temperatuuri langemisel alla nõutava või liiga paksu lumekihi tekkimisel, mille tõttu väheneb aparaadist väljuva õhu vool. Üheaegselt õhu sisseimemise lõpetamisega katkestab reguleerimisventiil torustiku toitmise vedelikuga.

Märgade õhujahutajate hulka kuuluvad järgmised jahutajad:

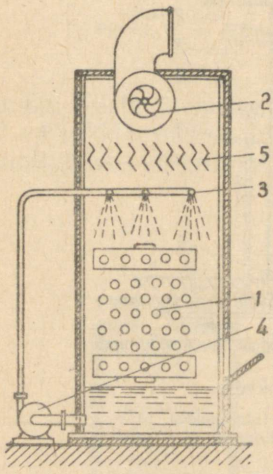
1. Niisutus-õhujahutajad. Nendest kõige levinum on kihiline silindriliste rõngastega varustatud niisutus-õhujahutaja (joon. 127).

Õhujahutaja kujutab endast neljakandilist plekkpaaki. Paak on valmistatud kas neetimise või keevitamise teel.

Paagi välisseinad kaetakse monteerimisel soojust isoleeriva materjaliga.

Paagi sisemusse kinnitatakse kaks plekist resti või nurkrauast raamiga tsingitud traadist võrku. Alumisele restile asetatakse 200—400 mm paksune õhu jahutuskiht, ülemisele restile aga 150 mm paksune takistuskiht keraamilistest rõngastest. Keraamilised rõngad kujutavad endast õõnessilindreid, millede seina paksus on 2—3 mm, läbimõõt ja kõrgus 25 mm. Niisuguseid rõngaid mahub 1 m^3-sse umbes 50 000, millede üldpind on 220 m^2 ja kaal 570 kg.

Kuna rõngaste läbimõõt ja kõrgus on võrdsed, siis asetsevad nad kihtides läbisegi ja õhk läbib kihi ühtlasemalt. Jahutusrõngaste kihi peal asetsevad täisnurkse ristlõikepinnaga niisutusrennid. Renni ääred tehakse hambulised. Rennide arv sõltub paagi suurusest. Soolalahus siseneb rennidesse paagi seina külge kinnitatud jaotuskarbist. Rennide asemel kasutatakse ka ümmarguste avadega niisutustorusid. Otsseina alumise osa külge kinnitatakse ventilaator. Paak kaetakse pealt puidust kastiga, millest väljub survekanal. Soojenenud soolalahuse eemaldamiseks on paagi kallakus põhjas filtriga varustatud väljavoolutoru.



Joon. 128. Märja postament-õhujahutaja skeem.

1 — siugtorud, *2* — ventilaator, *3* — niisutustoru, *4* — pump, *5* — piisapüüdja.

Rennidele, niisutatavale rõngaste kihile ning soolalahuse filtrile ligipääsemiseks on külgseinasse ehitatud luugid ja uksed.

Õhu jahtumisel niiskus kondenseerub ja lahjendab soolalahust. Soolalahuse vajaliku kontsentratsiooni taastamiseks on kasutamisel erilised kontsentraatorid, mis kujutavad soolakorvi ja filtriga varustatud paagikesi.

Õhujahutaja töötab järgmiselt: ventilaatori abil imetakse kambrist õhku ja juhitakse see õhujahutajasse rõngastest jahutuskihi alla. Rõngastekihi läbimisel puutub õhk jahutatud soolalahusega kokku ja jahtub sellejuures ka ise. Osa soolalahust viiakse õhuga kaasa, kuid peetakse kinni takistuskihi rõngastest. Jahutatud ja kuivatatud õhk juhitakse läbi survekanalite kambritesse. Soolalahus pumbatakse aurustajast jaotuskarpi, kust ta uuesti rennidesse juhitakse. Rennide servadest üle voolates niisutab soolalahus, suundudes õhule vastu, rõngastest jahutuskihti. Sellega saavutatakse väga suur õhu ja külma vedeliku kokkupuutepind.

1—2° võrra soojenenud soolalahus juhitakse läbi väljavoolutoru aurustajasse järgnevaks jahutamiseks.

2. Märjad postament-õhujahutajad sarnanevad oma konstruktsioonilt kuivade postament-õhujahutajatega. Erinevus seisab selles, et siin toimub vahetuaurumise siugtorude niisutamine soolalahusega. Selleks asetatakse siugtorude kohale piserdajatega varustatud niisutustoru. Soolalahus, puutudes kokku torude pinnaga, jahtub ja voolab õhujahutaja alumisse ossa paigutatud aluspannile (joon. 128). Siit pumbatakse soolalahus tsentrifugaalpumba abil uuesti niisutustorusse. Õhu jahutamine toimub soojusülekande näol siugtorudele ja soolalahusele. Õhu kuivatamiseks on niisutustoru peale asetatud piisapüüdjad.

§ 34. Õhujahutajate arvutused

Õhujahutajast väljuva õhu temperatuur määratakse niiskusesisalduse järgi, mida on vaja hoida jahutatavas ruumis. Näiteks on külmutatud kala säilitamisel temperatuur —2° ja relatiivne niiskus 90%. Küllastatud õhu niiskusesisaldus jahutatavas kambris temperatuuril —2° on tabeli 26 järgi 4,22 g/m³. Järelikult relatiivse niiskuse juures 90% on jahutatava kambri õhus niiskust $4{,}22 \times 0{,}9 = 3{,}80$ g/m³. Tabelist nähtub, et niisugune niiskusesisaldus on küllastatud õhul umbes —3° temperatuuri juures.

Kuivade õhujahutajate arvutus

1. Torude soojusülekandepinna võib ligikaudselt määrata valemi abil:

$$F = \frac{Q_0}{k \cdot \Delta\tau_m} \text{ m}^2, \qquad (1)$$

kus F — torude soojusülekandepind m²;
Q_0 — õhujahutaja külmatootlikkus kcal/h, määratud soojuse arvutusega;
$\Delta\tau_m$ — õhu ja soolalahuse temperatuuride keskmine vahe;
k — soojusläbikande tegur kcal/m²h°.

Praktiliselt võime soolalahuse ja ammoniaak-toruõhujahutajatel soojusülekande teguri, kui õhk voolab piki torusid (ja arvestatakse lumekihi mõju), ligikaudselt võtta õhu kiirustele 1, 2, 4 m/sec vastavalt 12, 14 ja 17 kcal/m²h °.

2. Siugtorude pikkus võrdub:

$$L = \frac{F}{\pi d}. \qquad (2)$$

3. Soolalahuse kulu õhujahutajas määratakse valemi abil:

$$G_s = \frac{Q_0}{C_s(t_{s_2} - t_{s_1})} \text{ kg/h}. \qquad (3)$$

Tabel 26

Õhu füüsikalised omadused

Õhu temperatuur kraadides	Õhu kaal g/m³	Niiskuse hulk g/m³	Aururõhk mmHg	Soojusmahtuvus kcal/kg	Õhu temperatuur kraadides	Õhu kaal g/m³	Niiskuse hulk g/m³	Aururõhk mmHg	Soojusmahtuvus kcal/kg
+35	1,146	39,41	42,18	30,8	+ 4	1,275	6,39	6,20	3,96
+34	1,150	37,40	39,90	29,3	+ 3	1,279	5,98	5,69	3,52
+33	1,154	35,48	37,73	27,7	+ 2	1,284	5,60	5,29	3,08
+32	1,157	33,64	35,66	26,3	+ 1	1,288	5,23	4,93	2,66
+31	1,161	31,89	33,70	25,0	± 0	1,293	4,89	4,58	2,25
+30	1,165	30,21	31,82	23,8	— 1	1,298	4,55	3,92	1,83
+29	1,169	28,62	30,04	22,5	— 2	1,303	4,22	3,85	1,41
+28	1,173	27,09	28,35	21,3	— 3	1,307	3,92	3,57	1,02
+27	1,177	25,64	26,74	20,2	— 4	1,312	3,64	3,28	0,64
+26	1,181	24,24	25,21	19,2	— 5	1,317	3,37	3,01	0,25
+25	1,185	22,93	23,76	18,1	— 6	1,322	3,13	2,76	—0,10
+24	1,189	21,68	22,38	17,1	— 7	1,327	2,90	2,53	—0,35
+23	1,193	20,48	21,07	16,2	— 8	1,332	2,69	2,32	—0,79
+22	1,197	19,33	19,83	15,3	— 9	1,337	2,49	2,12	—1,12
+21	1,201	18,25	18,65	14,6	—10	1,342	2,30	1,95	—1,45
+20	1,205	17,22	17,53	13,8	—11	1,348	2,14	1,78	—1,76
+19	1,209	16,25	16,48	12,9	—12	1,353	1,98	1,63	—2,07
+18	1,213	15,31	15,48	12,1	—13	1,358	1,83	1,49	—2,38
+17	1,217	14,43	14,53	11,4	—14	1,363	1,70	1,36	—2,69
+16	1,222	13,59	13,63	10,7	—15	1,368	1,58	1,24	—3,01
+15	1,226	12,72	12,79	9,98	—16	1,374	1,46	1,13	—3,31
+14	1,230	12,03	11,99	9,36	—17	1,379	1,35	1,03	—3,61
+13	1,234	11,32	11,23	8,74	—18	1,385	1,25	0,94	—3,90
+12	1,238	10,64	10,52	8,14	—19	1,390	1,15	0,85	—4,17
+11	1,242	10,01	9,84	7,53	—20	1,396	1,05	0,77	—4,43
+10	1,247	9,39	9,21	6,97	—21	1,401	0,95	0,70	—4,68
+ 9	1,252	8,82	8,62	6,43	—22	1,406	0,86	0,64	—4,92
+ 8	1,256	8,28	8,05	5,90	—23	1,412	0,78	0,59	—5,14
+ 7	1,261	7,76	7,51	5,40	—24	1,418	0,71	0,55	—5,35
+ 6	1,265	7,28	7,01	4,90	—25	1,424	0,64	0,53	—5,54
+ 5	1,270	6,82	6,54	4,42					

Kui on tarvis teada tunni jooksul tsirkuleeriva soolalahuse mahtu, siis

$$V_s = \frac{Q_0}{G_s(t_{s_2} - t_{s_1})\gamma_s} \text{ l/h},$$

kus G_s — tsirkuleeriva soolalahuse kogus kg/h;
V_s — tsirkuleeriva soolalahuse kogus l/h;
G_s — soolalahuse soojusmahtuvus kcal/kg°;
γ_s — 1 l soolalahuse kaal kg;
t_{s_1} ja t_{s_2} — soolalahuse temperatuurid.

Pärast torude pinna ja pikkuse ning tsirkuleeriva soolalahuse koguse kindlaksmääramist valitakse õhujahutaja mõõtmed. Selleks on vaja valida paralleelsete siugtorude arv ja määrata torude keerud ja pikkus.

Siugtorude arvu ja torude läbimõõdu õiget valikut võib kontrollida valemi abil:

$$W_s = \frac{4\,G_s}{n \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 60 \cdot 60\gamma_s} \text{ m/sec}, \qquad (5)$$

kus n — paralleelsete siugtorude arv.

Kui soolalahuse kiirus ei ületa lubatut, siis võib lugeda valikut õigeks.

Soolalahuse torude läbimõõt võetakse harilikult 57×3 mm, soolalahuse kiirus W_s — 0,1 kuni 1,0 m/sec.

4. Ventilaatori jõudluse arvutamisel on vaja määrata külma kulu 1 m³ õhu jahutamiseks ja kuivatamiseks. Eeldades, et õhujahutajast on väljuv õhk veeauruga küllastatud, saame:

$$q = 0{,}31\,(t_{w_1} = t_{w_2} + r\,(g^1 \cdot \varphi' - g) \text{ kcal/m}^3, \qquad (6)$$

kus 0,31 kcal/m³ °C — õhu soojusmahtuvus;

r — veeauru kondenseerumissoojus; kondenseerumisel piiskadena $r = 0{,}61$ kcal/g, härmatisena — $r = 0{,}69$ kcal/g;

g — 1 m³ õhu niiskusesisaldus grammides t_{w_1} juures;

g' — sama t_{w_2} juures;

φ' — õhu relatiivne niiskus t_{w_2} juures väljendatult murdarvuna (v. tabel 27).

Täpsem q määratakse soojussisalduse kaudu «$i-x$» diagrammi järgi. Teades q, võime leida ventilaatori vajaliku jõudluse:

$$V_{õhk} = \frac{Q_0}{q} \text{ m}^3/\text{h}. \qquad (7)$$

N ä i d e 1: Arvutada —2° temperatuuri ja 90% relatiivse niiskusega külmutuskambrite jahutamiseks soolalahuse siugtorudega kuivõhujahutaja, külmatootlikkusega 10 000 kcal/h.

1. Jahutuspinna arvutus. Nagu eespool tähendatud, on õhujahutajasse imetava õhu temperatuur ligikaudu võrdne jahutatava kambri temperatuuriga. Kui kambri temperatuur on —2°, siis võime arvestada soojenemist õhutorudes, võtta õhujahutajasse siseneva õhu temperatuuriks $t_{w_1} = -1°$.

Leiame õhujahutajast väljuva õhu temperatuuri t_{w_2}. Tabelist 26 leiame, et küllastatud õhk —1° juures sisaldab veeauru 4,55 g/m³. Järelikult sisaldab jahutatava ruumi õhk 90% relatiivse niiskuse juures niiskust:

$$4{,}55 \times 0{,}90 = 4{,}09 \text{ g/m}^3.$$

Tabel 27

Toiduainete hoidmise tingimused ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes

Produkti nimetus	Temperatuur		Relatiivne niiskus %	Lubatud hoiuaeg ööpäevades
	kraadist	kraadini		
Liha, jahtunud ja jahutatud	+2	+4	80—75	3
Liha, külmutatud	+4	+6*)	85—80	3
Subproduktid, jahutatud	0	+2	80—75	1
Subproduktid, külmutatud	—4	—2	90—85	3
Linnud, jahutatud	+2	+4	80—75	2
Linnud, ulukid, külmutatud	—4	—2	90—85	4
Kala, jahutatud	—2	0	95—90	2
Kala, külmutatud	—4	—2	95—90	2
Kala, soolatud	+3	+5	90—85	10
Piim ja piimasaadused	+4	+6	85—80	1—3
Koorevõi ja toidurasvad	+2	+4	85—80	10—20
Liha ja kala pooltooted	+2	+4	85—80	1—2
Kondiitrisaadused	+2	+4	80—75	2

*) Külmutatud liha peab ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes üles sulama, sellepärast hoitakse kambrite temperatuur üle 0°.

Samast tabelist leiame, et ligem niiskusesisaldus 3,92 g/m³ vastab temperatuurile —3°. Kuna siseneva soolalahuse temperatuur peab olema 5° võrra madalam õhu temperatuurist õhujahutajas, võtame $t_{s_1} = -8°$. Võttes arvesse, et soolalahus soojeneb õhujahutajas 2—3° võrra, võtame $t_{s_2} = -5°$. Määrame soolalahuse ja õhu temperatuuride keskmise vahe $\Delta\tau_m$.

$$\gamma\Delta\tau_m = \frac{(t_{w_1} - t_{s_1}) - (t_{w_2} - t_{s_1})}{2{,}3 \lg \frac{t_{w_1} - t_{s_1}}{t_{w_2} - t_{s_2}}} = \frac{(-1+8) - (-3+5)}{2{,}3 \lg \frac{-1+8}{-3+5}} = 4°.$$

Võtame õhu kiiruseks piki torusid siledate pindade korral $W = 3$ m/sec. Võtame soojusülekandeteguriks 16 kcal/m²h °C.

Vajaliku jahutuspinna leiame valemi (1) järgi:

$$F = \frac{10\,000}{16 \cdot 4} = 156 \text{ m}^2.$$

2. Torude pikkuse leiame valemi (2) järgi:

$$L = \frac{156}{3{,}14 \cdot 0{,}051} = 975 \text{ m}.$$

3. Soolalahuse kulu õhujahutajas leiame valemi (3) järgi. Soojusmahtuvus $c=0{,}85$ kcal/kg °C, kui soolalahuse keskmine temperatuur on — 6,5° ja erikaal $\gamma_s=1{,}1$ kg/l.

$$G_s=\frac{Q_0}{C_s(t_{s_2}-t_{s_1})}=\frac{10\,000}{0{,}85(-5+8)}=3921 \text{ kg/h.}$$

1 tunni jooksul tsirkuleeriva soolalahuse koguse leiame valemist (4)

$$V_s=\frac{Q_0}{C_s(t_{s_2}-t_{s_1})\gamma_s}=\frac{10\,000}{0{,}85(-5+8)\cdot 1{,}1}=3565 \text{ l/h.}$$

4. Õhujahutaja mõõtmete valikul võtame paralleelsete sektsioonide arvuks $n=6$.

Soolalahuse liikumiskiirus valemi (5) järgi on:

$$W_s=\frac{4G_s}{n\cdot\pi\cdot d^2\cdot 60\cdot 60\gamma}=\frac{4\cdot 3925}{6\cdot 3{,}14\cdot 0{,}051^2\cdot 60\cdot 60\cdot 1100}=0{,}08 \text{ m/sec.}$$

Soolalahuse liikumiskiirus on lubatud piires, sellepärast n ja d on valitud õieti.

Leiame õhujahutaja mõõtmed. Torude üldpikkus on arvutuse põhjal 975 m. Torude pikkus ühes sektsioonis 975 : 6 = 162 m.

Võtame torude arvuks ühes sektsioonis 14. Sektsiooni pikkus on siis 162 : 14 = 11,5 m.

Võtame õhujahutaja toruotste kauguseks kambri seintest 0,5 m. Õhujahutaja pikkus on siis 0,5 + 11,5 + 0,5 = 12,5 m.

Õhujahutaja laiuse määramiseks võtame sektsiooni torude keskpunktide vahekauguseks 0,2 m.

Sektsiooni laius on siis 0,2 $(n-1)$ ehk $0{,}2(6-1)=1$ m.

Sektsiooni kauguseks seinast võtame mõlemalt poolt 0,5 m. Õhujahutaja laius on seega 0,5 + 1,0 + 0,5 = 2,0 m. Torude vahe juures 0,15 m on sektsiooni kõrgus $0{,}15(n-1)$ ehk $0{,}15(16-1)=2{,}25$ m. Kaugus kambri põrandast — 0,5 m, laest 0,25 m.

Õhujahutaja kõrgus on seega 0,25 + 2,25 + 0,5 = 3 m.

5. Ventilaatori arvutus: 1 m³ õhu jahutamiseks ja kuivatamiseks vajaliku külma hulga leiame valemist (7).

$$q=0{,}31(t_{w_1}-t_{w_2})+r(q'\varphi'-g)=0{,}31(-1+3)+$$
$$+0{,}69(4{,}55\cdot 0{,}9-3{,}92)=0{,}73 \text{ kcal/m}^3.$$

Ventilaatori jõudlus valemi (6) järgi:

$$V=\frac{Q_0}{q}=\frac{10\,000}{0{,}73}=13\,600 \text{ m}^3\text{/h.}$$

Tabeli 47 järgi valime tsentrifugaalventilaatori «Sirokko» nr. 8.

Keraamiliste rõngastega märja õhujahutaja arvutus.

Resti pind arvutatakse valemi abil:

$$F_p = \frac{Q_0}{kp \cdot \Delta\tau m} \text{ m}^2, \qquad (7)$$

kus Q_0 — õhujahutaja külmatootlikkus kcal/h;
k_p — 1 m² resti pinna soojusläbikandetegur;
$\Delta\tau m$ — tsirkuleeriva soolalahuse ja õhu temperatuuride keskmine vahe.

Soojusläbikandetegur niisutusõhujahutajatele arvutatakse ВНИХИ valemi abil:

$k_p = (280 + 1640 \cdot \delta) H_w^{0,42} (W \cdot \gamma)^{(0,5+0,6\delta)}$ kcal/m²h°,

kus δ — rõngastest jahutuskihi paksus m;
H_w — niisutamise intensiivsus m³/m², võetakse harilikult 4—6;
W — õhu kiirus m/sec, muutub 0,8—1,2 m/sec piirides;
γ — tsirkuleeriva õhu erikaal kg/m³.

Survekadu õhu läbimisel niisutatud rõngastekihist avaldatakse valemiga:

$$\Delta P = [44\delta + (0,75 + 4,6\delta) \cdot H_w] \cdot (W \cdot \gamma)^{(2,4-\delta)} \text{ mm v. s.} \qquad (9)$$

δ — võetakse 0,2—0,4 m.

Survekadu õhu läbimisel takistusrõngaste kihist määratakse valemiga

$$\Delta P_1 = 33\delta' \cdot W^{1,88} \text{ mm v. s.}, \qquad (10)$$

kus δ' — takistuskihi paksus (0,1—0,2) m.

Näide 2. Arvutada keraamiliste rõngastega niisutusõhujahutaja, külmatootlikkusega 20 000 kcal/h, järgmistel tingimustel: õhujahutajasse siseneva õhu temperatuur $t_{w_1} = -1°$, õhu relatiivne niiskus $\varphi = 90\%$, õhujahutajast väljuva õhu temperatuur $t_{w_2} = -3°$, õhujahutajasse siseneva soolalahuse temperatuur $t_{s_1} = -8°$, õhujahutajast väljuva soolalahuse temperatuur $t_{s_2} = -5°$.

Võtame rõngastest jahutuskihi paksuseks $\delta = 0,4$ m, rõngastest takistuskihi paksuseks $\delta' = 0,2$ m, niisutamise intensiivsuseks $H_w = 5$ m, õhu kiiruseks $W = 1,0$ m/sec, $\gamma = 1,3$ kg/m³ õhu keskmise temperatuuri $-2°$ juures.

Resti pinna arvutamiseks on vaja enne leida keskmine temperatuur $\Delta\tau_m$ ja soojusülekande tegur k_p. Keskmine temperatuuride vahe on:

$$\Delta\tau_m = \frac{(-1+8)-(-3+5)}{2,31 \text{ g} \frac{-1+8}{-3+5}} = 4°.$$

Soojusülekande tegur leitakse valemi (8) järgi:

$$k_p = (280 + 1640\delta) \cdot H_w^{0,42} \cdot (W \cdot \gamma)^{(0,5-0,6\delta)} =$$
$$= (280 + 1640 \cdot 0,4) \cdot 5^{0,42} (1 \cdot 1,3)^{(0,5+0,6 \cdot 0,4)} =$$
$$= 936 \cdot 5^{0,42} \cdot 1,3^{0,74} = 1625 \text{ kcal/m}^2\text{h}°.$$

Resti pinna F_p leiame valemi (9) abil:

$$F_p = \frac{20\,000}{1625 \cdot 4} = 3{,}08 \text{ m}^2.$$

Tsirkuleeriva soolalahuse koguse leiame valemiga

$$V_s = \frac{Q_0}{C_s (t_{s_2} - t_{s_1}) \gamma_s} = \frac{20\,000}{0{,}828 (-5 + 8) 1{,}30} = 7134 \text{ l/h}.$$

Tsirkuleeriva õhukoguse väljaarvutamiseks leiame enne külma kulu 1 m³ õhu jahutamiseks valemi (6) järgi:

$$q = 0{,}31 (t_{w_1} - t_{w_2}) + r(g'\varphi' - g) =$$
$$= 0{,}31 (-1 + 3) + 0{,}61 (4{,}55 \cdot 0{,}9 - 3{,}92) = 0{,}72 \text{ kcal/m}^3,$$

siis $V_{\tilde{o}hk} = \frac{Q_0}{q} = \frac{20\,000}{0{,}72} = 27\,800 \text{ m}^3/\text{h}.$

Niisutatava rõngastest kihi takistus:

$$\Delta P = [44\delta + (0{,}75 + 4{,}6\delta) \cdot H_w](W \cdot \gamma)^{(2{,}4 - \delta)} =$$
$$= [44 \cdot 0{,}4 + (0{,}75 + 4{,}6 \cdot 0{,}4) \cdot 5](1{,}0 \cdot 1{,}3)^{2{,}4 - 0{,}4} =$$
$$= 31 \cdot 1{,}3^2 = 52{,}4 \text{ mm v. s.}$$

Takistuskihi takistus:

$$\Delta P' = 33\delta W^{1{,}88} = 33 \cdot 0{,}2 \cdot 1 = 6{,}6 \text{ mm v. s.}$$

§ 35. Õhukonditsioneerijad

Õhu konditsioneerimise all mõistame õhule niisuguse konditsiooni andmist, mis tagab soodsamad elutingimused inimesele või soodustab mitmesuguste tehnoloogiliste protsesside läbiviimist. Konditsioneerimise põhiprotsessideks on talvel õhu soojendamine ja niisutamine, suvel — jahutamine ja kuivatamine.

Temperatuuri tõusmisel suureneb nii õhu soojuse- kui ka niiskusesisaldus.

Põhiliseks konditsioneerimisprotsessiks on õhus jahutamine. Tuleb märkida, et jahutamist ei kasutata mitte ainult temperatuuri alandamiseks, vaid ka õhust niiskuse kõrvaldamiseks.

Temperatuuri alandamisel sadestub liigne niiskus kaste või härmatise kujul ja sellega saavutatakse õhu kuivatamine.

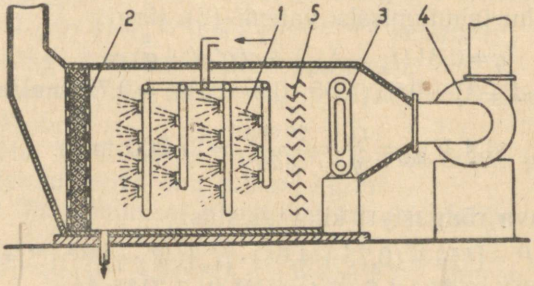
Õhku konditsioneeritakse tootmisruumide, müügisaalide, kinode, teatrite jne. jaoks. Õhu konditsioneerimiseks kasutatakse erilisi aparaate, mida nimetatakse õhukonditsioneerijateks (kliimaseadmeteks). Nendesse kuuluvad vastavad seadmed õhu puhastamiseks, jahutamiseks, kuivatamiseks ja soojendamiseks (joon. 129). Aparaadi põhiosaks on õhujahutaja.

Väga sagedasti kasutatakse õhu konditsioneerimiseks pihustusõhujahutajaid jahutatud vee pihustamisega.

Seoses võimaliku külmutusagendi väljaimmitsemisega kasutatakse freoonseadmeid.

Õhujahutaja kombineeritakse kokku aurustajaga, milles toimub vee jahutamine.

Õhukonditsioneerija kujutab enesest kambrit, mis on jagatud kahte ossa — ülemiseks ja alumiseks. Ülemine osa on konditsioneerija, alumine — aurustaja. Imemiskanalite ette on asetatud riidest filter või õlifilter *2* õhupuhastamiseks tolmust.



Joon. 129. Õhukonditsioneerija skeem.

1 — pihustid, *2* — filter, *3* — soojendaja, *4* — ventilaator, *5* — piisapüüdja.

Filtri taha on asetatud malekorras mitmesse ritta külma vee pihustid. Pihustamine on suunatud vastu õhu liikumist. Õhk jahtub veepiiskadest eesriidest läbiminekul ning võtab peenekspihustatud veest osa kaasa. Selle vee kinnipüüdmiseks kasutatakse ühte või mitmesse ritta asetatud piisapüüdjaid. Talvel kasutatakse õhu soojendamiseks konditsioneerimiskambrisse asetatud siledatest või ribidega torudest koosnevat soojendajat *3*. Õhu tsirkulatsioon tekitatakse ventilaatoriga *4*, mis on kambriga ühendatud imistutseri abil.

Konditsioneerija alumine osa on aurustaja. See kujutab enesest veega täidetud paaki. Paaki on asetatud vahetu aurustamise siugtorud. Külmutusagent saadakse tsentraalkülmutusseadmest või vahetusse lähedusse monteeritud eri külmutusagregaadist.

Vesi juhitakse pihustitesse tsentrifugaalpumba abil. Konditsioneerija ülemise osa põhjas on toru, mille kaudu soojenenud vesi voolab tagasi aurustajasse uuesti jahutamiseks.

Tsirkuleeriva õhu kogus määratakse konditsioneeritava ruumi mahu ja selle järgi, mitmekordne õhuvahetus on ruumis sanitaarnormidega ette nähtud.

VIII peatükk

JÄÄGENERAATORID

Jäägeneraatoreid kasutatakse kunstliku jää saamiseks. Kunstlikku jääd valmistatakse põhiliselt plokkidena, kuid teda võib saada ka väiksemate tükkidena — silindri- jne. kujulise jääna.

§ 36. Jäägeneraatorid jääplokkide valmistamiseks

Plokkjää saadakse vormidesse valatud vee külmutamisel. Vormid asetatakse jahutatava soolalahuse paaki. Soolalahuse temperatuur on tavaliselt 7—10° piirides.

Jääploki keskmine temperatuur on soolalahuse temperatuurist umbes 2—3° kõrgem.

Vee külmumise kestus oleneb vormide mõõtmetest, soolalahuse temperatuurist ja liikumiskiirusest ning vee algtemperatuurist. Külmunud plokid sulatatakse vormide küljest lahti, asetades need 2—3 minutiks sooja vette. Selle järel pööratakse vormid kummuli ja plokid eralduvad vormidest kergesti.

Kui vesi sisaldab õhku, saadakse tuhmunud, inetu välimusega jää. Läbipaistva jää saamiseks puhutakse vormidesse suruõhku, mis veest õhumullid kaasa viib.

Vaatamata laialdasele kasutamisele, on jääplokkide valmistamisel rida puudusi, nimelt: seadme suur metallitarvidus ja suured mõõtmed; jäävalmistamise automatiseerimise võimatus, vormide kiire korrodeerimine jne.

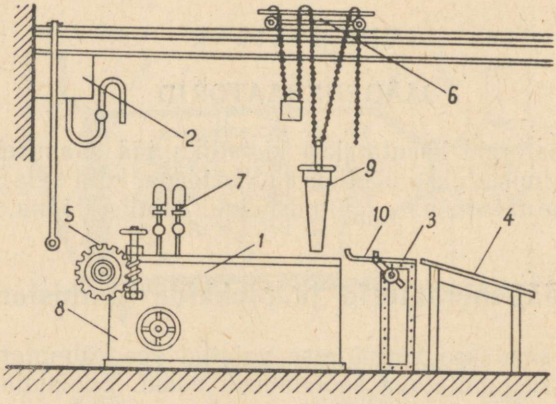
Jäägeneraator kujutab enesest 6—8 mm paksusest plekist keevitatud paaki (joon. 130). Paak on pikivaheseinaga jaotatud kahte erineva laiusega omavahel ühenduses olevasse ossa. Kitsamas osas asetsevad aurustussektsioonid *7*. Harilikult kasutatakse vertikaaltorudega aurustaja sektsioone, kuid võib kasutada ka ühekäigulisi kesttoruaurustajaid.

Paagi laiemasse ossa asetatakse karprauast tugedele raamid jäävormidega *9*.

Karprauast toed on keevitatud paagi seinte külge väikese kallakuga raamide liikumise suunas. Sellega kergendatakse raamide liikumist.

Soolalahuse tsirkulatsioon vormide vahel ja üle aurustussektsioonide korraldatakse horisontaalsete kruvikujuliste segajatega *8*, mis on asetatud paagi eesmise otsa külge.

Suure tootmisvõimsusega jäägeneraatoritesse monteeritakse mitu segajat. Sel juhul jagatakse laiem paagi osa pikivaheseintega mitmesse ossa vastavate segajate mõjul tekitatava soolalahuse tsirkulatsiooni võimaldamiseks.



Joon. 130. Jäägeneraatorseadme üldvaade.

1 — jäägeneraator, *2* — täiteseade, *3* — soojendusanum, *4* — jääliuglaud, *5* — tõukemehhanism, *6* — jäävormide tõstmise ja transportimise mehhanism (telfer), *7* — aurustuspatareide kollektorid, *8* — segaja rihmaratas, *9* — jäävormid, *10* — kallutusseade.

Raamid ühes vormidega liiguvad paagis tõukemehhanismi *5* abil, mis on kinnitatud paagi eesmise otsseina külge. Suurtes jäägeneraatorites kasutatakse automaatset tõukemehhanismi, mida käitatakse nupplülitiga elektrimootori abil. Sisselülitamisel liiguvad raamid koos vormidega edasi ja vabastavad seega ruumi uue raami asetamiseks. Seejärel võtab tõukemehhanism algseisu ja lülitub automaatselt välja. Jäägeneraatorites tootlikkusega kuni 15 t kasutatakse käsitsi töötavat tigu-tõukemehhanismi.

Vormide täitmine veega, samuti jäävormide väljatõstmine toimub jäägeneraatori kohal asetseva telferi või sildkraana *6* abil.

Vormide täitmiseks veega kasutatakse erilisi täiteseadmeid.

Nagu tähendatud, jääplokkide kergemaks väljavõtmiseks vormidest sulatatakse nad lahti erilistes sulatusanumates *3*. Sulatusanum asetseb paagi tagumise seina juures. Jääplokke võetakse vormidest välja erilise kallutusseadme *10* abil, mis on kinnitatud sulatusseadmele. Jääplokid satuvad vormide kummulikallutamisel jääliuglauale *4*.

Jäägeneraator monteeritakse seina äärde vundamendile. Külmakadude vähendamiseks kaetakse paagi seinad ja põhi keskmiselt 200 mm paksuse soojust isoleeriva kihiga. Kaitseks niiskuse eest

Soolalahuse jahutusega jäägeneraatorid plokkjää valmistamiseks (tehas «Kompressor» 1941. a.).

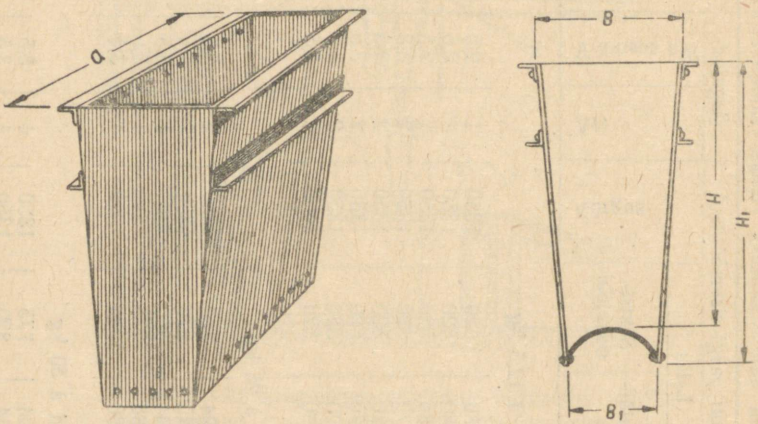
Ühekordne jäätoodang t	Vormide arv raamis	Vormidega raamide arv	Vormide üldarv	Aurustussektsioonid: Sektsioonide arv	Aurustussektsioonid: Üldpind m²	Jäägeneraatori paagi sisemõõtmed: Pikkus	Laius: Vormidele	Laius: Sektsioonidele	Kõrgus	Segajad: Arv	Segajad: Võimsus kW	Kraana kandejõud t	Jäägeneraatori kaal kg	Tõukemehhanismi tüüp
Vormid à 12,5 kg														
1,0	10	8	80	2	12	3300	1480	520	1350	1	2,5	0,35	2340	Tigukruvi
1,5	10	12	120	2	12	4200	1480	520	1350	1	2,5	0,35	2935	„
2,0	10	16	160	2	15	5100	1480	520	1350	1	2,5	0,35	3660	„
3,0	16	15	240	2	20	4900	2370	520	1350	2	3,5	0,5	4195	„
4,0	16	20	320	2	30	6000	2370	520	1350	2	3,5	0,5	—	„
5,0	16	25	400	2	35	7150	2370	520	1350	2	3,5	0,5	6222	„
7,5	20	30	600	4	50	8300	2890	520	1350	2	3,5	0,75	8160	„
10,0	20	40	800	4	60	10600	2890	520	1350	2	3,5	0,75	10140	„
Vormid à 25 kg														
10	10	40	400	4	50	10600	2394	520	1350	2	3,5	0,5	8635	Tigukruvi
15	15	40	600	4	60	10600	3440	520	1350	2	3,5	0,75	10845	„
20	10	2×40	800	4	80	11400	4794	550	1350	4	3,5	1,0	—	Automaat
25	15	2×34	1020	6	105	10000	6886	775	1350	4	3,5	1,5	—	„
30	15	2×40	1200	8	140	11400	6886	1030	1350	4	3,5	1,5	—	„
Vormid à 50 kg														
30	10	2×30	600	6	105	14950	4794	775	1350	4	3,5	3,0	—	Automaat
40	10	2×40	80	6	120	19250	4794	820	1350	4	3,5	3,0	—	„
60	10	3×40	1200	10	200	19250	7194	1320	1350	6	3,5	3,0	—	„

kasutatakse hüdroisoleerimist. Pealt on paak kaetud laudkattega. Vormide sisse- ja väljalaadimiskohtadeks on tagasikäänatavad või äravõetavad luugid. Teenindavale personalile on soovitav ehitada piki jäägeneraatorit puust lava.

Jäägeneraatorite tehnilised andmed on toodud tabelis 28.

Jäägeneraatori põhilisteks abiseadisteks on jäävormid, raamid jäävormidele, soojendusanum, kallutusseadis, tõuke- ja tõstemehhanismid.

Allpool on toodud nende seadmete kirjeldus.



Joon. 131. Jäävormid.

1. J ä ä v o r m i d kujutavad enesest nõgusa põhjaga kiilukujulisi õhukesest lehtterasest (paksus 1,5—2 mm) nõusid. Vormid valmistatakse elektrikeevitusega või külgõmbluse valtsimisega. Vormi ülemise osa kummalegi küljele on kinnitatud vormide raamiasetamiseks nurkrauad. Põhja kaitsmiseks löökide eest ulatuvad seinad 15 mm võrra üle põhja (joon. 131).

Jäävormid on seest ja väljast tsingitud. Vormide sisepind peab olema sile ja ühtlane ning mõlkideta. Kõik ebatasasused ja ebatihedused täidetakse tinaga. Tehase «Kompressor» normaalsete jäägeneraatorite juures kasutatakse jäävorme mahtuvusega 12,5; 25 ja 50 kg. Mahtuvuse all mõistetakse valmis jääploki kaalu pärast vormist väljasulatamist. Jäävormide mõõtmed on toodud tabelis 29.

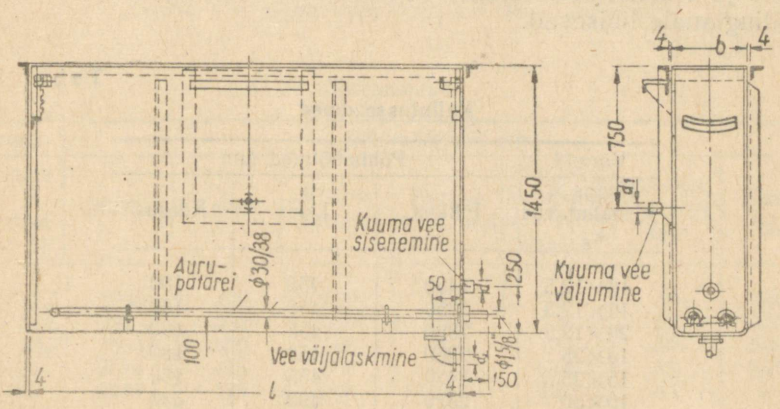
2. J ä ä v o r m i d e r a a m i d on jäävormide asetamiseks jäägeneraatorisse ja nende transportimiseks. Vormid asetatakse ühisesse raami, mitu tükki ritta.

Jäävormi raam valmistatakse kahest 75 mm laiusest teraslatist, mis omavahel on ühendatud põiklattide ja poltidega. Põiklattide külge kinnitatud telgedele on asetatud treitud rullid (läbimõõt 100 mm). Nendel rullidel liigub raam mööda juhtkarpraudu. Raami külge kinnitatud kaks haaki võimaldavad teda tõstemehhanismi abil üles tõsta.

Jäävormide iseloomustus

Ploki kaal kg	Sisemõõted mm: Üleval $a \times b$	All $a_1 \times b_1$	Kõrgus H	Seina paksus mm	Põhja paksus mm	Üldine kõrgus H_1 mm	Vormi kaal kg	Vee külmumise kestus tundides
5	175×80	160×70	600	1,5	1,5	615	3,6	5—8
10	190×95	160×70	1100	1,5	2,0	1115	8,1	6—10
12,5	190×110	160×80	1100	1,5	2,0	1115	8,6	8—12
25	190×190	160×160	1100	1,5	2,0	1115	11,5	12—16
50	380×190	340×160	1100	1,5	2,0	1115	16,5	16—24

3. Sulatusanum kujutab enesest täisnurkset keevitatud paaki (joon. 132). Paagi otsseinte sisemiste külgede ülemise osa külge on keevitatud painutatud nurgikud jäävormide raamide hoidmiseks. Vee temperatuur paagis peab olema umbes +40°. Vee soojendamine toimub auru või kuuma vee abil.



Joon. 132. Sulatusanum.

Kui puuduvad aur ja kuum vesi, siis kasutatakse sulatusanuma toiteks külmutusmasina kondensaatorist saadavat soojenenud vett. Anumate kujud ja mõõted on antud tabelis 30.

Sulatusanumas mustub vesi soolalahusega, mispärast tuleb teda perioodiliselt või pidevalt vahetada.

Paagi allosas on stutserid värske vee juurdeandmiseks ja mustunud vee äralaskmiseks. Paagi eesmises seinas on kuuma vee äravoolutoruga.

4. Kallutusseadis on jäävormide tühjaks kallamiseks. Ta kujutab enesest malmist fassongklambritega kinnitatud laudadest renni. Klambrid on kinnitatud ühisele kangidega varustatud võllile. Kangide otstesse on asetatud vastukaalud. Kallutusseadmete mõõtmed ja vormid on antud tabelis 41.

Tabel 30

Sulatusanumate iseloomustus

Vormid	Anuma põhimõõtmed mm						
Arv × × mahutavus kg	Pikkus	Paagi laius	Paagi kõrgus	Soojavee toitetoru läbimõõt	Soojavee äravoolutoru läbimõõt	Mustunud vee äravoolutoru läbimõõt	Kaal kg
10×12,5	1480	400	1450	76	76	50	270
16×12,5	2370	400	1450	76	76	50	390
20×12,5	2890	400	1450	76	76	50	490
10×25	2394	400	1450	76	76	50	390
16×25	3440	400	1450	76	76	50	540
10×50	2390	600	1450	—	—	—	—

Raam jäävormidega asetatakse pärast sulatamist kallutusseadmele ja viimast kallutatakse käsitsi seni, kui jääplokid vormidest jääliuglauale libisevad.

Tabel 31

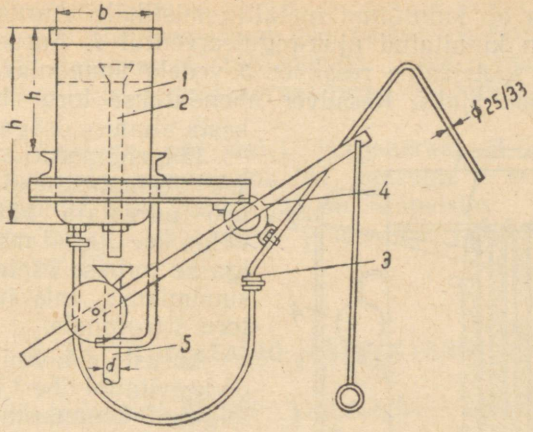
Kallutusseadmed

Vormid	Põhimõõtmed mm		
Kogus × × mahutavus kg	Pikkus	Laius	Kõrgus
10×12,5	1450	455	180
16×12,5	2350	455	180
20×12,5	2890	455	180
10×25	2360	455	180
15×25	3410	455	180
10×50	2370	490	330

5. Täiteseadeldis on rea vormide üheaegseks ja ühesuguse veehulgaga täitmiseks (joon. 133). Ta kujutab enesest täisnurkset keevitatud anumat, mis on jaotatud niisama paljude põikvaheseintega, kui palju on raamis vorme. Täiteseadme iga sisemise osa maht on $^9/_{10}$ jäävormi mahust. Jäävormide täitmist vajaliku piirini kindlustab lehtriga ülevoolutoru, mis hoiab vee nivoo vajalikul kõrgusel.

Iga anuma osa põhjas on toruots. Selle külge on klambriga kinnitatud kummivoolik, mille otsa on asetatud painutatud toru (sifoon). Kõik sifoonid on kinnitatud ühisele karprauale. Kui karprauda käepidemega pöörata, kalduvad täitetorude otsad allapoole ja vesi voolab anumast jäävormidesse. Vesi juhitakse veevärgitorustikust anumasse ülevalt.

Täiteanumate vormid ja mõõtmed on antud tabelis 32.



Joon. 133. Täiteseadis.
1 — täiteanum, *2* — ülevoolutoru, *3* — otsikuga kummivoolik, *4* — vastukaaluga kang, *5* — väljalasketoru.

Tabel 32

Täiteanumad

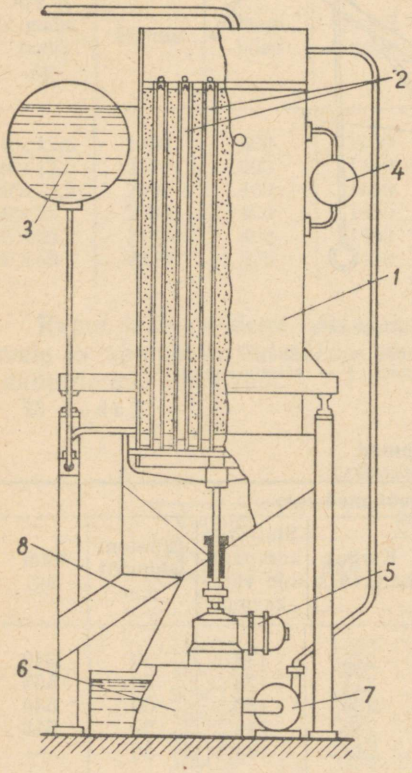
Vormid	Põhimõõtmed mm						
Vormide arv × × mahutavus kg	Pikkus	Laius	Kõrgus stutserist	Kõrgus karprauast	Stutserite keskpunktide vahekaugus	Täitetoru läbimõõt mm	Kaal kg
10×12,5	1385	300	500	245	138	50	340
16×12,5	2213	300	500	245	138	50	555
20×12,5	2664	300	500	300	130	50	540
10×25	2184	475	500	240	218	50	515
15×25	2448	475	500	240	163	50	—
10×50	—	—	—	—	—	—	—

6. Jää-liuglaud on jääplokkide vastuvõtmiseks. Ta kujutab enesest laudadest tehtud kaldpinda, kus laudadele on jäetud vahed vee äravooluks. Seadme laius võetakse võrdsena jäägeneraatori paagi laiusega, pikkus on 1,8 m, kõrgus — 1,1—1,2 m. Kalle — 10 cm 1 meetri kohta. Kallakpinna alla tehakse trapp.

§ 37. Jäägeneraator silindrikujulise jää valmistamiseks

Silindrikujulise jää valmistamise generaator (joon. 134) kujutab vertikaalset kesttoruaurustajat *1*, mis koosneb ülemisest ja alumisest torulauast, milledesse on asetatud tõmmatud torud. Ruumis, mis moodustub välise kesta, torulaudade ja torude välispindade vahel, aurustub ammoniaak, torude sisepindadele aga külmub jää ülevalt peene joana juurdevoolavast veest.

Aurustaja on kinnitatud metallraamistikule. Aurustaja ülemise osa külge on kinnitatud ujuk-reguleerventiil *4*. Aurustaja kõrvale on asetatud spetsiaalne ressiiver *3* vedela ammoniaagi jaoks jää lahtisulatamise ajaks. Ressiiver ühendatakse toru abil aurustaja kesta alumise osaga.



Joon. 134. Silindrikujulise jää valmistamise generaator.
1 — aurustaja, *2* — torud külmutatava veega, *3* — ressiiver, *4* — ujuk-reguleerventiil, 5 — elektrimootor reduktoriga, *6* — veepaak, *7* — pump, *8* — jää liugrest.

Jäägeneraatori kohal asetseb veejaotuseseade, mis koosneb aurustaja välimise kesta külge keevitatud metallvõrust ja igasse torusse asetatud erilisest suudmikust, mis juhib vee joa toru sisepinnale.

Aurustaja alumise osa külge on keevitatud ühest küljest väljalõigatud koonusekujuline karp. Siia asetatakse jää liugrest *8*. Aurustaja alla on asetatud veepaak *6*, mis on ühenduses tsentrifugaalpumbaga *7*. Pumba survetoru suundub suudmikute juurde. Jää liugresti alla on kinnitatud metallplaat vee paaki juhtimiseks. Paagi kaanele on asetatud elektrimootor reduktoriga *5* lõikeseadme käitamiseks. Lõikenoad on kinnitatud vertikaalsele võllile aurustaja alumise kaane alla.

Pump *7* pumpab vee paagist jaotusseadme ülemisse ossa, kust see peene joana mööda jahutatud torude siseseinu alla voolab. Osa vett külmub torude sisepinnal jääks, osa voolab läbi kallakresti paaki, kust ta uuesti jaotusseadmesse pumbatakse. Vee külmumisel moodustuvad 3—4 m kõrgused õõnsad jääsilindrid. Niisuguste silindrite saamiseks kulub 15 minutit, täielikuks külmumiseks aga 40 minutit.

Torude jahutamine toimub ammoniaagi aurumise arvel. Pideva tsirkulatsiooni tõttu eraldub veest õhk, mistõttu saadakse läbipaistev jää. Külmutamise lõpul lülitatakse pump välja. Seejärel eraldatakse aurustaja külmutusseadme sisseimemispoolsest osast ja juhitakse sisse kuum ammoniaagiaur kondensatsiooni rõhul. Aur surub kogu vedela ammoniaagi ressiivrisse *3* ja soojendab torusid. Seejuures sulab jää lahti. Varsti pärast auru aurustajasse juhtimist lülitatakse käiku lõikeseadeldis.

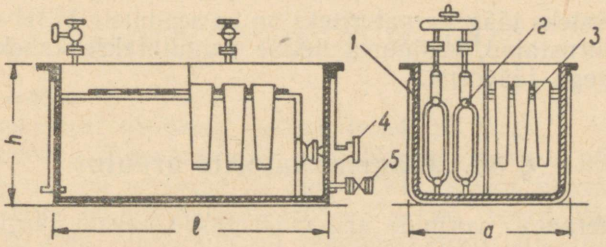
Lahtisulanud jääsilindrid langevad raskuse mõjul alla ja satuvad pöörleva noa alla, see lõikab jää vastava kõrgusega silindriteks. Pärast generaatori tühjenemist jääst juhitakse vedel ammoniaak ressiivrist tagasi aurustajasse ja külmutamisprotsess kordub.

Võrreldes teistega on sellel jäägeneraatoril rida eeliseid. Generaatori põrandapinnavajadus on peaaegu 6 korda väiksem kui teistel tüüpidel ning saadav jää on läbipaistev.

Gabariitmõõtmete 1,3×1,3 m juures on jäägeneraatori ööpäevane toodang 10 t.

§ 38. Aurustajad-jäägeneraatorid

Aurustajaid-jäägeneraatoreid kasutatakse väikese tootlikkusega seadmetes. Nende kasutamine on eriti otstarbekohane ühiskondliku toitlustamise ja kaubandusettevõtete väikeste külmutusseadmete juures, kus on vajalik mitme kiiresti riknevate toiduainete hoiukambri jahutamine ja samal ajal ka kunstliku jää saamine.



Joon. 135. Aurustaja-jäägeneraatori skeem.
1 — paak, *2* — aurustussiugtorud, *3* — jäävormid, *4* — segajad, *5* — soolalahuse väljalaskeava.

Aurustaja-jäägeneraator (joon. 135) kujutab enesest täisnurkset teraspaaki, mis on pikivaheseinaga kahte ossa jaotatud.

Ühte ossa on asetatud aurustussektsioonid nagu harilikus aurustajas või jäägeneraatoris. Teise ossa asetatakse restile jäävormid, mahutavusega igaüks 10 kg jääd.

Paagi esiseina külge on kinnitatud horisontaalne kruvitaoline segaja, mis tagab soolalahuse intensiivse tsirkulatsiooni. Soolalahuse pumbaga ühendamiseks on paagil spetsiaalne toru. Peale selle on paak varustatud väljalaske- ja ülevoolutorudega. Väikestel jäägeneraatoritel ei ole niisugused abiseadmed, nagu tõuke- ja tõstemehhanismid ning täite- ja kallutusseadmed tingimata vajalikud. Seepärast teenindatakse aurustajat-jäägeneraatorit käsitsi. Vormidel on ülal käepidemed ja külgedel tuginurgad

vormide asetamiseks restile. Sulatusanum on paigutatud samuti kui suurtel jäägeneraatoritel.

Aurustajad-jäägeneraatorid asetatakse masina- või aparaatide ruumi madalale vundamendile. Paagi seinad ja põhi isoleeritakse. Ülevalt kaetakse paak puust kaanega, mis on jäävormide kohalt äravõetav või tagasipööratav.

Aparaadi teenindamise hõlbustamiseks tehakse puust lava.

Aurustajaid-jäägeneraatoreid valmistatakse kahes suuruses — tootlikkusega 350 ja 210 kg jääd (tab. 33).

Tabel 33

Tehase «Kompressor» aurustajad—jäägeneraatorid

Üheaegne koormus kg	Ridade arv		Jäävormide üldarv	Aurustussektsiooni külmutuspind m^2	Paagi mõõtmed mm		
	Pikuti	Laiuti			Pikkus	Laius	Kõrgus
210	7	3	21	12	2500	1000	1350
350	7	5	35	12	2500	1290	1350

Niisugusteks jäägeneraatoriteks on ka seadmete МЗИ-46, ЯК-10 ja И-10 aurustajad, kusjuures neisse paigutatakse kaheksa 3,6 kg mahutavusega jäävormi.

§ 39. Jäägeneraatorite arvutus

Jäägeneraatori vormide arv määratakse valemi järgi:

$$n = \frac{G}{g} \cdot \frac{z}{24} \cdot 1000 = 41{,}5 \frac{G}{g} \cdot z, \qquad (1)$$

kus n — vormide arv;
G — jäägeneraatori tootlikkus t/ööpäeva;
g — jääploki kaal kg (võetakse tabelist 28, olenevalt jäägeneraatori tootlikkusest);
z — vee külmumise kestus tundides, olenevalt jääploki raskusest (tabel 29).

Jäägeneraatori suurus valitakse vastavalt vormide arvule ja tootlikkusele.

Külmakulu arvutatakse valemi järgi:

$$Q = G_1 \cdot q \text{ kcal/h}, \qquad (2)$$

kus Q — külma kulu kcal/h;
q — külmakulu 1 kg jää valmistamiseks (kcal/kg);
G_1 — jäägeneraatori tootlikkus kg/h.

Jäägeneraatori tootlikkus tunnis arvutatakse alltoodud valemi järgi:

$$G_1 = \frac{G \cdot 1000}{z} \text{ kg/h.} \qquad (3)$$

Olenevalt jäägeneraatori tootlikkusest tunnis võime praktiliste andmete põhjal leida külma kulu q tabelist 34.

Tabel 34

Jäägeneraatori tootlikkus tunnis kg	5	10	15	20	50	100	200	300	400	500	1000	2000
Külmakulu 1 kg jääle q kcal/kg	160	150	140	135	130	128	125	120	115	110	107	105

Aurustussektsioonide arvutus toimub samuti kui harilike aurustajate juures (VI peatükk).

Näide. Arvutada jäägeneraator toodanguga 20 t jääd ööpäevas, jääploki raskus 25 kg.

Tabelist 29 leiame vee külmutamise aja $z = 14$ tundi.

Vormide arvu saame valemist (1):

$$n = 41{,}5 \frac{G}{g} \cdot z = 41{,}5 \frac{20}{25} \cdot 14 = 464{,}8,$$

võtame $n = 465$.

Jäägeneraatori mõõtmed valime tabeli 28 järgi.

Normaalsel jäägeneraatoril tootlikkusega 20 t päevas on 800 vormi, mis on asetatud 20 kaupa ritta, kokku 40 rida.

Meie näites on vorme 800—465 = 335 tüki võrra vähem, ehk 335 : 20 = 16 rida. Järelikult on jäägeneraatoril 40—16 = 24 rida.

Tabeli 29 järgi on vormi ülaosa mõõtmed 190×190 mm. Võttes ridadevaheliseks kauguseks 50 mm, saame vahekauguse vormide keskpunktide vahel 240 mm, s. o. iga reapaarile kulub 240 mm paagi pikkusest. Pikkuse vähenemine meie näite juures on 240×8 = 1920 mm.

Järelikult tuleb võtta jäägeneraatori pikkuseks

11400 mm—1920 mm ≅ 9500 mm.

Ülejäänud mõõtmed võetakse tabelist, s. o. vormide osakonna laius 4794 mm, aurustussektsiooni osakonna laius 550 mm, kõrgus 1350 mm.

Jäägeneraatori tootlikkus 1 tunnis valemi (3) järgi:

$$G_1 = \frac{G \cdot 1000}{z} = \frac{20 \cdot 1000}{14} = 1445 \text{ kg.}$$

Külma kulu 1 kg jääle (q) tabeli 34 järgi 106 kcal/kg. Külma kulu jäägeneraatoris valemi (2) järgi:

$$Q = G_1 \cdot q = 1445 \cdot 106 = 153170 \text{ kcal/h.}$$

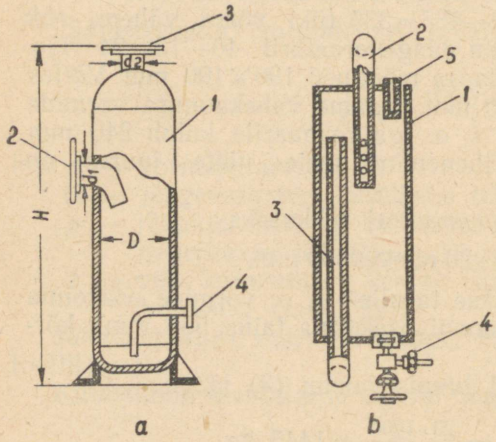
IX peatükk

KÜLMUTUSSEADMETE ABIAPARAADID JA ARMATUUR

Kaasaegsed külmutusseadmed on peale põhiaparatuuri varustatud veel mitmesuguste abiaparaatidega, mis parandavad külmutusseadme tööd. Nende hulka kuuluvad õlieraldajad, vedelikueraldajad, sõelad ja õhueraldajad.

§ 40. Õlieraldajad ja õlikogujad

Külmutusagendi ülekuumenemisel kompressoris läheb osa õli aurukujulisse olekusse. Seepärast kandub külmutusseadme töötamisel osa õli kompressorist koos külmutusagendiga välja. Õli, sattudes kondensaatorisse või aurustajasse, sadestub nende seintele ja halvendab sellega soojusülekannet.



Joon. 136. Õlieraldajate skeemid.

a — *1* — kere, *2* — ammoniaagi sissevool, *3* — ammoniaagi väljavool, *4* — õli väljalase, *b* — seadme И-10 õlieraldaja, *1* — kere, *2* — ammoniaagi sissevool, *3* — ammoniaagi väljavool, *4* — õli väljalase, *5* — termomeetrihülss.

Õli püüdmiseks kasutatakse õlieraldajaid, mis monteeritakse kompressori ja kondensaatori vahelisse torustikku.

Õli eraldumine õlieraldajas toimub seetõttu, et külmutusagendi aurud muudavad järsult oma liikumise kiirust ja suunda.

Õlieraldaja (joon. 136) kujutab endast vertikaalset silindrilist terasanumat, mis on varustatud ühendustorude ja äärikutega. Nende abil ühendatakse aparaat süsteemi surve- ja torustikuga. Õlieraldajal on neli ühendustoru: auru sisenemise toru *2*, väljumise toru *3*, õli väljalaske

toru *4* ja toru manomeetri ühendamiseks. Selle toru ots, mille kaudu aur siseneb õlieraldajasse, on painutatud selliselt, et aur koos temas olevate õliosakestega saab kruvikujulise liikumise mööda õlieraldaja seinu alla. On võimalikud ka torude teistsugused asetused, näiteks agregaadi И-10 õlieraldajas väljuvad aurud alt ülespoole.

Õlieraldajatel, mille korpuse läbimõõt on kuni 300 mm, toimub õli väljalaskmine alt. Sellised õlieraldajad monteeritakse tavaliselt seinale.

Õlieraldajatel, mille korpuse läbimõõt on üle 300 mm (tabel 35) toimub õli väljalaskmine küljelt. Sellised õlieraldajad paigaldatakse põrandale, vundamendile.

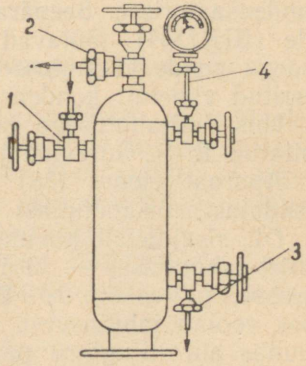
Tabel 35

Tehase «Kompressor» õlieraldajad (1949. a.)

Tingava läbimõõt mm		Kere läbimõõt mm	Üldkõrgus *H* mm	Kaal kg
Sisenemisel	Väljumisel			
32	32	159	830	20,0
40	40	159	1020	20,7
50	50	219	1210	30,2
70	70	273	1425	75,3
80	80	325	1650	107,0
100	100	400	1835	191,0

Õli väljalaskmiseks kasutatakse ohutuid ventiile, mis on varustatud vedruga või raskustega kangiga, kusjuures õli väljavool katkeb kohe, kui kang lastakse käest lahti.

Külmutusseadmetel, mis sisaldavad 60 ja rohkem kg ammoniaaki, kui õlieraldaja asetseb väljaspool masinaosakonda või kompressoriruumi, peab õlieraldaja järel olema tagasilöögiklapp. Kui õlieraldajad asetsevad aga kompressoriruumis või masinaosakonnas, siis ei ole tagasilöögiklapi monteerimine kohustuslik. Nendel juhtudel on õlieraldaja järel spetsiaalne sulgventiil, mis peab olema kinni plommitud avatud seisundis.



Joon. 137. Õlikoguja. *1* — õli sisselase, *2* — ammoniaagi väljavool, *3* — õli väljalase, *4* — manomeeter.

Külmutusagent võib läbi tagasilöögiklapi liikuda ainult ühes suunas — kompressorist kondensaatorisse. Külmutusagendi tagasivoolamise puhul (kompressori avarii korral) tagasilöögiklapp sulgub ja kõrvaldab seega külmutusagendi väljavoolamise võimaluse kondensaatorist.

Et vähendada ammoniaagi kadu õli väljalaskmisel, kasutatakse õlikogujat, kuhu lastakse õlieraldajast väljavoolav õli. Õli väljalaskmine õlikogujast toimub väiksema rõhu juures kui selle väljalaskmine vahetult õlieraldajast. Sellega väheneb ammoniaagiga küllastatud õli väljapurskamise oht, väheneb oht teenindavale personalile. Õlikoguja (joon. 137) kujutab endast vertikaalset terassilindrit ühendustorudega õli sisselaskmiseks *1* ja väljalaskmiseks *3*, külmutusagendi aurude äraimemiseks *2* ja manomeetri ülesseadmiseks *4*. Viimane on rõhu kontrollimiseks õli väljalaskmisel. Õlikoguja monteeritakse aluse peale tugirõngale. Õlikogujad valmistatakse läbimõõduga 159 ja 329 mm (tabel 36).

Tabel 36

Õlikogujad

Kere läbimõõt mm	Kõrgus kaane ja põhja vahel *H* mm	Kere seina paksus mm	Õli sisse- ja väljalaske torude ja aurude äraimemise toru läbimõõt mm	Kaal kg
159	400	4,5	10	18,5
329	800	8	10	83

Kirjeldatud konstruktsiooniga õlieraldaja abil eemaldatakse, nagu näitavad ВНИХИ (Üleliidulise Külmetustööstuse Teadusliku Uurimise Instituudi) poolt teostatud katsed, ainult ligikaudu kaks kolmandikku õlist. Mida väiksem on kaugus kompressorist õlieraldajani, seda kõrgem on õlieraldajasse tuleva auru temperatuur, seda suurem osa õlist on aurukujulises olekus ja läheb kondensaatorisse. Seepärast, vastavalt V. B. Jakobsoni andmetele (ВНИХИ), töötavad õlieraldajad veelgi väiksema efektiivsusega nende külmutusseadmete juures, kus õlieraldaja on monteeritud vahetult kondensaatorile või selle alla.

Uus vesijahutusega ja piisapüüdmisrõngastega õlieraldaja on esitatud E. S. Gurevitši ja V. B. Jakobsoni poolt.

Aparaat (joon. 138) koosneb neljast põhiosast: jahutajast, eraldajast, piisapüüdjast ja õlikogujast.

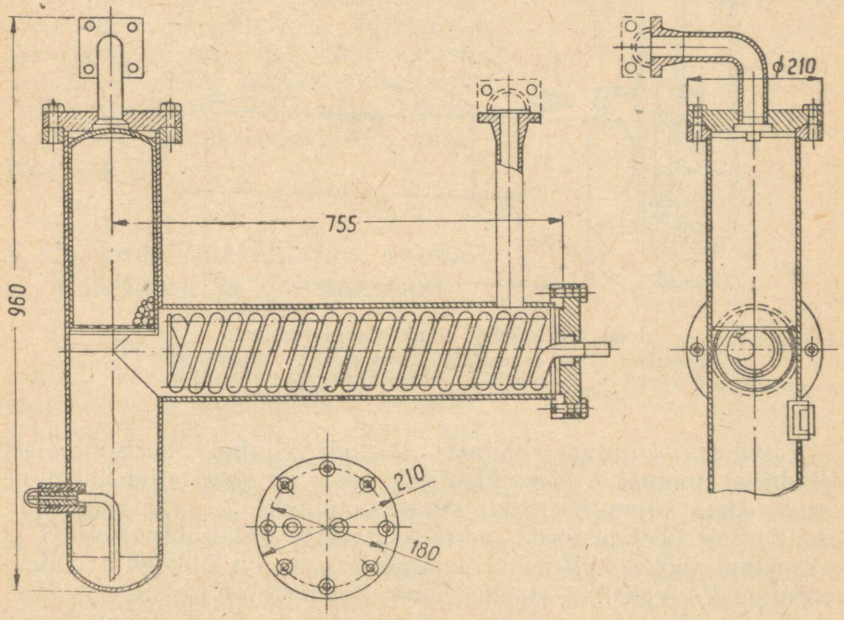
Õli sisaldavad kuumad ammoniaagiaurud saabuvad kompressorist jahutajasse — horisontaalsesse 150 mm läbimõõduga terastorusse, milles on 19—22 mm läbimõõduga siugtoru. Siugtoru sees voolab jahutusvesi, väljaspool siugtoru liigub vastupidises suunas aur. Siugtoru paremaks uhtumiseks kuuma auruga on siugtoru spiraali sisse asetatud õõnes silinder.

Auru sissevoolamisel jahutajasse väheneb selle kiirus kolm korda ja voolu suund muutub 90° võrra. Selle tagajärjel sadestub osa õlitilku jahutaja seintele ja valgub sealt hiljem õlikogujasse. Jahutajas auru temperatuur langeb ja õliaurud kondenseeruvad tilkade näol.

Pärast jahtumist läheb aur aparaadi vertikaalsesse (kesk-

misse) ossa — eraldajasse. Siin toimub voolu joa teine 90° pööre ja teistkordne kiiruse langus ligikaudu 9 korda. Eralduvad õliosakesed sadestuvad seintele ja valguvad sealt õlikogujasse.

Seejärel liigub aur piisapüüdjasse, mis asetseb vertikaaltoru ülemises osas. Piisapüüdja on täidetud terasrõngastega. Läbides rõngaid sadestuvad väikseimad õliosakesed nende pinnal ja valguvad alla. Õlist vaba ammoniaak läheb kondensaatorisse.



Joon. 138. Vesijahutusega ja piisapüüdmisrõngastega õlieraldaja.

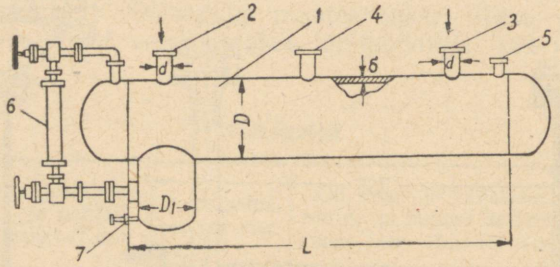
Kirjeldatud õlieraldaja, mis on konstrueeritud ammoniaakagregaadi jaoks tootlikkusega 30 000—45 000 kcal tunnis, töötas katsetamise ajal väga efektiivselt, kusjuures tänu sellele, et kondensaator oli täielikult kaitstud õli eest, osutus selle soojusülekandetegur 30—40% võrra kõrgemaks arvestuslikust.

Seega võimaldab antud konstruktsiooniga õlieraldajate kasutamine vähendada külmutusaparaatide dimensioone ja metallikulu.

§ 41. Ressiivrid

Ressiivri ülesandeks on tagada külmutusmasina ühtlane töötamine. See aparaat tühjendab kondensaatori vedelast külmutusagendist ja loob võimaluse agendi ühtlasemaks voolamiseks regulaatorjaama. Ressiivrita võib toime tulla ainult sel juhul, kui kondensaatori pind on suurem kui arvestuste järgi nõutav. Vastu-

pidisel juhul võtab kondenseerunud külmutusagent osa kondensaatori torust enda alla ja vähendab seega selle kasulikku jahutuspinda. Ressiivri maht võetakse tavaliselt võrdsena $^1/_3$ kuni $^1/_2$ tunni jooksul ringleva külmutusagendi hulgaga. Ressiiver täidetakse 80% ulatuses mahust. Ressiiver on vastuvooluja elementkondensaatorite lahutamatuks osaks. Vertikaalsetele kesttorukondensaatoritele konstrueeritakse iseseisev ressiiver (joon. 139).



Joon. 139. Vedela ammoniaagi ressiiver.
1 — kere, *2* — ammoniaagi sissevool, *3* — ammoniaagi väljavool, *4* — kaitseklapi ühendustoru, *5* — õhu väljalase, *6* — nivooklaas, *7* — õli väljalase.

Ressiiver kujutab endast kokkukeevitatud horisontaalset silindrilist anumat *1*. Kere ülemisele osale on keevitatud ühendustorud vedela külmutusagendi sissevoolamiseks *2* ja väljavoolamiseks *3* ning ühendustorud inertsete gaaside väljajuhtimiseks *5* ja kaitseklapi jaoks *4*. Ressiivri alumises osas on õlikoguja pudeliventiiliga *7*. Vedeliku taseme kontrollimiseks on ressiiver varustatud nivooklaasiga *6*. Tehase «Kompressor» poolt väljalastavad ressiivrid on mahutavusega 0,5—3,5 m³ (tabel 37).

Tabel 37

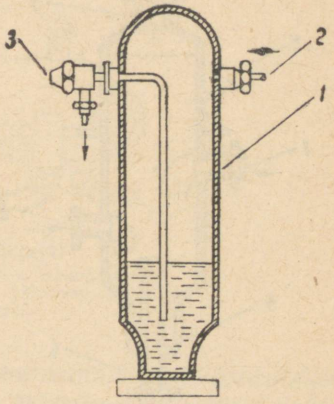
Vedela ammoniaagi ressiivrite põhimõõtmed

Maht m³	Kere läbimõõt D mm	Õlikoguja läbimõõt D_1 mm	Kere seina paksus δ mm	Torulaudade vahekaugus L mm	Ammoniaagitorude läbimõõdud d mm	Kaal kg
0,5	500	250	11	2500	32	460
1,0	500	250	11	5000	32	810
1,5	600	250	13	5000	38	1135
2,0	700	300	15	5000	50	1585
3,5	900	300	18	5000	50	2500

Väikestes freoonkülmutusagregaatides ФАК-0,6, АК-2ФВ5/3 kasutatakse vertikaaltüüpi ressiivreid. Need kujutavad endast vertikaalset silindrilist anumat. Agregaadil АК-2ФВ5/3 on РЛ-10 tüüpi ressiiver, mis tähendab, et see on liiniressiiver, mahutavusega 10 l. Vedela freooni sissejuhtimine toimub ülevalt, välja-

laskmine alt. Selleks on põhjade külge keevitatud ovaalsed äärikud, mille külge on ühendatud sulgventiil.

Agregaadi ФАК-0,6 ressiivri ülemise osa külge on kinnitatud kaks ühendustoru vedela freooni sissevoolamiseks *2* ja väljavoolamiseks *3* (joon. 140). Väljavooluavasse on kinnitatud anuma sees olev kõver toru, mille teine ots ulatub vedeliku sisse selle väljavõtmiseks. Agregaadil АК-2ФВ3/1,5 on РЛ-7 tüüpi ressiiver. See ressiiver asetseb kompressori raami all horisontaalasendis. Sulgventiil on ainult vedelikuliini väljumise otsal.



Joon. 140. Vedela freooni ressiiver.
1 — kere, *2* — freooni sissevool, *3* — freooni väljavool.

§ 42. Vedelikueraldajad, soojusvahetajad ja vaheanumad

Vedelikueraldajate ülesandeks on auruga kaasakistud vedelikuosakeste eraldamine, et kindlustada kompressori kuivkäik. Vedelik eraldatakse aurust sel teel, et vedelikueraldajasse jõudnud külmutusagendi aurud muudavad oma liikumise suunda ja, sattudes torust suure läbimõõduga anumasse, vähendavad järsult oma kiirust. Kaotanud oma kiiruse, ei ole külmutusagendi aurud enam võimelised endaga vedelikuosakesi kaasatõmbama ja need, omades suuremat erikaalu, langevad alla. Aurud kogunevad ülemisse ossa, kust need kompressori poolt ära imetakse.

Vedelikueraldaja (joon. 141) kujutab endast kokkukeevitatud vertikaalset silindrit, millel on kuus ühendustoru: reguleerjaamast külmutusagendi sissevooluks — *2*, selle suunamiseks pärast auru eraldamist aurustuspatareidesse — *4*, patareidest niiske auru juurdevoolamiseks — *1*, kuivade aurude äraimemiseks — *3*, manomeetri ühendamiseks — *6*. Vedelikueraldaja kere külge on keevitatud ka ühendustoru nivoo kaugnäitaja ühendamiseks.

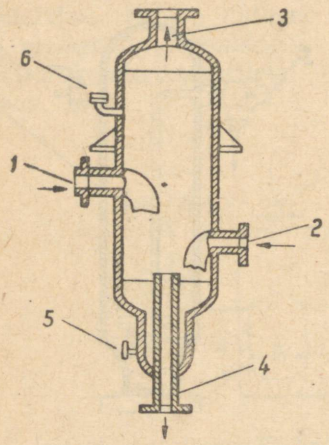
Vedelikueraldaja on samaaegselt ka külmutusagendist eralduva õli settenõuks. Õli koguneb anuma alumisse ossa, kus ta perioodiliselt pudeliventiili *5* kaudu välja lastakse. Õli tagasivoolu vältimiseks ulatub vedela külmutusagendi väljavoolutoru ots anuma sees teatud kõrgusele.

Vedelikueraldaja kere küljes on kronsteinid selle ülesseadmiseks toetuskonstruktsioonile.

Vedelikueraldaja monteeritakse vahetu aurustumise patareide imemisliinile ja niisuguste aurustusaparaatide imemisliinile, milledel ei ole oma eraldajaid. Eraldaja monteeritakse reguleer-

ventiilist väljuvale liinile. Selliselt toidetakse aurustussüsteemi ainult läbi vedelikueraldaja.

Vedelikueraldaja seatakse üles kolme meetri kõrgusele, arvates tema poolt täidetava vahetu aurustumise patarei alumisest torust kuni vedeliku tasemeni eraldajas, et sellega kindlustada vedeliku voolu patareidesse isevoolu teel.



Joon. 141. Tehase «Kompressor» poolt toodetav vedelikueraldaja.

1 — aurustaja siugtorudest saabuvate ammoniaagiaurude sissevool, *2* — reguleerjaamast saabuva vedela ammoniaagi sissevool, *3* — aurude väljavool, *4* — vedeliku väljavool, *5* — õli väljalasketoru, *6* — manomeetri ühendustoru, *7* — kronsteinid.

Kui vedelikueraldajat ei ole võimalik asetada vajalikule kõrgusele, siis korraldatakse vedeliku pealeandmine patareidesse eri pumbaga. Külmakao vähendamiseks kaetakse vedelikueraldaja kuni 250 mm paksuse soojust isoleeriva kihiga. Tehases «Kompressor» toodetavate vedelikueraldajate mõõtmed on antud tabelis 38.

Et tagada kompressorile kuiva töötamist, kasutatakse vedelikueraldajate asemel soojusvahetajaid.

Soojusvahetajas kohtuvad aurustajast tulevad külmad aurud kondensaatorist tuleva vedela külmutusagendiga vastuvoolu printsiibil.

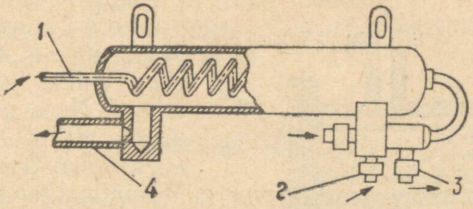
Tabel 38

Vedela ammoniaagi eraldajate põhimõõtmed

Tingava mm	Kere läbimõõt D mm	Vedeliku eraldaja täielik kõrgus H mm	Õlikogumise poti diameeter D_1 mm	Ühendustoru läbivooluava läbimõõt mm			Väljalasketoru kõrgus h mm	Kaal kg
				gaasi d_1	vedeliku d_2	väljalaske d_3		
32	216	1175	133	32	13	25	325	45
38	216	1315	133	38	13	25	350	51
50	267	1600	159	50	19	32	430	83
65	325	1825	216	65	19	38	440	126
76	362	1875	216	76	25	50	450	160
100	516	2190	267	100	32	65	550	302

Soojusvahetajas toimub aurude ülekuumenemine enne nende jõudmist kompressorisse ja vedela külmutusagendi allajahutamine enne reguleerventiili. Seda aparaati kasutatakse väikeste freoonagregaatide juures, kus ta on monteeritud kompressoriga

ühisele raamile. Sel juhul jääb vedela külmutusagendi tagasivoolu vajadus ära, mistõttu paigutamisekõrgus ei ole siin tähtis. Soojusvahetaja koosneb kinniste otstega terastorust, mille sees on siugtoru (joon. 142).



Joon. 142. Soojusvahetaja:
1 — vedela freooni sissevool, *2* — freooniaurude sissevool, *3* — vedela freooni väljavool, *4* — freooniaurude väljavool.

Mitmeastmelise kompressiooniga külmutusmasinatel kasutatakse külmutusagendiaurude jahutamiseks ja astmete vahel auru vedelikust eraldamiseks v a h e a n u m a i d.

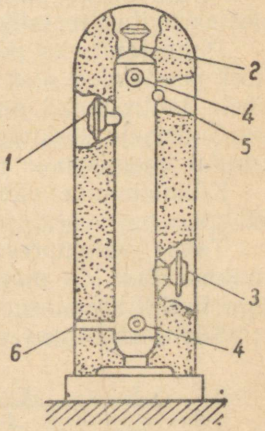
Aurude allajahutamine toimub vedela külmutusagendi selle osa auramise arvel, mis antakse reguleerjaamast vaheanumasse.

Vaheanum kujutab endast vertikaalset keevitatud silindrit (joon. 143). Selle ülemises osas on neli ühendustoru: külmutusagendi sissevoolu toru *1* ja väljavoolu toru *2*, manomeetritoru *5* ning nivoo ja näitaja ühendamise toru *4*.

Alumises osas on kolm ühendustoru: teise reguleerjaamaga ühendamise toru *3*, õli väljalasketoru *6* ja nivoo ja näitaja ühendamistoru *4*.

Anuma välispind kaetakse kuni 200 mm paksuse soojust isoleeriva kihiga.

Tehase «Kompressor» poolt valmistatakse vaheanumaid läbimõõduga 150 kuni 200 mm. Kasutatakse ka selliseid vaheanumaid, mille sees asetsevas siugtorus vedel ammoniaak enne teist reguleerventiili alla jahutatakse.

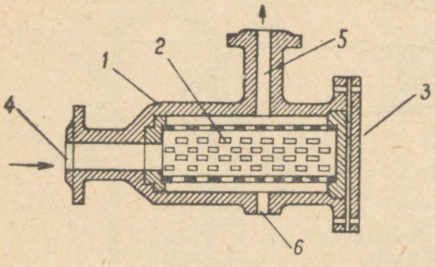


Joon. 143. Vaheanum:
1 — ammoniaagi sissevool, *2* — ammoniaagi väljavool, *3* — teise reguleerjaamaga ühendamise toru, *4* — ühendustoru nivoonäitaja ühendamiseks, *5* — ühendustoru manomeetri jaoks, *6* — õli väljalase.

§ 43. Sõel

Kompressori silindrite ja klappide kaitseks rooste, tagi jne. osakeste eest, mis võiksid silindri peegelpinnal tekitada kriimustusi ning klappide ummistumist ja vigastamist, kasutatakse sõela

(joon. 144). Sõel monteeritakse imemistorustikku kompressori vahetusse lähedusesse. Sõelal on metallist kere *1*, milles on kahekordne peenike traatsõel või kaks ühekordset sõela *2*. Viimasel juhul on esimene traatsõel peenike ja teine — jämedam terasplekist.



Joon. 144. Sõel:
1 — kere, *2* — sõel, *3* — kaas, *4* — ammoniaagi sissevool, 5 — ammoniaagi väljavool, *6* — ava manomeetri jaoks.

Kere küljes on kaks ühendustoru — külmutusagendi sissevooluks *4* ja väljavooluks *5*. Need asetsevad 90°-se nurga all. Kompressori poolt aurustussüsteemist imetavad külmutusagendi aurud läbivad sõela ja satuvad alles pärast seda kompressori silindritesse. Sõel, mida perioodiliselt puhastatakse, hoiab kõik mehaanilised lisandid kinni. Tehase «Kompressor» suurtele sõeladele on alumises otsas poltidega kinnitatud pimeäärik *3*, väikestel sõeltel aga pealekruvitav metallkork.

Puhastamiseks eemaldatakse pimeäärik või kruvitakse välja kork ja võetakse sõel välja. Torustikku seejuures lahti ei võeta. Enne sõela lahtivõtmist eemaldatakse sealt külmutusagendi aurud.

Suurte ja keskmiste sõelte keredesse kruvitakse väike ühendustoru 6 imemispoole manomeetri ühendamiseks.

Külmakadude vähendamiseks kaetakse sõel soojust isoleeriva kihiga.

Tehas «Kompressor» toodab 38 kuni 76 mm läbimõõduga malmsõelu, 100 mm läbimõõduga ja suuremad sõelte kered on aga kokku keevitatud terasest.

Sõelte mõõtmed on antud tabelites 39 ja 40.

Tabel 39

Malmsõelad

Tingava mm	Pikkus mm	Kõrgus *H* mm	Kaal kg
38	372	271	16
50	372	289	21
65	394	325	27
76	430	350	33

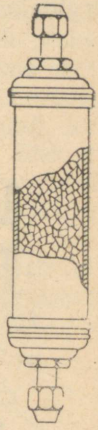
Tabel 40

Terassõelad, keevitatud

Tingava	Ühendustoru läbimõõt mm	Pikkus mm	Kõrgus mm	Kaal kg
100	76	531	380	65
125	100	710	384	65
150	125	624	448	100
200	200	746	498	139

Väikestel automaat-freoonagregaatidel kasutatakse sõela asemel filterkuivatajat (joon. 145). See kujutab endast metallist padrunit, mille otstes on sissevoolu- ja väljavooluavad. Filterkuivataja täidetakse granuleeritud silikageeliga, mis peab kinni mehaanilised lisandid ja imab niiskuse.

Filterkuivataja monteeritakse aurustussektsioonide ja ressiivri vahele survetorustikule.



Joon. 145. Filterkuivataja.

§ 44. Õhueraldajad

Süsteemi tunginud õhk ja kondenseerumatud gaasid halvendavad kondensaatoris soojusülekannet, mis omakorda põhjustab kondenseerumistemperatuuri ja -rõhu tõusu. Selle tulemusena suureneb elektrienergiakulu kompressori töötamisel ja väheneb kompressori külmatootlikkus. Seepärast omab õhu ja kondenseerumatute gaaside eemaldamine süsteemist suurt tähtsust.

Väikese tootlikkusega seadmetel toimub õhu eraldamine tihti kondensaatori õhu väljalaske kraani kaudu. Sel moodusel on aga puuduši. Esiteks saab õhku välja lasta alles pärast külmutusseadme mõneajalist (3—4 tundi) seismist, mis ei ole alati võimalik. Teiseks on õhu ja kondenseerumatute gaaside väljalaskmine seotud külmutusagendi suurte kadudega. Õhu sellise eemaldamise juhul tuleb kondenseerumatute gaaside paremaks eraldamiseks kasta kondensaatorit pidevalt veega.

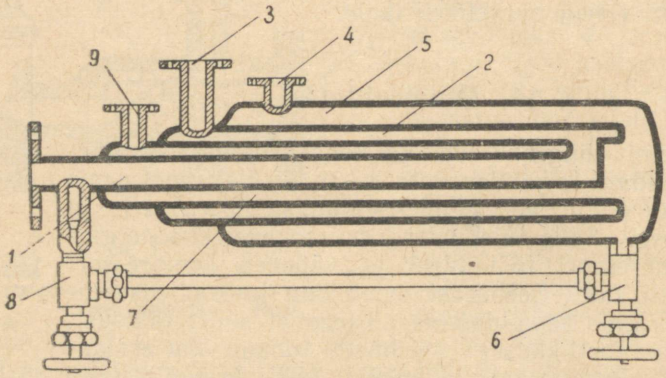
Õhk lastakse külmutusagendi aurude absorbeerimiseks läbi anumas oleva vee.

Paremini saab õhku eemaldada eri aparaatide — õhueraldajate abil. Kõige efektiivsemateks on osutunud insener Kobulašvili poolt konstrueeritud õhueraldajad, mida valmistab tehas «Kompressor» (joon. 146).

See õhueraldaja koosneb neljast üksteisesse asetatud torust. Reguleerventiilist tulev külmutusagent läbib keskmise toru ja läheb torupõlviku kaudu torudevahelisse ruumi, kust ühendustoru *3* kaudu väljub aurustussüsteemi.

Külmutusagendi ja õhu segu tuleb kondensaatorist läbi pudeliventiili *4*, läbib välise torudevahelise ruumi *5*, milles toimub segu jahtumine ja külmutusagendi osaline kondenseerumine; kondenseerunud külmutusagent valgub õhueraldaja alumisse ossa pudeliventiili *6* juurde. Külmutusagendi ja õhu jahutatud segu liigub sisemisse torudevahelisse ruumi *7*. See on väikesemõõtmeline ruum ja seda jahutab mõlemast küljest möödavoolav külmutusagent. Segu jahutatakse alla peaaegu möödavoolava ammoniaagi temperatuurini. Seejuures toimub külmutusagendi kondenseerumine ning õhu ja kondenseerumatute gaaside eraldumine. Torudevahelises ruumis *7* saadud vedel agent valgub pudeliventiili *6* juurde. Ventiilide

6 ja *8* avamisega lastakse kogunenud vedel külmutusagent sisemisse torusse ja sealt aurustussüsteemi. Külmutusagendi aurudest vabanenud õhk ja kondenseerumatud gaasid lastakse läbi ventiili *9* välja veega täidetud klaasanumasse. Külmutusagendi kadu õhueraldajas on tähtsuseta.



Joon. 146. Ins. Kobulašvili süsteemiline õhueraldaja.
1 — sisemine toru, *2* — keskmine torudevaheline ruum, *3* — vedela ammoniaagi väljavool, *4* — kondensaatorist tuleva ammoniaagi ja õhu segu sissevool, *5* — väline torudevaheline ruum, *6* ja *8* — pudeliventiilid, *7* — sisemine torudevaheline ruum, *9* — õhu väljalaskmine.

Läbi õhueraldaja voolav vedel külmutusagent juhitakse aurustussüsteemi, millega kõrvaldatakse võimalus selle sattumiseks kompressorisse.

Õhueraldaja monteeritakse vedeliku torustiku reguleerventiili ja aurustussüsteemi vahele.

§ 45. Sulgarmatuur

Armatuuri hulka kuuluvad: sulg-, läbivoolu- ja nurkventiilid, reguleerventiilid, siibrid, tagasilöögiklapid jt.

Väikese läbimõõduga sulg- ja reguleerarmatuur valmistatakse sepistatud terasest. Suure läbimõõduga sulgarmatuuri jaoks kasutatakse erilist kvaliteetset malmvalu. Ammoniaakarmatuuri valmistamisel tuleb kontrollida selle vastupidavust ja hermeetilisust surveprooviga: veesurvel — 30 atü, õhusurvel — 20 atü. Pärast vastupidavuse kontrollimist tuleb kohustuslikult kontrollida sulgarmatuuri sulgemise tihedust kokkupandud olekus.

Freoonarmatuur arvestatakse 16 atü proovisurvele.

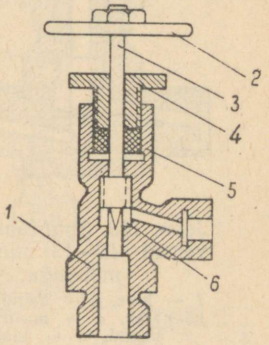
Väikse läbimõõduga sulgarmatuurid ühendatakse torustiku ja aparaatide külge ühendusmutritega, suure läbimõõduga armatuurid aga äärikühendustega.

Ühenduskoha tihendamiseks kasutatakse klingeriit- ja paraniittihendeid.

Sulg- ja reguleerventiilid tuleb asetada nii, et normaalse töötamise juures külmutusagent juhitakse ventiili klapi alla. Vastavalt ammoniaakkülmutusseadmete ohutustehnika eeskirjadele lubatakse sulgventiile monteerida survetorustikule kompressori juurde vahetult enne kondensaatorit ning ka õlieraldaja järel, kui viimane asetseb kompressorisaalis või masinaosakonnas. Enne kondensaatorit lubatakse üles monteerida täiendavat sulgventiili ainult juhul, kui kasutusel on soojusvahetusaparaadid ammoniaagiaurude ülekuumenemissoojuse ärakasutamiseks, sellisel juhul peab tähendatud täiendav sulgventiil välja lülitatud soojusvahetusaparaadi korral olema plommitud avatud olekus.

Sulgventiilid on nurk- ja otsevooluventiilid. Nende konstruktsioon sõltub tingava läbimõõdust. Iga ventiil koosneb järgmistest osadest: kerest, klapist, spindlist, tihendpuksist ja käsirattast.

Suurtel ventiilidel on kaas. Väikestel sulgventiilidel on klapiks kooniliseks treitud varda ots. Suurtel sulgventiilidel on juhtribidega malmklapid. Klapp asetseb spindli otsas vabalt. Selleks tehakse spindli otsa ääris, klapisse aga vastav soon.



Joon. 147. Nurkventiil.
1 — kere, *2* — käsiratas, *3* — spindel, *4* — mutter, *5* — tihend, *6* — klapp.

Allpool antakse külmutusagentide torustikkude sulgarmatuuride levinumate liikide kirjeldused.

Nurk-sulgventiile (joon. 147, tabel 41) kasutatakse nagu 6 ja 10 mm-se tingavaga sulgventiilegi. Ventiil Ø 6 mm monteeritakse manomeetrijaamas. Ventiilidel on täisnurkse kujuga sepistatud terasest kere kahe 90°-se nurga all asetseva keermetatud ühendusotsaga. Spindli alumine ots on treitud kooniliseks, millega ta istub kere pesasse. Tihendus saavutatakse spindlis ümber tihendi ja puks- või mütsmutriga. Aparaatidega ja torustikuga ühendatakse ventiilid nipli ja ühendusmutri abil.

Pudeliventiil kujutab endast tugevdatud konstruktsiooniga nurkventiili. Need ventiilid valmistatakse läbimõõduga 6 mm. Pudeli-

Tabel 41

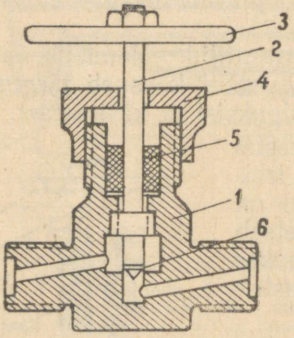
Nurk-sulgventiilid

Tingava mm	Läbimõõt mm		Kaal kg
	Spindlil	Käsirattal	
6	8	65	0,45
10	14	80	1,45

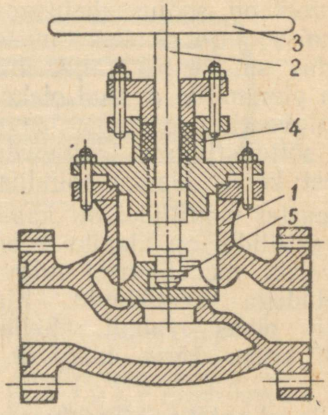
ventiil erineb tavalisest 6-millimeetrisest nurkventiilist seinte suurema paksuse ja alumise ühendustoru mõõtmete poolest.

Tihendus ümber spindli saavutatakse keermetatud puksiga. Pudeliventiili kasutatakse õli ja õhu väljalaske ventiilina ja täiteventiilina reguleerjaamas. Teda võib kasutada ka sulg- või reguleerventiilina.

Analoogilise konstruktsiooniga valmistatakse ka manomeetriventiilid, mille läbivooluavad tehakse 2,5 mm.



Joon. 148. Sulg-läbivooluventiil 10—13 mm läbimõõduga:
1 — kere, *2* — spindel, *3* — käsiratas, *4* — mutter, *5* — tihend, *6* — klapp.



Joon. 149. Sulg-läbivooluventiil 19—125 mm läbimõõduga:
1 — kere, *2* — spindel, *3* — käsiratas, *4* — tihend, *5* — klapp.

Sulg-läbivooluventiilid valmistatakse läbimõõduga 10—250 mm. Need ventiilid erinevad üksteisest peale mõõtmete ka mõningate konstruktiivsete erinevuste poolest.

10—13-millimeetrise läbimõõduga ventiilidel (joon. 148) on täisnurkse sepistatud terasest kahe ühendustoruga kere. Spindli alumine ots on treitud kooniliseks ja ta on klapiks, mis istub kere klapipesas. Tihendus spindli ümber saavutatakse puksi ja ühendusmutriga.

19—125 mm läbimõõduga ventiilidel on kere valmistatud kvaliteetsest malmvalust. Sisemises vaheseinas on rõngakujuline klapipesa.

19—25 mm läbimõõduga ventiilidel on spindli jaoks kruvikeere kaane alumises pikendatud osas. 150—250 mm läbimõõduga ventiilidel on spindli jaoks keere sammastele ülesseatud traaversis.

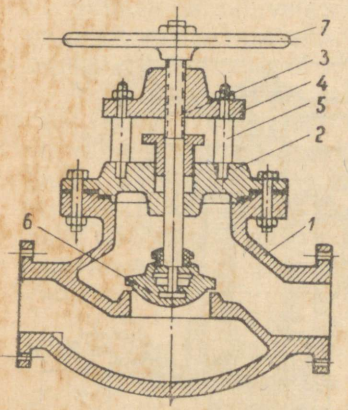
Juhtribidega malmklapp on vabalt spindlile istatud. Tihendatav pind valatakse üle valge metalliga. Sulg-läbivooluventiilide põhimõõtmed on antud tabelis 42.

Tabel 42

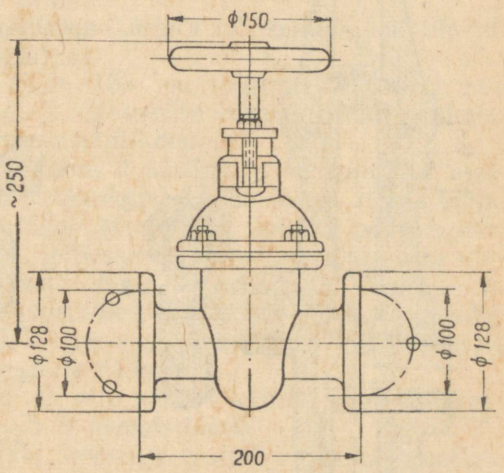
Sulg-läbivooluventiilid

Tingava mm	Läbimõõt mm		Kaal kg
	Spindlil *D*	Käsirattal *d*	
10	14	80	1,45
13	14	100	3,15
19	18	140	13,4
25	18	140	14,8
32	18	150	17,9
38	20	175	24,5
50	22	200	20,0
65	22	250	48,5
76	22	250	56,3
100	28	300	80,6
125	28	350	109,2

Kõrgsurvega külmutusagentide jaoks (süsihappegaas, etaan, etüleen, freoon-13) valmistatakse ventiilide kered sepistatud terastoorikutest. Külmutusagendi läbimiseks vajalikud avad valmistatakse puurimise teel.



Joon. 150. Sulg-läbivooluventiil 150—250 mm läbimõõduga:
1 — kere, *2* — kaas, *3* — spindel, *4* — traavers, *5* — sammas, 6 — klapp, *7* — käsiratas.



Joon. 151. Soolalahuse siiber.

Armatuuri kasutatakse soolalahuse vee jahutussüsteemides töö reguleerimiseks ja kontrollimiseks.

Sulgarmatuurist kasutatakse soolalahuse torustikkudel ainult erilisi soolalahuse siiberventiile (joon. 151).

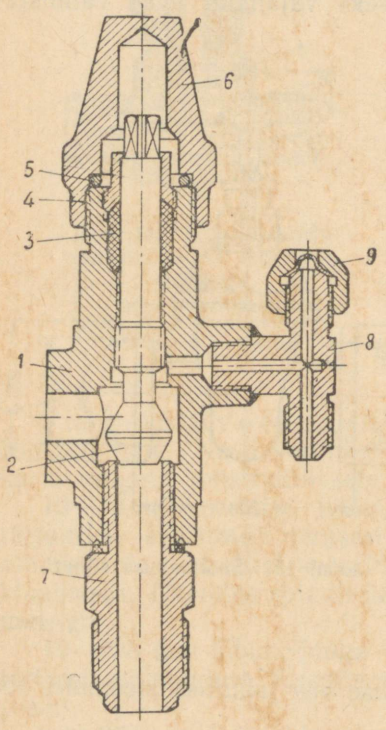
Tehas «Kompressor» laseb välja 50 mm-se läbimõõduga siibreid. Siibri kere on malmist. Sellesse on pressitud pronksist sulguripesad. Sulgur on kiilukujuline ja spindli otsas keermega.

Tingavade jaoks, mille läbimõõt ületab 65 mm, kasutatakse normaalseid malmist veetorustiku siibreid. Siibrid monteeritakse surve- ja imemistorustikele soolalahuse pumba, patareide ja hargnemiskohtade juurde ning väljavoolutorule ja teistesse kohtadesse, kus ekspluatatsiooniprotsessis võib tekkida tarvidus torustiku väljalülitamiseks või sulgemiseks.

Kinnise soolalahuse süsteemis soolalahuse temperatuuri kontrollimiseks keevitatakse imemis- ja survetorustikkudele termomeetrihülsid, millesse asetatakse termomeetrid. Lahtistel süsteemidel keevitatakse termomeetrihülsid väljavoolutorule.

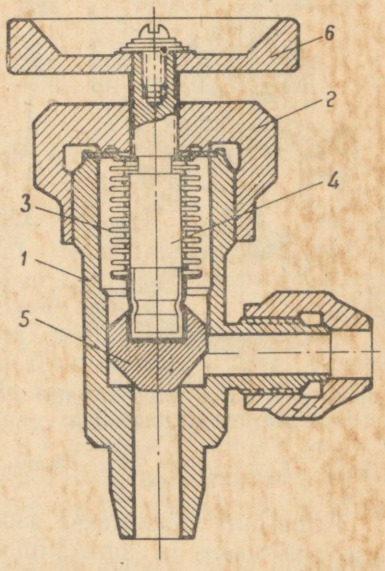
Automaatmasinate sulgventiilid võimaldavad kompressori mehhanismi remontimist ja ülevaatust. Igapäevase töötamise juures neid ventiile ei kasutata. Levinenumaiks on tihendkarbiga sulgventiilid (joon. 152). Ventiili kere küljes on spetsiaalsed ühendustorud ventiili ühendamiseks seadme reguleer- ja kontrollaparaatide süsteemiga: survereleega, veereguleerventiiliga ja manomeetritega.

Oma konstruktsioonilt on nurkventiil kahe klapipesaga, kaetud spindliga, ilma käsirattata. See ventiil koosneb teraskerest *1*, mil-



Joon. 152. Tihendkarbiga freoonsulgventiil.

1 — kere, *2* — spindel, *3* — tihendkarp, *4* — tihendkarbi mutter, *5* — tihend, *6* — kuppel, *7* — stutser, *8* — kolmik, *9* — kolmiku ühendusmutter.



Joon. 153. Sülfooniga freooni sulgventiil.

1 — kere, *2* — mütsmutter, *3* — sülfoon, *4* — spindel, *5* — klapp, *6* — käsiratas.

lesse on kruvitud valgevasest klapipesa ühendusstutseriga ja kolmik ühendusmutriga *9* aparaatide külgeühendamiseks.

Kere sees liigub mööda keeret karastatud terasest spindel *2*, millel on sulgur kahe lihvitud tihenduspinnaga.

Kui spindlit pöörata kellaosuti liikumise suunas, sulgub klapipesa ja sellega ühendatud stutser. Kui aga pöörata spindlit kellaosuti liikumisele vastupidises suunas, siis suleb spindel sulguri tagaküljega ventiili keres ava tihendi ja kolmiku *8* juurde, mis on aparaatide ühendamiseks. Spindli tihendamine saavutatakse tihendkarbiga *3*. Spindli pööramiseks kasutatakse kuuekandilist võtit. Tihendkarp ja spindli ots kaetakse pealekruvitava valgevasest kupliga *6*, mis on varustatud tihendiga. Imemis- ja surveventiilid erinevad teineteisest suuruse ja ühendusstutserite asetuse poolest. Peale selle on surveventiilil veel lisastutser surverelee РД-1 ühendamiseks.

Surverelee ühendatakse ventiili kerega enne klappi ja see on ühenduses kompressori sisemusega. Surverelee on kaitseseadeldiseks ja seepärast paigutatakse ta selliselt, et teda ei oleks võimalik välja lülitada.

Käesoleval ajal toodetakse tihendkarbita sulgventiile, kus tihendkarp on asendatud sülfooniga.

Sülfooniga sulgventiilil (joon. 153) on valgevasest kere *1*, mis on pealt suletud mütsmutriga *2*. Stutserite asetuse poolest valmistatakse neid nurk- või läbivooluventiilidena.

Mütsmutter *2* tihendab sülfooni *3* äärikut ja on spindli *4* mutriks. Umbse põhjaga sülfoon on joodetud ääriku külge. Põhja külge on väljastpoolt keevitatud sulgur (klapp) *5*. Spindel pöörleb sülfoonis. Spindli otsal on uuris, millesse on valtsitud põhja alla ulatuva osa sike. Spindli ülemisele otsale on kinnitatud käsiratas *6*. Selle pööramisel sülfoon kas surutakse kokku või venib välja ning samaaegselt muudab vastavalt oma asendit ka klapp. Sülfoon eraldab kindlalt ventiili sisemise õõne välisõhust.

Reguleerventiilid on ette nähtud külmetusagendi drosseldamiseks kondenseerimisrõhult keemisrõhule.

Reguleerventiil (joon. 154) koosneb malmkorpusest, koonilise malmklapiga terasspindlist ja malmkaanest, milles on keere spindli jaoks. Kaanesse paigutatakse tihendkarp terasest survepuksiga. Tihend surutakse kokku malmist mütsmutriga.

Spindli väljaulatavale otsale on kinnitatud malmist käsiratas.

Malmkeres on vahesein kooniliseks treitud avaga klapipesa jaoks.

Spindlil on ka vastassuunaline kooniline tihend, mis võimaldab tihendkarbi järeltäitmist rõhu all töötamise ajal.

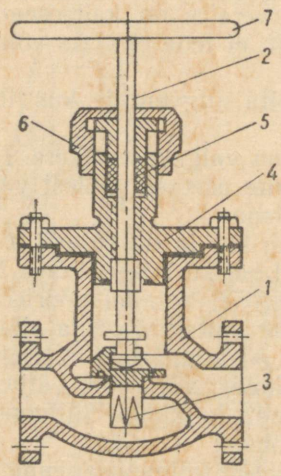
Täpseks ja sujuvaks reguleerimiseks on spindlil vabalt istuva klapi silindrilisele sabale tehtud pikuti mitu kolmnurkset sisselõiget. Nende sisselõigete tõttu suureneb läbivooluava ristlõige pikkamööda, vastavalt silindrilise saba otsale lähenemisele. See võimaldabki saavutada reguleerimise tundlikkust.

Reguleerventiilide põhimõõtmed on toodud tabelis 43.

Tabel 43

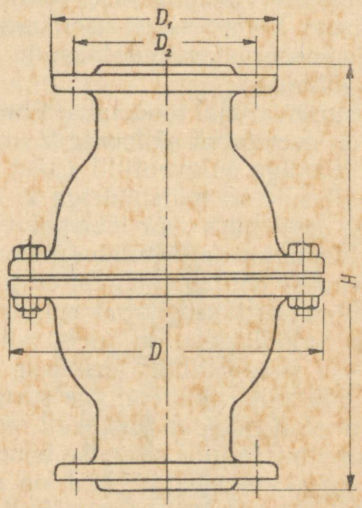
Reguleerventiilid

Tingava mm	Läbimõõt mm		Kaal kg
	Spindlil	Käsirattal	
19	18	140	13,4
25	18	140	14,8
32	18	150	16,9
38	20	175	24
50	20	200	28



Joon. 154. Reguleerventiil:

1 — kere, *2* — spindel, *3* — klapp, *4* — kaas, *5* — tihend, *6* — mütsmutter, *7* — käsiratas.



Joon. 155. Tagasilöögiklapp.

Reguleerventiili asemel kasutatakse 6, 10 ja 13 mm läbimõõduga liinidel vastava läbimõõduga nurk- või läbivooluventiile.

Ammoniaagi-tagasilöögiklapp on malmist kerega (joon. 155). Kere koosneb kahest sümmeetrilisest tihendiga varustatud ja poltidega ühendatud osast. Kere kahe poole vahele on surutud malmpesa, millesse on kinnitatud klapi juhtvarras. Klapp on terasest välja treitud, kausitaolise kujuga ning oma koonilise tihendpinnaga soveldatud klapipesasse.

Tagasilöögiklappe valmistatakse läbimõõdus 50—200 mm.

§ 46. Torustik ja selle ühendused

Torustik. Külmutusagentide jaoks kasutatakse õmbluseta torusid. Ammoniaagi jaoks kasutatakse terasest tõmmatud õmbluseta torusid (tabel 44), millele on külge keevitatud äärikud või mille otstel on gaasikeere ääriku või ühendusmutri jaoks (ГОСТ 301-44).

Niisugustele torudele esitatakse nende vastuvõtmisel kõrgendatud nõuded ning nendega tehakse külmalt laialivenitamise, kuumalt kokkusurumise, laiakssurumise, painde jne. katseid.

Torud peavad välja kannatama tingrõhu 25 kg/cm² ja hüdraulilise katse 40 kg/cm² rõhule.

Tabel 44

Keevitatavad tõmmatud torud ammoniaagi jaoks

Tingava mm	6	8	10	15	20	25	32	40	50	60	70	80	90	100	125	150
Välisläbimõõt mm	10	12	14	20	25	32	38	44	57	70	76	89	102	108	133	159
Seina paksus	2	2	2,5	3	3	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,5
Ühe jooksva meetri kaal kg	0,395	0,493	0,709	1,22	1,63	2,46	3,95	4,0	5,23	6,15	7,10	8,38	9,67	10,26	12,73	17,15

Süsihappegaasi jaoks kasutatakse paksemaid õmbluseta terastorusid, mille tingrõhk on 100 kg/cm² ja hüdrauliline proovirõhk 160 kg/cm².

Freooni-12 jaoks kasutatakse tavaliselt vasktorusid. Väikestes automaatfreoonseadmetes kasutatakse 10×1 mm, 16×1 mm ja 18×1 mm torusid.

Soolalahuse torustikuks kasutatakse pehmest terasest keevitatud torusid (tabel 45).

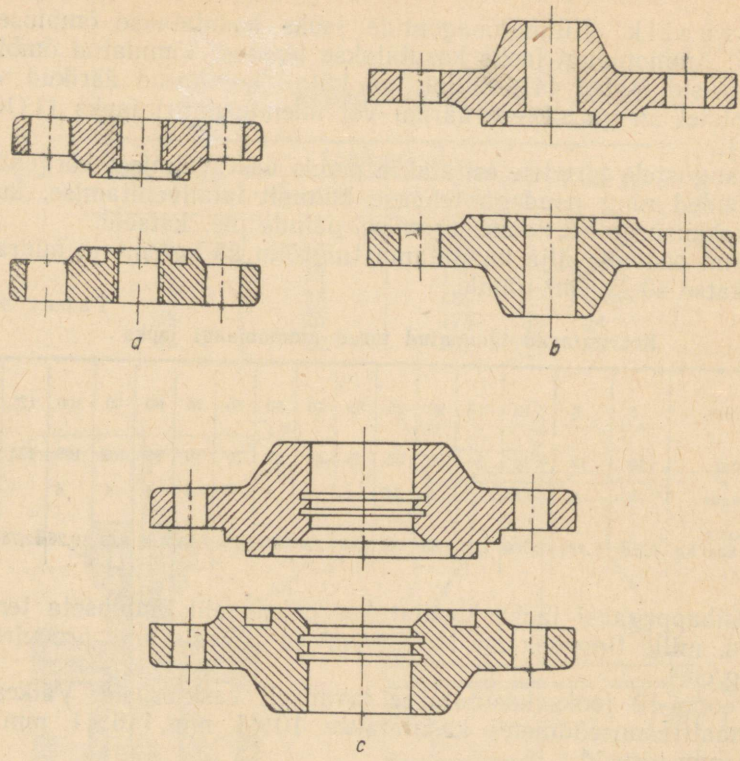
Keevitatud torud peavad deformeerumata ja lekkimata kannatama vee rõhku 10 kg/cm².

Tabel 45

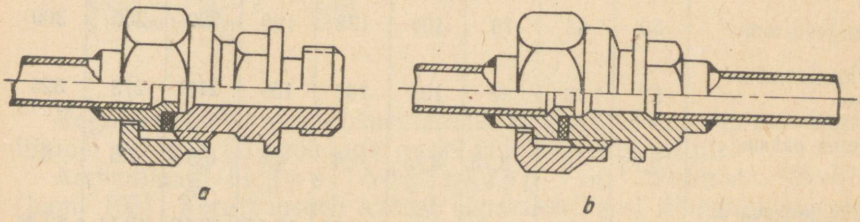
Keevitatavad torud soolalahuse siug- ja magistraaltorudeks

Tingava mm	50	65	76	100	125	150	200	250	300
Välisläbimõõt mm	57	76	89	108	133	159	216	273	325
Seina paksus mm	2,75	3	3,25	3,75	4	4,5	6,5	7,5	8
Ühe jooksva m kaal kg	3,68	5,4	6,87	9,64	12,73	17,15	33,58	49,11	62,54

Soolalahuse torustikuks kasutatakse mõnikord ka vastava läbimõõduga tõmmatud torusid.



Joon. 156. Äärikud.
a — keermele, *b* — keevitamiseks, *c* — valtsimiseks.



Joon. 157. Ühendusmutrid.
a — sissekeeratava stutseriga, *b* — külgekeevitatud stutseriga.

Soolalahuse siugtorustikuks kasutatakse eranditult ainult 51—57 mm-se diameetriga torusid, millel on lahtised äärikud toru tagasipööratud serva taga või otsa valtsitud pimeäärikud. Jahutuspind ühe jooksva meetri kohta on ligikaudu 0,17 m², s. o. 1 m² pindalale vastab 6 m toru pikkust.

Soolalahusemahutavus 1 jooksva meetri kohta moodustab 2 liitrit.

Torude ühendamine. Üksikud torud ühendatakse torustikuks keevituse, äärik- või keermeühenduse teel. Hargnemised tehakse malm- või keevitatud toruliitmike abil.

Torud külmutusagendi vahetuks transportimiseks ühendatakse tavaliselt ots otsa vastu keevitamisega, sulgarmatuuriga ühendatakse need aga ärikühenduse või ühendusmutritega.

Ammoniaagitorustikus kasutatakse kolme tüüpi äärikuid: keermele (joon. 156, *a*), keevitamiseks (joon. 156, *b*) ja valtsimiseks (156, *c*).

Äärikud valmistatakse paariti kokkukäivatena — üks väljaulatuva astmega ja teine ringsüvendiga. Materjaliks kasutatakse terast-3. Neid äärikuid valmistatakse tingavadele 50—300 mm, taldrikute paksusega 16—34 mm.

Kõige rohkem levinenud on keevitatud äärikud, keermetatud äärikuid aga kasutatakse ainult väikese läbimõõduga torudel. 6—32 mm-se tingavaga torude ühendamiseks valmistatakse ka ovaalseid kahe poldiga ühendatavaid äärikuid. Peale tavaliste äärikute kasutatakse veel pimeäärikuid (puudub ava toru läbimiseks). Pimeäärikuid kasutatakse sulguritena ning ka suure läbimõõduga toru üleminekul väiksemale läbimõõdule.

Ühendusmutreid (mütsmutreid) kasutatakse 3, 6, 10, 13, 19 ja 25 mm-se tingavaga torude (ammoniaagitorustikul peamiselt 6, 10 ja 13 mm) ühendamiseks, peamiselt aga väikeste freoonagregaatide vasktorudega automaatide juures. Mutriga toruliiteid esineb kolme tüüpi: toru ühendamine seadme külge, toru ühendamine toruga ja toru ühendamine armatuuriga. Kõik ühendusmutriga ühendatavad detailid on terasest välja treitud.

Toru ühendamiseks seadme külge (joon. 157, *a*) kruvitakse viimasesse stutser, mille mõlemas otsas on keere. Torule keevitatakse nippel. Ühendusmutri põhi toetub nipli äärisele ja surub selle vastu nipli ja stutseri vahele asetatud tihendit.

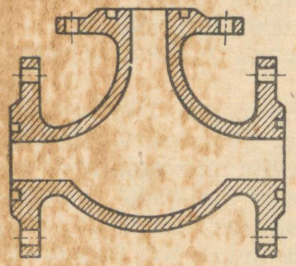
Kahe toru ühendamisel (joon. 157, *b*) keevitatakse ühele nendest stutser, teisele aga nippel. Stutser ja nippel tõmmatakse ühendusmutriga kokku.

Armatuuriga ühendamisel keevitatakse toru külge nippel ja ühendusmutter kruvitakse vahetult armatuuri külge.

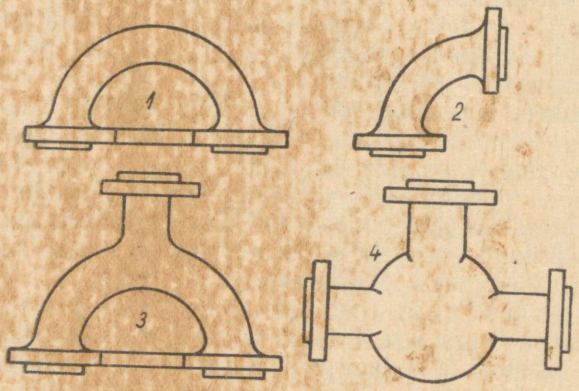
Toruliitmikke kasutatakse torustikkude hargnemisel ja suurema läbimõõduga torudelt üleminekuks väiksematele.

Ammoniaagitorustikkudes on levinuimaks toruliitmikeks kolmikud. Kolmik valmistatakse erilisest kvaliteetsest malmvalust. Neid toodetakse ainult ühemõõduliste avadega (joon. 158). Mõnel

juhul kasutatakse ka teistsuguseid toruliitmikke (ristmikke, põlvikuid). Kõik valatud toruliitmikute äärikud on soontega, astmetega neid ei tehta.



Joon. 158. Ammoniaagikolmik.



Joon. 159. Toruliitmikud.
1 — kaksikpõlvik, *2* — põlvik, *3* — stutseriga kaksikpõlvik, *4* — kolmik.

Soolalahuse patareide ja magistraalide monteerimisel kasutatakse sepismalmist ühest tükist valatud toruliitmikke: äärikuid, kaksikpõlvikuid, stutseriga kaksikpõlvikuid, põlvikuid ja kolmikuid (joon. 159).

Soolalahuse torustiku toruliitmikud on kas liht- või ülemineku-liitmikud. Soolalahuse torustiku äärikühenduste tihendamiseks kasutatakse 3—5 mm paksusega kummitihendeid.

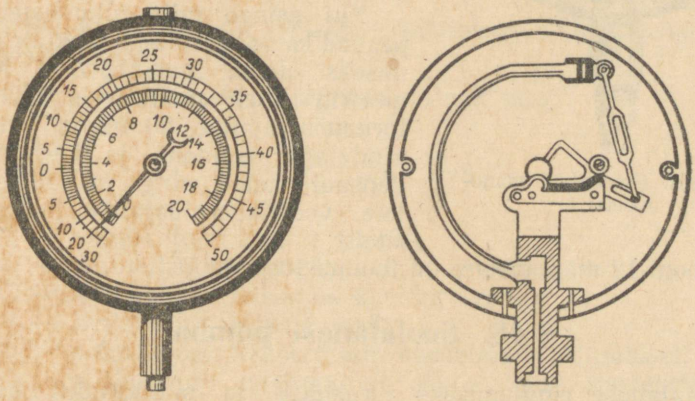
§ 47. Manomeetrid

Külmutusseadmetel kasutatakse vedrumanomeetreid, mis on varustatud kas toru- või plaatvedruga. Oma otstarbe järgi jaotatakse manomeetrid ülerõhu- ja alarõhumanomeetriteks. Nende

manomeetrite skaalad on mitmesuguse rõhu ja temperatuuri piirides.

Automaatfreoonseadmete juures kasutatakse manomeetreid ainult automatiseerimisseadmete reguleerimisel ja kontrollimisel.

Rõhumanomeetrid on järgmistele piirrõhkudele: ammoniaagile 0—25 kg/cm², freoonile-12 0—20 kg/cm², süsihappegaasile 0—200 kg/cm². Alarõhumanomeetrid valmistatakse ainult manovaakuummeetritena: ammoniaagile, kui vaakuum on kuni 760 mm elavhõbedasammast, — 0—12 kg/cm², freoonile-12, kui vaakuum on kuni 760 mm elavhõbedasammast, — 0—12 kg/cm², süsihappegaasile — vaakuum kuni 760 mm elavhõbedasammast — 0—120 kg/cm². Nii võib manovaakuummeetri abil mõõta nii atmosfäärilisest rõhust kõrgemat kui ka madalamat rõhku.

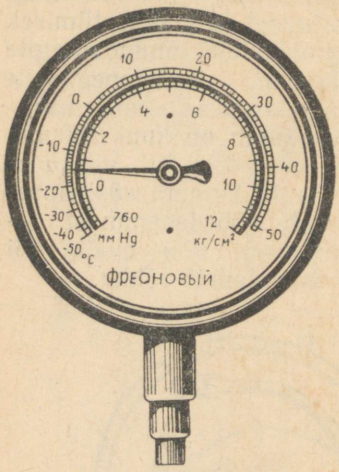


Joon. 160. Ammoniaagimanomeetri skaalalaud ja läbilõige.

Manomeetril on ümmarguse karbi kujuline metallkere, mille esikaas on klaasitud. Manomeetrile on märgitud rõhuskaala ja rõhkudele vastavate temperatuuride skaala.

Manomeetri põhiliseks töötavaks osaks on õõnes ovaalse lõikega kaarekujuline vedru, mis kujutab endast natuke lapikut toru (joon. 160). Selle toru üks ots on kinnitatud jäigalt ning on keresse keeratud stutseri kaudu ühenduses keskkonnaga, mille rõhku mõõdetakse. Toru teine ots on ühendatud ülekandemehhanismiga ja selle kaudu osutiga, mis võib liikuda skaalal. Rõhu tõusmisel püüab toru võtta ümmargusema ristlõike ja sirgub mõningal määral. Sirgumisel toru ülemine ots liigub ja paneb ülekandemehhanismi abil liikuma ka osuti. Rõhu alanemisel liigub toru ülemine ots vastupidises suunas. Terastoruvedrud ei ole madalate rõhkude juures küllalt tundlikud, vaskvedrusid aga ammoniaak söövitab. Seepärast on ammoniaakkülmutusseadmetes kõige rohkem levinenud plaatvedruga manomeetrid. Nendel manomeetritel on kõvera toru asemel õhuke terasplaat (membraan), mis on äärtega surutud kahe ääriku vahele. Rõhk mõjutab

plaati altpoolt ja deformeerib seda, mis ülekandemehhanismi kaudu kandub edasi manomeetri osutile.



Joon. 161. Freooni-12 manomeeter.

Vastavalt ohutustehnika eeskirjadele peab külmutusseadmetel, mis sisaldavad 20 kg ja rohkem ammoniaaki, olema manomeetrid nii surve kui ka imemispoolel, kusjuures manomeetri liinil peab olema üks sulgventiil manomeetri vahetus läheduses.

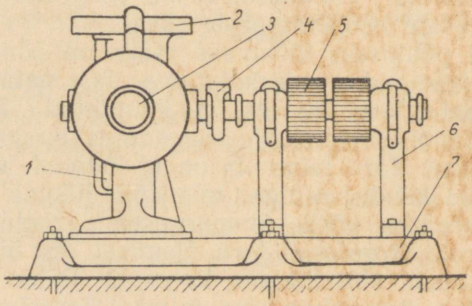
Külmutusseadmetel, mis mahutavad ammoniaaki 60 kg ja rohkem, peab manomeetrite arv imemismagistraalidel vastama imemismagistraaltorustikkude arvule.

Kui esineb mitu rõhu astet, siis peavad ka vahepealsete rõhkude mõõtmiseks olema manomeetrid. Manomeetrid tuleb monteerida ka kesttoruaurustajatele, 20 m² ja suurema pindalaga element- ja kesttorukondensaatoritele ning ka õlikogujatele, vedelikueraldajatele ja ressiivritele.

Freooni-12 manomeeter on toodud joonisel 161.

§ 48. Soolalahuse pumbad

Soolalahuse ringlemiseks torustikus ja siugtorudes kasutatakse peamiselt tehase «Krasnõi Fakel» poolt valmistatavaid ЦНШ-tüüpi üheastmelisi madalrõhu tsentrifugaalpumpe, mille tootlikkus on 6 kuni 120 m³ tunnis (joon. 162).



Joon. 162. Soolalahusepump.
1 — kere, *2* — survetoru, *3* — imitoru, *4* — sidur, *5* — rihmarattad, *6* — kandurid, *7* — alus.

Pumbal on malmkere *1*, ühendustorudega vedeliku sisseimemiseks *3* ja väljasurumiseks *2*. Kere sees on malm- või pronks-

ratas turbiinitüüpi labaga. Ratta terasvõll läbib puuvilltäidisega tihendkarbi. Pumpa käitatakse elektrimootoriga. Pöörlemine antakse edasi elastse siduri *4* abil. Kasutatakse ka rihmülekannet. Ratta pöörlemisel tekib tsentrifugaaljõu toimel pumba keres hõrendus. Atmosfäärilise rõhu mõjul tungib vedelik pikuti pumba võlli rattasse ja visatakse sealt tsentrifugaaljõul suure kiirusega välja kere tigujasse kanali.

Väljavoolutorule lähenemisel kahaneb vedeliku kiirus ja tõuseb surve, mis paneb vedeliku torustikus liikuma.

Pumpade konstruktsioonid erinevad: a) vedeliku juurdetoomise poolest — imemisega ühelt ja kahelt poolt, b) rataste arvu poolest — ühe- ja mitmeastmelised.

Vee ja soolalahuse tsentrifugaalpumpade tehniline iseloomustus on toodud tabelis 46.

P u m b a a r v u t u s seisab tootlikkuse ja tarvitatava võimsuse määramises.

Tootlikkus määratakse järgmise valemi järgi:

$$V_s = \frac{Q_0}{C \cdot \gamma \cdot (t''_s - t'_s)} \text{ 1 tunnis,} \qquad (1)$$

kus V_s — pumba tootlikkus 1 tunnis;
Q_0 — pumba külmatootlikkus kcal tunnis;
C — soolalahuse erisoojus kcal/kg kraad;
γ — soolalahuse erikaal kg/l;
t'_s — soolalahuse temperatuur aurustajast väljumisel;
t''_s — soolalahuse temperatuur aurustajasse sisenemisel.

Temperatuuride vahe $(t''_s - t'_s)$ on tavaliselt 2—3°.

Elektrimootori võimsus määratakse järgmise valemiga:

$$N = 0{,}0027 \frac{G \cdot H}{\eta} = \text{kW}, \qquad (2)$$

kus G — pumbatava vedeliku kaal (tonni tunnis);
H — manomeetri surve (m veesammast);
η — pumba kasutegur; sõltuvalt töörežiimist võetakse võrdsena 0,5—0,8;
0,0027 — koefitsient, kgm/sec ümberarvestamiseks kilovattidesse, saadakse ühikute jagamisel 3600 ja 102-ga.

N ä i d e. Arvutada külmutusseadme jaoks soolalahuse pump järgmiste andmete põhjal:

tegelik külmatootlikkus $Q_0 = 18\,500$ kcal tunnis;
aurustajast väljuva soolalahuse temperatuur $t'_s = -6°$.
Pump peab tekitama rõhu $H = 28$ m veesammast.
Lisa 5 järgi $C = 0{,}89$ kcal/kg kraad; $\gamma = 1{,}06$ kg/l; $\eta = 0{,}75$.
Võtame $t''_s - t'_s = 2°$.

Tabel 46

Vee ja soolalahuse üheastmelised tsentrifugaalpumbad
(«Vodokanalprojekti» 1947. a. käsiraamatu järgi)

Pumba mark	Tootlikkus m^3 tunnis	Täielik rõhk m veesammast	Imemiskõrgus m	Pöörete arv minutis	Vajalik võimsus kW	Ülekande moodus	Ühendustorude sisemõõtmed mm		Mõõtmed mm			Pumba kaal kg	Valmistav tehas
							Imemistoru	Survetoru	Pikkus	Laius	Kõrgus		
ЦНШ-38	6—9	24—16	4	1800	1,5	v. ü.	38	38	410	275	265	18	„Kr. Fakel“
1 НКУ	9—18,5	29—27	4	2900	1,6—2,5	v. ü.	50	25	690	290	300	75	Kataisk.
ЦНШ-40	11—24	26—18	6	3000	3,2	v. ü.	50	40	420	285	270	28	„Kr. Fakel“
1,5 НКВ	14,5—32,5	31—24	4	2900	2,7—3,9	v. ü.	65	38	730	290	320	74	Kataisk.
2 НКВ	20—46,5	39—28	4	2900	4—6	v. ü	80	50	710	310	330	90	„
1,5 НКУ	20—46,5	52—40	4	2900	5,4—9	v. ü.	65	38	720	330	345	80	„
2 НК	25—45	28—20	4	2900	3,5—3,8	v. ü.	85	50	740	290	330	75	„
2 НКУ	25—57	63—55	4	2900	8—14	v. ü.	85	50	750	355	370	100	„
ЦНШ-65	30—70	30—20	7	3000	7,4	r. ü.	76	65	450	325	300	42	„Kr. Fakel“
2,5 НК	43—72	40—28	4	2900	6,8—8,5	v. ü.	95	65	765	330	340	90	Kataisk.
ЦНШ-80	50—108	38—24	6	3000	12	r. ü.	80	80	460	350	310	45	„Kr. Fakel“
ЦНК	54—108	25—15	4	1450	4,4—7,2	v. ü.	130	100	800	500	470	145	Kataisk.
3НК	57—108	59—39	4	2900	12,5—16,5	v. ü.	110	76	775	410	385	100	„

Tingmärgid: v. ü. — vahetu ülekanne mootorilt,
r. ü. — rihmülekanne.

Pumba tootlikkus määratakse valemi (1) järgi:

$$V_s = \frac{Q_0}{C\gamma(t''_s - t'_s)} = \frac{18500}{0{,}89 \cdot 1{,}06 \cdot 2} = 10\,000 \text{ l tunnis, või}$$

10 m³ tunnis.

Mootori võimsus määratakse valemi (2) järgi:

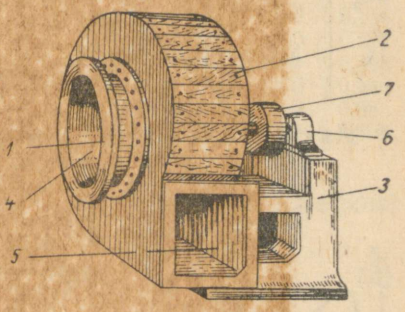
$$N = 0{,}0027 \frac{10 \cdot 28 \cdot 1{,}06}{0{,}75} = 1{,}0 \text{ kW}.$$

Pumba valime tabeli 46 järgi. Käesoleva juhu jaoks sobib pump 1HKУ.

§ 49. Ventilaatorid

Ventilaatoreid kasutatakse külmruumide ventileerimisel õhu vahetuseks ja õhujahutajates õhu ringlemise tekitamiseks. On kahte tüüpi ventilaatoreid, — tsentrifugaal- ja propeller-(telg-) ventilaatorid.

Tsentrifugaalventilaator (joon. 163) koosneb kolmest põhiosast: plekist kokkukeevitatud tigujast kerest, alusest ja tsentrifugaal-tiivikrattast. Ratas asetseb keres ja ta pannakse ringlema kas vahetult elektrimootori võllilt või rihmülekande abil. Rattal on radiaalselt teljele asetatud tiivikud. Tiivikute otsad on pöörlemise suunas ettepoole painutatud.



Joon. 163. Tsentrifugaalventilaator.
1 — tiivikratas, *2* — kere, *3* — alus, *4* — imemisava, *5* — väljasurveava, *6* — laager, *7* — rihmaratas.

Keres on kaks ava: ümmargune imemisava külgseinas ja nelinurkne väljasurveava tiguja spiraalkesta otsas. Ratta ringlemisel imetakse õhk keresse ning surutakse ratta poolt tekitatava tsentrifugaaljõuga radiaalsuunas väljasurveava juurde. Läbi selle ava surutakse õhk õhumagistraali ja jaotatakse seejärel õhusurvekanalitesse.

Külmutusseadmetes kasutatakse tsentrifugaalventilaatoreid suurte — kuni 5000 m³ tunnis — õhukoguste ümberpaigutamiseks kuni 80 mm v. s. (veesamba) rõhutakistuse ületamisega.

Tsentrifugaalventilaatorite iseloomustus on antud tabelis 47.

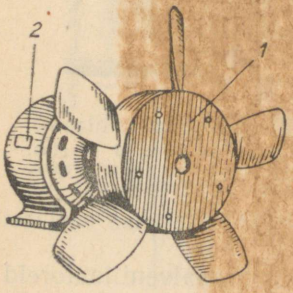
Telgventilaatori (joon. 164) moodustab tiivikratas, mis on asetatud vahetult elektrimootori võllile. Tiivad on asetatud rattale teatud nurga all, mille tõttu ratta pöörlemisel tekib õhu liikumine piki ventilaatori telge. Mida suurem on õhu läbivool, seda kõrgem on tekitatav surve. Läbivoolava õhu hulk ühe ja

Tabel 47

Madalrõhu tsentrifugaalventilaatorid «Sirokko» (tehasest «Krasnaja Presnja»)

Ventilaatori nr.	Ratta läbimõõt mm	Väljasurveava mõõtmed mm	Tootlikkus m^3/tunnis	Tekitatav surve — mm veesammast					
				20		40		80	
				n	N	n	N	n	N
			300	1300	0,04	1790	0,08	2160	0,16
			600	1290	0,08	1820	0,16	2250	0,32
2	200	160×160	900	1270	0,12	1760	0,24	2200	0,48
			1100	1600	0,15	1900	0,26	2600	0,48
			2050	2350	0,7	2550	1,0	3000	1,05
3	300	240×240	4150	1450	1,3	1600	1,69	1920	2,1
			2100	950	0,22	1250	0,44	1700	0,81
4	400	320×320	4300	725	0,7	960	1,1	1270	1,8
			7200	950	1,76	1195	2,4	1400	3,7
5	500	400×400	6900	580	0,8	740	1,3	1030	2,6
			11500	750	2,3	850	3,3	1130	5,3
$6^1/_2$	650	520×520	11650	445	1,4	570	2,3	755	4,1
			19350	570	3,9	670	5,4	835	8,4
8	800	640×640	17700	355	2,2	455	3,6	605	6,2
			29500	455	6,0	535	8,1	670	12,8
$9^1/_2$	950	760×760	25000	295	3,0	375	5,0	505	8,9
			41500	380	8,4	445	12,4	555	18,0
11	1100	880×880	33500	250	4,1	320	6,7	425	11,8
			55800	325	11,4	380	15,4	475	24,3

Märkus. *n* — pöörete arv minutis,
N — vajalik võimsus kW.



Joon. 164. Telgventilaator.
1 — tiibratas, *2* — elektrimootor.

sama ratta juures sõltub ratta pöörete arvust. Mida suurem on ratta pöörete arv, seda kõrgem on ventilaatori tootlikkus.

ЦАГИ konstruktsiooniga tiivik meenutab propellerit. ЦАГИ ventilaatoril on neli raudtiivikut, mis on radiaalselt kinnitatud puksiga varustatud muhvile viimase asetamiseks elektrimootori võllile. Ventilaatoril puudub kest. Ratas pöörleb ainult ühes suunas. Seega ventilaator ei ole reversiivne.

Seda ventilaatoritüüpi kasutatakse külmutusseadmete juures, kus üldine õhuliikumistakistus ei ületa 20 mm veesamba rõhku.

ЦАГИ ventilaatorite tehniline iseloomustus antakse tabelis 48.

Tsentrifugaalventilaatori jaoks tuleb elektrimootor valida 20% võrra suurema võimsusega. See on vajalik kuumenemise vältimiseks pikaajalisel töötamisel ja ka käivitamise kergendamiseks.

Telgventilaatorite juures ei ole elektrimootori võimsuse varu nõutav.

Tabel 48

ЦАГИ telgventilaatorid

Ventilaatori nr.	Tiiva läbimõõt mm	Tootlikkus m³ tunnis	Tekitatav rõhk (mm veesammast)					
			5		10		20	
			n	N	n	N	n	N
3	300	250	1525	0,008	2100	0,016	2520	0,032
		750	1900	0,025	2450	0,05	2900	0,1
		1250	2300	0,042	2800	0,084	3250	0,168
		1750	2790	0,060	3210	0,12	3600	0,24
4	400	400	1170	0,013	1580	0,026	1900	0,052
		1200	1400	0,04	1800	0,08	2180	0,16
		2000	1620	0,068	2020	0,136	2390	0,272
		3200	2120	0,109	2430	0,218	2720	0,436
5	500	600	900	0,022	1220	0,044	1500	0,088
		1000	960	0,034	1300	0,068	1590	0,136
		3000	1230	0,102	1600	0,204	1870	0,408
		4000	1460	0,136	1790	0,272	2000	0,544
6	600	1000	780	0,034	1050	0,068	1280	0,136
		2000	850	0,068	1150	0,136	1360	0,272
		3000	960	0,102	1220	0,204	1450	0,408
		4000	1020	0,136	1300	0,272	1570	0,544
		5000	1150	0,17	1400	0,34	1620	0,68
		6000	1240	0,202	1500	0,404	1700	0,808

Ventilaatorite arvutus. Ventilaatori tootlikkus sõltub vajalikust õhuvahetusest ja seda määratakse järgmise valemiga:

$$V_{õhk} = V \cdot a \text{ m}^3 \text{ tunnis}, \qquad (3)$$

kus $V_{õhk}$ — on ventilaatori tootlikkus m³ tunnis;
V — ventileeritava ruumi maht m³,
a — õhuvahetuste arv tunnis.

Õhujahutaja ventilaatori tootlikkus määratakse lk. 183 antud valemi 6 järgi.

Elektrimootori võimsus arvutatakse järgmise valemi järgi:

$$N = \frac{V_{õhk} \cdot H \cdot 1{,}2}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_v \cdot \eta_r \cdot \ddot{u}} \text{ kW}, \qquad (4)$$

kus N — on mootori võimsus kW,
$V_{õhk}$ — ventilaatori tootlikkus m³ tunnis;
H — üldrõhk (mm veesammast);
1,2 — jõuvaru koefitsient;
102 — koefitsient, kg m/sec ümberarvutamiseks kW-le;

η_v — ventilaatori kasutegur ($\eta_v = 0{,}3 - 0{,}5$);
$\eta_{r \cdot ü}$ — rihmülekande kasutegur ($\eta_{r \cdot ü} = 0{,}95$).

Telgventilaatorite jaoks vajaliku võimsuse arvutamisel jäetakse valemist välja jõuvaru koefitsient ja rihmülekande kasutegur.

Ventilaatori poolt tekitatavat rõhku (H) saab arvutada ligikaudselt, lähtudes rõhu langusest õhu torustiku pikkuse iga jooksva meetri kohta. Rõhu langus võetakse 0,2 kuni 0,8 mm v. s. piirides. Rõhu langus 0,2 mm v. s. vastab õhu liikumiskiirusele 2 m/sec; langus 0,8 mm v. s. aga — kiirusele 8 m/sec.

Teades rõhu langust 1 jooksva meetri kohta ja õhutorustiku osade pikkust, võib määrata rõhu summaarset suurust järgmise valemi järgi:

$$H = \Sigma (R_1 l_1 + R_2 l_2 + \ldots + R_n l_n) \text{ mm v. s.}, \qquad (5)$$

kus $R_1 l_1$; $R_2 l_2 \ldots$ — rõhu languse korrutised üksikute osade pikkusega.

N ä i d e. Määrata elektrimootori võimsus, kui telgventilaatori tootlikkus on 6000 m³/h, üldine takistus 20 mm v. s. ja ventilaatori kasutegur $\eta = 0{,}4$.

Valemi (4) järgi:

$$N = \frac{6000 \cdot 20 \cdot 1{,}2}{3600 \cdot 102 \cdot 0{,}4} = 0{,}81 \text{ kW}.$$

X peatükk

AMMONIAAK- JA SOOLALAHUSE KÜLMUTUSSEADMETE SKEEMID

§ 50. Vahetu aurustamisega ammoniaakkülmutusseadme skeem

Vahetu aurustamisega skeemide juures ringleb ammoniaak süsteemis, mis ei hõlma mitte ainult masinaosakonda, vaid ka jahutatavaid ruume.

Kõik põhiaparaadid ja ka suurem osa abiaparaate monteeritakse masinate ruumi.

Suurte külmutusseadmete puhul eraldatakse masinaosakonna kõrvale spetsiaalne aparaatide ruum. Masinaosakonda pannakse sel juhul üles kompressorid ja reguleerjaam, kuna aga aurustajad, kondensaatorid ja kogu abiaparatuur paigutatakse aparaatide ruumi.

Väikeste külmutusseadmete puhul eri aparaatide ruumi ei seadistata.

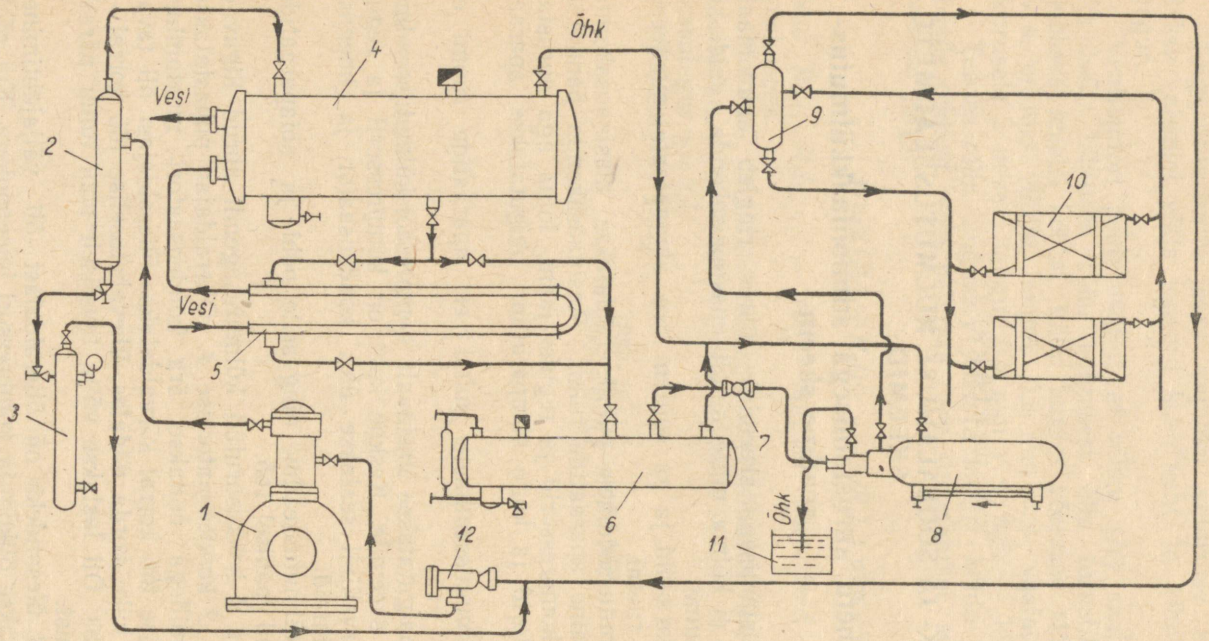
Aparaadid paigutatakse vastavalt kompressor-külmutusseadme printsipiaalsele skeemile. Keskne koht on kompressoril ja reguleerjaamal. Surveliinil seatakse üles kondensaator ja imemisliinil jahutuspatareid.

Ammoniaakkülmutusseadme ning selle põhi- ja abiaparaatide skeem on toodud joonisel 165.

Kompressoris *1* kokkusurutud külmutusagendi aurud liiguvad läbi õlieraldaja *2* kondensaatorisse *4*. Õlieraldajas puhastatakse aurud õlist, millega hoitakse ära kondensaatori mustumine. Kolmevahetuselise töö korral kõrvaldatakse õlieraldajast õli tavaliselt vähemalt kaks korda nädalas, ühevahetuselise töö korral — üks kord nädalas. Õli lastakse välja tavaliselt pool tundi pärast masina seiskamist.

Õlikoguja *3* ülesandeks on õlieraldajast õli väljajuhtimine. Selleks ühendatakse õlikoguja kompressori imevpoolega. Kui rõhk alaneb, lülitatakse õlikoguja välja ja lastakse õli välja.

Kondensaatoris ammoniaagiaurud veelduvad. Vedel ammoniaak liigub läbi ülejahutaja *5* ressiivrisse *6*. Ülejahutajas alan-



Joon. 165. Vahetu aurustamisega ammoniaakkülmutusseadme skeem.

1 — kompressor, *2* — õlieraldaja, *3* — õlikoguja, *4* — kondensaator, *5* — ülejahutaja, *6* — ressiiver, *7* — reguleerventiil, *8* — õhueraldaja, *9* — vedelikueraldaja, *10* — jahutuspatareid, *11* — veepaak, *12* — sõel.

datakse vedela ammoniaagi temperatuuri, mis soodustab külmatootlikkuse tõusu. Ülejahutus saavutatakse sellega, et jahutusvesi läbib algul ülejahutaja ja suunatakse seejärel kondensaatorisse.

Ülejahutaja ühendatakse süsteemiga kõrvalliini abil, mis võimaldab vajaduse korral ülejahutajat eraldada ja juhtida vedel ammoniaak vahetult ressiivrisse. Ressiivris moodustatakse külmutusagendi varu, mis kindlustab külmutusmasina ühtlase töötamise. Ressiivrisse võib koguneda õhku; see eemaldatakse sealt kondensaatori õhutorustiku spetsiaalse ventiili kaudu.

Ressiivrist liigub vedel ammoniaak läbi reguleerventiili *7* ja vedelikueraldaja *9* aurustuspatareidesse *10*. Vedelikueraldaja on paigutatud aurustuspatareidest kõrgemale. See kindlustab drosseldamisel saadud aurude eraldamist ja seda, et patareidesse suunatakse ainult vedel agent.

Agendi vahetu aurustamisega patareid lülitatakse paralleelselt, kusjuures ammoniaagi juurdeandmine toimub alt. Ammoniaagiaurud liiguvad läbi vedelikueraldaja ja sõela *12* tagasi kompressorisse. Vedelikueraldaja kindlustab kompressori kuiva töötamise.

Ammoniaaksüsteemides seatakse vedelikueraldaja asemel mõnikord üles soojusvahetaja. See lülitatakse kondensaatori ja aurustaja vahele, kus ta kuivatab aurustajast kompressorisse liikuvad aurud selle vedela külmutusagendi ülejahutuse arvel, mis liigub kondensaatorist aurustajasse.

Kondensaatorist ja ressiivrist väljuvad õhutorustikud ühendatakse õhueraldajaga *8*. Koos õhuga satuvad õhueraldajasse ammoniaagiaurud. Need kondenseeruvad ja lastakse seejärel õhueraldaja sisemisse torusse.

Õhk lastakse õhueraldajast välja veeanumasse *11*.

Abiseadmed patareide vabastamiseks õlist ja härmatisest on näidatud joonisel 169.

Suur tähtsus on torustiku õigel paigutamisel.

Torustiku alumine paiknemine on otsarbekohane seal, kus masinaosakonna all on kelder. Torustiku hargnemisel keldris on see paremus, et torustikku on kerge monteerida ja kinnitada. Peale selle ei ole masinaruum torustikuga täis kuhjatud.

Väikeste külmutusseadmete puhul kasutatakse ainult ülemist torustiku jagunemist, mis teeb monteerimistööd lihtsamaks ja on odavam.

Aurustaja ja kompressori vahelisel imemistorul ei tohi olla silmuseid moodustavaid allapööratud käändeid, nende esinemisel võivad tekkida «kotid».

Süsteemi täitmiseks ammoniaagiga on reguleerjaama kollektoril erilise täitmisventiiliga varustatud torujätk. Süsteem täidetakse 15—20 kg mahuga terasballoonidest.

Süsteemi esialgseks täitmiseks vajalik ammoniaagihulk määratakse kindlaks täitmisele kuuluvate aparaatide mahu järgi.

Aparaadi nimetus	Mahu täitmise %
Kesttoruaurustajad	80
Vertikaaltoruaurustajad	80
Vahetu aurustamise patareid	50
Kondensaatorid	15
Ressiivrid	80
Ülejahutajad	100
Vedelikueraldajad	20
Kaheastmelise komprimeerimisega seadmete vaheanumad	30
Vedela ammoniaagi torustik	100

Enne torustiku täitmist kontrollitakse balloonide sisu. Selleks avatakse vähe ballooni ventiili ja tehakse ammoniaagi olemasolu kindlaks lõhna järgi. Kõik balloonid kaalutakse ja iga ballooni peale märgitakse kriidiga tema kaal. Balloone võib süsteemi täiteventiiliga ühendada ainult ühendusmutriga varustatud terastoru abil. Enne täiteventiili avamist tekitatakse kogu ammoniaagisüsteemis vaakuum.

Vaakuum tekitatakse kompressori abil, mis imeb ventiiliga varustatud torujätku kaudu õhu läbi survepoole välja, kui peasurveventiil on suletud.

Kui õhu väljalaskeventiili ette asetatud käsi ei tunne survet, siis näitab see, et õhk on eemaldatud, ning võib asuda süsteemi täitmisele ammoniaagiga. Balloon ühendatakse täiteventiiliga; seejuures tuleb balloon asetada kaldasendis (peaga allapoole) spetsiaalsele pukile.

Kui reguleerventiil on avatud ja balloon ühendatud täiteventiiliga, lastakse balloonis olev ammoniaak süsteemi, millesse on eelnevalt loodud vaakuum. Esimesed balloonid tühjenevad ammoniaagist kiiresti ballooni ja süsteemi rõhu suure erinevuse tõttu. Seejuures «härmatise» sulamine ballooni alumisel osal näitab, et balloon rohkem ammoniaaki ei sisalda. Hiljem, kui rõhk süsteemis ja balloonis ligikaudu tasakaalustub ja ammoniaagi üleminek peaaegu lõpeb, suletakse vedeliku liini reguleerventiil ja käivitatakse kompressor. Seoses rõhu alanemisega aurustajas jätkub ammoniaagi üleminek balloonist süsteemi. Liialt kõrge rõhu tekkimise vältimiseks jahutatakse kondensaatorit veega. Pärast balloonide tühjendamist toimub nende kaalumine. Kaalu vahe järgi määratakse kindlaks süsteemi kallatud ammoniaagi hulk. Pärast seda, kui süsteem on arvestuse järgi tarviliku ammoniaagihulgaga täidetud, käivitatakse seade ja temperatuurirežiimi järgi määratakse kindlaks, kas süsteem on ammoniaagiga vajalikult täidetud.

Süsteemi täitmisel ammoniaagiga on keelatud balloone soojendada.

Külmutusseadme ekspluateerimise ajal tuleb süsteemi ammoniaaki juurde anda, sest süsteemist imbub mõningal määral ammoniaaki välja.

Ammoniaagihulga vähenemine põhjustab seadme külma-

tootlikkuse langust, kuna aurustajasse ei lähe ammoniaaki küllaldaselt ja seetõttu väljuvad selle aurud aurustajast kõrgendatud temperatuuriga.

Kompressoris on aurude kokkusurumisel märgata nende ülemäärast soojenemist. Külmutusagendi vähesuse peamisteks tunnusteks on kõrge ülekuumenemistemperatuur, madal aurumistemperatuur ja rõhu alanemine kondensaatoris.

Aasta keskmine ammoniaagi täiendamine moodustab ligikaudu 2,8 kg iga 1000 installeeritud normaal-kalortunni kohta. Et vältida toru- ja elementkondensaatorites ja aurustajates ning vaheanumates ja ressiivrites rõhu suurenemist, peab külmutusseadmetel, mis sisaldavad 60 kg ja rohkem ammoniaaki, olema ette nähtud ammoniaagi väljalaskmiseks kaitseklapp ja väljavoolutoru, mis peab ulatuma üks meeter kõrgemale külmutushoone ja 50 m raadiuses olevate hoonete karniisidest.

Masinaosakond peab olema avarii juhuks varustatud tõmbeventilatsiooniga õhu seitsmekordseks vahetamiseks tunnis.

§ 51. Soolalahuse süsteem

Soolalahuse jahutussüsteemi monteeritakse soolalahuse jahutamiseks eriline aurustaja. Aurustajas toimub süsteemis ringleva soolalahuse jahutamine. Aurustaja lülitatakse torustikuskeemi järgmiselt.

Lahtises süsteemis ühendatakse soolalahuse pumba imev pool aurustajapaariga ning kinnises süsteemis (toruaurustajate puhul) soolalahuse pumba survepool. Pumba survepool ühendatakse torustikuga, mis toob soolalahuse tagasi patareidest.

Pumba imev- ja survepoolel on siibrid. Patareist väljuvad torud ühendatakse torustikuga (äravoolutoruga), mille ots on toodud aurustajapaaki ja asetseb soolalahuses, et pumba seismajäämisel ei täituks paak üle lubatud taseme.

Sõltuvalt aurustaja tüübist on soolalahuse ringlemissüsteem kinnine või lahtine.

L a h t i s e s ü s t e e m i (joon. 166) korral on aurustajapaak lahtine ja ühenduses välisõhuga.

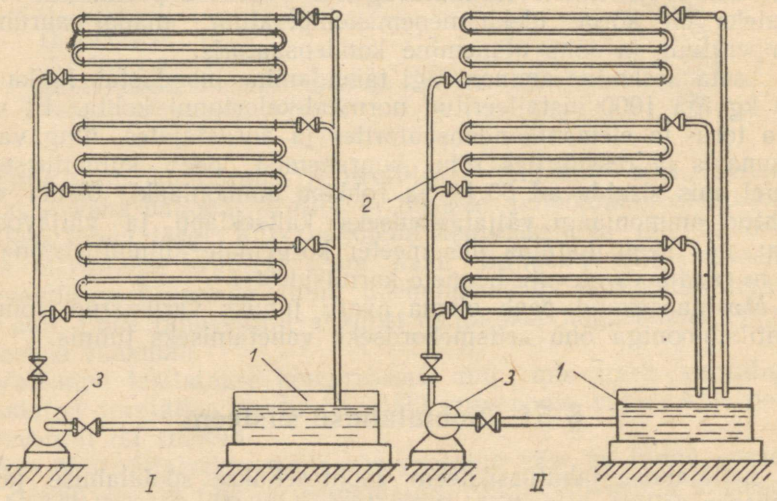
Lahtise süsteemi puhul kuulub spetsiaalse armatuuri hulka ainult soolalahuse siiber ja õhu eemaldamise ventiilid. Õhuventiilid monteeritakse torustiku ja patareide kõrgematesse punktidesse ja kõigisse kohtadesse, kuhu võib koguneda õhku.

Soolalahuse ringlemise k i n n i s t e l s ü s t e e m i d e l (joon. 167) on kinnist tüüpi (kesttoru-) aurustaja, nagu näiteks Odessa tehase seadmetel И-10.

Siugtorud, magistraaltorustik ja aurustajatorud sisaldavad kindla hulga soolalahust, mis vastab nende mahule. Soolalahuse tagavara mahutit, nagu see esineb lahtiste aurustajate juures, siin ei ole. Soolalahuse temperatuuri muutumisel muutub selle

maht. Seepärast kasutatakse kinnise süsteemi juures paisumispaaki.

Kinnise süsteemi ainsaks puuduseks on soolalahuse jäätumise võimalus aurustajas. Kuid seda on võimalik õigel ajal ära hoida.



Joon. 166. Lahtine ringlemissüsteem.

I — ühise äravoolutoruga, *II* — eraldi äravoolutorudega, *1* — aurustaja, *2* — soolalahuse patareid, *3* — pump.

Paisumispaak süsteemi kõrgemas punktis soodustab õhu eraldumist süsteemist ja süsteemi kõikide osade täitumist soolalahusega. Pumpadel ei tule sel juhul ületada soolalahuse tõusukõrgust survemagistraalis. Energiakulu ringlemisele väheneb, sest pumbal tuleb ületada ainult magistraaltorustike ja patareide takistusi. Peale selle väheneb kinniste süsteemide puhul torustiku korrosioon. Seega on kinniseil süsteemidel eeliseid, võrreldes lahtise süsteemiga.

Soolalahuse keskmine temperatuur peab olema 5—6° kõrgem ammoniaagi aurumistemperatuurist. Aurustajasse tagasivoolava soolalahuse temperatuur peab olema 2—3° kõrgem väljavoolava soolalahuse temperatuurist.

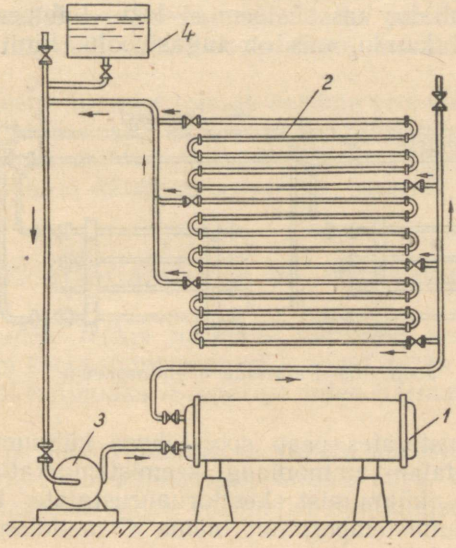
Soolalahuse proovide võtmiseks ja kontsentratsiooni määramiseks on kinnistes süsteemides torustikul proovivõtu ventiilid. Prooviventiile võib monteerida torustiku ükskõik missugusesse ossa, kuid kõige otstarbekohasem on nad asetada survepoolele vahetult soolalahuse pumba järele. Lahtistel aurustajatel võetakse proov vahetult paagist.

Soolalahuse kontsentratsioon võetakse vastavalt antud külmutusseadme kohta määratud temperatuurirežiimile.

Kontsentratsiooni alanemisel lisatakse lahtise aurustaja paaki

soola, kinnisesse süsteemi aga lisatakse kontsentreeritud soolalahust süsteemist väljalastud osa asemele.

Soolalahuse väljalaskmiseks süsteemi remontimise ja läbipesemise juhtudel seatakse üles tagavarapaak. Tavaliselt asetatakse paak masinaosakonna põranda alla, et soolalahus valguks sinna isevoolu teel.



Joon. 167. Kinnine ringlemissüsteem.
1 — aurustaja, *2* — soolalahuse patareid, *3* — pump, *4* — paisumispaak.

Suurtel seadmetel viiakse soolalahuse kogujad masinaruumi piiridest välja ja ehitatakse masinaosakonna vahetusse lähedusse maasse. Soolalahust lastakse välja spetsiaalse ventiili kaudu, mis monteeritakse süsteemi kõige madalamasse punkti. Soolalahuse kogujad ehitatakse katlaplekist neljakandiliste keevitatud paakidena.

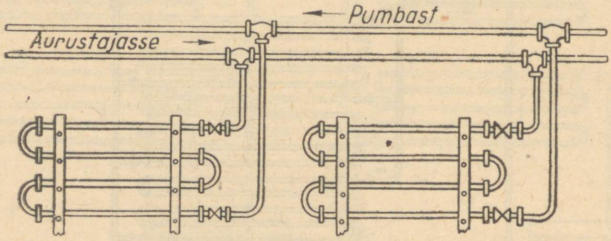
Soolalahuse patareid võib asetada kas jahutatavate ruumide seinte äärde või lae alla.

Kui patareid on üles seatud ruumides, kus temperatuur on üle nulli, tuleb patareide alla monteerida rennid kondensvee äravooluks.

Enamikul juhtudest lülitatakse patareid paralleelselt (joonis 168). Selline lülitamisviis võimaldab saavutada kõige suuremat vajalikku temperatuuride vahet soolalahuse ja jahutatava ruumi õhu vahel. Sel juhul ühendatakse patarei alumine toru soolalahuse juurdevoolu magistraaltoruga ning ülemine toru tagasivoolutoruga.

Patarei alumisele ja ülemisele torule monteeritakse siibrid, mis võimaldavad üksikuid patareisid remondi puhuks välja lülitada. Õhk soolalahuse süsteemis halvendab tugevasti patareide tööd, suurendab pumba tööd ja raskendab reguleerimist. Seepärast tuleb kõigisse kohtadesse, kuhu võib koguneda õhku, monteerida õhu väljalaske ventiilid.

Enne süsteemi täitmist pestakse see veega läbi, et eemaldada mustus ja kontrollida, kas süsteem ei leki. Läbipesemist teostatakse torustutseri kaudu, mis on tagasivoolu liinil enne soolalahuse siibrit.



Joon. 168. Patareide ühendusskeem.

Lahtistes aurustajates peab soolalahuse külmumistemperatuur olema 5—6° madalam ammoniaagi keemistemperatuurist. Et vältida soolalahuse külmumist kesttoruaurustajate torudes, peab soolalahuse külmumistemperatuur olema 8° madalam ammoniaagi keemistemperatuurist.

Töötemperatuuridele vastavad soolalahuste kontsentratsioonid määratakse raamatu lisas antud tabelite järgi.

Keedusoolast valmistatud soolalahust võib selle füüsikaliste omaduste tõttu kasutada ainult aurumistemperatuurideni kuni —16°. Madalamate temperatuuride jaoks kasutatakse kaltsiumkloriidi lahust.

Seadmete МЗИ-46 ja ЯК-10 süsteemide täitmiseks soovitatakse 22,4%-list keedusoola lahust, mille tihedus +15° juures on 1,17 kg/l; sellise lahuse külmumistemperatuur on −21,2°.

Kinnise ringlemissüsteemiga seadme И-10 täitmiseks soovitatakse kasutada 22,8%-list kaltsiumkloriidi lahust, tihedusega 1,21 kg/l; lahuse külmumistemperatuur on −23°.

Madalatel aurustamistemperatuuridel väldib kaltsiumkloriidi lahus aurustaja torudes külmumise ja nende lõhkemise ohu.

Soolalahuse valmistamiseks kasutatakse suurte külmutusseadmete juures spetsiaalseid raudbetoonpaake. Väikeste külmutusseadmete jaoks valmistatakse soolalahust tünnides. Metalli kaitsmiseks korrosiooni eest lisatakse soolalahusele 1—2% seebikivi.

Pärast soola lahustumist lastakse lahusel seista ja seejärel filtreeritakse. Pärast seda toimub süsteemi täitmine.

Lahtiste aurustajatega süsteemid täidetakse aurustajapaagi

kaudu. Selleks täidetakse paak soolalahusega, suletakse väljavoolutoru siiber ja lülitatakse tööle pump. Pärast seda, kui patareid ja torustik on täis pumbatud, kallatakse soolalahust paaki juurde. Aurustajapaakides peab soolalahuse tase ulatuma üle aurustussektsioonide, et nende jahutuspinda täielikult ära kasutada. Soolalahuse olemasolu patareides ja torustikus kontrollitakse õhuventiilide kaudu.

Kinnist soolalahusesüsteemi võib täita paisumispaagi kaudu. Täitumise ulatust määratakse soolalahuse taseme järgi paisumispaagis.

Pärast süsteemi täitmist toimub seadme proovikäivitamine.

Seadme töötamise ajal mõõdetakse soolalahuse tihedust areomeetriga. Tiheduse mõõtmisel tuleb lahuse temperatuur tõsta sellele tasemele, mis on näidatud areomeetri skaalal.

§ 52. Härmatise ja õli kõrvaldamine

Patarei torudele tekkiv härmatis vähendab soojusülekannet ja põhjustab seega keemistemperatuuri langust, tehes külmutusseadme ekspluatatsiooni kallimaks. Seepärast tuleb härmatist perioodiliselt eemaldada.

Härmatise ja õlikõrvaldamiseks vahetu aurustumise patareidelt puhutakse nendest läbi ammoniaagi kuuma auru. Vedel ammoniaak juhitakse drenaažressiivrisse. Härmatise sulatamise skeem on antud joonisel 169.

Selle skeemi järgi tuleb algul sulgeda ventiilid *1* ja *3*, millega lõpetatakse külmruumi nende patareide toitmine vedela ammoniaagiga ja ammoniaagi aurude väljaimemine, millelt on ette nähtud härmatis eemaldada.

Sulatatava süsteemi ressiiver ühendatakse seejärel imeva torustikuga, avades selleks ventiili *2* ja vedelikueraldaja ventiili, edasi alandatakse rõhk ressiivris kuni imemisrõhuni ja suletakse seejärel ventiil *2*.

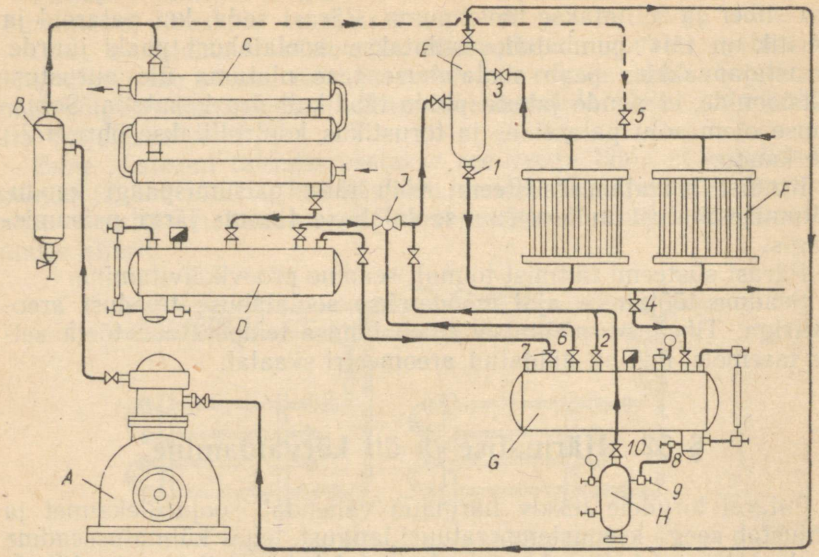
Edasi tuleb avada ventiil *4* ja lasta vedel ammoniaak külmruumi patareidest välja drenaažressiivrisse. Sulgedes ventiili *4* katkestatakse sellega ressiivri ühendus patareidega ning vedelast ammoniaagist tühjenenud patareidesse lastakse ammoniaagi kuum aur, milleks avatakse ventiil *5*.

Pärast härmatise eemaldamist suletakse ventiil *5* ning avatakse ventiil *3* ja ventiil *1* vedelikutorul.

Seejärel, avades ventiilid *8* ja *9* ressiivri õlipotist kuni kogujani, lastakse õli ressiivrist õlikogujasse.

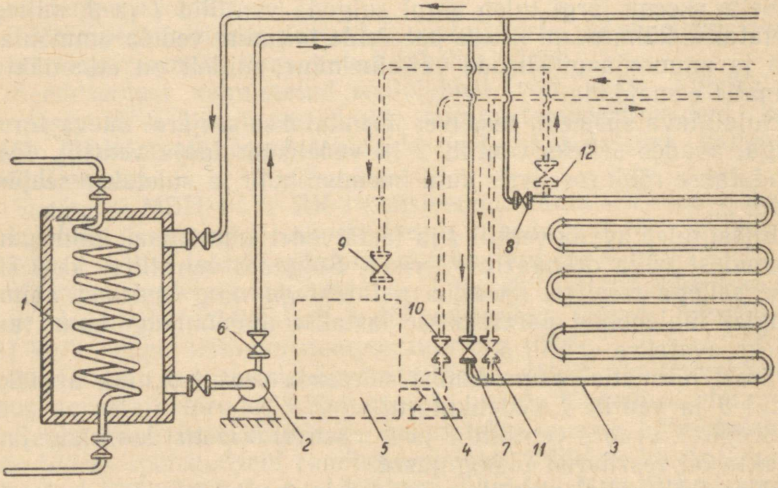
Pärast õli väljalaskmist ventiilid *8* ja *9* suletakse. Rõhu alandamiseks õlikogujas avatakse õlikoguja ülemises osas asetsev ventiil *10*. Pärast rõhu alanemist õlikogujas kuni imemisrõhuni tuleb ventiil *10* sulgeda ja õli välja lasta.

Vedela ammoniaagi laskmiseks ressiivrist aurustamissüsteemi



Joon. 169. Skeem härmatise sulatamiseks kuumade ammoniaagiaurudega.

A — kompressor, *B* — õlieraldaja, *C* — kondensaator, *D* — ressiiver, *E* — vedelikueraldaja, *F* — ammoniaagipatareid, *G* — drenaažressiiver, *H* — õlikoguja, *J* — reguleerventiil.



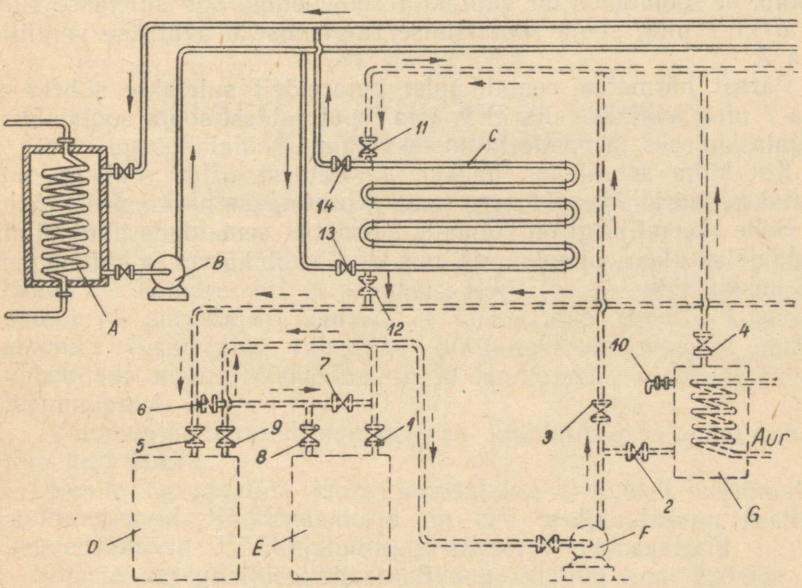
Joon. 170. Skeem härmatise sulatamiseks sooja soolalahusega.

1 — aurustaja, *2* — soolalahuse pump, *3* — soolalahuse patarei, *4* — soolalahuse pump, *5* — soolalahuse soojendaja, *6* ja *10* — pumpade siibrid, *7, 8, 11, 12* — patareide sulgventiilid, *9* — soolalahuse soojendaja siiber.

tuleb avada ventiilid *7* ja *6* ning reguleerventiil reguleerjaama juures. Pärast ventiilide *6* ja *7* sulgemist alandatakse rõhu ressiivris aurustamisrõhu tasemeni, avades selleks ventiili *2*. Pärast aurustamisrõhu saavutamist suletakse see ventiil.

Kui läbipuhumine on lõpetatud, siis tuleb kõik ventiilid lülitada tööseisukorda, vastavalt nende ülesandele.

Soolalahuse patareidelt eemaldatakse härmatis nende kuumendamisega kuuma soolalahusega.



Joon. 171. Härmatise sulatamise skeem.

A — aurustaja, *B* — soolalahuse pump, *C* — soolalahuse patarei, *D* — külma soolalahuse paak, *E* — sooja soolalahuse paak, *F* — soolalahuse pump, *G* — soolalahuse soojendaja.

Sulatamist teostatakse joonisel 170 antud skeemi järgi. Selleks suletakse patarei siibrid *7* ja *8*, avatakse aga siibrid *11* ja *12*, pumbasiiber *10* ja soolalahuse soojendaja siiber *9*. Lülitatakse tööle pump *4*. Soolalahus pumbatakse patareidest soolalahuse soojendajasse, kust see patareidesse uuesti tagasi liigub. Pärast sulatamist suletakse siibrid *11* ja *12* ning avatakse siibrid *7* ja *8*. Seejärel ühendatakse soojendajaga järgmine patareide grupp.

Pärast sulatamist lülitatakse pump *4* ja soojendaja *5* välja.

Niisugune sulatamise meetod ei ole ratsionaalne, sest sellega soojendatakse patareides olevat soolalahust, millega kaasnevad ebatootlikud külmakaod.

Kui eeldada, et soolalahust soojendatakse patareides 30° võrra (−10° kuni +20°), siis patareide soojendamisel, mille torude läbimõõt on 57 mm ja mille jahutuspind on 20 m², moodustab külma

kadu 6000 kcal. Peale selle on härmatise eemaldamisega seotud suur küttematerjali- ja ajakulu.

Täiuslikum on skeem, mille järgi külm soolalahus lastakse eelnevalt patareidest eraldi paaki (joon. 171).

Ventiili *10* avamisega kontrollitakse algul soolalahuse olemasolu soolalahuse soojenduspaagis. Seejärel suletakse patareide siibrid *13* ja *14* ning avatakse soojendaja siibrid *11*, *12* ja *4* ning väljavooluliini siiber *5*. Lülitatakse tööle pump. Kui termomeeter näitab, et soolalahus on vajalikult soojenenud, siis suletakse siibrid *5* ja *1* ning sooja soolalahuse ringlemiseks avatakse ventiilid *6* ja *7*.

Pärast härmatise eemaldamist patareidelt suletakse siibrid *4*, *2* ja *7* ning avatakse siibrid *9*, *3* ja *8* patareidest sooja soolalahuse väljalaskmiseks ja nende täitmiseks külma soolalahusega.

Kui külm soolalahus hakkab patareidest välja voolama, siis avatakse siibrid *13* ja *14* ning patarei lülitatakse normaalsele tööle.

Selle skeemi järgi on võimalik härmatist eemaldada ilma külma soolalahust üles soojendamata, mis kindlustab külma ja küttematerjali kokkuhoidu.

XI peatükk

KÜLMUTUSAGREGAADID JA VÄIKESED KÜLMUTUSSEADMED

§ 53. Kompressor-kondensaatoragregaadid

Külmutusagregaadiks nimetatakse külmutusmasina põhiliste osade — kompressori ja kondensaatori (kompressor — kondensaator — aurustaja) kompaktset ühendamist ühtseks konstruktsiooniks, eesmärgiga vähendada külmutusseadmete-alust pindala, vähendada montaažtööde mahtu ja kindlustada seadmete hõlpsat teenindamist.

Valmistajad-tehased monteerivad külmutusagregaadid tehases täielikult kokku.

Nende agregaatide jaoks kasutatakse tavaliselt vertikaalseid kompressoreid. Kondensaatorid on kas vesijahutusega kesttorukondensaatorid või õhujahutusega ribitorukondensaatorid.

Selliste agregaatide külmatootlikkus on 600 kuni 200 000 kcal tunnis. Väikese tootlikkusega agregaadid (kuni 5000 kcal tunnis) lastakse välja nii vesi- kui ka õhkjahutuse kondensaatoritega. Ühiskondliku toitlustamise ja kaubanduse ettevõtetes tarvitatakse freoon-külmutusagregaate ФАК-06, ФАК-07, ФАК-1,1, ФАК-1,5, АК-2ФВ-8/4, АК-2ФВ-6/3, АК-2ФВ-5/3, АК-2ФВ-3/1,5, ФРУ-08. Agregaatide margid tähendavad: ФАК-06 — freoon-kompressoragregaat külmatootlikkusega 600 kcal tunnis; АК-2ФВ-3/1,5 — kahesilindriline vertikaalne freoon-kompressoragregaat külmatootlikkusega 1500 kuni 3000 kcal tunnis jne.

Kompressoragregaati ФАК-06 kasutatakse külmkappide jahutamiseks.

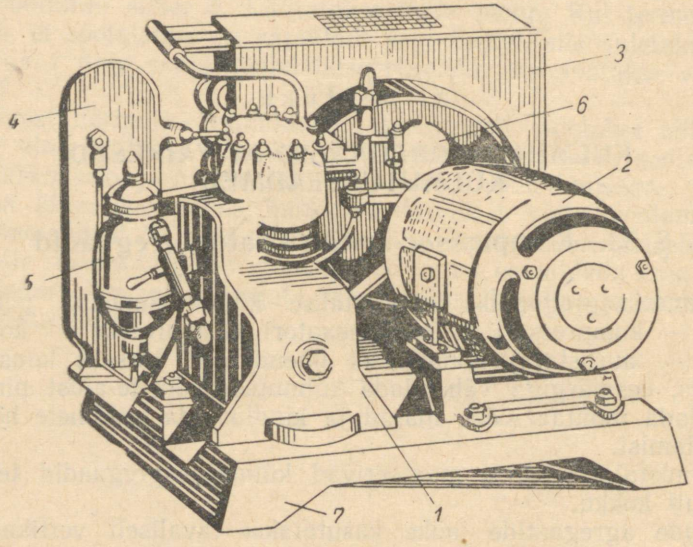
Agregaat koosneb kompressorist 2ФВ-4, horisontaalsest ribitorukondensaatorist, kolmefaasilisest elektrimootorist tüüp АОЛ-32/4, vertikaalsest ressiivrist, silikageel-filterkuivatajast ja raamist.

Peale nende kuuluvad agregaadi komplekti veel: siugribitoruaurustaja, termoreguleerventiil ТРВ-2 ja grupikilp.

Kompressoragregaat ФАК-06 (joon. 172) on monteeritud malmist raamile 7. Eesosas on monteeritud kompressor *1* ja elektri-

mootor *2*, viimane on alusrööbastel, mis võimaldab seda rihma pingutamiseks nihutada.

Kondensaator *3* monteeritakse elektrimootori taha. Kuna kondensaator on õhkjahutusega, siis on elektrimootori võllil ventilaator *6*. Kompressori taha välisküljele on paigutatud ressiiver *4* ja filterkuivataja *5*. Agregaadi vahetusse lähedusse seinale seatakse



Joon. 172. Kompressoragregaat ФАК-06.

1 — kompressor, *2* — elektrimootor, *3* — kondensaator, *4* — ressiiver, *5* — filterkuivataja, *6* — ventilaator, *7* — raam.

üles grupikilp. Kilbile on kinnitatud pressostaat-manokontroller tüüp РД-1, magnetkäivitaja П-222 ja grupilüliti ПКЗ-25. Aurustaja koos sellele asetatud auruülekuumendiga ja termoreguleerventiiliga monteeritakse kappi.

Kompressori survepool on ühendatud kondensaatori ja manokontrolleriga.

Imemispool ühendatakse aurustajaga ja pressostaadiga.

Kondensaator ühendatakse ressiivri ja filterkuivataja kaudu aurustajale seatud termoreguleerventiiliga. Analoogilised ühendusskeemid on ka teistel freoonagregaatidel.

Agregaadi gabariitmõõtmed on: pikkus 640 mm, laius 505 mm, kõrgus 448 mm.

Külmatootlikkus 650 p/min puhul on 600 kcal tunnis.

Elektrimootor on kolmefaasiline, võimsusega 1 kW, pinge 127/220 või 220/380 V.

Kondensaatori jahutuspind 2,35 m².

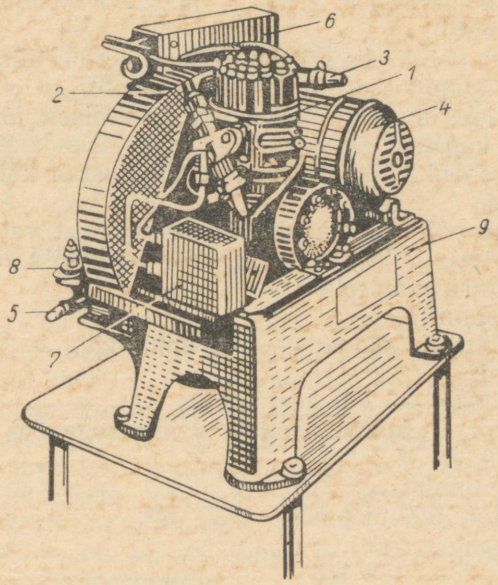
Kondensaatori esikülje lõikepind — 330×380 mm.

Kaal (freooniga ja õliga täidetult) — 92 kg.

Valmistaja — tehas «Mehhanolit».

Kompressoragregaat ФАК-07 (joon. 173) on ette nähtud külmakappide, -lettide, -vitriinide jahutamiseks ja teiste jahutusseadmete jaoks.

Kompressor-kondensaatoragregaat koosneb järgmistest osadest: kompressorist, elektrimootorist АОЛ-31/4, kondensaatorist, horisontaalsest ressiivrist, surverelеest РД-1, seemisnahast ja kalevist filtritega sõelfiltrist ja alusest.



Joon. 173. Kompressoragregaat ФАК-07.
1 — kompressor, *2* — imemisventiil, *3* — surveventiil, *4* — elektrimootor, *5* — ressiiver, *6* — kondensaator, *7* — surverelee, *8* — filter.

Agregaadi konstruktsioon on järgmine. Alusele on kinnitatud kompressor ja selle kõrvale alusrööbastele elektrimootor, mille võllil on ventilaator. Alusele kinnitatud kronsteinidel asetseb kondensaator ja selle all ressiiver. Kompressori kõrvale on paigutatud surverelee.

Filter on monteeritud ressiivri peale. Hoorattal ja ventilaatoril on ümber võrkkaitse.

Agregaadiga on kaasas ribitoruaurustaja termoreguleerventiiliga ТРВ-2 ja magnetkäivitaja П-222.

Gabariitmõõtmed: pikkus 680 mm, laius 500 mm, kõrgus 590 mm.

Külmatootlikkus — 700 kcal tunnis.

Elektrimootor — kolmefaasiline, võimsusega 0,6 kW, pingega 127/220 ja 220/380 V.

Kondensaatori jahutuspind — 3,25 m².
Ressiivri maht — 2,5 l.
Kaal täidetult — 110 kg.
Valmistaja — tehas «Mehhanolit».

Väntvõllitihendita külmutusmasin БС-ФАК-07. See masin kujutab endast agregaati, mille koostisse kuuluvad: kolbkompressor elektrimootoriga, ribitorukondensaator õhkjahutusega, vedela freooni ressiiver sulgventiili ja filtriga. Masina juhtimine toimub automaatselt seadmete komplekti abil, kuhu kuuluvad pressostaat-manokontroller (РД-1), magnetkäivitaja (П-222) ja termoreguleerventiil.

Selle masina põhiliseks erinevuseks on hermeetilist tüüpi tihendita mootor — kompressor, milles elektrimootor on ehitatud kompressorisse ja elektrimootori kere on hermeetiliselt ühendatud karteriga. Selline konstruktsioon ei vaja võlli tihendamist tihendkarbiga, väldib freooni väljaimbumist ja kindlustab külmutusseadme vaikse töötamise.

Kõik masina põhiosad monteeritakse malmist valatud raamile. Magnetkäivitaja ja lüliti seatakse üles eri kilbile, termoreguleerventiil aga aurustuspatareile.

Tehnilised andmed.

Gabariitmõõtmed: pikkus — 620 mm, laius — 545 mm, kõrgus — 540 mm.

Külmatootlikkus — 700 kcal tunnis.

Elektrimootor — kolmefaasiline, võimsusega 0,6 kW, pingega 127/220 või 220/380 V.

Pöörete arv minutis — 710.

Kondensaatori jahutuspind — 3,25 m².

Ressiivri maht — 2,5 l.

Kaal täidetult — 118 kg.

Kompressoragregaadi ФАК-1,1 ja ФАК-1,5 on ette nähtud kunstliku külma tekitamiseks kokkumonteeritavates külmkambrites ja muudes külmseadmetes, mida kasutatakse kaubandusvõrgu kauplustes ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes toiduainete lühiajaliseks säilitamiseks.

Need mõlemad on ühisele valatud raamile monteeritud agregaadid, mis koosnevad järgmistest sõlmedest:

a) kolbkompressorist 2-ФВ-4/4,5 imi- ja surveventiilidega;

b) õhkjahutusega ribitorukondensaatorist;

c) sulgventiiliga ja filtriga horisontaalressiivrist (filter koosneb kahest sõelaga äärikkaanest);

d) kolmefaasilise voolu elektrimootorist, pingele 127/220 või 220/380 volti. Elektrimootor on varustatud kondensaatori jahutamise ventilaatoriga;

e) kondensaatori ja ressiivri kronsteinidega ja elektrimootori alusega varustatud raamist.

Agregaatide juhtimine on automaatne. Automaatjuhtimise seadmeteks on: surverelee РД-1 (on paigutatud raamile), magnet-

käiviti П-222 (on kinnitatud eri kilbile) ja termoreguleerventiil (on asetatud aurustajale).

Tehnilised andmed:

Nimetus	ФАК-1,1	ФАК-1,5
Gabariitmõõtmed mm: pikkus	718	890
laius	515	535
kõrgus	587	636
Külmatootlikkus kcal tunnis (kui aurustamistemperatuur on −15° ja kondenseerimistemperatuur +30°)	1100±15	1500±15
Elektrimootori võimsus kW	1,0	1,7
Pöörete arv minutis:		
ajami rihmarattal	1420	1420
veovõllil	650	1000
Kondensaatori jahutuspind m²	4,33	7,76
Ressiivri maht l	4,32	6,35
Agregaadi kaal (täitmatult) kg	113	157

Kompressoragregaat ФРУ-08 (joon. 174). Rotatsioonkompressoriga freoonkülmutusseade ФРУ-08 on ette nähtud peamiselt 8—10 m³ mahuga toiduainete hoiuruumide jahutamiseks, eriti aga kokkumonteeritavate külmkambrite ХКР-1 jahutamiseks. Seda võib kasutada ka kappide ja lettide jahutamiseks.

Agregaadi koostisse kuuluvad: rotatsioonkompressor, elektrimootor, horisontaalsete torudega ribitorukondensaator, horisontaalressiiver, gaasifilter ja raam.

Agregaadiga on kaasas armatuurkilp, vedelikufilter, filterkuivataja, aurustaja ja sulgarmatuur.

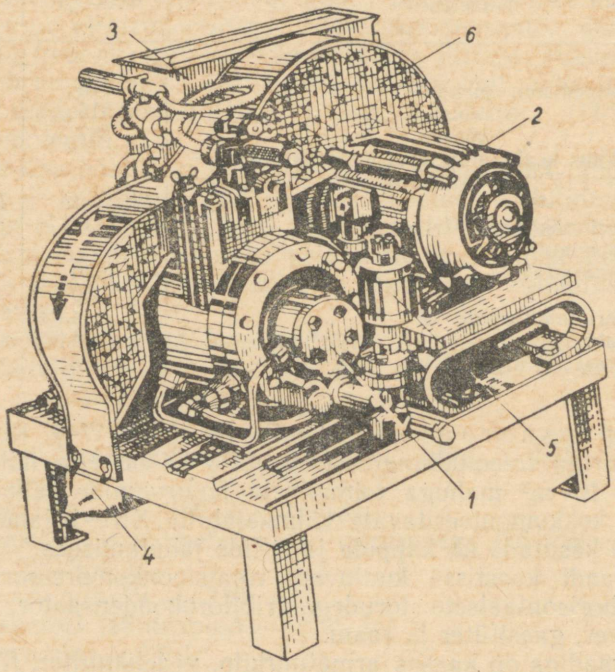
Kompressor on paigutatud kokkukeevitatud raamile. Selle kõrvale on plaadile kinnitatud elektrimootor (plaat kinnitatakse raamile painutatud kandurite abil). Elektrimootori teljele on kinnitatud ventilaator. Kondensaator on asetatud elektrimootori taha ja ressiiver raami alla. Gaasifilter ühendatakse kompressori imemisventiili külge tagasilöögiklapi kaudu. Hooratas ja ventilaator on ümbritsetud kaitsevõrguga.

Agregaadi vahetusse lähedusse seinale kinnitatakse armatuurkilp, millel asuvad: pressostaat-manokontroller tüüp РД-1, magnetkäivitaja П-222, kaks lülitit, pistikupesa kandelambile, kahekäiguline sulgventiil ja kaitsmed kolmefaasilisele voolule. Aurustaja paigutatakse jahutatavasse objekti.

Seadme skeem on kujutatud joonisel 175.

Freooniaurud juhitakse surveventiili kaudu kondensaatorisse ja pärast nende veeldumist ressiivrisse. Ressiivril on sulgventiil, mis võimaldab teda eraldada kondensaatorist. Vedel freoon läheb läbi termoreguleerventiili aurustajasse ülevalt. Aurud, mis juhitakse aurustajast välja alt, läbivad algul armatuurkilbile kinnitatud kahe-

käigulise ventiili ja liiguvad seejärel läbi gaasifiltri, tagasilöögiklapi ja imemisventiili kompressorisse. Töötamise ajal laseb tagasilöögiklapp aurustajast tulevad freooniaurud läbi, seisakute ajal aga tõkestab aurude ja õli tagasiliikumist kompressorist imemisliini.



Joon. 174. Kompressoragregaat ФРУ-08.
1 — kompressor, *2* — elektrimootor, *3* — kondensaator, *4* — ressiiver, *5* — gaasifilter, *6* — kaitsevõrk.

Rõhku seadmes kontrollitakse pressostaat-manokontrolleri abil. Pressostaat on ühendatud imemisliiniga armatuurkilbil asetseva kahekäigulise ventiili kaudu, manokontroller aga on ühendatud kompressori surveventiiliga.

Gabariitmõõtmed: pikkus — 630 mm, laius — 560 mm, kõrgus — 565 mm.

Külmatootlikkus — 800 kcal tunnis.

Elektrimootor — kolmefaasiline, võimsusega 1 kW, pingega 127/220 või 220/380 V.

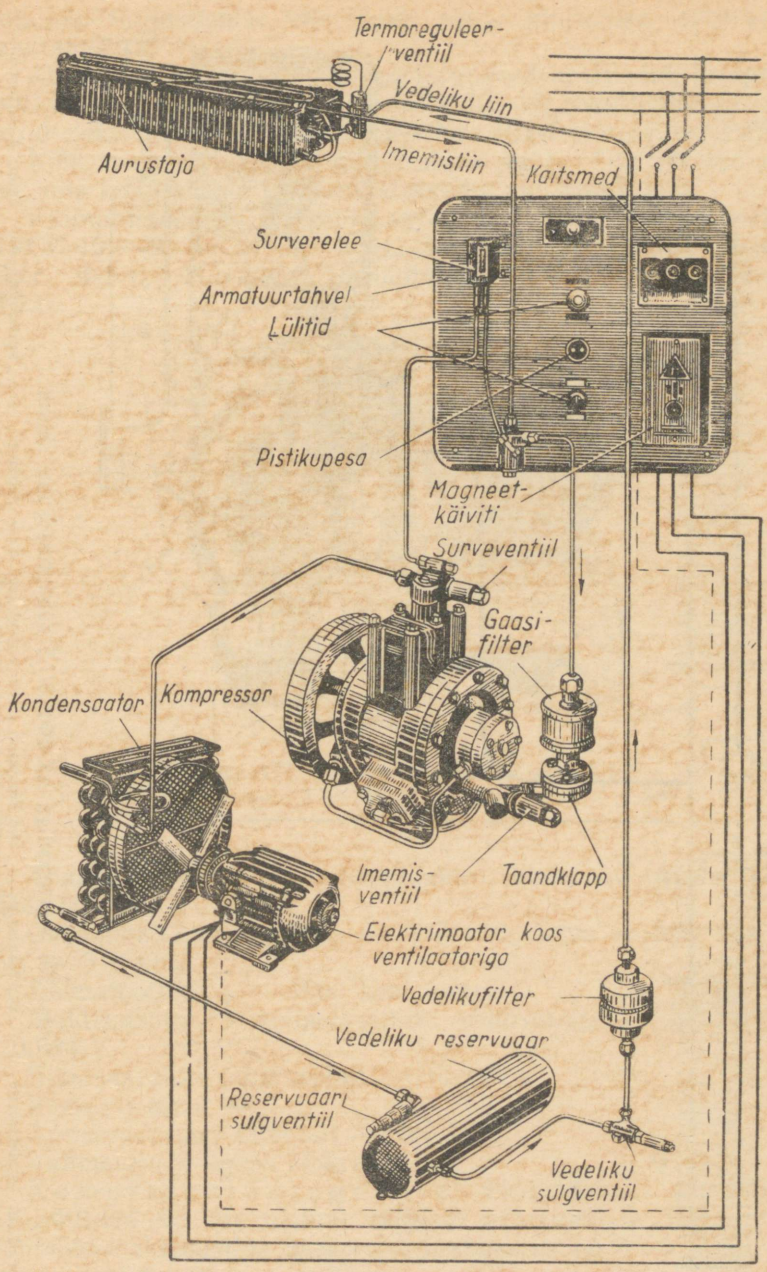
Kondensaatori jahutuspind — 2,4 m².

Ressiivri maht — ligikaudu 3,0 l.

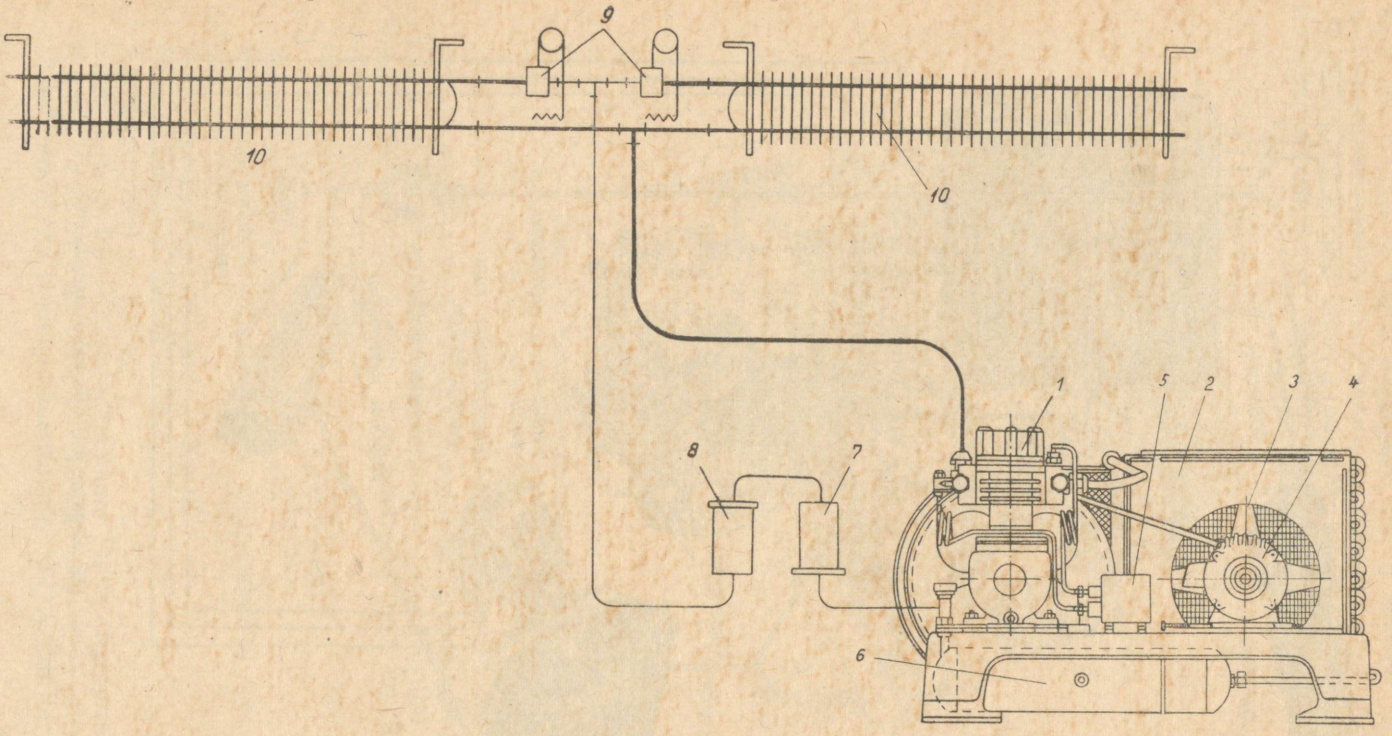
Agregaadi kaal — 105 kg.

Valmistaja — Riia Külmutusmasinate Tehas «Kompressor».

Kompressoragregaat АК-2ФВ-3/1,5 on ette nähtud 8—10 m² pindalaga kokkumonteeritavate külmkambrite ja ühis-



Joon. 175. Seadme ФРУ-08 töötamise skeem.



Joon. 176. Agregaadiga AK-2ФВ-3/1,5 külmutusseadme skeem.

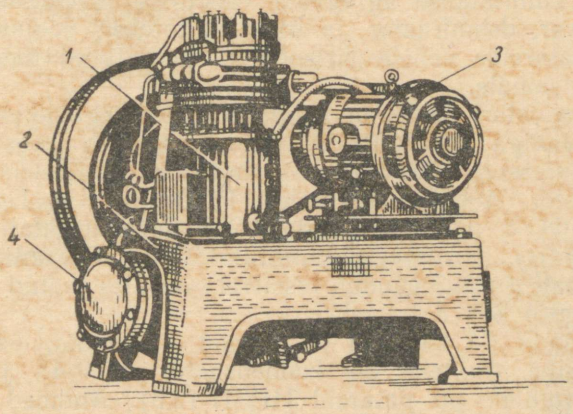
1 — kompressor, *2* — kondensaator, *3* — ventilaator, *4* — elektrimootor, *5* — survereleе, *6* — ressiiver, *7* — kuivataja, *8* — filter, *9* — termoreguleerventiil, *10* — aurustuspatareid.

kondliku toitlustamise ettevõtetes sama pindalaga külmruumide jahutamiseks.

Agregaadi koostisse kuuluvad järgmised aparaadid: kompressor 2ФВ-5, õhujahutusega kondensaator КВ-10, ventilaatoriga varustatud elektrimootor АЛ-32/4, surverelee РД-1 ja ressiiver РЛ-7.

Kõik aparaadid on kinnitatud aluse peale, välja arvatud ressiiver, mis kinnitatakse horisontaalasendis alusplaadi alla.

Külmutusseadmel on peale agregaadi ribitoruaurustuspatareid ИРСП-10 (2 patareid) koos termoreguleerventiiliga ТРВ-2, filter ФФ-6, kuivataja (dehüdraator) ОФ-6, magnetkäivitaja П-222.



Joon. 177. Freoonagregaat АК-2ФВ-5/3.
1 — kompressor, *2* — alus, *3* — elektrimootor, *4* — kondensaator.

Aparaatide lülituse printsipiaalne skeem on näidatud joonisel 176.

Gabariitmõõtmed: pikkus — 715 mm, laius — 535 mm, kõrgus — 540 mm.

Külmatootlikkus — 1600 kcal tunnis.

Elektrimootor — kolmefaasiline, võimsusega 1,7 kW, pingega 220/380 V.

Kondensaatori jahutuspind — 10 m².

Ressiivri maht — 7 l.

Agregaadi kaal täidetult — 165 kg.

Valmistaja — tehas «Iskra».

Kompressoragregaadid АК-2ФВ-5/3, АК-2ФВ-6/3, АК-2ФВ-8/4 on ette nähtud väikeste külmruumide jahutamiseks. Ruumide maksimaalne ühekordne mahutavus on 4—5 tonni. Temperatuur alates 0° kuni +3°-ni.

Aparaatide paigutuselt on need agregaadid kõik ühesugused ja erinevad üksteisest vaid nende koostisse kuuluvate aparaatide tüüpide poolest.

Kompressoragregaadil АК-2ФВ-5/3 (joon. 177) on aluse peale kinnitatud kompressor 2ФВ-6,5, elektrimootor А-42/4 ja pressostaat-manokontroller РД-1. Aluse alla on monteeritud vesijahutusega kondensaator 2Ф-КТГ. Kondensaatori alla on rööbiti sellega kinnitatud soojusvahetaja, mis on ühendatud kondensaatori ja kompressori imemisventiiliga.

Peale agregaadi enese kuuluvad külmutusseadme koostisse: aurustuspatareid Сч-15 (6 patareid) või ИРСП-9 (4 patareid), filter Ц-3, kuivataja (dehüdraator) ДЕ-3, magnetkäivitaja П-222, ressiiver РЛ-10 ja termoreguleerventiilid ТРВ-2 (2 ventiili).

Aurustuspatareid seatakse üles külmruumidesse. Magnetkäivitaja kinnitatakse agregaadi vahetusse lähedusse seinale.

Ressiiver, dehüdraator ja filter lülitatakse soojusvahetaja ja aurustuspatareide vahele järjestikku, paigutades nad agregaadi lähedusse seinale.

Kondensaatori peale on paigutatud vee reguleerventiil ВР-15.

Agregaadiga АК-2ФВ-6/3 külmutusseadme koostisse kuuluvad: kompressor 2ФВ-6,5, vesijahutusega kondensaator КТР-3, elektrimootor А-42/4, surverelee РД-1, soojusvahetaja, filterkuivataja ФО-8, magnetkäivitaja П-222, aurustuspatareid ИРСП-10 (4 patareid) ja termoreguleerventiilid ТРВ-2 (2 ventiili). Kondensaatori peale (millel puudub ressiiver) on üles seatud vee reguleerimise ventiil ВР-15.

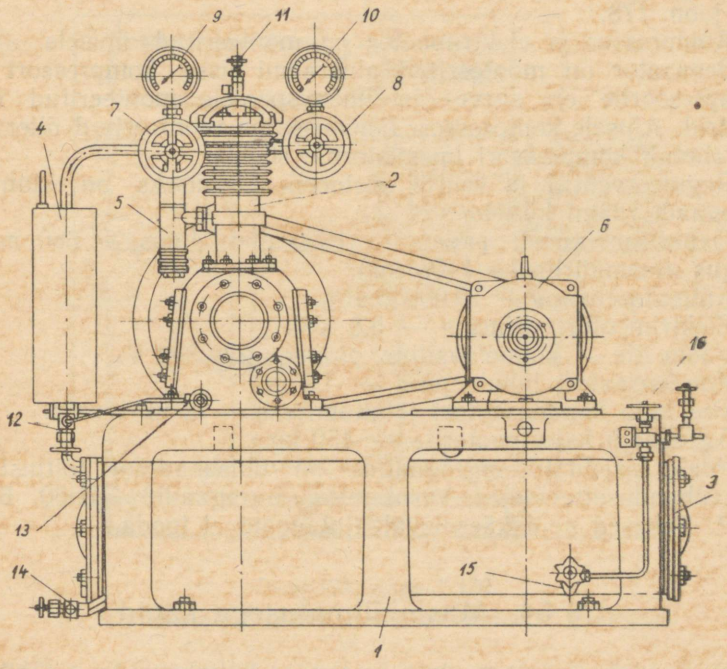
Agregaadil АК-2ФВ-8/4 on samad aparaadid, välja arvatud kondensaator (milleks on kondensaator КТР-4) ja aurustuspatareid (milleks on patareid ИРСП-12,5). Andmed agregaatide kohta on toodud tabelis 49.

Tabel 49

Agregaatide tehnilised andmed

Nimetus	АК-2ФВ-5/3	АК-2ФВ-6/3	АК-2ФВ-8/4
Gabariitmõõtmed mm: pikkus	960	1010	1080
laius	450	450	450
kõrgus	700	700	700
Külmatootlikkus kcal tunnis (sõltuvalt töötingimustest)	3000—4000	3000—5000	4000—6000
Elektrimootori võimsus kW	2,8	2,8	2,8
Voolu liik	Kolmefaasiline, pingega 220/380 volti	Kolmefaasiline, pingega 220/380 volti	Kolmefaasiline, pingega 220/380 volti
Kondensaatori jahutuspind m^2	2	3	4
Ressiivri maht l	10	—	—
Agregaadi kaal (täitmatult) kg	250	240	250
Valmistaja tehas	„Iskra"	„Krasnõi Fakel"	„Kompressor" Stalini-nim.

Ammoniaak-kompressoragregaate võimsusega 10 000 kcal/h kasutatakse ühiskondliku toitlustamise ja kaubandusettevõtetes 30—45 m²-se pindalaga külmruumide jahutamiseks temperatuurile —2° kuni +2°. Need külmruumid mahutavad 6 kuni 8 tonni mitmesuguseid toiduaineid.



Joon. 178. Ammoniaak-kompressoragregaat И-10.

1 — raam, *2* — kompressor, *3* — kondensaator, *4* — õlieraldaja, *5* — sõel, *6* — elektrimootor, *7* — imemisventiil, *8* — surveventiil, *9* — manovaakuummeeter, *10* — manomeeter, *11* — õhu väljalaskmise ventiil, *12* — õlieraldaja ventiil, *13* — ventiil õli läbilaskmiseks, *14* — ventiil õli väljalaskmiseks kondensaatori õlikogujast, *15* — kondensaatori ventiil, *16* — reguleerventiil.

Algul laskis sellise tootlikkusega agregaate välja Moskva tehas «Iskra» (tüüp И-10), hiljem hakkasid neid tootma ka Jaroslavi tehas (tüüp ЯК-10), Moskva tehas «Iskra» (tüüp МЗИ-46) ja Odessa Stalini-nim. Tehas (tüüp И-10).

Kõik need agregaadid erinevad üksteisest mõningate konstruktiivsete iseärasuste poolest.

Odessa tehase agregaadiga И-10 külmutusseade erineb näiteks selle poolest, et tal puudub aurustajapaak.

Siin pumbatakse soolalahus spetsiaalse pumbaga otse läbi aurustaja torude ja suunatakse külmruumidesse.

Külmutusseadmete ЯК-10 ja И-10 aurustajatesse voolab ammoniaak alt, külmutusseadmesse МЗИ-46 aga — läbi aurustaja.

Agregaat koosneb kahesilindrilisest vertikaalsest kompressorist, kesttorukondensaatorist ja elektrimootorist AD-42-4. Peale nende kuuluvad agregaati õlieraldaja, sõel, surve- ja imemismanomeetrid, reguleerventiil ja ventiil süsteemi täitmiseks ammoniaagiga.

Kõigi aparaatide ja seadmete konstruktiivset ühendamist näitab joon. 178.

Kompressor ja elektrimootor on monteeritud ühisele alusele, kondensaator on monteeritud alusraami sisse kompressori alla. Kompressorile on surve- ja imemispoolele monteeritud manomeetrid. Alusele kompressori lähedusse on monteeritud õlieraldaja ja vahetult kompressori imemistorule sõel.

Reguleerventiil ja ventiil süsteemi täitmiseks on kinnitatud agregaadi raami küljele.

Gabariitmõõtmed: pikkus — 1220 mm, laius — 680 mm ja kõrgus alusmüürita — 1105 mm.

Külmatootlikkus — 10 000 kcal/h.

Elektrimootori võimsus — 5,8 kW.

Voolu liik — kolmefaasiline, pingega 220/380 V.

Kondensaatori jahutuspind — 3,0 m^2.

Vee kulu kondensaatori jahutamiseks — 2 m^3/tunnis.

Agregaadi kaal mootorita — 450 kg.

Peale kirjeldatud agregaatide on ühiskondliku toitlustamise ja kaubandusettevõtetes kasutamisel agregaadid ВП-60, ВП-80, СА-7. Tehased neid käesoleval ajal enam ei tooda.

§ 54. Masinkülmutusega kapid

Nõukogude automaatmasinatega külmkappide põhilisteks mudeliteks on kapid T-170, T-120M.

Kodustes tingimustes kasutatakse kappe «ZIS-Moskva», «Saraatov» jt.

Suuremate toiduainehulkade säilitamiseks kasutatakse kokkumonteeritavaid külmkambreid.

Ühiskondliku toitlustamise ja kaubandusettevõtetes kasutatakse kokkumonteeritavaid külmkambreid 1-XKP, 2-XKP, PXK-4,5.

Külmkapp T-170 (joon. 179) on suuremaid kappe, mida kasutatakse kaubanduslikes ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes.

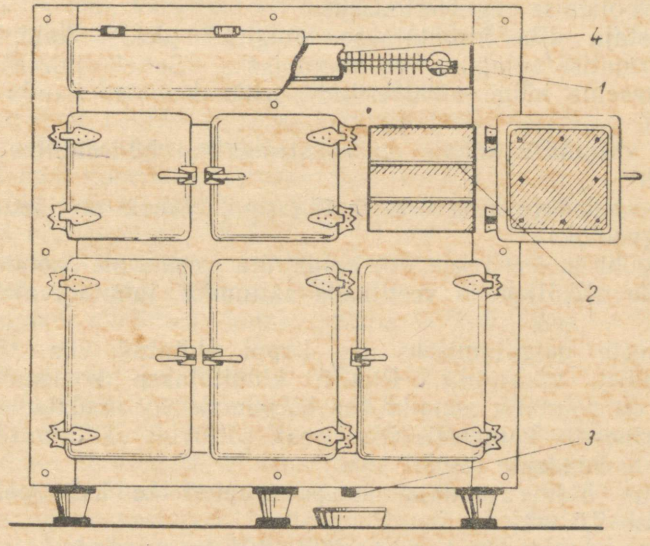
Mudeli nimetus näitab, et see kapp on kaubanduses kasutatav (täht T) ja et selle kasulik maht on 170 dekaliitrit (arv 170). See kapp on ette nähtud toiduainete lühiajaliseks säilitamiseks temperatuuril +2° kuni +6°.

Kapp T-170 koosneb raamistikust, mis on seest- ja väljastpoolt vastavalt vooderdatud.

Raamistik valmistatakse puuprussidest ja ühendatakse pikkade poltidega.

Prusside vahele surutakse tihedalt isolatsioonipakid. Need pakid valmistatakse raamikujulised, kaetakse seestpoolt õhukeste laudadega ja väljastpoolt vineeriga.

Pakkide sisemine õõs täidetakse volditud alumiiniumpaberist või šveliinist (sugetakud) isolatsioonmaterjaliga.



Joon. 179. Kapp T-170.

1 — aurustaja, *2* — riiulid, *3* — väljalasketoru, *4* — pannpõhi.

Kapi kogu sisepind on vooderdatud tsingitud raudplekiga, mille jätkukohad on kinni tinutatud. Kui jätkukohti ei tinutata, siis monteeritakse kapi sisemisi seinu, lage ja põrandat katvad plekktahvlid nii, et vesi, mis tekib kapi ukse avamisel sissevalgunud sooja õhu niiskuse kondenseerumisest külmadel sisepindadel, valguks alla, aga mitte vooderdusplekkide vahele.

Kapi välispind kaetakse samuti raudplekiga ja värvitakse üle valge emailvärviga.

Kapi eesseinas on seitse ust: kuus nendest, mis asetsevad kahelt realt üksteise peal, on kaupade sissepanemiseks ja väljavõtmiseks; nende peal olev kapi laiune ülemine madal uks on aurustaja monteerimiseks ja töötamise kontrollimiseks.

Uksed on sama konstruktsiooniga kui isolatsioonikilbidki, kuid valmistatakse massiivsemad ja tugevamad. Uksed kaetakse mõlemalt poolt raudplekiga.

Et uksed sulguksid tihedalt, on ümber nende äärte löödud õhuke õõnes kummitihend.

Nende uste sulgurid tagavad uste tiheda sulgemise ja kerge avamise.

Kogu garnituur (sulgurid, hinged jt.) on nikeldatud. Kapp seisab 150 mm kõrgustel metalljalgadel.

Kapp on jaotatud kahte ossa. Ülemise osa lae alla monteeritakse nurkraudadele aurustaja, mis koosneb horisontaalsetest ribitorudest, mille otsad on ühendatud kollektoritesse. Ühte kollektorisse seatakse ujuk-reguleerventiil vedela külmutusagendi aurustajasse voolamise reguleerimiseks.

Aurustaja alla kinnitatakse tsingitud plekist kaldpinnaline pann härmatise sulamise vee kogumiseks. Sellelt juhitakse vesi kapi tagaseina külge monteeritud vertikaalse toru kaudu kanalisatsiooni.

Toru väljumise kohale on konstrueeritud hüdrauliline sulgur (vesilukk).

Kapi kaldpõhja ning ees- ja tagaseina vahele on jäetud pilud õhu ringvooluks.

Kaldpõhi isoleeritakse, et hoida ära veeaurude kondenseerumist selle allküljele ja veetilkade sattumist jahutatavatele saadustele.

Saaduste paigutamiseks on kappi ehitatud viis tinutatud terastraadist võrkriiulit. Riiulid kinnitatakse konksude abil. Riiuleid on võimalik asetada kas kõrgemale või madalamale ning seada erinevale kaugusele üksteisest, sõltuvalt säilitamiseks paigutatavate saaduste liigist.

Riiulite üldine pindala, kaasa arvatud ka kapi põhjapind, moodustab 7,5 m².

Kapp mahutab ühe korraga 300—400 kg saadusi.

Kapi T-170 jahutamine toimub väävlishappeanhüdriitkülmutusmasinaga CA-7, mille tootlikkus on 700 kcal tunnis; külmutusmasina elektrimootori võimsus on 0,8 kW.

Külmutusmasin seatakse üles väljaspool jahutatavat objekti, kuid selle vahetusse lähedusse. Kapi kaal (külmutusmasinata) on 700 kg.

Kapp töötab automaatselt. Külmutusmasina pressostaadiga hoitakse kapis automaatselt ühtlane temperatuur.

Saadusi jahutatakse tsirkuleeriva õhuga. Aurustaja poolt allajahutatud õhk langeb piki tagaseina alla. Tõuseb seejärel piki eesseina üles ja tungib pilu kaudu aurustaja juurde tagasi. Seepärast on kõige madalam temperatuur kapi ülemises osas tagaseina lähedal. Temperatuur tõuseb allapoole ja seejärel eesseina mööda ülespoole. Saaduste paigutamisel tuleb neid temperatuuri erinevusi arvestada. Kapi teenindamine seisab peamiselt puhtuse hoidmises ja saaduste mahutamisnormist kinnipidamises.

Saadused tuleb paigutada kappi jahtunult. Soojade ainete paigutamine ei ole soovitav, sest see põhjustab liigset külmakulu ja masinate ülekoormamist.

Saadused tuleb asetada kappi selliselt, et nende väljavõtmisel oleks kapi uks avatud võimalikult lühemat aega. Kapi uksi tuleb avada võimalikult harvemini.

Kapi seinu tuleb perioodiliselt pesta ja kuivaks pühkida. Saaduste hoidmise riiuleid tuleb pesta kuuma veega.

Kapi nikeldatud osad ja ukse sulgurid tuleb puhastada spetsiaalse pulbri ja määrdega.

Neid kappe valmistas tehas «Himapparatura» ning külmutusmasinaid tehas «Krasnõi Fakel» (Moskva). Käesoleval ajal neid enam ei toodeta, kuid nad on kasutusel.

Kapi mõõtmed (mm): kõrgus — 2218, laius — 2125, sügavus — 818.

Kasuliku külmruumi maht (l) — 1700.

Külmruumi riiulite ja põhja pindala (m^2) — 7,5.

Saaduste üheaegne mahutavus (kg) — 300—400.

Kapi kaal külmutusmasinata (kg) — 700.

Jahutus toimub automaatselt tehases «Krasnõi Fakel» valmistatud agregaadiga CA-7.

Külmatootlikkus (kcal tunnis) — 700.

Vajalik võimsus (kW) — 0,8.

Agregaadi mõõtmed (mm): pikkus — 832, laius — 550, kõrgus 600.

Kondensaatori jahutuspind (m^2) — 2,35.

Aurustaja jahutuspind (m^2) — 6,8.

K ü l m k a p p T-120M. Kappi kasutatakse toidukaupade ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes kiiresti riknevate kaupade lühiajaliseks hoidmiseks madalal temperatuuril.

Kapp on arvestatud õhutemperatuuri hoidmiseks 0° kuni +5°, kui ümbritseva õhu maksimaalne temperatuur on +35°.

Mudeli nimetuses näitab täht «M», et kapil on masinjahutus. Üldine maht on 120 dekaliitrit (arv 120).

Kapil T-120M on nurkrauast sõrestik, mis on vooderdatud kahelt poolt lehtterasega. Sisemine vooderdus valmistatakse tsingitud terasest. Väljastpoolt on kapp värvitud valge nitroemailvärviga. Vahe kapi sise- ja välisseinte vahel täidetakse soojus- ja niiskuskindla isoleermaterjaliga. Isolatsiooniks on gofreeritud kartong pakkidena, mis on ümbritsetud alumiinium- või parafiinitud paberiga.

Kapi eesseinas on viis ust, neli nendest saaduste sissepanemiseks ja väljavõtmiseks, viies, ülemine, aga külmutusmasina aurustaja monteerimiseks ja töötamise kontrollimiseks.

Tihedaks sulgemiseks on kõigi uste äärtele kinnitatud elastsest kummist tihendid.

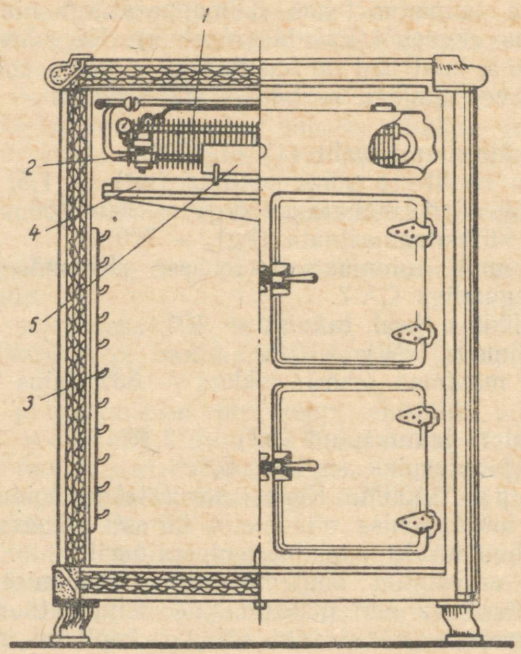
Saaduste kambrite uksed on varustatud isesulguvate sulguritega. Ülemine uks aga suletakse kruvidega.

Kapp seisab neljal 180 mm kõrgusel jalal. Seest on kapp jaotatud kahte teineteise peal asetsevasse ossa. Ülemises osas asetseb aurustaja, alumine osa on saaduste paigutamise ruumiks.

Kapi ülemises osas on metalltalad, millel asetseb aurustaja.

Aurustaja kujutab endast ribipatareid, mis koosneb kaheksast horisontaalsest ülestikku kahes reas asetsevast torust, millele on

asetatud erilise kujuga — väljalõigetega — lamedad ribid, et suurendada jahutuspinda ja kindlustada õhu paremat tsirkulatsiooni. Torude otsad on ühendatud kahte kollektorisse.



Joon. 180. Kapp T-120M.

1 — jahutuspatarei, *2* — termoreguleerventiil, *3* — riiulite konksud, *4* — kaldpõhi, *5* — õhutsirkulatsiooni kilp.

Ülemise kollektori külge on ühendatud auruülekuumendi, mis asetseb aurustaja kohal. Kapi sisse monteeritud termoreguleerventiili (tüüp T-PB-2) kaudu toimub külmutusagendi suunamine alumisse kollektorisse. Termoreguleerventiili tundel on vastu auruülekuumendit.

Aurustaja välispind on 8,1 m², kaal — 38 kg, mõõtmed koos auruülekuumendiga: pikkus — 1062 mm, laius — 470 mm ja kõrgus — 210 mm.

Agregaati ja aurustajat ühendavad torud läbivad kapi tagaseina kahest avast.

Aurustaja ruum on eraldatud saaduste hoidmise ruumist isoleeritud kaldpõhjaga.

Kaldpõhi asetseb vahetult aurustaja all ja selle ülesandeks on koguda ja eemaldada aurustaja härmatise sulamisel tilkadena tekkivat vett.

Sellega kaitstakse saadusi niiskuse sadestumise eest. Kald-

põhi on soojusisolatsiooniga, mis väldib selle allküljele, s. o. toiduainete poole pööratud pinnale veeaurude kondenseerumise.

Kaldpõhi on ühele poole kaldu, et vesi valguks ühte punkti, kuhu on ühendatud vertikaalne väljavoolutoru. Selle toru alumine ots on ühendatud kapi põrandale monteeritud hüdraulilise sulguriga (vesilukuga), mis isoleerib hermeetiliselt kapi siseruumi väliskeskkonnast. Läbi kapi põhjas oleva ava on viidud vesiluku juurde väljavoolutoru. Väljavoolutoru ots ühendatakse kanalisatsiooniga. Kui ühendamine kanalisatsiooniga on raske, siis asetatakse väljavoolutoru otsa alla anum.

Kapi aurustajaruumi, kaldpõhja ning ees- ja tagaseinte vahele on jäetud pilud õhu tsirkuleerimiseks. Õhu tsirkulatsioon tekib külma ja soojenenud õhu mahukaalude vahest.

Tsirkulatsiooni suurendamiseks on kapi kaldpõhja külge kinnitatud eesseina poolel kilp, mille tõttu soe õhk, mis satub kappi ukse avamisel, tõuseb üles ja ümbritseb kogu aurustaja.

Saaduste mahutamiseks on kapi alumisse ruumi paigutatud viis äravõetavat tsingitud terastraadist võrkriiulit.

Riiulid riputatakse kapi seintele kinnitatud liistude konksude külge ja neid võib ümber paigutada kõrgemale või madalamale, sõltuvalt sissepandavate saaduste liigist.

Kapi riiulite pind koos põhja pinnaga moodustab ligikaudu 7,5 m².

Kappi jahutatakse freoonagregaadiga ФАК-06 või ФАК-07, mis seatakse üles puust alusele kapi vahetusse lähedusse.

Samas kinnitatakse seinale ka grupikilp, millel on pressostaat-manokontroller РД-1 (surverelee), magnetkäivitaja П-222 ja nupplüliti КА-73А.

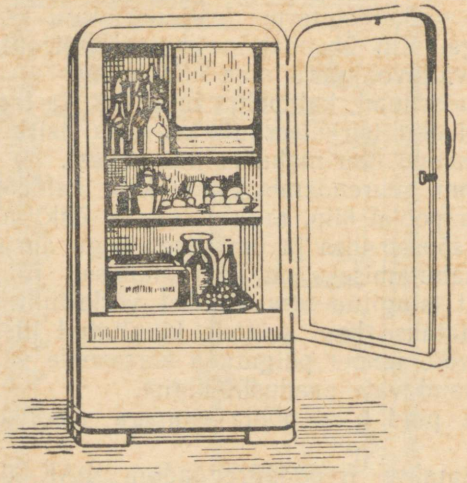
Mõõtmed (mm): pikkus — 1540, laius — 810, kõrgus — 2166.
Kapi üldine sisemine maht (l) — 1200.
Kasulik maht (l) — 1000.
Uste arv — 5.
Riiulite arv — 5.
Riiulite pinda (m²) — 7,5.
Saaduste maksimaalne üheaegne mahutavus (kg) — 175—200.
Kaal koos aurustajaga (kg) — 588.
Sellest aurustaja kaal (kg) — 38.

Elektri-külmkapp «ZIS-Moskva». Elektri-külmkappe «ZIS-Moskva» ДХ-2 (joon. 181) toodab Moskva Autotehas.

Külmkapp on ette nähtud koduses majapidamises kiiresti riknevate toiduainete hoidmiseks. Peale selle on võimalik selles saada veest kunstlikku jääd ja külmutada väikesi toiduainete koguseid. Külmkappi võib kasutada ka väikestes kohvikutes, sööklates ja einelaudades. See on konstrueeritud väikese täismetalse kapina. Kapi sisemus on jaotatud metallvaheseinaga kõrguti kaheks ebavõrdseks osaks. Alumine (väiksem) osa on masina paigutamiseks ja see suletakse eest kaanega, mis on ühtlasi kapi fassaadkülje alumiseks osaks.

Külmruumi eesseinaks on isoleeritud uks, mis on varustatud käepidemega. Tihedus kapi seina ja ukse vahel saavutatakse kummitihendi abil. Aurustaja monteerimiseks on jäetud tagaseina luuk, mis pärast aurustaja monteerimist suletakse.

Kapp on kaetud väljastpoolt valge emailvärviga, külmruumi seest valge klaasemailiga, ja ääristatud plastmassist pealistega.



Joon. 181. Elektri-külmkapp «ZIS-Moskva».

Ülemine (suurem) osa on külmruumiks. Külmruumil on kahekordsed seinad; nende vahe on täidetud veekindla kestaga ümbritsetud soojust isoleeriva materjaliga (miporiga).

Kapi ülemisse ossa on kinnitatud aurustaja. Sellest allapoole on paigutatud äravõetavad metallvõrgust riiulid toiduainete jaoks ja kaks kaanega suletavat nõu puuvilja ja liha hoidmiseks.

Puuviljade hoidmiseks määratud nõu asetseb madalamal, külmruumi soojemas osas, kuna aga kala ja liha nõu asetseb üleval aurustaja all, ruumi kõige külmemas osas.

Aurustajale asetatakse spetsiaalsed vannikesed kuubikukujuliste jäätükkide saamiseks.

Aurustaja ülemises osas asetseb temperatuuri regulaator — termostaat, mis võimaldab temperatuurirežiimi määrata ja reguleerida automaatselt.

Kapi jahutamine toimub külmutusagregaadiga. Agregaat koosneb kompressorist, elektrimootorist, kondensaatorist, aurustajast, ühendustorustikust ning käivitamis- ja reguleeraparatuurist.

Kompressoriks on ühesilindriline freoonikompressor. Silindripea külge on joodetud imemis- ja survetorud summutajatega. Silindri peasse on pressitud terasest klappide pesa, millele on pealtpoolt kinnitatud ümmargune surveklapp, altpoolt aga täisnurkne imemisklapp. Klapid on plaadikujulised. Kompressor on

silindrilise kestaga ja pingutatud nelja kruviga elektrimootori staatori külge.

Kest paigutatakse raami külge rippvedrudega, mis kindlustab külmutusagregaadi vaikse töötamise.

Kesta vasakul kaanel on stutser agregaadi täitmiseks freooni ja õliga.

Kondensaatori ees olev stutser on agregaadi läbipuhumiseks selle kuivatamisel. Stutseritel on sulgemisseadis, mis koosneb koonilisest keermetatud karastatud nõelast ja alumiiniumtihendrõngaga varustatud keermetatud korgist.

Kompressor imeb külmutusagendi kesta siseruumist ja surub selle kondensaatorisse.

Elektrimootor on ühefaasiline, 127 V pingega vahelduvvoolule. Vajalik võimsus on 150—200 W.

Elektrimootori rootor on pressitud vahetult kompressori väntvõlli otsale. Staator on pressitud kompressori kesta sisse.

Kompressor koos elektrimootoriga monteeritakse kapi alumisse ossa.

Kondensaator kujutab endast metallist kilpkestale kinnitatud siugtoru; kilpkest kinnitatakse külmkapi tagumise seina külge.

Kilpkesta alumises osas on raam, millele riputatakse kompressori kest. Kondensaatori jahutamine toimub õhuga. Pärast kondensaatorit läbib freoon filtri ja kapillaartoru, mis tekitab rõhu langust surve- ja imemispoole vahel.

Aurustaja koosneb kahest kokkukeevitatud roostevabaterase lehest, millesse on stantsitud sooned freooni läbimiseks. Sooned lõpevad koondkollektoris. Aurustaja kollektorist liigub aurukujuline freoon kompressori kesta siseruumi.

Kompressori sisse- ja väljalülitamine toimub automaatselt temperatuuriregulaatori abil, sõltuvalt temperatuuri muutumisest külmkapis. Regulaatori temperatuuri tundlik padrun on paigutatud tihedalt vastu aurustaja pinda.

Aurustaja temperatuuri muutumisel muutub surve sülfoonis ja põhjustab temperatuuriregulaatori kontaktide ühendamise või lahutamise.

Seejuures läheb vool käivitus- ja termorelee kaudu elektrimootori mähistesse.

Kapi temperatuurirežiimi reguleeritakse regulaatori käepideme pööramise teel, millega muudetakse sülfoonile mõjuva vedru pinget.

Temperatuuriregulaatori skaalal on 12 jaotust. Neljal jaotusel on pealkirjad: «sulamine», «normaalne», «külm», «välja lülitatud».

Käepideme osuti viimisel jaotusele «sulamine» võib kapis saada kõige kõrgemat temperatuuri, mis võimaldab aurustajalt härmatise kõrvaldada külmseadet välja lülitamata.

Toiduainete säilitamiseks on vaja kapis hoida temperatuur 0° kuni +5°; see temperatuur vastab jaotusele «normaalne».

Regulaatori viimisel jaotusele «külm» saadakse kapis kõige madalam temperatuur —1,5° kuni —2° piires.

Veel madalamaid temperatuure on võimalik saada vaid agregaadi pideval töötamisel ilma termostaadita.

Töötamisel režiimil «normaalne» ei ületa elektrienergia kulu 50 W tunnis.

Kapi mõõtmed (mm): kõrgus — 1325, laius — 640, sügavus — 670, põhja pindala (m^2) — 0,4.

Külmruumi mõõtmed (mm): kõrgus — 865, laius — 500, sügavus — 380.

Ruumi üldmaht (l) — 165.

Riiulite arv — 2.

Toiduainete ühekordne mahutavus (kg) — 40—50.

Elektrimootori võimsus (W) — 150—200.

Kapi kaal (kg) — 100.

§ 55. Kokkumonteeritavad külmkambrid

Kokkumonteeritavad külmkambrid on ühiskondliku toitlustamise ja kaubandusettevõtetes väga tarvilikud. Neid külmkambreid võib kasutada kiirestiriknevate toiduainete lühiajaliseks säilitamiseks kõigil juhtudel, kui ettevõttel ei ole otstarbekohane ehitada spetsiaalset külmruumi.

Eriti sobivad on need väikestele kaubandus- ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetele.

Selliste kambrite levinenud tüüpideks on külmkambrid PXK-4,5, XKP-1 ja XKP-2.

Kokkumonteeritav külgkamber PXK-4,5 (joon. 182) on ette nähtud kiirestiriknevate toiduainete lühiajaliseks säilitamiseks temperatuuril +2° kuni +6°.

Tähed PXK tähendavad seadme nimetust (vene keeles «Разборная холодильная камера»), arv 4,5 näitab aga kambri mahtu kantmeetrites.

Kamber monteeritakse kokku üksikutest kilpidest.

Iga kilp kujutab endast puuraami, mille mõlemad küljed on vooderdatud laudadega. Kahekordse vooderduse vahele on asetatud alumiiniumpaberist isolatsioon.

Kambri siseseinad on kaetud tsingitud plekist tahvlitega, mille liitekohad on kinni tinutatud. Välisseinad on värvitud heleda õlivärviga.

Kambri eesseina moodustavasse kilpi on ehitatud sissekäiguuks.

Kamber asetatakse kaubandus- või tootmisruumide vahetusse lähedusse ja monteeritakse kokku kohapeal.

Kilbid kinnitatakse üksteise külge puukruvidega. Kambri jahutamine toimub aurustajaga, mis riputatakse kambri lae alla.

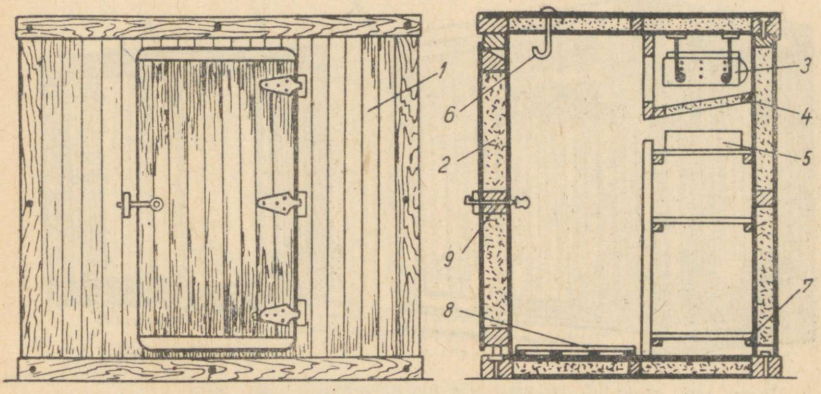
Aurustaja kujutab endast horisontaalset ribilist torustikku,

mille torude otsad on ühendatud kahte kollektorisse. Ühte kollektoreist on monteeritud ujuk-reguleerventiil külmutusagendi pealeandmise reguleerimiseks.

Aurustaja alla kinnitatakse metallist kaldpõhi härmatise sulamise vee ärajuhtimiseks. Kaldpõhjalt valgub vesi vesilukuga varustatud toru kaudu välja.

Veeaurude kondenseerimise vältimiseks kaetakse kaldpõhi alt soojusisolatsiooniga.

Toiduainete paigutamiseks monteeritakse pikuti kambri tagaseina kolm rida puust restriiuleid. Riiulite üldine paigutamispind on ligikaudu 3,3 m².



Joon. 182. Kokkumonteeritav kamber PXK-4,5 (üldvaade ja läbilõige).
1 — kamber, *2* — uks, *3* — aurustaja, *4* — kaldpõhi, *5* — kast härmatise sulamisest tekkinud vee kogunemiseks, *6* — konksud, *7* — võrkriiulid, *8* — restid, *9* — sulgur.

Peale selle on kambri külgseintele ehitatud liha ja teiste toiduainete ülesriputamiseks ümberasetatavate tinutatud konksudega nagid.

Kambrit jahutatakse automaatse väävlisgaasi külmutusagregaadiga CA-7, mis monteeritakse kambri kõrvale alusele.

Külmutusmasina pressostaadiga säilitatakse kambris pidevalt ühtlane temperatuur.

Külmkamber töötab automaatselt ja nõuab vähe hooldamist, mis seisab puhtuse hoidmises ja vastavalt temperatuuridele mahutusnormidest kinnipidamises. Kambris võib säilitada ainult ühte liiki toiduaineid või siis selliseid, mida on lubatud koos säilitada.

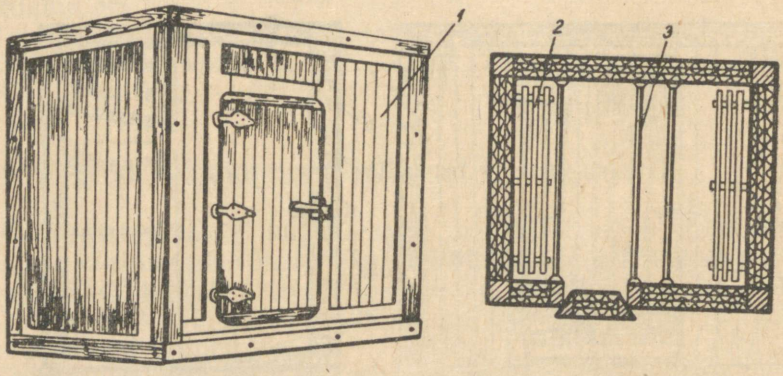
Seda külmkambrit valmistas Štšelkovski külmutusseadmete tehas.

Külmkambri mõõtmed (mm): pikkus — 2230, laius — 1530, kõrgus 2060.

Sisemised mõõtmed (mm): pikkus — 2000, laius — 1300, kõrgus 1850.

Kambri pind (m^2) — 2,6.
Kambri kasulik maht (m^3) — 4,5.
Riiulite arv — 3.
Riiulite laius (mm) — 550.
Riiulite pind (m^2) — 3,3.
Korraga mahutatavate toiduainete hulk (kg) — ligikaudu 450—500.

Kokkumonteeritav külmkamber XKP-1 (joon. 183) valmistatakse tehaste poolt standardsete kilpide näol (seinad, põrand, lagi).



Joon. 183. Kokkumonteeritav kamber XKP-1 (üldvaade ja plaan).
1 — kamber, *2* — restriiulid, *3* — nagid.

Kilpidel on puust raamistik, mis on vooderdatud kahelt küljelt laudadega. Vooderdise vahe on täidetud gofreeritud kartongist soojusisolatsiooniga. Kaitseks niiskuse vastu isoleeritakse soojusisolatsioon niiskuskindla paberiga. Kamber monteeritakse neist kilpidest kokku ülesseadmise kohal.

Kilbid kinnitatakse üksteise külge 12 mm läbimõõduga ja 170 mm pikkuste poltidega.

Eeskilbi vasemas osas asetseb uks. Kambri sisse lae alla on kinnitatud siug-ribitorudega aurustaja, mille jahutuspind on 10 m^2.

Aurustaja kohale on monteeritud auruülekuumendi, mille vastu on asetatud termoreguleerventiili tundlik padrun.

Aurustaja alla on kinnitatud metallist kaldpõhi aurustaja härmatise sulamise vee kogunemiseks. Aurustaja lähedusse asetatakse õhutsirkulatsiooni kilp.

Kambrit jahutatakse automaatse freoonagregaadiga ФРУ-08, mille külmatootlikkus on 800 kcal tunnis, või ФАК-07, külmatootlikkusega 700 kcal tunnis.

Agregaat monteeritakse alusele kambri kõrval; kaitseks vigastamiste eest kaetakse ta võrkkupliga.

Kambris säilitatakse automaatselt ühtlane temperatuur 0° kuni +4° piires (kui välistemperatuur ei tõuse üle +35°).

Kambri mõõtmed (mm): pikkus — 2248, laius — 2000, kõrgus — 2394.

Sisemised mõõtmed (mm): pikkus — 2000, laius — 1752, kõrgus — 2071.

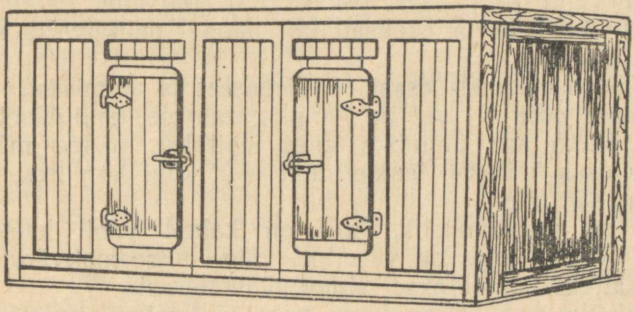
Kambri põrandapind (m^2) — 3,5.

Kambri maht (m^3) — 7,25.

Riiulite arv — 2.

Riiulite laius (mm) — 410.

Toiduainete ühekordne mahutavus (kg) — 500—600.



Joon. 184. Kokkumonteeritav kamber XKP-2.

Kokkumonteeritav külmkamber XKP-2 on konstruktiivselt samasugune kui kamber XKP-1.

Kamber XKP-2 (joon. 184) monteeritakse kokku kolmeteistkümnest standardsest valmiskilbist. Kamber on seest jaotatud vaheseinaga kaheks ühesuuruseks osaks ja eesseina kummassegi kilpi on ehitatud uks.

Kambri mõlemasse ossa lae alla on kinnitatud ribitoru-aurustuspatarei tüüp ИРСП-10, jahutuspinnaga 10 m^2.

Kambrit jahutatakse kompressoragregaadiga АК-2ФВ 3/1,5, mille külmatootlikkus on 1600 kcal tunnis. Täielikult komplekteeritud agregaate müüakse tehaste poolt koos kambriga.

Kambris säilitatakse temperatuur 0° kuni +4° piires automaatselt.

Agregaat seatakse üles kambri kõrvale põrandale ja ühendatakse torustiku abil kambri aurustajatega.

Mõõtmed (mm): pikkus — 5248, laius — 2000, kõrgus 2394.

Sisemised mõõtmed (mm): pikkus — 5000, laius — 1752, kõrgus 2071.

Kambri põrandapind (m^2) — 8,7.

Kambri sisemine maht (m^3) — 18,4.

Riiulite arv — 8.

Laius (mm) — 410.
Riiulite pinda (m^2) — 5,4.
Toiduainete ühekordne mahutavus (kg) — 1500—1600.

§ 56. Letid ja letivitriinid

Lette ja vitriine kasutatakse peamiselt toidukaupade magasinide müügisaalides. Need on ette nähtud müügil olevate toiduainete lühiajaliseks säilitamiseks ning on ühtlasi ka vitriinideks, kus demonstreeritakse tarbijaile müügil olevate toiduainete sortimenti.

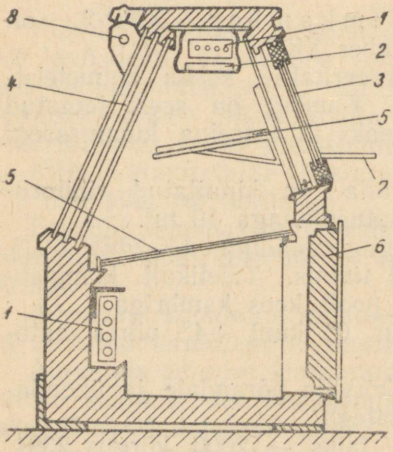
Külmlett-vitriin (joon. 185) on ette nähtud väljapandud toiduainete ja osaliselt ka nende müügivaru säilitamiseks.

See koosneb kahest osast — ülemisest ja alumisest.

Ülemisse ossa — vitriini — paigutatakse toiduainete väljapanekud, kuna aga alumises osas hoitakse nende müügivaru. Ülemises osas hoitakse temperatuur +2° kuni 8° piires, alumises osas aga —2° piires.

Letil on puuraamistik, mis on kahelt poolt kaetud lehtterasega. Väline kate on värvitud valge nitroemailvärviga, sisemiseks katteks kasutatakse tsingitud lehtterast.

Raamistiku kahepoolse katte vahe täidetakse soojusisolatsiooniga, milleks on pakikujuline gofreeritud kartong. Kaitseks niiskuse eest on pakid mähitud niiskuskindlasse paberisse.



Joon. 185. Külmlett-vitriin.
1 — aurustaja, *2* — kaldpõhi, *3* — vitriini klaasuks, *4* — vitriini klaasitud sein, *5* — riiulid, *6* — leti uks, *7* — klappriiulid, *8* — lambid vitriini sisemuse valgustamiseks.

Leti alumisel osal on üleni metallist seinad. Selle tagaseina on ehitatud kolm ust. Uksed on samuti puust raamistikuga, kaetud mõlemalt küljelt lehtterasega ja gofreeritud kartongpakikestest isolatsiooniga.

Esikülje ülemine osa on kolmekordse klaasiga, millede vahel 20—30 mm õhuvahe. Müüja poolele on ehitatud neli lükatavat kahekordse klaasiga ust toiduainete sissepanemiseks ja väljavõtmiseks. Uste raamid on metallist või plastmassist.

Ühenduskohad tihendatakse kummitihenditega. Uste avamiseks on raami keskmisele prussile tehtud pikuti juhtsooned. Vitriini mitmekihilise klaasimisega saavutatakse õhukihtide abil vajalik isoleerimine.

Vitriini valgustamiseks monteeritakse leti esiküljele metallist vari, mille all on elektrilambid. Müüja poolel on klappriiul, millel pakitakse toiduaineid.

Toiduained paigutatakse leti sisse terastraadist võrkriiulitele. Ülemine riiul on kitsas, alumine aga jaotab leti kaheks osaks — ülemiseks ja alumiseks.

Toiduained asetatakse riiulitele valgetel emailitud vaagnatel, millede mõõtmed vastavad riiulite mõõtmetele. Seega kaetakse vaagnate asetamisel alumisele riiulile täielikult leti alumine osa.

Leti jahutamine toimub ribitoruaurustajatega.

Vitriini jahutatakse aurustajaga, mis asetseb leti lae all. Leti alumise osa jahutamiseks asetatakse aurustaja vastu eesseina klaasimata osa. Mõlema aurustaja all on metallist kaldpõhi härmatise sulamise vee eemaldamiseks. Kaldpõhjadelt juhitakse vesi ära väljavoolutorustiku kaudu.

Jahutamiseks on automaatne freoonagregaat ФАК-07. Agregaat paigaldatakse leti kõrvale. Kompressoragregaadi vedeliku- ja imemistoru viiakse leti sisemusse kahe ava kaudu leti külgseinas. Aurustajad on ühendatud järjestikku.

Vedel freoon juhitakse algul ülemisse aurustajasse ja seejärel alumisse. Temperatuur hoitakse leti sisemuses ühtlane automaatselt. Freooni pealeandmist reguleeritakse termoreguleerventiiliga, mille tundlik padrun on asetatud tihedalt alumise aurustaja tagasivooluliini vastu.

Gabariitmõõtmed (mm): pikkus — 2450, alumise osa laius — 840, ülemise osa laius — 400, kõrgus — 1240.

Vitriini klaaside mõõtmed (mm) — 2150×550.

Riiulite arv — 2.

Toiduainete ühekordne mahutavus (kg) — 100.

Ülemiste uste arv — 4.

Alumiste uste arv — 3.

Ribiaurustajate jahutuspind (m^2) — 10,5.

Jahutatavat letivitriini (joon. 186) kasutatakse väljapandud kaupade ja mõninga müügivaru säilitamiseks +2° kuni +8° temperatuuri juures.

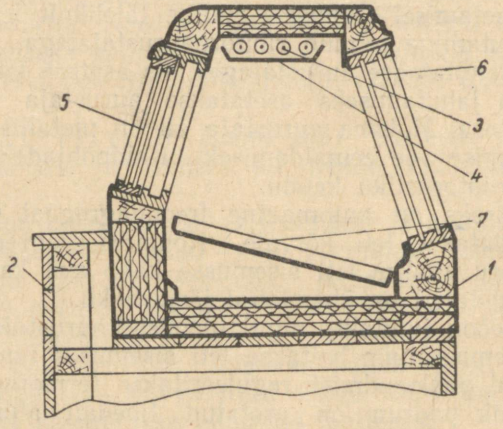
Vitriin paigaldatakse tavalisele mittejahutatavale letile. Letisse tehakse, kui leti kõrgus on 900 mm, 250—260 mm sügavune süvend. Vitriini raamistik valmistatakse puuprussidest, mis kaetakse mõlemalt poolelt lehtterasega. Sisemine kate on tsingitud terasest, välimine kate värvitakse üle valge nitroemailvärviga. Raamistiku kahe katte vahe on täidetud soojust isoleerivast gofreeritud kartongist pakikestega (mis on mähitud niiskuskindlasse paberisse).

Eesseina on klaasitud kahekordselt, 25—30 mm õhuvahega klaaside vahel ja kummitihenditega. Toiduainete sissepanemine ja väljavõtmine toimub kõrvalelükatavate uste kaudu, mis asetsevad vitriini tagaseinas. Uste avanemiseks on pikuti juhtsooned. Külma säilitamiseks tehakse uste alla 17,5 cm kõrgune lävi.

Ees- ja tagasein on ehitatud kallakuga keskkoha poole. Vitriini

jahutamine toimub aurustajaga. Aurustaja on valmistatud patareidena kuuest paralleelsest torust ümmarguste ribidega; torud on ühendatud järjestikku. Aurustaja kinnitatakse vitriini lae alla. Selle alla on riputatud kaldpõhi sulamisvee kogumiseks. Sulamisvee ärajuhtimiseks on monteeritud äravoolutoru.

Toiduained paigutatakse emaileeritud vaagnatele, mis asetatakse vitriini sisse kaldasendis.



Joon. 186. Jahutatav letivitriin.
1 — vitriin, *2* — lett, *3* — aurustaja, *4* — kaldpõhi, *5* — lükatavad klaasuksed, *6* — vitriini klaasitud osa, *7* — vaagnad toiduainete paigutamiseks.

Temperatuuri vitriinis säilitatakse automaatselt. Jahutamisallikaks on automaatne freoonagregaat ФАК-07, mille külmatootlikkus on 700 kcal tunnis. Agregaat on arvestatud kahe vitriini üheaegseks jahutamiseks, seepärast asetatakse vitriinid tavaliselt paarikaupa.

Agregaat paigaldatakse mittejahutatava leti sisse. Agregaadi vedeliku- ja imemistorud tuuakse vitriini sisse selle põhjas oleva kahe ava kaudu.

Et kindlustada kondensaatori jahutamiseks vajalik õhutsirkulatsioon, on leti sellele osale tehtud võrkuks.

Vitriini mõõtmed (mm): pikkus — 2000, põhja laius — 650, laius pealt — 324, kõrgus — 600.

Vitriini klaasi mõõtmed (mm) — 1746×360.

Eestlükatavate uste mõõtmed (mm) — 640×307.

Uste arv — 3.

Toiduainete ühekordne mahutavus (kg) — 25—30.

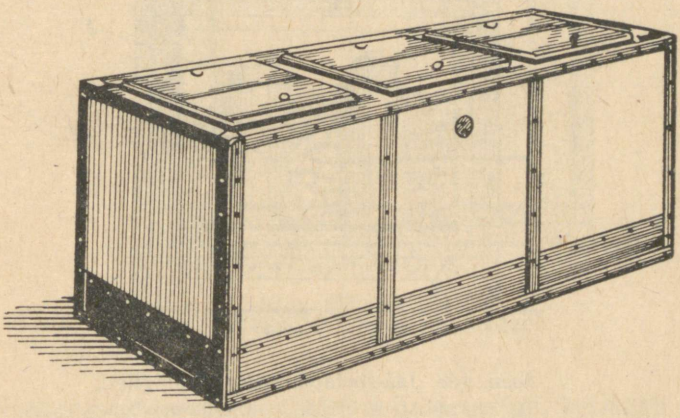
Aurustajate jahutuspind — 4,8 m².

§ 57. Seadmed jäätise müümiseks

Toiduainete kauplustes, ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes ja jäätisemüügi spetsiaalsetes paviljonides kasutatakse jäätise müümiseks nn. madala temperatuuriga lette. Nende lettide jahutamine toimub suuremalt jaolt külmutusmasinatega, üksikutel juhtudel aga jää ja soola seguga. Kuid jäätist müüakse ka rahvarohketel jalutuskohtadel ja tänavatel, kus seda organiseeritakse kande- ja veokaubandusena.

Nendel juhtudel kasutatakse jäätise müümiseks mitmesugust tüüpi isotermilisi kandekaste ja kärusid. Nende jahutamine toimub jää ja soola seguga, kuivjääga või eutektilise jääga.

Allpool on toodud nende seadmete kirjeldused.



Joon. 187. Madala temperatuuriga müügilett.

Madala temperatuuriga müügilett (joon. 187) on konstrueeritud NSV Liidu Kaubandusministeeriumi Glavtorgmaši poolt. See lett on ette nähtud jäätise hoidmiseks temperatuuril −12°.

Leti raamistik on puuprussidest ja on kaetud seestpoolt tsingitud lehtterasega, väljastpoolt aga lehtterasega ja üle värvitud valge nitroemailvärviga. Katete vahe täidetakse 120 mm paksuse gofreeritud kartongi pakikestest soojusisolatsiooniga. Seest on lett jaotatud kolme ossa ning suletakse pealt kuue ülestõstetava isoleeritud kaanega.

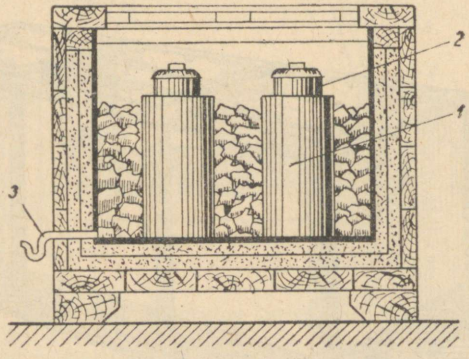
Kolme jaotusega leti pikkus on 2 m, selle mahutavus — 100 kg. Jahutusseadmeteks on ribilised siugtoruaurustajad, mis on paigaldatud leti sisse.

Iga sektsioon on varustatud ribakardinaga, mis kaitseb mehaaniliste vigastuste eest. Otsseina on paigaldatud termoreguleerventiil TPB-2, mis on samuti kaitstud kilbiga.

Madala temperatuuriga leti jahutamise allikaks on automaatne

freoonagregaat ФАК-06, külmatootlikkusega 600 kcal tunnis, või ФАК-07, mille külmatootlikkus on 700 kcal tunnis.

Jää-soolajahutusega müügiletil (joon. 188) on puust raamistik, mis on mõlemalt poolt kaetud vineeri või punnitud laudadega. Nende vahele on asetatud 60 mm paksustest turba- või pabermassitahvlitest soojusisolatsioon; pabermassist isolatsiooni paksus on 46 mm ning see on kahelt poolt kaetud alumiiniumpaberiga. Leti sisse on monteeritud tsingitud lehtterasest kokkukeevitatud paak. Paagi põhja külge on keevitatud silindrilised pesad jäätisehülsside paigutamiseks. Põhjaga ühekõrgusele on monteeritud vesilukuga varustatud väljavoolutoru soolalahuse väljalaskmiseks kanalisatsiooni. Toru ots on kaetud metallvõrguga.



Joon. 188. Jää-soolajahutusega müügilett.
1 — pesad, *2* — hülsid, *3* — väljavoolutoru.

Lett on pealt kaetud isoleeritud kaanega, millesse on tehtud iga hülsipesa kohta avad. Avadel on äratõstetavad isoleeritud luugid. Ruudukujulised luugid on äärestatud kummitihendiga, mis vähendab külmakadu. Hülsid jäätisega asetatakse leti pesadesse, pesade vahed aga täidetakse purustatud jää ja soola seguga. Nii ei puutu hülsid vahetult kokku jää ja soola seguga. Sellega kõrvaldatakse müügileti jää ja soolaga täitmisel hülsside läbitorkamise, samuti muul teel hülsside vigastamise oht.

Nõutav temperatuur saavutatakse jää ja soola segule soola vastava lisandamisega.

Leti mõõtmed (mm): pikkus — 1970, laius — 920, kõrgus — 900.

Sisemised mõõtmed (mm): pikkus — 1800, laius — 750, kõrgus — 600.

Sisemine maht (m^3) — 0,8.

Hülsside arv — 10.

Hülsside läbimõõt (mm) — 220.

Hülsside kõrgus (mm) — 450.

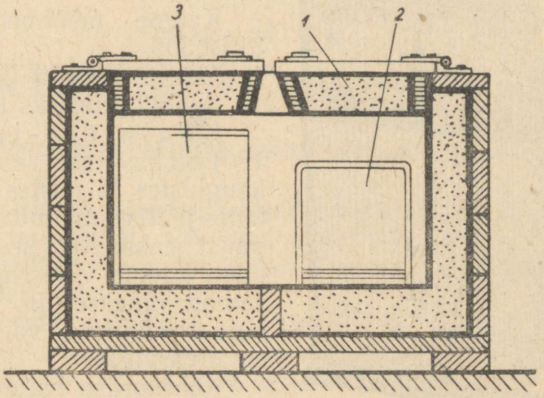
Jäätäidist — 220—250 kg.

Soolatäidist — 50—60 kg.

Täidise segust jätkub 3—4 päevaseks töötamiseks.

ВНИХИ (Üleliidulise Külmutustööstuse Teadusliku Uurimise Instituudi) poolt konstrueeritud külmkaste kasutatakse jäätise säilitamiseks väikestes einelaudades.

See kast kujutab endast kahekordsete seintega isoleeritud konteinerit. Välimised seinad on valmistatud 15 mm laudadest poolpunnliitel.



Joon. 189. Külmkast.
1 — kaas, *2* — riiul, *3* — paak.

Nurkades ühendatakse lauad nelja prussiga, keskosas aga kahe serviti asetatud laua külge. Selliselt moodustatud puust kestasse asetatakse tsingitud plekist kast, mille põhja on pressitud soon. Kasti väljapööratud ääred lüüakse raami ülemise ääre külge kinni, kasti põhi toetub aga põiklauale, mis ühendab kasti seinu pikuti. Puust kesta ja sisemise plekk-kasti vahe täidetakse 90 mm paksuse turbatahvlitest soojusisolatsiooniga. Enne isolatsiooni kohaleasetamist võõbatakse see üle bituumeniga ja mähitakse niiskuskindlasse paberisse. Külmkastil on kaks isoleeritud kummitihenditega kaant. Kaantel on käepidemed. Kasti seinte küljes on samuti käepidemed, mis võimaldavad kasti viia ühest kohast teise.

Külmkasti jahutamine toimub jää ja soola seguga, millega täidetakse ligikaudu 20 l tsingitud plekist paak. See paak asetatakse külmkasti vasakusse ossa. Paagil on täisnurkne sang, mis kergendab paagi väljavõtmist ja kohaleasetamist. Paagi ja kasti sisemise seina vahele on jäetud 20 mm laiune vahe õhu tsirkuleerimiseks.

Külmkasti parempoolses osas on riiul, millele asetatakse toiduained. Seda riiulit võib kohale panna ja välja võtta koos toiduainetega.

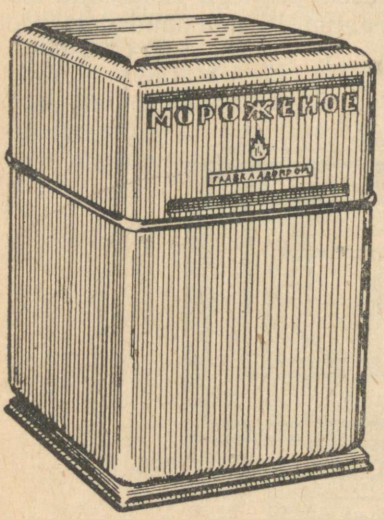
Kasti mõõtmed (mm): pikkus — 800, laius — 500, kõrgus — 550.

Sisemised mõõtmed (mm): pikkus — 590, laius — 300, kõrgus — 400.

Kasti kasulik maht (l) — 70.

Jääpaagi maht (l) — 20.

Paagi mõõtmed (mm) — 300×250×250.



Joon. 190. Konteiner-tumba.

Toiduainete jaotise maht (l) — 36.

Resti mõõtmed (mm) — 260×300×250.

Kaante mõõtmed (mm) — 315×305.

Jääd täitmiseks (kg) — 10—12.

Soola täitmiseks (kg) — 2—2,5.

Konteiner-tumba (joon. 190) on kasutusel raudteejaamades, kauplustes ja teistes avalikes kohtades jäätise müümiseks. Tumbal on puust raamistik: see on mõlemalt poolt kaetud vineeriga. Sisemised seinad lüüakse üle tsingitud plekiga, välimised värvitakse valge emailvärviga.

Kahekordse katte vahele asetatakse soojusisolatsioon. Konteiner suletakse pealt isoleeritud ülestõstetava kaanega. Jahutatakse kuiva jää abil.

Tumba mõõtmed (mm): kõrgus — 1050, laius — 600, pikkus — 600.

Sisemised mõõtmed (mm): kõrgus — 850, pikkus — 450, laius — 450.

Isotermilist kandekasti kasutatakse jäätise müümiseks kandekaubanduses. Kandekastil on puust raamistik, kaetud mõlemalt küljelt vineeriga. Välimise ja sisemise seina vahele on jäetud õhuvahe, mis täidab isolatsiooni ülesannet.

Kandekasti pealmises kaanes on ava, mis omakorda on suletav isoleeritud kaanega. Jäätis säilib selles akumuleerunud külma arvel 1,5—2 tundi. Jahutamiseks kasutatakse kuiva jääd. Sellise konstruktsiooniga kandekaste võib valmistada ka lehtterasest. Kandekastid värvitakse väljastpoolt heleda õli- või emailvärviga. Kandekasti mõõtmed on 280×350×480 mm. Maht — 10 kg.

XII peatükk

KÜLMUTUSMASINATE AUTOMATISEERIMINE

§ 58. Külmutusmasinate automatiseerimise tähtsus

Külmutusmasinate automatiseerimise vajadus on tingitud püüdest tõsta nende masinate töö ökonoomsust ja vältida nende avariisid. Külmutusmasinate automaatset juhtimist kindlustavad spetsiaalsed seadised.

Automatiseerimisseadistega reguleeritakse vedela külmutusagendi ja soojuskandja voolamist, käivitatakse ja seisatakse kompressorit ja hoitakse jahutatavate objektide temperatuur nõutaval kõrgusel.

Seadised reageerivad nõutavast temperatuurirežiimist kõrvalekaldumistele kiiremini ja täpsemalt kui kõige vilunum masinist ning kindlustavad ühtlase temperatuuri. Need seadised väldivad võimaluse ekspluateerida külmutusseadet ebaratsionaalsel režiimil. Automatiseerimisseadised kaitsevad täielikult masinaid ka avariide eest.

Sellega jääb ära vajadus teenindaval personalil pidevalt masinate juures viibida, mis tagab ekspluatatsioonikulude vähendamise.

Teenindava personali ülesandeks jääb külmutusmasina perioodiline järelevaatus, seadiste kontrollimine ja seadistamine temperatuurirežiimi muutmisel ning väiksemate rikete kõrvaldamine.

On seadiseid, mis teostavad ainult kontrolli. Selliste seadistega varustatud masinaid nimetatakse poolautomaatideks.

Käesoleval ajal on täielikult automatiseeritud nende väikeste freoonkülmutusmasinate töötamine, kus külmutusagendiks on freoon-12. Vanadest väikemasinate tüüpidest on automatiseeritud väävlisgaasagregaadi CA-7 töötamine. ВНИХИ (Üleliidulise Külmutustööstuse Teadusliku Uurimise Instituudi) poolt on koostöös tehasega «Vessopribor» välja töötatud automatiseerimise skeem soolalahuse jahutusega ammoniaakkülmutusseadmele, mille tootlikkus on 30 000 kcal tunnis. НИИТОП (Kaubanduse ja Ühiskondliku Toitlustamise Teadusliku Uurimise Instituut) poolt on esitatud automatiseerimise skeem ammoniaakkülmutusseadmetele, mille külmatootlikkus on 10 000 kcal tunnis.

Käesoleval ajal toodab ammoniaakmasinate automatiseerimisseadeldisi tehas «Termoautomaat» Tartus.

Suurte külmutusseadmete juures kasutatakse ainult neid automatiseerimisseadeldisi, mis tagavad külmutusseadme poolautomaatse töötamise. Külmutusseadme automaatsel juhtimisel toimub külmutusprotsessi kontrollimine ja juhtimine spetsiaalsete automatiseerimisseadistega, milledest igaüks täidab täpselt määratud funktsioone.

Külmutusmasina õigeks töötamiseks ettenähtud režiimil tuleb hoida külmutusagendi auramistemperatuur, samuti ka külmutusagendi tase aurustajas kindlaksmääratud kõrgusel. Nõutud temperatuuri saavutamisel tuleb kompressor perioodiliselt välja lülitada, temperatuuri tõusmisel see aga uuesti sisse lülitada. Reguleerida tuleb kondensaatori jahutusvee läbivoolu ning vältida liialt kõrget kondenseerimisrõhku.

Edasi on nõutav vajaliku temperatuuri hoidmine külmruumides, milleks reguleeritakse vedela külmutusagendi või soolalahuse läbivoolu jahutuspatareidest.

Kõiki neid funktsioone täidavad spetsiaalsed seadised, nagu: ujuk-reguleerventiilid, pressostaadid, termostaadid, manokontrollerid, termoreguleerventiilid, vee reguleerimise ventiilid, solenoid-soolalahuse ventiilid, tagasilöögiklapid jt.

§ 59. Automatiseerimisseadmed

Madalrõhu ujuk-reguleerventiil ПРВ-НД («поплавковый регулирующий вентиль низкого давления») on ette nähtud külmutusagendi hulga reguleerimiseks, mis voolab ventiili poolt teenindatavasse seadmesse. Ujuk-reguleerventiili kasutamine hoiab ära aurustussüsteemi ülemäärase täitmise vedela külmutusagendiga, tõstab selle soojusülekande efektiivsust ja väldib vedela külmutusagendi sattumise kompressorisse. Ujuk-reguleerventiil hoiab seadmes, mille külge ta on monteeritud, automaatselt vedeliku taseme teatud kõrgusel. Ujuk-reguleerventiil lihtsustab seadmete teenindamist.

Ujuk-reguleerventiili võib kasutada ammoniaakkülmutusmasinate madalsurve aparaatide, nagu sukeldatud aurustajate, vaheanumate jt. teenindamiseks.

Külmutusagendi aurustajasse andmise mooduse järgi jaotatakse ujuk-reguleerventiilid läbivoolu- ja mitteläbivooluventiilideks.

Läbivoolu ujuk-reguleerventiilid erinevad selle poolest, et kogu aurustajasüsteemi minev vedel külmutusagent läbib algul filtri ning satub seejärel läbi drosseldamisava otse ujukiruumi, kust valgubki aurustajasüsteemi.

Mitteläbivoolu ujuk-reguleerventiili puhul on drosseldamisorgan viidud väljapoole ujukiruumi. Drosseldatud külmutusagent satub ujukiruumist mööodudes eritorustiku kaudu vahetult aurustussüsteemi. Vedeliku voolamist tasakaalustustorus ei esine.

Ujuk-reguleerventiili ПРВ tootlikkust määratakse drosseldamisava ristlõike pinna järgi mm²:

ПРВ-2	10 000 kcal tunnis	ПРВ-10	50 000 kcal tunnis
ПРВ-5	30 000 „ „	ПРВ-20	100 000 „ „

Aurustajate teenindamiseks, mille külmatootlikkus on 10 000 kuni 30 000 kcal/tunnis, kasutatakse ujuk-reguleerventiil ПРВ-5. See aparaat on mitteläbivoolutüüpi madalsurve ujuk-reguleerventiil.

Ujuk-reguleerventiil ПРВ-5 (joon. 191) koosneb valatud malmkerest *1* äärikuga kaane *2* kinnitamiseks. Kaanel on kaks äärikut vedeliku juurde- ja äravooluliinide ventiilide ühendamiseks.

Kere on varustatud kahe äärikuga: ülemine — auru- ja alumine — vedeliku tasakaalutoruga ühendamiseks. Kaane sisse on monteeritud düüs *3*; samuti on selles kaks horisontaalkanalit: ülemine nendest on kõrgrõhuga vedeliku juhtimiseks drosseldamisava juurde ning alumine drosseldatud vedeliku ärajuhtimiseks. Alumine kanal on vertikaalkanali kaudu ühenduses drosseldamisavaga; vertikaalkanal suletakse alt korgiga *4*. Düüs on kinnitatud varda juhtpuksi *6* külge, mis on kruvitud kaande. Juhtpuksis käib varras *7*, mille üks ots on treitud kooniliseks ja on drosseldamisava sulgklapiks. Varda teises otsas on väljalõige, millesse käib hoova *8* pea. Hoova külge on keevitatud kang *9*. Selle ühele otsale on neediga kinnitatud ujuk *10*, teisele otsale aga kruvi *11* abil vastukaal *12*. Juhtpuksi otsa tõmmatakse kapsel *13* ja see kinnitatakse kruviga *14*. Kapsli külge on kinnitatud telg *15*, millele on paigutatud hoob *8*. Kaane ja kere ühenduskoht on tihendatud tihendiga *16*. Düüsi ja sissevooluava ühenduskohale on asetatud tihend *5*.

Ujuk-reguleerventiilil ПРВ-5 on filter. Filtril on kolme äärikuga malmist kere *1*. Kahe külgmise ääriku abil ühendatakse filtrist läbivoolava ammoniaagi torud. Kolmanda kaudu asetatakse filtrisse sõel *3*, mis on kinnitatud kaane *2*, vedru *4* ja tugiseibi *5* abil. Kaas kinnitatakse filtri kere külge tikkpoltidega *6*. Kaane ja kere ühenduskoht tihendatakse tihendiga *7*.

Ujuk-reguleerventiil ПРВ töötab järgmiselt.

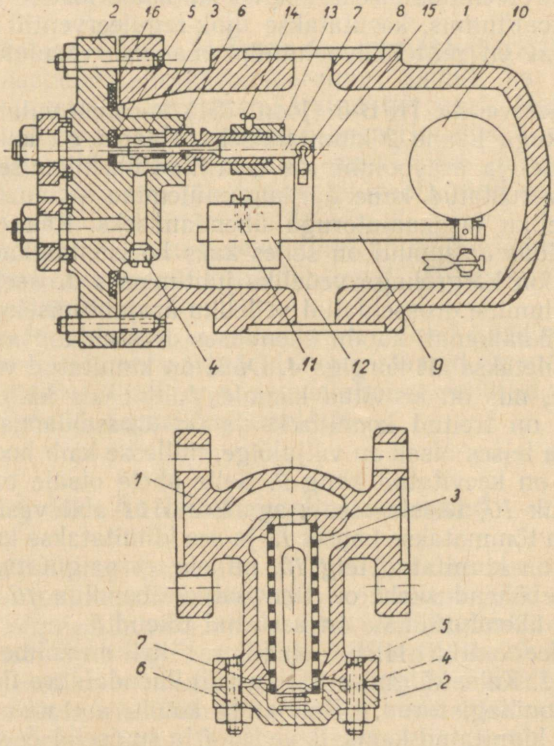
Ujukiruumis, mis on tasakaalutorude abil ühendatud teenindatava aparaadiga, püsib vedelik ühendatud anumate põhimõttel samal tasemel kui vastavas aparaadiski. Kui vedeliku tase aparaadis langeb, siis langeb tase vastavalt ka ujukiruumis. See põhjustab ujuki vajumise allapoole. Kang pöörab hooba ja seeläbi nihkub varras. Varda eemaldumisel pesast suureneb drosseldamisava ja järelikult ka selle läbilaskevõime.

Kui külmutusagendi väljavool aparaadist väheneb, siis tõuseb aparaadis endas ja ujukiruumis vedeliku tasapind. Ujuk tõuseb kõrgemale, drosseldamisava suletakse rohkem, millega vähendatakse külmutusagendi juurdevoolu.

Väikeste külmutusagregaatide jaoks, nagu CA-7, kasutatakse

ujuk-reguleerventiili ПРВ, mis on monteeritud äärikuga aurustaja kesta või kollektori külge (joon. 192).

Düüsi minev varras *2* on ühendatud ujuki kangiga *3*. Vedeliku taseme langemisel laskub ujuk *4* madalamale, tõmbab varda düüsist välja ja avab läbipääsu külmutusagendile.



Joon. 191. Ujuk-reguleerventiil ПРВ-5.

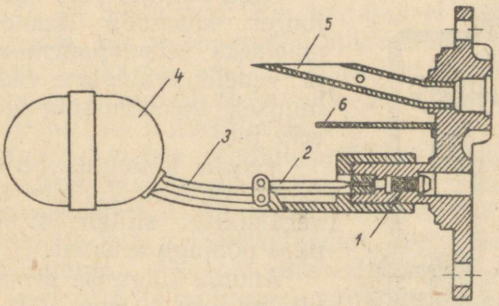
1 — kere, *2* — kaas, *3* — düüs, *4* — kork, *5* — tihend, *6* — juhtpuks, *7* — varras, *8* — hoob, *9* — kang, *10* — ujuk, *11* — kruvi, *12* — vastukaal, *13* — kapsel, *14* — kruvi, *15* — telg, *16* — tihend.
All-filter: *1* — kere, *2* — kaas, *3* — sõel, *4* — vedru, *5* — tugiseib, *6* — tikkpolt, *7* — tihend.

Ventiili kohale on kinnitatud põrkeplaat *6*, mis takistab vedeliku sattumist imemisliini. Neid ujuk-reguleerventiile kasutatakse madalsurve poolel.

Kõrgsurve ujuk-reguleerventiili (ПРВ-ВД) kasutatakse ressiivris vedeliku ettenähtud kindla tasapinna hoidmiseks. Külmutusmasinas peab nii madalsurve kui ka kõrgsurve poolel olema teatud hulk vedelikku. Kõrgsurve ujuk-reguleerventiili ПРВ-ВД võib kasutada ka selle külmutusagendi hulga reguleeri-

miseks, mis voolab välja mitmeastmeliste külmutusmasinate vaheanumatest.

Kõrgsurve ujuk-reguleerventiile ПРВ-ВД on otstarbekohane kasutada ainult ühe aurustajaga süsteemides, millede madalsurve poolel on üksainus aurustaja või siis teatud arv ühesuguseid, võrdse soojuskoormusega rööbiti lülitatud sektsioone, mida toidetakse külmutusagendiga spetsiaalse jaotaja kaudu.



Joon. 192. Ujuk-reguleerventiil väikeste automaatagregaatide jaoks.
1 — filter, *2* — varras, *3* — kang, *4* — ujuk, *5* — imemistoru, *6* — tagasilöögiplaat.

Kõrgsurve ujuk-reguleerventiilide ПРВ-ВД paremuseks on see, et neid on võimalik kasutada aurustussüsteemide igasuguste tüüpide, nii sukeldatute kui ka sukeldamatute juures. Nende reguleerventiilide puuduseks aga on see, et need tuleb paigaldada ressiivrite juurde ja nad on tundlikud külmutusagendi vähenemisele süsteemis, mis vähendab aurustaja täitumist vedelikuga.

Ventiil on valmistatud samasuguselt kui tavalised ujuk-reguleerventiilid, mis on ette nähtud mingis anumas vedeliku teatud tasemel hoidmiseks. Vedeliku taseme muutumisele reageerib selle kerakujuline metallist ujuk, mis on šarniirselt ühendatud läbivooluava sulgeva vardaga.

Ventiil monteeritakse kõrgsurve poolele vahetult kondensaatori juurde. Viimasest on ventiil lahutatud kahe sulgventiiliga.

Kompressori töötamisel langeb vedela ammoniaagi tase aurustajas, kondensaatoris see aga tõuseb.

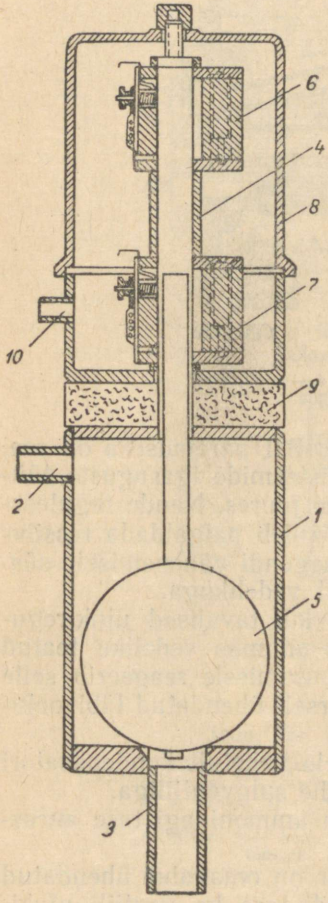
Seetõttu et ujukiruum ja kondensaator on omavahel ühendatud anumateks, tõuseb vedela külmutusagendi tase ka ventiili ujukiruumis. Vedeliku taseme tõusmisel ventiili ujukiruumis kerkib ujuk kõrgemale ja avab aurustajasse suubuva vedela külmutusagendi liini läbivooluava.

Kõrgsurve ujuk-reguleerventiili ПРВ-ВД korralikuks töötamiseks tuleb süsteem normaalselt täita külmutusagendiga ja ventiil ise kondensaatori suhtes paigaldada õigesti.

Vedela külmutusagendi taseme kaugnäitaja (ДУ) seatakse üles vastavalt ohutustehnika eeskirjadele kõigil aurustussüsteemi apa-

raatidel (vertikaaltoruaurustajad, vaheanumad), kus seadme külmutusagendi mahutavus on üle 300 kg.

Kaugnäitaja hoiatab masinaosakonna teenindavat personali ebanormaalsustest külmutusseadme töös: vedela külmutusagendi sattumise võimalusest kompressorisse vedeliku liialt kõrge taseme puhul, samuti puudulikust vedelikuga täitumisest liialt madala taseme juures.



Joon. 193. Vedela külmutusagendi taseme kaugnäitaja.

1 — kere, *2* — toru, *3* — vedeliku toru, *4* — mittemagnetilisest terasest toru, *5* — ujuk, *6* — ülemine magnetseadeldis, *7* — alumine magnetseadeldis, *8* — alumiiniumkest, *9* — korkisolatsioon, *10* — juhtmete sissetoomise ava.

Seda näitajat võib automaatseadmete juures kasutada kompressori automaatseks seismapanemiseks aurustajate ja vedelikueraldajate vedelikuga ületäitumisel, solenoid-sulgventiilide juhtimiseks jne.

Vedela külmutusagendi kaugnäitajal (ДУ) on kere *1*, mis kujutab endast vertikaalset silindrilist ülemise ja alumise põhjaga anumat.

Anuma külgmise seina külge on keevitatud toru *2* (joon. 193). Alumist põhja kasutatakse äärikuna anuma ühendamiseks aparaatide vedelikupoolega, toru *3* aga — ühendamiseks aparaatide aururuumiga survete tasakaalustamiseks.

Ülemise põhja külge keevitatakse mittemagnetilisest terasest toru *4*. Anuma sees on ujuk *5*, selle külge on keevitatud õhukeseseinaline raudtoru, mille ots ulatub mittemagneetilisest terasest torusse.

Mittemagnetilisest terasest torule on monteeritud kindlal vahekaugusel teineteisest kaks magnetseadeldist *6* ja *7* elavhõbelülitiga (merkoidiga). Selle seadeldise koosseisu kuuluvad püsivmagnet kahe kingaga — ülemise ja alumisega. Alumisse kinga on kahe kruviga šarniirselt kinnitatud ankur koos plaadiga ja viimase külge elavhõbelüliti. Ankru vabanemisel silindervedru surub ankru eemale. Ankru liikumist piirab vastav plaat.

Kaitseks mehaaniliste vigastuste eest on mittemagnetiline toru ja magnetseadeldised kaetud alumiiniumkestaga *8*, millel on kaas. Kesta alumise ja ülemise osa vahele on asetatud kummirõngas, mis takistab õhu tungimist seadeldise sellesse ossa, kus asetsevad magnetid.

Kaitseks jäätumise vastu on alu-

miiniumkest eraldatud põhianumast korkisolatsiooniga *9*. Ujukiruum ja vedelikutorustik isoleeritakse. Elavhõbelüliti on ühendatud klemmlaudadega, mis ühendatakse signaalkilbiga.

Signaalkilbil on kolm signaaltuld — valge, roheline ja punane — ning signaalkell. Nende sisselülitamine toimub elavhõbelüliti ümberlülitamisel.

Kaugnäitaja töötamise põhimõte rajaneb ühendatud anumate seadusel: vedeliku tase näitajas püsib samal kõrgusel kui aparaadiski, millega ta on ühendatud. Kui näitajas ei ole vedelikku või on selle tase madal, siis on magnetite ankrud ühendatud ning seejuures on ühendatud ka rohelise tule kontaktid. Roheline tuli põleb juhul, kui näitajas, ja järelikult ka selle poolt kontrollitavas aparaadis, on vedeliku tase mitteküllaldane.

Näitaja täitumisel vedela külmutusagendiga tõuseb ujuk ja selle toru lühistab alumise magnetseadeldise magnetvälja. Magnetvälja jõujooned sulguvad läbi toru. Magnet ei tõmba ankrut juurde. Vedru surub ankru eemale kuni piiramisplaadini, seejuures toimub merkoidi ümberlülitamine. Merkoidi ümberlülitamisel lähevad lahti rohelise tule kontaktid ja sulguvad valge tule kontaktid. Valge tule põlemine näitab, et aparaat on vedelikuga täidetud normaalselt. Järelikult on näitaja normaalse tööseisu korral alumise magnetseadeldise ankur oma magneti küljest eemaldunud, ülemise magnetseadeldise ankur aga tõmmatud vastu oma magnetit.

Vedeliku taseme edasisel tõstmisel läheb ujukitoru ülemise magnetseadeldise magnetvälja ja magneti ankur surutakse vedruga eemale. Seejuures avanevad valge tule kontaktid, punase tule kontaktid ja samaaegselt ka signaalkella kontaktid sulguvad. Pärast seda signaali tuleb võtta tarvitusele abinõud vedeliku taseme alandamiseks aparaadis.

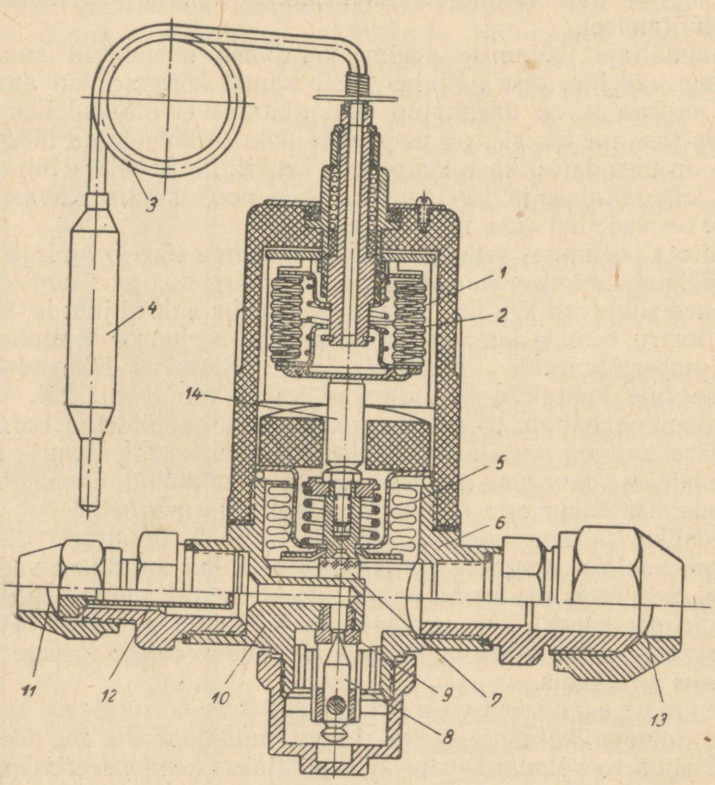
Termoreguleerventiili (TPB-2) kasutatakse aurustajasse mineva külmutusagendi hulga automaatseks reguleerimiseks, kusjuures külmutusagent drosseldatakse kondenseerimisrõhult aurumisrõhule. Termoreguleerventiil TPB-2 töötab sõltuvalt aurustajas keeva vedela külmutusagendi ja kompressori poolt aurustajast väljumisel äraimetavate aurude temperatuuri vahest.

Temperatuuride vahe tõusmisel suureneb termoreguleerventiili kaudu juurdeantava külmutusagendi hulk, vahe vähenemisel see aga väheneb.

Termoreguleerventiili TPB-2 kasutatakse väikestes külmutusseadmetes, eriti aga automaat-freoonagregaatides.

Termoreguleerventiil TPB-2 koosneb kahest osast: jõu- ja reguleerosast (joon. 194), kusjuures need osad on omavahel ühendatud karboliidist kapsliga. Jõuosasse kuulub sülfoon *1* selle sees oleva vedruga *2*. Sülfooni külge on ühe otsaga joodetud 3×0,5 mm kapillaartoru *3*; viimase teise otsa on joodetud tundel *4*. Alt toetub sülfoon vahevardale *14*. Tundel, kapillaartoru ja sülfoon moodustavad kokkuühendatult kinnise süsteemi. Tundel on pooleni täidetud kergestiauruva vedelikuga.

Reguleerosa koosneb sülfoonist *5*, mis vedru abil on ühendatud traaversiga *7*, mille otsa on kinnitatud nõelklapp *8*. Nõela teravik käib ventiililäbivooluava pesasse *9*. Traaversi varrele toetub vahevarras *14*.



Joon. 194. Termoreguleerventiil.

1 — jõusülfoon, *2* — vedru, *3* — kapillaartoru, *4* — tundel, *5* — reguleersülfoon, *6* — ventiili kere, *7* — traavers, *8* — nõelklapp, *9* — pesa, *10* — sissevoolutoru, *11* — sõelfilter, *12* — väljavoolutoru, *13* — vahevarras.

Tundel asetseb tagapool aurustajat tihedalt vastu imemistoru. Puutekoht hoitakse puhas, et kindlustada head kontakti. Tundla ja toru peale võib panna õhukese kihi isoleerivat mineraalvatti, mähkides selle kinni kummeeritud lindiga. Mida kaugemale aurustaja otsast kinnitatakse tundel, seda rohkem täitub aurustaja ja seda vähem esineb auru ülekuumenemist imemisel.

Rõhk reguleerventiili jõusüsteemis sõltub aurude temperatuurist imemistorustikus. Külmutusagendi puudulikul juurdevoolamisel aurustajasse tõuseb ülekuumenemistemperatuur. Tundel soojeneb ja vedelik selles aurustub. Kui tundla temperatuur tõuseb 3—5° võrra üle aurumistemperatuuri, siis tõuseb rõhk jõusüsteemis seda-

võrd, et sülfoon hakkab välja venima. Sülfoon surub alla traaversile *7* toetuva vahevarda *14*. Viimane koos nõelklapiga laskub alla, avades läbivooluava. Selle tagajärjel voolab külmutusagent aurustajasse. Liialt suur külmutusagendi sissevool aurustajasse põhjustab ülekuumenemistemperatuuri alanemist ja järelikult ka rõhu alanemist jõusülfoonis.

Sülfoon tõmbub kokku ja nõelklapp suleb läbivooluava, katkestades külmutusagendi voolamise aurustajasse.

Termoreguleerventiile TPB-2 võib seadistada mitmesugustele temperatuuridele. Ventiili seadistamine toimub reguleerkruvi abil, mis muudab sülfooni vedru pinget. Kui pöörata reguleerkruvi mutrit päripäeva, laskub jõuelemendi sisemine osa alla. Vahevarras surub ventiili reguleersülfoonile ja klapp avaneb tundla vähesel soojenemisel. Aurustaja täitub rohkem ja külmutusagendi aurud muutuvad kruvi äärmise asendi puhul sedavõrd niiskeks, et on võimalik kompressori niiske käik.

Kui pöörata kruvi vastupäeva, raskeneb klapi avanemine, ventiil töötab nii, et aurustaja täitub vähem, äärmise asendi puhul aga võib ventiil üldse mitte avaneda.

Kompressori momentaansel seismapanemisel jääb reguleerventiil veel väheks ajaks avatuks, kuni rõhk aurustajas ja tundlas muutub võrdseks; pärast seda ventiil sulgub. Termoreguleerventiil TPB-2 on ette nähtud töötamiseks freoon-12-ga temperatuuril −30° kuni +10°. Ventiili avanemine algab 1—2° temperatuurivahe puhul ja reguleerib kuni 15°-ni. Ventiili maksimaalne arvutuslik tootlikkus on 2000 kcal tunnis.

Teiste külmutusagentidega töötab termoreguleerventiil TPB-2 halvemini. Halvasti töötavad need ventiilid ka aurustajatega, mis on asetatud soolalahusesse või mingisse teise vedelikku, sest külma akumuleerumise tagajärjel ei tõuse rõhk aurustajas kauemat aega pärast kompressori seiskamist ja vedel freoon võib aurustaja täielikult üle ujutada. Nendel juhtudel põhjustab aurustaja ületäitumine kompressori käivitamisel hüdraulilise löögi.

Termostaadid on seadmed, mis säilitavad jahutatavates objektides (ruumides, kappides, müügilettides jne.) ühtlase temperatuuri kõikumisega ±1°. Need seadmed lülitavad kompressori automaatselt sisse või välja, sõltuvalt temperatuuri kõikumisest jahutatavas objektis.

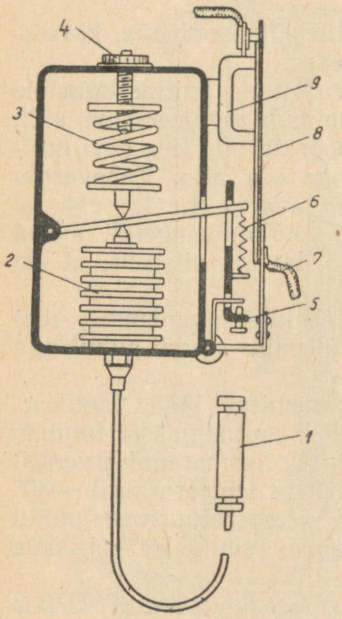
Seepärast paigaldatakse termostaat kas jahutatava objekti vahetusse lähedusse või selle sisse.

Termostaadi tundel kinnitatakse jahutuspatarei või aurustaja juurde. Termostaadi kontaktidelt on juhtmed viidud kompressori elektrimootori elektrimagnetilise käivitaja kontaktidele.

Vedrutermostaadi põhimõtteline skeem on antud joonisel 195.

Termostaadi põhiliseks töötavaks osaks on jõuelement. Jõuelement koosneb tundlast *1*, kapillaartorust ja sülfoonist *2*. See süsteem sisaldab mingit kergestiauravat vedelikku, kõige sagedamini külmutusagenti.

Sülfoon on asetatud metallkarpi. Sülfooni peale on šarniirselt kinnitatud kontakthoob, mis surutakse sülfooni vastu temperatuuriregulaatori vedruga *3*. Vedru survet reguleeritakse kruviga — temperatuuriregulaatoriga *4*. Kapsli seinale on kinnitatud magnet *9* ja šarniirne kallutatav plaat *8*, mis on seotud diferentsiaalregulaatoriga *5*. Diferentsiaalregulaatori hoob ühendatakse vedru abil kontakthoovaga. Kallutatava plaadi ja magneti külge on kinnitatud elektrikontaktid *7*, mis on ühendatud kompressori elektrimootori elektromagnetilise käivitajaga.



Joon. 195. Termostaadi skeem.

1 — tundel, *2* — sülfoon, *3* — temperatuuriregulaatori vedru, *4* — temperatuuriregulaator, *5* — diferentsiaalregulaator, *6* — diferentsiaalregulaatori vedru, *7* — elektrikontakt, *8* — kallutatav plaat, *9* — magnet.

Külmutusagendi aurumistemperatuuri tõusmisel tõusevad ka aurude temperatuur ja rõhk tundlas. Tundlast kandub rõhk kapillaartoru kaudu edasi sülfooni.

Sülfoon venib pikemaks ja surub kontakthoovale, mis omakorda surub temperatuuriregulaatori vedrule. Selle surve tugevus sõltub temperatuurist, millele termostaat on reguleeritud.

Kui temperatuur ületab määratud režiimi, siis surutakse vedru kokku. Kontakthoova vaba ots tõuseb üles ja tõmbab diferentsiaalregulaatori kaudu kallutatava plaadi lähemale. Elektrikontaktid ühendatakse ja sellega lülitatakse tööle kompressor. Kui temperatuur ja rõhk tundlas langevad, ületab regulaatorivedru sülfooni surve, kontakthoob langeb alla ja lahutab kontaktid. Kompressor jääb seisma.

Et termostaati reguleerida madalamale temperatuurile, tuleb selle temperatuuri reguleerimise kruvi pöörata päripäeva. Sellega väheneb vedru pinge ja sülfoon hakkab ühendama kontakte madalama rõhu puhul.

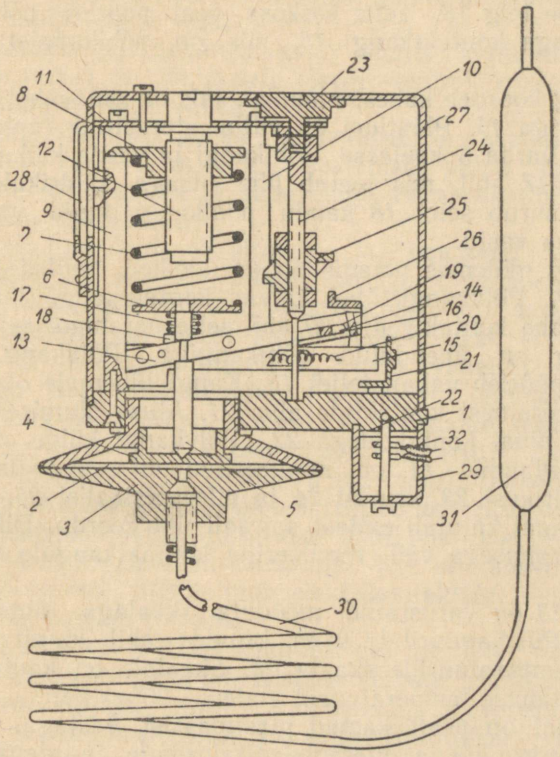
Termostaat PTH-1 (joon. 196). Temperatuurirelee on ette nähtud õhu või mõne teise keskkonna temperatuuri püsivana hoidmiseks automaatsete ammoniaakkülmutusseadmete külmkambrites või torustikes.

Termostaadi PTH-1 mehhanism on monteeritud terasest alusele *1*, kuhu on sisse pressitud isoleerainest tapid, millesse on kinnitatud kontaktkruvid kontaktidega *32*.

Aluse külge on kruvitud jõuelement *3*, mille sees on roostevabast terasest membraan *2*.

Jõuelemendi suunajas liigub tsentreeriv puks *4*, mille ülesandeks on anda membraani liikumine edasi vardale *5*.

Jõuelemendiga on altpoolt ühendatud kapillaartoru *30*, mille otsas on tundel *31*.



Joon. 196. Termostaat PTH-1.

1 — alus, *2* — membraan, *3* — jõuelement, *4* — tsentreeriv puks, *5* — varras, *6* — taldrik, *7* — reguleervedru, *8* — osutiga taldrik, *9* ja *10* — püstkandurid, *11* — plaat, *12* — reguleerkruvi, *13* — kangi telg, *14* — peakang, *15* — kontaktkang, *16* — klambrid, *17* — vedru, *18* — seib, *19* — põlvkang, *20* — kontaktvedrud, *21* — kontaktide alus, *22* — kontaktidega plaat, *23* — taldrik, *24* — kruvi, *25* — diferentsiaal, *26* — piiraja, *27* — kest, *28* — skaala, *29* — kuppel, *30* — kapillaartoru, *31* — tundel, *32* — kontaktid.

Varras *5* toetub tsentreeriva puksi *4* keskkohta, ülemise otsaga on see aga ühendatud taldrikuga *6*. Taldrikut surub varda vastu vedru *7*. See vedru toetub ühe otsaga taldrikule *6*, teise otsaga aga skaalaosutiga taldrikule *8*.

Alusele kinnitatud kahe nelinurkse kanduri *9* ja ühe silindrilise kanduri *10* peale on kinnitatud plaat *11*. Plaadi vastu toetub oma randiga reguleerkruvi *12*. Kruvi on keeratud skaalaosutiga taldrikusse *8*.

Kui pöörata reguleerkruvi, tõuseb taldrik *8* kas ülespoole või laskub allapoole, muutes sellega jõudu, mida osutab reguleervedru *7* ühenduste kaudu jõuelemendi *3* membraanile.

Nelinurksete kandurite *9* väljaulatuvates osades on avad, mida läbib kangide telg *13*. Telje keskosa peal pöörleb põhikang *14*, telje otstel aga kontaktkang *15*, mis on põhikangist eraldatud puksidega.

Põhikang koosneb kahest plaadist, mis on omavahel ühendatud kahe klambriga *16*. Plaatidel on välja stantsitud tapid, millega kang toetub varda *5* kaelasse. Põhikangi ja varda käiku reguleeritakse vedru *17* abil, mis toetub ühe otsaga taldrikule *6*, teise otsaga aga surub seibi *18* kaudu põhikangi tapid varda kaela alumise serva vastu.

Põhikangi mõlemas plaadis on väljalõiked, millede sisse käib põlvkang *19*. Põlvkangi õlad käivad kontaktkangi lõigetesse ja tõmbuvad kahe kontaktvedru *20* abil selle parempoolse osa vastu.

Põlvkang on ühendatud põhikangiga. Põlvkang, mis on U-kujuline, pöörleb vabalt teljel *13*. Kangi lühemale õlale on kinnitatud isoleerainest kontaktide alus *21*. Aluse alumise osa külge on kruvitud plaat kontaktidega *22*. Põlvkangi külge on needitud piiraja *26*. Plaadile *11* on monteeritud diferentsiaalseade, mis koosneb taldrikust *23*, kruvist *24* ja diferentsiaalist *25*.

Diferentsiaal kujutab endast spiraali üht keerdu. Diferentsiaalseadme pööramisega võib reguleerida kontaktkangide tõusu suurust.

Taldrik *23* on varustatud mõõduta skaalaga tähtedega A-st kuni K-ni. Püstkanduritele *9* on kruvide abil kinnitatud väljalülitamise temperatuuride skaala *28*. Skaalale on kantud kontaktide lahtilülitamise temperatuurid alates —25°-st kuni +5°-ni.

Termostaat on pealt kaetud plastmassist kestaga, milles on avad reguleerkruvile ja diferentsiaaltaldrikule juurdepääsemiseks. Juhtmete ja kontaktide ühenduskoht on kaitstud plastmassist kupliga.

Termostaadi töötamise põhimõte on järgmine. Reguleerkruvi *12* abil reguleeritakse reguleervedru *7* pingust. Kruvi keeramisega saab taldrikut *8* tõsta kõrgemale või lasta allapoole, seades seejuures osuti nõutavale temperatuurile. Kui tundla surve membraanile on võrdne vedru *7* vastusurvega, siis jäävad varras *5* ja põhikang liikumatult paigale. Kui tundlat ümbritsev keskkonna temperatuur tõuseb, siis tõuseb ka kergestiauruva vedeliku rõhk tundlas. Membraan *2* paindub ülespoole ja tõstab üles ka varda *5*; varras pöörab põhikangi vastupäeva. Põlvkang, võttes seejuures kontaktkangi teljega paralleelse asendi, tõmbab pingule kontaktvedru *20* ning, kui põhikang liigub kontaktkangi telje taha, viskavad kontaktvedrud põlvkangi õlad alla ja kontaktvedrude toimel laskub alla ka kontaktkang. Termostaadi kontaktid on suletud.

Kui tundlat ümbritseva keskkonna temperatuur langeb, siis

langeb ka vedeliku rõhk tundlas ja reguleervedru survel liigub varras allapoole. See kutsub esile kangide vastupidise liikumise ja kontaktid avanevad.

Kontaktide momentaanse lülitamise ja lahtilülitamisega kaitstakse neid läbipõlemise eest.

Diferentsiaali pööramisega saab muuta kontaktide ühendamise temperatuuri ja põhiskaala järgi seatud kontaktide lahtilülitamise temperatuuri vahet.

Kontaktide lahtilülitamise temperatuurile seadmine toimub reguleerkruvi *12* pööramisega. Seadmise puhul toimub taldriku *8* asendi muutumine ja selle osuti näitab skaalal kontaktide lahtilülitamise temperatuuri.

Pressostaadid käivitavad ja peatavad automaatselt külmutusmasina, vastavalt ettenähtud piirrõhkudele aurustajas. Oma konstruktsioonilt on nad samasugused kui termostaadidki. Nad erinevad termostaatidest ainult selle poolest, et sülfooni või membraani ei ühendata tundlaga, vaid vahetult kompressori imemisliiniga. Seepärast avaldab pressostaadi sülfoonile vahetult survet masinas olev külmutusagent. Pressostaate nimetatakse ka madalrõhuregulaatoriteks. Pressostaat reguleerib rõhku imemisliinis ja ta monteeritakse liinile kompressori lähedusse. Rõhu madalama piiri saavutamine paneb reageerima pressostaadi mehhanismi. Elektrikontaktid lülituvad lahti ja kompressor jääb seisma. Seejärel algab rõhu tõusmine. Kui see saavutab määratud kõrgema taseme, siis toimub elektrikontaktide sisselülitamine ja kompressor hakkab töötama.

Pressostaat РДН-1 (surverelee) on ette nähtud rõhu hoidmiseks kindlaksmääratud piirides selliste automaatkülmutusseadmete aurustajais, mille kompressor surverelee kontaktsüsteemiga perioodiliselt sisse ja välja lülitatakse. Pressostaat paigaldatakse kompressori imemisliinile kompressori vahetusse lähedusse.

Ühekambriliste ja mõnikord ka väikeste kahekambriliste, kuid võrdsete temperatuuridega vahetu aurumisega külmutusseadmete puhul võib surverelеed ka kambrite temperatuuri reguleerimiseks kasutada. See põhineb nähtel, et aurumisrõhk on teatud sõltuvuses kambrite temperatuurist.

Surverelee lülitab külmutusseadme välja, kui nõutav aurumisrõhk on saavutatud, ja lülitab selle jälle sisse, kui rõhk tõuseb kindlaksmääratud kõrguseni, mida põhjustab temperatuuri tõus kambrites.

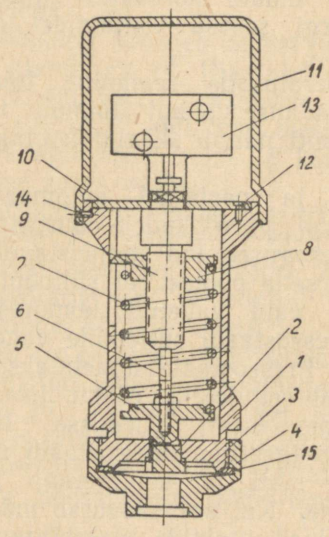
Pressostaadil on samasugune ehitus kui ülalkirjeldatud termostaadil PTH-1. Viimasest erineb ta ainult selle poolest, et jõuelemendi alumisel osal on kruvikeere, millele kruvitakse kinnitusmutter. Mutri ja nipli abil ühendatakse jõuelemendi õõs kompressori imemistorustikuga.

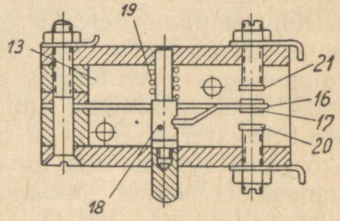
Manokontrollerid ehk maksimaalrõhu väljalülitid on kompressori automaatseks väljalülitamiseks seadme survepoole

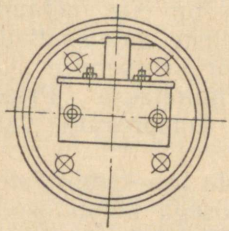
rõhu tõusmisel üle ettenähtud piiri. Tänu sellele välditakse masinate avariid.

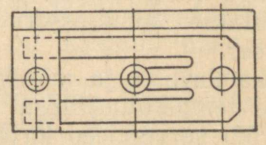
Manokontrolleritel on sülfoon, mis reageerib gaasi survele ja mõjub kompressori elektrimootori elektrikontaktide mehhanismile. Manokontrollerid ühendatakse konstruktiivselt väga sagedasti pressostaatidega või termostaatidega ja paigutatakse nendega koos ühte kesta.

Manokontroller РДН-3 (surverelee). Surverelee on ette nähtud ammoniaak- ja freoonkülmutusseadmetele (joon. 197). Manokontroller РДН-3 peaülesandeks on kaitsta automaatkülmutusseadmete kompressoreid töötamast suurendatud, lubatust kõrgema rõhu juures. Rõhu ülemäärane suurenemine esineb









Joon. 197. Manokontroller РДН-3.

1 — kere, *2* — tsentreeriv puks, *3* — membraan, *4* — membraani kaas, *5* — taldrik, *6* — varras, *7* — reguleervedru, *8* — osutiga mutter, *9* — reguleerkruvi, *10* — klamber, *11* — kuppel, *12* — kruvi, *13* — lüliti, *14* — tihvt, *15* — tihend, *16* — kontaktide plaat, *17* — kontaktid, *18* — polt, *19* — vedru, *20* — alumised kontaktid, *21* — ülemised kontaktid.

külmutusseadmetes tavaliselt avarii puhul (näit. vee juurdevoolu katkemine kondensaatorisse). Seepärast lülitab surverelee üheaegselt kompressori elektrimootori elektrivooluringi katkestamisega töösse signaalseadeldise. Manokontroller paigaldatakse kompressori survepoolele, selle vahetusse lähedusse.

Seadme konstruktsioon on järgmine.

Kere *1* alumisel osal on keere, millele keeratakse membraani

kaas *4*. Kere ja kaane vahele on surutud membraan *3*. Hermeetilisuse saavutamiseks on ühenduskohas tihend *15*. Kere suunajas asetseb jäik tsentreeriv puks *2*, mis toetub membraani keskosale ja saab liikuda vertikaalsuunas. Tsentreeriva puksi koonilisele süvendile toetub taldriku *5* kooniline osa. Kere ülemises osas on mutter *8* kontaktide lahtilülitamisrõhu osutiga. Kere seinas on pilu, mille peale on kinnitatud rõhuskaala.

Taldriku *5* ja mutri *8* vahele on surutud vedru *7*. Vedru poolt tekitatavat survet võib reguleerida reguleerkruvi *9* abil, mis on ühendatud mutriga *8*. Reguleerkruvi aste toetub klambrile *10*. Viimase ülesandeks on lüliti *13* kinnitamine, mis on ühtlasi ka mehhanismi kaaneks. Reguleerkruvil on neljakandiline pea, mis võimaldab teda pöörata.

Reguleerkruvi läbivast avast käib läbi varras *6*. Varda üks ots on kruvitud taldrikusse *5*, teises otsas olev taldrik on aga ühenduses lüliti poldiga.

Lüliti keresse on kinnitatud kontaktide plaadi *16* kaks pikka otsa, millede külge on keevitatud kontaktid *17*. Kontaktide vedru lühikene ots toetub poldile *18*. Poldil on isoleeritud ots. Poldi alumise osa vastu toetub vedru *19*. Plaadi kontaktid lülituvad kas alumise kontaktiga *20* või ülemise kontaktiga *21*.

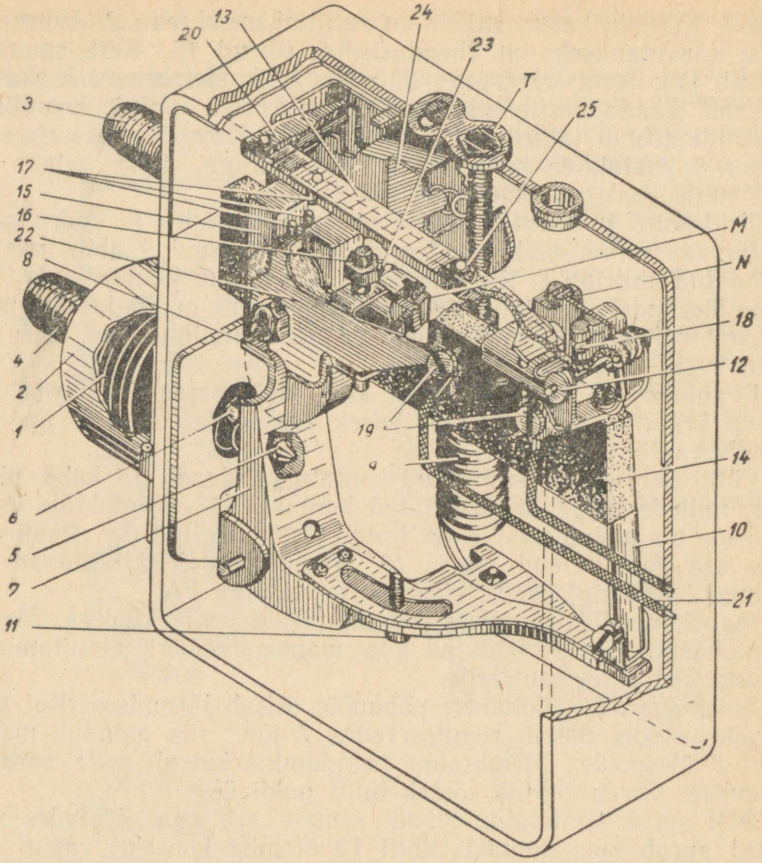
Manokontroller on pealt kaetud plastmassist kupliga. Membraani kaanes on keermetatud ava manokontrolleri kinnitamiseks survetorustiku torustutserile.

Selle aparaadi töötamise põhimõte seisab järgmises. Kui rõhk survetorustikus ületab reguleervedru *7* jõu, siis paindub membraan *3* ülespoole. Membraani paindumine kutsub esile varda *6* liikumise. Varda taldrik tõstab lüliti poldi üles.

Polt surub kontaktide plaadi eemale, see aga, töötades vedruna, surub oma kontakti lüliti 13 ülemise kontakti vastu. Kui plaadi lühema otsa toetuspunkt nihkub üle joone, mis ühendab plaadi pikema õla kinnituspunkti kontaktide *17* ja *21* ühenduspunktiga, siis saab plaadi allapainutatud ots võimaluse välja sirguda ja visata hooga plaadi kontakti *17* alumise kontaktiga *20* lülimise asendisse. Seejuures katkeb vool elektriahelas. Rõhu langemisel langeb aparaadi kogu mehhanism alla ning põhjustab kontakti *20* lahtilülimise ja kontakti *21* sisselülimise.

Surverelee РД-1 (pressostaat-manokontroller) on seade, mille ülesandeks on väikeste automaatsete freoonkülmutusseadmete tsüklilise töötamise kindlustamine, säilitades seejuures jahutatavates objektides kindlaksmääratud temperatuurirežiimi, ning surveliini kaitsmine rõhu ülemäärase tõusmise eest (joon. 198). Surverelee koosneb kahest osast: minimaalrõhu lülitist (pressostaadist) ja maksimaalrõhu lülitist (manokontrollerist).

Pressostaat kindlustab seadme tsüklilise töötamise ja määratud temperatuurirežiimi hoidmise. Manokontroller aga väldib ülemäärast rõhku surveliinis. Mõlemad lülitid on paigutatud ühi-



Joon. 198. Surverelee (РД-1).

1 — pressostaadi sülfoon, 2 — sülfooni kest, *3* — manokontrolleri sülfooni ühendustoru, *4* — pressostaadi sülfooni ühendustoru, *5* — nõel, *6* — vedru, *7* — kaheõlgne kang, *8* — käpp, *9* — vedru, *10* — diferentsiaali varras, *11* — tugikruvi, *12* — kontaktihoidja raam, *13* — kontaktplaat, *14* — paneel, *15* — *U*-kujuline magnet, *16* — peakontaktkruvi, *17* — abikontaktid, *18* — diferentsiaali regulaator, *19* — klemmid, *20* — tekstoliitplaat, *21* — juhtmed magnetkäivitisse, *22* — manokontrolleri kang, *23* — reguleerkruvi, *24* — momentlülituse mehhanism, *25* — kruvi, *T* — reguleerkruvi, *D* — diferentsiaali regulaatori kruvi, *M* — mutter.

sesse kesta ja mõjuvad ühele ja samale elektrikontaktide süsteemile, mis on elektriliselt ühendatud kompressori elektrimootori magnetkäivitajaga.

Pressostaat on konstrueeritud järgmiselt. Kesta välisseinale on kinnitatud pressostaadi sülfoon *1*, mis on paigutatud kesta *2*. Kesta sees kujuneb hermeetiliselt isoleeritud ruum. Kompressori imemisliini ühendab pressostaadi sülfooniga ühendustoru *4*. Ühendustoru vastasküljest on sülfoon suletud äärikuga. Sülfooni ees on selle põhja külge joodetud keermetatud toru, millesse on kruvitud nõel *5*. Nõela ja ääriku vahele on surutud vedru *6*.

Nõel toetub oma teravikuga kaheõlgsele kangile *7*. Kangi lühemal õlal on piirav tugikäpp *8*, mis kaitseb kangisid murdumise eest, kui rõhk imemisliinil järsku langeb. Kangi pikema õla külge on ühe otsaga kinnitatud reguleervedru *9* ja diferentsiaali varras *10*.

Kangi pikemal õlal on tugikruvi, mis kaitseb kangisid murdumise eest, kui rõhk imemisliinis ülemäära tõuseb.

Reguleervedru teises otsas on mutter. See on ühendatud reguleerkruviga *T*, mille pea on kesta välispinnal.

Normaalasendis on vedru välja venitatud. Diferentsiaali varda koosseisu kuulub kruvi ja isoleeritud polt. Kruvi on keeratud polti. Polt on šarniirselt ühendatud kangi pikema õla otsaga, kruvi on aga ühendatud kontaktihoidja raamiga *12*, mille külge on kinnitatud voolu juhtiv kontaktplaat *13*.

Kontaktihoidja raam koos voolu juhtiva kontaktplaadiga on šarniirselt kinnitatud elektriisoleermaterjalist valmistatud paneeli *14* külge. Paneeli külge on ka kinnitatud U-kujuline püsivmagnet *15* koos peakontaktkruvi *16* ja kahe abikontaktiga *17*. Paneel on kinnitatud kesta külge.

Kontaktihoidja raamis on õnar, milles liigub kruvi *N* abil diferentsiaali regulaator *18*. See regulaator muudab diferentsiaali varda käiku. Kesta seinas kruvi *T* kõrval on ava diferentsiaali varda käigu reguleerimiseks.

Voolu juhtival kontaktplaadil on peakontakt ja plaat kahe abikontaktiga.

Kui surverelee elektrikontaktid on ühendatud, siis kompressor töötab, kui lahutatud, siis kompressor seisab.

Pressostaat töötab järgmiselt. Külmutusseadme töötamisel langeb jahutatava objekti temperatuur ja imemisrõhk seni, kuni reguleervedru *9* jõud ületab sülfooni nõela surve ja püsivmagneti külgetõmbejõu. Pärast seda lülituvad kontaktid lahti ja kompressor jääb seisma.

Magneti pideva mõju toimel lülituvad kontaktid lahti järsult, millega hoitakse ära nende läbipõlemine.

Rõhu tõusmisel imemisliinis tõmbub pressostaadi sülfoon kokku, nõel surub kangile ja, kui seda päripäeva pöörata, sulgeb kontaktid ning kompressor lülitub töösse.

Diferentsiaali varda abil kandub liikumine kangilt edasi voolu juhtivale plaadile. Varda kruvil on vaba käik kontaktihoidja õnarusse.

Kontaktide sisse- ja väljalülitamine toimub ainult rõhu sellise muutmise juures, mis on võimeline liigutama diferentsiaali varrast kogu õnara pikkuses.

Diferentsiaali varda käiguga määratavat kompressori sisse- ja väljalülitamise rõhu vahet nimetatakse pressostaadi diferentsiaaliks.

Manokontroller mõjustab sama süsteemi elektrikontakte kui pressostaatki.

Manokontrolleri karbi välisküljel on sülfoon, mis on koos

ühendustoruga *3* asetatud kesta. Vedru ja nõelaga sülfooni konstruktsioon on analoogiline pressostaadi konstruktsiooniga. Karbi sees oleva manokontrolleri mehhanismi hulka kuuluvad: manokontrolleri kang *22*, nõel, reguleervedru *23*, momentaanse väljalülitamise mehhanism *24*, kruvi *25* ja mutter *M*.

Manokontroller töötab järgmiselt. Kui rõhk surveliinis ületab ettenähtud taseme, siis surutakse sülfoon kokku, reguleervedru pinge ületatakse ja nõela abil antakse liikumine edasi elektriahela momentaanse väljalülitamise mehhanismile. Selle mehhanismi põrklink lükkab voolu juhtiva plaadi otsale kinnitatud tekstoliitplaati *20* ja katkestab sellega elektriahela.

Elektriahela väljalülitamise rõhku reguleeritakse vedru survejõu muutmisega mutri *M* abil.

Pressostaat võib töötada alates 550 mm elavhõbedasamba rõhule vastavast vaakuumist kuni 4 atü ülerõhuni. Välja- ja sisselülitamise rõhu vahet reguleeritakse 0,4 kuni 1,5 atü piires.

Survereleed reguleeritakse kruvide *T* ja *N* ning mutri *M* abil.

Kruvi *T* pööramisel päripäeva viiakse väljalülitamise moment kõrgematele temperatuuridele. See põhjustab imemisliinis rõhu kõrgenemise. Kruvi *T* pööramisel vastupäeva viiakse väljalülitamise moment madalamale temperatuurile. Kompressori seismise aega reguleeritakse kruviga *N*. Selle pööramisel päripäeva väheneb kompressori seisuaeg ja vastupidi, kui kruvi pööratakse vastupäeva, siis see aeg suureneb.

Kui pöörata kruvi *M* päripäeva, siis kompressori väljalülitamise rõhk suureneb, kui aga pöörata vastupäeva, väheneb.

Veereguleerventiile (BPB-2) (joon. 199) kasutatakse vesijahutuskondensaatoriga külmutusmasinates kondenseerumistemperatuuri ja -rõhu automaatseks reguleerimiseks.

Veereguleerventiili abil hoitakse kondensaatorisse antava veehulga muutmise teel kondenseerimistemperatuur ja -rõhk enamvähem ühtlasel tasemel.

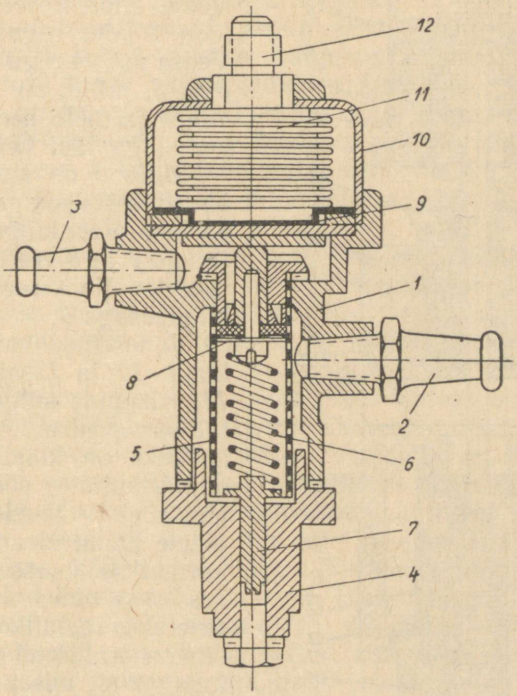
Veereguleerventiilil BPB-2 on järgmine konstruktsioon.

Kere *1* külgseintesse on kruvitud toru otsad — vee sissevooluks *2* ja väljavooluks *3*. Kere alla on keeratud metallkork *4*; see suleb ava, mille kaudu pannakse sisse klapivedru *6* ja sõel *5*. Sõel hoiab klappi mustumast.

Klapivedru pinget reguleeritakse seadekruviga *7*. Ülemise ava kaudu asetatakse keresse klapp *8* ja kummimembraan *9*. Kerele on peale kruvitud pea *10*, milles asetseb sülfoon *11*. Membraani ülesandeks on anda sülfoonilt surve edasi klapile ja olla ühtlasi ka tihendiks, mis takistab vee tungimist sülfooniruumi. Pea külge on kinnitatud ühendustoru külmutusagendi (freoon-12) juurdetoomiseks.

Veereguleerventiili töötamise põhimõte on järgmine. Veetorustiku rõhu toimel voolab vesi pealevoolutorust läbi sõela klapiruumi. Külmutusagendi rõhu tõusmisel (ükskõik millisel põhjusel) kandub see edasi sülfoonile. Sülfoon sirgub, membraan

surub klapile, mis vedru survet ületades avaneb, ning vesi hakkab voolama kondensaatorisse. Surve langemisel tõmbub sülfoon kokku ja vedru vajutab klapi koomale, vähendades või täielikult sulgedes vee läbivoolu.



Joon. 199. Veereguleerventiil BPB-2.

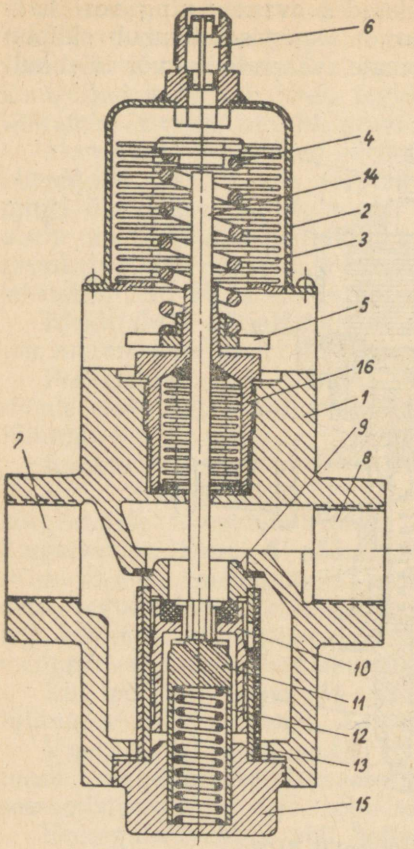
1 — kere, *2* — vee sissevoolutoru, *3* — vee äravoolutoru, *4* — kork, *5* — sõel, *6* — klapivedru, *7* — seadekruvi, *8* — klapp, *9* — kummimembraan, *10* — pea, *11* — sülfoon, *12* — ühendustoru külmutusagendi juurdetoomiseks.

Veereguleerventiil hakkab töötama samal hetkel, kui lülitatakse käima kompressor. Masina töötamise ajal suurendab või vähendab veereguleerventiil kondensaatorisse voolava vee hulka vastavalt külmutusagendi survele.

Klapi liikumise ulatust saab reguleerida seadekruvi abil, kui muuta klapivedru pinget. Seega võib seadekruvi abil reguleerida soovitavat kondenseerimisrõhku.

Kompressori seismajätmisel alaneb rõhk kondensaatoris ja ventiil katkestab automaatselt vee andmise kondensaatorisse.

Freoon-külmutusagregaatide veereguleerventiili kasutatakse kondensaatorisse vee pealevoolu reguleerimiseks sõltuvalt kondenseerimisrõhust.



Joon. 200. Ventiil freoon-külmutus-agregaatidele.

1 — kere, *2* — kuppel, *3* — sülfoon, *4* — seadevedru, *5* — mutter, *6* — külmutus agendi stutser, *7* ja *8* — vee sisse- ja äravoolutorud, *9* — klapipesa, *10* — klapp, *11* — tasakaaluklapp, *12* — survevedru, *13* — sõel, *14* — varras, *15* — sulgur, *16* — veesülfoon.

See ventiil (joon. 200) koosneb jõuelemendist ja kere *1* vaheseinas asetsevast klapist. Jõuelemendil on järgmine konstruktsioon: kupli *2* sees asetseb sülfoon *3* koos reguleervedruga *4*. Vedru pinget reguleeritakse mutriga *5*, millel on servas väljalõiked ja mida keeratakse kruvikeerajaga läbi keres oleva ava.

Sülfoon on stutseri *6* kaudu ühenduses kompressori survepoolega. Kere külgseintel on torujätkud *7* ja *8* vee sisse- ja väljavooluks. Kere sees on vahesein klapipesaga *9*.

Vaheseina ava sulgevad klapp *10* ja tasakaalustusklapp *11*. Klappide sulgemise kindlustab survevedru *12*. Prügistumise kaitseks on klapid ümbritsetud silindrikujulise sõelaga *13*. Klapid, sõel ja jõuelemendilt klappidele jõudu üleandev varras *14* asetatakse keresse selle alumises osas oleva ava kaudu, mis suletakse metallkorgiga *15*. Veeõõs on eraldatud välisõhust sülfooniga *16*, mis pannakse varda otsa tavalise tihendkarbi asemele.

Ventiil töötab järgmiselt. Kondenseerimisrõhu tõusmisel suruvad freooni aurud sülfooni *3* kokku, ületades vedru 4 pinge ja annavad jõu edasi vardale *14*. Varras surub vedru *12* kokku ja selle tulemusena avaneb tasakaalustusklapp *11*. Vee juurdevool kõrvaldab rõhkude vahe klapil *10*, mis avab vee peamise läbivooluava.

Tasakaalustusklapp vähendab ventiili täielikuks avanemiseks vajalikku jõudu ning kindlustab vee kondensaatorisse voolamise sujuva reguleerimise.

Kondenseerimisrõhu langemisel vedru *4* sirutub, vedru *12* aga surub ära varda ja suleb klapid. Vee juurdevool kondensaatorisse katkeb.

Veereguleerventiil BPB-50 (joon. 201) on ette nähtud vesijahutuskondensaatoriga ammoniaakkülmutusseadmete

teenindamiseks. See tagab soodsama kondenseerimisrõhu ja tasandab selle kõikumisi kondensaatorisse antava jahutusvee hulga reguleerimisega.

Ventiili külge on konstruktiivselt ühendatud maksimaalrõhu lüliti. Selle ülesanne on anda avariisignaal ja lubamatult kõrge kondenseerimisrõhu esinemisel panna seisma kompressor.

Seade koosneb kerest *1*, mille külge on keevitatud toru *2* vee sissevooluks, toru *3* vee väljavooluks ja äärik *4*.

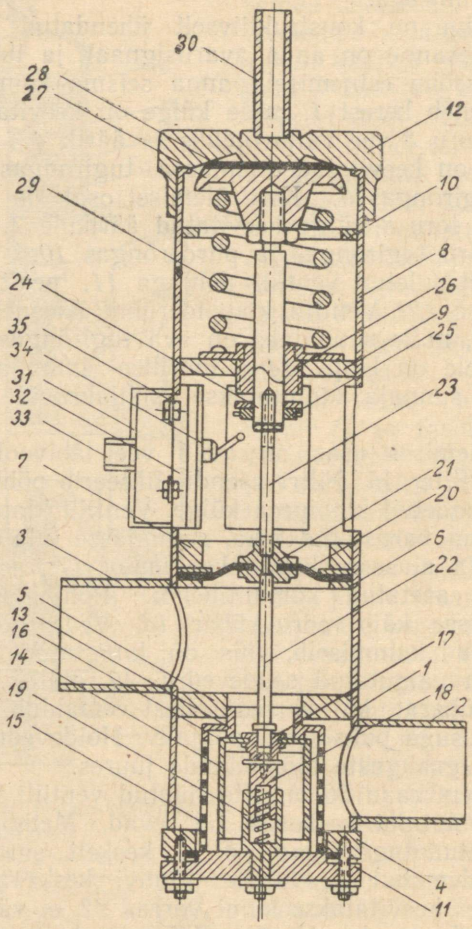
Kere sisse on keevitatud klapipesa tugirõngas *5* ja alumise membraani tugirõngas *6*. Kere ülemisel osal on keere, millega see kruvitakse toru *8* külge keevitatud äärikule *7*. Toru sisse on keevitatud vedru tugirõngas ja piirderõngas *10*.

Kere on alt suletud ventiili põhjaga *11*, pealt aga on toru kaetud kaanega *12*. Ventiili klappiderühm koosneb äravõetavast klapipesast *13*, mille suunajaks on ava tugirõngas. Tugirõnga ja klapipesa vahele on klapi *14* silindrilise suunaja abil surutud tihend. Klapi suunaja kinnitatakse põhjakruvide kinnikeeramisega.

Suunaja ülemises osas on avad vee läbivooluks. Suunajat ümbritseb sõelfilter *15*. Filtri asendit fikseerib põhi *11*. Filtri ülemine ots on joodetud klapipesa külge. Ventiili klapp koosneb alusest *16*, mis on varustatud pika, suunajasse ulatuva silindrilise osaga. Suunaja alusesse keeratakse muhv *17*; see surub kinni nende vahele asetatud kummitihendi. Põhja sisse kruvitakse puks, mille sisse käib vedru kübar *18*. Vedru kübara ülemisse otsa on asetatud kummiseib, mis on kinnitatud sinna kruviga. Puksi sisse on paigutatud seadevedru *19*, mille ülesandeks on tõsta vedru kübarat, kui varras sellest eemaldub. Vedru toetub oma alumise osaga pukslaagri põhjale. Hoidevedru algpinge on püsiv seadme igasuguste töörežiimide juures.

Alumine membraan *20* on ette nähtud ventiili veeruumi tihendamiseks. Membraani keskosas on avad. Membraani välimine äär on kinnitatud tugirõngaga *6* ja keskelt surutud kruvidega kinnitatava sidemuhvi *21* vahele. Muhvi keskavasse kruvitakse altpoolt sisse ja keevitatakse kinni varras *22*, et vältida vee imbumist läbi kruvikeermete. Varda allotsa on keevitatud seib, mis läheb muhvi *17* avasse.

Muhvi *21* sisse kruvitakse pealtpoolt sidevarras *23*. Selle varda mõlemad otsad on keermetatud, kusjuures alumises otsas on vasakpoolne ja ülemises parempoolne keere. Sidevarda ülemine ots keeratakse varda *24* otsas olevasse auku ja kinnitatakse mutriga. Sidevarras on varustatud kahe võtmeavaga ja on ette nähtud varda asendi reguleerimiseks klapi suhtes. Varda alumise otsa külge on kruvi abil kinnitatud maksimaalrõhu lüliti plaat *25*. Varras läbib reguleerpuksi *26* ava. Puks on keeratud tugirõngasse *9*. Puksi alumises otsas on võtmeava. Varda ülemine ots kruvitakse jõuelemendi taldrikusse *27* ja kinnitatakse mutriga. Peale taldriku kuuluvad jõuelemendi koostisse veel



Joon. 201. Veereguleerventiil BPB-50

1 — kere, *2* — sissevoolutoru, *3* — väljavoolutoru, *4* — äärik, *5* — klapipesa tugirõngas, *6* — membraani tugirõngas, *7* — äärik, *8* — toru, *9* — vedru tugirõngas, *10* — piirderõngas, *11* — põhi, *12* — kaas, *13* — klapipesa, *14* — klapisuunaja, *15* — filter, *16* — klapialus, *17* — muhv, *18* — vedru kübar, *19* — seadevedru, *20* — membraan, *21* — sidemuhv, *22* — varras, *23* — sidevarras, *24* — varras, *25* — plaat, *26* — reguleerpuks, *27* — taldrik, *28* — membraan, *29* — reguleervedru, *30* — ühendustoru, *31* — karp, *32* — maksimaalrõhu lüliti, *33* — ühendustoru, *34* — hoob, *35* — klemmid.

membraan *28* ja reguleervedru *29*, mis surub taldrikut vastu membraani.

Oma alumise otsaga toetub reguleervedru reguleerpuksil asetsevale seibile. Kaane külge on keevitatud ühendustoru *30*, mis ühendab jõuelementi kompressori surveliiniga. Kesta *8* külge on keevitatud alus, mille külge kinnitatakse kruvidega karp *31* koos selle külge keevitatud ühendustoruga *33* elektrijuhtmete sisseviimiseks. Karbis asetseb maksimaalrõhu lüliti *32*.

Maksimaalrõhu lüliti on kinnitatud kesta ühte aknasse. Teised kolm akent on jäetud lahti reguleerseadmetele juurdepääsuks. Maksimaalrõhu lüliti on varustatud hoovaga *34* ja klemmidega *35* elektrivõrguga ühendamiseks.

Aparaadi töötamine toimub kondenseerimisrõhu muutuste tulemusena, mis avaldavad mõju jõuelemendi membraanile *28*.

Kui kondensaatoris on rõhk madalam sellest rõhust, millele on veereguleerventiil seadistatud, siis reguleervedru *29* hoiab taldrikut *27* tagasi ja ventiili varras on ülemises asendis. Selle tagajärjel on klapp suletud.

Kompressori käivitamisel on ventiili klapp suletud seni, kuni pidevalt suurenev rõhk tõuseb varem seadistatud tasemele. Rõhk, mis mõjub membraanile *28*, ületab reguleervedru *29* jõu ja ventiili koondvarras, mis koosneb vardast *24*, sidevardast *23* ja vardast *22*, laskub telje sihis allapoole. Varras *22* surub kruvile ja vedrukübar *18* laskub samuti allapoole, ühendades muhvi *17* ava kaudu klapi all oleva ruumi ventiili väljavoolu poolega. Selle tulemusena klapi all olev rõhk langeb ning vee rõhk paneb klapi alla laskuma ja ventiil avaneb. Klapi avamine jätkub seni, kuni kondensaatori rõhk tasakaalustub membraanide *20* ja *28* ning vedrude *29* ja *19* jõududega.

Rõhu tõusmisel ventiiliava ja vee läbivool suurenevad, rõhu langemisel aga vähenevad. Kompressori seismajätmisel rõhk langeb ja klapp laskub klapipesale. Vee läbivool katkeb. Rõhu tõusmisel üle lubatud taseme (14 ata) surub varda külge kinnitatud plaat *25*, varda liikudes allapoole, hoovale *34* ja viib selle alumisse asendisse. Seejuures ühendatakse signaalkella elektriahel ja (kui see on skeemiga ette nähtud) kompressor jääb seisma. Rõhu langemisel tuleb maksimaalrõhu lüliti *32* sisse lülitada käsitsi.

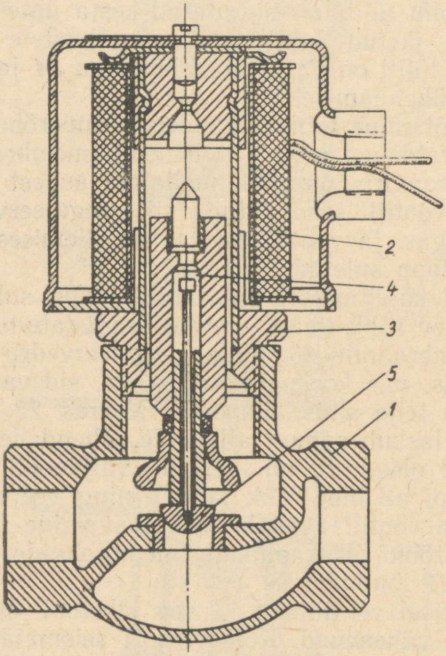
Solenoidventiilid (joon. 202) monteeritakse külmutusseadmete vedeliku- ja auruliinidele ja nende ülesandeks on automatiseerida torustikust läbivoolava külmutusagendi hulka.

Solenoidventiil koosneb kahest põhiosast — sulgventiilist *1* ja solenoidist *2*. Solenoid ühendatakse ventiiliga keermetatud ühendusnipli *3* abil. Solenoidi ankur *4* on ventiili vardaks. Selle otsa on kinnitatud klapp *5*, mis suleb ventiili klapipesa ava. Tavaliselt on need ventiilid suletud, kui solenoidi poolis puudub elektrivool.

Solenoid-sulgventiilidel ei ole tihendkarpe; nad on lekkimis-

kindlad. Solenoidi ankur asetseb külmutusagendiga täidetud õõnes, solenoidi pool aga väljaspool seda õõnt. Solenoidi ankru ja pooli vahele on asetatud mittemagnetilisest rauast õhukeseseinaline toru, mis on ülevalt suletud ja on kinnitatud ventiili kere külge.

Vedeliku või auru juurdeandmine toimub eranditult klapi pealt, sest nende suunamisel klapi alla võib solenoidventiil kaotada sulgemisvõime.



Joon. 202. Solenoidventiil.
1 — ventiili kere, *2* — solenoid, *3* — keermetatud ühendusnippel, *4* — solenoidi ankur, *5* — klapp

Ventiili varras liigub solenoidi mähist läbiva elektrivoolu toimel translatoorselt. Elektrivoolu läbimisel tekib solenoidi mähises magnetväli, mis tõmbab ankru enda poole, kusjuures klapp avaneb tõukega ja avab vedeliku või auru läbivoolu.

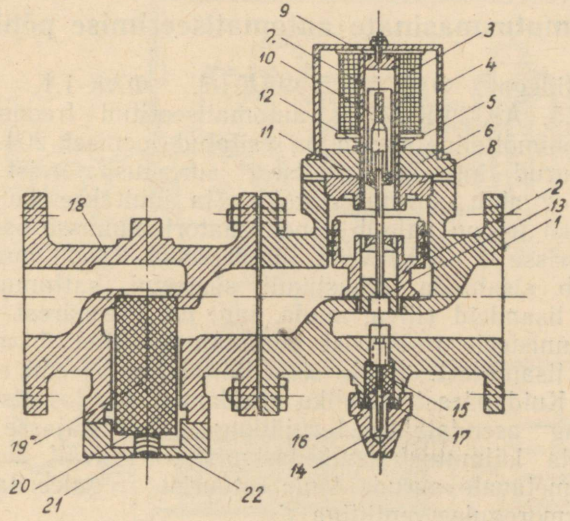
Varda raskuse ning rõhkude vahe tõttu ventiili ees ja taga laskub klapp pärast elektri väljalülitamist pesale.

Solenoidventiil CBP-50 soolalahusele on konstrueeritud ВНИИХИ (Üleliidulise Külmutustööstuse Teadusliku Uurimise Instituudi) poolt ja on ette nähtud selliste automatiseeritud soolalahuse jahutusega külmutusseadmete teenindamiseks, millel on mitu jahutusobjekti. Sõltuvalt lülitusskeemist võib see ventiil

avada ja sulgeda soolalahuseliinid impulsi mõjul, mille annab kontrollaparaat (temperatuurirelee jt.). Seda ventiili võib üles seada ka automaatse sulgventiilina veeliinidele.

Solenoidventiilil CBP-50 (joon. 203) on kere *1*. Kere külge on kinnitatud kest *4*. Kesta sees asetseb mähis *3*, mis on surutud vedruga *5* kesta ülemise otsa vastu. Vedru toetub äärikule *6*, mis on ka kogu mähise aluseks.

Mähise sees on mittemagnetilisest terasest toru *7*. Selle alumine osa on keevitatud ketta *8* külge. Toru ülemise otsa külge



Joon. 203. Solenoidventiil CBP-50 soolalahusele.
1 — kere, *2* — kolbklapp, *3* — mähis, *4* — kest, *5* — vedru, *6* — äärik, *7* — toru, *8* — ketas, *9* — tugi, *10* — südamik, *11* — ühendustoru, *12* — varras, *13* — ühendustoru, *14* — kruvi, *15* — tihendkarp, *16* — kuppel, *17* — tihend, *18* — filtri kere, *19* — sõel, *20* — ketas, *21* — vedru, *22* — kaas.

on keevitatud tugi *9*. Torus liigub südamik *10*, millel on pikuti kolm soont elektrikadude vähendamiseks. Südamiku alumises osas on ühendustoru *11*. Südamiku sisse käib sulgvarda ülemise osa pea *12*. See varras suleb kolbklapi *2* ühendustoru *13* abiava. Kere alumises osas on kruvi *14* ventiili avamiseks käsitsi. Kruvi on toodud välja läbi tihendkarbi *15* ja see on kaetud kupliga *16*. Ventiilil on filter, mis koosneb kerest *18*, mille sees on sõel *19*. Sõela alumine ots on kaetud kettaga *20*. Ketta ja filtri põhja *22* vahel on vedru *21*. Ühenduskohad on tihendatud tihendvahelehtedega.

Solenoidventiil CBP-50 töötab järgmiselt. Voolu juhtimisel mähisesse *3* tekib selles magnetvoog, mis tõmbab südamiku *10* solenoidi sisse. Südamik tõstab sulgvarda *12* üles ning avab sellega klapi ühendustoru *13*. Kolbklapi peal olev ruum

ühendatakse klapi all oleva ruumiga. Rõhk kolbklapi peal alaneb ja seepärast tõuseb see soolalahuse survel ülespoole. Ventiil avaneb. Seega kolbklapi avanemine toimub läbivoolava vedeliku energia arvel.

Voolu väljalülitamisel langeb südamik *10* ja sulgvarras *12* alla ning ühendustoru *13* abiava sulgub. Mõne aja pärast kolvi peal olev rõhk tasakaalustub ventiili sisse voolava soolalahuse rõhuga. Kolb langeb alla ja suleb ventiili.

§ 60. Külmutusmasinate automatiseerimise põhiskeemid

Agregaatidega ФАК-06, ФАК-07, ФАК-1,1, ФАК-1,5, АК-2ФВ-3/1,5, АК-2ФВ-3/5 jt. automatiseeritud freoonkülmutusseadmete põhimõtteline skeem on esitatud joonisel 204.

Freooniaurud imetakse ribilisest aurustuspatareist *8* välja kompressori *2* abil, surutakse kokku ja juhitakse kondensaatorisse *3*. Vedel freoon valgub kondensaatori alumisse ossa ja seejärel ressiivrisse *4*. Ressiivrist liigub vedel freoon aurustajasse. Freoon võib sisaldada juhuslikult süsteemi sattunud vett ja mehaanilisi lisandeid (liiva, muda, tagi jt.). Seepärast asetatakse freooni liikumisteele ressiivrist aurustajasse filter *5*, mis puhastab freooni lisanditest. Peale selle lülitatakse skeemi enne filtrit ka kuivati. Kuid pärast vedeliku eraldamist see tavaliselt eemaldatakse ning asendatakse torujätkuga. Aurustajasse tarviliku hulga vedela külmutusfreooni laskmist, sõltuvalt kompressori poolt väljaimetavate aurude temperatuurist, reguleeritakse automaatselt termoreguleerventiiliga *6*.

Ventiili tundel *7* on paigutatud tihedalt vastu auru ülekuumendi *9* toru või, kui see puudub, siis vastu aurustuspatarei toru.

Kui freooni andmine aurustajasse on puudulik, siis tõuseb aurude temperatuur nende ülekuumenemise tõttu. Samaaegselt soojeneb freoon ka tundlas. Sellest tõuseb rõhk tundlas, mis põhjustab ventiili läbivooluava avanemise, suurendades ühtlasi aurustajasse antava vedela freooni hulka.

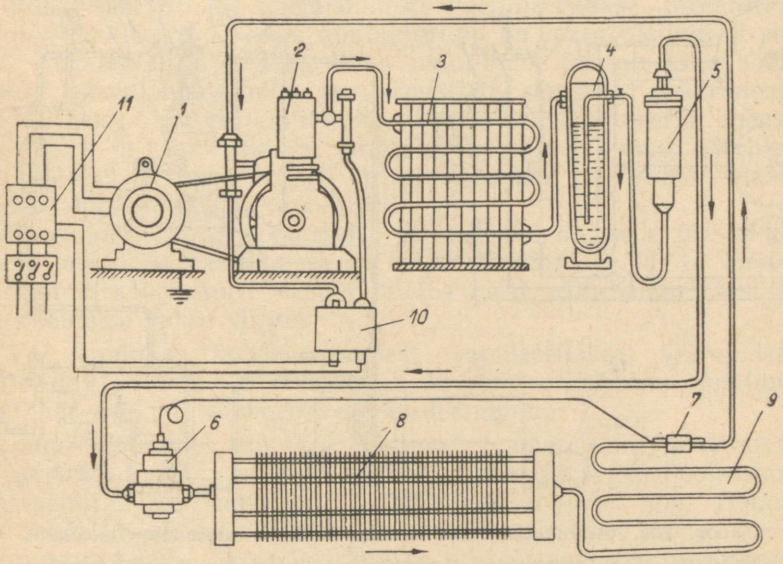
Kui temperatuur jahutatavas objektis langeb, suureneb ülekuumenduse temperatuur ja ventiili läbivooluava läheb koomale. Selliselt säilitab termoreguleerventiil automaatselt freooniaurude pideva ülekuumenemise aurustuspatareis ja järelikult ka määratud kindla temperatuuri jahutatavas objektis.

Patareidest imetakse freooniaurud uuesti kompressorisse. Agregaatides АК-2ФВ-5/3, АК-2ФВ-6/3, АК-2ФВ-8/4 on ette nähtud vesijahutusega kondensaator. Seepärast on kondensaatorile monteeritud veereguleerventiil. Ventiili stutser ühendatakse surveliiniga ja, sõltuvalt kondenseerimisrõhu kõikumisest, suurendab või vähendab ventiil jahutusvee andmist kondensaatorisse.

Freooniaurude rõhku imemis- ja surveliinides reguleeritakse surveregulaatoriga (РД-1) *10*.

Surverelee kontaktgrupp on lülitatud elektrimootori *1* magnetkäiviti *11* pooli ahelasse.

Kui rõhk imemis- ja surveliinides kindlaksmääratud piirväärtustest kõrvale kaldub, siis lülitab surverelee vastavalt elektrimootori ja sellega ka kompressori, kas välja või töösse.



Joon. 204 Freoonkülmutusseadmete automatiseerimine.

1 — elektrimootor, *2* — kompressor, *3* — kondensaator, *4* — ressiiver, *5* — filterkuivati, *6* — termoreguleerventiil, *7* — tundel, *8* — aurustaja, *9* — auru ülekuumendi, *10* — surverelee, *11* — magnetkäiviti.

Magnetkäivitil on soojusrelee, mis elektrimootori ülekoormuse korral voolu automaatselt välja lülitab.

Jahutatava objekti temperatuur hoitakse vastavates piirides perioodiliste käivitamiste ja seiskamiste teel. Töötsükkel koosneb töötamisest ja seisakutest.

Külmutusseadme koormusastme määramiseks võetakse tarvitusele tööaja koefitsiendi mõiste.

Tööaja koefitsient on töötamisaja suhe kogu tsükli ajaga.

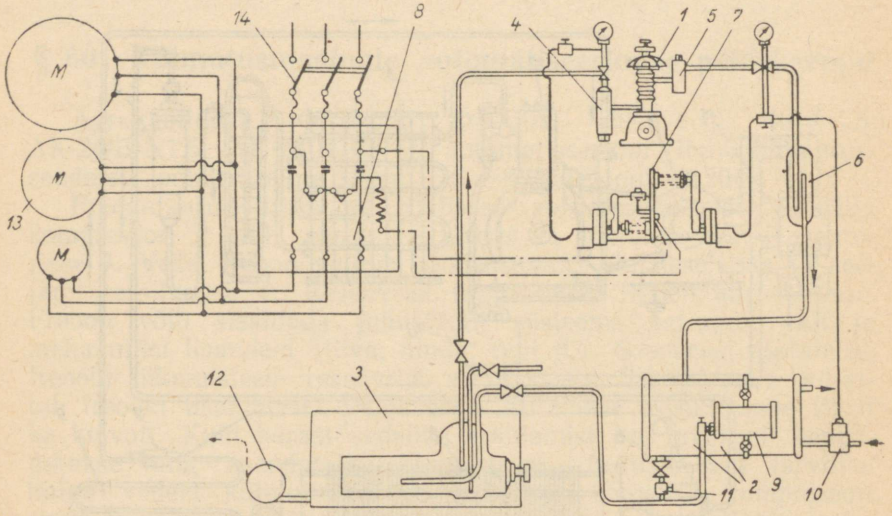
Tööaja koefitsiendi suurus määrab jahutatavasse objekti juurdevoolava soojuse ja masina külmatootlikkuse suhte.

Tsükli tööosa suurusele avaldavad suurt mõju selle ruumi temperatuuri ja ekspluatatsiooni tingimused, milles asetseb jahutatav objekt.

Ruumi temperatuuri tõusuga suureneb töötamisaeg ja väheneb

seisakute aeg, s. o. suureneb tööaja koefitsient. Külmutusseadme töötamise igasugused häired kutsuvad esile tööaja koefitsiendi suurenemise.

Seadme sellist tsüklilist tööd juhib surverelee koosseisu kuuluv pressostaat. Jahutatavas objektis muutub temperatuuri muutumisel ka imemisrõhk. Pressostaat, reageerides nendele muutustele, käivitab või seiskab kompressori.



Joon. 205. Automatiseeritud ammoniaakkülmutusseadme skeem.

1 — kompressor, *2* — kondensaator, *3* — aurustaja, *4* — sõel, *5* — tagasilöögiklapp ДАК-1, *6* — õlieraldaja, *7* — pressostaat-manokontroller ПМ-1, *8* — magnetkäiviti П-222, *9* — kõrgrõhu ujuk-reguleerventiil ПРВ-ВД, *10* — veereguleerventiil ВРВ-2, *11* — reguleerventiil, *12* — soolalahuse pump, *13* — elektrimootor, *14* — pealüliti.

Automaatne külmutusseade külmatootlikkusega 10 000 kcal tunnis. Seadme automatiseerimise skeem on esitatud НИИТОП poolt. Selle skeemi järgi automatiseeritakse ainult ammoniaaksüsteem (joon. 205) ja seepärast tuleb seda vaadata kui osalise automatiseerimise skeemi.

Ammoniaagi aurud suunduvad kompressorist *1* läbi tagasilöögiklapi *5* ja õlieraldaja *6* kondensaatorisse *2*. Tagasilöögiklapp ei lase ammoniaagiaurusid (kompressori seismajätmisel) kondensaatorist aurustajasse tagasi voolata ja hoiab sellega ära seadme asjatuid töösse lülitamisi. Vedel ammoniaak suundub läbi kõrgrõhu ujuk-reguleerventiili ПРВ-ВД *9* aurustajasse. Kõrgrõhu ujuk-reguleerventiil ПРВ-ВД monteeritakse kompressori alusele kondensaatori vahetusse lähedusse ja on eraldatud kondensaatorist kahe sulgventiiliga. Reguleerventiil ПРВ-ВД reguleerib vedela ammoniaagi juurdevoolu aurustajasse. Kompressori töötamisel vedela ammoniaagi tase aurustajas langeb, kondensaatoris

aga tõuseb. See põhjustab ammoniaagi taseme tõusu ka ujukiruumis, kusjuures ujuk tõustes avab läbivoolu aurustajasse suunduvas vedela ammoniaagi liinis. Kui ammoniaagi tase kondensaatoris alaneb, siis ventiil sulgub. Reguleerventiili ПРВ-ВД rikke korral reguleeritakse ammoniaagi voolu aurustajasse reguleerventiili *11* abil. Aurustajas toimub ammoniaagi aurustamine soolalahusega soojusvahetuse arvel. Ammoniaagi aurud imetakse ära kompressori poolt.

Rõhku surve- ja imemisliinides reguleeritakse pressostaatmanokontrolleriga *7*. Selle kontaktgrupp on magnetkäiviti *8* pooliga ühendatud järjestikku. Rõhu muutumine kutsub esile kompressori, soolalahusepumba ja aurustajate segistite elektrimootorite *13* sisse- või väljalülitamise. Pressostaat reguleerib imemisrõhu piire ja ammoniaagi aurumistemperatuuri ning järelikult ka soolalahuse temperatuuri. Manokontroller kontrollib maksimaalset lubatud rõhku surveliinis.

Magnetkäivitil on soojusrelee ja seega ei ole selle ülesandeks ainult mootorite käivitamine ja väljalülitamine, vaid ta kaitseb neid ka ülekoormamise eest, lülitades need välja pinge languse või kadumise puhul võrgus.

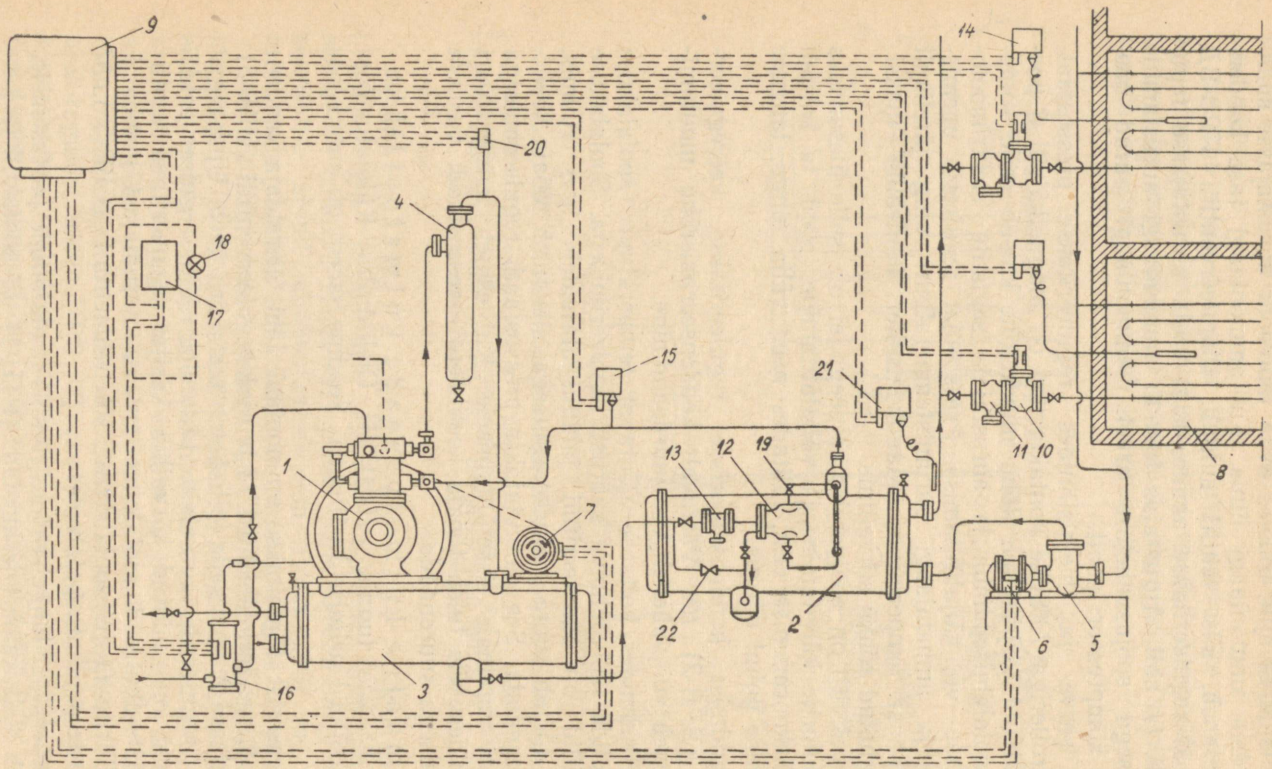
Vee andmist kondensaatorisse reguleeritakse veereguleerventiiliga (BPB-2) *10*. Vastavalt kondenseerimisrõhu muutumisele suureneb või väheneb vee juurdeandmine.

Jahutusruumides hoitakse nõutavat temperatuuri soolalahuse siiberventiilide läbivooluava suuruse reguleerimisega. Soolalahuse siiberventiilid on monteeritud jahutuspatareidele igas ruumis. Kui seade töötab suure soojuskoormusega, siis tuleb tööaja koefitsienti suurendada. See saavutatakse pressostaadi reguleerimisega kompressori varemale sisselülitamisele. Kui esineb temperatuuri tõus ruumides, siis tuleb tööaja koefitsienti pressostaadi vastava reguleerimisega suurendada.

Automaatne külmutusseade külmatootlikkusega 30 000 kcal tunnis. (ВНИХИ Üleliiduline Külmutustööstuse Teadusliku Uurimise Instituut.) Seadme skeem on antud joonisel 206.

Kompressorist *1* juhitakse ammoniaak läbi õlieraldaja kondensaatorisse *3*, seejärel läbi filtri *13* ja ujuk-reguleerventiili (ПРВ-5) *12* aurustajasse *2*, kust selle jälle kompressor ära imeb. Ujuk-reguleerventiil reguleerib aurustaja täitumist. Ujuk-reguleerventiili rikke puhuks on ehitatud kõrvalliin käsitsi reguleeritava ventiiliga *22*. Allajahutatud soolalahus antakse aurustajast pumba *5* abil läbi filtrite *11* ja soolalahuse solenoidventiili (CBP-50) *10* külmkambrite *8* jahutuspatareidesse.

Kui temperatuur langeb mõnes ruumis madalamale piirtasemele, siis lahutab selle kambri termostaat (PTH-1) *14* kontaktid ja katkestab vastavat kambrit soolalahusega toitva solenoidventiili (CBP-50) elektriahela. Ventiil sulgub ja sellega katkestatakse



Joon. 206. Automatiseeritud ammoniaakkülmutusseadme skeem. Seadme külmatootlikkus 30 000 kcal tunnis.

1 — kompressor, *2* — aurustaja, *3* — kondensaator, *4* — õlieraldaja, *5* — pump, *6* — elektrimootor, *7* — elektrimootor, *8* — külmruum, *9* — elektripult, *10* — solenoid-soolalahuse ventiil СВР-50, *11* — filter, *12* — ujuk-reguleerventiil ПРВ-5, *13* — ammoniaagifilter, *14* — termostaat РТН-1, *15* — pressostaat РДН-1, *16* — veereguleerventiil, *17* — helisignaal, *18* — signaallamp, *19* — sulgventiil, *20* — manokontroller РДН-3, *21* — soolalahuse termostaat, *22* — ventiil käsitsi reguleerimiseks.

soolalahuse voolamine selle kambri patareidesse. Kui aga soojuse juurdevoolu arvel temperatuur kambris tõuseb ülempiirini, siis sulguvad kambri termostaadi kontaktid, solenoidventiil avaneb ja soolalahuse voolamine jahutuspatareidesse algab uuesti.

Selle tõttu, et kompressor on arvestatud suuremale külmatootlikkusele, toimub soolalahuse temperatuuri langemine aurustajas intensiivsemalt kui selle soojenemine külmkambrites. See võimaldab teatud aja kestel kambreid jahutada soolalahuses akumuleerunud külma arvel, kui kompressor on välja lülitatud.

Selleks on võetud skeemi soolalahuse termostaat *21*, mis hoiab aurustajast väljuva soolalahuse temperatuuri ettenähtud piirides — vastavalt kambrite kõige madalamale temperatuurile. Kui soolalahuse temperatuur saavutab madalama lubatud taseme, siis soolalahuse termostaadi kontaktid avanevad, elektrimootori magnetkäiviti pool lülitab voolu välja ja kompressor jääb seisma.

Soolalahusepump, pumbates külma soolalahust läbi patareide, kindlustab kambrite edasise jahutamise.

Kui soolalahuse temperatuur tõuseb kõrgemale piirväärtusele, lülitab soolalahuse termostaat kompressori käima.

Soolalahuse temperatuur, mille juures kompressor peab seisma jääma, soovitatakse võtta kõige külmema kambri temperatuurist 12° võrra madalam. Kambrite termostaatide kontaktid on lülitatud pumba magnetkäiviti pooli ahelasse paralleelselt. Seepärast töötab pump seni, kuni on nõutav kas või üheainsa kambri jahutamine. Kui kõik kambrid on nendele ettenähtud temperatuurile alla jahutatud, katkeb pumba töötamine. Ja kui kas või ühes kambris tõuseb temperatuur ülemise reguleeritud piirini, siis termostaadi kontaktid sulguvad, pump pannakse töösse ja solenoidventiil avaneb.

Veereguleerventiil *16* hoiab püsiva kondenseerimisrõhu kõige soodsamal tasemel. Kondenseerimisrõhu langemisel vähendab ventiil vee juurdeandmist ja vastupidi. Seadme kaitsmiseks avariide eest on veereguleerventiil varustatud maksimaalrõhu lülitiga. See on lülitatud kompressori mootori magnetkäiviti pooli elektriahelasse. Komprimeerimisrõhu tõusmisel lülitab see kompressori välja ja annab helisignaali. Kui rõhk langeb normaalsele tasemele, lülitatakse kompressor töösse käsitsi.

Teisteks kaitseaparaatideks on maksimaalrõhu lüliti (РДН-3) *20* ja minimaalrõhu lüliti (РДН-1) *15*. Need on kompressori magnetkäivitiga lülitatud järjestikku.

Maksimaalrõhu lüliti РДН-3 ühendatakse kompressori surveliiniga ja minimaalrõhu lüliti РДН-1 — imemisliiniga.

Kui surverõhk tõuseb üle lubatud taseme, siis paneb maksimaalrõhu lüliti kompressori seisma ja lülitab sisse helisignaali. Juhul aga kui rõhk aurustajas langeb alla lubatud taseme, siis lülitab minimaalrõhu lüliti kompressori välja. Määratud rõhu saavutamisel lülitavad tähendatud aparaadid kompressori automaatselt töösse.

Peale selle on elektrimootorite magnetkäivititel soojusreleed, mis suure ülekoormuse korral kompressori ja soolalahusepumba seisma panevad.

Külmutusseadme juhtimiseks täiendatakse skeemi elektrijuhtimispuldiga ЭП-1 *9*. Seadme elektriskeem võimaldab töötada nii käsitsi kui ka automaatjuhtimisega. Üleminek käsitsi juhtimiselt automaatjuhtimisele toimub spetsiaalse ümberlüliti abil, millel on kaks asendit: «Р» — käsitsi juhtimiseks ja «А» — automaatjuhtimiseks.

XIII peatükk

ABSORBTSIOONMASINAD

§ 61. Absorbtsioonkülmutusmasina töötamise põhimõte

Erinevalt kompressormasinatest, millede töötamine nõuab mehaanilise energia kulu, on absorbtsioonkülmutusmasinate töötamiseks tarvilik mingist väljaspool asetsevast allikast saada soojust (aur, kuum vesi, heitgaasid jt.). Absorbtsioonmasinate erinevuseks on nendes kahe töötamisaine — külmutusagendi ja absorbendi — neelaja kasutamine, mis moodustavad lahuse.

Absorbtsioonkülmutusmasinad (joon. 207) koosnevad järgmistest põhielementidest: keeduaparaadist (generaator), kondensaatorist, aurustaja reguleerventiilist, absorberist (neelaja), pumbast ning nõrga lahuse drosseldamise ventiilist.

Mehaanilist energiat kulutatakse ainult pumba juures segu pumpamiseks.

Keeduaparaat (generaator) on külmutusagendi väljaaurustamiseks kangest lahusest soojuse arvel, mis saadakse mingist soojusallikast.

Väljaaurutamine toimub suhteliselt kõrge temperatuuri ja kõrge rõhu juures.

See protsess vastab aurude väljasurumisele kompressorist. Külmutusagendi aurud suunatakse kondensaatorisse. Väljaaurustuse tagajärjel väheneb lahuse kontsentratsioon.

Kondensaator, aurustaja ja reguleerventiil täidavad samu funktsioone, mis kompressormasinategi juures, ja seepärast võib kasutada ka samu konstruktsioone.

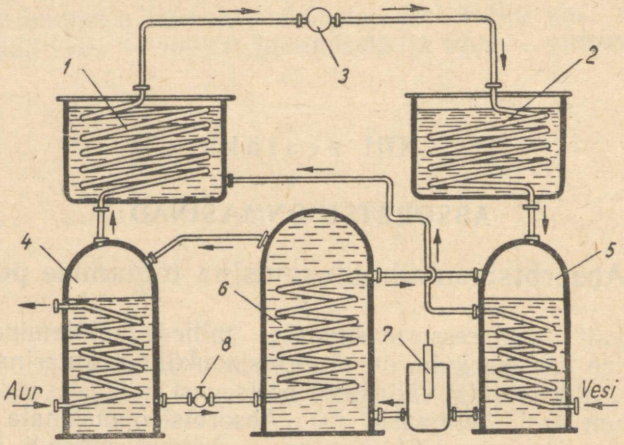
Absorber (neelaja) täidetakse nõrga kontsentratsiooniga lahusega. Selle ülesandeks on madala rõhu juures absorbeerida aurustajast saabuvaid külmutusagendi aure. Absorbeerimisel eralduv soojus eemaldatakse absorberi jahutamisel veega. Absorbeerimise tulemusena lahuse kontsentratsioon tõuseb.

Aurude absorbeerimise protsess absorberis vastab aurude sisseimemisele kompressoris.

Pumba ülesandeks on absorberis saadud madala rõhuga kont-

sentreeritud lahuse pumpamine keeduaparaati. Seejuures ületatakse keeduaparaadi ja absorberi rõhkude vahe.

Lahusepumba töötamise soojusekvivalent on soojuse üldise hulgaga võrreldes sedavõrd väike, et seda ei arvestata.



Joon. 207. Absorbtsioonkülmutusmasina põhimõtteline skeem.

1 — kondensaator, *2* — aurustaja, *3* — reguleerventiil, *4* — keeduaparaat, *5* — absorber, *6* — soojusvahetaja, *7* — pump, *8* — nõrga lahuse reguleerimise ventiil.

Kõik absorbtsioonkülmutusmasina elemendid ühendatakse omavahel torude abil. Seega moodustub kinnine ahel. Selles ahelas toimub külmutusagendi ja oma kontsentratsiooni muutva lahuse ringlemine.

Reguleerventiil drosseldab nõrga lahuse, mis seejärel madaldatud rõhu juures läheb absorberisse, et oma kontsentratsiooni taastada.

Absorbtsioonmasina töö parandamiseks ja ökonoomsuse tõstmiseks täiendatakse selle põhimõttelist skeemi mitmesuguste aparaatidega, nagu soojusvahetajate ja rektifikaatoritega.

Soojusvahetaja on absorberist saabuva kange lahuse eelsoojendamiseks, mis toimub keeduaparaadist tuleva nõrga lahuse jahutamise arvel.

Rektifikaator on külmutusagendi aurude eraldamiseks absorbendi aurudest. Ta monteeritakse keeduaparaadi järele.

Kokkuhoiu eesmärgil kasutatakse absorberi jahutamiseks tihti värske vee asemel kondensaatorist väljuvat vett.

Lihtsa absorbtsioonmasina skeem on kujutatud joonisel 207.

Keeduaparaadis eralduvad kange lahuse kuumutamisel külmutusagendi aurud. Seejuures jääb rõhk püsima, muutub aga temperatuur. Keeduaparaadist suunatakse aur kondensaatorisse. Vedel külmutusagent, kui ta on drosseldatud reguleerventiilis, keeb aurus-

tajas. Protsessid, mis toimuvad absorbtsioonmasina nendes osades, on analoogilised kompressormasinas toimuvate protsessidega.

Aurustajast pöörduvad külmutusagendi aurud madala temperatuuri ja vastava rõhu juures tagasi absorberisse. Nõrk lahus absorbeerib siin aurud, kusjuures absorbent jahutatakse veega.

Seejuures moodustuv kange lahus suunatakse pumba abil keeduaparaati külmutusagendi väljaaurustamiseks ning selle asemele antakse absorberisse nõrka lahust keeduaparaadist. Rõhu alandamiseks drosseldatakse nõrka lahust läbi reguleerventiili. Keeduaparaat on ühendatud absorberiga soojusvahetaja kaudu.

§ 62. Absorbtsioonmasina termodünaamilised alused

Nagu eespool oli öeldud, toimub absorbtsioonkülmutusmasinas ringprotsess lahuse abil, mis koosneb kahest või isegi kolmest ainest (komponendist).

See lahus võib olla aurukujulises, vedelas või tahkes agregaatolekus.

Kaaluline kontsentratsioon kujutab endast külmutusagendi kaalu suhet lahuse kaaluga.

Lahuse kaaluline kontsentratsioon võrdub

$$\xi_{ka} = \frac{G_{ka}}{G_{ka} + G_{abs}} \text{ kg/kg}, \qquad (1)$$

kus G_{ka} ja G_{abs} on külmutusagendi ja absorbendi kaal kilogrammides.

Lahuse termodünaamilised omadused erinevad suuresti lihtainete omadustest. Absorbtsioonkülmutusmasinates kasutatakse selliseid lahuseid, mille komponentidel on ühe ja sama rõhu juures suuresti erinev keemistemperatuur.

Madala keemistemperatuuriga komponent on külmutusagendiks, kõrgema keemistemperatuuriga komponent — absorbendiks.

Erinevalt lihtainest, mille keemisrõhu ja -temperatuuri vahel on kindel suhe, võivad lahusel olla antud rõhu juures mitmesugused keemistemperatuurid, sõltuvalt lahuse kontsentratsioonist.

Lahuse keemisel tekkival aurul on lahusega võrdne temperatuur, kuid kontsentratsioon on aurufaasil täiesti erinev.

Keemisel eraldub lahusest hulgalisemalt see komponent, millel on madalam keemistemperatuur, s. o. külmutusagent. Mida suurem on antud rõhu juures külmutusagendi ja absorbendi keemistemperatuuride vahe, seda vähem on aurus absorbenti.

Vedela lahuse iseärasuseks on ka võime absorbeerida madalama temperatuuriga aurusid sama rõhu juures.

Absorbtsioonmasinates kasutatavatel külmutusagentidel peavad

olema samad omadused kui kompressormasinate külmutusagentidelgi.

Absorbendid ja lahused peavad vastama järgmistele põhinõuetele:

a) külmutusagent peab absorbeeruma küllaldase kiirusega;
b) absorbendi keemistemperatuur peab olema tunduvalt kõrgem külmutusagendi keemistemperatuurist. See tagab külmutusagendi aurudes väiksema absorbendiaurude sisalduse.

Kõige sagedamini kasutatakse vee ja ammoniaagi lahuseid, milles ammoniaak on külmutusagendiks ja vesi absorbendiks.

Aurustudes keeduaparaadis on ammoniaagiaurudes alati mõningal hulgal veeauru, mis eemaldatakse rektifikaatori abil.

Lahuse ringlemine toimub järgmiselt.

Pump annab absorberist keeduaparaati G kg lahust tunnis kontsentratsiooniga ξ_k. Samal ajal aurab lahusest keeduaparaadis juurdeantud soojusenergia arvel D kg auru tunnis, mille kontsentratsioon on ξ_a ja mis koosneb peaaegu puhtast ammoniaagist.

Keeduaparaati jäänud nõrk lahus, koguses $(G—D)$ kg ja kontsentratsiooniga ξ_n, suunatakse sama aja vältel läbi reguleerventiili absorberisse.

Aurustajast läheb üle absorberisse D kg auru tunnis, kontsentratsiooniga ξ_a, mis absorbeerub nõrgas lahuses; moodustub uuesti kange lahus, kontsentratsiooniga ξ_k koguses G kg tunnis.

See lahus antakse pumba abil tagasi keeduaparaati.

Järelikult tuleb kujunenud olukorras keeduaparaadi jaoks täita järgmine materjali bilansi tingimus:

$$G \cdot \xi_k = (G - D)\xi_n + D \cdot \xi_a.$$

Kange lahuse hulga vahekord keeduaparaadist saadava 1 kg auruga määrab ringlemiste arvu ja seda väljendatakse võrrandiga:

$$f = \frac{G}{D} = \frac{\xi_a - \xi_n}{\xi_k - \xi_n}. \qquad (2)$$

Väärtust $(\xi_k - \xi_n)$ nimetatakse degaseerimistsooniks. Valemist (2) nähtub, et ringlemiste arv väheneb degaseerimistsooni suurenemisega.

Absorbtsioonkülmutusmasina töötamise protsessis saadakse soojusenergiat juurde keeduaparaati ja aurustajasse ning seda tuleb juurde ka pumba töötamise soojusekvivalendi arvel. Rööbiti sellega toimub soojuse eemaldamine kondensaatoris ja absorberis. Tasakaalu püsimiseks süsteemis peab saadud soojushulk võrduma äraantud soojushulgaga ja sellest:

$$Q_{gen} + Q_p + Q_a = Q_{kon} + Q_{abs} \text{ kcal tunnis}, \qquad (3)$$

kus Q_{gen} — keeduaparaadis saadud soojushulk;
Q_p — pumba töötamise soojusekvivalent;
Q_a — aurustajas saadud soojushulk;
Q_{kon} — kondensaatoris eemaldatud soojushulk;
Q_{abs} — absorberis eemaldatud soojushulk.

Absorbtsioonmasina efektiivsuse hindamiseks kasutatakse soojuskoefitsienti:

$$\zeta = \frac{Q_a}{Q_s}, \text{ kus } Q_s = Q_{gen} + Q_p. \tag{4}$$

Pumba töötamise soojusekvivalent Q_p on oma suuruselt suhteliselt väike ja selle võib jätta arvestamata.

Suurtes absorbtsioonmasinates on soojuskoefitsient 0,3—0,45 (sõltuvalt keemis- ja kondenseerimistemperatuuridest).

§ 63. Absorbtsioonmasinate tüübid

Peale külmutusseadme, mille printsipiaalset skeemi vaadeldi § 62, kasutatakse külmkappides perioodilise töötamisega masinaid (pumbata) ja difusioonmasinaid (neutraalgaasiga).

Peale nende kasutatakse veel tahke absorbendiga töötavaid absorbtsioonmasinaid.

Üheastmelise kokkusurumisega võib absorbtsioonmasinates saavutada keemistemperatuur kuni −50°.

Absorbtsioonmasina eelis seisab selle teenindamise lihtsuses, sest ainsaks mehhanismiks on vee ja ammoniaagilahuse ringlemise pump.

Absorbtsioonmasinate kasutamine on ökonoomne nendes ettevõtetes, kus tarvitatakse palju soojust ja külma ja kus leidub hulgaliselt läbitöötatud soojust, mida saab kasutada odava soojusallikana.

Kaubandus- ja ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes kasutatakse külmkappide jahutamiseks peamiselt väikesi absorbtsioonmasinaid. Seepärast piirdume siin väikeste perioodilise töötamisega absorbtsioonmasinate ja difusioonmasinate printsipiaalsete skeemide vaatlemisega. Nende masinate soojusallikaks võivad olla elektrisoojenduselemendid, gaasipõletid ja isegi petrooleumsoojendus.

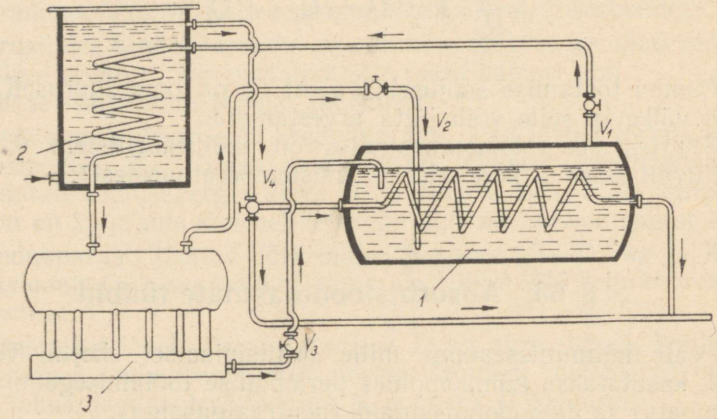
Perioodilise töötamisega absorbtsioonmasinad. Nende iseärasuseks on see, et üks ja sama aparaat täidab vaheldumisi keeduaparaadi ja absorberi funktsioone.

Esimesel perioodil toimub keeduaparaadis-absorberis külmutusagendi väljaaurutamine. Selle tulemusel tekib perioodi lõpuks nõrk lahus. Tekkinud aurud suunatakse kondensaatorisse ja sealt vede-

las olekus aurustajasse, kuhu need ka kogunevad. Seda perioodi nimetatakse laadimisperioodiks.

Pärast vedela külmutusagendi kogunemist aurustajasse algab teine periood.

Vedelik keeb aurustajas ning tekkivad aurud suunatakse keeduaparaati-absorberisse, kus toimub nende absorbeerumine; seejuures peab aparaat jahtuma. Seda perioodi nimetatakse tühjendamisperioodiks.



Joon. 208. Käsitsi ümberlülitatava perioodilise töötamisega absorbtsioonmasina skeem.
1 — keeduaparaat-absorber, *2* — kondensaator, *3* — aurustaja, V_1, V_2, V_3, V_4 — ventiilid.

Seega erinevad perioodilise töötamisega masinates toimuvad protsessid pideva töötamisega masinates toimuvatest protsessidest selle poolest, et pideva töötamisega masinates toimuvad kõik protsessid üheaegselt, kuna aga perioodilise töötamisega masinates väljaaurustumine ja kondenseerumine, aurumine ja absorbeerumine vahelduvad (järgnevad teineteisele).

Sellistel masinatel on väike soojuskoefitsient. See on seletatav sellega, et kange ja nõrga lahuse vahel puudub soojusvahetus ning et iga tsükli puhul enne absorbeerumist kaotatakse paratamatult soojust, mis kulutatakse keeduaparaadi-absorberi soojendamiseks, mida tehakse igal laadimisel uuesti.

Soojuskoefitsiendi tõstmiseks võib suurendada aparaatide mahtu ja vähendada perioodide arvu. Suure külmatootlikkuse saamiseks tuleb seade valmistada väga kogukas. Seepärast on selliseid absorbtsioonmasinaid otstarbekohane kasutada ainult väikese külmatootlikkusega seadmetes. Ühelt perioodilt teisele ümberlülitamine toimub kas käsitsi või automaatselt. Joonisel 208 on kujutatud käsitsi ümberlülitatava perioodilise töötamisega absorbtsioonmasina skeem.

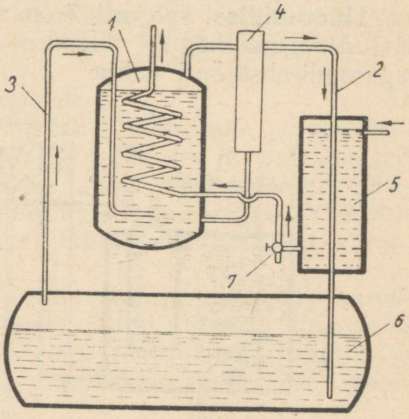
Töötamise algul soojendatakse keeduaparaati-absorberit. Sel perioodil on seadme ventiil V_1 avatud ning tagasivooluliini ventiil V_2 ja kolmikventiil veetorul V_4 suletud. Tekkivad aurud suunatakse kondensaatorisse ja sealt vedelas olekus aurustajasse, kuhu nad kogunevad. Laadimisperioodil, mis vältab 2—2,5 tundi, koguneb aurustajasse selline hulk agenti, mis on küllaldane 10—12 tunni vältel jahutamiseks.

Pärast laadimist lülitatakse soojendus välja, ventiil V_1 suletakse ja avatakse ventiilid V_2 ja V_4.

Aurustajas tekkinud aurud suunatakse vahetult keeduaparaati-absorberisse, kus need allajahtunud lahuse poolt absorbeeritakse.

Seadme puuduseks on selle perioodilise käsitsi ümberlülitamise vajadus vastavalt laadimis- ja tühjendamisperioodidele.

Joonisel 209 on kujutatud masina skeem, millel on ventiilid V_1 ja V_2 asendatud hüdrauliliste lukkudega. Need vesilukud, mis kujutavad endast kõveraid torusid, automatiseerivad auru andmise ümberlülitamisel ühelt perioodilt teisele. Toru *2* üks ots on ühendatud keeduaparaadi-absorberi ülemise osaga, teine ots aga ulatub aurustaja põhja. Torul *3* on vastupidi — üks ots ühendatud aurustaja ülemise osaga, teine ulatub aga keeduaparaadi-absorberi põhja.



Joon. 209. Perioodilise töötamisega vesilukkudega absorbtsioonmasina skeem.

1 — keeduaparaat-absorber, *2* ja *3* — vesilukud, *4* — rektifikaator, *5* — kondensaator, *6* — aurustaja, *7* — kolmikventiil.

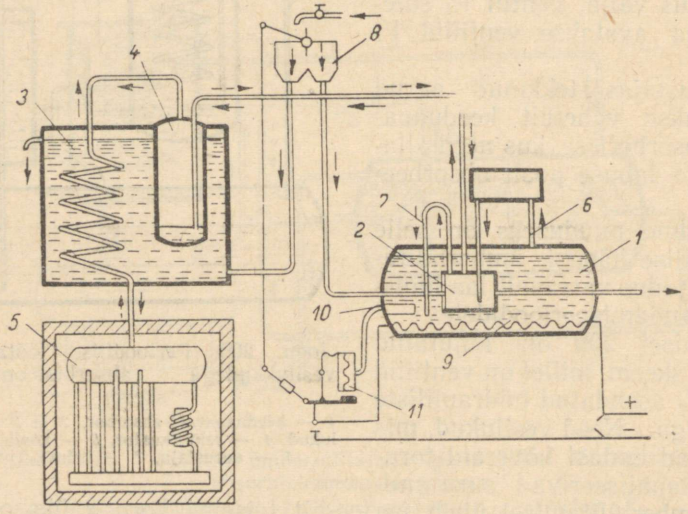
Keeduaparaadi-absorberi soojendamisel väljuvad aurud toru *2* mööda kondensaatorisse ja pärast veeldumist aurustajasse. Jahtumisel liiguvad aurud aurustajast mööda toru *3* keeduaparaati-absorberisse. Sellise konstruktsiooniga hüdraulilistes lukkudes on aurude liikumine võimalik ainult ühes suunas.

Aurustajast vedeliku jäägi kõrvaldamiseks tuleb aurustajat soojendada. Aur ei saa absorberis kiiresti absorbeeruda, seetõttu tõuseb rõhk aurustajas ja aurustajasse jäänud vedelikuhulk surutakse absorberisse mööda toru *2*. Sellise konstruktsiooni puhul osutub liigseks ka ventiil V_4. Seadme töötamiseks tuleb ainult vastavalt laadimis- ja tühjendamisperioodidele sisse ja välja lülitada soojendus- ja jahutusvesi.

Joonisel 210 on antud täielikult automatiseeritud masina skeem. Külmutusagendi aurude andmist reguleeritakse samuti hüdrauliliste lukkudega, nagu see toimus ülalkirjeldatud masina juures, kuid nendel lukkudel on teistsugune konstruktsioon. Mõle-

mad hüdraulilised lukud on keeduaparaadi-absorberi peal ja need on ühenduses erilise reguleerkogujaga, mis on täidetud elavhõbedaga või vee- ja ammoniaagilahusega. Hüdraulilise luku *6* üks toru on ühendatud keeduaparaadi-absorberi ülemise osaga, teine ots aga ulatub reguleernõu põhja.

Hüdraulilisel sulguril *7* on vastupidi — üks toru ots on ühendatud reguleerkoguja ülemise osaga, teine aga ulatub keeduaparaadi-absorberi põhja.



Joon. 210. Automatiseeritud perioodilise töötamisega absorbtsioonmasina skeem.

1 — keeduaparaat-absorber, *2* — reguleerkoguja, *3* — kondensaator, *4* — rektifikaator, *5* — aurustaja, *6* ja *7* — hüdraulilised lukud, *8* — veejagaja, *9* — elektrisoojenduse elemendid, *10* — termostaadi tundel, *11* — termostaat.

Peale keeduaparaadi-absorberi *1* on masina põhilisteks osadeks kondensaator *3* koos vee-eraldajaga *4*, aurustaja *5* ja veejagaja *8*.

Masina kõik osad on omavahel ühendatud torude abil. Veeregulaatorist väljub kaks toru — üks läheb kondensaatorisse, teine aga läbib keeduaparaadi-absorberi ja on selle jahutajaks tühjendamisperioodil.

Veeregulaator koosneb kahest klapiga varustatud lehtrist. Nende abil suunatakse vesi laadimisperioodil kondensaatorisse ja tühjendamisperioodil keeduaparaati-absorberisse. Keeduaparaadi soojendamine toimub elektrisoojenduselementide *9* abil.

Soojenduse automaatseks sisse- ja väljalülitamiseks on keeduaparaadi sisse monteeritud termostaadi tundel *10*. See lülitab soojenduse välja, kui temperatuur tõuseb keeduaparaadis +120°-le, ning samal ajal lülitab ka kangidesüsteemi abil vee ümber keeduaparaati, mis täidab ühtlasi ka absorberi funktsioone.

Masin töötab järgmiselt.

Algul lülitatakse käsilüliti abil sisse soojendus. Soojendamisel eralduvad lahusest külmutusagendi aurud, mis voolavad läbi hüdraulilise luku *6* kogujasse *2* ja seejärel mööda toru veeeraldajasse — rektifikaatorisse *4*.

Aurud läbivad kondensaatori siugtoru, mida jahutatakse veejaotajast *8* saabuva veega. Vedel külmutusagent valgub aurustajasse. Laadimise vältus ööpäevas on ligi 2 tundi. Ülejäänud ajal toimub tühjenemine, s. o. jahutamine.

Tühjenemisprotsess kulgeb järgmiselt.

Nagu ülalpool tähendatud, lülitab termostaat soojenduse välja lahuse temperatuuri tõusmisel +120°-le ja samaaegselt avab veejooksu keeduaparaati. Selleks ajaks lõpeb peaaegu täielikult külmutusagendi väljaaurutamine. Vesi jahutab keeduaparaadis segu ja sellest momendist täidab keeduaparaat absorberi funktsioone.

Ümbritseva keskkonnaga soojusvahetuse arvel toimub aurustajas külmutusagendi auramine. Selle aurud satuvad kõigepealt kondensaatori siugtorusse, seejärel läbi rektifikaatori kogujasse ning sealt läbi hüdraulilise luku 7 absorberisse, kus need absorbeeritakse nõrga lahusega.

Pärast tühjenemise lõppu lülitatakse uuesti sisse soojendus. Seejuures lülitatakse ümber ka veevool kondensaatorisse ja algab laadimisperiood.

Perioodilise masina töötsükkel toimub ilma soojusvahetajata ja seepärast on külmutusmasina koefitsient madal. Masinal, mida jahutatakse 25°-se veega, kõigub soojuskoefitsient 0,2—0,24 piires.

Absorbtsioonmasinate soojendamisel elektriga on suurem elektrienergiakulu kui kompressioonmasinate juures. Seepärast on väikeste absorbtsioonmasinate soojendamine gaasiga ökonoomsem.

Perioodilise töötamisega masinatest on kõige rohkem levinud tahke absorbendiga absorbtsioonmasinad.

Absorbendina kasutatakse mõningaid tahkeid ja poorseid aineid, millel on suur pindala. Aurude sadestumine ja tihenemine nende ainete pinnal erineb keemilisest absorbeerimisest ja seepärast nimetatakse seda absorbtsiooniks.

Selliste masinate eeliseks on see, et tahke absorbendi kasutamine võimaldab saada seadme kondensaatoris ja generaatoris puhta, absorbendi lisandita külmutusagendi. See on seletatav asjaoluga, et tahkel absorbendil, millest soojendamisel eraldub külmutusagent, on partsiaalrõhk väga väike. Rektifitseerimise tarvidus jääb ära, mis lihtsustab seadet.

Absorbendina kasutatakse tavaliselt kaltsiumkloriidi (kloorkaltsiumi) ja külmutusagendina ammoniaaki.

Üks mool kaltsiumkloriidi on võimeline absorbeerima üks, kaks, neli või kaheksa mooli ammoniaaki.

Nelja mooli ammoniaagi absorbeerimisel tekib tetraammoniakaat ($CaCl_2$ $4NH_3$) ja kaheksa mooli absorbeerimisel oktaammoniakaat ($CaCl_2$ $8NH_3$).

Ühend $CaCl_2$ $8NH_3$ vastab ammoniaagi maksimaalsele küllastusele, selles on kaltsiumkloriidi saja kaaluosa kohta seotud 123 kaaluosa ammoniaaki.

Rõhul 16 atm ja temperatuuril +95° laguneb oktaammoniakaat tetraammoniakaadiks ja puhtaks ammoniaagiks järgmise valemi järgi:

$$CaCl_2\ 8NH_3 = 4NH_3 + CaCl_2\ 4NH_3.$$

Temperatuuril +106° laguneb tetraammoniakaat omakorda valemi järgi:

$$CaCl_2\ 4NH_3 = 2NH_3 + CaCl_2\ 2NH_3.$$

Edasine lagundamine ei ole otstarbekohane, sest see toimub juba kõrgetel temperatuuridel, kusjuures ammoniaak võib laguneda. Seega kasutatakse külma saamiseks kaheksast moolist ammoniaagist ära ainult kuus.

Ühe kg kaltsiumkloriidi kohta tuleb ligikaudu 0,92 kg töötavat ammoniaaki.

Absorbeerumine aeglustub tunduvalt küllastumispiirile lähenemisel. Seda arvestades võib eeldada, et ühe kilogrammi kaltsiumkloriidi abil võib toota ainult ligikaudu 170 kcal külma.

Joonisel 211 on kujutatud sellise absorbtsioonmasina põhimõtteline skeem, milles absorbendiks on kaltsiumkloriid. Sellist masinat kasutatakse kuni 60 liitri mahuga kodustes külmkappides.

Generaator *1* kujutab endast poolümmarguse põhjaga silindrilist anumat. Anuma lahtine ots on kaetud äärikuga kaanega. Generaatori sisse on paigutatud metallpadrun, millesse kinnitatakse elektrisoojenduselement. Ruum silindri seinte ja padruni vahel täidetakse kaltsiumkloriidiga.

Generaatori jahutamine absorbeerimisel toimub õhuga. Jahutuspinna suurendamiseks on generaatori välispind ribiline.

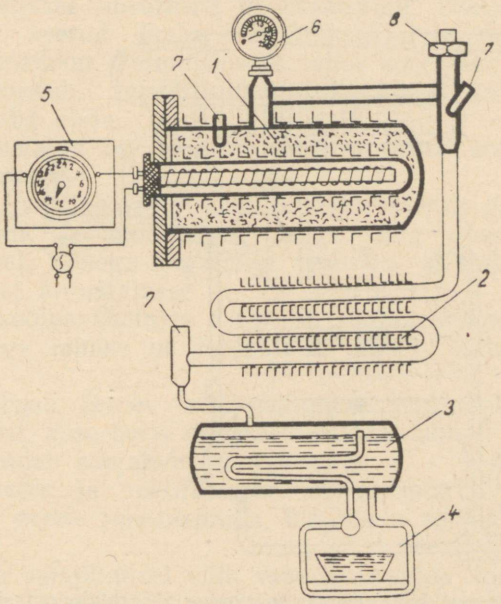
Kondensaator *2* on ehitatud tasapinnalise ribilise siugtoru kujuliselt ja on õhuga jahutatav.

Vedela ammoniaagi kogumiseks on ressiiver *3*. Aurustaja *4* valmistatakse siledatest torudest spiraalse siugtoru kujuliselt. Aurustaja siugtoru üks ots on ühendatud ressiivri alumise osaga ja teine ressiivri sees asuva toru abil siugtoruga. Selle toru ots on tõstetud ressiivri ülemise seinani.

Masina töötamise põhimõte seisab järgmises. Elektrisoojenduselemendi lülitamisel toimub generaatoris oleva oktaammoniakaadi või tetraammoniakaadi soojenemine. Eralduv ammoniaak satub kondensaatorisse, kus ta veeldub. Vedel ammoniaak valgub ressiivrisse ja sealt aurustajasse.

Laadimisperioodil täitub ressiiver vedela ammoniaagiga.

Pärast soojenduselemendi väljalülitamist algab tühjenemisperiood. Aurates aurustajas tekitab ammoniaak külma. Ammoniaagi aurud suunduvad läbi ressiivri kondensaatorisse ja sealt generaatorisse, kus need kaltsiumkloriidiga absorbeeritakse.



Joon. 211. Tahke absorbendiga absorbtsioonmasin.

1 — generaator, *2* — kondensaator, *3* — ressiiver, *4* — aurustaja, *5* — kontaktkell, *6* — manomeeter, *7* — termomeetri hülsid, *8* — täiteventiil.

Laadimisperiood vältab 1,5 tundi, jahutusperiood ligikaudu 6,5 tundi, s. o. ööpäeva kohta tuleb kolm töötsüklit. Elektrisoojenduselemendi sisse- ja väljalülitamiseks kasutatakse kontaktkella *5*.

Võimsuse tarvidus väikestel absorbtsioonmasinatel, mille külmatootlikkus 60 kcal tunnis, on 0,205 kW. Kondenseerimistemperatuuril 30° ja auramistemperatuuril —10° on soojuskoefitsient praktiliselt 0,2.

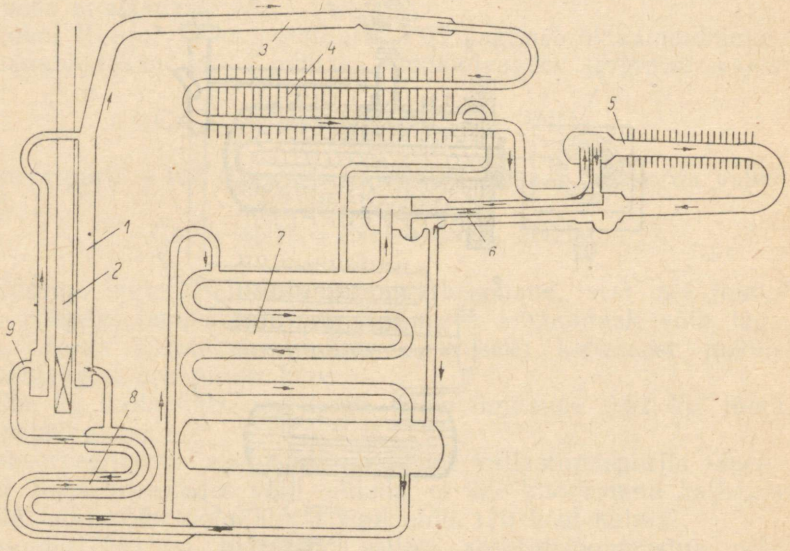
Tahke absorbendiga masina eeliseks on selle konstruktsiooni lihtsus. Kuid töötamise perioodilisus muudab masina selle ekspluatatsioonis vähe ökonoomseks. Kui masinat kasutatakse külmkapi jahutamiseks, monteeritakse generaator, kondensaator ja ressiiver kapi peale, aurustaja aga kapi sisse.

Ressiiver paigutatakse soojusisolatsiooniga karpi.

Pideva töötamisega pumbata absorbtsioonmasinad. Sellised absorbtsioonmasinad (joon. 212) on kõige kohasemad külm-

kappide jaoks. Need töötavad kondensaatoris ja aurustajas ning generaator-keeduaparaadis ja absorberis oleva rõhu tasakaalustamise printsiibil. See on võimalik seetõttu, et absorber täidetakse neutraalse gaasiga (tavaliselt vesinikuga).

Vee ja ammoniaagi lahus soojeneb generaator-keeduaparaadis.



Joon. 212. Pideva töötamisega pumbata absorbtsioonmasina skeem.
1 — generaator-keeduaparaat, *2* — elektrisoojenduselement, *3* — rektifikaator, *4* — kondensaator, *5* — aurustaja, *6* — gaasi-soojusvahetaja, *7* — absorber, *8* — vedeliku-soojusvahetaja, *9* — termosifoon.

Ammoniaagiaurud, läbinud rektifikaatori, satuvad kondensaatorisse. Veeaur kondenseerub rektifikaatoris ja valgub tagasi generaator-keeduaparaati. Kondensaatorist satub vedel ammoniaak aurustajasse, kus aurub ja neelab soojust. Tavaliselt paigutatakse ribitoruaurustaja kapi sisse.

Aurustaja ja absorber on täidetud vesinikuga sel määral, et aurustaja täielik rõhk võrdub kondensaatori rõhuga. Vedela ammoniaagi auramisel difundeeruvad selle aurud vesinikku.

Ammoniaagiaurude partsiaalrõhk on aurustajas madalam kui kondensaatoris. Vesiniku ja ammoniaagi segu on raskem ning valgub gaasi-soojusvahetajasse ja satub sealt absorberisse. Absorberis valgub vesiniku ja ammoniaagi segule vastu allajahutatud vee ja ammoniaagi nõrk lahus, mis suunatakse sinna generaator-keeduaparaadist läbi vedeliku-soojusvahetaja.

Nõrk lahus absorbeerib vesiniku ja ammoniaagi segust ammoniaagi. Vesinik, mis on kergem, vabanedes ammoniaagi aurudest, koguneb absorberi ülemisse ossa ja liigub sealt läbi gaasi-soojusvahetaja tagasi aurustajasse.

Seetõttu et absorberi üldrõhk (vesiniku ja ammoniaagi partsiaalrõhu summa) võrdub generaator-keeduaparaadi rõhuga, on kange lahuse andmiseks absorberist generaatorisse tarvis ainult ületada takistused vedeliku-soojusvahetajas ja torustikus.

Selleks tehakse absorberit generaatoriga ühendavale torustikule mõned keerud ümber elektrisoojenduselemendi. Sellega luuakse termosifoon. Termosifoonis lahus soojeneb ja selle toimel osaliselt aurustub, mistõttu lahus kantakse generaator-keeduaparaati pumba abita.

Soojusvahetajad on võetud skeemi masina soojuskoefitsiendi suurendamiseks.

Gaasi-soojusvahetajas *6* toimub soojusvahetus aurustajast saabuva vesiniku ja ammoniaagi segu ning absorberist tuleva vesiniku vahel. Sellega tagatakse vesiniku allajahutamine enne selle sattumist aurustajasse.

Vedeliku-soojusvahetajas *8* toimub soojusvahetus generaatorist saabuva nõrga lahuse ja absorberist tuleva küllastatud lahuse vahel.

Nõrga lahuse eelnev allajahutamine parandab ammoniaagi absorbeerumist absorberis ning küllastatud lahuse eelnev soojendamine vähendab soojakulu generaatoris.

Kondensaator ja rektifikaator on varustatud ribidega, mis suurendavad nende jahutuspinda, kusjuures soojus eemaldatakse välisõhu abil.

Masina seismajätmisel võib vesinik tungida kondensaatorisse. Vesiniku eemaldamiseks ühendatakse kondensaator vertikaaltoru abil gaasi-soojusvahetajaga. Generaatori soojendamisel suruvad ammoniaagiaurud vesiniku soojusvahetajasse, kust need absorberisse satuvad.

Sellised masinad on töökindlad, sest nendel puuduvad liikuvad osad. Nad töötavad vaikselt ja tarvitavad vähem elektrienergiat kui perioodilise töötamisega absorbtsioonmasinad.

Skeemis analüüsitud masinatega töötavaid külmkappe toodavad Moskva tehas «Gazoaparaat» ja Leningradi Stantsimistehas nr. 2. Kapi maht on 45 liitrit. Kui kapi sisemuse temperatuur on 0° C, siis on masina külmatootlikkus ligikaudu 20 kcal tunnis. Masina maksimaalne energia kulu on 0,12 kW.

LISAD

I. AMMONIAAGI KÜLLASTUNUD AURU TABEL (koostanud I. I. Levin)

t°C	p ata	Vedeliku erimaht v' l/kg	Auru erimaht v'' m³/kg	Vedeliku erikaal γ' kg/l	Auru erikaal γ'' kg/m³	Vedeliku entalpia i' kcal/kg	Auru entalpia i'' kcal/kg	Aurustus-soojus r kcal/kg	Vedeliku entroopia s' kcal/kg°K	Auru entroopia s'' kcal/kg°K	r/T kcal/kg°K	t°C
—50	0,4169	1,4245	2,6250	0,7020	0,3810	46,16	384,73	338,57	0,7830	2,3006	1,5176	—50
—49	0,4421	1,4269	2,4850	0,7008	0,4024	47,15	385,14	337,99	0,7874	2,2956	1,5082	—49
—48	0,4687	1,4293	2,3531	0,6996	0,4250	48,25	385,54	337,29	0,7923	2,2907	1,4984	—48
—47	0,4965	1,4318	2,2298	0,6984	0,4485	49,29	385,95	336,66	0,7969	2,2859	1,4890	—47
—46	0,5257	1,4342	2,1140	0,6973	0,4730	50,36	386,35	335,99	0,8016	2,2811	1,4795	—46
—45	0,5563	1,4367	2,0052	0,6960	0,4987	51,43	386,75	335,32	0,8064	2,2764	1,4700	—45
—44	0,5883	1,4392	1,9032	0,6948	0,5254	52,47	387,14	334,67	0,8109	2,2717	1,4608	—44
—43	0,6218	1,4417	1,8072	0,6936	0,5533	53,53	387,54	334,01	0,8155	2,2671	1,4516	—43
—42	0,6569	1,4442	1,7169	0,6924	0,5824	54,60	387,93	333,33	0,8201	2,2625	1,4424	—42
—41	0,6936	1,4468	1,6319	0,6912	0,6128	55,68	388,32	332,64	0,8247	2,2579	1,4332	—41
—40	0,7319	1,4493	1,5520	0,6900	0,6443	56,72	388,70	331,98	0,8293	2,2535	1,4242	—40
—39	0,7719	1,4519	1,4768	0,6888	0,6771	57,77	389,09	331,32	0,8337	2,2490	1,4153	—39
—38	0,8137	1,4545	1,4058	0,6875	0,7113	58,82	389,47	330,65	0,8382	2,2446	1,4064	—38
—37	0,8574	1,4571	1,3388	0,6863	0,7469	59,91	389,85	329,94	0,8429	2,2403	1,3974	—37
—36	0,9029	1,4597	1,2756	0,6851	0,7839	60,98	390,23	329,25	0,8473	2,2360	1,3887	—36
—35	0,9504	1,4623	1,2160	0,6839	0,8224	62,05	390,60	328,55	0,8518	2,2317	1,3799	—35
—34	0,9998	1,4649	1,1598	0,6826	0,8622	63,09	390,97	327,88	0,8562	2,2275	1,3713	—34
—33	1,0514	1,4676	1,1065	0,6814	0,9038	64,18	391,34	327,16	0,8607	2,2233	1,3626	—33
—32	1,1051	1,4703	1,0561	0,6801	0,9469	65,26	391,71	326,45	0,8652	2,2192	1,3540	—32
—31	1,1609	1,4730	1,0086	0,6789	0,9915	66,31	392,07	325,76	0,8695	2,2151	1,3456	—31
—30	1,2191	1,4747	0,9635	0,6776	1,038	67,40	392,43	325,03	0,8741	2,2111	1,3370	—30
—29	1,2795	1,4784	0,9209	0,6764	1,086	68,46	392,79	324,33	0,8783	2,2070	1,3287	—29
—28	1,3424	1,4811	0,8805	0,6752	1,136	69,54	393,14	323,60	0,8828	2,2031	1,3203	—28
—27	1,4077	1,4839	0,8422	0,6739	1,187	70,61	393,49	322,88	0,8871	2,1991	1,3120	—27
—26	1,4755	1,4867	0,8059	0,6726	1,241	71,68	393,84	322,16	0,8914	2,1952	1,3038	—26
—25	1,5460	1,4895	0,7715	0,6714	1,296	72,77	394,19	321,42	0,8959	2,1914	1,2955	—25
—24	1,6191	1,4923	0,7388	0,6701	1,354	73,84	394,53	320,69	0,9001	2,1875	1,2874	—24
—23	1,6949	1,4951	0,7078	0,6689	1,413	74,91	394,87	319,96	0,9044	2,1837	1,2793	—23
—22	1,7736	1,4980	0,6783	0,6676	1,474	75,99	395,20	319,21	0,9087	2,1800	1,2713	—22
—21	1,8552	1,5008	0,6503	0,6663	1,538	77,07	395,54	318,47	0,9129	2,1762	1,2633	—21
—20	1,9387	1,5037	0,6237	0,6650	1,603	78,15	395,87	317,72	0,9173	2,1726	1,2553	—20

t°C	p ata	Vedeliku erimaht v' 1/kg	Auru erimaht v'' m³/kg	Vedeliku erikaal γ' kg/l	Auru erikaal γ'' kg/m³	Vedeliku entalpia i' kcal/kg	Auru entalpia i'' kcal/kg	Aurustus-soojus r kcal/kg	Vedeliku entroopia s' kcal/kg°K	Auru entroopia s'' kcal/kg°K	r/T kcal/kg°K	t°C
—19	2,0273	1,5066	0,5984	0,6637	1,671	79,23	396,19	316,96	0,9215	2,1689	1,2474	—19
—18	2,1180	1,5096	0,5743	0,6624	1,741	80,31	396,51	316,20	0,9258	2,1653	1,2395	—18
—17	2,2119	1,5125	0,5514	0,6612	1,814	81,39	396,83	315,44	0,9300	2,1617	1,2317	—17
—16	2,3091	1,5155	0,5296	0,6598	1,888	82,48	397,15	314,67	0,9342	2,1581	1,2239	—16
—15	2,4097	1,5185	0,5088	0,6585	1,965	83,57	397,46	313,89	0,9384	2,1546	1,2162	—15
—14	2,5137	1,5215	0,4889	0,6572	2,045	84,65	397,77	313,12	0,9426	2,1511	1,2085	—14
—13	2,6212	1,5245	0,4701	0,6560	2,127	85,74	398,08	312,34	0,9468	2,1476	1,2008	—13
—12	2,7324	1,5276	0,4520	0,6546	2,212	86,84	398,38	311,54	0,9509	2,1441	1,1932	—12
—11	2,8472	1,5307	0,4349	0,6533	2,299	87,92	398,68	310,76	0,9551	2,1407	1,1856	—11
—10	2,9658	1,5338	0,4185	0,6520	2,389	89,01	398,97	309,96	0,9592	2,1373	1,1781	—10
— 9	3,0883	1,5369	0,4028	0,6507	2,483	90,11	399,26	309,15	0,9633	2,1339	1,1706	— 9
— 8	3,2147	1,5400	0,3878	0,6494	2,579	91,21	399,55	308,34	0,9675	2,1306	1,1631	— 8
— 7	3,3452	1,5432	0,3735	0,6480	2,677	92,29	399,83	307,54	0,9716	2,1273	1,1557	— 7
— 6	3,4798	1,5464	0,3599	0,6467	2,779	93,41	400,12	306,71	0,9757	2,1240	1,1483	— 6
— 5	3,6186	1,5496	0,3468	0,6453	2,884	94,50	400,39	305,89	0,9797	2,1207	1,1410	— 5
— 4	3,7617	1,5528	0,3343	0,6440	2,991	95,59	400,66	305,07	0,9838	2,1175	1,1337	— 4
— 3	3,9092	1,5561	0,3224	0,6426	3,102	96,69	400,93	304,24	0,9879	2,1143	1,1264	— 3
— 2	4,0612	1,5594	0,3109	0,6413	3,216	97,79	401,20	303,41	0,9919	2,1111	1,1192	— 2
— 1	4,2179	1,5627	0,3000	0,6399	3,333	98,90	401,46	302,56	0,9959	2,1079	1,1120	— 1
0	4,3791	1,5660	0,2895	0,6386	3,454	100,00	401,72	301,72	1,0000	2,1048	1,1048	0
1	4,5452	1,5694	0,2795	0,6372	3,578	101,10	401,97	300,87	1,0040	2,1017	1,0977	1
2	4,7161	1,5727	0,2698	0,6358	3,706	102,21	402,22	300,01	1,0080	2,0986	1,0906	2
3	4,8920	1,5761	0,2606	0,6345	3,837	103,31	402,46	299,15	1,0120	2,0955	1,0835	3
4	5,0730	1,5796	0,2517	0,6331	3,973	104,44	402,71	298,27	1,0160	2,0924	1,0764	4
5	5,2591	1,5831	0,2433	0,6317	4,110	105,54	402,95	297,41	1,0200	2,0894	1,0694	5
6	5,4505	1,5866	0,2351	0,6303	4,254	106,65	403,18	296,53	1,0239	2,0864	1,0625	6
7	5,6473	1,5901	0,2273	0,6289	4,399	107,77	403,41	295,64	1,0279	2,0834	1,0555	7
8	5,8495	1,5936	0,2198	0,6275	4,550	108,89	403,64	294,75	1,0318	2,0804	1,0486	8
9	6,0573	1,5972	0,2126	0,6261	4,704	110,00	403,85	293,85	1,0359	2,0775	1,0416	9
10	6,2707	1,6008	0,2056	0,6247	4,864	111,12	404,08	292,96	1,0397	2,0745	1,0348	10
11	6,4900	1,6045	0,1990	0,6232	5,025	112,23	404,29	292,06	1,0436	2,0716	1,0280	11
12	6,7151	1,6081	0,1926	0,6219	5,192	113,35	404,49	291,14	1,0475	2,0687	1,0212	12

13	6,9462	1,6118	0,1864	0,6204	5,365	114,47	404,70	290,23	1,0515	2,0659	1,0144	13
14	7,1834	1,6156	0,1805	0,6190	5,540	115,61	404,90	289,29	1,0554	2,0630	1,0076	14
15	7,4267	1,6193	0,1748	0,6176	5,721	116,73	405,10	288,37	1,0593	2,0602	1,0009	15
16	7,6764	1,6231	0,1693	0,6161	5,907	117,86	405,30	287,44	1,0631	2,0574	0,9943	16
17	7,9325	1,6270	0,1641	0,6146	6,094	119,03	405,50	286,47	1,0671	2,0546	0,9875	17
18	8,1950	1,6308	0,1590	0,6132	6,289	120,12	405,67	285,55	1,0709	2,0518	0,9809	18
19	8,4643	1,6347	0,1541	0,6117	6,489	121,25	405,85	284,60	1,0747	2,0490	0,9743	19
20	8,7402	1,6386	0,1494	0,6103	6,693	122,40	406,03	283,63	1,0786	2,0463	0,9677	20
21	9,0230	1,6426	0,1449	0,6088	6,901	123,54	406,20	282,66	1,0824	2,0435	0,9611	21
22	9,3128	1,6466	0,1405	0,6073	7,117	124,70	406,37	281,67	1,0863	2,0408	0,9545	22
23	9,6096	1,6506	0,1363	0,6058	7,337	125,82	406,53	280,71	1,0901	2,0381	0,9480	23
24	9,9136	1,6547	0,1322	0,6043	7,564	126,97	406,70	279,73	1,0939	2,0354	0,9415	24
25	10,225	1,6588	0,1283	0,6028	7,794	128,13	406,85	278,72	1,0977	2,0327	0,9350	25
26	10,544	1,6630	0,1245	0,6013	8,032	129,27	406,99	277,72	1,1016	2,0301	0,9285	26
27	10,870	1,6672	0,1208	0,5998	8,278	130,43	407,16	276,73	1,1053	2,0274	0,9221	27
28	11,204	1,6714	0,1173	0,5983	8,525	131,59	407,30	275,71	1,1091	2,0248	0,9157	28
29	11,545	1,6757	0,1139	0,5968	8,780	132,72	407,43	274,71	1,1129	2,0222	0,9093	29
30	11,895	1,6800	0,1106	0,5952	9,042	133,88	407,56	273,68	1,1166	2,0196	0,9030	30
31	12,252	1,6844	0,1075	0,5937	9,302	135,01	407,68	272,67	1,1203	2,0170	0,8967	31
32	12,618	1,6888	0,1044	0,5921	9,579	136,20	407,81	271,61	1,1242	2,0144	0,8902	32
33	12,992	1,6932	0,1014	0,5906	9,862	137,34	407,92	270,58	1,1279	2,0119	0,8840	33
34	13,374	1,6977	0,0986	0,5890	10,14	138,52	408,04	269,52	1,1317	2,0093	0,8776	34
35	13,765	1,7023	0,0958	0,5874	10,44	139,70	408,14	268,44	1,1354	2,0067	0,8713	35
36	14,164	1,7069	0,0931	0,5859	10,74	140,87	408,25	267,38	1,1392	2,0042	0,8650	36
37	14,572	1,7115	0,0905	0,5843	11,05	142,04	408,35	266,31	1,1429	2,0017	0,8588	37
38	14,989	1,7162	0,0880	0,5827	11,36	143,20	408,43	265,23	1,1467	1,9992	0,8525	38
39	15,415	1,7209	0,0856	0,5811	11,68	144,36	408,49	264,13	1,1503	1,9966	0,8463	39
40	15,850	1,7257	0,0833	0,5795	12,00	145,57	408,57	263,00	1,1541	1,9941	0,8400	40
41	16,294	1,7305	0,0810	0,5779	12,35	146,74	408,65	261,91	1,1578	1,9916	0,8338	41
42	16,747	1,7354	0,0788	0,5762	12,69	147,93	408,73	260,80	1,1614	1,9891	0,8277	42
43	17,210	1,7404	0,0767	0,5746	13,04	149,09	408,78	259,69	1,1650	1,9866	0,8216	43
44	17,683	1,7454	0,0746	0,5729	13,40	150,30	408,82	258,52	1,1689	1,9842	0,8153	44
45	18,165	1,7504	0,0726	0,5713	13,77	151,49	408,87	257,38	1,1726	1,9817	0,8091	45
46	18,657	1,7555	0,0707	0,5696	14,14	152,70	408,90	256,20	1,1763	1,9792	0,8029	46
47	19,159	1,7607	0,0688	0,5680	14,53	153,83	408,91	255,08	1,1798	1,9767	0,7969	47
48	19,672	1,7659	0,0670	0,5663	14,93	155,08	408,93	253,85	1,1836	1,9742	0,7906	48
49	20,194	1,7713	0,0652	0,5646	15,34	156,28	408,95	252,67	1,1873	1,9717	0,7844	49
50	20,727	1,7766	0,0635	0,5629	15,75	157,53	408,95	251,42	1,1910	1,9692	0,7782	50

2. AMMONIAAGI TEOREETILINE MAHULINE

(koostatud I. I. Levini

Keemis-temperatuur °C	Temperatuur enne											
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
—40	178,9	178,1	177,4	176,7	176,0	175,2	174,5	173,8	173,1	172,3	171,6	170,9
—38	198,0	197,2	196,4	195,6	194,8	194,0	193,2	192,4	191,6	190,8	190,0	189,2
—36	218,8	217,9	217,1	216,2	215,3	214,4	213,5	212,6	211,8	210,9	210,0	209,1
34	241,3	240,3	239,4	238,4	237,4	235,6	235,5	234,5	233,5	232,6	231,6	230,6
—32	265,7	264,6	263,6	262,5	261,4	260,4	259,3	258,2	257,2	256,1	255,0	253,9
—30	292,0	290,8	289,7	288,5	287,3	286,1	285,0	283,8	282,6	281,5	280,3	279,1
28	320,3	319,0	317,8	316,5	315,2	313,9	312,6	311,3	310,1	308,8	307,5	306,2
26	350,8	349,4	348,0	346,7	345,2	343,9	342,4	341,0	339,6	338,2	336,8	335,4
—24	383,6	382,1	380,6	379,1	377,5	376,0	374,5	372,9	371,4	369,9	368,3	366,8
—22	418,8	417,2	415,5	413,9	412,2	410,5	408,9	407,2	405,6	403,9	402,2	400,5
—20	456,5	454,8	453,0	451,2	449,4	447,6	445,7	443,9	442,1	440,3	438,5	436,6
—18	496,9	495,0	493,1	491,1	489,1	487,2	485,2	483,2	481,3	479,3	477,3	475,3
—16	540,1	538,0	535,9	533,8	531,6	529,5	527,4	525,2	523,1	521,0	518,8	516,6
—14	586,3	584,0	581,8	579,5	577,1	574,8	572,5	570,1	567,9	565,6	563,2	560,9
—12	535,5	633,1	630,6	628,1	625,6	623,1	620,6	618,0	615,6	613,1	610,6	607,1
—10	687,8	685,2	682,5	679,8	677,1	674,4	671,7	668,9	666,3	663,6	660,9	658,1
—8	743,8	740,9	738,0	735,1	732,2	729,3	726,4	723,4	720,6	717,6	714,7	711,7
—6	803,0	799,9	796,8	793,7	790,5	787,4	784,3	781,0	778,0	774,9	771,7	768,5
—4	866,1	862,8	859,4	856,1	852,7	849,3	845,9	842,4	839,2	835,8	832,4	829,0
—2	932,0	929,5	925,9	922,3	918,6	915,0	911,4	907,6	904,1	900,5	896,8	893,1
0	1003,9	1000,0	996,1	992,2	988,3	984,4	980,5	976,5	972,7	968,8	964,8	960,9
2	1078,9	1074,8	1070,7	1066,5	1062,3	1058,1	1054,0	1049,6	1045,6	1041,4	1037,1	1032,9
4	1158,5	1154,1	1149,6	1145,2	1140,6	1136,2	1131,7	1127,1	1122,7	1118,2	1113,7	1108,1
6	1242,3	1237,6	1232,8	1228,0	1223,2	1218,4	1213,6	1208,6	1204,0	1199,2	1194,3	1189,5
8	1330,8	1325,8	1320,7	1315,6	1310,4	1305,3	1300,2	1294,9	1289,9	1284,8	1279,5	1274,3
10	1424,9	1419,5	1414,1	1408,6	1403,1	1397,6	1392,1	1386,4	1381,1	1375,6	1370,0	1364,5

KÜLMATOOTLIKKUS kcal/m³

tabeli andmetel)

reguleerimisventiili °C

22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
170,1	169,4	168,6	167,9	167,2	166,4	165,7	164,9	164,2	163,5	162,7	161,9	161,2	160,4
188,3	187,5	186,7	185,9	185,1	184,3	183,4	182,6	181,8	181,0	180,2	179,3	178,5	177,7
208,2	207,3	206,4	205,5	204,6	203,7	202,8	201,9	201,0	200,1	199,1	198,3	197,3	196,4
229,6	228,6	227,6	226,6	225,6	224,6	223,7	222,7	221,7	220,7	219,7	218,7	217,7	216,6
252,8	251,8	250,7	249,6	248,5	247,4	246,3	245,2	244,1	243,1	241,9	240,9	239,7	238,6
277,9	276,7	275,5	274,3	273,1	271,9	270,7	269,5	268,3	267,2	265,9	264,8	263,5	262,6
304,9	303,6	302,3	301,0	299,7	298,4	297,0	295,8	294,4	293,2	291,8	290,5	289,2	287,8
334,0	332,6	331,1	329,7	328,3	326,9	325,4	324,0	322,6	321,2	319,7	318,3	316,8	315,3
365,2	363,7	362,2	360,6	359,0	357,5	355,9	354,4	352,8	351,3	349,7	348,1	346,5	344,9
398,8	397,1	395,4	393,7	392,1	390,3	388,6	387,0	385,3	383,6	381,8	380,2	378,4	376,7
438,0	436,2	434,3	432,5	427,4	425,6	423,7	421,9	420,1	418,3	416,3	414,5	412,6	410,7
473,3	471,3	469,3	467,3	465,3	463,3	461,3	459,3	457,3	455,3	453,3	451,2	449,2	447,2
514,4	512,3	510,2	508,0	505,8	503,6	501,4	499,3	497,1	495,0	492,7	490,6	488,3	486,1
558,5	556,2	553,9	551,5	549,2	546,8	544,4	542,1	539,8	537,5	535,0	532,7	530,3	527,9
605,5	603,0	600,5	597,9	595,4	592,8	590,2	587,7	585,2	582,7	580,0	577,5	574,9	572,3
655,4	652,7	649,9	647,2	644,4	641,7	638,9	636,2	633,4	630,7	627,9	625,2	622,3	619,5
708,7	705,9	702,0	699,9	697,0	694,0	691,0	688,1	685,1	682,2	679,1	676,1	673,1	670,1
765,3	762,2	759,0	755,7	752,6	749,3	746,1	743,0	739,8	736,6	733,3	730,1	726,9	723,6
825,5	822,1	818,7	815,2	811,8	808,3	804,9	801,5	798,0	794,6	791,1	787,7	784,1	780,6
892,5	888,9	885,3	881,5	874,7	870,9	867,2	863,6	859,8	856,2	852,4	848,7	844,9	841,1
956,9	953,0	949,1	945,0	941,1	937,1	933,1	929,2	925,2	921,3	917,2	913,2	909,2	905,1
1028,6	1024,5	1020,2	1015,9	1011,7	1007,4	1003,1	998,9	994,6	990,4	986,0	981,8	977,4	973,0
1104,5	1100,1	1095,5	1090,9	1086,4	1081,8	1077,2	1072,7	1067,1	1063,6	1058,8	1054,3	1049,6	1044,9
1184,5	1179,8	1174,9	1169,9	1165,1	1160,1	1155,2	1150,4	1145,5	1140,7	1135,6	1130,8	1125,7	1120,7
1269,1	1264,0	1258,7	1253,5	1248,3	1243,0	1237,7	1232,6	1227,3	1222,2	1216,7	1211,6	1206,2	1200,8
1358,9	1353,4	1347,8	1342,2	1336,6	1331,0	1325,8	1319,8	1314,2	1308,7	1302,9	1297,4	1291,6	1285,9

3. FREOONI-12 KÜLLASTUNUD AURU TABEL (koostanud I. I. Levin)

t°C	T°K	p ata	Vedeliku erimaht v' l/kg	Auru erimaht v'' m³/kg	Vedeliku erikaal γ' kg/l	Auru erikaal γ'' kg/m³	Vedeliku entalpia i' kcal/kg	Auru entalpia i'' kcal/kg	Aurustus-soojus r kcal/kg	Vedeliku entroopia s' kcal/kg °K	Auru entroopia s'' kcal/kg °K
—70	203,1	0,1258	0,6234	1,1259	1,604	0,888	85,84	128,88	42,99	0,94050	1,15219
—69	204,1	0,1341	0,6246	1,0605	1,601	0,943	86,02	128,95	42,93	0,94139	1,15173
—68	205,1	0,1429	0,6258	0,9998	1,598	1,000	86,20	129,06	42,86	0,94230	1,15130
—67	206,1	0,1521	0,6270	0,9437	1,595	1,060	86,39	129,19	42,80	0,94322	1,15087
—66	207,1	0,1618	0,6281	0,8911	1,592	1,122	86,57	129,30	42,73	0,94411	1,15044
—65	208,1	0,1721	0,6289	0,8413	1,590	1,189	86,75	129,41	42,66	0,94500	1,15001
—64	209,1	0,1829	0,6301	0,7954	1,587	1,257	86,94	129,54	42,60	0,94589	1,14961
—63	210,1	0,1941	0,6313	0,7528	1,584	1,328	87,12	129,65	42,53	0,94678	1,14920
—62	211,1	0,2059	0,6325	0,7125	1,581	1,403	87,31	129,77	42,46	0,94769	1,14883
—61	212,1	0,2183	0,6337	0,6749	1,578	1,482	87,50	129,89	42,39	0,94858	1,14844
—60	213,1	0,2315	0,6349	0,6394	1,575	1,564	87,68	130,00	42,32	0,94946	1,14806
—59	214,1	0,2451	0,6361	0,6064	1,572	1,649	87,87	130,12	42,25	0,95034	1,14769
—58	215,1	0,2595	0,6373	0,5752	1,569	1,738	88,06	130,24	42,18	0,95122	1,14731
—57	216,1	0,2744	0,6386	0,5461	1,566	1,831	88,25	130,36	42,11	0,95212	1,14698
—56	217,1	0,2900	0,6394	0,5188	1,564	1,927	88,44	130,48	42,04	0,95300	1,14663
—55	218,1	0,3065	0,6406	0,4930	1,561	2,028	88,63	130,59	41,96	0,95387	1,14627
—54	219,1	0,3236	0,6418	0,4687	1,558	2,134	88,82	130,71	41,89	0,95474	1,14595
—53	220,1	0,3414	0,6431	0,4461	1,555	2,242	89,01	130,83	41,82	0,95561	1,14562
—52	221,1	0,3602	0,6443	0,4246	1,552	2,355	89,20	130,95	41,75	0,95650	1,14531
—51	222,1	0,3797	0,6456	0,4043	1,549	2,473	89,39	131,06	41,67	0,95737	1,14500
—50	223,1	0,3999	0,6468	0,3854	1,546	2,595	89,59	131,18	41,59	0,95824	1,14468
—49	224,1	0,4212	0,6481	0,3673	1,543	2,723	89,78	131,30	41,52	0,95910	1,14438
—48	225,1	0,4432	0,6493	0,3504	1,540	2,854	89,97	131,42	41,45	0,95997	1,14410
—47	226,1	0,4662	0,6502	0,3344	1,538	2,990	90,17	131,54	41,37	0,96084	1,14381
—46	227,1	0,4900	0,6515	0,3193	1,535	3,132	90,36	131,65	41,29	0,96170	1,14352
—45	228,1	0,5150	0,6527	0,3050	1,532	3,279	90,56	131,77	41,21	0,96256	1,14324

t°C	T °K	p ata	Vedeliku erimaht v' l/kg	Auru erimaht v'' m³/kg	Vedeliku erikaal γ' kg/l	Auru erikaal γ'' kg/m³	Vedeliku entalpia i' kcal/kg	Auru entalpia i'' kcal/kg	Aurustus-soojus r kcal/kg	Vedeliku entroopia s' kcal/kg°K	Auru entroopia s'' kcal/kg°K
—44	229,1	0,5409	0,6540	0,2914	1,529	3,432	90,76	131,89	41,13	0,96342	1,14297
—43	230,1	0,5678	0,6553	0,2787	1,526	3,588	90,95	132,01	41,06	0,96428	1,14271
—42	231,1	0,5958	0,6566	0,2665	1,523	3,752	91,15	132,13	40,98	0,96515	1,14247
—41	232,1	0,6247	0,6579	0,2551	1,520	3,920	91,35	132,24	40,89	0,96600	1,14220
—40	233,1	0,6551	0,6592	0,2441	1,517	4,097	91,55	132,36	40,81	0,96685	1,14193
—39	234,1	0,6865	0,6605	0,2337	1,514	4,279	91,75	132,48	40,73	0,96770	1,14170
—38	235,1	0,7189	0,6618	0,2239	1,511	4,466	91,95	132,60	40,65	0,96855	1,14146
—37	236,1	0,7523	0,6631	0,2146	1,508	4,660	92,15	132,72	40,57	0,96941	1,14124
—36	237,1	0,7875	0,6645	0,2057	1,505	4,862	92,35	132,83	40,48	0,97026	1,14101
—35	238,1	0,8238	0,6658	0,1973	1,502	5,069	92,55	132,95	40,40	0,97110	1,14078
—34	239,1	0,8610	0,6671	0,1894	1,499	5,280	92,76	133,07	40,31	0,97194	1,14055
—33	240,1	0,9000	0,6684	0,1818	1,496	5,501	92,96	133,19	40,23	0,97278	1,14034
—32	241,1	0,9400	0,6698	0,1747	1,493	5,724	93,16	133,30	40,14	0,97364	1,14014
—31	242,1	0,9818	0,6711	0,1678	1,490	5,960	93,37	133,43	40,06	0,97448	1,13993
—30	243,1	1,0245	0,6725	0,1613	1,487	6,200	93,57	133,54	39,97	0,97532	1,13975
—29	244,1	1,0688	0,6739	0,1551	1,484	6,447	93,78	133,66	39,88	0,97616	1,13954
—28	245,1	1,1149	0,6752	0,1492	1,481	6,702	93,98	133,77	39,79	0,97699	1,13934
—27	246,1	1,1622	0,6766	0,1436	1,478	6,964	94,19	133,90	39,71	0,97783	1,13917
—26	247,1	1,2109	0,6780	0,1382	1,475	7,236	94,40	134,01	39,61	0,97867	1,13899
—25	248,1	1,2616	0,6793	0,1331	1,472	7,513	94,61	134,13	39,52	0,97950	1,13879
—24	249,1	1,3140	0,6807	0,1282	1,469	7,800	94,81	134,24	39,43	0,98033	1,13862
—23	250,1	1,3678	0,6821	0,1235	1,466	8,097	95,02	134,36	39,34	0,98116	1,13845
—22	251,1	1,4227	0,6835	0,1190	1,463	8,403	95,23	134,47	39,24	0,98200	1,13829
—21	252,1	1,4805	0,6854	0,1147	1,459	8,718	95,44	134,59	39,15	0,98283	1,13814
—20	253,1	1,5396	0,6868	0,1107	1,456	9,034	95,65	134,71	39,06	0,98365	1,13798
—19	254,1	1,6005	0,6882	0,1067	1,453	9,372	95,87	134,83	38,96	0,98448	1,13783
—18	255,1	1,6627	0,6897	0,1030	1,450	9,709	96,08	134,95	38,87	0,98531	1,13768
—17	256,1	1,7275	0,6911	0,09938	1,447	10,06	96,29	135,06	38,77	0,98614	1,13753
—16	257,1	1,7940	0,6925	0,09597	1,444	10,42	96,50	135,17	38,67	0,98696	1,13738
—15	258,1	1,8622	0,6940	0,09268	1,441	10,79	96,72	135,29	38,57	0,98778	1,13723
—14	259,1	1,9321	0,6954	0,08952	1,438	11,17	96,93	135,40	38,47	0,98860	1,13709
—13	260,1	2,0050	0,6973	0,08650	1,434	11,56	97,15	135,52	38,37	0,98942	1,13695

t°C	T°K	p ata	Vedeliku erimaht v' l/kg	Auru erimaht v'' m³/kg	Vedeliku erikaal γ' kg/l	Auru erikaal γ'' kg/m³	Vedeliku entalpia i' kcal/kg	Auru entalpia i'' kcal/kg	Aurustus-soojus r kcal/kg	Vedeliku entroopia s' kcal/kg °K	Auru entroopia s'' kcal/kg °K
—12	261,1	2,0793	0,6988	0,08361	1,431	11,96	97,36	135,63	38,27	0,99025	1,13682
—11	262,1	2,1555	0,7003	0,08082	1,428	12,37	97,58	135,75	38,17	0,99107	1,13668
—10	263,1	2,2342	0,7018	0,07813	1,425	12,80	97,80	135,87	38,07	0,99188	1,13657
— 9	264,1	2,3148	0,7032	0,07558	1,422	13,23	98,02	135,98	37,96	0,99270	1,13644
— 8	265,1	2,3984	0,7047	0,07313	1,419	13,68	98,23	136,09	37,86	0,99351	1,13633
— 7	266,1	2,4833	0,7062	0,07078	1,416	14,13	98,45	136,20	37,75	0,99432	1,13620
— 6	267,1	2,5712	0,7077	0,06852	1,413	14,60	98,67	136,32	37,65	0,99514	1,13609
— 5	268,1	2,6602	0,7092	0,06635	1,410	15,08	98,89	136,43	37,54	0,99595	1,13598
— 4	269,1	2,7531	0,7107	0,06427	1,407	15,57	99,11	136,54	37,43	0,99676	1,13586
— 3	270,1	2,8479	0,7127	0,06226	1,403	16,07	99,33	136,65	37,32	0,99757	1,13575
— 2	271,1	2,9439	0,7143	0,06028	1,400	16,59	99,56	136,77	37,21	0,99839	1,13566
— 1	272,1	3,0446	0,7158	0,05844	1,397	17,11	99,78	136,88	37,10	0,99919	1,13555
0	273,1	3,1465	0,7173	0,05667	1,394	17,65	100,00	136,99	36,99	1,00000	1,13546
+ 1	274,1	3,2511	0,7189	0,05496	1,391	18,20	100,22	137,10	36,88	1,00081	1,13535
2	275,1	3,3583	0,7205	0,05330	1,388	18,76	100,45	137,21	36,76	1,00161	1,13524
3	276,1	3,4676	0,7220	0,05168	1,385	19,35	100,67	137,32	36,65	1,00242	1,13515
4	277,1	3,5804	0,7241	0,05012	1,381	19,95	100,90	137,43	36,53	1,00322	1,13506
5	278,1	3,6959	0,7257	0,04863	1,378	20,56	101,12	137,54	36,42	1,00402	1,13497
6	279,1	3,8135	0,7273	0,04721	1,375	21,18	101,35	137,65	36,30	1,00483	1,13488
7	280,1	3,9348	0,7289	0,04583	1,372	21,82	101,58	137,76	36,18	1,00563	1,13480
8	281,1	4,0582	0,7310	0,04450	1,368	22,47	101,80	137,86	36,06	1,00643	1,13471
9	282,1	4,1853	0,7326	0,04323	1,365	23,13	102,03	137,97	35,94	1,00723	1,13462
10	283,1	4,3135	0,7342	0,04204	1,362	23,79	102,26	138,08	35,82	1,00803	1,13455
11	284,1	4,4466	0,7358	0,04086	1,359	24,48	102,49	138,18	35,69	1,00883	1,13446
12	285,1	4,5828	0,7380	0,03970	1,355	25,19	102,72	138,29	35,57	1,00963	1,13439
13	286,1	4,7209	0,7396	0,03858	1,352	25,92	102,95	138,39	35,44	1,01042	1,13430
14	287,1	4,8621	0,7413	0,03751	1,349	26,66	103,18	138,49	35,31	1,01122	1,13422
15	288,1	5,0076	0,7435	0,03648	1,345	27,41	103,42	138,61	35,19	1,01201	1,13414
16	289,1	5,1550	0,7452	0,03547	1,342	28,19	103,65	138,70	35,05	1,01281	1,13407
17	290,1	5,3067	0,7468	0,03449	1,339	28,99	103,88	138,81	34,93	1,01361	1,13400
18	291,1	5,4605	0,7491	0,03354	1,335	29,87	104,12	138,91	34,79	1,01440	1,13392
19	292,1	5,6172	0,7507	0,03263	1,332	30,65	104,35	139,01	34,66	1,01519	1,13385

t°C	T°K	p ata	Vedeliku erimaht v' l/kg	Auru erimaht v'' m³/kg	Vedeliku erikaal γ' kg/l	Auru erikaal γ'' kg/m³	Vedeliku entalpia i' kcal/kg	Auru entalpia i'' kcal/kg	Aurustus-soojus r kcal/kg	Vedeliku entroopia s' kcal/kg °K	Auru entroopia s'' kcal/kg °K
20	293,1	5,7786	0,7524	0,03175	1,329	31,50	104,59	139,12	34,53	1,01598	1,13378
21	294,1	5,9432	0,7547	0,03089	1,325	32,38	104,82	139,21	34,39	1,01678	1,13372
22	295,1	6,1112	0,7570	0,03005	1,321	33,28	105,06	139,31	34,25	1,01757	1,13364
23	296,1	6,2825	0,7587	0,02925	1,318	34,19	105,29	139,40	34,11	1,01835	1,13356
24	297,1	6,4584	0,7605	0,02848	1,315	35,11	105,53	139,50	33,97	1,01914	1,13350
25	298,1	6,6363	0,7628	0,02773	1,311	36,07	105,77	139,61	33,84	1,01993	1,13344
26	299,1	6,8175	0,7645	0,02700	1,308	37,04	106,01	139,70	33,69	1,02072	1,13337
27	300,1	7,0020	0,7669	0,02629	1,304	38,04	106,25	139,79	33,54	1,02151	1,13329
28	301,1	7,1933	0,7692	0,02560	1,300	39,06	106,49	139,89	33,40	1,02229	1,13322
29	302,1	7,3863	0,7710	0,02494	1,297	40,10	106,73	139,98	33,25	1,02307	1,13315
30	303,1	7,5810	0,7734	0,02433	1,293	41,11	106,97	140,08	33,11	1,02387	1,13310
31	304,1	7,7826	0,7758	0,02371	1,289	42,18	107,21	140,16	32,95	1,02465	1,13301
32	305,1	7,9897	0,7782	0,02309	1,285	43,31	107,45	140,25	32,80	1,02543	1,13294
33	306,1	8,2003	0,7800	0,02250	1,282	44,45	107,69	140,34	32,65	1,02620	1,13286
34	307,1	8,4087	0,7825	0,02192	1,278	45,62	107,94	140,43	32,49	1,02699	1,13280
35	308,1	8,6264	0,7849	0,02136	1,274	46,81	108,18	140,51	32,33	1,02778	1,13273
36	309,1	8,8475	0,7874	0,02083	1,270	48,01	108,43	140,61	32,18	1,02856	1,13266
37	310,1	9,0726	0,7893	0,02030	1,267	49,25	108,67	140,69	32,02	1,02934	1,13258
38	311,1	9,2989	0,7918	0,01980	1,263	50,51	108,92	140,77	31,85	1,03011	1,13250
39	312,1	9,5351	0,7943	0,01931	1,259	51,79	109,16	140,85	31,69	1,03089	1,13243
40	313,1	9,7707	0,7968	0,01882	1,255	53,13	109,41	140,94	31,53	1,03167	1,13236
41	314,1	10,014	0,7994	0,01835	1,251	54,49	109,66	141,02	31,36	1,03246	1,13229
42	315,1	10,257	0,8019	0,01789	1,247	55,90	109,91	141,10	31,19	1,03324	1,13222
43	316,1	10,511	0,8045	0,01744	1,243	57,34	110,16	141,18	31,02	1,03400	1,13212
44	317,1	10,763	0,8071	0,01700	1,239	58,83	110,41	141,25	30,84	1,03478	1,13204
45	318,1	11,023	0,8104	0,01656	1,234	60,38	110,66	141,33	30,67	1,03556	1,13197
46	319,1	11,283	0,8130	0,01614	1,230	61,95	110,91	141,40	30,49	1,03634	1,13188
47	320,1	11,553	0,8157	0,01573	1,226	63,57	111,16	141,47	30,31	1,03712	1,13180
48	321,1	11,828	0,8190	0,01533	1,221	65,24	111,41	141,54	30,13	1,03788	1,13170
49	322,1	12,108	0,8217	0,01494	1,217	66,94	111,66	141,60	29,94	1,03865	1,13161
50	323,1	12,386	0,8244	0,01459	1,213	68,56	111,91	141,66	29,75	1,03943	1,13151

4. FREOONI-12 MAHULISE KÜLMATOOTLIKKUSE TABEL kcal/m³

(I. I. Levini tabelite andmetel)

Keemis-temperatuur °C	Temperatuur enne reguleerimisventiili °C									
	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5
—70	23,6	23,1	22,6	22,1	21,6	21,0	20,5	20,0	19,5	18,9
—67,5	27,6	27,1	26,5	25,9	25,3	24,6	24,0	23,4	22,8	22,2
—65	32,3	31,6	30,9	30,2	29,5	28,8	28,1	27,4	26,7	26,0
—62,5	37,5	36,7	35,9	35,1	34,3	33,5	32,7	31,9	31,0	30,2
—60	43,4	42,5	41,6	40,7	39,7	38,8	37,9	37,0	36,0	35,1
—57,5	50,0	49,0	47,9	46,9	45,9	44,8	43,7	42,7	41,6	40,5
—55	57,5	56,3	55,1	53,9	52,7	51,5	50,3	49,1	47,9	46,7
—52,5	65,8	64,4	63,1	61,8	60,4	59,0	57,7	56,3	54,9	53,6
—50	75,0	73,5	72,0	70,5	69,0	67,5	65,9	64,4	62,8	61,3
—47,5	85,3	83,6	82,0	80,3	78,5	76,8	75,1	73,3	71,6	69,8
—45	96,8	94,9	93,0	91,0	89,1	87,2	85,2	83,3	81,3	79,3
—42,5	109,4	107,2	105,1	103,0	100,8	98,6	96,5	94,3	92,1	89,9
—40	123,3	120,9	118,6	116,2	113,8	111,3	108,9	106,5	104,0	101,6
—37,5	138,6	136,0	133,3	130,7	128,0	125,3	122,6	119,9	117,1	114,4
—35	155,5	152,6	149,7	146,7	143,7	140,8	137,8	134,7	131,7	128,6
—32,5	173,8	170,6	167,3	164,0	160,7	157,4	154,1	150,8	147,4	144,0
—30	193,9	190,3	186,7	183,1	179,5	175,8	172,2	168,4	164,7	161,0
—27,5	215,7	211,7	207,8	203,8	199,8	195,8	191,7	187,6	183,5	179,4
—25	239,4	235,1	230,7	226,4	221,9	217,5	213,1	208,6	204,1	199,5
—22,5	265,1	260,3	255,6	250,8	245,9	241,1	236,2	231,2	226,3	221,4
—20	293,1	287,9	282,7	277,4	272,1	266,8	261,4	256,0	250,6	245,2
—17,5	323,6	317,9	312,2	306,4	300,6	294,8	288,9	283,0	277,1	271,1
—15	356,4	350,1	343,9	337,6	331,2	324,9	318,5	312,0	305,6	299,1
—12,5	391,7	384,9	378,0	371,2	364,3	357,4	350,4	343,4	336,3	329,3
—10	430,2	422,8	415,3	407,9	400,4	392,8	385,3	377,6	369,9	362,2
— 7,5	471,0	462,9	455,2	446,8	438,6	430,4	422,2	413,8	405,5	397,2
— 5	515,0	506,3	497,5	488,8	479,9	470,8	462,1	453,1	444,0	435,0
— 2,5	562,3	552,8	543,3	533,9	524,2	514,6	505,0	495,2	485,4	475,6
0	612,8	602,6	592,4	582,1	571,7	561,3	550,9	540,3	529,7	519,1
+ 2,5	667,0	655,9	644,9	633,8	622,6	611,4	600,1	588,7	577,3	565,8
+ 5	725,5	713,6	701,6	689,7	677,6	665,4	653,3	641,0	628,6	616,3
+ 7,5	787,0	774,2	761,3	748,5	735,4	722,4	709,3	696,0	682,8	669,5
+10	852,0	838,2	824,5	810,7	796,6	782,6	768,6	754,3	740,0	725,7

5. NAATRIUMKLORIIDI LAHUSE FÜÜSIKALISED OMADUSED

Erikaal temperatuuril 15° C	Baumè kraadid temperatuuril 15° C	Soolasisaldus %		Külmumistemperatuur °C	Soojusmahutavus kcal/kg °C					Soojusjuhtivus kcal/mh°C				
		lahuses	100 osa vee kohta		0	—5	—10	—15	—20	0	—5	—10	—15	—20
1,00	0,1	0,1	0,8	0,0	1,001	—	—	—	—	0,500	—	—	—	—
1,01	1,6	1,5	1,5	—0,9	0,973	—	—	—	—	0,497	—	—	—	—
1,02	3,0	2,9	3,0	—1,8	0,956	—	—	—	—	0,495	—	—	—	—
1,03	4,3	4,3	4,5	—2,6	0,941	—	—	—	—	0,493	—	—	—	—
1,04	5,7	5,6	5,9	—3,5	0,947	—	—	—	—	0,491	—	—	—	—
1,05	7,0	7,0	7,5	—4,4	0,914	—	—	—	—	0,489	—	—	—	—
1,06	8,3	8,3	9,0	—5,4	0,901	0,900	—	—	—	0,487	0,470	—	—	—
1,07	9,6	9,6	10,8	—6,4	0,889	0,888	—	—	—	0,485	0,468	—	—	—
1,08	10,8	11,0	12,3	—7,5	0,878	0,876	—	—	—	0,482	0,466	—	—	—
1,09	12,0	12,3	14,0	—8,6	0,867	0,866	—	—	—	0,480	0,464	—	—	—
1,10	13,2	13,6	15,7	—9,8	0,857	0,856	0,855	—	—	0,478	0,462	—	—	—
1,11	14,4	14,9	17,5	—11,0	0,848	0,847	0,845	—	—	0,476	0,460	0,446	—	—
1,12	15,6	16,2	19,3	—12,2	0,839	0,838	0,836	—	—	0,474	0,458	0,444	—	—
1,13	16,7	17,5	21,2	—13,6	0,830	0,829	0,828	—	—	0,472	0,457	0,442	—	—
1,14	17,8	18,8	23,1	—15,1	0,822	0,821	0,819	0,817	—	0,470	0,455	0,440	0,427	—
1,15	18,9	20,0	25,0	—16,6	0,814	0,813	0,811	0,809	—	0,468	0,453	0,438	0,426	—
1,16	20,0	21,2	26,9	—18,2	0,806	0,805	0,803	0,801	—	0,466	0,451	0,436	0,424	—
1,17	21,05	22,4	29,0	—20,0	0,798	0,797	0,796	0,795	0,793	0,465	0,449	0,435	0,422	0,410
1,175[1]	21,1	23,1	30,1	—21,2	0,795	0,794	0,793	0,792	0,790	0,464	0,448	0,434	0,421	0,409
1,18	22,1	23,7	31,1	—17,2	0,791	0,790	0,789	0,788	—	0,463	0,447	0,433	0,420	—
1,19	23,1	24,9	33,1	—9,5	0,784	0,783	—	—	—	0,461	0,446	—	—	—
1,20	24,2	26,1	35,3	—1,7	0,778	—	—	—	—	0,459	—	—	—	—
1,203[2]	24,4	26,3	35,7	0,0	0,776	—	—	—	—	0,459	—	—	—	—

[1] Eutektiline lahus
[2] Üleküllastunud lahus

6. KALTSIUMKLORIIDI LAHUSE FÜÜSIKALISED OMADUSED

Erikaal temperatuuril 15° C	Baumé kraadid temperatuuril 15° C	Soolasisaldus %		Külmumistemperatuur °C	Soojusmahutavus kcal/kg °C				
		lahuses	100 osa vee kohta		0	—10	—20	—30	—40
1,00	0,1	0,1	0,1	0,0	1,003	—	—	—	—
1,05	7,0	5,9	6,3	— 3,0	0,915	—	—	—	—
1,10	13,2	11,5	13,0	— 7,1	0,836	—	—	—	—
1,15	18,9	16,8	20,2	—12,7	0,770	0,764	—	—	—
1,16	20,0	17,8	21,7	—14,2	0,758	0,753	—	—	—
1,17	21,1	18,9	23,3	—15,7	0,747	0,742	—	—	—
1,18	22,1	19,9	24,9	—17,4	0,737	0,731	—	—	—
1,19	23,1	20,9	26,5	—19,2	0,727	0,721	—	—	—
1,20	24,2	21,9	28,0	—21,2	0,717	0,711	0,705	—	—
1,21	25,1	22,8	29,6	—23,3	0,708	0,702	0,696	—	—
1,22	26,1	23,8	31,2	—25,7	0,700	0,694	0,688	—	—
1,23	27,1	24,7	32,9	—28,3	0,692	0,686	0,680	—	—
1,24	28,0	25,7	34,6	—31,2	0,685	0,679	0,673	0,667	—
1,25	29,0	26,6	36,2	—34,6	0,678	0,672	0,666	0,660	—
1,26	29,9	27,5	37,9	—38,6	0,671	0,665	0,659	0,653	—
1,27	30,8	28,4	39,7	—43,6	0,664	0,658	0,652	0,646	0,640
1,28	31,7	29,4	41,6	—50,1	0,658	0,652	0,646	0,640	0,634
1,286[1]	32,2	29,9	42,7	—55,0	0,654	0,648	0,642	0,636	0,630
1,29	32,5	30,3	43,5	—50,6	0,651	0,645	0,639	0,633	0,627
1,30	33,4	31,2	45,4	—41,6	0,645	0,639	0,633	0,627	0,621
1,31	35,1	32,1	49,3	—27,1	0,639	0,633	0,626	—	—
1,32	34,2	33,0	47,3	—33,9	0,633	0,627	0,620	0,620	—
1,33	35,9	33,9	51,3	—21,2	0,627	0,621	0,614	—	—
1,34	36,7	34,7	53,2	—15,6	0,621	0,615	—	—	—
1,35	37,5	35,6	55,3	—10,2	0,616	0,609	—	—	—
1,36	38,3	36,4	57,4	— 5,1	0,610	—	—	—	—
1,37[2]	39,1	37,3	59,5	— 0,0	0,604	—	—	—	—

[1] Eutektiline lahus
[2] Üleküllastunud lahus

7. NAATRIUMKLORIIDI LAHUSE ERIKAALU SÕLTUVUS KONTSENTRATSIOONIST JA TEMPERATUURIST

(võetud prof. T s õ d z i k i raamatust «Külmutusmasinad ja -aparaadid»)

Soolasisaldus lahuses %	—20°	—10°	0°	10°	20°	30°
5			1,03820	1,03659	1,03405	1,03074
6			1,04590	1,04403	1,04131	1,03786
7			1,05361	1,05150	1,04860	1,04503
8			1,06133	1,05900	1,05594	1,05225
9			1,06909	1,06654	1,06332	1,05951
10			1,07686	1,07411	1,07074	1,06682
11			1,08467	1,08173	1,07821	1,07417
12			1,09251	1,08939	1,08572	1,08158
13			1,10039	1,09709	1,09329	1,08904
14			1,10830	1,10483	1,10090	1,09656
15		1,11945	1,11626	1,11262	1,10857	1,10413
16		1,12765	1,12427	1,12047	1,11630	1,11177
17		1,13588	1,13232	1,12838	1,12409	1,11946
18		1,14415	1,14041	1,13634	1,13193	1,12722
19		1,15246	1,14857	1,14436	1,13984	1,13504
20		1,16082	1,15678	1,15244	1,14782	1,14293
21		1,16923	1,16505	1,16058	1,15586	1,15089
22		1,17770	1,17337	1,16880	1,16397	1,15891
23	1,19044	1,18622	1,18176	1,17707	1,17215	1,16702
24		1,19480	1,19022	1,18542	1,18040	1,17519
25			1,19874	1,19383	1,18873	1,18344

8. KALTSIUMKLORIIDI LAHUSE ERIKAALU SÕLTUVUS KONTSENTRATSIOONIST JA TEMPERATUURIST

(Võetud prof. Tsõdziki raamatust «Külmutusmasinad ja -aparaadid»)

Soolasisaldus lahuses %	—30°	—20°	—10°	0°	10°	20°	30°
5				1,0488	1,0425	1,0402	1,0369
6				1,0528	1,0513	1,0489	1,0456
7				1,0619	1,0602	1,0577	1,0544
8				1,0710	1,0691	1,0664	1,0629
9				1,0802	1,0781	1,0753	1,0718
10				1,0895	1,0872	1,0843	1,0808
11				1,0989	1,0964	1,0934	1,0899
12				1,1083	1,1056	1,1025	1,0993
13				1,1178	1,1150	1,1117	1,1079
14				1,1274	1,1244	1,1210	1,1172
15			1,1396	1,1371	1,1340	1,1304	1,1261
16			1,1496	1,1469	1,1438	1,1399	1,1357
17			1,1597	1,1568	1,1534	1,1495	1,1451
18			1,1698	1,1667	1,1632	1,1592	1,1548
19			1,1801	1,1768	1,1731	1,1690	1,1645
20			1,1904	1,1869	1,1831	1,1788	1,1742
21		1,2046	1,2010	1,1972	1,1932	1,1889	1,1844
22		1,2150	1,2114	1,2075	1,2033	1,1989	1,1942
23		1,2260	1,2221	1,2180	1,2137	1,2092	1,2045
24		1,2369	1,2328	1,2285	1,2240	1,2194	1,2146
25		1,2481	1,2437	1,2392	1,2346	1,2299	1,2251
26	1,2634	1,2590	1,2545	1,2499	1,2452	1,2403	1,2354
27	1,2749	1,2703	1,2656	1,2608	1,2559	1,2510	1,2460
28	1,2868	1,2818	1,2768	1,2718	1,2668	1,2617	1,2567
29	1,2981	1,2930	1,2879	1,2828	1,2777	1,2725	1,2674
30	1,3098	1,2045	1,2933	1,2940	1,2888	1,2835	1,2783

SISUKORD

Eessõna 3

I peatükk. **Termodünaamika alused ja tööprotsessid külmutusmasinates** 5

§ 1. Jahutuse füüsikalised alused 5
§ 2. Carnot' pöördringprotsess 7
§ 3. Auruga töötava kompressioonkülmutusmasina ringprotsess . 10
§ 4. Auruga töötava külmutusmasina teoreetilise tööringprotsessi arvutus 15
§ 5. Kompressori tegelik tööprotsess 21
§ 6. Kompressori võimsus ja energeetilised tegurid 24
§ 7. Külmatootlikkuse muutumine, «normaalsed» töötingimused, külmatootlikkuse ümberarvutus 26
§ 8. Mitmeastmelised kompressorid 29

II peatükk. **Külmutusagendid ja külmakandjad** 34
§ 9. Külmutusagentidele esitatavad nõuded 34
§ 10. Külmutusagentide omadused 36
§ 11. Külmakandjad 41

III peatükk. **Külmutusmasinate kompressorid** 46
§ 12. Kolbkompressorite klassifikatsioon 46
§ 13. Horisontaalsed ammoniaagikompressorid 50
§ 14. Vertikaalsed ammoniaagikompressorid 67
§ 15. Nurkasetuses silindritega kompressorid 85
§ 16. Freoonikompressorid 89
§ 17. Väikeste külmutusmasinate kompressorid 95
§ 18. Kolbkompressori põhiparameetrite määramine 107
§ 19. Rotatsioonkompressorid 109
§ 20. Turbokompressorid 112

IV peatükk. **Soojusläbikanne külmutusseadme aparaatides** . . . 115
§ 21. Soojusläbikande põhivõrrandid 116
§ 22. Soojusülekanne siledates ja ribilistes torudes 119
§ 23. Keskmine temperatuuride vahe 123
§ 24. Vedelikkude, aurude ja gaaside soojusülekanne 126

V peatükk. **Kondensaatorid** 129
§ 25. Soojusläbikanne kondensaatorites 129
§ 26. Kondensaatorite konstruktsioonid 132
§ 27. Kondensaatori arvutus 149

VI peatükk. **Aurustajad** 154
§ 28. Soojusülekanne aurustajates 155
§ 29. Soolalahuse aurustajate ehitus 156

§ 30. Väikeste külmutusmasinate aurustajad 163
§ 31. Aurustaja arvutus 167
§ 32. Külmutuskambrite patareid 168

VII peatükk. **Õhujahutajad** 174
§ 33. Õhujahutajate tüübid ja konstruktsioonid 174
§ 34. Õhujahutajate arvutused 179
§ 35. Õhukonditsioneerijad 185

VIII peatükk. **Jäägeneraatorid** 187
§ 36. Jäägeneraatorid jääplokkide valmistamiseks 187
§ 37. Jäägeneraator silindrikujulise jää valmistamiseks . . . 193
§ 38. Aurustajad-jäägeneraatorid 195
§ 39. Jäägeneraatorite arvutus 196

IX peatükk. **Külmutusseadmete abiaparaadid ja armatuur** . . . 198
§ 40. Õlieraldajad ja õlikogujad 198
§ 41. Ressiivrid 201
§ 42. Vedelikueraldajad, soojusvahetajad ja vaheanumad . . . 203
§ 43. Sõel 205
§ 44. Õhueraldajad 207
§ 45. Sulgarmatuur 208
§ 46. Torustik ja selle ühendused 215
§ 47. Manomeetrid 218
§ 48. Soolalahuse pumbad 220
§ 49. Ventilaatorid 223

X peatükk. **Ammoniaak- ja soolalahuse külmutusseadmete skeemid** 227
§ 50. Vahetu aurustamisega ammoniaakkülmutusseadme skeem . 227
§ 51. Soolalahuse süsteem 231
§ 52. Härmatise ja õli kõrvaldamine 235

XI peatükk. **Külmutusagregaadid ja väikesed külmutusseadmed** . 239
§ 53. Kompressor-kondensaatoragregaadid 239
§ 54. Masinkülmutusega kapid 250
§ 55. Kokkumonteeritavad külmkambrid 258
§ 56. Letid ja letivitriinid 262
§ 57. Seadmed jäätise müümiseks 265

XII peatükk. **Külmutusmasinate automatiseerimine** 269
§ 58. Külmutusmasinate automatiseerimise tähtsus 269
§ 59. Automatiseerimisseadmed 270
§ 60. Külmutusmasinate automatiseerimise põhiskeemid . . . 294

XIII peatükk. **Absorbtsioonmasinad** 301
§ 61. Absorbtsioonkülmutusmasina töötamise põhimõte . . . 301
§ 62. Absorbtsioonmasina termodünaamilised alused 303
§ 63. Absorbtsioonmasinate tüübid 305

LISAD:

1. Ammoniaagi küllastunud auru tabel 317
2. Ammoniaagi teoreetiline mahuline külmatootlikkus 320
3. Freooni-12 küllastunud auru tabel 322
4. Freooni-12 mahulise külmatootlikkuse tabel 326
5. Naatriumkloriidi lahuse füüsikalised omadused 327
6. Kaltsiumkloriidi lahuse füüsikalised omadused 328
7. Naatriumkloriidi lahuse erikaalu sõltuvus kontsentratsioonist ja temperatuurist 329
8. Kaltsiumkloriidi lahuse erikaalu sõltuvus kontsentratsioonist ja temperatuurist 330
9. Ammoniaagi *T—s*-diagramm . . . . . kleebis
10. Freooni-12 *T—s*-diagramm . . . . . „
11. Ammoniaagi log *p—i*-diagramm . . . . . „
12. Freooni-12 log *p—i*-diagramm . . . . . „

Rbl. 8.20

A-21384

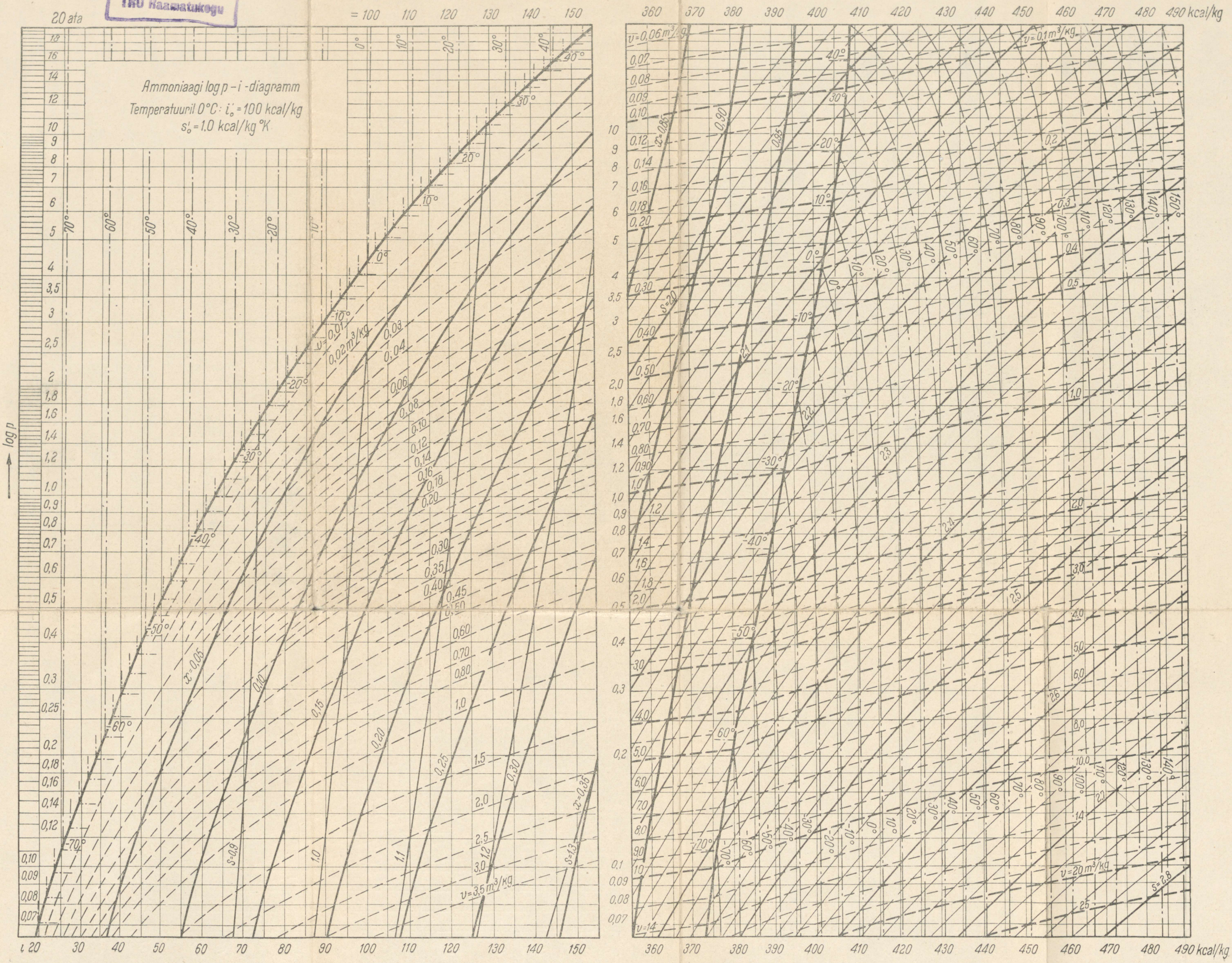
TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00359665 9

TRÜ Raamatukogu

Ammoniaagi log p – i -diagramm

Temperatuuril 0°C: $i'_o = 100$ kcal/kg

$s'_o = 1.0$ kcal/kg °K



log p - i - diagramm
(CF_2Cl_2, freooni -12)

Temperatuuril 0°C : $i_0' = 100{,}0$ kcal/kg

$s_0' = 1{,}0$ kcal/kg °K

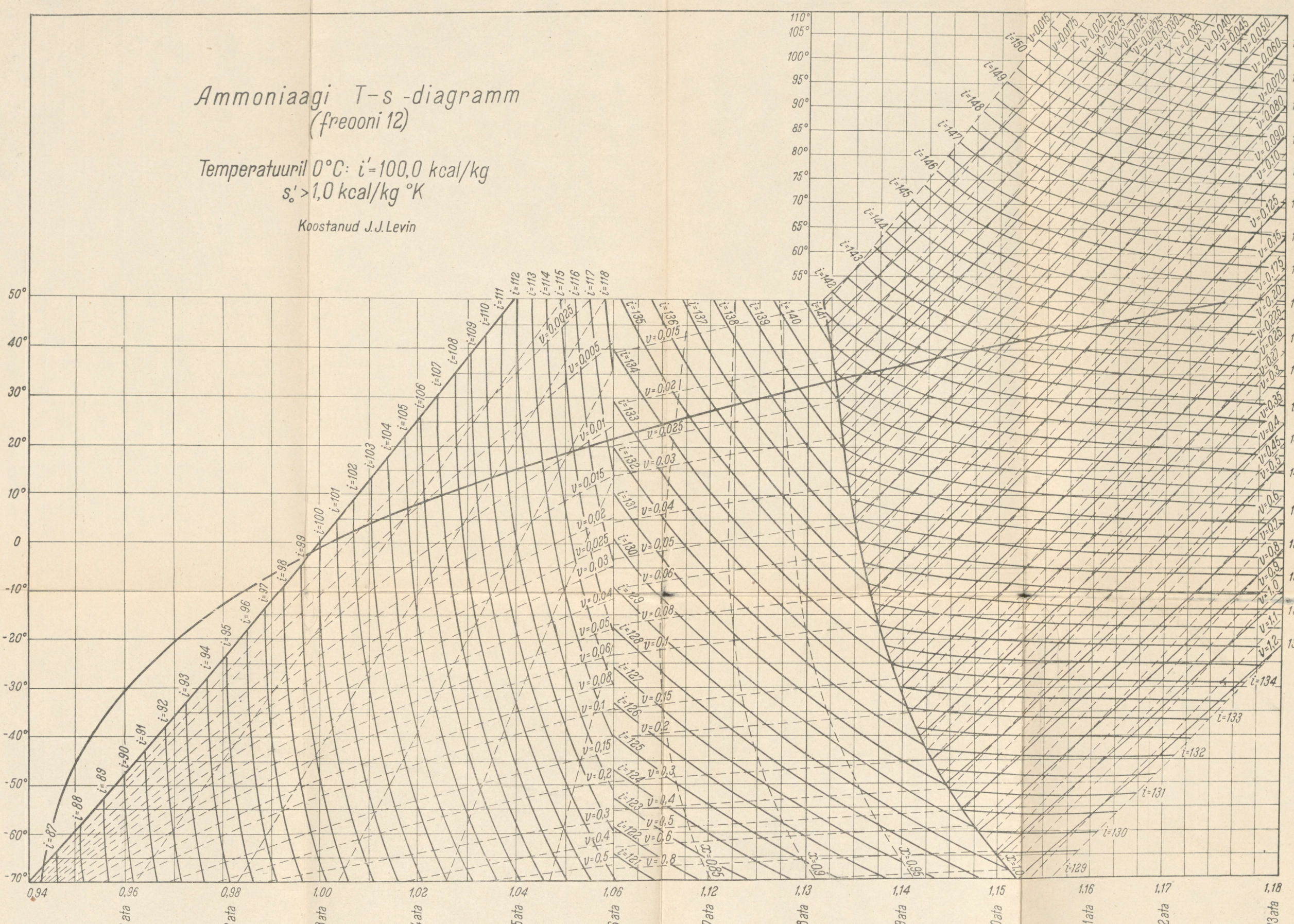
ata

kcal/kg

Ammoniaagi T–s -diagramm
(freooni 12)

Temperatuuril 0°C: $i' = 100{,}0$ kcal/kg
$s_0' > 1{,}0$ kcal/kg °K

Koostanud J.J. Levin



TRÜ Raamatukogu

Ammoniaagi T-s -diagramm

Temperatuuril 0°C: $i'_o = 100{,}0$ kcal/kg
$s'_o = 1{,}0$ kcal/kg °K

Koostanud J.J. Levin

