



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**TSK-500 auru-gaasi segu jahutus gaasibensiini
sügavamaks kondenseerumiseks**

**TSK-500 steam-gas mixture cooling for deeper condensation of
casing-head gasoline**

KÜTUSTE KEEMIA JA TEHNOLOOGIA ÕPPEKAVA MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Olga Manuilovitš

Üliõpilaskood: 204364RAKM

Juhendaja: prof. Allan Niidu, PhD

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.

“23” mai 2022.

Autor: Olga Manuilovitš

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele
“23” mai 2022.

Juhendaja: Allan Niidu

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“23” mai 2022.

Kaitsmiskomisjoni esimees Allan Niidu

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Olga Manuilovitš (sünnikuupäev: 12.09.1996)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose TSK-500 auru-gaasi segu jahutus gaasibensiini sügavamaks kondenseerumiseks, mille juhendaja on Allan Niidu,
 - 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.

SISUKORD

EESSÕNA	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS	8
1. TEHNOLOOGINE OSA	9
1.1 TSK-500 tehnoloogiaprotsessi kirjeldus	10
1.1.1 Põlevkivi vastuvõtusõlm	10
1.1.2 Utmisosakond	10
1.1.3 Kondensatsiooniosakond	12
1.1.4 Tuhaärastussõlm	13
1.2 Auru-gaasisegu gaasbeniini kondenseerumisprotsessi kirjeldus	14
1.3 Kondensatsiooni osakonna toodete omadused ja kvaliteedinäitajad	15
2 TEHNILINE OSA	17
2.1 Kergeõlikondensaatori eesmärk ja kirjeldus	17
2.2 Kergeõlikondensaatori tõhususe suurendamise viisid	18
2.3 Uus jahutussõlm	21
2.3.1 Jahutussüsteemi töökirjeldus	24
3 ARVUTUSLIK OSA	27
3.1 1,2TSK-500 kondensatsiooni osakonna materjalibilanss	27
3.2 Olemasoleva kergeõlikondensaatori arvutus	31
3.2.1 Suvehooaeg	32
3.2.2 Talihoogaeg	36
3.3 Jahuti soojuskoormuse arvutus	39
3.4 Olemasoleva kergeõlikondensaatori arvutus teise külmutusagensiga	41
3.5 Projekti tasuvus ja kuluosa	45
3.5.1 Tehniline ülesanne	48
KOKKUVÕTE	52
SUMMARY	53
KASUTATUD KIRJANDUS	54
LISA 1 1,2TSK-500 TÖÖSTUSPAIGALDISE TEHNOLOOGILINE SKEEMI 1.OSA	56
LISA 2 1,2TSK-500 TÖÖSTUSPAIGALDISE TEHNOLOOGILINE SKEEMI 2.OSA	57
LISA 3 AURU-GAASISEGU JAHUTAMISE SEADME PÕHIMÕTTELINE SKEEM	58

EESSÕNA

See töö viidi läbi eesmärgiga välja selgitada KKT Oil OÜ 1,2TSK-500 osakonna auru-gaasi segu jahutusseadme olemasolevasse torustikesse uute seadmete integreerimise tehniline ja majanduslik teostatavus ja keskkonnasõbralikkus, et suurendada bensiini saagist.

Lõputöö teema ja põhilised lähteandmed saadi KKT Oil OÜ ettevõtte 1,2TSK-500 osakonnas.

Autor avaldab erilist tänu lõputöö koostamisel ja abi eest lõputöö juhendajale, professorile Allan Niidule ja ettevõtte KKT Oil OÜ 1,2TSK-500 osakonna juhtkonnale.

Võtmesõnad: tahkesoojuskandja seade, gaasbensiin, jahuti, magistritöö.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

TSK – tahkesoojuskandja seade

SEJ – soojuselektrijaam

GGS – gaasigeneraatori seade

AGS – auru-gaasisegu

PK gaas – poolkoksigaas

KTJ – koksi-tuha jääk

PKBF – põlevkiviõli kergefraktsioon

PKKF – põlevkiviõli keskfraktsioon

PKRF – põlevkiviõli raske fraktsioon

AFK – õhkjugakolle

EF – elektrifilter

SV – soojusvaheti

KÕK – kergeõlikondensaator

ET - 40% etüleenglükooli vesilahus

SISSEJUHATUS

Iga aastaga suureneb kõikide ettevõtete põlevkiviõli tootmisplaan ning erandiks pole ka Kiviõli tahkesoojuskandja seadmed (1,2TSK-500). Seatud plaani täitmine eeldab TSK-500 kondensatsiooniosakonna tehnoloogilise protsessi kaasajastamist.

Käesolevas töös käsitletakse auru-gaasisegu jahutusseadme moderniseerimist, et suurendada bensiini (või nn põlevkiviõli kergefraktsiooni) saagist. Üks 1,2TSK-500 kondensatsiooniprotsessi täiustamise viis on AGS jahutusseadme moderniseerimine, eemaldades sellest maksimaalse koguse gaasbensiini.

Lõputöö eesmärgiks on teha KKT OIL OÜ ettevõttes olemasoleva 1,2TSK-500 seadmete kergeõli kondensaatori arvutused ja ettepanek viimase etapi AGS jahutusseadme moderniseerimiseks bensiini toodangu suurendamiseks.

Arvutuste tegemisel kasutati ettevõtte KKT OIL OÜ 1,2TSK-500 tööstustegevuse andmeid ja tehnoloogilisi eeskirju.

Uurimisobjektiks on 1,2TSK-500 kondensatsiooni osakonna kergeõlijahuti ja AGS olemasolev jahutussüsteem.

Töö asjakohasus seisneb eelkõige toodete (bensiini) saagise suurendamises.

Töö koosneb kolmest osast. Esimene peatükk - tehnoloogiline, koosneb peeneteralise põlevkivi töötlemise protsessi kirjeldustest tahkesoojuskandja seadmetes (1,2TSK-500), AGS-st bensiini kondenseerumise protsessist ja kondensatsiooni osakonna toodete kvaliteedinäitajatest. Teises peatükis (tehnilises) – kergeõli soojusvaheti kirjeldus, tehnilised omadused ja võimalused selle efektiivsuse tõstmiseks, samuti kavandatava projekti, seadmete jms kirjeldus ja eesmärgid. Kolmas peatükk (arvutus) sisaldab peamisi tehnilisi ja korralduslikke lahendusi: 1,2TSK-500 kondensatsiooni osakonna materjalibilansi, olemasoleva kergeõlikondensaatori ja kavandatava jahuti arvutust ja olemasoleva kergeõlikondensaatori ümberarvutust teistsuguse külmutusagensiga. Anti hinnang investeeringutele 1,2TSK-500 kondensatsiooni osakonna AGS jahutusploki moderniseerimisse. Samuti on välja toodud projekti tehniline ülesanne ja majanduslik efektiivsus.

1. TEHNOLOOGINE OSA

Kiviõli Keemiatööstus (KKT) on Alexela Gruppi kuuluv ettevõtte, ning tema põhitegevusaladeks on põlevkivi kaevandamine ning põlevkiviõli, soojus- ja elektrienergia tootmine.

1922. aastal loodud ettevõtte tootmisüksused asuvad Ida-Virumaal Kiviõli linnas.

KKT kaevandab põlevkivi Põhja-Kiviõli karjääris ning aastas kaevandatakse peaaegu 1,5 miljonit tonni põlevkivi.

Soojus- ja elektrienergia koostootmine katab nii ettevõtte kui ka Kiviõli linna soojusenergia vajadused. KKT poolt toodetud elektrienergiat tarbitakse ettevõttes ja edastatakse ka jaotusvõrku. [1]

Tahkesoojuskandjaga seade (edaspidi TSK) on ette nähtud peeneteralise tehnoloogilise põlevkivi (fraktsioon 0-16 mm) termiliseks lagundamiseks (pürolüüsiks) keskmiste ja kergeste põlevkiviõlide fraktsioonide ja poolkoksigaaside saamiseks. Põlevkivi pürolüüsi protsess viiakse läbi põlevkivi segamisel poolkoksi (tahke soojuskandja) põlemisel kuumutatud tuhaga õhuta trummelpöörlevas reaktoris temperatuuril 450–500°C. Protsessi kõrvalsaadused on pigivesi, tuhk ja suitsugaasid.

Ühe seadme projekteeritud põlevkivi võimsus on 500 tonni/ööpäevas. [2] Kokku on kaks peaaegu identsed TSK seadmed.

Mõlemale TSK seadme koosseisu kuuluvad järgmised osakonnad:

- peenpõlevkivi vastuvõtusõlm - ette nähtud põlevkivi 0-16 mm fraktsioonist ettevalmistamiseks;
- utmisosakond - mõeldud põlevkivi kuivatamiseks suitsugaasidega, põlevkivi pürolüüsiks tahkesoojuskandjaga, auru-gaasisegu (AGS) ja koksi-tuha jäägi (KTJ) saamiseks, KTJ põletamiseks tahkesoojuskandja ja suitsugaaside moodustamisega, põlevkiviõli raske fraktsiooni (PKRF) järel pürolüüsi;
- kondensatsiooniosakond - mõeldud põlevkiviõli aurude jahutamiseks ja kondenseerimiseks AGS-st, põlevkiviõlide fraktsioneerivaks eraldamiseks, ringvooluseks ja kogumiseks mahutipargis, samuti aurukondensaadi ja fenoolvee kogumiseks ja pumpamiseks defenolatsiooniseadmesse;
- tuhaarastussõlm - mõeldud tuha jahutamiseks ja niisutamiseks veega, misjärel transporditakse märg tuhk autodega tuhapuistangutesse ehk tuhamägedesse;
- elektrifilter – mõeldud suitsugaaside puhastamiseks mürgistest ühenditest ja tahketest osakestest.

1.1 TSK-500 tehnoloogiaprotsessi kirjeldus

Põlevkivi termilise töötlemise meetod tahke soojuskandjaga on tuntud ja üksikasjalikult kirjeldatud tehnilises kirjanduses ja sellega seotud aruannetes. 1,2TSK-500 tööstuspaigaldise tehnoloogiline skeem on toodud lisas 1, 2.

Seadmetel on järgmised eelised, mis on kinnitatud katseliselt TSK-500 seadme töötamise ajal ning projekteerimise ja teostatavusuuringute tulemusena:

- kõrge jõudlus;
- kõrge kasutegur ja intensiivsus: protsessi kasutegurit saab tõsta kuni 80% ja soojuslikku kasutegurit protsessi liigse soojuse kasutamisel kuni 90%;
- meetod tagab põlevkivi peene töötlemist;
- saadud tooted - põlevkiviõli, gaasbensiin ja PK gaas ei ole mitte ainult kvaliteetsed energiakütused, vaid ka väärtuslikud keemilised toorained - aromaatsete süsivesinike, normaalsete olefiinide, fenoolide, madalamate olefiinide / etüleeni, propüleeni allikad, butüleenid, divinüül jne;
- saadud õlisid iseloomustab suhteliselt madal tuhasisaldus;
- suhteliselt madalad metalli-, soojus-, elektri-, vee- ja tööjõukulud protsessi teostamiseks; protsess on automatiseeritud;
- madal fenoolvee toodang (kuni 25 kg/h põlevkivi kohta);
- saadud peeneteralist ja pulbristatud tuhka saab kasutada ehituses ja põllumajanduses.

Protsessi positiivseks omaduseks on umbes 90% väavli üleminek tuhajäagiks ja selle tulemusena sihttoodete madal väavlisisaldus.

TSK tehnoloogiline protsess on rakendatav kõikidele põlevkiviliikidele, potentsiaali on alternatiivsete toorainete koostöötlemisel põlevkiviga.

1.1.1 Põlevkivi vastuvõtusõlm

Põlevkivi võetakse vastu TSK või SEJ põlevkivi vastuvõtusõlmist lintkonveierile (1), sealt läbi kolu elektroonkaaludega (2a) varustatud lintkonveierile (2). Lintkonveierilt põlevkivi suunatakse üle sõela ja läbi kolu lintkonveieriga (4) vastuvõtupunktrisse (6). Sõelale jääv jämefraktsioon purustatakse vajadusel purustis (3).

1.1.2 Utmisosakond

Utmisosakond on ette nähtud:

- põlevkivi kuivatamiseks suitsugaasidega;

- põlevkivi pürolüüsiks tahke soojuskandjaga AGS ja KTJ saamiseks;
- KTJ põletamiseks tahke soojuskandja ja suitsugaaside moodustumisega;
- põlevkiviõli raske fraktsiooni järel pürolüüsiks;
- suitsugaaside puhastamiseks tuhast ja põlevkivitolmust elektrifiltris.

Peenpõlevkivi punkrist (6) antakse tigutoituriga (24) aerofontäänkuivatisse (7) (edaspidi kuivati). Põlevkulu kulu reguleeritakse TSK juhtimispuldil. Kuivatis kasutatakse kuivatusainena tuhatsüklonites tuhast puhastatud suitsugaase.

Kuivati kujundab endast vertikaalset koonusosaga alt ülespoole silindrist kambrit. Kuivatis alla langev põlevkivit haaratakse kaasa kuuma suitsugaaside vooluga. Kuivati ülaosas gaasi kiirus langeb, suuremad põlevkivit osakesed langevad tagasi, toimub fontaneerimine koos materjali täiendava purustamisega. Suitsugaasi temperatuuri alandamiseks peale kuivatit antakse pumpaga (69) vett kuivati pihustisse.

Kuivatatud tahke materjal väljub kuivatist tolmu- ja gaasiseguna, mis suunatakse kuiva põlevkivit tsüklonisse (8). Suitsugaasid läbi tsükloni ülemise osa sisenevad tuhatsüklonisse (29) täiendavaks puhastamiseks tuhast ja põlevkivitolmust. Tuhk ja põlevkivitolm suunatakse tigutoituri (66) (67) abil tuhaarastuseosakonna. Seejärel juhitakse suitsugaasid lõplikku puhastamisetappi – elektrifiltrisse (76).

Elektrifilter on üksikseade TSK-500/1,2 suitsugaaside puhastamiseks. Suitsugaasid pärast tsüklooneid (29) ühendatakse ühte torustikku ja sisenevad EF-sse.

Enne EF-sse sisenemist paigaldatud proovivõtukapp suitsugaaside hapniku analüüsimiseks (mitte rohkem kui 4%).

EF-I on 2 välja, mida suitsugaasid läbivad järjestikku. Elektrifiltris (76) sadestub suitsugaaside elektrivälja mõjul kogumiselektroodidele tuhk ja põlevkivitolm. Haamerloksutajate abil vabastatakse elektroodid settinud materjalist, mis valatakse nelja EF põhjas asuvasse punkrisesse. Punkritest transporditakse tuhk torukettkonveieritega (100) tuhaarastusosakonna.

Puhastatud suitsugaas suunatakse suitsutõmburitega (78) TSK korstnasse (79).

Tsüklonis (8) põlevkivi põhiliselt eraldatakse suitsugaasidest ja suunatakse tigutoituri (25) abil segamiskambrisse (11). Segamiskambris (11) toimub kuiva põlevkivi esmane segunemine kõrgtemperatuurilise tuhk (800 - 825°C) – soojuskandjaga, mis antakse sinna isevoolu teel soojuskandja tsüklonist (13). Soojuskandja ja põlevkivi massivahekord reguleeritakse klapiga baipassliinil enne soojuskandja tsüklonit (13). Segumaterjal segakambrist (11) siseneb pöörlevasse trummelreaktorisse (9), kus toimub lõplik segunemine, temperatuuri ühtlustamine ja põlevkivi utmine ehk pürolüüs.

Reaktor kujutab endast horisontaalset, rullalustel pöörlevat trumlit. Reaktoris toimub kuuma soojuskandja ja põlevkivi temperatuuride ühtlustamine koos orgaanilise massi termiline lagunemisega auru-gaasisegudeks ja koksi-tuha jäägiks. Tahke materjali reaktoris viibimise aeg on umbes 20 minutit.

Reaktorist väljuvad produktid suunatakse tolmu kambrisse (10), kus toimub esmane AGS ja poolkoksi lahutamine. Auru-gaasisegu kambri ülemisest osast suunatakse puhastamiseks peenest tuhast ja tolmust AGS tsükloni (10) varustatud aurujugaejektoriga. Tsüklonis kinnipüütud tolm suunatakse tagasi tolmu kambri (10) alla.

Tahke materjal (poolkoks) tolmu kambri alaosast suunatakse tigutoituri (27) õhkjugakoldesse (12) (edaspidi AFK). Tigukonveieri otsas asub pöördrenniga varustatud hermeetiline kamber, vältimas õhuhapniku sattumise tolmu kambrisse (10).

AFK kujutab endast vertikaalset, silindrilist kambrit, mille vertikaalse osa võib tinglikult jaotada kolmeks osaks: alumine silinder koos poolkoksi sisendiga ja põlemisõhu sisseandmise düüsiga; kiirendustoru; ülemise silinder (põlemiskamber) koos põlemisstabilisaatoriga.

Kiirendustorus toimub poolkoksi isesüttimine koos järgneva põlemisega tõusvas õhuvoolus. Põlemiseks vajalik õhk antakse AFK-sse õhupuhuritega (19) läbi tuhasoojusvaheti (26) veesektsiooni ja sissekütmissahju (17). TSK seadme käivitamisel soojendatakse AFK ja edasine tee vedel-kütteõli põleti abil poolkoksi järelpõletamiseks ja kogu seadme kütmiseks vajaliku temperatuurini.

Sissekütmissahju kasutatakse õhupuhuri seisaku korral ka AFK jääkmaterjali tühjenduspunkrina.

Suitsugaasi ja ära põlenud tuhk – soojuskandja segu peale AFK suunatakse soojuskandja eraldussüsteemi, mis koosneb soojuskandjatsüklonist (13) ja baipassliinist (15). Tsüklonis kinnipüütud soojuskandja langeb tsükloni alla, sealt segukambrisse (11). Baipassliinil suhte "soojuskandja - kuiv põlevkivi" reguleerimine toimub soojuskandja möödavooluklapi asendi muutmisega. Kui möödavoolusiiber on suletud (asend 0°C), siseneb kogu (AFT) tuhk gaasitoru kaudu soojuskandja tsüklonitesse (13). Avades möödavoolusiibri (15) 0°C kuni 90°C, jagatakse tuhavool lõõris ja osa kuumast tuhast eemaldatakse protsessist tuhatsüklonitesse (14).

Osaliselt puhastatud suitsugaas suunatakse tuhatsükloni (14), sealt edasi kuivatisse (7).

1.1.3 Kondensatsiooniosakond

Kondensatsiooniosakond on ette nähtud:

- põlevkiviõli aurude jahutamiseks ja kondenseerimiseks AGS-st;
- põlevkiviõlide fraktsiooniv eraldamiseks, ringvooluks ja kogumiseks tehnoloogilises mahutipargis;
- aurukondensaadi ja fenoolvee kogumiseks ja pumpamiseks;
- PKRF-i ja PKBF-i tehnoloogilisse mahutiparki ülepumpamiseks;
- PKKF-i ja PKBF-i ettevõtte mahutiparki ülepumpamiseks;
- PK gaasi transportimiseks GGS-sse.

AGS peale tsüklonit (10) suunatakse läbi Venturi düüsis bariljetti (40), sealt raskeõli õhkjahutisse (41). Venturi torustikkus ja bariljetis toimub AGS puhastus tolmust ja raskeõli osaline kondensatsioon Venturi düüsi ja bariljetti antava piserdusõliga.

Õhkjahutis (41) toimub AGS jahutamine ventileeritava õhuvooluga. Kondenseerunud raskeõli Venturi torustikust, bariljetist ja õhkjahutist suunatakse isevoolu teel raskeõli ringkäigu mahuti (46). Osa raskeõlist antakse tagasi piserduseks Venturi düüsi ja bariljetti, osa antakse järel pürolüüsiks reaktorisse (9).

AGS peale õhkjahutist (41) suunatakse õhkjahutisse (42), kus toimub keskõli kondensatsioon. Kondenseerunud keskõli suunatakse isevoolul keskõli paaki (60).

Peale keskõli kondensatsiooni AGS siseneb taldrikutüüpi rektifikatsioonikolonne (44) alumise taldriku alla, et saada viimast osa keskõlit AGS-st. Kolonne flegmana kasutatakse kergeõli fraktsiooni.

Kolonne tipuist tulev AGS siseneb kergeõlikondensaatori (45) toruvahelisse ossa, kus toruosa kaudu voolava ringlusvee jahtumisel kondenseerub AGS-st kerge õli. Soojuse eemaldamiseks suurendamiseks kondensaatori (45) tagasivooluveetorustiku paigaldatud rõhutõstepump. Kerge õli voolab kondensaatorist läbi separaatori (21) mahutisse (51). Kerge õli voolab mõlemast seadmest läbi ühe toru.

Pärast kerge õli kondenseerumist muutub AGS poolkoksigaasiks. Kondensaatori (45) alumisest osast satub PK gaas gaasitorustikku. Kahest seadmest lähtuvad gaasivood ühendatakse ja läbivad ühe torujuhtme GGS-sse. PK gaasi liikumise tõukejõuks TSK-st GGS-sse on hõrendus, mille tekitavad GGS ekshaustorid.

1.1.4 Tuhaärastussõlm

Tuhatsüklonites (14) eraldatud tuhk suunatakse jahutamiseks tuhasoojusjahuti (26) veesektsiooni, mille torudes ringleb jahutatud ringlusvesi.

Tuhasoojusjahuti (26) järgne ringlusvesi suunatakse õhkjahutisse ja seejärel SEJ-sse, kus ringlusvee soojust kasutatakse lisasoojuse vee soojendamiseks, mida kasutatakse Kiviõli linna ja ettevõtte kütmiseks.

Soojusvahetis (26) maha jahutatud tuhk suunatakse (2TSK-500 tigukonveieriga, 1TSK-500 ilma) läbi sulgursiibri kolme kaskaadsetesse jahutussärkidega varustatud kaldtigukonveieridesse (28). Seale siseneb ka kogutud materjal tuhatsüklonite punkritest (29) kahe tigukonveierite kaudu. Sealt edasi tuha eemaldamise osakonda, tuhapunkrisse (80).

Elektrifiltri (76) järgne tuhk siseneb torukett- (100) ja tigukonveierite (103, 104) kaudu kuivatuha punkritesse (80).

Tuhaärastusosakonna niisutussüsteemi eesmärk on segada kuiva tuhka veega, kuni see muutub peaaegu tolmuvaaks ja lisaks jahedaks. Niiskussüsteemi segamise seade koosneb pidevsegistist (82) ja skraberist vee irrigatsiooniga (87). Segistis (82) olev vesi ja kuiv tuhk segatakse pöörlevale võllile paigaldatud spetsiaalsete segamislavade abil. Tuha niisutamiseks mõeldud vesi tarnitakse läbi 2 düüsi. Tuhk läbib segisti, seguneb veega ja laaditakse pidevalt läbi kolu lintkonveierile (83). Tuha kõrge temperatuuri tõttu tekib segamise käigus veeaur, mis sisaldab veidi peent tuhka. Auru ja tuha segu siseneb veepihustiga (87) skraberisüsteemi, kus veeaur osaliselt kondenseerub ja kondensaat koos lendtuhaga eraldatakse kondenseerumata aurust. Tuhavaba veeaur juhitakse atmosfääri. Skraberist vesi juhitakse segistisse. Niisutatud tuhk (veesisaldus tuhas kuni 20%) saadetakse lintkonveieriga (83) reversiivkonveierile (84). Niisutatud tuhk veetakse konveierist veoautoga tööstusjäätmete prügilasse.

1.2 Auru-gaasisegu

gaasbeniini

kondenseerumisprotsessi kirjeldus

Peeneteralise põlevkivi kuumtöötlemisel tahke soojuskandjaga seadmes saadakse suure kerge fraktsiooni auru sisaldusega AGS, mis keeb kuni 200 kraadi. Praegu kogutakse umbes 20% gaasibensiini AGS-st TSK seadmetes AGS-i kondensatsiooniprotsessi abil kerge õli kondensaatoris (KJM-45). Pärast seda siseneb juba PK gaas separaatorisse (C-21), kus kondenseeritakse gaasibensiin ja fenoolvesi ning seejärel suunatakse gaas GGS-sse.

Separatuur C-21 on horisontaalselt paiknev mahuti, mis on eraldatud võnkesummuti ja piirava vaheseinaga. PK gaas läbimisel separaatori eraldatakse kondensaat gaasifaasist. Vedelfaas (kondensaat) ladestatakse tootesektsiooni, kus tiheduse erinevuse (beniini tihedus ei ületa $0,840 \text{ g/cm}^3$, fenoolvee tihedus $\sim 1,070 \text{ g/cm}^3$) tulemusena tekib beniini ja fenoolvee eraldumine. Beniini kui kergem toode ilmub fenoolvee peale ja

jõudnud vaheseina ülemise servani, voolab selle kaudu teise osasse (bensiiini sektsioon).

Bensiin (bensiiini sektsioonist) pumbatakse välja mahuti parkki. Fenoolvett (tooteosast) kasutatakse oma tarbeks või pumbatakse defenolatsiooniseadmesse.

Separatuur (C-21) on kasutusele võetud alates 2020. aastast eesmärgiga eraldada piisavalt ja tõhusalt saadud põlevkiviõli kerge fraktsiooni (bensiiini) 1,2TSK-500 kondensatsiooniosakonna fenoolveest.

1.3 Kondensatsiooni osakonna toodete omadused ja kvaliteedinäitajad

Allpool on toodud kaks tabelit 1,2TSK-500 kondensatsiooni osakonna vedelate ja gaasiliste toodete omadused ja kvaliteedinäitajaga.

Tabel 1.1 Kondensatsiooni osakonna toodete omadused ja kvaliteedinäitajad [2]

Toode	Kontrollitav indikaator, mõõtühik	Norm
Põlevkiviõli raske fraktsioon	Tihedus 15 ⁰ C juures, kg/m ³	≤ 1075
	Tingviskoossus 80 ⁰ C juures, ⁰ E	≤ 15
	Veesisalduse massiosa, %	≤ 0,1
	Tuhasisalduse massiosa, %	≤ 5,0
	Leektäpp lahtises tiiglis, ⁰ C	≤ 120
Põlevkiviõli keskfraktsioon	Tihedus 15 ⁰ C juures, kg/m ³	≤ 985
	Tingviskoossus 80 ⁰ C juures, ⁰ E	≤ 2,0
	Veesisalduse massiosa, %	≤ 0,6
	Tuhasisalduse massiosa, %	≤ 0,07
	Leektäpp lahtises tiiglis, ⁰ C	≥ 50
Põlevkiviõli kergefraktsioon	Tihedus 15 ⁰ C juures, kg/m ³	≤ 840
	Veesisalduse massiosa, %	≤ 0,1
	Tuhasisalduse massiosa, %	≤ 0,05

1,2TSK-500 andmetel jääb gaasbensiiini sisaldus PK gaasis vahemikku 235–376 g/Nm³.

Tabel 1.2 Kondensatsiooni osakonna toodete omadused ja kvaliteedinäitajad

Toode	Kontrollitav indikaator, mõõtühik	Norm
Poolkoksigaas	Gaasi komponentne koostis, % mahu	ST 20:2014
	Ülemine kütteväärtus (arvutuslik), kcal/kg	9000-12500
Fenoolvesi	Õli sisaldus, ml/L	≤250
	Summaarsete fenoolide sisaldus, g/L	1,2 - 5,4

2 TEHNILINE OSA

Naftakeemia- ja põlevkivitootmises kasutatavad soojusvahetid kahe voolu vaheliseks soojusvahetuseks on oma tööpõhimõtte, funktsionaalse otstarve ja konstruktsiooni eesmärgi poolest väga mitmekesised. Kõigi seadmete ühine omadus on soojusvahetus kahe vedeliku või gaasi voo vahel.

Tööpõhimõtte kohaselt on enim kasutusel rekuperatiivsed soojusvahetid, kus vooludevaheline soojusvahetus toimub läbi soojust juhtivast materjalist vaheseina. Seadme töötamise ajal ei muutu vedeliku või gaasi liikumise suund.

Funktsionaalse otstarve järgi on kõige sagedamini kasutatav:

- vedeliku- ja gaasivoogude soojustagastuseks (soojuse regenerereerimiseks) kasutatavad soojusvahetid;
- külmikud, mida kasutatakse keskkonna jahutamiseks külmutusagensiga;
- eelkuumendi, mida kasutatakse keskkonna soojendamiseks mingi jahutusvedelikuga.

Vaheseina konstruktsiooni järgi jagunevad soojusvahetid kahte seadmete rühma:

- seadmed, mille soojusvahetuspind on torude kujul;
- seadmed, mille soojusvahetuspind on lehe (või lehtede) kujul.

Soojusvaheti teine konstruktsiooniomadus on seadme valmistamiseks kasutatud materjali tüüp: metall, klaas, plast, grafiit. Sõltuvalt kasutatavast materjalist oluliselt muutub seadme konstruktsioon.

Selles töös on toodud 1,2TSK-500 oleva KÕK-i tehnilised omadused ning kirjeldatud soojusvaheti efektiivsuse tõstmise võimalused. [14]

2.1 Kergeõlikondensaatori eesmärk ja kirjeldus

Põlevkivi- ja naftakeemiatööstuses on enim kasutusel metallist toru- ja plaattüüpi rekuperatiivsed soojusvahetid (külmikud, eelkuumendid). See on tingitud nende seadmete lihtsast konstruktsioonist ja tootmistehnoloogiast, kasutamise võimalusest enamikes tehnoloogilistes tootmisprotsessides. Torukimpsoojusvahetid on soojusvahetusseadmete kõige levinum konstruktsioon. Need soojusvahetid on ette nähtud mitmesuguste tehnoloogiliste seadmete teostamiseks mitmesugustes vedeliku- või gaasivoogude temperatuuride ja rõhkude vahemikus.

Soojusvaheti 1200 TKB-0,6 tingtähistus: Kestab oleva temperatuurkompensaatoriga soojusvaheti vertikaalses tarinduses, kesta diameetriga 1200mm, torudes ja kestab tingrõhuga 0,6 MPa.

TK – tüüpi seadmete eripäraks on painduvate temperatuurikompensaatorite olemasolu, mis on vajalikud torude pikkuse kompenseerimiseks, mis tekib kesta ja torude vahelise temperatuuri erinevuse (mitte rohkem, kui 60°C) tõttu. Torude pikenemine toimub suurema intensiivsusega kui kesta pikenemine, mis põhjustab torurestis termilisi pingeid. Temperatuurikompensaatorid aitavad tasakaalustada torude ja kesta pikkusi. [9] [17]

Tabel 2.1 Kergeõlikondensaatori tehnilised andmed [2]

Parameeter		Torudes	Torudevahelises ruumis
Rõhk, bar	Arvutuslik	6,0	1,0
	Tööalane	4,0	0,2
	Katse	8,5	1,0
Temperatuur, °C	Arvutuslik	30	150
	Tööalane	25	150
Keskkond		Vesi	Õli aurud
Maht, L		2800	3980
Soojusvahetuspind, m ²		460	
Ø25x3 torude kogus, tk		951	
Korrosioonikiirus, mm/aastas		0,1	
Korrosioonivaru, mm		1	
Kasutusaeg, aastat		10	
Vastavushindamise moodul		Ilma hindamise moodulita	

2.2 Kergeõlikondensaatori tõhususe suurendamise viisid

Praegune olukord:

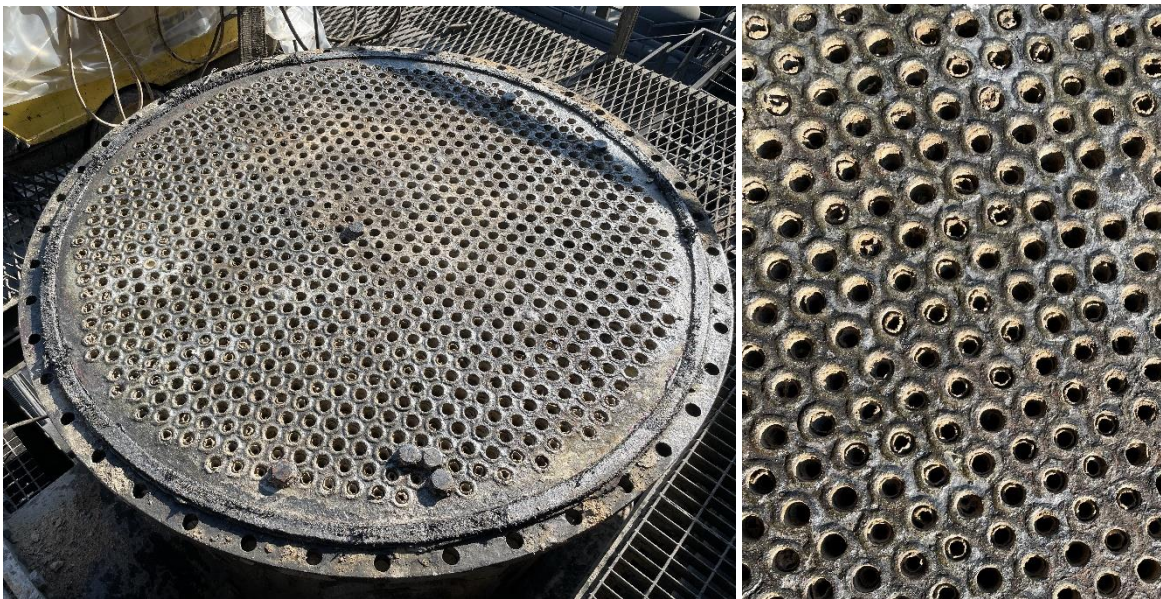
Praegu on AGS-i temperatuur pärast KÕK (KJM-45) 35-30°C (50-60°C periood mai-september). Seda temperatuuri hoitakse tänu madalale soojusvahetusele, mis on seotud ringlusvee temperatuuriga ja külmiku torude karboniseerumisega (saastumisega).

Allpool on toodud mõned näidud 1,2TSK-500 kergeõlikondensaatori ummistumist.

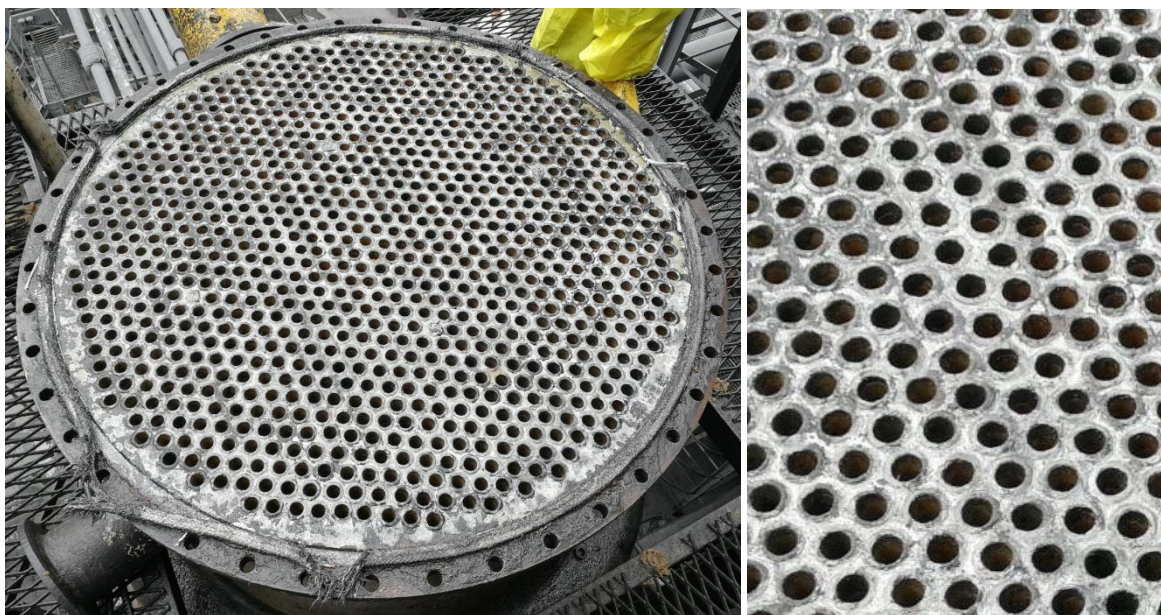
Joonis 2.1 Ummistunud KÕK (pärast neljakuulist tööd ilma puhastuspeatuseteta) (autori foto)



Joonis 2.2 Ummistunud KÕK (pärast kuulist tööd ilma puhastuspeatuseteta) (autori foto)



Joonis 2.3 Puhas KÕK (kohe pärast puhastust) (autori foto)



See moodustumine tekitab vastupidavuse soojuslevile ja halvendab soojusvahetust, vähendades gaasbensiini tootmist.

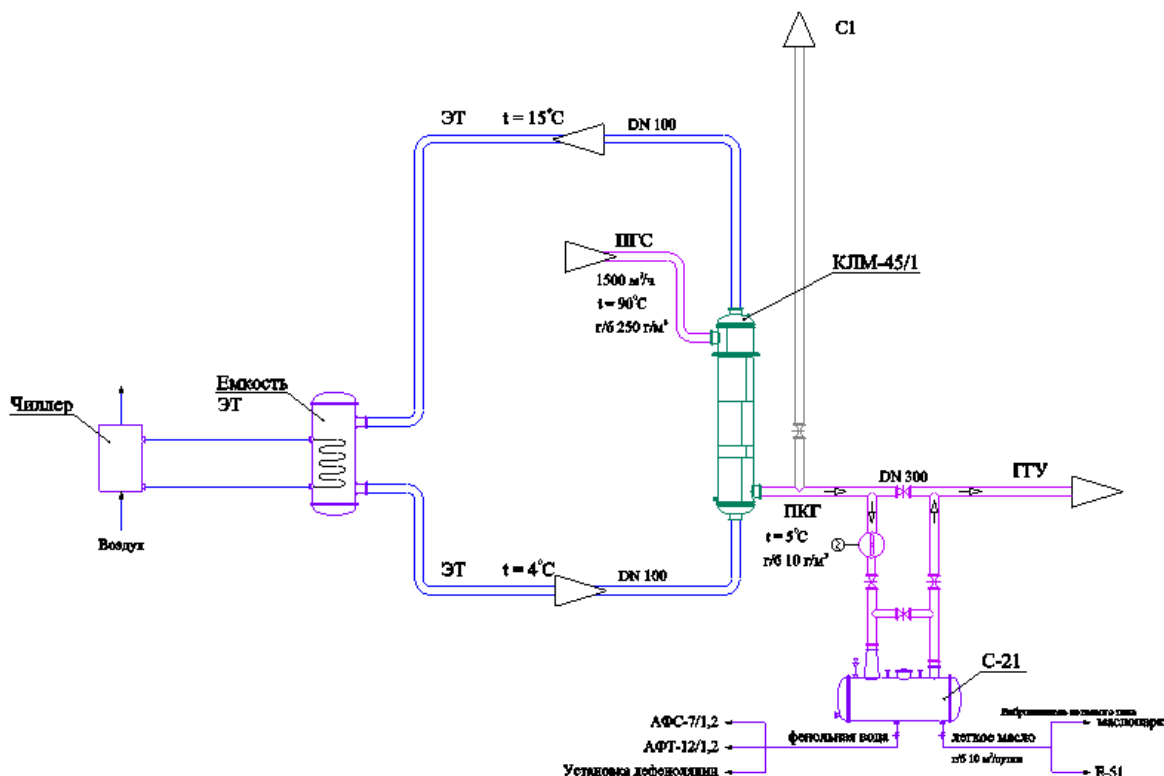
Autor pakub järgmist probleemi lahendust:

1,2TSK-500 seadme AGS jahutamiseks ja selles sisalduva gaasibensiini sügavamaks kondenseerimiseks on tehtud ettepanek asendada kasutatud ringlusvesi ($T=19^{\circ}\text{C}$) külmutusagensi - 40% etüleenglükooli vesilahusega (edasid EG). EG suletud tsükliga (KÕK - EG mahuti - tsirkulatsioonipump - KÕK). EG jahutatakse mahutis külmutusagensi tsirkulatsiooni abil, mis võimaldab jahutada AGS temperatuurini 5°C .

Allpool on põhimõtteline skeem KÕK paigutusest ja torustikust koos täiendava AGS-jahutusseadmega.

Uue AGS jahutamise seadme põhimõtteskeem on lisa 3.

Joonis 2.4 Põhimõtteline skeem KÕK paigutusest ja torustikust koos täiendava AGS-jahutusseadmega (autori poolt koostatud)



Selle projekti elluviimiseks on vaja uusi kergeõlikondensaatoreid või olemasoleva täielik remont. Hetkel on KÕK kulunud seisukorras (torukimbu deformatsioon ja kulumine).

2.3 Uus jahutussõlm

Arvestades AGS sügavjahutuse küsimust, on mõttekas teada, mis on jahuti (inglise keelest – chiller). See alternatiiv kondensatsiooni seadmetele võib olla väga tulus lahendus.

Jahutit kasutatakse laialdaselt keemia-, masinaehitus-, metallurgia-, toiduaine-, metallitöötlemis tööstuses jne, et vähendada jahutussõrgis oleva ringlusvedeliku temperatuuri ja saavutada seadmega seatud temperatuur.

Jahutusvedelik (tavaliselt vesi, meie juhul on külmutusagens - 40% etüleenglükooli vesilahus) ringleb läbi protsessiseadmete, jahutab selle ja läheb jahutisse, kus see eraldab soojust külmutusagensile ja läheb tagasi protsessiseadmetesse. Seda korratakse tsükli järel.

Tsentraalsed kondensatsiooni seadmed kasutavad jahutussüsteemi, et kiiresti saavutada ja säilitada soovitud ringlusvee temperatuur. Õige jõudluse valimisel saame suurendada TSK bensiini tootmist. Selliste paigaldiste maksimaalne võimsus on 9000 kW.

Esitatud lõigus kirjeldatakse üksikasjalikult seda tüüpi seadmete tööpõhimõtet. [5]

Jahuti tööpõhimõte

Jahuti tööpõhimõte baseerub soojusülekanne füüsikalistel protsessidel. Mis tahes vedeliku temperatuur tõuseb surumisel ja väheneb paisumisel. Jahutusseadmes kantakse soojuskandjast tulev soojus üle seadmes kasutatavale külmutusagensile, mis omakorda soojendatakse kõrge temperatuuri sisselaske ajal.

Teisisõnu on jahuti võimas jahutusseade, mis hakkab paiknema AGS kondensatsioonosakonna ja bensiini tootmise ahelas; ja põhineb soojuskandja võimalikult kiirel jahutamisel tööaine füüsikaliste omaduste kaudu ja madala temperatuuriga vedeliku tagasivoolul kondensatsiooniseadmesse (kergeõlikondensaatorisse). [4]

Jahutusseadmete peamised komponendid:

- aurusti on soojusvahetusseade, mis on ette nähtud soojuskandja jahutud ainest soojuse akumuleerimiseks;
- kompressor - seade, mis tsirkuleerib külmutusagensi jahutis maksimaalse temperatuuriga kuni $+70^{\circ}\text{C}$ ja rõhuga kuni 3MPa. Olenevalt kasutusalaast võib neid olla mitut tüüpi: kolb-, kruvi-, spiraal-, tsentrifugaal-, rootor;
- kondensaator - mehhanism külmutusagensi auru jahutamiseks;
- ahend - erialane seade, mis on ette nähtud rõhu vähendamiseks ja külmutusagensi ülekandmiseks vedelasse faasi.

Külmutusagensina võib jahutis ringelda igasugune jahuti - vesi, etüleenglükool (kasutatakse selle töö arvutustes), antifriis, freoon. Jahutussüsteemides soojuskandjaks on ET. Samal ajal tuleb soojendatud soojuskandja temperatuurini $+12-15^{\circ}\text{C}$ jahutatud seadmetest otse aurustisse, kus külmutusagens võtab soojust ja soojeneb kaudsest kokkupuutest. Selle tulemusena keeb külmutusagens suhteliselt kiiresti, paisub ja aurustub, minnes gaasifaasi. Seejärel jahutatakse soojuskandja temperatuurini $+7-10^{\circ}\text{C}$.

Temperatuuriindeksi vähendamiseks siseneb gaasifaasis olev külmutusagens kompressorisse, mis suurendab selle rõhku ja vastavalt temperatuuri $80-90^{\circ}\text{C}$. Pärast surumist sisenevad aurud otse kondensaatorisse, kus külmutusagensi temperatuur langeb kiiresti atmosfäärist puhuva õhu tõttu. Soojus eraldub väljapoole. Filtreeritakse külmutusagens läbi spetsiaalse kuivati, mis eemaldab sellest liigse niiskuse ja siseneb otse ahendi. Viimane vähendab aine rõhku ja kannab selle vahetult enne tagasi aurustisse suunamist vedelasse faasi, et alustada järgmist soojuskandja jahutustsüklit.

Jahutite klassifikatsioon

Sõltuvalt erinevatest parameetritest jaotatakse jahutid:

1. vastavalt kondensaadi jahutusmeetodile:
 - a. monoplokk kondensaatoriteta;
 - b. monoplokk vesijahutusega;
 - c. õhkjahutusega.
2. konfiguratsiooni järgi:
 - a. absorptsioonijahutid;
 - b. eelkondensaatoriga;
 - c. monoblokk koos sisseehitatud kondensaatoriga.
3. vastavalt kütmissvõimele:
 - a. soojuspumbaga;
 - b. ilma soojuspumbata.
4. vastavalt rakendatava ventilaatori konstruktsioonile:
 - a. tsentrifugaalventilaatoriga;
 - b. telgventilaatoriga. [6]

Jahuti valik

Konkreetse ülesande jaoks jahuti valimisel on arvutuse põhinäitajad maksimaalne võimsus ja jahutusvõimsus. Peamised tegurid, mis konkreetse mudeli valikut mõjutavad, on järgmised:

1. ruumi välismõõtmed, pindala, maht;
2. objekti asukoht;
3. planeeritud paigalduse tüüp - eraldi ruumis või vabas õhus;
4. jahutusvedeliku (vee) puhastamise vajadus;
5. kasutatud külmutusagensi tüüp, samuti selle liikumismahu, kiiruse ja temperatuuri graafik;
6. peatorustiku kogupikkus;
7. muud omadused. [10]

2.3.1 Jahutussüsteemi töökirjeldus

Skeem

Jahutusseade koosneb jahutist (külmutusmasinast) ja kahest etüleenglükooli tsirkulatsioonikontuurist. Jahutusvedelikuna kasutatakse 40% etüleenglükooli (edaspidi ET) vesilahust. Seadmel on 2 ahelat ehk kontuuri: "jahuti - vahemahuti" ja "vahemahuti – tehnoloogiline soojusvaheti (KÕK)".

Jahutusseade jahutab ET etteantud temperatuurini. Jahuti koormuse tagab ET-i pidev ringlus. Ringlus toimub tsentrifugaalpumpade abil.

Esimene tsirkulatsioonikontuur on vajalik ET-i pideva voolu tagamiseks läbi jahuti, mis on oluline selle jahutusvõimsuse tööks ja juhtimiseks.

Teine kontuur tagab soojusvaheti (KÕK) jahutamise. ET-i ringlusel võib olla muutuv voolukiirus.

Jahutussüsteemi põhimõtteskeem on toodud lisas 3.

Seadme töö

Kõik seadmed monteeritakse, seotakse torustikuga, tehakse elektriühendused, süsteemid täidetakse töökeskkonnaga.

Operaator lülitab sisse esimese kontuuri tsirkulatsioonipumba. Pumba tööd ja diferentsiaalrõhu väärtust kontrollitakse manomeetrite abil. Filtri puhtus määratakse rõhuerinevuse järgi jälle manomeetrite abil. Kui jahuti aurusti kaudu toimub ET ringlus, sulgub sisseehitatud voolurelee ja annab loa selle sisse lülitada.

Jahuti juhtpaneelil olev operaator sisestab jahutist väljuva etüleenglükoolivoolu temperatuuri nõutava parameetri ja vajutab "Start". Jahuti pannakse tööle ja käivitab esimesel kontuuril ringleva ET-i jahutamise protsessi. Kui ET jahtub ja läheneb töötemperatuurile, vähendab jahuti oma jahutusvõimsust miinimumini (reguleerimisvahemik 15% kuni 100%). Kui väljuva ET-i temperatuur langeb alla seadeväärtuse ja minimaalse võimsuse, peatub jahuti ja lülitub ooterežiimi. Kui väljuva ET-i temperatuur tõuseb üle seadeväärtuse, käivitub jahuti uuesti.

Kui soojusvaheti (PKBF) on tehnoloogiliselt valmis ehk 1,2TSK-500 on töös, lülitub sisse teise kontuuri tsirkulatsioonipump. Vahemahutist soojusvahetisse tarnitakse jahutatud ET-i.

Ringlussüsteemis olev ET on algselt ümbritseva keskkonna temperatuuril. Soojal aastaajal olgu 20°C. Keskmise töötemperatuur (erinevus edasi- ja tagasivoolu temperatuuride vahel) 10°C. Töötamise ajal ET-i temperatuur langeb ja vastavalt väheneb selle maht. ET-i soojuspaisumise kompenseerimiseks kasutatakse vahemahuti

ülemises osas õhkpatja. Nõutav õhu kogus ET-i kogumahutavusele 7m³ on 40 liitrit temperatuurierinevuse 10°C korral. Selle saavutamiseks on vaja pärast tsirkulatsioonisüsteemi täielikku täitmist (etüleenglükooli väljalaskeava kõrgeimas punktis olevast õhutist) anda sellele õhku läbi vahemahuti õhutisse ja suurendada olevat rõhku 1,5 baari võrra. Töökeskkonna liigne rõhk tsirkulatsioonirõngas tagab õhu sissepääsu välistamise ja võimaluse määrata väliskommunikatsioonilekkekohti.

Eeltoide süsteem

Etüleenglükool eeltoide (täiendatakse) süsteemi siis, kui see hoolduse või remondi käigus (filtripuhastus, pumba remont jne) seadmest välja lastakse. Pumpamist teostab täitmispump ühendatud kuupmahutist. Kui vahemahuti tase langeb töötasemest 200mm võrra allapoole (tööväärtus määratakse kasutuselevõtu käigus), saadetakse diferentsiaalmanomeetrit signaal operaatorikonsooli tankimise vajaduse kohta.

Suvand: diferentsiaalmanomeetri signaal lülitab sisse täitmispumba toite. Kui tasemerelee tuvastab vedeliku olemasolu imitorustikus, käivitub pump ja täiendab süsteemi. Kui kuupmahuti on tühi või pumba imipoole sulgearmatuur on suletud, ei anna relee sisselülitamiseks luba ja eeltoide ei tehta.

Vahemahuti taseme edasisel vähenemisel 100mm võrra saab operaator signaali madala taseme kohta ja vajadusest tuvastamiseks tsirkulatsioonisüsteemi või pumba rike.

Märkus: Vahemahuti taseme langus seadmete hooldus- või remonditööde puudumisel on rike ja nõuab tööd, et määrata kindlaks koht, kus ET süsteemist lahkus. Süsteemi siserõhu languse alla 1,5 baari (määratakse kasutuselevõtu ajal), rakendub rõhuandur ja lülitab kõik tsirkulatsioonipumbad välja. Jahuti peatab sisemine kaitsesüsteem tsirkulatsiooni puudumise tõttu (sisevoolureleest). Prao (lekkekohta) diagnoosimisel on kõige keerulisem lekete olemasolu soojusvaheti (KJM-45) torukimbus. Tsirkulatsioonirõnga pideva täiendamise ja väliste väinade puudumise korral on kõige tõenäolisem lekkekoht soojusvaheti (KJM-45) torukimp.

Kaitse- ja blokeerimissüsteemid

Jahutusseadmepool on oma (tehase) agregaati kaitsesüsteem. Kui selle töös esineb tõrkeid, kuvatakse teave puutepaneelil.

Etüleenglükooli ringluse järjepidevuse tagamiseks on pumpade töös ette nähtud reservtoide.

Ringlusrõnga terviklikkust jälgib rõhuandur. Kui rõhk langeb alla lubatud väärtuse, peatuvad kõik tsirkulatsioonipumbad.

ET taset vahemahutis juhib diferentsiaalrõhumõõtur. Kui tase mahutis langeb alla lubatud taseme, antakse signaal kõigi pumpade seiskamiseks.

Jahutusprotsessi kontroll

Kuigi tüüpilisi juhtimisskeeme ei esitata, eeldatakse järgmist:

Pumba lähedal asuvas kohas valib operaator kohaliku elektrikilbi võtmega, milline pump tööle pannakse, teine lülitub automaatselt reservtoide režiimile. Kilbil süttib signaallamp, mis kinnitab, et pump on tööle hakanud. Kui ühe pumba töös ilmneb rike ja see seiskub, lülitab reservtoide sisse teise pumba, isegi peatatud pumba rikke kohta süttib paneelil olev tuli. Samuti on nupp "stopp", mis peatab pumba, kui see töötab mis tahes režiimis.

Pumpade sagedusmuundurite ülesanne määrab operaator vastavalt regulaatori sättele. Iga pumba jaoks eraldi.

Kõik pumba olekud edastatakse 1,2TSK-500 Scada süsteemile. Projekt näeb ette pumpade töö kaugjuhtimise võimaluse.

Jahuti tööd juhitakse kohapeal asuvalt paneelilt või operaatoriruumi paneelilt.

3 ARVUTUSLIK OSA

Selles töös on arvatud kergeõlikondensaator ja jahuti jahutusvõimsus, AGS jahutamiseks vajaliku külmutusagensi temperatuurid maksimaalse voolukiirusega 1500 Nm³/h vahemikus 90 °C kuni 5 °C, toodud kavandatava projekti tasuvus ja kuluosa ja TSK-500 kondensatsiooni osakonna materjalibilanss.

Töös on vaja lahendada järgmised ülesanded:

1. arvutada 1,2TSK-500 kondensatsiooni osakonna materjalibilanss;
2. arvutada olemasolev kergeõlikondensaator veega-külmutusagensiga suve- ja talvetemperatuuri tingimustes;
3. arvutada välja pakutud projekt kergeõlikondensaatori külmutusagensi asendamiseks ja vajalikud omadused uue AGS sügavjahutusseadme paigaldamiseks;
4. arvutada olemasolev kergeõlikondensaator 40% etüleenglükooli vesilahusega-külmutusagensiga;
5. esitada kavandatava projekti tasuvus ja kuluosa.

See töö viidi läbi vastavalt keemilise tehnoloogia protsesside ja aparaatide arvutamise meetodika järgi, mis on kirjeldatud keemia- ja tehnoloogiahariduse üldise inseneritsükli põhidistsipliinide õpovahendites. Põhiliseks kirjanduseks oli К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Издательство «Химия». Ленинград, 1987. [3]

3.1 1,2TSK-500 kondensatsiooni osakonna materjalibilanss

Utmisosakonnast kondensatsiooniosakonda tuleb auru-gaasi segu järgmise parameetritega:

rõhk, mbar	kuni 200
temperatuur, °C	480-510
kulu, kg/h	4300
erikaal, kg/Nm ³	2,7

kus jahtumise tulemusena kondenseeruvad põlevkiviõli raske, keskmine ja kerge fraktsioonid.

Tabel 3.1 Toodete saagis [2]

nr	Näitaja	Väärtus, % mass.
1	Poolkoksi gaas	22,20
2	Veeaur	11,10
3	Gaasbensiin	5,81
4	Kergeõli	20,71
5	Keskõli	27,04
6	Raskeõli	13,14

Tabel 3.2 Auru-gaasisegu koostis [2]

nr	Näitaja	Väärtus
1	Molekulmass, g/mol	55,94
2	Auru-gaasisegu koostis, % mass.	100,00
2.1	Vesinik H ₂	0,31
2.2	Süsinikoksiid CO	3,52
2.3	Metaan CH ₄	2,17
2.4	Etüleen C ₂ H ₄	2,98
2.5	Etaan C ₂ H ₆	2,61
2.6	Propüleen C ₃ H ₆	3,24
2.7	Propaan C ₃ H ₈	2,13
2.8	Buteen-1 C ₄ H ₈	2,16
2.9	N-butaan C ₄ H ₁₀	2,48
2.10	N-pentaan C ₅ H ₁₂	2,01
2.11	N-heksaan C ₆ H ₁₄	2,09
2.12	N-heptaan C ₇ H ₁₆	1,49
2.13	N-oktaan C ₈ H ₁₈	0,69
2.14	Benseen C ₆ H ₆	0,44
2.15	Toluool C ₇ H ₈	0,88
2.16	N-nonaan C ₉ H ₂₀	4,06
2.17	Dekaan C ₁₀ H ₂₂	0,40
2.18	N-propüülbenseen C ₉ H ₁₂	0,88

Tabel 3.2 Auru-gaasisegu koostis [2]

nr	Näitaja	Väärtus
2.19	Undekaan $C_{11}H_{24}$	5,27
2.20	Dodekaan $C_{12}H_{26}$	0,84
2.21	Tridekaan $C_{13}H_{28}$	5,04
2.22	Tetradekaan $C_{14}H_{30}$	0,71
2.23	Pentadekaan $C_{15}H_{32}$	5,32
2.24	Heptadekaan $C_{17}H_{36}$	4,86
2.25	Nonadekaan $C_{19}H_{40}$	4,88
2.26	Eikosaan $C_{20}H_{42}$	3,37
2.27	Heneikosaan $C_{21}H_{44}$	7,48
2.28	Dokosaan $C_{22}H_{46}$	5,92
2.29	Trikosaan $C_{23}H_{48}$	3,63
2.30	Pentakosaan $C_{25}H_{52}$	1,36
2.31	Heptakosaan $C_{27}H_{56}$	1,38
2.32	Nonakosaan $C_{29}H_{60}$	2,58
2.33	Triakontaan $C_{30}H_{62}$	1,72
2.34	Veeaur H_2O	11,10

Tabel 3.3 Poolkoksi gaasi koostis [2]

nr	Näitaja	Väärtus
1	Erikaal, kg/Nm^3	0,899
2	Poolkoksi gaasi koostis, % mass.	100,00
2.1	Vesinik H_2	18,60
2.2	Süsinikoksiid CO	10,70
2.3	Süsinikdioksiid CO_2 ja vesinikusulfiid H_2S	2,00
2.4	Hapnik O_2	0,45
2.5	Küllastunud süsivesikud C_nH_{2n+2}	32,55
2.6	Küllastumata süsivesikud C_nH_m	33,75
2.7	Lämmastik N_2	1,95

Arvutused:

$$\text{veeauru kogus: } 4300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,1110 = 477,30 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{gaasbensiini kogus: } 4300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,0581 = 249,83 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{kergeõli kogus: } 4300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,2071 = 890,53 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{keskõli kogus: } 4300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,2704 = 1162,72 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{raskeõli kogus: } 4300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,1314 = 565,02 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{PK gaasi kogus: } 4300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,2220 = 954,60 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

sh poolkoksi gaasis:

$$\text{vesinik: } 954,60 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,1860 = 177,56 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{süsinikoksiid: } 954,60 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,1070 = 102,14 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{süsinikdioksiid ja vesinikusulfiid: } 954,60 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,0200 = 19,09 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{hapnik: } 954,60 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,0045 = 4,30 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{küllastunud süsivesikud: } 954,60 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,3255 = 310,72 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{küllastumata süsivesikud: } 954,60 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,3375 = 322,18 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{lämmastik: } 954,60 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,0195 = 18,61 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Koostatakse 1,2TSK-500 kondensatsiooni osakonna materjalibilanss.

Tabel 3.4 1,2TSK-500 kondensatsiooni osakonna materjalibilanss

Tulu			Kulu		
nr	Näitaja	Kogus, kg/h	nr	Näitaja	Kogus, kg/h
1	Auru-gaasi segu	4300,00	1	Veeaur	477,30
			2	Gaasbensiin	249,83
			3	Kergeõli	890,53
			4	Keskõli	1162,72
			5	Raskeõli	565,02
			6	Poolkoksi gaas, sh:	954,60
				Vesinik	177,56
				Süsinikoksiid	102,14
				Süsinikdioksiid ja vesinikusulfiid	19,09
				Hapnik	4,30
				Küllastunud süsivesikud	310,72
				Küllastumata süsivesikud	322,18
				Lämmastik	18,61
	Kokku	4300,00		Kokku	4300,00

3.2 Olemasoleva kergeõlikondensaatori arvutus

Algandmed:

Külmakandjaringlusvesi

AGS tihedus ρ_1 , kg/m³1,136

AGS temperatuur soojusvaheti (KJM-45) sisselaskeava juures T_1 , °C90

AGS temperatuur (suvel) soojusvaheti (KJM-45) väljalaskeava juures T_2 , °C
55

AGS temperatuur (talvel) soojusvaheti (KJM-45) väljalaskeava juures T_3 , °C
35

Vee temperatuur (suvel) soojusvaheti (KLM-45) sisselaskeava juures $t_{s'}^{\prime}$, °C	19
Vee temperatuur (suvel) soojusvaheti (KLM-45) väljalaskeava juures $t_{s'}^{\prime\prime}$, °C	30
Vee temperatuur (talvel) soojusvaheti (KLM-45) sisselaskeava juures $t_{s'}^{\prime}$, °C	11
Vee temperatuur (talvel) soojusvaheti (KLM-45) väljalaskeava juures $t_{s'}^{\prime\prime}$, °C	25

3.2.1 Suvehooaeg

Läbikantava soojushulga arvutamine

Peamine konstruktsiooniline seos soojusvaheti soojustehnilises arvutuses on soojuslähikande võrrand.

Soojuslähikande võrrandil, mida kasutatakse vajaliku soojuslähikandepinna määramiseks, on vorm $Q = K \times F \times \theta$,

kus Q – soojusvahetuspinna seinaga kaudu kantud soojushulk, W; K – soojuslähikandetegur, W/(m²×K); F – soojuslähikande pind, m²; θ – keskmine temperatuuride erinevus (keskmine temperatuuride erinevus kuuma ja külma voolu vahel), °C.

Keskmine temperatuuride erinevus suvehooajal:	T	90 °C	55 °C
	t	19 °C	30 °C
	θ	71 °C	25 °C

$$\theta = \frac{71 + 25}{2} = 48 \text{ °C} = 321,15 \text{ K}$$

Soojuslähikandepind:

$$Q = 1500 \frac{W}{m^2 * K} \times 460 m^2 \times 321,15 K = 221593500 W$$

Soojuslähikandeteguri määramine

Soojuslähikandetegur on soojusvahetis toimuva soojuslähikandeprotsessi intensiivsuse indikaator ja määrab soojusvahetuspinna kaudu läbikantava soojushulga.

Saaste olemasolul soojusvahetustorude sees ja väljaspool võtame lubatava veega soojuslähikandeteguri 1500 W/m²×K.

Soojusreostustakistus valime $\frac{1}{5800} \frac{m^2 \times K}{W}$

Soojuslähikande pinna määramine

$$F = \pi \times n \times d_n \times L,$$

kus n – torude arv kimbus; d_n – soojusvahetustorude välilähimõõt, m ; L – soojusvahetustorude pikkus, m .

$$F = \pi \times n \times d_n \times L = 3,14 \times 951 \times 0,025 \times 5,90 = 458,07 \text{ m}^2$$

Soojusvaheti soojuslähikande pind passiandmete järgi on 460 m^2 .

Gaasikäigu ristlõige toru- ja torudevahelises ruumides

Soojuskandja kiiruse arvutamiseks seadme toru- ja torudevahelises ruumides määratakse keskkonna läbipääsu elavlõigevaba ristlõige järgmiste valemitega:

$$f = \sqrt{f_{gk} \times f_n},$$

kus f_{gk} – vaheseina väljalõikega moodustatud läbivoolulõige, m^2 ; f_n – vaheseinte vaheline läbivoolulõige nullseksioonis, m^2 .

$$f_n = (D_s - n \times d) \times l,$$

kus D_s – seadme sisse lähimõõt, m ; n – torude arv vaadeldavas reas; d – soojusvahetustorude lähimõõt, m ; l – vaheseinte vaheline kaugus, m

$$f_n = (1,20 \text{ m} - 32 \times 0,025 \text{ m}) \times 0,015 \text{ m} = 0,006 \text{ m}^2$$

$$f = \sqrt{0,005 \text{ m}^2 \times 0,006 \text{ m}^2} = 0,005 \text{ m}^2$$

Töökeskkonna hinnangulised kiirused

Soojuslähikande arvutamiseks kriteeriumi seostes, samuti rõhulanguse arvutamiseks kasutatakse lineaarkiirust, mis toru- ja torudevaheliste ruumide jaoks arvutatakse

$$\text{valemiga } W = \frac{V}{f},$$

kus W – lineaarkiirus, m/s ; V – mahukulu, m^3/s ; f – läbivoolulõige, m^2

$$W = \frac{25 \frac{m^3}{h}}{3600 * 0,005 \text{ m}^2} = 1,39 \frac{m}{s}$$

Soojusvahetustorude sees ja väljas soojusülekande arvutamise sõltuvused

Jahutusvedeliku sunnitud liikumisega torude sees eristatakse kahte voolurežiimi: laminaarne ja turbulentne. Torude sisese soojusülekande arvutamiseks on toodud üldistatud sõltuvused kirjanduslike allikate analüüsi põhjal. Üldistatud sõltuvused

määravad seose Reynoldsi (Re), Prandtl (Pr) kriteeriumide vahel. Esitatud sõltuvused annavad rahuldava konvergensti tööstusseadmete katsetamisel nii eksperimentaal kui ka töötingimustes saadud soojusülekandeeguriga.

Reynoldsi kriteerium

$$Re = \frac{V \times d}{\nu},$$

kus V – vee voolu kiirus, m/s; d – soojusvahetustorude läbimõõt, m; ν – kinemaatiline viskoossustegur, m^2/s

$$d_s = d_v - 2 \times \delta = 25 \text{ mm} - 2 * 3 = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Keskmine veevoolu temperatuur: } t = \frac{19+30}{2} = 24,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Selle vee temperatuuriga on järgmised andmed:

$$\rho = 988 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \nu = 0,913 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}; Pr = 6,09; Pr_c = 4,25$$

$$\text{Keskmine AGS voolu temperatuur: } t = \frac{90+55}{2} = 72,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Selle AGS temperatuuriga on järgmised andmed:

$$\rho = 1,151 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \nu = 1,95 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}; Pr = 10,09; Pr_c = 7,45$$

Reynoldsi arv soojusvaheti toruruumis

$$Re = \frac{1,39 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,019 \text{ m}}{0,913 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 28927$$

Torude hüdrauliline takistus määratakse Blasiusi valeliga:

$$\xi = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \times \left(\frac{Pr}{Pr_c} \right)^{-0,33} = \frac{0,316}{28927^{0,25}} \times \left(\frac{6,09}{4,25} \right)^{-0,33} = 0,021$$

Turbulentses režiimis torude kaudu liikuva vedeliku soojuslähikandetegur on võrdne:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \times \lambda_1}{d_s} = \frac{0,021 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,4} \times \left(\frac{Pr}{Pr_c} \right)^{0,25} \times \lambda_1}{d_s}$$

$$\alpha_1 = \frac{0,021 \times 28927^{0,8} \times 6,09^{0,4} \times \left(\frac{6,09}{4,25} \right)^{0,25} \times 0,662}{0,019} = 6113 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

Reynoldsi arv soojusvaheti toruvaheuumis

$$Re = \frac{1,39 \frac{m}{s} \times 0,025m}{1,95 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 17821$$

Torude hüdrauliline takistus määratakse Blasiusi valeliga:

$$\xi = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \times \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)^{-0,33} = \frac{0,316}{17821^{0,25}} \times \left(\frac{10,09}{7,45}\right)^{-0,33} = 0,025$$

Turbulentses režiimis torude vahelises ruumis liikuva vedeliku soojuslähikandetegur on:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_1 \times \lambda_1}{d_v} = \frac{0,025 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,4} \times \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)^{0,25} \times \lambda_1}{d_v}$$

$$\alpha_2 = \frac{0,025 \times 17821^{0,8} \times 10,09^{0,4} \times \left(\frac{10,09}{7,45}\right)^{0,25} \times 0,618}{0,025} = 4225 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Seina ja saastumise soojustakistuste summa on võrdne:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,001}{17,5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} = 0,000402 \frac{m^2 \times K}{W}$$

$$\lambda = 17,5 \frac{W}{m \times K} \text{ roostevaba terase jaoks}$$

Soojusvaheti soojuslähikandetegur määratakse võrrandiga $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{6113} + 0,000402 + \frac{1}{4225}} = 1246 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Vajalik soojusvahetuspind on $F_1 = \frac{Q}{K \times \Delta t} = \frac{221593500W}{1316 \frac{W}{m^2 \times K} \times 321,15K} = 553,5 m^2$

Olemasoleva soojusvaheti soojusvahetuspinna marginaal (suvel) on

$$\Delta = \frac{F - F_1}{F_1} = \frac{460 - 553,5}{553,5} \times 100\% = -17\%$$

Seega võib järeldada, et olemasolev soojusvaheti suvehooajal ei taga augu-gaasisegu jahutuseks ettenähtud töötingimusi, mille soojusvahetuspinnast jääb puudu 17%.

3.2.2 Talihoaeg

Läbikantava soojushulga arvutamine

Peamine konstruktsiooniline seos soojusvaheti soojustehnilises arvutuses on soojusläbikande võrrand.

Soojusläbikande võrrandil, mida kasutatakse vajaliku soojusläbikandepinna määramiseks, on vorm $Q = K \times F \times \theta$,

kus Q – soojusvahetuspinna seina kaudu kantud soojushulk, W ; K – soojusläbikandetegur, $W/(m^2 \times K)$; F – soojusläbikande pind, m^2 ; θ – keskmine temperatuuride erinevus (keskmine temperatuuride erinevus kuuma ja külma voolu vahel), $^{\circ}C$.

Keskmine temperatuuride erinevus talihoaajal:	T	$90^{\circ}C$	$35^{\circ}C$
	t	$11^{\circ}C$	$25^{\circ}C$
	θ	$79^{\circ}C$	$10^{\circ}C$

$$\theta = \frac{79 + 10}{2} = 44,5^{\circ}C = 317,15 K$$

Soojusläbikandepind:

$$Q = 1500 \frac{W}{m^2 \times K} \times 460 m^2 \times 317,15 K = 218833500 W$$

Soojusläbikandeteguri määramine

Soojusläbikandetegur on soojusvahetis toimuva soojusläbikandeprotsessi intensiivsuse indikaator ja määrab soojusvahetuspinna kaudu läbikantava soojushulga.

Saaste olemasolul soojusvahetustorude sees ja väljaspool võtame lubatava veaga soojusläbikandetegur $1500 W/m^2$.

Soojusreostustakistus valime $\frac{1}{5800} \frac{m^2 \times K}{W}$

Soojusläbikande pinna määramine

$$F = \pi \times n \times d_n \times L,$$

kus n – torude arv kimbus; d_n – soojusvahetustorude väliläbimõõt, m ; L – soojusvahetustorude pikkus, m .

$$F = \pi \times n \times d_n \times L = 3,14 \times 951 \times 0,025 \times 5,90 = 458,07 m^2$$

Soojusvaheti soojusläbikande pind passiandmete järgi on $460 m^2$.

Gaasikäigu ristlõige toru- ja torudevahelises ruumides

Soojuskandja kiiruse arvutamiseks seadme toru- ja torudevahelises ruumides määratakse keskkonna läbipääsu elavlõigevaba ristlõige järgmiste valemitega:

$$f = \sqrt{f_{gk} \times f_n}$$

kus f_{gk} – vaheseina väljalõikega moodustatud läbivoolulõige, m^2 ; f_n – vaheseinte vaheline läbivoolulõige nullseksioonis, m^2 .

$$f_n = (D_s - n \times d) \times l,$$

kus D_s – seadme sisse läbimõõt, m ; n – torude arv vaadeldavas reas; d – soojusvahetustorude läbimõõt, m ; l – vaheseinte vaheline kaugus, m

$$f_n = (1,20 \text{ m} - 32 \times 0,025 \text{ m}) \times 0,015 \text{ m} = 0,006 \text{ m}^2$$

$$f = \sqrt{0,005 \text{ m}^2 \times 0,006 \text{ m}^2} = 0,005 \text{ m}^2$$

Töökeskkonna hinnangulised kiirused

Soojuslähikande arvutamiseks kriteeriumi seostes, samuti rõhulanguse arvutamiseks kasutatakse lineaarkiirust, mis toru- ja torudevaheliste ruumide jaoks arvutatakse

$$\text{valemiga } W = \frac{V}{f'}$$

kus W – lineaarkiirus, m/s ; V – mahukulu, m^3/s ; f' – läbivoolulõige, m^2

$$W = \frac{25 \frac{m^3}{h}}{3600 \times 0,005 \text{ m}^2} = 1,39 \frac{m}{s}$$

Soojusvahetustorude sees ja väljas soojusülekande arvutamise sõltuvused

Jahutusvedeliku sunnitud liikumisega torude sees eristatakse kahte voolurežiimi: laminaarne ja turbulentne. Torude sisese soojusülekande arvutamiseks on toodud üldistatud sõltuvused kirjanduslike allikate analüüsi põhjal. Üldistatud sõltuvused määravad seose Reynoldsi (Re), Prandtli (Pr) kriteeriumide vahel. Esitatud sõltuvused annavad rahuldava konvergenti tööstusseadmete katsetamisel nii eksperimentaal kui ka töötingimustes saadud soojusülekande teguriga.

Reynoldsi kriteerium

$$Re = \frac{V \times d}{\nu}$$

kus V – vee voolu kiirus, m/s ; d – soojusvahetustorude läbimõõt, m ; ν – kinemaatiline viskoossustegur, m^2/s

$$d_s = d_v - 2 \times \delta = 25 \text{ mm} - 2 \times 3 = 19 \text{ mm}$$

Keskmine veevoolu temperatuur: $t = \frac{10+25}{2} = 17,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Selle vee temperatuuriga on järgmised andmed:

$$\rho = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \nu = 1,118 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}; Pr = 7,81; Pr_c = 5,87$$

Keskmine AGS voolu temperatuur: $t = \frac{90+35}{2} = 62,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Selle AGS temperatuuriga on järgmised andmed:

$$\rho = 1,136 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \nu = 1,9 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}; Pr = 9,86; Pr_c = 7,29$$

Reynoldsi arv soojusvaheti toruruumis

$$Re = \frac{1,39 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,019 \text{ m}}{1,118 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 23622$$

Torude hüdrauliline takistus määratakse Blasiusse valemiga:

$$\xi = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \times \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)^{-0,33} = \frac{0,316}{23622^{0,25}} \times \left(\frac{7,81}{5,87}\right)^{-0,33} = 0,023$$

Turbulentses režiimis torude kaudu liikuva vedeliku soojuslähikandetegur on võrdne:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \times \lambda_1}{d_s} = \frac{0,021 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,4} \times \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)^{0,25} \times \lambda_1}{d_s}$$
$$\alpha_1 = \frac{0,023 \times 23622^{0,8} \times 7,81^{0,4} \times \left(\frac{7,81}{5,87}\right)^{0,25} \times 0,662}{0,019} = 6174 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

Reynoldsi arv soojusvaheti toruvaheruumis

$$Re = \frac{1,39 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,025 \text{ m}}{1,9 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 18289$$

Torude hüdrauliline takistus määratakse Blasiusse valemiga:

$$\xi = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \times \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)^{-0,33} = \frac{0,316}{18289^{0,25}} \times \left(\frac{9,86}{7,29}\right)^{-0,33} = 0,030$$

Turbulentses režiimis torude vahelises ruumis liikuva vedeliku soojuslähikandetegur on:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_1 \times \lambda_1}{d_v} = \frac{0,027 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,4} \times \lambda_1}{d_v}$$

$$\alpha_2 = \frac{0,030 \times 18289^{0,8} \times 9,86^{0,4} \times \left(\frac{9,86}{7,29}\right)^{0,25} \times 0,618}{0,025} = 5133 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Seina ja saastumise soojustakistuste summa on võrdne:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,001}{17,5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} = 0,000402 \frac{m^2 \times K}{W}$$

$$\lambda = 17,5 \frac{W}{m \times K} \text{ roostevaba terase jaoks}$$

Soojusvaheti soojuslähikandetegur määratakse võrrandiga $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{6174} + 0,000402 + \frac{1}{5133}} = 1318 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Vajalik soojusvahetuspind on $F_1 = \frac{Q}{K \times \Delta t} = \frac{218833500W}{1318 \frac{W}{m^2 \times K} \times 317,15K} = 523,5 m^2$

Olemasoleva soojusvaheti soojusvahetuspinna marginaal (talvel) on

$$\Delta = \frac{F - F_1}{F_1} = \frac{460 - 523,5}{523,5} \times 100\% = -12\%$$

Seega võib järeldada, et olemasolev soojusvaheti talihooajal ei taga augu-gaasisegu jahutuseks ettenähtud töötingimusi, mille soojusvahetuspinnast jääb puudu 12%.

3.3 Jahuti soojuskoormuse arvutus

Algandmed:

1,2TSK-500 AGS kulu, Nm ³ /h	1500
AGS tihedus, kg/m ³	1136
AGS sisalduv gaasbensiin (KKT Oil OÜ laboriandmete järgi), g/m ³	250
AGS temperatuur soojusvaheti (KJM-45/2) sisselaskeava juures T ₁ , °C.....	90
AGS temperatuur soojusvaheti (KJM-45/2) väljalaskeava juures T ₂ , °C.....	5

Olgu gaasbensiini sisalduse AGS-s soojusvahetist (KÕK) separaatorisse (C-21) 10 g/m³.

Võttes arvesse gaasbensiini "udu" füüsilist eemaldamist separaatorist gaasivooluga, võib selle eeldatav sisaldus PK gaasis 1,2TSK-500 seadme väljumisel olla mitte 10, vaid 15 g/m³.

Arvutused:

Kondenseeritud gaasbensiini kogus $250 - 10 = 240 \text{ g/m}^3$ või

$$\frac{240 \text{ g/m}^3}{1000 \times 1500 \text{ m}^3/\text{h}} = 360 \text{ kg/h} = 0,1 \text{ kg/s} \text{ või } \frac{0,1 \times 3600 \text{ kg/h}}{780 \text{ kg/m}^3} = 0,46 \text{ m}^3/\text{h}$$

et päevas tegid välja $0,46 \times 24 = 11 \text{ m}^3/\text{ööpäevas}$, võttes arvesse ülekandmist umbes $10 \text{ m}^3/\text{ööpäevas}$.

Gaasbensiini eriaurustussoojus 300 kJ/kg (vastavalt bensiini maksimaalsele väärtusele).

Gaasibensiini kondenseerumisest tingitud soojuskoormus

$$0,1 \times 300 = 30 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 30 \text{ kW}$$

Soojuskoormus gaasibensiini jahutamisel 90°C kuni 5°C on

$$0,1 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2,05 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \times (90^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) = 17 \text{ kW}, \text{ kus}$$

$2,05 \text{ kJ/kg}$ – vedela bensiini soojusmahtuvus

Gaasjahutuse soojuskoormus 90°C kuni 5°C on

$$\frac{1500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600 \times 1,3 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \times \text{K}} \times (90^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C})} = 46 \text{ kJ}, \text{ kus}$$

$1,3 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \times \text{K})$ – mitmealuselise gaaside soojusmahtuvus püsiva mahus

Soojuskoormus veeauru (fenoolvesi) kondenseerumisest ja jahtumisest 90°C kuni 5°C :

veeauru entalpia temperatuuril 90°C $i_{90} = 377 \text{ kJ/kg}$

veeauru entalpia temperatuuril 5°C $i_5 = 20 \text{ kJ/kg}$

Fenoolvee saagis on 972 töötunniga ligikaudu 398 tonni või $0,4 \text{ t/h} = 0,11 \text{ kg/s}$

$$0,11 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times \left(377 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 20 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 39,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 40 \text{ kJ}$$

Kogusoojuskoormus AGS jahutamisel ja gaasibensiini kondenseerumisel 90°C kuni 5°C

$$30 \text{ kW} + 17 \text{ kW} + 46 \text{ kW} + 40 \text{ kW} = \mathbf{133 \text{ kW}}$$

Minimaalne nõutav jahuti võimsus võimsusreserviga 150 kW.

Jahuti valikul tuleks lähtuda eelkõige jahutatava vedeliku saavutatud temperatuurist, näiteks: meile ei sobi variandid, kus vedelik jahutatakse temperatuurini $+10^\circ\text{C}$.

Ringluse etüleenglükooli temperatuuride arvutamine

Algandmed:

ET erisoojus, kJ/(kg×K).....	1,7
ET tihedus, kg/m ³	1056
ET külmumistemperatuur, °C.....	-24

Valime ringleva ET vooluhulgaks 25 m³/h või $\frac{25 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \times 1056 \text{ kg/m}^3} = 7,33 \text{ kg/s}$

Kuna ET lahusel on võrreldes veega kõrgem viskoossus, jääb liikumiskiirus torustikus alla 1 m/s.

Torujuhtme läbimõõduga ø100 mm on voolukiirus:

$$V/3600/\pi r^2 = 25/3600/3,14/0,05^2 = 0,9 \text{ m/s}$$

EG temperatuurilang KÕK-s on $93 \text{ kW} / 7,33 \frac{\text{kg}}{\text{s}} / 1,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} = 10,7 \text{ °C}$

Et saavutada AGS temperatuur 5 °C KÕK-st väljalaskeava juures, aktsepteerime KÕK-sse siseneva ET temperatuuri 4 °C.

Siis on KÕK-st väljuva ET temperatuur 4 °C + 10,7 °C = 15 °C

3.4 Olemasoleva kergeõlikondensaatori arvutus teise külmutusagensiga

Algandmed:

Külmakandja	40% etüleenglükooli vesilahus
AGS tihedus ρ_1 , kg/m ³	1,136
AGS temperatuur soojusvaheti (KЛM-45) sisselaskeava juures T ₁ , °C	90
AGS temperatuur soojusvaheti (KЛM-45) väljalaskeava juures T ₂ , °C	5
Külmakandja temperatuur soojusvaheti (KЛM-45) sisselaskeava juures t' _s , °C	4
Külmakandja temperatuur soojusvaheti (KЛM-45) väljalaskeava juures t'' _s , °C	15

Läbikantava soojushulga arvutamine

Peamine konstruktsiooniline seos soojusvaheti soojustehnilises arvutuses on soojuslähikande võrrand.

Soojusbikande võrrandil, mida kasutatakse vajaliku soojusbikandepinna määramiseks, on vorm $Q = K * F * \theta$,

kus Q - soojusvahetuspinna seina kaudu kantud soojushulk, W ; K - soojusbikandetegur, $W/(m^2 \times K)$; F - soojusbikande pind, m^2 ; θ - keskmine temperatuuride erinevus (keskmine temperatuuride erinevus kuuma ja külma voolu vahel), $^{\circ}C$.

Keskmine temperatuuride erinevus:	T	$90^{\circ}C$	$5^{\circ}C$
	t	$4^{\circ}C$	$15^{\circ}C$
	θ	$86^{\circ}C$	$-5^{\circ}C$

$$\theta = \frac{86 - 5}{2} = 40,5^{\circ}C = 313,65 K$$

Soojusbikandepind:

$$Q = 1500 \frac{W}{m^2 \times K} \times 460 m^2 * 313,65 K = 216418500 W$$

Soojusbikandeteguri määramine

Soojusbikandetegur on soojusvahetis toimuva soojusbikandeprotsessi intensiivsuse indikaator ja määrab soojusvahetuspinna kaudu läbikantava soojushulga.

Saaste olemasolul soojusvahetustorude sees ja väljaspool võtame lubatava veaga soojusbikandetegur $1500 W/m^2$.

Soojusreostustakistus valime $\frac{1}{6200} \frac{m^2 \times K}{W}$

Soojusbikande pinna määramine

$F = \pi \times n \times d_n \times L$, kus

n - torude arv kimbus; d_n - soojusvahetustorude väliläbimõõt, m ; L - soojusvahetustorude pikkus, m .

$$F = \pi \times n \times d_n \times L = 3,14 \times 951 \times 0,025 \times 5,90 = 458,07 m^2$$

Soojusvaheti soojusbikande pind passiandmete järgi on $460 m^2$.

Gaasikäigu ristlõige toru- ja torudevahelises ruumides

Soojuskandja kiiruse arvutamiseks seadme toru- ja torudevahelises ruumides määratakse keskkonna läbipääsu elavlõigevaba ristlõige järgmiste valemitega:

$$f = \sqrt{f_{gk} \times f_{nr}}$$

kus f_{gk} – vaheseina väljalõikega moodustatud läbivoolulõige, m^2 ; f_n – vaheseinte vaheline läbivoolulõige nullseksioonis, m^2 .

$$f_n = (D_s - n \times d) \times l,$$

kus D_s – seadme sisse läbimõõt, m ; n – torude arv vaadeldavas reas; d – soojusvahetustorude läbimõõt, m ; l – vaheseinte vaheline kaugus, m

$$f_n = (1,20m - 32 \times 0,025 m) \times 0,015 m = 0,006 m^2$$

$$f = \sqrt{0,005 m^2 \times 0,006 m^2} = 0,005 m^2$$

Töökeskkonna hinnangulised kiirused

Soojuslähikande arvutamiseks kriteeriumi seostes, samuti rõhulanguse arvutamiseks kasutatakse lineaarkiirust, mis toru- ja torudevaheliste ruumide jaoks arvutatakse

$$W = \frac{V}{f},$$

kus W – lineaarkiirus, m/s ; V – mahukulu, m^3/s ; f – läbivoolulõige, m^2

$$W = \frac{25 \frac{m^3}{h}}{3600 \times 0,005 m^2} = 1,39 \frac{m}{s}$$

Soojusvahetustorude sees ja väljas soojusülekande arvutamise sõltuvused

Jahutusvedeliku sunnitud liikumisega torude sees eristatakse kahte voolurežiimi: laminaarne ja turbulentne. Torude sisese soojusülekande arvutamiseks on toodud üldistatud sõltuvused kirjanduslike allikate analüüsi põhjal. Üldistatud sõltuvused määravad seose Reynoldsi (Re), Prandtl'i (Pr) kriteeriumide vahel. Esitatud sõltuvused annavad rahuldava konvergentsi tööstusseadmete katsetamisel nii eksperimentaal kui ka töötingimustes saadud soojusülekande teguriga.

Reynoldsi kriteerium

$$Re = \frac{V \times d}{\nu},$$

kus V – voolu kiirus, m/s ; d – soojusvahetustorude läbimõõt, m ; ν – kinemaatiline viskoossustegur, m^2/s

$$d_s = d_v - 2 \times \delta = 25mm - 2 \times 3 = 19 mm$$

$$\text{Keskmine ET voolu temperatuur: } t = \frac{4+15}{2} = 9,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Selle ET temperatuuriga on järgmised andmed:

$$\rho = 1,056 \frac{kg}{m^3}; \nu = 3,85 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}; Pr = 41,00; Pr_c = 35,50$$

Keskmine AGS voolu temperatuur: $t = \frac{90+5}{2} = 47,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Selle AGS temperatuuriga on järgmised andmed:

$$\rho = 1,230 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \nu = 2,25 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}; Pr = 12,91; Pr_c = 8,31$$

Reynoldsi arv soojusvaheti toruruumis

$$Re = \frac{1,39 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,019 \text{ m}}{3,85 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 6860$$

Torude hüdrauliline takistus määratakse Blasiusse valemiga:

$$\xi = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \times \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)^{-0,33} = \frac{0,316}{6860^{0,25}} \times \left(\frac{41,00}{35,50}\right)^{-0,33} = 0,033$$

Turbulentses režiimis torude kaudu liikuva vedeliku soojuslähikandetegur on võrdne:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \times \lambda_1}{d_s} = \frac{0,033 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,4} \times \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)^{0,25} \times \lambda_1}{d_s}$$
$$\alpha_1 = \frac{0,033 \times 6860^{0,8} \times 41,00^{0,4} \times \left(\frac{41,00}{35,50}\right)^{0,25} \times 0,962}{0,019} = 8969 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

Reynoldsi arv soojusvaheti toruvaheruumis

$$Re = \frac{1,39 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,025 \text{ m}}{2,25 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 15444$$

Torude hüdrauliline takistus määratakse Blasiusse valemiga:

$$\xi = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \times \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)^{-0,33} = \frac{0,316}{15444^{0,25}} \times \left(\frac{12,91}{8,31}\right)^{-0,33} = 0,025$$

Turbulentses režiimis torude vahelises ruumis liikuva vedeliku soojuslähikandetegur on:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_1 \times \lambda_1}{d_v} = \frac{0,025 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,4} \times \lambda_1}{d_v}$$
$$\alpha_2 = \frac{0,025 \times 15444^{0,8} \times 12,91^{0,4} \times \left(\frac{12,91}{8,31}\right)^{0,25} \times 0,962}{0,025} = 6705 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

Seina ja saastumise soojustakistuste summa on võrdne:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,001}{17,5} + \frac{1}{6200} + \frac{1}{6200} = 0,000380 \frac{m^2 \times K}{W}$$

$$\lambda = 17,5 \frac{W}{m \times K} \text{ roostevaba terase jaoks}$$

Soojusvaheti soojuslähikandetegur määratakse võrrandiga $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8969} + 0,000380 + \frac{1}{6705}} = 1561 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Vajalik soojusvahetuspind on $F_1 = \frac{Q}{K \times \Delta t} = \frac{216418500 W}{1561 \frac{W}{m^2 \times K} \times 313,65 K} = 442,0 m^2$

Olemasoleva soojusvaheti soojusvahetuspinna marginaal on

$$\Delta = \frac{F - F_1}{F_1} = \frac{460 - 442,0}{442,0} * 100\% = 4\%$$

Kokku võttes tehtud arvutused võib väita, et tehniliselt (arvestuslikult) suudab olemasolev soojusvaheti külmaaine asendamisel ringlusveest 40% etüleenglükooli vesilahuks tagada augu-gaasisegu jahutuseks ettenähtud töötingimused.

3.5 Projekti tasuvus ja kuluosa

Uuringute ja arvutuste põhjal koostati tehniline ülesanne kergeõli kondensaatori (КЛМ) 1,2TSK-500 tsirkuleeriv külmutusagensi jahutusseadme väljatöötamiseks ja tarnimiseks, koos projekti tasuvuse ja kuluosaga.

Järgmisel kahel tabelil (Tabel 3.5 ja Tabel 3.6) on toodud 1,2TSK-500 tööaeg ja bensiini toodang tali- ja suvehooajal.

Tabel 3.5 1,2TSK-500 tööaeg ja bensiini toodang talihooajal

Periood	1,2TSK-500 seadmed töös, h	Bensiini toodang, t
Jaanuar 2021	490,0	257,1
Veebruar 2021	254,6	128,7
Märts 2021	526,0	229,0
Aprill 2021	869,1	382,7
November 2021	839,1	283,4
Detsember 2021	1 036,0	388,3
Talihooaeg	4 014,7	1 669,2

Bensiini saagis talihooajal on 0,42 t/h või 9,98 t/ööpäevas.

Eesti talvine keskmine õhutemperatuur oli -8,7 °C.

AGS täiendavaks jahutamiseks uue kompleksi paigaldamisega peaks bensiini tootmine talveperioodil olema keskmiselt 10,48 t/ööpäevas (+5%).

Tabel 3.6 1,2TSK-500 tööaeg ja bensiini toodang suvehooajal

Periood	1,2TSK-500 seadmed töös, h	Bensiini toodang, t
Mai 2021	1 178,6	540,2
Juuni 2021	1 157,5	405,4
Juuli 2021	920,6	288,7
August 2021	1 029,0	270,5
September 2021	1 251,8	226,6
Oktoober 2021	706,6	215,3
Suvehooaeg	6 244,0	1 946,6

Bensiini saagis talihoajal on 0,31 t/h või 7,48 t/ööpäevas.

Eesti suvine keskmine õhutemperatuur oli 18,6°C.

AGS täiendavaks jahutamiseks uue kompleksi paigaldamisega peaks bensiini tootmine suveperioodil olema keskmiselt 10,47 t/ööpäevas (+40%).

Tabelis 3.7 on lühidalt kirjeldatud projekti otsekulud, millest tuleb, et uue jahutusseadme projekti hind on 260 000 €.

Projekt peaks end ära tasuma kahe aasta jooksul, kuna AGS täiendavaks jahutamiseks uue kompleksi paigaldamisega peaks bensiini tootmine olema keskmiselt 3822 t/aastas (+20%).

Tabel 3.7 Projekti otsekulud ja hind

	Osakaal	Maksumus, €
Projekti otsekulud	72%	182 590
Montaaži ja käivitus-seadistamistööd	6%	15 000
Materjalid ja seadmed	35%	89 370
Tööjõukulud	14%	34 990
Transport ja töövahendid	2%	5 000
Muud otsekulud	1%	2 130
Projekt	6%	15 100
Etüleenglükool	2%	6 000
Varikatus jahuti kohal	6%	15 000
Üldkulud		52 990
Üldised tööjõukulud		49 990
Muud üldkulud		3 000
Omahind kokku		235 580
Riskid (% omahinnast)	8,0%	14 607
valuutakursi muutus, valuuta		550
toorme kallinemine, hinnadelta	1,0%	1 826
tööjõukulude suurenemine		1 050
sisse ostetavate teenuste kallinemine		603
tootmisressursside piiratus, hilineamise risk		550
Ärikasum (% müügihinnast)	10,0%	7 511
Ärikasumi marginaal		
Pakkumise hind / Müügihind		257 698

3.5.1 Tehniline ülesanne

Hanke raames on nõutav jahutusüksuse detailne projekt.

Jahutusüksus / Jahutusplokk peaks koosnema järgmisest:

- jahuti;
- kompensatsioonipaak;
- kaks pumpa;
- sulgemisarmatuur;
- kontrollmõõteriistad ja automaatika.

Seadmete projekteerimisparameetrid:

- jahuti – 80 kW;
- külmutusagens KÕK-i jaoks – 40% etüleenglükooli vesilahus;
- seadmesse siseneva külmutusagensi temperatuur pärast KÕK-st, 15 °C;
- seadmest külmutusagensi väljalaskeava temperatuuriga 5 °C, reguleeritav;
- külmutusagensi maht suletud ahelas 15 m³/h;
- voolukiirus suletud ahelas 0,9 m/s, torustik pärast plokki ø100;
- tsirkulatsioonipump 30 m³ 40 m, (2 tk, võlli topend tihend);

Kontrollmõõteriista ja automaatika nõuded:

- kõik mõõteseadmed peavad olema 4-20mA väljundiga (temperatuuriandurid, rõhuandurid, voolumõõturid jne), nõuded põhinevad edasisel hooldusel;
- temperatuuri- ja rõhuandurite jaoks kasutage protsessi keerme g1/2. kui võimalik;
- võimaluse korral kasutage voolumõõturite ja juhtventiilide jaoks möödavoolu;
- signaalid juhtimisseadmete, sagedusregulaatorite jms asukoha ja seadistuse kohta kasutada 4-20mA;
- diskreetsed juhtimis- ja seadmete olekusignaalid (nagu kontaktori aktiveerimine ja ajami olek) kasutada +24 vdc;
- väljastada kliendile andmete edastamiseks olemasolevasse juhtimissüsteemi (ABB 800xa) kõik oleku ja seadmete juhtsignaalid analoogsignaalide kujul 4-20mA ja diskreetne + 24vdc. kogus ja nimi lepatakse kokku kliendiga;
- kooskõlastada Kliendiga seadme tootja ning mõõteriistade ja juhtimise

spetsifikatsioonid.

Tehnilise lahenduse ja tootmistööde projekti väljatöötamine

Töövõtja peab välja töötama ja Tellijaga kokku leppima ploki paigutuse tehnilise lahenduse. Kokkulepitud tehnilise lahenduse alusel töötab Töövõtja välja detailprojekti jahutussõlme paigaldamiseks 1,2TSK-500´s. Tehnilise lahenduse väljatöötamisel on vaja arvestada kliendi nõudmiste olemasoluga. Arvesse tuleks võtta võimalikku mõju seotud seadmetele.

Kokkulepitud tehnilise lahenduse alusel töötab Töövõtja välja paigaldustööde projekti (TTP – tootmistööde projekt).

Põhinõuded projektile ja TTP-le

Tööde valmistamine, nende järjestus, mahud, teostamisviisid, materjalide, mehhanismide, seadmete, ehitusseadmete ja tööjõuga varustamine, töögraafik, ohutus- ja töökaitsemeetmed, samuti meetmed olemasolevate seadmete, konstruktsioonide kaitsmiseks ja säilitamiseks, insenerivõrgud, mistahes objektid jms, mis võivad tööde tegemisel kahjustuda, tuleb tööde tegemise projektis selgitada ja täpsustada.

Tööde valmistamise projekti või jooniste koostamisel on Töövõtjal võimalik tellija kaudu iseseisvalt ühendust võtta ettevõtte tehnilise arhiiviga ja saada tehnilist teavet.

Paigaldustööd

Töid teostatakse 1,2TSK-500´l. Samas peab Töövõtja demonteerimis- ja paigaldustööde perioodil arvestama töösõlme 1,2TSK-500 olemasoluga.

Töövõtja teostab plokiseadmete paigalduse Tellija poolt määratud kohas.

Pärast paigaldustööde lõppu taastab Töövõtja demonteeritud/kahjustatud protsessiseadmed, metallkonstruktsioonid, ehituskonstruktsioonid ja territooriumi.

Üldised tarne nõuded

Esitada kokkupandud dokumentide komplekt paberkandjal ja elektroonilisel kujul avalikult juurdepääsetavas redigeeritavas vormingus (Word, DOC, XLS, DWG). Need tarnedokumentatsiooni koostamise juhised kehtivad ka alltöövõtjatele.

Kliendile väljastatavate dokumentide loetelu:

- seletuskiri, mis kirjeldab seadmete tööpõhimõtet;
- tehnoloogiline skeem, millel on näidatud kaitsed, blokeeringud ja juhtimisaasad;
- seadmete register, näidates ära signaali tüübi, mõõtmisvahemiku, häireseaded;
- joonised, elektriskeemid, automaatikakappide paigutuskeemid, skemaatilised

ja elektriskeemid;

- kaablisalve, mis näitavad kaabli tüüpi, ühenduspunkte (klemmid, sk, seade jne);
- kasutus- ja hooldusjuhend.

Kõik ehitus- ja paigaldustöödel kasutatavad materjalid ja seadmed jms peavad olema Eestis sertifitseeritud, omama kemikaaliohutuskaarti, enne tellimuse vormistamist ja enne tööde alustamist (hiljemalt 2 tööpäeva) Tellijaga kokku leppima ning täitma Tellijaga kehtestatud käitamise tingimused ja nõuded.

Töövõtja kvalifikatsioon ja teenindusnõuded

Teenuse teostamiseks peavad Töövõtjal (või tema Alltöövõtjal) ja tema töötajatel olema kõik vajalikud load, kehtivad litsentsid ja sertifikaadid, mis tulenevad EV ja EL seadusandluse nõuetest. Tellijale esitatakse enne tööde algust sertifikaatide ja personali tunnistuste koopiad.

Töövõtjal on kohustus omada ettevõtte territooriumil kõiki vajalikke tööriistu, liikuvate osade vahendeid ja tööriistu, personali isikukaitsevahendeid, mis vastavad Tellija territooriumil ja tehtava töö iseloomule kehtestatud nõuetele.

Kõikide materjalide ja seadmete ladustamise korraldamine enne kohapealset paigaldamist vastavalt projektile koos tootja poolt nõutava säilitustemperatuuri ja -niiskuse tagamisega on Töövõtja kohustus.

Tööks vajalike tellingute ja kate ehituse korraldamine, Töövõtja vastutusel.

Tööohutus ja töökorraldus

Kõik Töövõtja töötajad peavad läbima KKT Oil OÜ töökeskkonnaspetsialisti poolt korraldatava sissejuhatava instruktiaži.

Ohutusnõuete ja tuleohutuseeskirja rikkumise korral rakendatakse süüdlaste suhtes mõjutusmeetmeid vastavalt ettevõttes kehtestatud korrale (Tellija ettevõtte territooriumile juurdepääsuõiguste sulgemine, trahvid).

Töövõtja on KKT territooriumil viibides ja mis tahes tüüpi tööde tegemisel, sealhulgas materjalide ettevalmistamisel ja/või transportimisel, kohustatud järgima ettevõttes kehtestatud ohutus- ja tuleohutusnõudeid, juhinduma Töövõtjate töö korraldamise korra nõudeid ning täitma ka Eesti Vabariigi kehtivast seadusandlusest tulenevaid nõudeid.

Koostada kõik töö korraldamiseks vajalikud dokumendid vastavalt ettevõtte sisekorraeeskirjale, nagu avaldused materiaalse vara sisse- ja väljaveoks, töökäskude täitmiseks jms.

Töövõtja järgib KKT-s vastu võetud Jäätmete, sh ohtlike jäätmete kogumise, hoidmise ja utiliseerimise korda.

Garantii ja trahvisanktsioonid

Töövõtja annab tehtud töödele garantii - 2 aastat alates tööde vastuvõtmise ja üleandmise akti allkirjastamise kuupäevast.

Pärast täielikku sissetöötamist töörežiimile 72 tunni jooksul allkirjastatakse AKT.

Käesoleva juhendi ja/või muude lepingu ja selle lisade tingimuste rikkumise korral karistatakse Töövõtjat trahviga:

- Töövõtja süül tekkinud tööde teostamise tähtaegade rikkumised - 2% lepingu kogusummast iga viivitatud päeva eest.
- Trahvide maksimaalne suurus - 30% lepingu kogusummast.

Maksegraafik

90% Lepingu maksumusest tasutakse 30 päeva jooksul peale tööde vastuvõtmise ja üleandmise akti allkirjastamist.

10% lepingu maksumusest tasutakse 30 päeva jooksul peale saatedokumentide vastuvõtmise ja üleandmise akti allkirjastamist.

Teenuse osutamise koht

Teenust osutatakse KKT ettevõtte territooriumil

Ettevõtte asukoha aadress: Turu 3, Kiviõli

Teenuste osutamise tähtaeg

- kõik demonteerimis- ja paigaldustööd tuleb lõpetada valmisoleku mööda, kuid mitte hiljem kui 01.09.2022;
- tööde teostamise aeg - 20 päeva alates Tellija poolt tööle lubamise kuupäevast;
- töögraafik, sealhulgas kooskõlastamise, projekteerimise, paigaldustööde kõik etapid, teostatud tööde kvaliteedi kontrollimise toimingute korraldamine, Tellijale 30 päeva pärast lepingu allkirjastamist;
- kogu tarnedokumentatsioon tuleb Tellijale üle anda hiljemalt 14 päeva jooksul peale tööde lõpetamist.

Teave teenuse hinnas sisalduvate kulutuste kohta

Kaupade (tööde, teenuste) hind lepingu kehtivuse ajaks on fikseeritud ja ei kuulu ülevaatamisele.

KOKKUVÕTE

1,2TSK-500 seadmete kondensatsiooni osakonna auru-gaasisegu jahutuse tõhusaks toimimiseks igal ajal aastas, vajaliku kvaliteediga toodete stabiilseks tootmiseks ja bensiiniaurude kaasahaaramise vältimiseks, on nõutav auru-gaasisegu jahutamise viimase etapi optimeerimine.

Töös valiti uurimisobjektiks KKT Oil OÜ ettevõtte 1,2TSK-500 seadmete kondensatsiooni osakonna kergeõli kondensaator.

Töös on lahendatud mitmeid ülesandeid: arvatud 1,2TSK-500 kondensatsiooni osakonna materjalibilanss, olemasolev kergeõlikondensaator veega-külmutusagensiga suve- ja talvetemperatuuri tingimustes ja 40% etüleenglükooli vesilahusega-külmutusagensiga, välja pakutud projekt kergeõlikondensaatori külmutusagensi asendamiseks koos vajaliku omadusega uue auru-gaasisegu sügavjahutusseadme paigaldamiseks, esitatud kavandatava projekti tasuvus ja kuluosa.

Arvutuste tulemusena saadi, et olemasolev soojusvaheti suve- ja talihooajal ei taga augu-gaasisegu jahutuseks ettenähtud töötingimusi, mille soojusvahetuspinnast jääb puudu 12%. Põhjuseks on madal soojusvahetus, mis on seotud ringlusvee temperatuuriga ja külmiku torude karboniseerumisega (saastumisega). Saastumine tekitab vastupidavuse soojuslevile ja halvendab soojusvahetust, vähendades gaasbensiini tootmist.

Seega 1,2TSK-500 seadme auru-gaasisegu jahutamiseks ja selles sisalduva gaasibensiini sügavamaks kondenseerimiseks on tehtud ettepanek asendada kasutatud ringlusvesi külmutusagensi - 40% etüleenglükooli vesilahusega.

Uue auru-gaasisegu sügavjahutusseadme paigaldamine minimaalse võimsusega 80kW (arvatud ühele TSK seadmele) võimaldab jahutada auru-gaasisegu temperatuurini 5°C ja suurendada bensiini saagist talvel 5% ja suvel 40%.

Tööd saab kasutada 1,2TSK-500 seadmete tõhususe suurendamise projekti aluseks.

SUMMARY

Optimization of the final stage of steam-gas mixture cooling is required for the efficient work of the steam-gas mixture cooling unit of the condensing compartment of 1,2TSK-500 plant at any time of the year, for the steady production of products with the required quality and to avoid the carry-over of gasoline vapour.

The light fraction of shale oil condenser of the condensing compartment of 1,2TSK-500 plant at KKT Oil OÜ was chosen as the research object.

Several tasks have been solved in the final work: the material balance of the condensing compartment of 1,2TSK-500 plant, the existing light fraction of shale oil condenser with water-refrigerant in summer and winter temperature conditions and mixture of 40% ethylene glycol and 60% water-refrigerant; a project has been proposed to replace the refrigerant in the light fraction of shale oil condenser with the required property for the compartment and a new steam-gas mixture deep-cooling device setting with a project to replace feasibility and direct costs.

Calculations showed that the existing heat exchanger during the summer and winter seasons does not guarantee the given conditions for cooling the steam-gas mixture, which lacks 12% of the heat exchange surface. This is due to the low heat exchange associated with the circulating water temperature and the carbonation (fouling) of the refrigerator pipes. Pollution creates resistance to heat transfer and impairs heat exchange, reducing gasoline production.

Therefore, for the cooling of the steam-gas mixture of the 1,2TSK-500 plant and for the deeper condensation of the gasoline contained therein, it is proposed to replace the used circulating water with a different refrigerant - mixture of 40% ethylene glycol and 60% water.

The installation of a new steam-gas mixture deep-cooling device with a minimum power of 80 kW (calculated for one TSK plant) allows to cool the steam-gas mixture to a temperature of 5 °C and increase the gasoline yield by 5% in winter and 40% in summer temperature conditions.

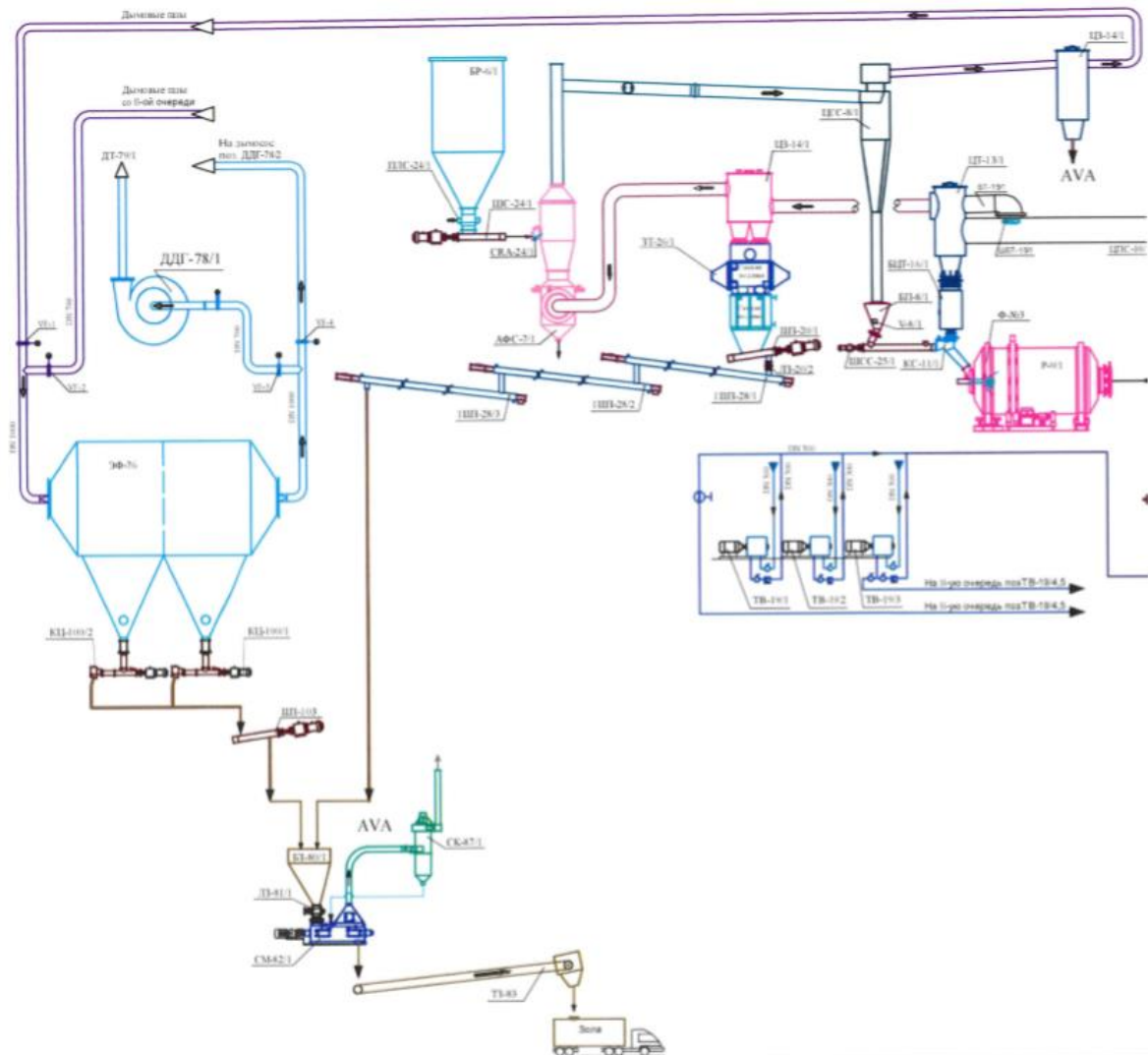
The final work can be used as a basis for a project to increase the efficiency of 1,2TSK-500 plant.

KASUTATUD KIRJANDUS

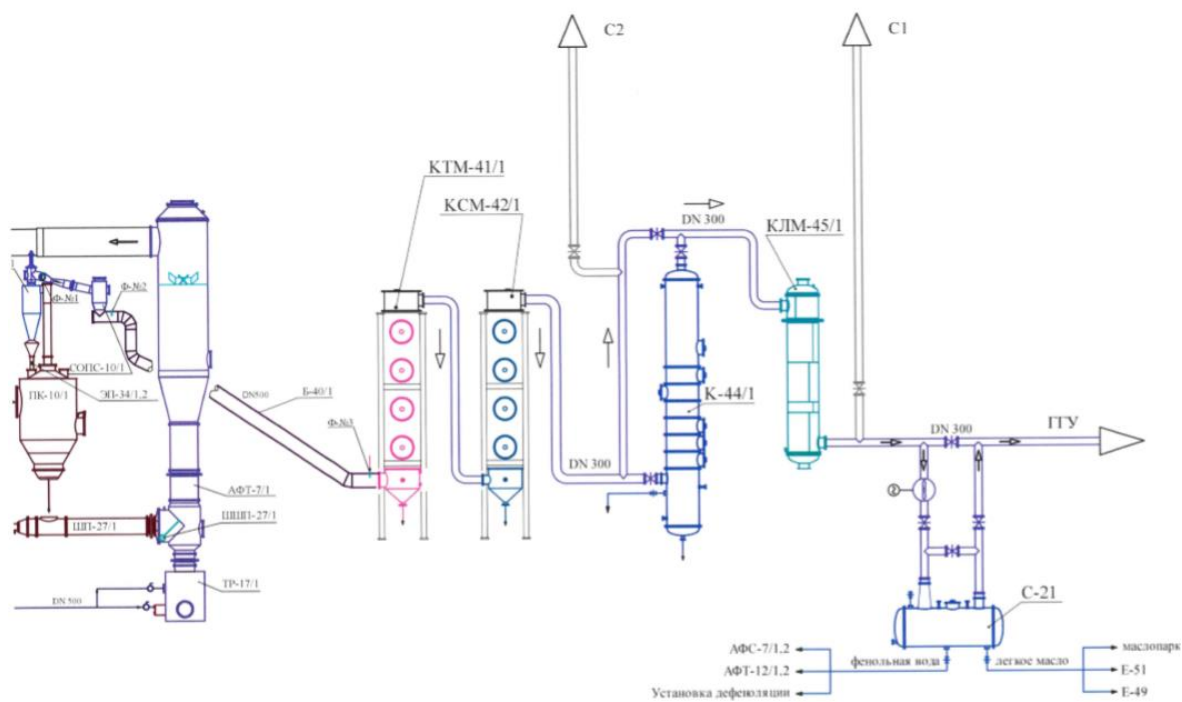
1. Kiviõli Keemiatööstuse OÜ. [WWW] <https://www.keemiatootus.ee/>, 13.05.2022
2. Tehnoloogiline reglement TR 22/1:2018. Tahkesoojusandjaga seade. Põlevkiviõlide tootmine. 2018
3. К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Издательство «Химия». Ленинград, 1987, под редакцией П. Г. Романкова, стр. 149-205
4. Daikin Applied Europe S.p.A., Chillers and Heat Pumps. [WWW] <https://www.daikinapplied.eu/technologies/chillers-heat-pumps/>, 13.05.2022
5. Chiller Ltd. Chilled water stations. Outdoor units. Chillquick eco. [WWW] <https://www.chiller.eu/products/chilled-water-stations-outdoor-units/eco/>, 13.05.2022
6. Eurochiller S.r.l. Process water chillers. Products collection 001/19 [WWW] https://www.eurochiller.com/wp-content/uploads/2020/05/PWC_2019_001_2019_LD_ADXevo.pdf, 13.05.2022
7. Н. И. Зеленин, В. С. Файнберг, К. Б. Чернышева, под редакцией докт. техн. наук Н. И. Зеленина. Химия и технология сланцевой смолы. Издательство "Химия". Ленинград, 1968, стр. 76-85, 206-213
8. Б. М. Легких, Р. Ш. Мансуров. Расчет кожухотрубчатого теплообменника: Методические указания к курсовой работе. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет». Оренбург, 2004, стр.7-14
9. М. Г. Рудин, Н. Д. Серебрянников. Справочник сланцепереработчика. Издательство "Химия". Ленинград, 1988, стр. 74-76, 87-92
10. Б. В. Шишкин. Теплотехнический расчет и оформление заказа на теплообменный аппарат. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на Амуре государственный технический университет». Комсомольск-на-Амуре, 2014, стр. 5-36
11. А. И. Блохин, М. И. Зарецкий, Г. П. Стельмах, Г. Б. Фрайман. Энерготехнологическая переработка топлив твердым теплоносителем. Российская академия естественных наук «Светлый СТАН». Москва, 2005, стр. 29-63, 94-147, 214-235

12. А. П. Пичугин. Переработка нефти. Прямая перегонка, термический крекинг, коксование. Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы. Москва, 1960, стр. 317-318
13. Hua Zhang, Ze Wang, Jingdong He, Ermei Liu, Wenli Song, Songgeng Li. Staged condensation of oil shale pyrolysis volatiles for preliminary dedust and fractionation of shale oil. State Key Laboratory of Multi-Phase Complex Systems, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, PR China. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, PR China. Chinese Academy of Sciences, Beijing, China. 2019
14. К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков, под редакцией П. Г. Романкова. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Издательство «Химия». Ленинград, 1981, стр. 32-36, 53-56
15. П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк, под редакцией докт. техн. наук, профессора Н. А. Марцулевича. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи). Издательство "Химия". Санкт-Петербург, 1993, стр. 43-51
16. G. Gerasimov, E. Volkov. Modeling study of oil shale pyrolysis in rotary drum reactor by solid heat carrier. Institute of Mechanics, Moscow State University, 1 Michurinsky Ave., 119192 Moscow, Russia. G. M. Krzhizhanovsky Power Engineering Institute (ENIN), 19 Leninsky Ave., 119991 Moscow, Russia. 2015
17. С. Г. Чекрызов. Технология переработки сланца в установке с твёрдым теплоносителем. [WWW] http://data.vk.edu.ee/Web_personnel/SergeyChecryzov/Kutustetoostuse%20protsessid/L13Galoter.pdf (01.05.2022)
18. И. В. Доманский, В. П. Исаков, Г. М. Островский, А. С. Решанов, В. Н. Соколов. Машины и аппараты химических производств примеры и задачи. Издательство "Химия". Ленинград, 1982, стр. 189-195, 365-373.
19. Е. В. Смирдович. Технология переработки нефти и газа. Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородных газов. 4-е издание, стереотип. - М.:ИД Альянс, 2011, стр. 84-86
20. А. Н. Болдин, Е. А. Резчиков, А. Н. Граблев, Е. А. Осипов. Проектирование литейных цехов. Машины литейного производства: учебное пособие - М.:МГИУ, 2010, стр. 38-40
21. М. А. Танатаров, М. Н. Ахметшина. Технологические расчеты установок переработки нефти, Москва стр. 82

LISA 1 1,2TSK-500 TÖÖSTUSPAIGALDISE TEHNOLOOGILINE SKEEMI 1.OSA



LISA 2 1,2TSK-500 TÖÖSTUSPAIGALDISE TEHNOLOOGILINE SKEEMI 2.OSA



LISA 3 AURU-GAASISEGU JAHUTAMISE SEADME PÕHIMÕTTELINE SKHEEM

