



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**Chilleri kasutamise võimaluste uurimine VKG OIL
fenoolvee jahutamiseks**

**Study of the possibility of using a chiller for cooling phenolic
water of VKG OIL**

EDKR 16/17, Keemiatehnoloogia

Üliõpilane: Jelena Mamedguseinova

Üliõpilaskood: 178704 EDKR

Juhendaja: Larisa Grigorieva, PhD, lektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

02.06.2021

Autor: Jelena Mamedguseinova

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

07.06.2021

Juhendaja: Larisa Grigorieva

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

07.06.2021

Kaitsmiskomisjoni esimees: Antonina Zguro

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Jelena Mamedguseinova (sünnikuupäev: 26.02.1977)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Chilleri kasutamise võimaluste uurimine VKG OIL fenoolvee jahutamiseks“, mille juhendaja on Larisa Grigorieva, PhD, lector;

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Jelena Mamedguseinova, 178704EDKR

Õppekava, peaariala: EDKR 16/17, Keemiatehnoloogia

Juhendaja: Lektor, PhD, L. Grigorieva, larisa.grigorieva@taltech.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Chilleri kasutamise võimaluste uurimine VKG OIL fenoolvee jahutamiseks

(inglise keeles) Study of the possibility of using a chiller for cooling phenolic water of VKG OIL

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida tööstusliku vee jahutamise meetodeid ja seadmeid.
2. Uurida jahutite konstruktsioone, nende komponente, kasutusvaldkondi.
3. Võrrelda olemasolevat VKG OIL-is ja pakutavaid võimalusi fenoolvee jahutamiseks.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade antud teemal.	28.02.2021
2.	Vajalike arvutuste tegemine, seadmete valik, tulemuste baasil kokkuvõtte tegemine.	30.03.2021
3.	Lõputöö vormistamine ja presentatsiooni kokkupanemine	05.05.2021

Töö keel: Eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 25.05.2021a

Üliõpilane: Jelena Mamedguseinova

22.02.2021a

/allkiri/

Juhendaja: Larisa Grigorieva

24.02.2021a

/allkiri/

Programmijuht: Antonina Zguro

24.02.2021a

/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
LÜHENDID	8
SISSEJUHATUS	9
1. TÖÖSTUSLIKUD JAHUTUSSÜSTEEMID.....	10
1.1. Õhkjahutusaparaadid	10
1.2. Kuivjahuti (Dry Cooler)	11
1.3. Chillerid	12
1.4. Aurukompressiooniga chilleri komponendid	17
1.5. Soojusvahetid.....	20
1.6. Chilleri töö põhimõte	26
1.7. Külmutusagensite tüübid.....	27
1.8. Jahutusevedelikute tüübid.....	31
2. GGJ-5 SEADME ÜLDISELOOMUSTUS	33
2.1. Tehnoloogilise skeemi kirjeldus.....	33
2.2. GGJ-5 fenoolvee iseloomustus	35
2.3. Aurugaasisegu fenoolveega niisutamise skeem	35
Joon. 2.16 Aurugaasisegu niisutamisel fenoolveega GGJ-5 seadmel toimiv skeem .	36
3. Arvutuslik osa	37
3.1. Ülesanne ja probleemi kirjeldus	37
3.2. Plaatsoojusvaheti arvutus	37
Plaatsoojusvaheti esimese variandi arvutus	40
Hüdrauliarvutus	42
Plaatsoojusvaheti teise variandi arvutus	43
Hüdrauliarvutus	45
3.3. Horisontaalse kest-toru soojusvaheti arvutus	46
Kest-toru soojusvaheti esimese variandi arvutus	47
Kest-toru soojusvaheti teise variandi arvutus	49
Hüdrauliarvutus	50
3.4. Järeldused	51
KOKKUVÕTE	53
SUMMARY.....	54
KASUTATUD RIRJANDUSE LOETELU	55
LISA 1.....	58
LISA 2.....	59
LISA 3.....	60
LISA 4.....	62
LISA 5.....	63

LISA 6.....	64
LISA 7.....	65
LISA 8.....	66
LISA 9.....	67
LISA 10.....	68
LISA 11.....	69

EESSÕNA

Lõputöö on tehtud ettevõtte VKG OIL AS ülesandel. Lõputöö teema aitas valida VKG OIL AS põlevkivi ümbertöötlemise tsehi juht Konstantin Dõkov. Autor tänab lõputöö konsultanti, VKG OIL AS GGJ-4 seadme juhti Nikita Seppik´ut (Paltšonok) esitatud andmete eest, samuti Tallinna Tehnikaülikooli kolledži juhendajat, lektorit, PhD, Larissa Grigorjeva´t lõputöö koostamisel ja kirjutamisel osutatud abi eest.

Lõputöös on püütud lahendada VKG OIL AS GGJ-5 seadme probleemi, mis eksisteerib täna (fenoolveega niisutatava) aurugaasisegu kondenseerimise jahutussüsteemis. Selleks uuriti lõputöös tööstuslikke külmutusseadmeid. Tehti jahutussüsteemis tähtsat rolli omavate seadmete arvutus.

Lõputöö eripära seisneb selles, et on tehtud tegevale ettevõttele. Jahutitega seotud infot, arvutuste andmeid ja seadmete valikut võib kasutada püstitatud eesmärgi lahendamiseks.

Võtmesõnad: fenoolvesi, chiller, plaat- ja kest-torusoojusvaheti, soojusülekanne pind, soojusülekanne koefitsient.

LÜHENDID

ÕJA - õhkjahutuseaparaadid

AGS – aurugaasisegu

GGJ – gaasigeneraatorjaam

TSV - termostaatventiil

RÕ – raskeõli

KKÕ – kergekeskõli

FV – fenoolvesi

EG – etüleenglükool

GG – generaatorgaas

RKEÕS – Raske- ja kergekeskõlide ettevalmistuse ning õliärastuse seade

ODP - Ozonedepletionpotential, freoonide osoonkihti kahandav potentsiaal

GWP - Globalwarmingpotential, globaalse soojenemise potentsiaal

DML – dimetüüleeter

SISSEJUHATUS

Täna töötavad Ida-Virumaal kolm põlevkivi ümbertöötlemisega tegelevat tööstusettevõtet - Viru Keemia Grupp AS, Kiviõli Keemiatööstus (KKT) ja Enefit Solutions AS. Nimetatud ettevõtted kasutavad erinevaid "Kiviter" ja "Galoter" põlevkivi ümbertöötlemise tehnoloogiaid.

"Kiviter" tehnoloogia põhjal moodustub põlevkivi termilisel ümbertöötlemisel põlevkivivaik. Seda tehnoloogiat kasutab kontserni VKG OIL AS GGJ-5 seade. Lisaks sellele toodetakse seadmel kõrvaltooteid - fenoolvett ja generaatorgaasi. Gaas läheb põletamiseks. Fenoolvesi suunatakse edasisele töötlusele ja seadme vajadustele. GGJ-5 seadmelt tulev põlevkivivaik suundub RKEÕS seadmele. See on alküülresortsiline sisaldavate põlevkivifraktsioonide väärtuslik toore. Nendeks on Honeyol ja Rezol. Kasutatakse erinevates tööstusvaldkondades: liimivaikude, fenoplastide, epoksüüdvaikude jne. tootmiseks.

Fenoolvett kasutab GGJ-5 seade aurugaasisegu niisutamiseks viimase efektiivsemaks kondenseerimiseks. Põhiprobleemiks on asjaolu, et suvisel ajal ei anna olemasolev jahutussüsteem soovitud tulemusi. Mistõttu on käesoleva lõputöö eesmärgiks: uurida toimivat fenoolvee jahutussüsteemi, pakkuda välja efektiivsem ja valida õige seadmestik.

Lõputöö esimeses osas vaadati läbi: olemasolevad kaasaegsed jahutussüsteemid ja nende süsteemide koosseisu kuuluvad seadmed, külmutusagensid ja - kandjad, kasutatavad jahutussüsteemid, nende omadused ja keskkonnamõju.

Töö teises osas on kirjeldatud GGJ-5 seadme tehnoloogilist skeemi. Toodud ära fenoolvee iseloomustus., aurugaasisegu toimiva jahutussüsteemi skeem ja näidatud selles fenoolvee rolli.

Töö kolmandas osas esitatud plaat- ja kehttoru soojusvahetusaparaatide soojus- ja hüdraularvutus, nende võrdlus. Valitud nende konstruktiivomadused ja tehtud järeldused.

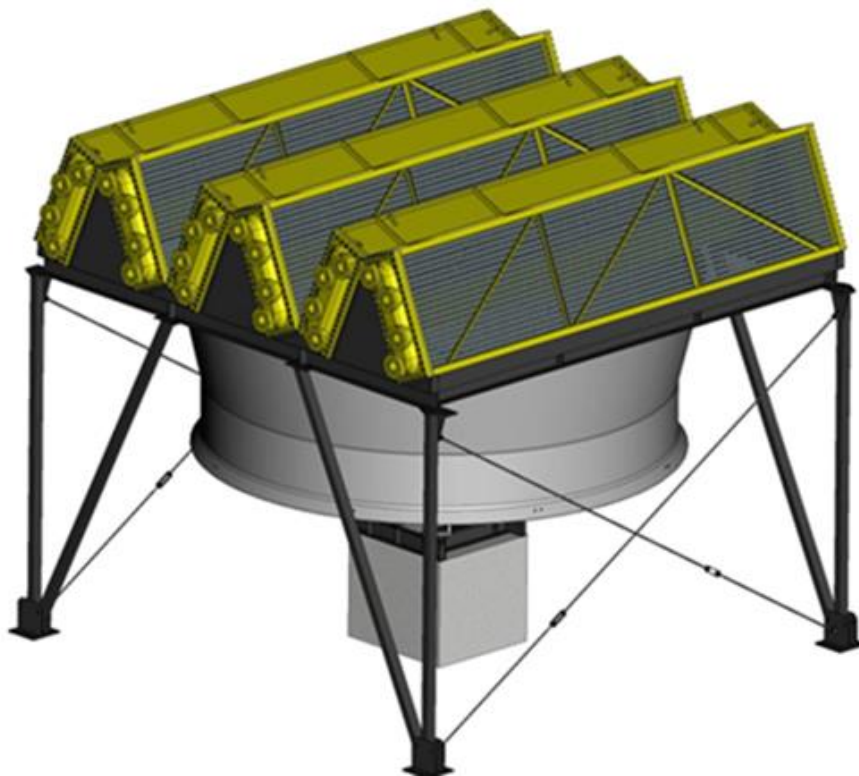
1. TÖÖSTUSLIKUD JAHUTUSSÜSTEEMID

Mistahes tööstusvaldkond, näiteks keemia-, energeetikavaldkond on tehnoloogilise protsessi korraldamisel seotud soojuse moodustamisega. Sõltuvalt protsessist tuleb ülesoojuse muundamisel seda ära juhtida ja korduvkasutada. Paljudes keemiatööstuse valdkondades tuleb protsessi ajal moodustuvaid ja eksotermiliste reaktsioonide korral soojenevaid vedelaid ja gaasitaoliseid tooteid jahutada. Jahutamist korraldatakse tsirkulaarveega (kõige levinum külmutusagens), õhuga, soolalahustega, freoonidega.

Eksisteerivad erinevat liiki tööstuslikud jahutussüsteemid: õhkjahutusaparaadid, gradiirid, kuivjahutid, chillerid.

1.1. Õhkjahutusaparaadid

Õhkjahutusaparaadid – vedelike ja gaaside jahutamiseks mõeldud seadmed. ÕJA on jkujutatud joon. 1.1. Koosneb mitmest ribistatud metalltorudega sektsioonist. Metallkonstruktsioonile monteeritakse sektsioonid. Nende alla paigaldatakse eraldi raamile ventilaatori ajam. Läbi sektsiooni torude kulgeb jahutatav toode.



Joon. 1.1 Õhkjahutusaparaadid [1]

Torudevahelist ruumi jahutatakse ventilaatoriga etteantava õhuga. Õhkjahutusaparaadid võivad olla varustatud niisutajate, soojendajate ja ribakatikutega. Ribakatikud koosnevad klappidest, mida võib avada ja sulgeda nii käsitsi, kui automaatselt. ÕJA on torudevahelises ruumis varustatud külgpaneelidega. Vajalik soojendatud toote ülejahtumise vältimiseks.

Eksisteerib mitu liiki õhkjahutusaparaate:

- horisontaalsed;
- siksakilised;
- vähevoolulised;
- õhkjahutusaparaatide talakonstruktsioonid;
- soojendatud õhu retsirkulatsiooniga.

Õhkjahutusaparaatide eelised:

- ökoloogilisus;
- vähesed eksploatatsioonikulud;
- võimalus paigaldada igas kliimavööndis;
- talvisel ajal on võimalik elektrimootori täielik väljalülitamine ja ventilaatori seiskamine. Kondenseerimine ja jahutamine toimub loomuliku konvektsiooni arvel.

Puudused:

- õhkjahutusaparaatide paigutamiseks on nõutav suur pind;
- jahutatava voolu ebavõrdne jaotus soojusvahetusseksioonide torudes.

1.2. Kuivjahuti (Dry Cooler)

(Dry Cooler — kuivjahuti) on esitatud joonisel 1.2. Seade, mida erinevates tööstusvaldkondades kasutatakse vedeliku jahutamiseks. Kuivjahutid on varustatud ribistatud, enamjaolt vasktorudega soojusvahetusaparaadiga ja telg- või tsentrifugaalventilaatoritega. Kuivjahutid paigaldatakse avatud platsidele. Vahest toodetakse erimudeleid ruumisiseseks paigalduseks.



Joon.1.2 **Kuivjahuti** [2]

Kuivjahuti tööpõhimõte on lihtne. Jahutav vedelik suundub soojusvahetusaparaadi torudevahelisse ruumi. Torudevahelist ruumi puhutakse üle ventilaatoriga. Kuivjahuti vajab suurel hulgal õhku. Seda tuleb arvestada taolise jahutussüsteemi paigaldamisel. Samuti peab tagama kuivjahutist tuleva õhu vaba sisenemise ja väljumise.

Seadmestik koosneb kolmest põhielemendist:

- vesi-õhk soojusvahetist;
- ventilaatorist;
- korpusest.

Horisontaalseks paigaldamiseks varustatakse kuivjahuti jalgadega, vertikaalseks paigaldamiseks - kronsteinidega.

Eelised:

- konstruktsiooni lihtsus;
- seadmestiku väiksem mass;
- soojuskandja ei ole aldis välisreostajatele, kuna kuivjahutit kasutatakse suletud kontuurides.

Ainsaks puuduseks on võimetus jahutada soojuskandjat keskkonnatemperatuurist madalama temperatuurini.

1.3. Chillerid

Chillerid — gaasitaolise või vedela soojuskandja jahutamiseks mõeldud süsteem. Sõltuvalt toote jahutamise viisist jaotatakse chillerid kahte rühma - adsorbtsioonilisteks ja aurukompressioonilisteks.

Chillerite kasutusvaldkonnad:

- jookide jahutamine toiduainetööstuses;
- basseini vee temperatuuri toetamiseks;
- liuväljade loomiseks spordi- ja meelelahutuskomplekssides;
- jahutava meditsiiniseadmestiku tootmine;
- meditsiin;
- tehnoloogilise ja joogivee jahutamine kondiitri- ja leivatootmise seadmetes;
- keemiatööstus;
- metalltöötlusvaldkonnad.

Chilleri valikul tuleb pöörata tähelepanu järgmistele parameetritele:

- aparaadi võimsusele;
- elektrienergia säästule erinevate töörežiimide ajal;
- töökindlusele;
- remonditööde sobivusele;
- kaitseautomaatika olemasolule;

- seadme paigalduspinna suurusele;
- võimalusele kasutada ühekontuurilisi seadmeid kogu süsteemi ümberehitamiseta;
- kasutamise ökoloogilisusele ja ohutusele.

Arvesse tuleb võtta chilleri koosseisu kuuluva kompressori tüüpi. Vähe- ja keskmise külmatootlikkuse korral kasutatakse spiraal- või kolbkompressoreid, suurema külmatootlikkuse korral - kruvikompressoreid.

Absorbtsioonchiller on esitletud joonisel 1.3. Kasutatakse laialdaselt sellistes valdkondades, kus tuleb korraldada protsessi väheste elektrienergia kuludega. Neid kasutatakse suurel hulgal soojusenergia väljatöötamisega seotud tehnoloogiates. Näitena võib märkida selliseid, kui elektrijaamad, katlamajad ja prügipõletusseadmed.



Joon. 1.3 **Absorbtsioonchiller** [3]

Sellise chilleri tööpõhimõte seisneb selles, et tööaineks on kahe- või kolmekomponentne lahus. Nendeks on neeldajast (absorbent) ja külmutusagensist binaarsed lahustid.

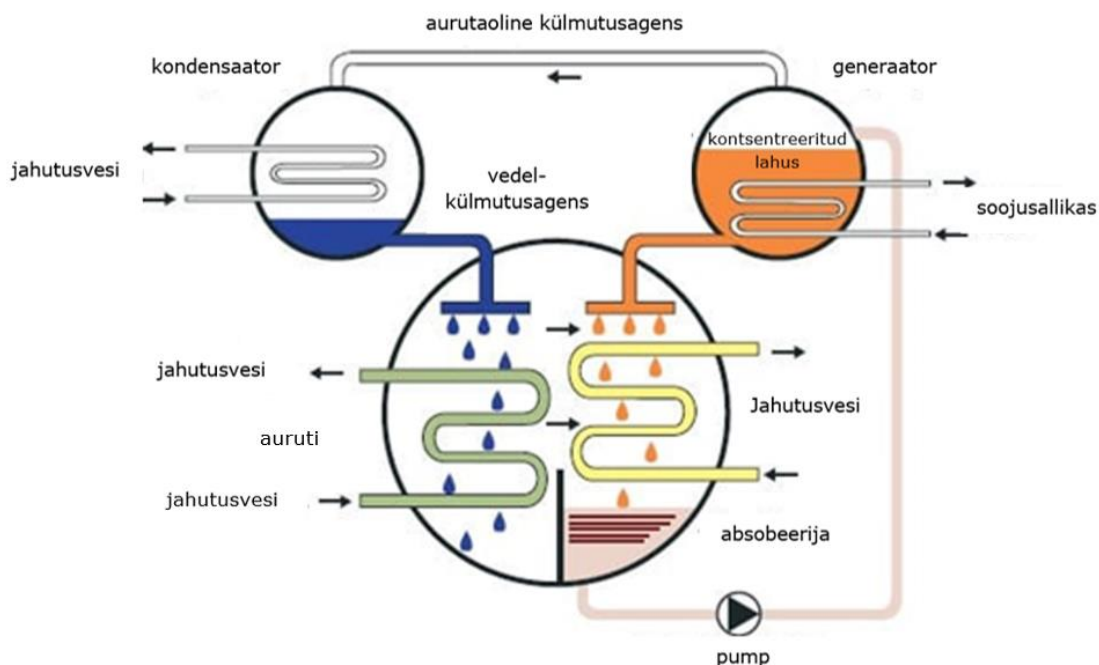
Nendel peab olema:

- külmutusagensi hea lahustuvus absorbendis;
- absorbendi kõrgem keemistemperatuur võrreldes külmutusagensiga.

Eksisteerivad ühealalised (joon. 1.4) ja kahealalised. Kahealalise chilleri erinevus seisneb kahe generaatori olemasolus.

Absorbtsioonchillerite tähtsaks omaduseks on kompressori puudumine, Chiller koosneb generaatorist, kondensaatorist, absorberist ja aurutist. Generaatoris moodustuvad soojuse toimest liitiumbromiid lahusest aurud, mis suunduvad kondensaatorisse. Seal lähevad aurud üle vedelasse olekusse ja annavad soojuse külmutusagensile.

Soojendatud külmutusagens saabub aurutisse, kus toimub edasine aurustumise protsess. Absorbendi lahus generaatorist liigub absorberisse ja imab endasse moodustunud veeaurud. Mille järgselt antakse see uuesti generaatorisse. Nii lõpeb üks jahutustsükkel ja algab järgmine.



Joon. 1.4 Üheaheelalise absorptsioonchilleri töö skeem [11]

Sagedamini kasutatakse vesi-ammoonium lahuseid (veeammoonium külmutusmasinad) ja broom liitium-vesi lahuseid (liitiumbromiid masinad), milledes ammoonium ja vesi on külmutusagensid, vesi ja liitiumbromiid - absorbendid. Eksisteerivad mitu liiki absorptsioon chillereid:

- Otsesoojendusega chiller. Soojendamise kütusena kasutatakse maagaasi või vedeldatud naftagaasi. Kompaktsed, külmatootlikkus alates 300 kW kuni 5,3 mW.
- Aurusoojendusega chiller. Kütuseks on aur temperatuuriga 200°C. Külmatootlikkus moodustab 352 kuni 2461 kW. Erinevad muudest chilleritest vähese vibratsiooni poolest.
- Veesoojendusega chiller. Soojusallikaks on vesi temperatuuriga 80 kuni 95°C.

Eelised:

- pikaajalisus ja vastupidavus, mida tagatakse sellega, et chilleri konstruktsioonis puuduvad liikuvad elemendid;
- säästlikkus. Agregaat praktiliselt ei tarbi elektrienergiat, kuna selle kasutamisel kasutatakse küttesressursse (maagaasi, vedeldatud naftagaasi, suitsugaase ja äratöötatud auru);

- freoonide puudumine.

Puudused:

- üsna kõrge omahind. Selle miinuse võib kanda plusside hulka, kuna omahind tasub ennast ära kestva kasutamisega ja elektrienergia kulude säästmisega;
- ülisuured gabariidid võrreldes teiste chilleritega;
- madal kasutegur (0,6–0,8).

Aurukompressiooniga chillerid

Käesoleval ajal on see väga levinud külmutusseadme tüüp. Aurukompressiooniga chiller esitletud joonisel 1.5. Koosneb neljast põhikomponendist:

- auruti;
- kompressor;
- kondensaator;
- drosselseade.



Joon. 1.5 **Aurukompressiooniga chiller** [3]

Jahutussüsteem sisaldab külmutusagensit. Protsess algab madalrõhuga külmutusagensi etteandmisega aurutisse. Auruti sees külmutusagens soojeneb. See tingib selle ülemineku gaasilisse olekusse. Gaasitaoline külmutusagens suunatakse kompressorisse, kus see tõmbub kokku.

Seejärel suunatakse külmutusagens kondensaatorisse. See juhib soojust eemale jahutustorni jahutava veega või ümbritseva keskkonna õhuga. Edasi suundub vedel külmutusagens drosselseadmesse - klappi. Klapp töötab dosaatorina külmutusagensi voolu piiramiseks süsteemis. See alandab külmutusagensi rõhku ning algab taas jahutamise protsess.

Põhielemendiks, millest sõltub chilleri töö, on kompressor. Eksisteerivad mitut tüüpi kompressorid:

- kruvikompressorid;
- kolbkompressorid;
- tsentrifugaalkompressorid;
- rootorkompressorid;
- spiraalkompressorid.

Kompressori ülesanne seisneb selles, et tõsta rõhku, surudes kokku külmagensi aurusid. See on vajalik kondenseerimise alustamiseks. Kondensaatorisse sattudes jahutatakse kuuma auru-vedeliksegu ventilaatoritega etteantava õhuga. Peale seda, kui külmutusagens läheb täielikult üle vedelasse olekusse, suundub see paisumisseadmele (drossel). Drossel asub auruti ees. Alandab rõhku sellise tasemeni, et külmutusagens hakkaks keema. Auruti järgselt läheb keev külmutusagens täielikult üle gaasitaolisesse olekusse ja neeldab soojuskandja soojusenergiat, alandades selle temperatuuri.

Chillerite konstruktiivseks teostuseks on mitu varianti:

- välise paigaldusega monoplokk chillerid;
- tsentrifugaalventilaatoritega monoplokk chillerid;
- kaugkondensaatoriga;
- vedelikuga jahutatava kondensaatoriga.

Eelised:

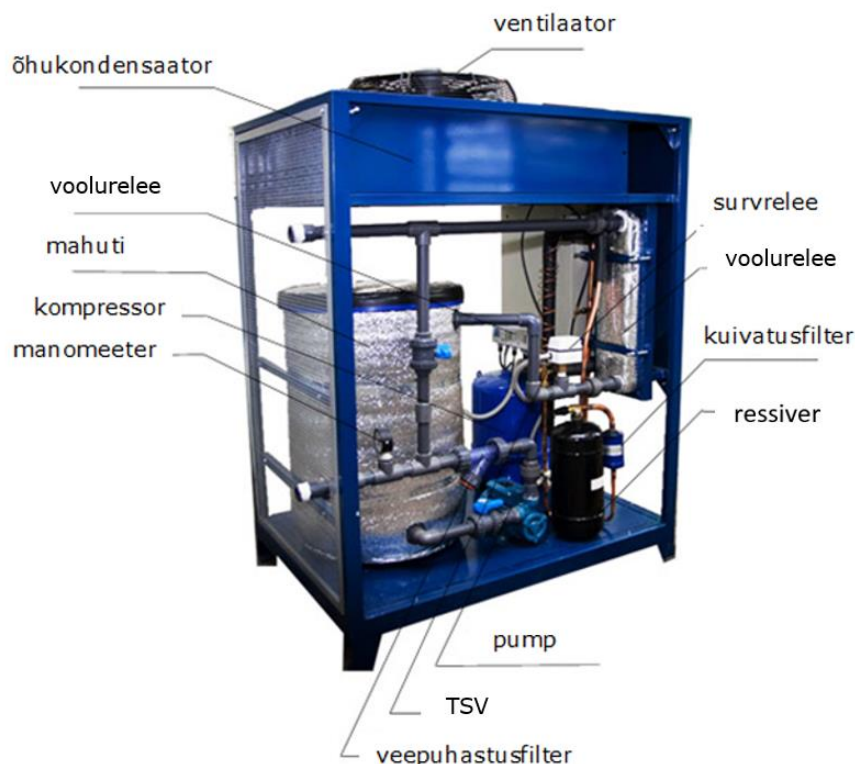
- vähesed gabariidid;
- aastaringne kasutamine, sõltumata õhutemperatuurist;
- töökeskkonna etteantud temperatuuriparameetrite automaatseade;
- akustilised parameetrid, seadmestik töötab praktiliselt müratult.

Puudused:

- suured kulud ventilatsioonisüsteemile;
- energiakulud;
- kaugkondensaatori paigaldamiseks täiendava ruumi vajadus.

1.4. Aurukompressiooniga chilleri komponendid

Chilleri peamised komponendid on esitatud joonisel 1.6.



Joon. 1.6 Chilleri komponendid [5]

Õhkkondensaator

Kujutab endast ribidega torude kimpu. See on soojusvahetusaparaat, mille torusid mööda liigub külmutusagens. Torudevahelist ruumi jahutatakse õhuga. Õhk juhib külmutusagensi kondenseerimissoojuse keskkonda. Lisaks õhkkondensaatoritele on olemas veel ka ammoonium-, propaan-, freoonkondensaatorid.

Tabel 1.1 Kondensaatori klassifikatsioon [5]

Kondensaatorite tüübi põhjal	Soojusvoolu võimsuse põhjal	Soojusvahetuspinna tüübi põhjal
ammoniaak	Väiksed kuni 60 kW	Ribidega torukujulised
propaan	Keskised kuni 1MW	Lehttorulised
freoon	Suured 3MW ja enam	Plaatribidega torukujulised

Kõrge ja madala rõhu relee

Mistahes külmutussüsteemis toimub imamisliinil rõhu langus. Kompressori jaoks ei ole see sugugi hea. Mistõttu selleks, et kaitsta seda ülekoormuste eest, paigaldatakse madalrõhu relee. Seda kasutatakse auruti tööd juhtiva organina. Rõhu langusel on relee

seadistatud selliselt, et käivitada kompressor, rõhu tõusul, vastupidi - see peatada. Relee tagab topelfunktsiooni: juhtimise ja kaitsefunktsiooni.

Kompressorid

Külmkompressor – tööstusliku külmagregaadi koostiselement. Määrab olulisel määral külmsüsteemi kvaliteeti ja selle efektiivsust. Kompressori ülesanne - tagada külmutusagensi tsirkuleerimine. Selle eesmärgi saavutamiseks imab see külmutusagensi aurustid aurutist mehhaanilise ajamise abil. Mille järgselt surub need kondensaatorisse. Põhimõtteliselt ei erine see praktiliselt analoogilistest, gaaside kokkusurumiseks mõeldud seadmetest.

Konstruksioonist sõltuvalt võib kompressorid jagada mitmeks tüübiks:

- a. Rotatsioonikompressor. Töö põhimõte seisneb selles, et rootori pöörlemisel suletud kambrisse sattunud külmutusagens väheneb mahus, rõhk aga suureneb.
- b. Kruvikompressor. Kompressori kruvi imab pööreldes külmutusagensit. Surub selle kokku, tõstes rõhku. Selle eelised: töökindlus, detailide vähene kulumine; kõrge kasutegur, väiksed mõõdud.
- c. Kolbkompressor. Tööorganiks on kolb. Surub külmutusagensi kokku kõrge rõhuni. Klapi avamise järgselt liigub külmutusagens torustikku.
- d. Tsentrifugaalkompressor. Kompressori ajam kerib lahti võlli. Külmutusagensi kokkusurumine toimub tsentrifugaaljõu toimest.
- e. Spiraalkompressor. Kompressor koosneb kahest spiraalplaadist: liikumatust ja pöörlevast. Töö ajal plaadid kord lähenevad, kord kaugenevad üksteisest, luues sisseimamise ja sissepumpamise tsükli.

Kompressorid võivad olla hermeetilised ja poolhermeetilised. Hermeetilistel kompressoritel on tervikkorpus ja suhteliselt vähene võimsus. Poolhermeetilistel on kõrgem tootlikkus. See lubab neid kasutada tööstuslike külmseadmete koosseisus. Poolhermeetiliste kompressorite elektrimootorite võimsus moodustab kuni 500 kW.

Kogumismahuti

Hüdromoodul – see on pumbajaam. Koosneb paagist ja pumbast. Tagab chillerist tuleva soojuskandja saabumise seadmele ja tagasi. Keskkonnaõhu temperatuuri muutumisel erineval ööpäeva ajal või hooajal, ületab chilleri külmatootlikkus vahest reaalsel vajadust. See annab tunda sellel töö. Hakkab töötama hüppeliselt, kord välja, kord sisse lülitades. Sellest väheneb kompressori tööaeg. Mistõttu paigaldatakse sellele akumulatsioonipaak. Selle maht arvutatakse sõltuvalt soojuskandja kogusest ja soojuskoormustest.

Ressiiver

Töötab vedela külmutusagensi kogurina. Ressiiverid on:

- a. Liinilised. Neid kasutatakse vedela külmutusagensi võtmiseks kondensaatorist ja vajaliku vedelikuvaru säilitamiseks. Kujutab endast terasest õõnes horisontaalset või vertikaalset külge keevitatud sfääriliste põhjadega anumad. Korpusel paiknevad harutorud külmutusagensi sisenemiseks ja väljumiseks. Ressiiverid mahuga enam kui 30 l (freoonile), 60 l (ammooniumile). Varustatud sulgventiilidega, manomeetritega, õhu, õli eemaldamise ventiilidega.
- a. Drenaažressiiverid. Paigaldatakse vahetu jahutusega ja ammooniumi kuumade aurudega jahutavate patareide ülessulatamise süsteemiga skeemidesse.
- b. Tsirkulatsioonressiiverid. Neid kasutatakse külmutusagensi sundtsirkulatsiooniga ammoonium külmaseadmetes.

Manomeetrid

Vajalikud gaasitaolise ja vedela keskkonna rõhu mõõtmiseks.

- Manomeetrid Burdoni toruga. Varustatud ovaalse ristlõikega kaaretaolise toruga. Tavaliselt valmistatakse seda roostevabast terasest või erisulamitest (messingust või monelmetallist). Toru paksus sõltub sellesse etteantud rõhust. Rõhu all toru paisub, suureneb selle ristlõike pindala, millega kaasneb elastsete jõudude tekkimine. Toru teostus võib olla C-kujuline ja U-kujuline. Sellised manomeetrid vastupidavad ja vastupidavad mehhaaniliste mõjutuste vastu. Nende töö rõhkude vahemik 1 kPa kuni 600 MPa.
- Membraankarbige manomeetrid. Tundlik element on valmistatud kahest lainelisest membraanist, mis on äärtest kinnitatud joote või keevitusega. Valmistatud vasesulamitest või roostevabast terasest. Membraanmanomeetreid kasutatakse väheste (0 kuni 25 kPa) ja keskmiste rõhkude (0 kuni 02,5 kPa) vahemikus.

Kuivatusfilter

Filter paigaldatakse vedelasse liini. On mõeldud niiskusest ja kõvadest osakestest puhastamiseks. Filtri südamik koosneb 80 % ulatuses "molekulaarse sõela" tüüpi materjalist ja 20 % - aktiveeritud alumiiniumist.

Termostaatiline ventiil

Termostaatiline ventiil (TSV) on külmutusagensi külmaseadmete aurutitesse etteandmise organiks.

TSV funktsioon seisneb aurutisse antava külmutusagensi koguse reguleerimises. Sõltub külmutusagensi aurude ülesoojenemisest aurutist väljumisel. Niisiis peab regulaator igal ajahetkel andma aurutisse vaid sellises koguses külmutusagensit, mis võib täielikult

aurustuda. Aurutist lahkudes on külmutusagens auru olekus. Selle temperatuur on mõni kraad kõrgem aurustumise temperatuurist. See vastab rõhu väärtusele, mida näitab sisseimamise manomeeter. See lubab veendumusega rääkida vedela külmutusagensi puudumisest aurutist lahkuvas voolus Termostaatilistel ventiilidel on terve rida eeliseid, ja nimelt:

- aurutid täituvad kiiresti ja täielikult külmutusagensi aurudega;
- ühte ja samasse külmseadmesse võib paigaldada mitu aurutit.

Voolurelee

Voolurelee - üks kõige tähtsam hürdomooduli element. Tagab chilleri töö kindluse ja avariide puudumise. Selle funktsiooniks on kaitsta chillerit ootamatust olukorrast. Näiteks: puudub täielikult vedeliku vool läbi auruti. Voolu relee - on andur, s.t. rõhkude languse relee. Signaliseerib kontrolleri sellest, et tsirkulatsioonisüsteemis puudub vedeliku vool läbi auruti. Kasutatakse erinevat tüüpi releesid: mehhaanilisi, diferentsiaalseid, rõhulanguse andurid. Voolureleed paigaldatakse auruti väljundil. Selle korpus monteeritakse vertikaalselt, suunanool peab kokku langema vedeliku voolusuunaga.

Soojusvaheti (auruti)

Sõltuvalt tootlikkusest on chilleri mudelitel erinevad aurutid:

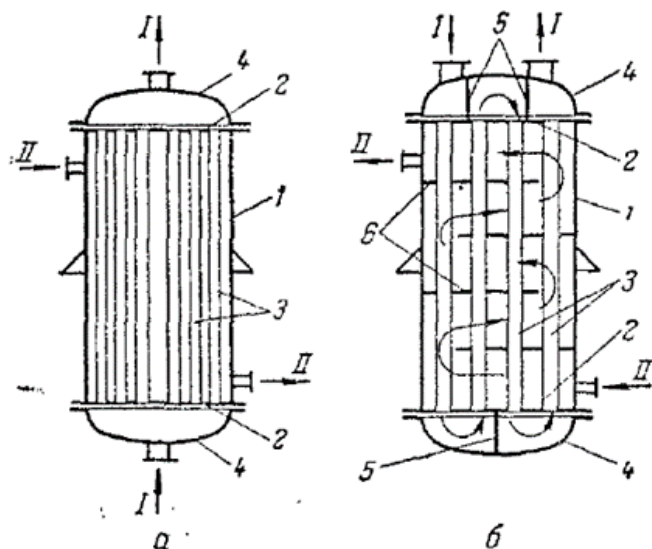
- kest-toru soojusvaheti;
- koaksiaalsed soojusvaheti;
- plaat soojusvaheti.

1.5. Soojusvahetid

Soojusvaheti (auruti) – chilleri osa, milles külmutusagens hakkab keema. Selle ülesanne - juhtida soojuskandjalt ära maksimaalsel hulgal soojust. Need on pindsoojusvahetid. Soojuskandjate keskkonnad on eraldatud seinaga, läbi mille antakse soojusjuhtivuse arvel üle soojust Pindmiste aparatuuride peamiseks omaduseks on seina pinna pindala. Selle suurusest sõltub soojuse hulk, mida antakse aparatuuris ühest keskkonnast teise.

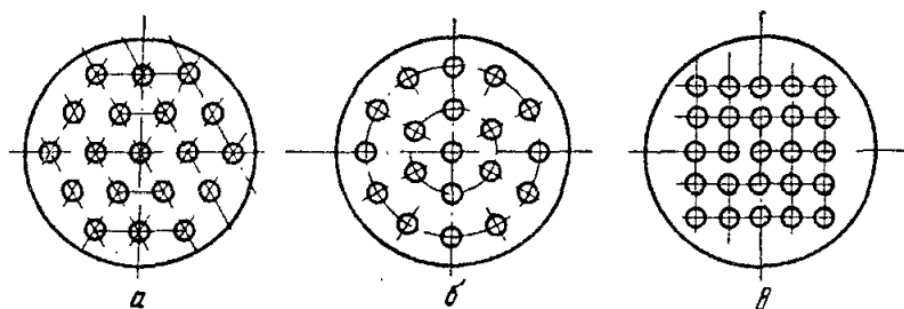
Kest-toru soojusvahetid

Joonisel 1.7 on esitatud kest-toru soojusvaheti, mis kooneb kestast – 1. Sellele on külge keevitatud toruvõre 2. Millele on kinnitatud torukimp 3. Kaanega võre ühendatakse poltidega 4. Üks vool I liigub mööda torusid (toruruum).



Joon. 1.7 a) ühekäigulised ja b) paljukäigulised kest-toru soojusvahetid [13]

Teine vool II – torudevahelises ruumis, uhtudes torusid väljastpoolt. Voolud suunatakse tavaliselt vastuvooluna üksteise suhtes. Seejuures suunatakse sojendatav vool alt ülesse, tagastatav soojus aga - vastassuunas. Ühekäigulistes soojusvahetites (joon. 1.7a) on voolu liikumiskiirus toruruumis madal. Niisiis on soojusäratuse koefitsient väike. Selle suurendamiseks kasutatakse paljukäigulisi soojusvaheteid (joon. 1.7b). Konstruktsioon on identne ühekäigulise soojusvahetiga ainsa erinevusega - pikivaheseinte olemasoluga 5. Need paigutatakse soojusvahetite kaantesse. Torud on jaotatud seksioonideks, millede kaudu liigub järjepidevalt vool toruruumis. Käigud lahutatakse selliselt, et igas seksioonis oleks ühesugune arv torusid. Voolu liikumiskiirus paljukäigulises soojusvahetis on kõrgem voolust ühekäigulises soojusvahetis. See sõltub käikude arvust aparaadis. Näiteks on viiekäigulises soojusvahetis soojusväljastuse koefitsient viis korda kõrgem, kui ühekäigulises. Voolu liikumiskiiruse suurendamiseks torudevahelises ruumis paigaldatakse segmentvaheseinad 6.



Joon. 1.8 Torude asetsemine toruvõredes [13]

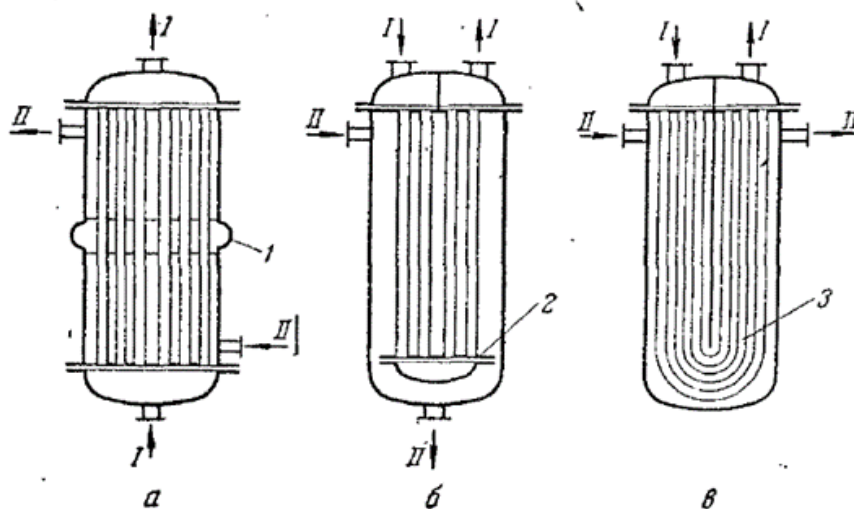
Joonisel 1.8 on esitatud torude asetsemine kest-toru soojusvaheti toruvõre sees. Need asetatakse võrdkülgsete kolmnurkade tippudesse (joon. 1.8a), piki ringjoont (joon. 1.8b) ja ristküliku perimeetrit mööda. Torude asetis peab tagama:

- aparadi maksimaalse kompaktsuse;
- soojusväljastuse koefitsiendi kõrge väärtuse;
- madala hüdraulikakistuse;
- torudevahelise ruumi puhastamise võimaluse.

Selleks, et tagada soojusvahetite hermetiseerimise ja vältida soojuskandjate koskkondade segunemist, eksisteerivad toruvõrekes erinevad torukinnitused. Sagedamini kinnitatakse torusid kinnivaltsimise abil. Kui torude materjal ei allu kinnivaltsimisele, kasutatakse keevitust. Määrdeaine tihendi kasutus on keeruline ja ebapiisavalt kindel.

Soojusvahetiteid võib paigaldada horisontaalselt või vertikaalselt. Horisontaalsed soojusvahetid töötavad tavaliselt voolu suurtel kiirustel, et kõrvaldada seiskunud alad ja vältida vedeliku kihistumist temperatuuride ja tiheduste erinevuse tõttu.

Temperatuurdeformatsiooni vähendamiseks, mis on tingitud kesta, torude ja materjali, millest nad on valmistatud, temperatuuride erinevusest, kasutatakse läätiskompensaatoriga soojusvahetiteid 1 (joon. 1.9a), ujuva peaga 2 (joon. 1.9b) ja U-kujuliste torudega 3 (joon. 1.9c).



Joon. 1.9 Kest-toru soojusvahetite kompenseerivate seadmetega [13]

Kest-toru soojusvahetite väärtused:

- suur soojusülekanne pind suhteliselt kompaktses mootoris;
- valmistamise lihtsus;
- valmistamiseks vajaliku materjali madal kulu;
- töökindlus;

- võime töötada suure rõhu all.

Kest-toru soojusvahetite puudused:

- võimetus efektiivselt töötada soojuskandjate madalate kulude juures;
- raskused ülevaatusel, puhastamisel ja remondil.

Koaksiaalne soojusvaheti

Kujutab endast aparati kahest erineva diameetriga torust. Väiksema diameetriga toru paikneb teise sees. Soojusvaheti on keeratud spiraalina (joon. 1.10). Üks keskkond liigub sisetoru mööda, teine välistoru mööda. Lihtne ja töökindel konstruktsioon. Valmistatakse roostevabast terasest või vasest.

Koaksiaalsoojusvahetite väärtused:

- soojusväljastuse kõrged koefitsiendid tänu soojusvahetite kõrgele liikumiskiirusele;
- võimalus töötada nii soojuskandja väikeste kulude juures, kui ka kõrgete rõhkude juures;

Koaksiaalsoojusvahetite puudused:

- suhteliselt väiksed soojusülekanne pinnad soojusvaheti märkimisväärsete gabariitsuuruste juures;
- torude puhastamise võimatus.

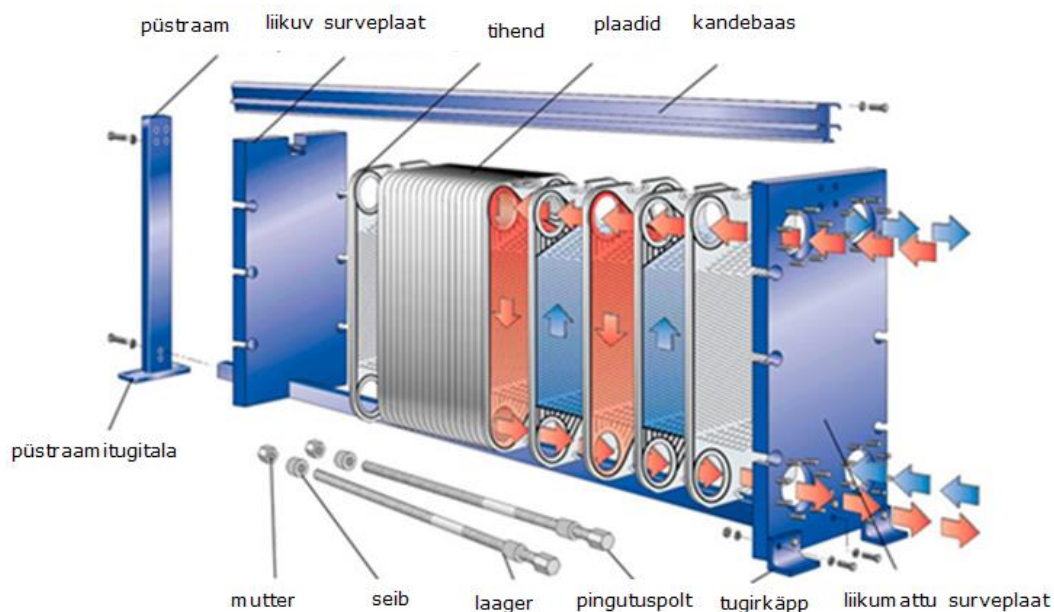


Joon. 1.10 **Koaksiaalsoojusvaheti** [12]

Plaatsoojusvaheti

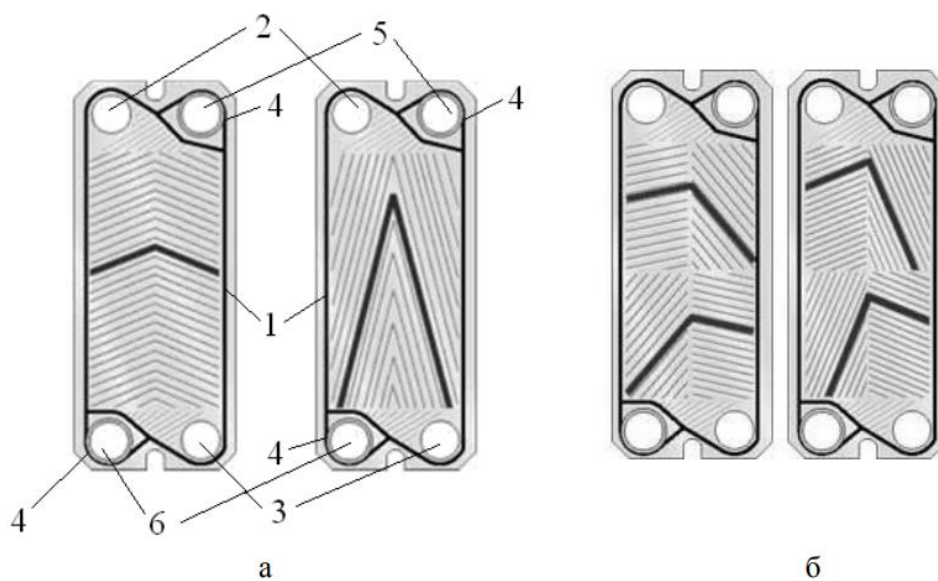
Plaatsoojusvaheti (joon. 1.11) töö põhimõtte põhineb energia ülekandel külmalt voolult kuumale läbi laineliste plaatide, mis on esitletud joonisel 1.12.

Voolud omavahel ei segune ja liiguvad üksteisele vastu. Soojusvaheti paketid pannakse kokku tihedalt üksteise vastu surutud plaatidest. Plaadid on üksteise suhtes avatud 180°. Plaadil on esipinnal kolm tihendit (üks suur ja kaks väikest).



Joon. 1.11 **Lahtivõetava plaatsoojusvaheti koostuse skeem** [5]

Suur tihend piirab plaatide vahel külma vedeliku liikumisvoolu kanalit, samuti sisendi ja väljundi avasid. Kaks väikest tihendavad avasid, läbi mille liigub vastuvoolu kuum vedelik. Plaatide pakett liibub mitteliikuva surveplaadi ja liikuva kruviklemmi vahel.



Joon.1.12 **Plaatsoojusvahetite lainelised plaadid** [20]

a – tavalised (sümmeetrilised) plaadid; 6 – "asümmeetrilise kuuse" mustriga plaadid; 1 – tihend, mis piirab esimese soojuskandja ruumi; 2, 3 – avad esimese soojuskandja sisenemiseks ja väljumiseks; 4 – tihend, mis piirab teise soojuskandja ruumi; 5, 6 – avad teise soojuskandja läbimiseks.

Liidend plaatsoojusvaheteid on üsna lihtne valmistada. Kuid plaatide hermetiseerimine kujutab endast tõsist probleemi. Mistõttu ei suuda need väga suurte rõhkude korral töötada. Tänu töökeskkondade suurele kiirusele liidend plaatsoojusvahetites, toimub määrdumine sisepindadel aeglasemalt. See on taoliste soojusvahetite peamine väärtus, kuna neid võib täielikult lahti võtta mustustest läbipesemiseks ja puhastamiseks ja mistahes vigastunud detaili vahetamiseks.

Lisaks lahtivõetavatele eksisteerib veel kaks tüüpi plaatsoojusvaheteid:

- poollahtivõetavad (poolkeevitatavad);
- mittelahtivõetavad (joodetud ja keevitatud).

Poollahtivõetavad plaatsoojusvahetid erinevad lahtivõetavatest selle poolest, et plaatide pakett on valmistatud kombineeritud viisil. Plaadid keevitatakse omavahel paariti. Moodustavad hermeetilised kanalid, mis on vastupidavad agressiivse keskkonna mõjule. Väliselt poolt kinnitatakse keevitatud plaadid tihenditega, nagu lahtivõetavatel soojusvahetitel. Kogu konstruktsioon on suletud raami pingutuspoltide abil.

Joodetud plaatsoojusvahetid erinevad lahtivõetavatest sellega, et plaatide pakettid on omavahel joodetud. Selliste soojusvahetite montaaž ja demontaaž on võimatu. Jootmist tehakse nikli või vase abil. Nikliga joodetuid kasutatakse töös agressiivsemate keskkondadega. Joodetud soojusvahetid tagavad täieliku hermeetilisuse ja madala rõhukao.

Plaatsoojusvahetite plussid:

- kompaktsed (4÷8 korda väiksema gabariitsuurusega, mis pindala poolest on võrdsed kest-toru soojusvahetite soojusülekanne pinnaga);
- tagavad kõrge soojusülekanne koefitsiendi 3000÷4000 W/(m²·K) (enam kui 3 korda kõrgem kui toru-kest soojusvahetites), tänu soojuskandjate kõrgele kiirusele kanalites (1÷3 m/s);
- mugavad hoolduseks, puhastamiseks ja remondiks;
- plaatide erinevate koostuskeemide võimalus. See lubab valida optimaalse töörežiimi soojuskandjate etteantud kulude korral.

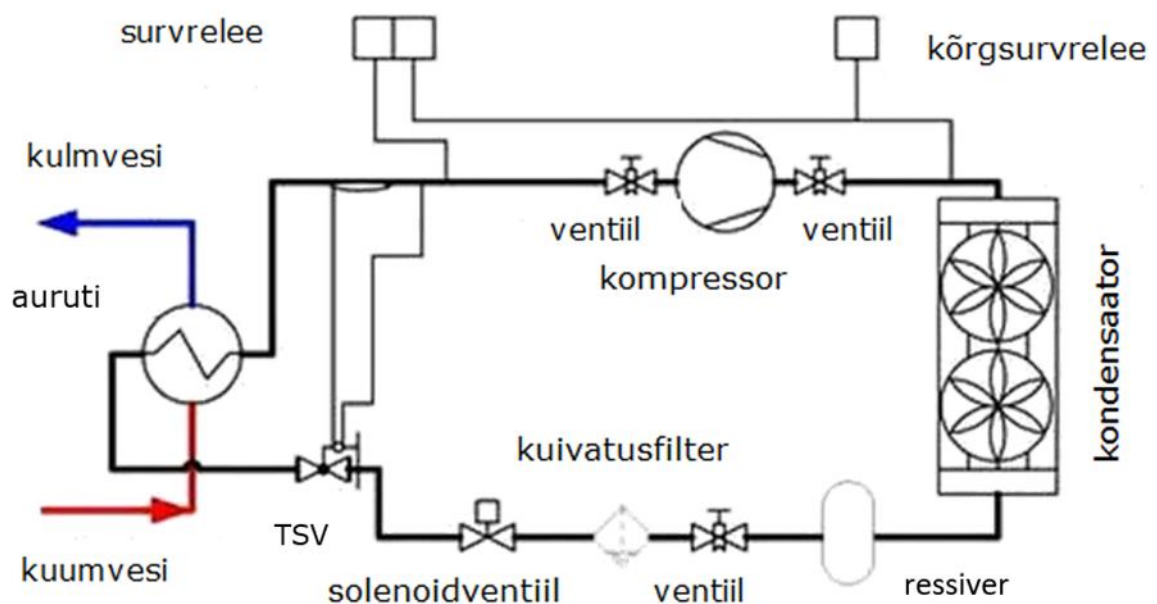
Plaatsoojusvahetite miinused:

- võimatu töötada kõrgete rõhkude korral liidend plaatsoojusvahetitel olevate tihendite ebapiisava hermeetilisuse tõttu ja plaatide deformatsiooni tõttu keevitatud soojusvahetitel (liidend soojusvahetid töötavad rõhul kuni 1 MPa, keevitatud - kuni 4 MPa);
- keevitatud plaatsoojusvahetite hooldusprobleem - raskendatud puhastamine ja remont.

1.6. Chilleri töö põhimõte

Teoreetiliseks aluseks, mille põhjal on üles ehitatud külmikute, kliimaseadmete, külmutusseadmete töö põhimõte, on termodünaamika teine algus. Jahutav gaas (freoon) teostab külmutusseadmetes niinimetatud Renkini pöördtsükli. See on soojuse muundamise termodünaamiline tsükkel kahefaasilise töövedeliku abil.

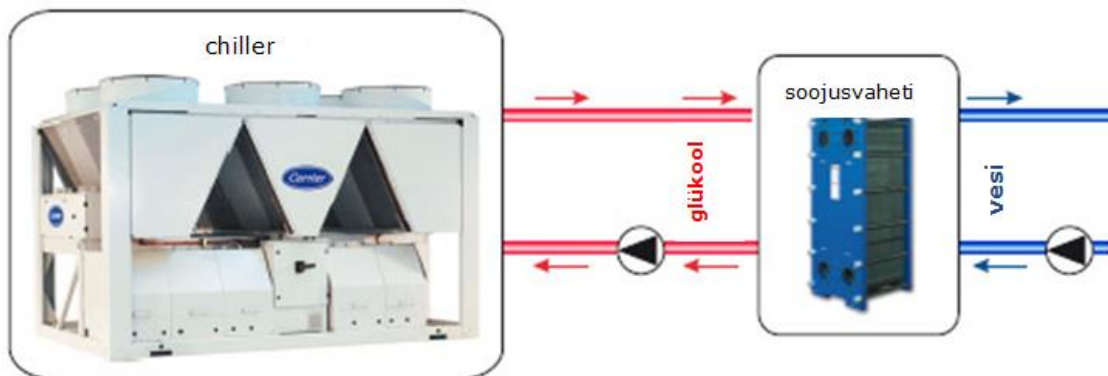
Tööstuslik chiller koosneb kolmest põhielemendist: kompressorist, kondensaatorist ja aurutist. Tööstusliku chilleri tööskeem on kujutatud joonisel 1.13. Auruti põhiülesanne - soojuse ärajuhtimine jahutatavalt objektilt. Sel eesmärgil lastakse sellest läbi jahutatav vedelik ja külmutusagens. Mille tulemusel vedelik jahtub, külmutusagens aga soojeneb ja läheb üle gaasitaolisesse olekusse. Selle järgselt satub gaasitaoline külmutusagens kompressorisse. Kuum aur tõmbub kokku, soojenedes temperatuurini 80–90 °C, ning seguneb kompressorist tuleva õliga.



Joon. 1.13 Tööstusliku chilleri tööskeem [5]

Soojendatud olekus suundub külmutusagens kondensaatorisse, kus seda jahutatakse külma õhu vooluga. Sellele järgneb lõplik töötükkel: külmutusagens satub soojusvahetist ülejahutajasse, kus selle temperatuur langeb. Selle tulemusel läheb freoon üle vedelasse seisundisse ja antakse kuivatusfiltrile, kus vabaneb niiskusest. Järgmise punktina on külmutusagensi liikumise teel TSV, milles alaneb freooni rõhk. Peale TSV-st väljumist kujutab külmutusagens endast madalrõhuga auru kombinatsioonis vedelikuga. See segu antakse aurutisse. Selles hakkab külmutusagens taas keema, muundudes auruks. Ülesoojendatud aur lahkub aurutist. See on uue tsükli alguseks.

Jahutamise skeem vahepealse külmutusagensi ja sekundaarse soojusvahetusaparaadi kasutamiseks on esitatud joonisel 1.14. Sellist skeemi rakendatakse juhul, kui jahutatud vedeliku temperatuuri langus on enam kui 7°C. Külmutusagensina kasutatakse etüleenglükooli, propüleenglükooli lahuseid ja soolalahuseid.



Joon. 1.14 Tööstusliku külmutusseadme skeem glükool külmutusagensiga [5]

1.7. Külmutusagensite tüübid

Külmutusagens – aine, mis võtab jahutavalt objektilt soojust ja tsirkuleerib külmutussüsteemis, keemisel laienedes neeldab jahutavalt objektilt tulevat soojust. Kompessoris kokku surudes loovutab soojust. Külmutusagensitena võib kasutada; ammoniumi, väävelanhüdriidi, süsinikdioksiidi, kloormetüüli ja etüüli, propaani, butaani, etüleenit ja freoone. Eksisteerivad looduslikud ja sünteetilised külmutusagensid.

Konkreetselt külmutusagensi valikuks on vaja teada selle tehnilisi omadusi, mis on sätestatud standardites. Mõnede külmutusagensite omadused on toodud tabelis 1.2. Meie päevil osutatakse suurt tähelepanu sellisele probleemile kui "globaalne soojenemine", mis on seotud osoonikihi hävimisega.

Eksisteerib külmagensite rühm, mille koosseisu kuuluvad atmosfääri osoonikihile hävitavalt mõjuvad ained. Nendest püütakse keelduda ja asendada kahjutumatega.

Külmutusagensid jaotatakse järgmisteks kategooriateks:

- A – osoonohhtlikud;
- B – üleminekulised;
- B – osoonohutud.

Kasvuhoone potentsiaali põhjal (GWP) eristatakse:

- 1) Külmutusagensid, millede GWP võrdub nulliga;
- 2) kasvuhoonegaasid.

Gloobalse soojenemise potentsiaal (Global warming potential, GWP) - koefitsient, mis määrab kasvuhoonegaaside mõjutaseme globaalsele soojenemisele teatud ajavahemiku

jooksul. Kui GWP võrdub 100, tähendab see seda, et külmutusagens mõjub 100 aasta vältel.

Osoonikihi hävitamise potentsiaal (Ozone depletion potential, ODP) - koefitsient, mis määrab külmutusagensi mõjutamise osoonkihile. Aluseks on võetud külmutusagens R11 (trikloorflourmetaan), kus ODP on võetud 1.0. [15]

Klassifikatsioon näeb ette külmutusagensite tähistuse vastavalt ISO/CD817:2007. Külmutusagensit tähistatakse sümbolite kombinatsiooniga: eesliide, n₃n₂n₁, järelliide, kus:

- eesliide R – külmutusagens inglise keelest (refrigerant);
- n₁ – fluori aatomite arv molekulile;
- n₂ – üks pluss vesinikaatomite arv molekulile;
- n₃ – süsivesinikaatomite arv miinus üks;
- järelliide – reatähed (a, b, c), mis osutavad tasakaalustamata isomeeridele.

Näiteks: R134a (tetrafluoretaan) mõtestatakse lahti nii:

- R - külmutusagens;
- 1 – n₁ süsivesiniku 2 aatomit;
- 3 – n₂ vesiniku 2 aatomit;
- 4 – n₃ fluori 4 aatomit;
- a - isomeer tasakaalustamata ühe aatomiga.

Mõnede külmutusagensite kasutus on keelatud paljudes riikides. Kooskõlas Montreali protokollile (1987 r.), sellised külmutusagensid kui R12, R11, R113, R114, R115 on 2012.a. kasutusest juba kõrvaldatud, R22, R21, R141b, R123 ja R142b aga viiakse järk-järgult kasutusest välja 2020.a. [16]

Dimetüüleeter külmutusagensina

Täna on saanud aktuaalseks dimetüüleetri (DME) kasutamine külmutusagensina. Tingitud selle omadustest. Sellel on madal keemistemperatuur (-24,9°C), on ökopuhas. Dimetüüleeter - praktiliselt ekvivalentne freoonide R12, R113, R22 asendaja. Selle kasutamine ei nõua kompressori ümberehitamist ja õli vahetamist, tagades seejuures energiatarbimise alanemise ja tankimismassi vähenemise 3-4 korda.

DME kasutatakse freoonina kombinatsioonis ammoniaagi seguga. Näiteks koosneb freoon R723 – 60 % ammoniaagist ja 40 % dimetüüleest. R723 kuulub looduslike külmutusagensite hulka (seeria 700). Selle keskmine molekulaarmass 23 g/mol. Kujutab endast terava lõhnaga värvita gaasi.

Aurustumisel ja kondenseerimisel segu kontsentratsioon ei muutu. Mistõttu ei saa seda jaotada tavalise destilleerimisega

Tabel 1.2 Külmutusagensite omadused [8],[15],[16]

Külmutusagensi nimetus	Rahvusvaheline tähis	Valem või koostis	Omadused	Ohutus OS suhtes	Külmutusagensite kategooria
Ammoniaak	R717	NH ₃	Lämmatava lõhnaga värvita gaas. Õhust kergem, mürgine. Kasutegur - 0,02 mg/l. Plahvatusohtlik õhus oleva kontsentratsiooni korral 21 %	Keskkonnaohutu. Gaasitaolises olekus ei ole kaua, kuna lahustub hästi vees ning läheb pinnasesse ammooniumsooladena. Töödeldakse ümber loomulikul teel, loodusel on hulgaliselt ammooniumi lülitamise ja moondamise viise.	B
Süsinikdioksiid	R744	CO ₂	Värvita, lõhnata gaas, maitsetl hapukas, õhust raskem. Lahustub hästi vees. Ei põle, mittetoksiline.	Süsihappe kõrge kontsentratsioon õhus on üheks globaalse soojenemise põhjuseks. Kasvuhoone potentsiaali näitaja (GWP = 1).	B
propaan	R290	C ₃ H ₈	Värvita gaas, vees nõrgalt lahustuv, mittetoksiline. Mürgine, tule- ja plahvatusohtlik (õhu kontsentratsiooni korral 2 kuni 9,5 %).	Ei hävita osoonkihti (ODP = 0) ning omab madalat kasvuhoone potentsiaali (GWP = 3).	B
H-butaan	R600	C ₄ H ₁₀	Värvita gaas, spetsiifilise iseloomuliku lõhnaga, vees ei lahustu ja sellega ei segune. Mürgine, tule- ja plahvatusohtlik õhukontsentratsiooni korral	Ei hävita osoonkihti. Keskkonnaohutu.	B
Isobutaan	R600a		Värvita ja lõhnata gaas, lahustub orgaanilistes lahustites. Veega moodustab klatraate (loodusgaaside hüdraadid).	Ei hävita osoonkihti (ODP = 0) ning omab madalat kasvuhoone potentsiaali (GWP = 0,001).	B

tabel 1.2 jätkub

Külmutusagensi nimetus	Rahvusvaheline tähis	Valem või koostis	Omadused	Ohutus OS suhtes	Külmutusagensite kategooria
Etüleen	R1150	C ₂ H ₄	Värvita põlevgaas, nõrga lõhnaga. Lahustub halvasti vees, kuid hästi dimetüüleeris ja süsivesinikes.	Keskkonnaohutu.	B
Ühekomponentsed freoonid: 1,1,1,2 - tetrafluoretaan	R134a	CF ₃ CFH ₃	Värvita gaas nõrga kloroformi lõhnaga. Mittepõlev.	Ei hävita osoonkihti (ODP = 0)	B
pentafluoretaan	R125	CHF ₂ -CF ₃	Värvita ja lõhnata gaas. Tuleohutu, mittepõlev, mittetoksiline. Termiliselt ja keemiliselt stabiilne.		B
1,1,1 - trifluoretaan	R143a	CH ₃ -CF ₃	Värvita ja lõhnata gaas. Tuleohutu, mittepõlev, mittetoksiline. Termiliselt ja keemiliselt stabiilne.		B
Mitmekomponentsed freoonid:	R404	R125 – 44,0%, R134a – 4,0%, R143a – 52,0%	Värvita. Leegi ja kuumade pindadega kokku puutudes laguneb kõrgtoksiliste ühenduste moodustamisega		B
	R410	R32 – 50,0%, R125 – 50,0%	Värvita, lõhnata gaas. Leegiga kokku puutudes laguneb, kõrgtoksilisi jäätmeid moodustades.	Koostisesse kuulub R32 osoonitekitav kasvuhoonegaas (ODP = 1)	A
	R502	R22 – 48,8% R125 – 51,2%	Värvita, lõhnata gaas. Leegiga kokku puutudes laguneb, kõrgtoksilisi jäätmeid moodustades.	Osoonkihti hävitav potentsiaal (ODP = 1,0), kasvuhoone potentsiaal (GWP = 1).	A
	R403b	R22 – 56,0% R218 – 39,0% R290 – 5,0%	Värvita gaas. Leegiga ja kuumade pindadega kokku puutudes laguneb, moodustades kõrgtoksilisi tooteid.	Osoonkihti hävitav potentsiaal (ODP = 1,0), kasvuhoone potentsiaal (GWP = 1).	A

1.8. Jahutusevedelike tüübid

Jahutusevedelik - aine, mis täidab jahutatavalt vedelikult soojuse ärajuhtimise ja auruti poolt eraldatava külma ülekandmise rolli.

Chillerite jaoks kasutatakse mitut liiki jahutusevedelikud:

1. Vesi - kõige levinum jahutusevedelik, millel on optimaalseimad soojusfüüsilised näitajad.
2. Glükogeelpõhised antifriisid (etüleen- ja propüleenglükoolid) - iseloomustuvad madala keemistemperatuuriga ja hea hügrooskoopsusega.
3. Soola-, happe- või piirituslahused.

Konkreetse jahutusevedeliku valikuks on vaja teada materjali omadusi, millest on valmistatud soojusvaheti (vask, roostevaba- või süsinikteras, titaan, niklisulamid). Jahutusevedeliku omadused peavad metallide suhtes olema negatiivsed, s.t. mitte provotseerima korrusiooni ja mitte muutma selle omadusi.

Levinumateks vedelikeks on vesi, etüleenglükool, propüleenglükool.

Vesi

Külmumistemperatuur 0°C ja keemistemperatuur +100°C piirab vee kasutamist chilleris. Veel on vähene lenduvus, dünaamilise viskoossuse ja korrosioonaktiivsuse madalad näitajad ning kõrge soojusmahutuvus. Veel töötavatel seadmetel on elektrienergia kulu oluliselt madalam. Lisaks kokkuhoiule eristub see jahutusevedelik mittetoksilisuse ja tuleohutusega. Kuid esineb ka puudus - chilleri paigaldamisel avatud õhus tuleb sügisel vesi välja valada ja täita torustikud antifriisiga.

Etüleenglükool

Kujutab endast sitket, värvita vedelikku, mille keemistemperatuur on +200°C ja külmumistemperatuur - miinus 20°C. Etüleenglükooli madalate külmumistemperatuuride tõttu kasutatakse seda külmutus- ja külmetusseadmetes. Jahutusevedelikut kasutatakse vesilahusena, millele on lisatud korrosioonivastased lisandid. Soolalahuse kontsentratsioonist sõltuvad soojusmahutuvus, viskoossus ja toime metallidele.

Etüleenglükooli lahuse kontsentratsiooni võib reguleerida. Sellest sõltub vedeliku külmumislävi ja vastavalt sellele kogu seadme tööomadused. Lisaks madalatemperatuurilistele omadustele, on etüleenglükooli lahustel ka puudused. Aktiivaine paistab silma toksilisusega ja narkootilise toimega inimesele, mõjub negatiivselt närvi- ja kuseteede süsteemile. Mistõttu vajab etüleenglükooliga töötamine ohutustehnika reeglite järgimist külmutusseadme eksploatatsioonil. Ohutuskaart on esitatud lisas 3.

Propüleenglükool

See aine on vähema toksilisusega, kui etüleenglükool. Mistõttu kasutatakse seda sagedamini külmutusseadmetes. Omab häid määardeomadusi. Metallide korrosioon väiksem. Külmutustemperatuur madalam, kui etüleenglükoolil. Kasutatakse toiduainete töötuses. Avariide korral on propüleenglükooli leke inimesele täiesti ohutu.

Soolalahused

Mittetoksilised, tuleohutud, ökopuhtad. Madal külmutustemperatuuri lävi. Sagedamini kasutatakse kaltsium- ja naatriumkloriidide lahuseid. Kuid nende kasutamises on üks oluline puudus. Ja nimelt - osutavad seadmestikule suurt korrosioontoimet.

Külmutustemperatuuri väärtused, sõltuvalt külmutusagensi kontsentratsiooni liigist, on esitatud tabelis 1.3.

Tabel 1.3 Külmutustemperatuuri sõltuvus lahuses sisalduva külmutusagensi kontsentratsioonist [4]

Kontsentratsioon, %	Etüleenglükool	Propüleenglükool	Naatriumkloriid	Kaltsiumkloriid
	Külmutustemperatuur, °C			
10	- 5,6	- 2,7	- 6,7	- 9,3
15	- 8,0	- 4,7	- 11,0	- 10,9
20	- 10,3	- 7,1	-16,7	- 16,1
25	- 12,8	- 10,1		- 29,3
30	- 15,8	- 13,5		
35	- 19,6	- 17,5		
40	- 24,4	- 21,7		
45	- 30,6			
50	- 38,3			

2. GGJ-5 SEADME ÜLDISELOOMUSTUS

2.1. Tehnoloogilise skeemi kirjeldus

GGJ-5 tehnoloogilise protsessi plokk-skeem on esitatud joon. 2.15. Põlevkivi antakse sõeluritele transportörlintidega. Siin toimub suurte põlevkivi tükkide sõelumine väikestest tükkidest. GGJ-5 seadmel kasutatakse II sordi suuretükilist põlevkivi suurusega 25 - 125 mm. Põlevkivi laaditakse gaasigeneraatori vastuvõtupunkritesse. Nendes toimub põlevkivi termiline lagundamine. Selle tulemusel moodustuvad aurugaasi segu ja poolkoks. Aurugaasisegu sisaldab generaatorgaasi, fenoolvee ja vaigu aarusid. Poolkoks laaditakse välja gaasigeneraatorite põhjast alustele. Seejärel transporditakse konveierlintidega puistangule.

Aurugaasisegu saabub gaasigeneraatorite gaasivoolult kondensatsioonijaoskonda. Kondenseerimise skeem on toodud lisas 2. Aurugaasisegu gaasivooludelt suundub barillettidele ja edasi skruberitele. Gaasivoolusid ja barillette niisutatakse raskeõli ja fenoolvee seguga. Tehakse auriugaasisegu temperatuuri alandamiseks. Mille tulemusel aurugaasisegu kondenseerub osaliselt, moodustades raskeõli.

Kondenseerunud toode suundub isevooluga barillettidelt kogumismahutitesse. Mahutitest antakse raskeõli koos mehhaaniliste lisanditega matseraatoritele (peenestusseadmed). Siin toimub mehhaaniliste lisandite peenestamine suurusega mitte üle 5 mm. Siit saabud raskeõli pumpadele, milledega seda pumbatakse tsirkulatsioonile mahuti koonilist osa mööda. Tehakse selleks, et välistada mehhaaniliste lisandite sadestumist põhja seintele.

Taseme tõusmisel mahutis ülemise etteantud piirini, avaneb siiber õli ärापumpamisliinil, tsirkulatsiooniliinil aga sulgub. Raskeõli pumbatakse Raske- ja kergekeskõlide ettevalmistuse ning õliärastuse seadmele (RKEÕS). Õlitaseme alanemisel alumise etteantud piirini, siiber õli ärापumpamisliinil sulgub, tsirkulatsiooniliinil aga avaneb.

Aurugaasisegu suundub barillettidelt skruberitele, mille järgselt läheb läbi jaotuskollektori paralleelsete vooludega õhkjahutusaparaatide toruosasse. Kollektoreid niisutatakse fenoolveega düüspihustite abil. Õlivee segu kondenseerub niisutamise ja voolu muutuse arvel. Seejärel satub isevoolu teel tilgapüüdurite alumisse ossa. Siia samasse, tilgapüüdurite keskmisesse ossa, tuleb ülemisest osast väljuv aurugaasisegu. Tilgapüüdurite kohale on paigaldatud düüspihustid, läbi millede pihustatakse fenoolvett.

Edasi suundu õlivee segu kogumismahutisse, mis on jaotatud neljaks sektsiooniks: 1, 2, 3 - vastuvõtusektsioonid, neljas sektsioon kergekeskõli ja fenoolvee jaotamiseks. Ka neljas sektsioon on eraldatud vaheseinaga. Kergekeskõli, kuna on fenoolveest kerge, koguneb ülaossa ja voolab läbi vaheseina õlisektsiooni. Siit pumbatakse see RKEÕS-ile. Fenoolvesi jääb mahuti alumisse ossa, kust pumbaga pumbatakse kogumismahutisse.

Fenoolvesi jaguneb kaheks vooluks. Üks vool läheb RKEÕS-ile, teine õhkjahutusaparaadi, tilgapüüduuri niisutamisele ja raskeõliga segamisele (barilletide, skruberite ja gaasivoolude niisutamisele).

Tilgapüüduritelt suundub aurugaasisegu külmikute torudevahelisse ruumi, toruruumi - tsirkulaarvesi. Külmikute järgselt antakse jahutatud generaatorgaas täitepumpade abil VKG Energia seadmele. Kondenseerunud õlivee segu suundub eraldusmahutisse.

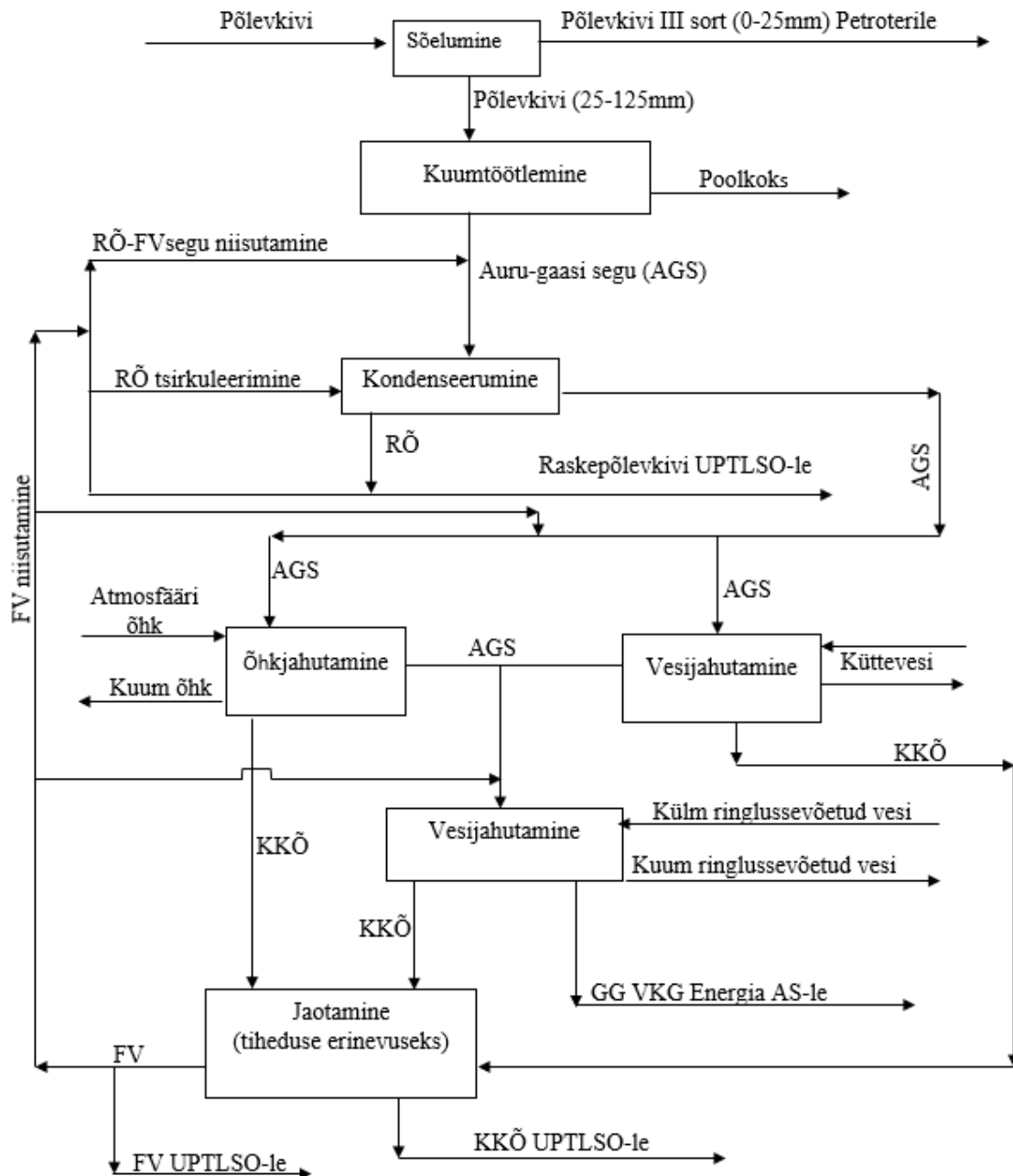


Рис.2.15 GGJ-5 tehnoloogilise protsessi plokk-skeem

2.2. GGJ-5 fenoolvee iseloomustus

Fenoolvesi (FV) – pooltoode, mida saadakse põlevkivi termilise ümbertöötlemise tulemusel. Sisaldab vees lahustuvaid põlevkivifenoole, mis on peenkeemia toodete tootmise toormeks. Fenoolvee koostis on toodud tabelis 2.4. Selle kromatograafiline analüüs esitatud lisas 1.

Tabel 2.4 GGJ-5 fenoolvete keskmistatud andmete iseloomustus

	pH	Fenoolvees sisalduvad ained	g/l	%	Tihedus 15°C juures, kg/dm ³
Fenoolvesi	6,5	Fenool	6,5	0,65	1,0014
		2 - metüülresortsiin	1,5	0,15	
		2 - metüülresortsiin	3,5	0,35	
		Resortsinool (1,3-dihüdrosübensool)	6,5	0,65	
		Katehiin (1,2-dihüdrosübensool)	1,5	0,15	
		Vaikaineid	0,2	0,02	

Fenoolvesi - kollakas-piimavalge värvusega vedelik, terava lõhnaga, oksüdeerub hästi õhu käes, muutes värvi roosakas-punaseks. Omab ühest suuremat tihedust. Keskkonnaohtlik selles lahustunud orgaaniliste ühendite sisalduse tõttu, millest põhimassi moodustavad fenoolid. Osutab elusorganismile sensibiliseerivat toimet. Toksiline veeorganismidele pikaajaliste tagajärgedega.

Fenoolveega kokkupuutel tuleb kasutada isikukaitsevahendeid: eririietust, jalatseid, kindaid, prille. Fenoolvee ohutuskaart on esitatud lisas 2.

GGJ-5 gaasigeneraatorjaamas eraldatakse fenoolvett ja kerg-keskmise fraktsiooni põlevkivivaiku mahutis setitamise meetodil. Fenoolvee põhiosa transporditakse torustiku kaudu edasisele töötlusele. Ülejäänud osa kasutatakse aurugaasisegu niisutamiseks selle efektiivsemaks kondenseerimiseks. Niisutamist tehakse kollektoritele paigaldatud düüspihustite abil, mille kaudu liigub aurugaasisegu. Fenoolvee temperatuur umbes 55 - 60°C.

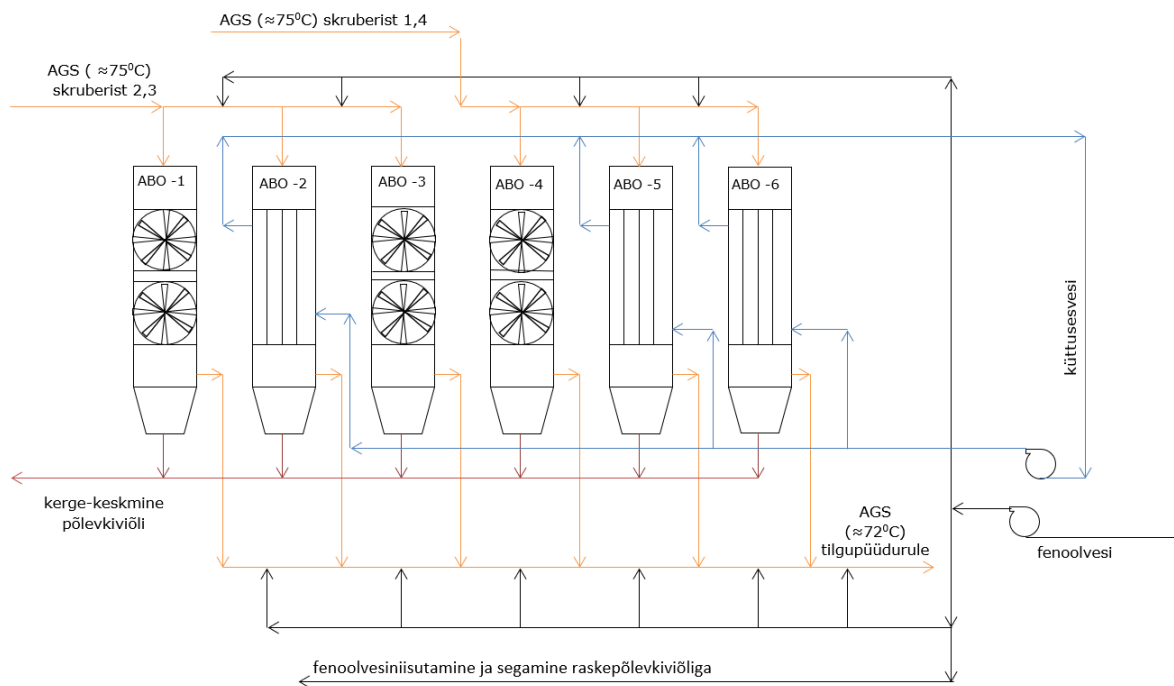
2.3. Aurugaasisegu fenoolveega niisutamise skeem

Aurugaasisegu fenoolveega niisutamise toimiv süsteem on esitatud joonisel 2.16. Aurugaasisegu saabub gaasigeneraatorist läbi gaasi äravoolude barillettidesse (segamispagid) temperatuuriga $\pm 270^{\circ}\text{C}$ ja seejärel kondenseerimisele. Kondenseerimine koosneb kahest astmest:

- põlevkivivaigu raske fraktsiooni kondenseerimine;

- põlevkivivaigu kerge-keskfraktsiooni kondenseerimine.

Esimesel astmel lisatakse fenoolvett vaigu raskele fraktsioonile. Segu antakse barilletide ja gaasipuhasti (skruber) niisutamiseks. Siin kondenseerub raskefraktsioon. Edasi suundub aurugaasisegu temperatuuriga umbes 120 - 150°C gaasipuhastitelt kondenseerimise teisele astmele. Aurugaasisegu kollektorit niisutatakse fenoolveega, mida pumbatakse pumbaga vahepealsest kogumismahutist. Kollektorit niisutatakse dүүspihusti abil õhk- ja veejahutusaparaatideni ning peale neid. Õhkjahutusaparaadid on aurugaasisegu jahutamiseks mõeldud aparaadid. Jaoskonnas on kuus õhkjahutusaparaati. Kolm õhkjahutusega ja kolm veejahutusega. Fenoolveega niisutatava aurugaasisegu temperatuur on õhkjahutusaparaadi sisendil umbes 75°C, väljundil - 72°C.



Joon. 2.16 Aurugaasisegu niisutamisel fenoolveega GGJ-5 seadmel toimiv skeem

3. Arvutuslik osa

3.1. Ülesanne ja probleemi kirjeldus

Suvisel ajal on aurugaasisegu temperatuuril õhkjahutusaparaadi sisendil ja sellest väljumisel mõningane erinevus. Seetõttu tuleb rakendada sellist fenoolvee jahutussüsteemi, mis suudaks suurendada nende näitajate vahelist erinevust. Seda võib teha chilleri abil, milles jahutamine toimub etüleenglükooli ja veeseguga. Lõputöös uuriti selliseks jahutamiseks vajalikku külmutusseadmetikku. Jahutussüsteemis mängib olulist rolli vahepealne soojusvaheti, milles kasutatakse etüleenglükooli jahutusvedelik + vett. Mistõttu korraldati töös kaht tüüpi soojusvaheti (plaat- ja kest-toru soojusvaheti) võrdlev arvutus, tehti analüüs. Fenoolvee jahutussüsteemi eeldatav skeem vahepealse soojusvahetusaparaadiga on esitatud lisas 5.

Kuna fenoolvesi sisaldab mehhaanilisi lisandeid ja vaikaineid, on eelnevaks puhastamiseks vaja paigaldada filtrid. Lisaks on fenoolvesi nende materjalide suhtes, millest on valmistatud seadmetik, korrosioonagressiivne. Mistõttu tuleb soojusvahetusaparaadi valmistamiseks vajaliku materjali valikul sellega arvestada.

Fenoolvee kulu aurugaasiseguga niisutamiseks moodustab 75 m³/h. Fenoolvee algtemperatuur – pluss 55⁰C, lõpptemperatuur – pluss 30⁰C. Summaarsete vees lahustuvate fenoolide sisaldus fenoolvees moodustab kõigest umbes 2%. Fenoolvee ja vee tihedused on väärtuste poolest veidi erinevad (1,0014 ja 0,999 kg/dm³ 15⁰C juures vastavalt). Andmed fenoolvee soojusfüüsiliste omaduste kohta puuduvad, seega kasutati arvutustes tavavee tihedust, viskoossust, erisoojusmahtuvust ja soojusjuhtivust. Külmutusagensiks valime etüleenglükooli ja vee segu protsendilise kontsentratsiooniga 20%.

3.2. Plaatsoojusvaheti arvutus

Külmutusagensi temperatuuride intervall chillerites -7...12⁰C. Määrame EG (etüleenglükooli) lahuse temperatuuri.

Tabel 3.5 Arvutuse lähteandmed

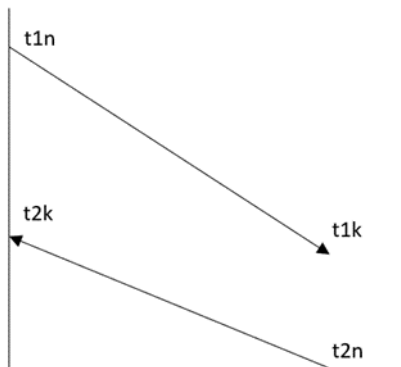
Fenoolvesi			EG lahus (20%)	
Mahukulu, V, m ³ /h	t _{1n} ⁰ C	t _{1k} ⁰ C	t _{2n} ⁰ C	t _{2k} ⁰ C
75	55	30	-5	5

Valime soojusvahetis keskkondade vastuvoolu suuna.

Jahutavata FV (fenoolvesi) keskmine temperatuur määratakse aritmeetilise keskmisena:

$$t_1 = \frac{(t_{1k} + t_{1n})}{2} \quad (3.1) [14]$$

$$t_1 = (55+30)/2 = 42,5^\circ\text{C}$$



Joon.3.7 Soojuskandja temperatuuri muutmine

Analoogiliselt määrame EG lahuse keskmise temperatuuri:

$$t_2 = (-5+5)/2 = 0^\circ\text{C}$$

Tabel 3.6 FV ja EG lahuse soojusfüüsilised omadused

Fenoolvesi $\Delta t = 42,5^\circ\text{C}$				
$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/dm}^3$	$C, \text{J/kg}\cdot\text{K}$	$\mu, 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\lambda, \text{W/m}\cdot\text{K}$
42,5	0,9914	4175	0,629	0,651
20%-line etüleenglükooli lahus $\Delta t = 0^\circ\text{C}$				
0	1,036	3900	3,11	0,500

Logarütmilist keskmist temperatuuri arvutatakse järgmise valemi alusel:

$$\Delta t_{\text{kesk}} = (\Delta t_{\text{max}} - \Delta t_{\text{min}}) / \ln(\Delta t_{\text{max}} / \Delta t_{\text{min}}) \quad (3.2) [14]$$

$$\Delta t_{\text{kesk}} = (55-5) - (30-(-5)) / \ln(55-5) / (30-(-5)) = 42,1^\circ\text{C} = 42,1\text{K}$$

Soojuskoormuse arvutust tehakse järgmise valemi alusel:

$$Q = G_1 C_1 (t_{1n} - t_{1k}), \quad (3.3) [14]$$

kus

G_1 – jahutatava vedeliku masskulu, kg/s;

t_{1n} – jahutatava vedeliku algtemperatuur, K;

t_{1k} – jahutatava vedeliku lõpptemperatuur, K;

C_1 – jahutatava vedeliku erisoojusmahtuvus, J/(kg·K).

Vee masskulu:

$$G_1 = 75 \cdot 0,9914 \cdot 10^3 = 74355 \text{ kg/h}$$

Sel juhul võrdub soojusvool:

$$Q = 74355/3600 \cdot 4175 \cdot (328 - 303) = 2155778 \text{ W}$$

Etüleenglükooli lahu kulu arvestatakse materiaalse bilansi valemist lähtudes:

$$G_2 = Q/C_2 (t_{2k} - t_{2n}), \quad (3.4) [14]$$

kus

C_2 – EG soojusmahutuvus, J/(kg·K)

$$G_2 = 2155778/(3900 \cdot (278 - 268)) = 55,28 \text{ kg/s}$$

Soojusülekanne orienteeruv pind F_{orient} :

$$F = Q/(K\Delta t_{\text{kesk}}), \quad (3.5) [14]$$

kus

Q – aparadi soojuskoormus, W;

K – soojusülekanne koefitsient, W/(m²·K);

Δt_{kesk} – keskmine temperatuurisurve, K.

Soojusülekanne koefitsiendi orienteeruv tähendus vedelikult vedelikule (vesi) 800–1700 W/(m²·K), lisa 6. [15]

Kuna soojusülekanne koefitsient plaatsoojusülekanadjates on kõrgem, käsiraamatus toodud orienteeruvad tähendused, võetakse aluseks: $K = 1300 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

$$F_{\text{orient}} = 2155778/1300 \cdot 42,1 = 39,4 \text{ m}^2$$

Vaatame läbi kaks plaatsoojusvaheti varianti:

1) TPR tüüpi soojusvahetuspinnaga $F = 40 \text{ m}^2$; plaadi pind $f = 0,5 \text{ m}^2$, plaatide arv $N = 78$ tk.

2) TPR tüüpi soojusvahetuspinnaga $F = 40 \text{ m}^2$; plaadi pind $f = 0,6 \text{ m}^2$, plaatide arv $N = 70$ tk.

Tabel 3.7 Liidend plaatsoojusvaheti aparadi tehnilised iseloomustused (plaadi pinnaga 0,5 ja 0,6 m²) [20], lisa 7

Aparaadi parameeter	mõõtühik	0,5	0,6
Kanali ekvivalentdiameeter, d_e	m	0,0080	0,0074
Kanali toodud pikkus, L_n	m	1,150	0,893

tabel 3.7 jätkub

Aparaadi parameeter	möötühik	0,5	0,6
Kanali ristlõige, S	m ²	0,0018	0,00262
Gabariitmõõtmed:	mm		
pikkus		1370	1392
laius		500	600
paksus		1,0	1,0
Soojusvaheti mass	kg	1515	1470
Tingliku läbikäigu diameeter 150 (teostus II)	mm	100-150	200-250

Plaatsoojusvaheti esimese variandi arvutus

Valime plaatide koostuse kolme sümmeetrilise pakiga skeemil:

$$Cx = 13+13+13/13+13+13$$

Lugejas toodud arvud vastavad järjestikku ühendatud, jahutatava keskkonna pakettide (käikude) arvuga. «+» märk tähistab järjestikkust ühendust. Arv 13 - paralleelsete plaatidevaheliste kanalite arv igas pakendis. Nimetajas on toodud tinglikud analoogilised tähistused soojendatavale töökeskkonnale.

Kuuma fenoolvee ja etüleenglükooli kiirust kanalis määratakse valemiga:

$$W = G/mpS, \quad (3.6) [14]$$

kus

m – pakettide arv fenoolveele ja etüleenglükooli lahusele, tk:

ρ – fenoolvee ja etüleenglükooli lahuse tihedus, kg/dm³;

S - plaatidevahelise kanali ristlõikepindala, m².

$$w_1 = 20,65/13 \cdot 0,9914 \cdot 10^3 \cdot 0,0018 = 0,89 \text{ m/s}$$

$$w_2 = 55,28/13 \cdot 1,036 \cdot 10^3 \cdot 0,0018 = 2,28 \text{ m/s}$$

Prandtl kriteerium määratakse valemiga:

$$Pr = \mu C/\lambda, \quad (3.7) [17]$$

kus

μ – fenoolvee ja etüleenglükooli lahuse dünaamiline viskoossus, Pa·s

C – fenoolvee ja etüleenglükooli lahuse erisoojusmahtuvus, J/kg·K

λ – fenoolvee ja etüleenglükooli lahuse soojusjuhtivustegur, W/m·K

$$Pr_1 = 0,629 \cdot 10^{-3} \cdot 4175/0,651 = 4,034$$

$$Pr_2 = 3,11 \cdot 10^{-3} \cdot 3900/0,500 = 24,26$$

Vedelike liikumisrežiim kanalis, Reinoldsi kriteerium määratakse valemiga:

$$Re = Wd_3\rho/\mu \quad (3.8) [14]$$

w – fenoolvee ja etüleenglükooli lahuse voolude kiirus, m/s;

d_e – kanali ekvivalentdiameeter d₃, m.

$$Re_1 = 0,89 \cdot 0,008 \cdot 0,9914 \cdot 10^3/0,629 \cdot 10^{-3} = 11222,2 > 10000, \text{ s.t. turbulentrežiim.}$$

$$Re_2 = 2,28 \cdot 0,008 \cdot 1,036 \cdot 10^3/3,11 \cdot 10^{-3} = 6076,1 > 2000, \text{ s.t. turbulentrežiim.}$$

Nu kriteerium määratakse valemiga:

$$Nu = aRe^{0,73}Pr^{0,43}(Pr/Pr_{cr})^{0,25}, \quad (3.9)[14]$$

kus

a – soojusväljastuse koefitsient turbulentsel liikumisel ja ühe plaadi pinnaga 0,5 m² võrdub 0,135; [14]

Pr/Pr_{cr} - soojusvoolu suunda arvestav kordaja võrdub ühega.

$$Nu_1 = 0,135 \cdot 11222,2^{0,73} \cdot 4,034^{0,43} = 222,536$$

$$Nu_2 = 0,135 \cdot 6076,1^{0,73} \cdot 24,26^{0,43} = 307,53$$

Soojusväljastuse koefitsient fenoolveest ja etüleenglükooli lahusest seinale määratakse valemiga:

$$a = Nu\lambda/d_3 \quad (3.10) [17]$$

$$a_1 = 222,536 \cdot 0,651/0,008 = 18108,9 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$a_2 = 307,53 \cdot 0,500/0,008 = 19220,7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Üldist termilist takistust R, (m² ·K)/W, määratakse valemiga:

$$R = \frac{1}{r_1} + \frac{\delta_s}{r_s} + \frac{1}{r_2} \quad (3.11) [14]$$

Võtame:

$$r_1 = 2900 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) - \text{fenoolvetega määrdumiste soojusjuhtivus}; [14]$$

$$r_2 = 5800 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) - \text{etüleenglükooliga määrdumiste soojusjuhtivus}; [14]$$

$$\lambda_s = 17,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) - \text{roostevaba terase soojusjuhtivus}; [19]$$

$$\delta_s = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m} - \text{plaadi paksus. [19]}$$

$$R = 1/5800 + 1 \cdot 10^{-3}/17,5 + 1/2900 = 0,00057$$

Soojusülekanne koefitsient määratakse valemiga:

$$K = \frac{1}{\alpha_1} + R + \frac{1}{\alpha_2} \quad (3.12) [14]$$

$$K = 1/(1/18108,9 + 0,00057 + 1/19220,7) = 1476,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Soojusvaheti pinna arvutuslik pindala:

$$F_{\text{arvutus}} = 2155778/1476,6 \cdot 42,1 = 34,7 \text{ m}^2$$

Soojusvaheti pinna varu:

$$(40-34,7)/34,7 \cdot 100\% = 15,27\%$$

Hüdraularvutus

Hüdraultakistuse koefitsient turbulentsel režiimil määratakse valemiga:

$$\xi = a_2/Re^{0,25}, \quad (3.13) [14]$$

kus

a_2 – soojusväljastuse koefitsient ühe plaadi pinna juures $0,5 \text{ m}^2$ võrdub $15, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,
[19]

ξ - kohaliku takistuse koefitsient.

Fenoolveele:

$$\xi_1 = 15/11222,2^{0,25} = 1,46$$

Etüleenglükooli lahusele:

$$\xi_2 = 15/6076,1^{0,25} = 1,7$$

Voolu liikumiskiirust tutsides määratakse valemiga:

$$w' = G/\rho \cdot 0,785d'^2, \quad (3.14) [14]$$

kus

d' – tutsi diameeter, m;

G – fenoolvee ja etüleenglükooli lahuse masskulu, kg/s;

ρ – fenoolvee ja etüleenglükooli lahuse tihedus, kg/dm³.

Fenoolveele:

$$w'_1 = 20,65/0,9914 \cdot 10^3 \cdot 0,785 \cdot 0,2^2 = 0,66 \text{ m/s},$$

Etüleenglükooli lahusele:

$$w'_2 = 55,28/1,036 \cdot 10^3 \cdot 0,785 \cdot 0,2^2 = 1,7 \text{ m/s}$$

Plaatsoojusvaheti hüdraultakistus määratakse valemiga:

$$\Delta P = x\xi L_n \rho w^2 / d_e^2 + x \rho w^2 / 2 \quad (3.15) [14]$$

X - järjestikku lülitatud pakkide (käikude) arv ühele ja teisele keskkonnale, tk:

L_n - kanali määratud pikkus, m;

d_e - kanali ekvivalentdiameeter, m;

ρ - fenoolvee ja etüleenglükooli lahuse tihedus, kg/dm³;

Fenoolveele:

$$\Delta P_1 = (3 \cdot 1,46 \cdot 1,15 \cdot 0,9914 \cdot 10^3 \cdot 0,89^2) / 0,008 \cdot 2 + (3 \cdot 0,9914 \cdot 10^3 \cdot 0,66^2) / 2 = 247493,5 \text{ Pa} \approx 0,25 \text{ MPa}$$

Etüleenglükooli lahusele:

$$\Delta P_2 = (1,7 \cdot 1,15 \cdot 1,036 \cdot 10^3 \cdot 2,28^2) / 0,008 \cdot 2 + (3 \cdot 1,036 \cdot 10^3 \cdot 1,7^2) / 2 = 662621,1 \text{ Pa} \approx 0,66 \text{ MPa}$$

Plaatsoojusvaheti teise variandi arvutus

Valime kõige lihtsama plaatide koostuse ühe pakiga vastavalt skeemile, kus plaatide arv – 70 tk.:

$$C_x = 35/35$$

Kuuma fenoolvee ja etüleenglükooli lahuse kiirus:

$$w_1 = 20,65/35 \cdot 0,9914 \cdot 10^3 \cdot 0,00262 = 0,227 \text{ m/s}$$

$$w_2 = 55,28/35 \cdot 1,063 \cdot 10^3 \cdot 0,00262 = 0,582 \text{ m/s}$$

Pr kriteeriumid:

$$Pr_1 = 0,629 \cdot 10^{-3} \cdot 4175 / 0,651 = 4,034$$

$$Pr_2 = 3,11 \cdot 10^{-3} \cdot 3900 / 0,500 = 24,26$$

Reinoldsi kriteeriumid:

$$Re_1 = 0,227 \cdot 0,0074 \cdot 0,9914 \cdot 10^3 / 0,629 \cdot 10^{-3} = 2647,6 > 2000, \text{ s.t. režiim on turbulentne.}$$

$$Re_2 = 0,582 \cdot 0,0074 \cdot 1,036 \cdot 10^3 / 3,11 \cdot 10^{-3} = 1434,7 > 1000, \text{ s.t. režiim on turbulentne.}$$

Nu kriteeriumid:

α – soojusväljastuse koefitsient turbulentsel liikumisel ja ühe plaadi pinnaga 0,6 m² võrdub 0,135; [14]

$$Nu_1 = 0,135 \cdot 2647,6^{0,73} \cdot 4,034^{0,43} = 77,53$$

$$Nu_2 = 0,135 \cdot 1434,7^{0,73} \cdot 24,26^{0,43} = 107,19$$

Soojusväljastuse koefitsient fenoolveelt ja etüleenglükooli lahuselt:

$$\alpha_1 = 77,53 \cdot 0,651/0,0074 = 6820,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\alpha_2 = 107,19 \cdot 0,500/0,0074 = 7242,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Soojusülekanne koefitsient:

$$K = 1/(1/6820,5 + 0,00057 + 1/7242,8) = 1170 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Soojusvaheti pinna arvutuslik pindala:

$$F_{\text{arvutus}} = 2155778/1170 \cdot 42,1 = 43,8 \text{ m}^2$$

Soojusvahetuse arvutuslik pind tuli suurem orienteeruvast, selline soojusvaheti paigaldamiseks ei sobi. Valime soojusvaheti teise pakettide koostusega.

Valime plaatide asümmeetrilise koostuse järgmise skeemi alusel:

$$Cx = 8+8+8+7/10+10+10+9$$

Kuuma fenoolvee ja etüleenglükooli lahuse kiirus:

$$w_1 = 20,65/8 \cdot 0,9914 \cdot 10^3 \cdot 0,00262 = 0,99 \text{ m/s}$$

$$w_2 = 55,28/10 \cdot 1,036 \cdot 10^3 \cdot 0,00262 = 2,036 \text{ m/s}$$

Pr kriteeriumid:

$$Pr_1 = 4,034$$

$$Pr_2 = 24,26$$

Reinoldsi kriteeriumid:

$$Re_1 = 0,99 \cdot 0,0074 \cdot 0,9914 \cdot 10^3/0,629 \cdot 10^{-3} = 11546,9 > 10000, \text{ s.t. režiim on turbulentne.}$$

$$Re_2 = 2,036 \cdot 0,0074 \cdot 1,036 \cdot 10^3/3,11 \cdot 10^{-3} = 5017,6 > 2000, \text{ s.t. režiim on turbulentne.}$$

Nu kriteeriumid:

α – soojusväljastuse koefitsient turbulentsel liikumisel ja ühe plaadi pinnaga 0,6 m² võrdub 0,135; [14]

$$Nu_1 = 0,135 \cdot 11546,9^{0,73} \cdot 4,034^{0,43} = 227,2$$

$$Nu_2 = 0,135 \cdot 5017,6^{0,73} \cdot 24,26^{0,43} = 267,4$$

Soojusväljastuse koefitsient fenoolveelt ja etüleenglükooli lahuselt:

$$\alpha_1 = 227,2 \cdot 0,651/0,0074 = 19987,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\alpha_2 = 267,4 \cdot 0,500/0,0074 = 18067,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Soojusülekanne koefitsient:

$$K = 1/(1/19987,5 + 0,00057 + 1/18067,6) = 1378 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Soojusvaheti pinna arvutuslik pindala:

$$F_{\text{arvutus}} = 2155778/1378 \cdot 42,1 = 37,2 \text{ m}^2$$

Soojusvaheti pinna varu:

$$(40-37,2)/37,2 \cdot 100\% = 15,6\%$$

Hüdraularvutus

a_2 – soojusväljastuse koefitsient ühe plaadi pinna juures $0,6 \text{ m}^2$ võrdub $15, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$,
[19]

ξ - kohaliku takistuse koefitsient:

Fenoolveele:

$$\xi_1 = 15/11546,9^{0,25} = 1,45$$

Etüleenglükooli lahusele:

$$\xi_2 = 15/5017,6^{0,25} = 1,78$$

Voolu liikumiskiirust tutsides fenoolveele ja etüleenglükooli lahusele määratakse valemiga:

$$w'_1 = 20,65/0,9914 \cdot 10^3 \cdot 0,785 \cdot 0,2^2 = 0,66 \text{ m/s}$$

$$w'_2 = 55,28/1,036 \cdot 10^3 \cdot 0,785 \cdot 0,2^2 = 1,7 \text{ m/s}$$

Plaatsoojusvaheti hüdraultakistus:

Fenoolveele:

$$\Delta P_1 = (4 \cdot 1,6 \cdot 0,893 \cdot 0,9914 \cdot 10^3 \cdot 0,99^2)/0,0074 \cdot 2 + (4 \cdot 0,9914 \cdot 10^3 \cdot 0,66^2)/2 = 383446,3 \text{ Pa} \approx 0,38 \text{ MPa}$$

Etüleenglükooli lahusele:

$$\Delta P_2 = (1,78 \cdot 0,893 \cdot 1,036 \cdot 10^3 \cdot 2,036^2)/0,0074 \cdot 2 + (4 \cdot 1,036 \cdot 10^3 \cdot 1,7^2)/2 = 467226 \text{ Pa} \approx 0,467 \text{ MPa}$$

3.3. Horisontaalse kest-toru soojusvaheti arvutus

Soojuskoormust, temperatuuride keskmist erinevust ja soojusvahetuse pindala arvutame sama valemi alusel nagu plaatsoojusvaheti korral. Mistõttu võtame need näitajad lähteandmetena.

$$\Delta t_{\text{kesk}} = 42,1^{\circ}\text{C}$$

$$G_1 = 20,65 \text{ kg/s (0,021 m}^3\text{/s)}$$

$$Q = 2155778 \text{ W}$$

$$G_2 = 55,28 \text{ kg/s (0,06 m}^3\text{/s)}$$

Soojusvahetusaparaadi arvutuseks tuleb valida veel üks parameeter - torude arv. Toruruumi suuname fenoolvee voolu, torudevahelisse ruumi aga etüleenglükooli lahuse. Määrame tähenduseks $Re = 15000$, mis vastab torudes oleva voolu arenenud turbulentssele režiimile. Torude arvu ühele käigule arvutame valemiga:

$$n/z = 4G/\pi d_{\text{BH}}\mu Re, \quad (3.16) [14]$$

kus

G – fenoolvee masskulu, kg/s;

π - matemaatiline konstant, mis väljendab übermõõdu pikkuse suhet selle diameetritele:

d_{BH} – toru sisediameeter, ($d_{\text{BH}} = d_{\text{H}} - 2 \cdot \delta$), mm;

μ – Fenoolvee sitkus, $10^{-3} \cdot \text{Pa}\cdot\text{s}$

Torudele diameetriga $d = 20 \times 2$:

$$n/z = 4 \cdot 20,65/3,14 \cdot 0,016 \cdot 0,000629 \cdot 15000 = 174 \text{ tk}$$

Torudele diameetriga $d_{\text{BH}} = 25 \times 2$:

$$n/z = 4 \cdot 20,65/3,14 \cdot 0,021 \cdot 0,000629 \cdot 15000 = 132 \text{ tk}$$

Vastava korrektsiooni temperatuuride keskmisele erinevusele määrame valemiga:

$$\varepsilon_{\Delta t} = \frac{\eta/\delta}{\ln [(2-P(1+R-\eta))/(2-P(1+R+\eta))]} \quad (3.17) [14]$$

$$P = t_{2k} - t_{2n}/t_{1n} - t_{2n} \quad (3.18) [14]$$

$$P = 5 - (-5)/55 - (-5) = 0,167$$

$$R = t_{1n} - t_{1k}/t_{2k} - t_{2n} \quad (3.19) [14]$$

$$R = 55 - 30/(5 - (-5)) = 2,5$$

$$\eta = \sqrt{2,5^2 + 1} = 2,69$$

$$\delta = \frac{2,5-1}{\ln(1-0,167)/(1-2,5 \cdot 0,167)} = 4,19$$

$$\epsilon_{\Delta t} = 2,5/4,19 / \ln((2-0,167)1+2,5-2,69)/(2-0,167(1+2,5+2,69)) = 0,9$$

$$\Delta t_{\text{kesk}} = 42,1 \cdot 0,9 = 37,9^{\circ}\text{C}$$

Soojusandjate turbulentsele liikumisele vastava soojusülekanne orienteeruvaks tähenduseks võtame: $K = 1300 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

$$F_{\text{orient}} = 2155778/1300 \cdot 37,9 = 43,8 \text{ m}^2$$

Valime kaks, pindalaga 46 m^2 , torude paksusega $d \times \delta = 25 \times 2 \text{ mm}$ ja $d \times \delta = 20 \times 2 \text{ mm}$, standardse soojusvahetusaparaadi varianti.

Tabel 3.8 Toru-kest soojusvahetusaparaadi pinnaga 40 m^2 [14] tehnilised omadused, lisa 8

Aparaadi parameeter	mõõtühik	I variant	II variant
Soojusülekanne pind, F	m^2	46	46
Kesta sisediameeter, D	mm	800	600
Torude üldarv, n	tk.	181	196
Torude pikkus, L	m	4,0	3,0
Toruruumi ristlõike pindala, S'	m^2	0,017	0,037
Torudevahelise ruumi pindala, S''	m^2	0,036	0,011
Käikude arv, z	tk.	1	6
Torude paksus, $d \times \delta$	mm	20x2	25x2
Aparaadi mass	kg	3900	3230

Kest-toru soojusvaheti esimese variandi arvutus

$$n/z = 181/1 = 181$$

Vedeliku liikumisrežiimi toruruumis, Reynoldsi kriteeriumeid määratakse valemiga:

$$Re = 4G_1/\pi d(n/z)\mu_1, \quad (3.20) [14]$$

kus

π - matemaatiline konstant, mis väljendab übermõõdu pikkuse suhet selle diameetritele:

G_1 - torusid mööda voolava vedeliku masskulu, kg/s;

d - toru sisediameeter, m;

n – torude arv;

z – käikude arv;

μ_1 – vedeliku viskoossus toruruumis, $10^{-3} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$.

$$Re_1 = 4 \cdot 20,65 / (3,14 \cdot 0,016 \cdot 181 \cdot 0,629 \cdot 10^{-3}) = 14441,13$$

$$Pr_1 = 4,034$$

Nusselti kriteerium fenoolveele voolu turbulentsel liikumisel toru sees, $Re > 10000$ korral, leitakse valemiga:

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} (Pr/Pr)^{0,25}, \quad (3.21) [14]$$

kus

$(Pr/Pr)^{0,25}$ – võetakse ühikuna.

$$Nu = 0,021 \cdot 14441,13^{0,8} \cdot 4,034^{0,43} = 81,35$$

Soojusväljastuse koefitsient torude pinnalt fenoolveele:

$$\alpha_1 = 81,35 \cdot 0,651 / 0,016 = 3309,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Voolu liikumisrežiimi torudevahelises ruumis määratakse valemiga:

$$Re = G_2 d / \mu_2 S'', \quad (3.22) [18]$$

kus

G_2 – vedeliku masskulu torudevahelises ruumis, kg/s;

d – torude diameeter, m;

μ_2 – torudevahelise ruumi vedeliku viskoossus, $10^{-3} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$;

S'' – torudevaheline pindala, m^2 .

$$Re_2 = 55,28 \cdot 0,02 / 3,11 \cdot 10^{-3} \cdot 0,036 = 9874,31$$

$$Pr_2 = 24,25$$

Nusselti kriteerium torudevahelisele ruumile, $Re > 10000$ korral, leitakse valemiga:

$$Nu_2 = 0,24 Re^{0,6} Pr^{0,36} (Pr/Pr)^{0,25} \quad (3.23) [18]$$

kus

$(Pr/Pr)^{0,25}$ – võetakse 1.

$$Nu_2 = 0,24 \cdot 9874,31^{0,6} \cdot 24,25^{0,36} = 188,57$$

Soojusväljastuse koefitsient etüleenglükooli lahuselt torudele:

$$\alpha_2 = 188,57 \cdot 0,5 / 0,02 = 4714,146 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Üldine termiline takistus R , $(m^2 \cdot K)/W$, määratakse valemiga:

$$R = \frac{1}{r_1} + \frac{\delta_s}{r_s} + \frac{1}{r_2} \quad (3.11) [14]$$

Soojusülekanne koefitsient määratakse valemiga:

$$K = \frac{1}{\alpha_1} + R + \frac{1}{\alpha_2} \quad (3.12) [14]$$

Võtame:

$r_1 = 2900 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$ – määratumiste soojusläbitavus fenoolvete poolt; [14]

$r_2 = 5800 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$ – määratumiste soojusläbitavus etüleenglükoolahuse poolt; [14]

$\lambda_s = 17,5 \text{ W}/m \cdot K$ - roostevaba terase soojusjuhtivus; [19]

$\delta_s = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ – toru seina paksus. [19]

$$R = 1/2900 + 2 \cdot 10^{-3}/17,5 + 1/5800 = 0,00057$$

$$K = 1/(1/3309,9 + 0,00057 + 1/4714,146) = 992,3 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Soojusvahetuspinna arvutuslik pindala:

$$F_{\text{arvutus}} = 2155778/992,3 \cdot 37,9 = 61,67 m^2$$

Soojusvahetuse arvutuslik pind tuli orienteeruvast suurem, selline aparaat paigaldamiseks ei sobi.

Kest-toru soojusvaheti teise variandi arvutus

$$n/z = 196/6 = 32,6667$$

Vedeliku liikumisrežiimi toruruumis, Reynoldsi kriteeriumeid määratakse valemiga:

$$Re_1 = 4 \cdot 20,65/(3,14 \cdot 0,021 \cdot 32,6667 \cdot 0,629 \cdot 10^{-3}) = 60964,3$$

$$Pr_1 = 4,034$$

Nusselti kriteerium fenoolveele voolu turbulentsel liikumisel toru sees, $Re > 10000$ korral, leitakse valemiga:

$$Nu = 0,021 \cdot 60964,3^{0,8} \cdot 4,034^{0,43} = 257,48$$

Soojusväljastuse koefitsient torude pinnalt fenoolveele:

$$\alpha_1 = 257,48 \cdot 0,651/0,021 = 7981,85 \text{ W}/m^2 \cdot K$$

Voolu liikumisrežiim torudevahelises ruumis:

$$Re_2 = 55,28 \cdot 0,025/3,11 \cdot 10^{-3} \cdot 0,011 = 40394,9$$

$$Pr_2 = 24,25$$

Nusselti kriteerium torudevahelisele ruumile:

$$Nu_2 = 0,24 \cdot 40394,9^{0,6} \cdot 24,25^{0,36} = 439,09$$

Soojusväljastuse koefitsient etüleenglükooli lahuselt torudele:

$$\alpha_2 = 439,09 \cdot 0,5/0,02 = 10977,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Üldine termiline takistus:

$$R = 0,00057$$

$$K = 1/(1/7981,85 + 0,00057 + 1/10977,28) = 1271,6 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Soojusvahetuspinna arvutuslik pindala:

$$F_{\text{arvutus}} = 2155778/1271,6 \cdot 37,9 = 44,7\text{m}^2$$

Soojusvaheti pinna varu:

$$(46-44,7)/44,7 \cdot 100\% = 2,8\%$$

Hüdraularvutus

Vedeliku kiirust torudes arvutatakse valemiga:

$$w_1 = G_1/S' \rho_1, \quad (3.24) [14]$$

G_1 – vedeliku masskulu toruruumis, kg/s;

S' – toruruumi ristlõike pindala, m²;

ρ_1 – toruruumi vedeliku tihedus, 10³ kg/m³.

$$w_1 = 20,65/0,011 \cdot 991,4 = 1,89 \text{ m/s}$$

Tutsides olevat kiirust arvutatakse valemiga:

$$w_1 = 4G/\pi d^2 \rho, \quad (3.25) [14]$$

kus

d – tutsi diameeter, m.

$$w_1 = 4 \cdot 20,56/3,14 \cdot 0,015^2 \cdot 0,9914 \cdot 10^{-3} = 1,179 \text{ m/s}$$

Hõõrdumiskoefitsient arvutatakse valemiga:

$$\lambda = 0,25 \cdot (\log(e/d3,7 + (6,81/Re_{\text{TP}})^{0,9}))^{-2}, \quad (3.26) [14]$$

kus

e – torude suhteliseks kareduseks võetakse $0,2 \cdot 10^{-3}$.

$$\lambda = 0,25 \cdot (\log(0,2 \cdot 10^{-3})/0,021 \cdot 3,7 + (6,81/60964,3)^{0,9})^{-2} = 0,029$$

Toruruumi hüdraultakistus arvutatakse valemiga:

$$\Delta P = \lambda \frac{Lz}{d} \frac{w_1^2 \rho_1}{2} + [2,5(z-1) + 2z] \rho_1 \frac{w_1^2}{2} + 3 \frac{\rho_1 w_1'^2}{2}, \quad (3.27) [14]$$

kus

ρ_1 – toruruumi vedeliku tihedus, kg/m³;

w_1 – fenoolvee kiirus toruruumis, m/s;

w'_1 – kiirus tutsides, m/s;

λ – hõõrdumiskoefitsient;

z – käikude arv;

L – torude pikkus, m.

$$\Delta P = (0,0651 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 991,4 \cdot 1,89^2/2 \cdot 0,021) + \{[2,5 \cdot (6-1) + 2 \cdot 6] \cdot 991,4 \cdot 1,89^2\} + (3 \cdot 991,4 \cdot 1,179^2/2) = 133338,99 \text{ Pa} = 0,13 \text{ MPa}$$

Vedeliku kiirus toruruumi kõige kitsamas ristlõikes:

$$w_2 = 55,28/0,037 \cdot 1036 = 1,44 \text{ m/s}$$

Vedeliku kiirus tutsides:

$$w'_2 = 55,28 \cdot 4/3,14 \cdot 0,2^2 \cdot 991,4 = 1,7 \text{ m/s}$$

Hüdraulikistust torudevahelises ruumis arvutatakse valemiga:

$$\Delta P' = \frac{3m(x+1)\rho_2 w_2^2}{2Re^{0.2}} + x1.5 \frac{\rho_2 w_2^2}{2} + 3 \frac{\rho_2 w_1'^2}{2}, \quad (3.28) [14]$$

kus

m – toruridade arv, mida uhub vool torudevahelises ruumis, $m = \sqrt{n/3}$;

x – segmentvaheseinte arv; lisa 9, [14]

w_2 – vedeliku kiirus torudevahelises ruumis, m/s;

w'_2 – vedeliku kiirus torudevahelise ruumi tutsides, m/s;

ρ_2 – torudevahelise ruumi vedeliku tihedus, kg/m³.

$$\Delta P' = (3 \cdot 8,08 \cdot (14+1) \cdot 13 \cdot 1036 \cdot 1,44^2)/(40394^{0.2} \cdot 2) + (14 \cdot 1,5 \cdot 1036 \cdot 1,44^2)/2 + (3 \cdot 1036 \cdot 1,7^2)/2 = 546083,17 \text{ Pa} = 0,55 \text{ MPa}$$

3.4. Järeldused

1. Uuriti läbi VKG OIL AS GGJ-5 seadme tehnoloogiline skeem. Tuvastati käesoleval ajal aurugaasisegu fenoolveega jahutamise süsteemis eksisteeriv probleem suveperioodil. Ettevõttes oleva probleemi võib lahendada chilleri paigaldusega. Töö autor uuris nende tööstuslike külmaseadmete kirjandusandmeid, millede koosseisu kuulub chiller.

2. Kuna üheks põhiliseks jahutussüsteemi aparaadiks on soojuvahetusaparaat, on ära toodud kaht tüüpi soojusvahetusaparaadi soojus- ja hüdraularvutus. Vastavalt

kirjandusandmetele kasutatakse chilleriga jahutussüsteemis suuremas osas plaatsoojusvaheteid. Külmutusagensiks on etüleenglükool + vesi. Valitud külmutusagensi koostis: 20% etüleenglükooli ja 80% vett. Selle külmumistemperatuur võrdub miinus 100°C.

3. Tehtud kaht tüüpi soojusvahetusaparaadi: plaatsoojusvaheti ja kest-toru soojusvaheti soojus- ja hüdrauliarvutused, mis on pakutava jahutussüsteemi põhiosaks.

4. Plaatsoojusvahetile soojusülekanne üldpinnaga 40 m²:

a) plaatide arvuga 78 tk ja ühe plaadi pinnaga 0,5 m² saadi soojusülekanne koefitsient $K = 1476,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

b) 70 tk plaatide kasutamisel ja ühe plaadi pinnalt 0,6 m² – $K = 1378 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

5. Kahe kest-toru soojusvaheti soojusvahetuspinna 46 m² arvutusest saadi järgmised K väärtused:

a) torudega $d = 20 \times 2 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$ – $K = 992,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

b) torudega $d = 25 \times 2 \text{ mm}$, $L = 400 \text{ mm}$ – $K = 1271,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

6. Näidatud, et plaatsoojusvaheti soojusülekanne koefitsient on kõrgem, kui kest-toru soojusvahetil. Soojusvahetuspinna pindala kest-toru soojusvahetil on 15% võrra kõrgem, kui plaatsoojusvahetusel. Tuleb arvesse võtta, et kest-toru soojusvaheti on konstruktiivselt lihtsam ja hoolduses kergem.

7. Tehtud soojusvahetusaparaatide hüdraulikistuse võrdlevad arvutused. Plaatsoojusvahetitele: $\Delta P_1 = 0,25 \text{ MPa}$, $\Delta P_2 = 0,66 \text{ MPa}$, kest-toru soojuskandjatele: $\Delta P_1 = 0,13 \text{ MPa}$, $\Delta P_2 = 0,55 \text{ MPa}$. Nendest tuleneb, et kasulikumaks variandiks on kest-toru soojusvaheti paigaldamine.

8. Koostatud VKG OLI AS GGJ-5 seadme fenoolvee jahutussüsteemi mini-skeem.

9. Pakutakse paigaldada aurukompressiooniga chiller, kaubandusmärgi:

- Midea, Daichi, külmutusagens – (R-134a), (lisa 10, 11);
- Daikin, külmutusagens – (R-134a);
- Dantex, külmutusagens – (R-134a);

KOKKUVÕTE

Tänapäeval eksisteerib suurel arvul kaasaegseid jahutussüsteeme, mida kasutatakse erinevates tööstusvaldkondades. Lõputöös uuriti VKG OIL AS GGJ-5 fenoolvee jahutussüsteemi. Fenoolvesi läheb aurugaasisegu niisutamisele. GGJ-5 seadme aurugaasisegu niisutussüsteemis on praegusel ajal probleeme. Suvisel ajal, keskkonnaõhu kõrge temperatuuri juures ei ole õhk- ja veejahutussüsteemid suutelised toime tulema nende ees püstitatud eesmärkidega. Aurugaasisegu temperatuuride erinevus õhk- ja veejahutussüsteemide sisendil ja väljundil on väikse tähtsusega. Seetõttu eksisteerib terve rida probleeme: aurugaasisegu puudulik kondenseerumine, rõhu kasv aurugaasisegu pumpamise süsteemis. Tuleb alandada aurugaasisegu niisutamiseks antava fenoolvee temperatuuri. Sellel eesmärgil on lõputöös tehtud soojusvahetusaparaatide arvutused, millel on tähtis roll chilleriga jahutussüsteemis. Uuritud turul pakutavaid, külmaseadmete koosseisu kuuluvaid chillereid ja seadmeid.

Valitud välja kaks soojusvahetusaparaadi varianti: plaatsoojusvaheti (TPR tüüpi) ja kest-toru soojusvaheti (ühe- ja paljukäiguline). Külmutusagensiks on nendes 10 %-line etüleenglükooli vesilahus. Valik on tingitud selle madalast külmumistemperatuurist (-10°C). Arvutustega on näidatud, et soojusülekanne koefitsient plaatsoojusvahetil on kõrgem, kui kest-toru soojusvahetil. Kest-toru soojusvaheti soojusülekanne pinna pindala on suurem, kui plaatsoojusvahetil. Mistõttu on sellel ka suuremad gabariidid. Seadmestiku paigaldamisel ruumi või sellest väljapoole tuleb seda tegurite arvesse võtta.

Fenoolvee koosseisu kuuluvad mehhaanilised lisandid ja vaikained. Keskkond on korrosiooniagressiivne nende materjalide suhtes, milledest on valmistatud seadmestik. Neid parameetreid tuleb arvestada soojusvahetusseadmestiku valikul.

Pakutud välja paigaldada aurukompressioon chiller külmutusagensi - freooni õhkjahutusega. Kõik chilleri poolt kontrollitavad parameetrid võib eelnevalt ette anda. Chilleri automaatsüsteem toetab külmaine, külmutusagensi pidevat kulu, temperatuuri sisendil ja väljundil ning süsteemis olevat rõhku.

Töös toodud info ja arvutused lubavad VKG OIL AS-il lahendada fenoolvee jahutamise seotud probleemi suvisel ajal.

Lõputöö autor jätab ettevõttele õiguse valida seadmestik oma ärenägemisel.

SUMMARY

These days, many modern industrial cooling systems are used in various industries. In this final work, the study of the cooling system of phenol water GGJ-5 VKG OIL AS was carried out, which is used for the irrigation of the vapor-gas mixture. There is a problem in the current irrigation scheme of the vapor-gas mixture of the GGJ-5 unit. Air and water coolers (air- and water-cooled machines) are not up to the task at high ambient temperatures present in the summertime. The temperature differences between the steam-gas mixture at the inlet and outlet of the apparatus have an insignificant value. Because of this, problems arise: insufficient condensation of the vapor-gas mixture and increased pressure in the vapor-gas mixture discharge system. It is necessary to lower the temperature of the phenolic water, which is fed to the vapor-gas mixture irrigation. This final paper calculated the heat exchangers, which play an important role in the chiller cooling system, to achieve this goal. During this work, the chillers offered on the market and the refrigeration units' equipment were researched.

Two variants of heat exchange apparatuses were selected: plate (TPR type) and shell-and-tube (single- and multi-pass). The coolant in them is a 20% aqueous solution of ethylene glycol. This choice was made due to its low freezing temperature (-100°C). Calculations show that the heat transfer coefficient of the plate heat exchanger is greater than that of the shell-and-tube heat exchanger. The heat transfer surface area of a shell-and-tube heat exchanger is larger than that of a plate heat exchanger. Therefore, it will have big dimensions. It is necessary to consider this factor when installing the equipment indoors or outdoors.

Phenolic water contains mechanical impurities and resinous substances. The environment is corrosive to the materials of which the equipment is made. These parameters must also be considered when selecting heat exchange equipment. A vapor-compression chiller with air-cooled refrigerant, freon, is proposed for installation. All parameters controlled by the chiller can be set. The automatic chiller system maintains a constant flow rate of refrigerant, coolant, inlet and outlet temperatures, and system pressure.

The information and calculations given in this work will help VKG OIL AS solve phenol water cooling issues present in the summer period.

The author of this final work leaves it to the company to choose the equipment at its own discretion.

KASUTATUD RIRJANDUSE LOETELU

1. © Neftegaz.RU 2000 – 2021 [Online] <https://neftegaz.ru/tech-library/transportirovka-i-khranenie/141739-apparaty-vozdushnogo-okhlazhdeniya-avo/> (15.12.2020). (veebilehekülg)
2. Copyrights 2013-2019, Вентбазар. [Online] <https://ventbazar.ua/blog/sukhaya-gradirnya-draikuler-preimushchestva-i-printsip-raboty.html>(15.12.2020). (veebilehekülg)
3. © 2011–2021 AboutDC.ru[Online] <https://www.aboutdc.ru/page/356.php>(15.12.2020)
4. © Чиллер Сервис 2006–2021 [Online] <https://remont-chillera.ru/obzoryi/khladonositeli-dlya-chillerov/>(10.01.2021). (veebilehekülg)
5. © 2002–2021, ООО "Ксирон-Холод[Online] <http://www.xiron.ru/content/view/31544/28/> (10.01.2021). (veebilehekülg)
6. © ПроТепло, 2017-2020. [Online] <https://proteplo.org/blog/plastinchatiy-teploobmennik> (10.03.2021). (veebilehekülg)
7. [Online] <http://www.glikoli.ru/etilen.htm#zamerzan> (10.01.2021). (veebilehekülg)
8. ООО "Компания ХладоГаз" - Продажа хладагентов и холодильных масел. Разработка сайта - ZuzuTop[Online] <https://hladogaz.ru/r32.html> (15.05.2021). (veebilehekülg)
9. © 2020 Питер Холод [Online] <https://piterholod.ru/freon.html> (14.02.2021). (veebilehekülg)
10. National Center for Biotechnology Information, National Library of Medicine8600 Rockville Pike, Bethesda MD, 20894 USA [Online] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (14.02.2021). (veebilehekülg)
11. © 2005 – 2021 Dantex industries, Itd [Online] <https://dantex.ru/articles/absorbtsionnye-chillery/> (06.03.2021). (veebilehekülg)
12. Nransfaire [Online] <https://transfaire.ru/agro/coaxial-heat-exchangers>(07.03.2021). (veebilehekülg)
13. А. Г. Касаткин «Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов.» - 10-е изд., стереотипное доработанное. Перепеч. С изд. 1973г. М.: ООО ТИД «Альянс», 2004, - 753 с.(raamat pealkirja järgi)
14. Ю. И. Дытнерский «Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию». Под ред. Ю. И. Дытнерского. – Издательство «Химия», 1983. – 272с. (raamat pealkirja järgi)

15. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование» Озонобезопасные хладагенты. Д-р техн. наук Цветков О. Б., д-р техн. наук Бараненко А. В. канд. техн. наук Лаптев Ю. А, Университет ИТМО Институт холода и биотехнологий, Д-р техн. наук Сапожников С. З. [Online] <http://refportal.com/upload/files/11258.pdf> (07.03.2021). (veebiartikkel)
16. Оборудование холодильное. Холодильный агент. Редактор У. И. Мосур, технический редактор И.Е. Черепкова. Москва, стандартформ, 2019 г. [Online] <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293759/4293759830.pdf> (07.03.2021). (veebiartikkel)
17. Ведерникова М. И., Таланкин В. С. «Расчет пластинчатых теплообменников. Методические указания». Екатеринбург, 2008 г., с 16–27 [Online] https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/56/5/Vedernikova_M.I%2c_Talankin_V.S.pdf (21.03.2021). (veebiartikkel)
18. Теплообмен в химической технологии. Теория. Основы проектирования: учеб. пособие / В. В. Филиппов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. – 197 с.: ил. 50. (raamat pealkirja järgi)
19. Мамченко В. О., Малышев А. А. Пластинчатые теплообменники в низкотемпературной технике и биотехнологических процессах: Учеб. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 116 с. [Online] <http://books.ifmo.ru/file/pdf/1547.pdf> (21.03.2021). (veebiartikkel)
20. Лекция № 16, Теплообменные аппараты химических производств [Online] <https://muctr.ru/upload/iblock/96d/Lektsiya16.pdf> (21.03.2021). (veebiartikkel)
21. БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА, на тему: Разработка технологии производства диметилового эфира на базе агрегата синтеза метанола М-450 ООО «ТОМЕТ» [Online] <https://dspace.tltsu.ru/bitstream/1.pdf> (12.03.2021). (artikkel e-ajakirjast)
22. Certification brands [Online] <https://www.eurovent-certification.com/ru/natural-refrigerants-R723> (20.03.2021). (veebilehekülg)
23. Кувшинский М. Н., Соболева А. П., Курсовое проектирование по предмету «Процессы и аппараты химической промышленности»: Учеб. Пособие для учащихся техникумов – 2-е изд., перераб. И доп. М.: Высш. Школа, 1980 г. – 223 с. (raamat, 1,2 autorit)
24. Технологический регламент ГГС – 5
25. © АПИК 2008-2021. Сайт создан в "Студии Али Велиева" [Online] https://hvacschool.ru/biblioteka/proektirovshhiku_materiali/o

(veebilehekülg)

26. Дытнерский Ю. И., Процессы и аппараты химической промышленности: Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидрохимические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. – 400 с. (raamat pealkirja järgi)

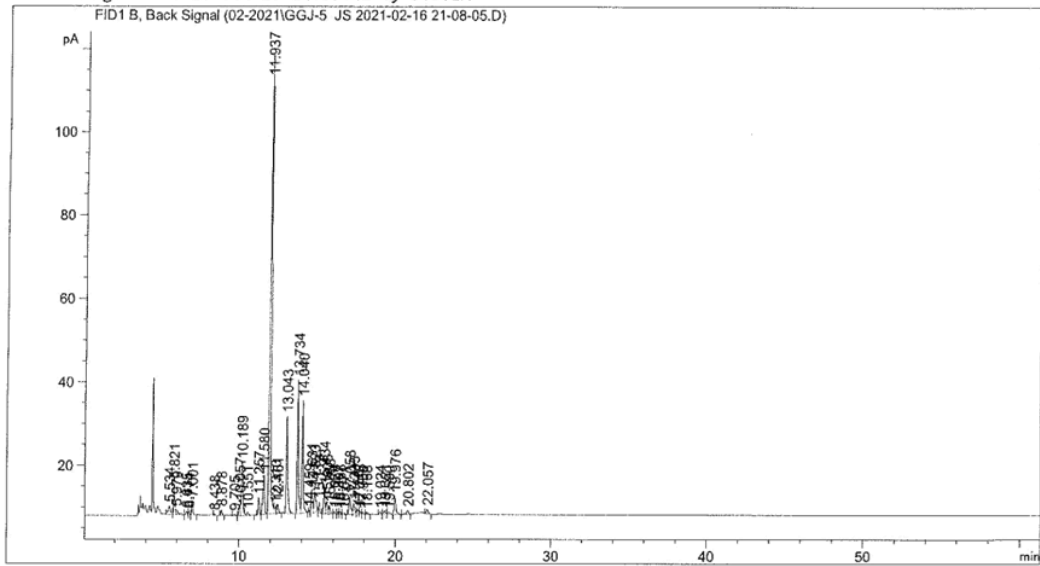
LISA 1

GGJ-5 fenoolvee kromatogramm

Data File C:\Chem32\3\Data\02-2021\GGJ-5 JS 2021-02-16 21-08-05.D
 Sample Name: GGJ-5 JS

```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM
Sample Operator : SYSTEM
Acq. Instrument : GC 7890A                      Location : 201 (B)
Injection Date  : 16-Feb-21 21:09:39
                                           Inj Volume : 1 µl
Method          : C:\Chem32\3\Methods\FEN00L_vees_11.04.2019.M
Last changed    : 16-Oct-20 14:37:42 by SYSTEM
  
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 14-Jul-20 14:34:29
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g/l]	Grp	Name
5.979	VB E	12.00376	4.67762e-3	5.61490e-2		Phenol
8.878	BB	7.96352	2.45180e-2	1.95249e-1		Catechol
10.189	VV R	88.65722	8.30340e-3	7.36156e-1		Resorcinol
11.257	BB	22.34934	6.48848e-3	1.45013e-1		2MR
11.937	BV R	684.50323	5.06653e-3	3.46806		5MR
13.043	BB	158.07101	1.37200e-2	2.16873		2.5DMR
13.734	BV	192.89757	7.39183e-3	1.42587		5ER
14.040	VB	168.43221	4.95586e-3	8.34726e-1		4.5DMR

Totals : 9.02995

LISA 2

Fenoolvee ohutuskaart GGJ-5 tehnoloogilisest reglemendist

VKGj.ТТО/1-L4

ХИМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ VIRU KEEMIA GRUPP

VKG

53. ВОДА ФЕНОЛЬНАЯ

Область применения: Извлечение фенолов сланцевых суммарных.

Описание: Жидкость от прозрачной до светло-желтой.

Опасности:



Осторожно

Характеристика опасности:

H315 Вызывает раздражение кожи.

H317 Может вызвать аллергическую кожную реакцию.

H341 Предположительно вызывает генетические дефекты.

Меры предосторожности:

P261 Избегать вдыхания тумана/ паров/ распылителей жидкости.

P264 После работы тщательно вымыть.

P280 Пользоваться защитными перчатками/ защитной одеждой/ средствами защиты глаз/ лица.

P302+P352 ПРИ ПОПАДАНИИ НА КОЖУ: Промыть большим количеством воды.

P333+P313 При раздражении кожи или появлении сыпи: обратиться к врачу.

P362+P364 Снять загрязненную одежду и выстирать ее перед повторным использованием.

Обращение: Избегать вдыхания паров, не допускать попадания в окружающую среду, пользоваться защитными перчатками, защитной одеждой, средствами защиты глаз/лица. Избегать попадания в глаза, на кожу и одежду. Носить защитную одежду. На рабочем месте не есть, не пить и не курить. Не обращаться вблизи продуктов питания, напитков или предметов курения.

Средства индивидуальной защиты:

Защита лица и глаз: Использовать плотно прилегающие к лицу защитные очки.

Защита кожи: Защитные одежда и обувь.

Защита рук: Резиновые перчатки.

Защита дыхательных путей: Фильтрующие респираторы.

Меры первой помощи:

После вдыхания: При вдыхания паров вывести пострадавшего на свежий воздух. При необходимости обратиться к врачу.

После попадания на кожу: Смыть большим количеством воды и протереть этиловым спиртом. При раздражении кожи или появлении сыпи обратиться к врачу.

После попадания в глаза: Обильно промыть водой. Обратиться к врачу.

После проглатывания: Не вызывать рвоту, если это не рекомендовано медицинским персоналом. Обратиться к врачу.

LISA 3

Etüleenglükooli ohutuskaart

Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH kohaselt, muudetud 2015/830/EL



Etüleenglükool $\geq 99\%$, sünteesi

toote number: **9516**

2.2 Märgistuselemendid

Märgistus määruse (EÜ) nr 1272/2008

(CLP) kohaselt

Tunnussõna	Hoiatus
Piktogramm	 
GHS07, GHS08	
Ohulaused	
H302	Allaneelamisel kahjulik
H373	Võib kahjustada elundeid (neer) pikaajalisel või korduval kokupuutel
	(allaneelamise korral)

Hoiatuslaused

Hoiatuslaused - ennetamine

P260	Udu/auru ainet mitte sisse hingata.
P270	Toote käitlemise ajal mitte süüa, juua ega suitsetada.

Hoiatuslaused - reageerimine

P301+P312	ALLANEELAMISE KORRAL: halva enesetunde korral võtta ühendust
	MÜRGISTUSTEABEKESKUSEGA või arstiga.

Selliste pakendite märgistamine, mille maht ei ületa 125 ml

Tunnussõna: **Hoiatus**

Sümbol(id)



2.3 Muud ohud

Lisainformatsioon puudu

3.1	Ained	
	Aine nimetus	Etaandiool
	Indeks nr.	603-027-00-1
	Registreerimisnumber (REACH)	01-2119456816-28-xxxx
	EÜ number	203-473-3
	CASi number	107-21-1
	Molekulivalem	C ₂ H ₆ O ₂
	Molaarmass	62,07 g/mol

Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH kohaselt, muudetud 2015/830/EL

Etüleenglükool \geq 99%, sünteesi

toote number: **9516**

4.1 Esmaabimeetmete kirjeldus

Üldmärkused

Võtta saastunud rõivad seljast.

Pärast sissehingamist

Tagada värske õhk. Kahtluse korral või kui sümptomid ei kao, pöörduda arsti poole.

Pärast kokkupuudet nahaga

Loputada nahka veega/loputada duši all. Kahtluse korral või kui sümptomid ei kao, pöörduda arsti poole.

Pärast silma sattumist

Loputada mitme minuti jooksul ettevaatlikult veega. Kahtluse korral või kui sümptomid ei kao, pöörduda arsti poole.

Pärast allaneelamist

Loputada suud koheselt ja juua rohkelt vett. Halva enesetunde korral pöörduda arsti poole.

4.2 Olulisemad akuutsed ja hilisemad sümptomid ning mõju

Väsimus, Peapööritus, Erutusseisund, Kõhulahtisus, Oksendamine, Iiveldus, Teadvuse kaotus

4.3 Märge igasuguse vältimatu meditsiiniabi ja eriravi vajalikkuse kohta puudub

5.1 Tulekustutusvahendid

Sobivad kustutusvahendid

Tulekustutusmeetmed kohandada ümbrusega pihustatud vesi, vaht, alkoholikindel vaht, kuiv kustutuspulber, süsinikdioksiid (CO₂)

Sobimatud kustutusvahendid

veejuga

5.2 Aine või seguga seotud erilised ohud

Süttiv. Aurud võivad moodustada õhuga kokkupuutel plahvatusohtliku segu.

Ohtlikud põlemisaadused

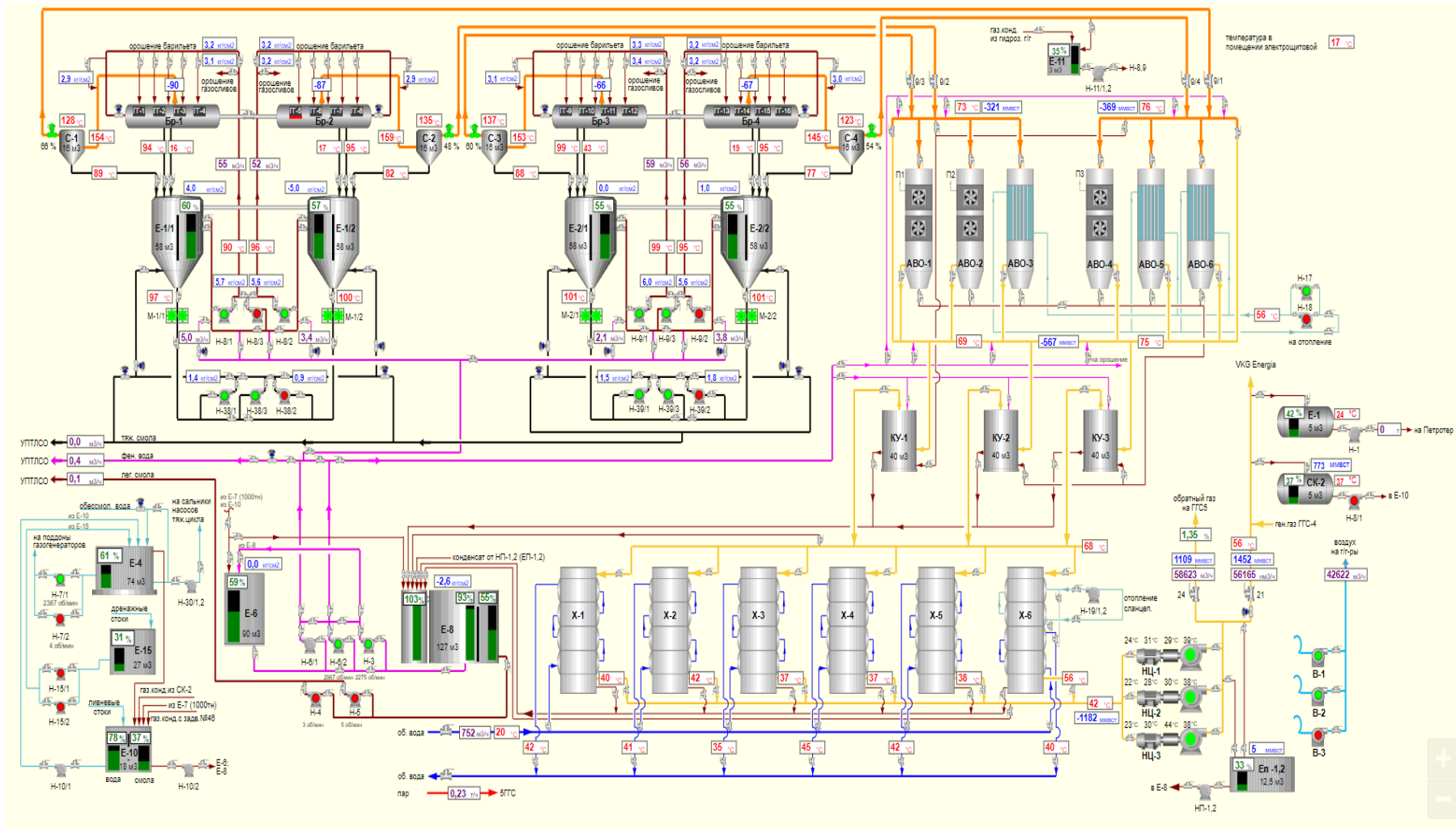
Tulekahju korral võivad tekkida: süsinikmonooksiid (CO), süsinikdioksiid (CO₂)

5.3 Nõuanded tuletõrjujatele

Aurud on õhust raskemad. Kustutustöid teha tavaliste ettevaatusabinõudega ja mõistlikust kaugusest. Kanda kompaktsset hingamisaparaati.

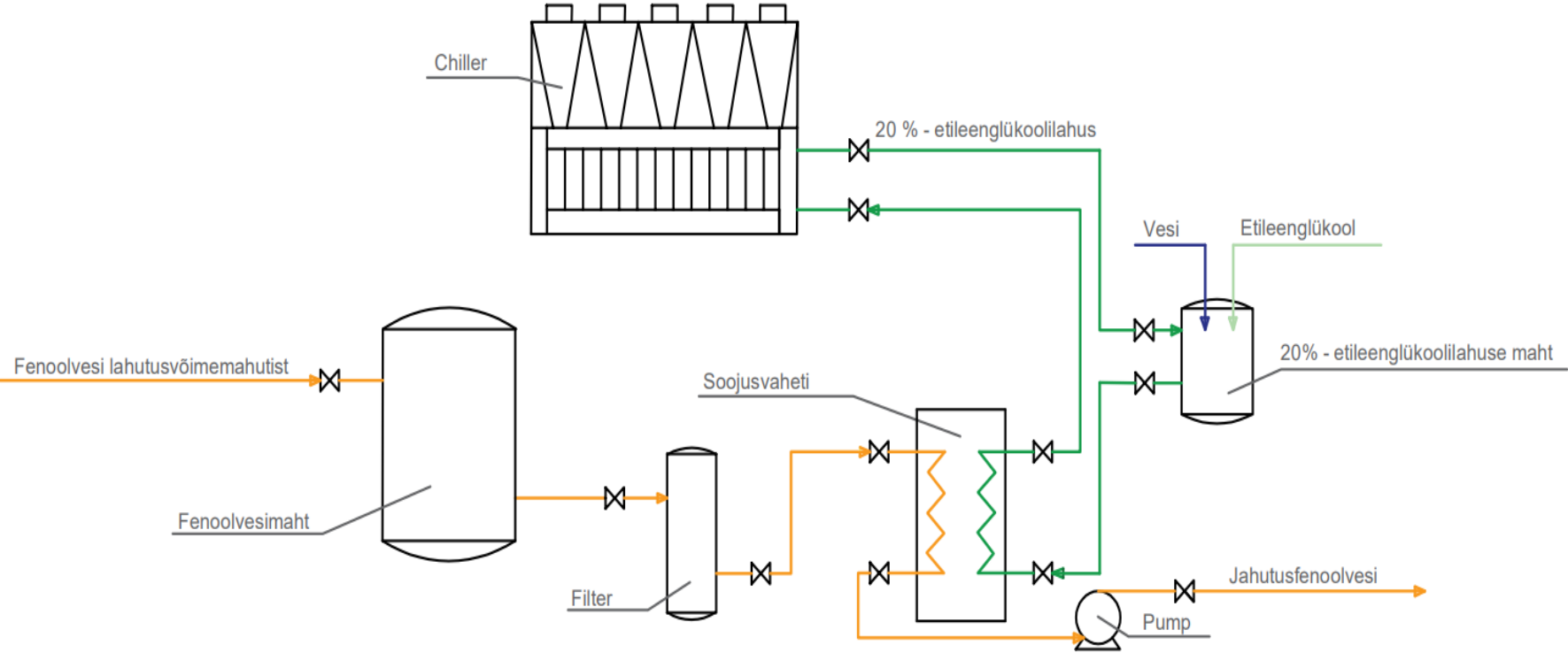
LISA 4

GGJ-5 kondensatsiooniosakonna skeem



LISA 5

Fenoolvee jahutamise oletatav mini-skeem



LISA 6

Soojusülekande koefitsiendi orienteeruv tähendus ja seinte saastumiste soojusülekanne

Таблица 2.1. Ориентировочные значения коэффициента теплопередачи K

Вид теплообмена	K , Вт/($m^2 \cdot K$)		Вид теплообмена	K , Вт/($m^2 \cdot K$)	
	для вынужденного движения	для свободного движения		для вынужденного движения	для свободного движения
От газа к газу	10—40	4—12	От конденсирующегося водяного пара:		
От газа к жидкости	10—60	6—20	к воде	800—3500	300—1200
От конденсирующегося пара к газу	10—60	6—12	к кипящей жидкости	—	300—2500
От жидкости к жидкости:			к органическим жидкостям	120—340	60—170
для воды	800—1700	140—430			
для углеводородов и масел	120—270	30—60	От конденсирующегося пара органических жидкостей к воде	300—800	230—460

47

Таблица 2.2. Тепловая проводимость загрязнений стенок $1/r_s$

Теплоносители	$1/r_s$, Вт/($m^2 \cdot K$)	Теплоносители	$1/r_s$, Вт/($m^2 \cdot K$)
Вода:		Нефтепродукты, масла, пары хладагентов	2 900
загрязненная	1400—1860	Нефтепродукты сырые	1 160
среднего качества	1860—2900	Органические жидкости, рассолы, жидкие хладагенты	5 800
хорошего качества	2900—5800	Водяной пар, содержащий масла	5 800
дистиллированная	11 600	Пары органических жидкостей	11 600
Воздух	2 800		

LISA 7

Seeriatootmisega standardsete liidend plaatsoojusvahetite iseloomustus

Plaadiversioon	Soojusvatesuspind F (m ²), plaadiarv (tk), aparaadimass (m), plaadipindala f (m ²)																
	f = 0,2			f = 0,3			f = 0,5			f = 0,6			f = 1,3				
I	F	N	M	F	N	M	F	N	M	F	N	M	F	N	M		
		-	-	-	3,0	12	291	10,0	20	580	10,0	20	1003	-	-	-	
	-	-	-	4,0	16	307	12,0	24	605	12,0	24	1031	-	-	-		
	-	-	-	5,0	20	325	16,0	32	655	16,0	30	1081	-	-	-		
	-	-	-	6,3	24	340	20,0	40	705	20,0	36	1126	-	-	-		
	-	-	-	8,0	30	362	25,0	48	760	25,0	44	1187	-	-	-		
	-	-	-	10,0	36	388	-	-	-	-	-	-	200	156	4100		
II	-	-	-	12,5	44	602	31,5	62	1400	31,5	56	1307	300	232	5200		
	-	-	-	16,0	56	646	40,0	78	1515	40,0	70	1407	400	310	6310		
	-	-	-	20,0	70	699	50,0	98	1655	50,0	86	1519	-	-	-		
	-	-	-	25,0	86	756	63,0	122	1810	63,0	108	1677	-	-	-		
	-	-	-	-	-	-	80,0	154	2040	80,0	136	1878	-	-	-		
	-	-	-	-	-	-	100,0	194	2425	100,0	170	2120	-	-	-		
	-	-	-	-	-	-	110,0	212	2662	110,0	186	2236	-	-	-		
	-	-	-	-	-	-	125,0	242	2805	125,0	210	2590	-	-	-		
	-	-	-	-	-	-	140,0	270	3085	140,0	236	2706	-	-	-		
	-	-	-	-	-	-	150,0	310	3780	150,0	252	2838	-	-	-		
Tehnilised andmed			Plaadipindala, m ²														
			0,2			0,3			0,5			0,6			1,3		
Plaadisuurekogu, m																	
pikkus			650			1370			1370			1375			1392		
laius			650			300			500			660			640		
paksus			1,2			1,0			1,0			1,0			2,0		
Ekvivalentdiameeter, m			0,0076			0,008			0,008			0,0074			0,0115		
Kanaali ristlõige, m ²			0,0016			0,0011			0,0018			0,00262			0,00368		
Taandatud kanaali pikkus, m			0,045			1,12			1,15			0,893			1,91		
Tingimus läbimine																	
I			100			50			100			200			-		
II			-			65			150			200			250		

LISA 8

Seeriatootmisega standardsete kest-toru soojusvahetite iseloomustus.

D _{kest} , mm	d _{toru} , mm	Käikuarv	Torudearv	Soojusvahetuspind (toru pikkuse jaoks, m)							Voolaristloikepindala, 10 ² m ²	Ühe käigu ristloikepindala torude kaudu,		
				1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0				
159	20x2	1	19	1,0	1,5	2,5	3,5	-	-	-	0,3	0,4		
	25x2	1	13	1,0	2,0	2,0	3,0	-	-	-	0,4	0,5		
273	20x2	1	61	4,0	15	7,5	11,5	-	-	-	0,7	1,2		
	25x2	1	37	3,0	6,0	6,0	9,0	-	-	-	0,9	1,3		
325	20x2	1	100	-	45	12,5	19,0	25,0	-	-	1,1	2,0		
		2	90	-	9,5	11,0	17,0	22,5	-	-	1,1	0,6		
	25x2	1	62	-	8,5	10,0	14,5	19,5	-	-	1,3	2,1		
400	20x2	2	56	-	7,5	9,0	13,0	17,5	-	-	1,3	1,0		
		1	181	-	6,5	23,0	34,0	46,0	68,0	-	1,7	3,6		
	2	166	-	-	21,0	31,0	42,0	63,0	-	1,7	1,7			
600	25x2	1	111	-	-	17,0	26,0	35,0	52,0	-	2,0	3,8		
		2	100	-	-	16,0	24,0	31,0	47,0	-	2,0	1,7		
	20x2	1	389	-	-	49,0	73,0	98,0	147,0	-	4,1	7,8		
		2	370	-	-	47,0	70,0	93,0	139,0	-	4,1	3,7		
		4	334	-	-	42,0	63,0	84,0	126,0	-	4,1	1,6		
		6	316	-	-	40,0	60,0	79,0	119,0	-	3,7	0,9		
25x2	1	257	-	-	40,0	61,0	81,0	121,0	-	4,0	8,9			
	2	240	-	-	38,0	57,0	75,0	131,0	-	4,0	4,2			
	4	206	-	-	32,0	49,0	65,0	97,0	-	4,0	1,8			
	6	196	-	-	31,0	46,0	61,0	91,0	91,0	3,7	1,1			
800	20x2	1	717	-	-	90,0	135,0	180,0	270,0	405,0	6,9	14,4		
		2	690	-	-	87,0	130,0	173,0	260,0	390,0	6,9	6,9		
		4	638	-	-	80,0	120,0	160,0	240,0	361,0	6,9	3,0		
		6	618	-	-	78,0	116,0	155,0	233,0	349,0	6,5	2,0		
	25x2	1	465	-	-	73,0	109,0	146,0	219,0	329,0	7,0	16,1		
		2	442	-	-	69,0	104,0	139,0	208,0	312,0	7,0	7,7		
		4	404	-	-	63,0	95,0	121,0	181,0	271,0	7,0	3,0		
		6	384	-	-	60,0	90,0	121,0	181,0	271,0	6,5	2,2		
		1000	20x2	1	1173	-	-	-	221,0	295,0	442,0	663,0	10,1	23,6
				2	1138	-	-	-	214,0	286,0	429,0	643,0	10,1	11,4
25x2	20x2	4	1072	-	-	-	202,0	269,0	404,0	606,0	10,1	5,1		
		6	1044	-	-	-	197,0	262,0	393,0	590,0	9,6	3,4		
	25x2	1	747	-	-	-	176,0	235,0	352,0	528,0	10,6	25,9		
		2	718	-	-	-	169,0	226,0	338,0	507,0	10,6	12,4		
		4	666	-	-	-	157,0	209,0	314,0	471,0	10,6	5,5		
		6	642	-	-	-	151,0	202,0	302,0	454,0	10,2	3,6		

LISA 9

Segmentsete vaheseinte arv normaliseeritud kest-toru soojusvahetites.

Dkest, mm	Segmenti vaheseinte arv (toru pikkuse jaoks, m)						
	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0
159	6	10	14	26	-	-	-
273	4	8	12	18	-	-	-
325	-	6	8	14(12)	18	36;38	-
400	-	-	6	10	14	22	-
600	-	-	4	8	10	18(16)	24
800	-	-	4	6	8	14(12)	22
1000	-	-	-	4	6	10	16(18)

LISA 10

Tööstusliku chilleri jahutusvõimsus kaubandusmärgi „Midea“, „Daichi“



Модель	Температура на выходе (°C)	Температура окружающей среды													
		15 °C		20 °C		25 °C		30 °C		35 °C		40 °C		43 °C	
		Холодопроизводительность (кВт)	Потребляемая мощность (кВт)	Холодопроизводительность (кВт)	Потребляемая мощность (кВт)	Холодопроизводительность (кВт)	Потребляемая мощность (кВт)	Холодопроизводительность (кВт)	Потребляемая мощность (кВт)	Холодопроизводительность (кВт)	Потребляемая мощность (кВт)	Холодопроизводительность (кВт)	Потребляемая мощность (кВт)	Холодопроизводительность (кВт)	Потребляемая мощность (кВт)
MASC1420A-SB3	5	1516.8	353.6	1469.6	378.0	1416.0	406.7	1362.3	435.6	1331.3	453.7	1255.0	492.3	1206.7	516.6
	6	1562.6	360.0	1515.5	385.4	1460.4	413.8	1405.3	442.3	1375.8	459.7	1296.5	498.7	1245.4	523.4
	7	1610.9	367.5	1563.1	392.7	1507.4	421.0	1451.6	449.2	1419.0	466.0	1339.2	505.9	1285.2	530.6
	8	1659.2	375.0	1610.7	400.1	1554.3	428.1	1497.9	456.1	1468.8	473.3	1381.8	513.1	1325.0	537.8
	9	1707.6	382.5	1658.3	407.5	1601.3	435.3	1544.2	463.0	1515.3	480.2	1424.4	520.3	1364.7	545.0
	10	1755.9	390.0	1705.9	414.9	1648.2	442.4	1590.5	469.9	1561.8	487.0	1467.1	527.5	1404.5	552.1
	11	1804.2	397.5	1753.5	422.2	1695.2	449.6	1636.7	476.9	1608.3	493.8	1509.7	534.7	1444.2	559.3
	12	1852.6	405.0	1801.1	429.6	1742.1	456.7	1683.0	483.8	1654.8	500.7	1552.3	541.9	1484.0	566.5
	13	1900.9	412.5	1848.7	437.0	1789.1	463.8	1729.3	490.7	1701.3	507.5	1595.0	549.1	1523.8	573.7
	14	1949.2	420.0	1896.3	444.3	1836.0	471.0	1775.6	497.6	1747.8	514.3	1637.6	556.3	1563.5	580.9
	15	2000.1	428.5	1945.7	451.7	1885.5	478.1	1825.3	504.8	1794.5	521.6	1681.4	564.3	1603.3	588.0

LISA 11

Тööstusliku chilleri kaubandusmärgi „Midae“, „Daichi“ tehnilise loomustus

MASC_A-SB3(L)		380	500	600	720	900	1000	1200	1420
Холодопроизводительность	кВт	376	496	594	720	902	996	1203	1419
Потребляемая мощность	кВт	124	159	187	234	285	318	381	466
Холодильный коэффициент Энергоэффективность (EER)	кВт/кВт	3.03	3.12	3.17	3.07	3.16	3.13	3.15	3.04
Полугерметичный винтовой компрессор									
Контур А	Количество	1	1	1	1	1	1	1	1
Контур В	Количество	--	--	--	--	1	1	1	1
Заправка маслом	Тип	BSE170							
Контур А	л	30	30	30	32	30	30	30	32
Контур В	л	--	--	--	--	30	30	30	32
Хладагент	Тип	R134a							
Контур А	кг	76	90	105	140	76	90	105	140
Контур В	кг	--	--	--	--	90	90	105	140
Тип управления		EXV							
Испаритель	Тип	Кожухотрубный теплообменник (DX)							
Объем воды	л	222	308	340	520	620	600	770	910
Расход воды	м ³ /ч	65.4	86	103.2	123.8	154.8	172	206.4	244.2
Перепад давления	кПа	39	54	56	58	74	75	71	69
Максимальное расчетное давление	МПа	1	1	1	1	1	1	1	1
Тип соединений труб		Соединение гибкое							
Диаметр труб на входе/выходе (вода)	мм	125	125	125	150	150	150	200	200
Конденсатор	Тип	С оребрением							
Вентилятор	Количество	6	8	10	10	14	16	16	20
Общий расход воздуха	м ³ /ч	23000*6	23000*8	23000*10	23000*10	23000*14	23000*16	23000*16	23000*20
Частота вращения вентилятора	об./мин.	940	940	940	940	940	940	940	940
Длина блока	мм	3810	4680	5800	5800	8800	9640	9640	11 700
Ширина блока	мм	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280
Высота блока	мм	2370	2370	2370	2370	2430	2430	2430	2430
Масса при отгрузке	кг	3320	4330	5000	5500	7750	8900	9100	11100
Масса при эксплуатации	кг	3540	4640	5340	6020	8370	9500	9870	12010
Защитное устройство		<p>В стандартном исполнении установлены следующие защитные устройства:</p> <ul style="list-style-type: none"> защита от превышения давления; защита от понижения давления; защита от перегрузки компрессора; защита от перегрузки вентиляторов; защита от превышения температуры на стороне нагнетания компрессора; защита от отключения электропитания; защита контактора; защита по расходу воды; защита электродвигателя; защита от низкого уровня масла; защита по дифференциальному давлению. 							