

B.Ý. Atamanow

HIMIÝA TEHNOLOGIÝASYNYŇ PROSESLERI WE APPARATLARY

I tom. Gidromehaniki we ýylylyk prosesleri

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

*Türkmenistanyň Bilim ministrligi
tarapyndan hödürlenildi*

Asgabat
“Ylym” neşirýaty
2015

UOK 378:66

A 80

Atamanow B. Ý.

A80 Himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary.

I tom. Gidromehaniki we ýylylyk prosesleri. *Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby.* – A.: Ylym, 2015. – 228 sah.

Okuw kitabynda himiýa senagatyna degişli bolan himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary, olaryň görnüşleri, häsiýetnamalary, tehnologiýa prosesleriniň usullary we hasaplamalary berilýär.

Bu okuw kitaby ýokary okuw mekdepleriniň inžener-himik, tehnolog hünärlerinde okaýan talyplara, şol ugurda işleýän hünärmenlere, ylmy işgärlere peýdaly bolup biler.

TDKP № 420, 2014

KBK 35.11 ýa 73

© B.Ý. Atamanow, 2015
© “Ylym” neşirýaty, 2015



**TÜRKMENISTANYŇ PREZIDENTI
GURBANGULY BERDIMUHAMEDOW**



TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET TUGRASY



TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET BAÝDAGY

TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET SENASY

Janym gurban saňa, erkana ýurdum,
Mert pederleň ruhy bardyr köňülde.
Bitarap, garaşsyz topragyň nurdur,
Baýdagyň belentdir dünýäň öňünde.

Gaýtalama:

Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

Gardaşdyr tireler, amandyr iller,
Owal-ahyr birdir biziň ganymyz.
Harasatlar almaz, syndyrmaz siller,
Nesiller döş gerip gorar şanymyz.

Gaýtalama:

Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

Türkmenistanyň Prezidenti
Gurbanguly Berdimuhamedow:
– Döwletimiz bu gün ýaşlarymyzyň, hususan-da, talypalaryň halkara derejesinde öz kärine ezber, ussat hünärmenler bolup ýetişmegi üçin ähli aladalary we tagallalary edýär.

GIRIŞ

Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň bilim we ylym ulgamlaryny düýpli özgertmek hem-de kämilleşdirmek baradaky Permanlarynyň, Kararlarynyň durmuşa geçirilmegi ýurdumyzda dünýä ülnülerine laýyk gelýän ökde inžener hünärmenleri taýýarlamaklyga giňden ýol açýar.

Barha ösýän güneşli ýurdumyzyň himiýa senagatyny, nebit we gaz pudagyny, halk hojalygyny, şeýle hem himiýa önümçiliginiň çylşyrymly desgalaryny dolandyrmak üçin inžener-himik hünärine eýe bolan ýaş zehinliler zerur bolup durýar.

Häzirki döwürde himiýa senagatynda tehniki we tehnologiýa ugurlarboýunça hünärmenleri taýýarlaýan ýokary okuw mekdepleriniň birnäçesinde “Himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary” dersinden talyplara sapak berilýär.

“Himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary” dersini öwrenmegiň we özleşdirmegiň esasy maksady tehniki we tehnologiýa ugurlar boýunça ýokary bilim alan hünärmenleriň himiýa senagatynyň dürli pudaklarynda, önümçilikde ulanylýan çylşyrymly apparatlaryň işleýiş düzgünlerine, olaryň shema aýratynlyklaryna düýpli düşünmekligini, bolup geçýän proseslere degişli çylşyrymly meseleleriň dogry we amatly çözgütlerini tapmak üçin himiýa tehnologiýasynyň prosesleriniň we apparatlarynyň düýpli kanunlaryny ulanmak başarnyklaryny üpjün etmekden ybaratdyr.

Himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary ulgamy esasynda öwrenilýän “Himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary” dersinde ýokary bilim alýan her bir talyp himiýa senagatynda önüm öndürmekligi, onuň tehnologiýasyny özleşdirmegi,

önümi ulanmaklygy, olara degişli ähli tehnologiki apparatlary we olaryň gurluşyny, birikdirilişini, işleýşini bilmelidir. Her bir tehnologiki apparatyň peýdaly täsir koeffisiýentini ýokarlandyrmaga degişli usullary gözlemäge ukyply bolup, ýokary derejeli düşüňjä eýe bolmalydyr.

“Himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary” dersinde edil beýleki dersler ýaly bilimiň nazary esaslary berilmelidir. Şonuň üçin bu okuw kitabynda tehnologiki prosesleriň esaslaryna, ýylylyk we gidrawliki hasaplamalara esasy orun berildi. Şeýle hem bu okuw kitaby ýazylanda inžener-tehnolog hünärmenleriň taýýarlanylýandygy göz önünde tutulyp, birnäçe tehnologiki apparatlaryň meselelerine üns berildi. Dürli shemaly tehnologiki ulgamyna, önüm öndüriji, birikdiriji, ýylylyk çalşygy, garyşdyryjy we bugardyjy apparatlara, şeýle hem durmuşda gündelik ýüze çykýan meselelere seredildi. Bu dersi öwrenýän talyplar umumy himiýany, himiki we tehniki termodinamikany, ýylylyk massa çalşygyny, ýylylyk fizikasyny, gidrawlikany öwrenen bolmalydyrlar. Hödürlenýän okuw kitaby boýunça okadylanda göz önünde tutulan umumy, amaly, tejribe okuwlary, ýylylyk taslamalaryň temalary talyplaryň okaýan hünärine laýyklykda saýlanylmalydyr. Geljekki ýaş hünärmenler okadylýan döwründe ylmy gözleglere we inžener-tehnolog çözümlere ukyply, täze tehnikanýň we tehnologiýanyň inçe syrlyny özleşdirmegi başaryan we olary önümçilikde ornaşdyrmagyň tärlerini ýeterlik bilýän derejede taýýarlanylmalýdyr. Okuw kitabyň mazmunynda talyplary ylmy işe ugrukdyrmak, olaryň tehnologiki prosesleriň geçişine has içgin düşünmekleri hem ünsden düşürilmedi.

Himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary amaly ylmlara degişlidir. Onuň ylmy esasy fizika, umumy himiýa, ýylylyk tehnika, gidrawlika bolup durýar. Şonuň üçin “Himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary” dersi öwrenilýän döwründe ýokardaky ady agzalan dersler öwrenilen bolmalydyr.

Bu okuw kitabynda himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary ulgamyndan edilýän talaplar, olaryň klassifikasiýasy, gurluşlary, işleýişleri, hasaplamalary, saýlanyp alnyşy, düzgünleri berilýär.

I BÖLÜM

HIMIYA TEHNOLOGIYASYNYŇ PROSESLERI WE APPARATLARY

1.1. Prosesler we apparatlar

Himiya senagatynda himiki täsir netijesinde materiallary başlangyç görnüşden bütinleý başga görnüşe öwürmäge ýa-da özgertmäge seze-war edýän dürli görnüşli prosesler bolup geçýär. Bu prosesler maddanyň düzüminiň, içki gurluşynyň we agregat ýagdaýynyň üýtgemegi netije-sinde amala aşýar. Himiya tehnologiýasynyň esasy proseslerini himiki reaksiýalar bilen bir hatarda köpsanly fiziki, mehaniki we fiziki-himi-ki prosesler düzýär. Ol proseslere suwuklyklaryň we gaty materiallaryň göçürilmegi, gaty materiallaryň guradylmagy, owradylmagy; gazlaryň gysylmagy we başga ýere ugradylmagy; maddalaryň gyzdrylmagy we sowadylmagy, olaryň garylmagy, dürli jynsly suwuk we gaz garyndyla-ryny özara bölmek, erginleri bugardyp goýaltmak we ş.m. degişlidir.

Şeýlelikde, dürli görnüşli himiki önümleri (kislotalary, aşgarlary, duzlary, mineral dökünleri, boýaglary, polimer we sintetik materiallary, plastmassalary we ş.m.) öndürmegiň tehnologiýasy umumy kanuna-laýyklyk bilen häsiýetlendirilýän, birnäçe birmeňzeş fiziki we fiziki-hi-miki prosesleri öz içine alýar. Bu prosesler dürli önümçiliklerdeki maşyn-laryň we apparatlaryň birmeňzeş iş düzgünlerinde amala aşýar.

Himiki prosesler we apparatlar himiýa tehnologiýasynyň dürli pu-daklary üçin umumydyr. Şonuň üçin ol esasy prosesler we apparatlar diýen umumy ady alýar. Mysal üçin, esasy prosesleriň biri kowma (rek-tifikasiýa) prosesidir. Bu proses suwuk garyndylary bölmek üçin giňden ulanylýar. Ol proses kislorod önümçiliginde suwuk howany bölmek, azot kislotasynyň önümçiliginde suwy we azot kislotasyny bölmek, sintetiki kauçuk önümçiliginde diwinili almak üçin giňden ulanylýar.

Himiya tehnologiýasynyň esasy apparatlarynyň hataryna önüm-çilikde giňden ulanylýan tarelka we nasadka görnüşli kolonnalar degişlidir.

Nasoslar we kompressorlar, filtrler we sentrifugar, ýylylyk çal-şyjylar we guradyjylar hem himiýa önümçiliginiň esasy apparatlary-ny düzýän apparatlaryň we maşynlaryň hataryna degişlidir.

“Himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary” dersi fizikanyň we himiýanyň umumy kanunlaryna esaslanýar. Bu ders, esasan hem, umumy inžener derslerine degişli bolup, himiýa tehnologiýasynyň esasy prosesleriniň nazaryýetini hem-de ol prosesleri geçirmek üçin ulanylýan apparatlaryň, maşynlaryň gurluş, işleýiş düzgünlerini we hasaplama usullaryny öwrenýär.

1.2. Prosesler we apparatlar hakynda ylmyň döreýşi we ösüşi

Himiýa senagaty XVIII asyryň ahylarynda we XIX asyryň başlarynda dörebap başlaýar. Taryhy gysga döwür hasaplanýan 120-150 ýylyň içinde tehnika tarapdan ösen ýurtlaryň halk hojalygynyň esasy we ýörgünli pudaklarynyň birine öwürülýär. Himiýa senagatynyň ösmegi bilen esasy önümçilik prosesleriniň kanunalaýyklygyny özleşdirýän we apparatlaryň amatly görnüşleriniň esasynda hasaplama usullaryny işleýän inženerçilik ylmyna bolan talap ýüze çykýar.

Himiýa önümçiliginiň dürli görnüşinde ulanylýan islendik esasy prosesleriň we apparatlaryň umumylyklary hakynda tekliplere 1828-nji ýylda professor F.A.Denisow tarapyndan aýdylýar. Soňra şeýle teklipler we düzgünler D.I.Mendeleyew tarapyndan ösdürilýär we himiýa tehnologiýasynyň esasy prosesleriniň hususy synplaşdyrylyşy tekliplere edilýär. Bu teklipler XIX asyryň 90-njy ýyllarynyň ahylarynda professor A.K.Krupskiý tarapyndan Peterburgyň tehnologiýa institutynda, birnäçe wagtdan soň professor I.A.Tişenko tarapyndan Moskwanyň Ýokary tehniki uçilişesinde esasy prosesleri we apparatlary hasaplamak we taslamak boýunça öwrenilýän täze okuw dersiniň düýbünü tutýar. A.K.Krupskiýniň “Himiýa tehnologiýasy boýunça taslama hakynda okuwly başlangyç bölümleri” (1909ý.) atly kitaby çap edilýär. Bu kitap himiki apparatlaryň tehnologiýa hasaplamalaryna bagyşlanýar we ol “Prosesler we apparatlar” dersi diýlip atlandyrylýar. Şonuň üçin A.K.Krupskiý we I.A.Tişenko “Prosesler we apparatlar” dersini esaslandyryjylar hasaplanýar.

“Himiýa tehnologiýasynyň prosesleri we apparatlary” dersi 1909-njy ýylda döredilýär we himiýa tehnologiýasynyň nazary esaslarynyň wajyp bölümi bolup durýar.

Apparatlar we maşynlar köp ýagdaýda işçi sredalaryň uly tizliklerinde, ýokary basyşlarynda (~6000 at we ondan-da ýokary), tempe-

raturanyň giň çäginde (takmynan, -200 -den $+1000^{\circ}\text{C}$) we has agras sredalarda işleýärler. Şu sebäpli dürli görnüşli konstruksiýa materiallardan ýasalan, ygtybarly konstruksiýaly apparatlar zerurdyr. Himiki apparatlary hem awtomatiki işletmek we aralykdan dolandyrmak zerurdyr. Şonuň üçin prosesler we apparatlar hakyndaky ylmyň gazananlaryny önümçilige ornaşdyrmak üçin himiýa senagatynyň maşyn gurluşygyny ösdürmek wajyp hasaplanýar.

1.3. Esasy prosesleriň toparlara bölünişi

Prosesleriň geçiş tizligini kesgitleýän esasy kanunlara görä, himiýa tehnologiýasynyň esasy prosesleri birnäçe toparlara bölünýär.

1. **Gidromehaniki prosesi** gidrodinamikanyň, ýagny suwuklyklaryň we gazlaryň hereketi baradaky ylmy kanunlar bilen şertlendirilýär. Olara suwuklyklaryň we gazlaryň göçürilmegi; gazlaryň gysylmagy; dürli jynsly suwuk we gaz garyndylarynyň agyrylyk güýjüniň täsiri astynda çökdürilip durlanylmagy; merkezden daşlaşýan güýçleriň täsirinde dürli jynsly ulgamlaryň bölünip aýrylmagy (sentrifugirleme), şeýle hem basyşlaryň tapawudynyň täsirinde öýjükli gatlakdan (diwardan) geçende süzülme (filtrlemek) arkaly bölünmegi; suwuklyklaryň garyşdyrylmagy, gazlaryň çyglyndyrylyp we elektrik meýdanynynda arassalanmagy degişlidir.

2. **Ýylylyk prosesi** ýylylygyň ýaýramagynyň usullary hakyndaky ylym bolan ýylylyk geçirmegiň kanunlary esasynda kesgitlenýän prosesdir. Şeýle proseslere gyzdymak; sowatmak; bugartmak we buglary kondensirmek prosesleri degişlidir.

Ýylylyk prosesiniň tizligi köp derejede sredalaryň özara ýylylyk çalyşma hadysasynyň gidrodinamiki şertlerine (tizligine, akyş kadasy-na, basyşyna, temperaturasy-na) baglydyr.

3. **Massa çalyşma (diffuziýa) prosesi** başlangyç ýagdaýdaky garyndynyň bir ýa-da birnäçe komponentiniň bir fazadan başga bir faza fazalaryň bölünýän üsti arkaly geçmegi bilen häsiýetlendirilýän prosesdir. Massa çalyşma prosesi beýleki proseslere garanynda iň haýal geçýän prosesdir. Şonuň üçin hem, adaty, häsiýetlendiriji basgançak bolup, paýlanylýan maddanyň molekulýar diffuziýasy hyzmat edýär. Massa çalyşmanyň kanunlary bilen teswirlenýän prosesleriň toparyna: absorbsiýa; kowmak (rektifikasiýa); erginlerden ekstragirläp almak;

eremek; öýjükli gaty jisimlerden ekstragirläp almak; kristallaşdyrmak; adsorbsiýa; guratmak we membrana prosesi degişlidir.

Massa çalyşma prosesiniň geçmegi fazalardaky we olaryň bölünmek araçägindäki gidrodinamiki şertlere, has hem massa çalyşma bilen, köplenç, ugurdaş bolup geçýän ýylylyk prosesi bilen özara baglanyşyklydyr.

4. Himiki proses himiki kinetikanyň kanunlary tarapyndan kesgitlenýän tizlikde amala aşýan prosesdir. Bu prosesde himiki reaksiýalara energiýanyň we massanyň geçişi, adatça, ugurdaş bolýar we degişlilikde himiki (esasan hem, senagatdaky) prosesleriň tizligi gidrodinamiki şertlere bagly bolýar. Şonuň üçin hem himiki reaksiýalaryň tizligi makrokinetikanyň kanunlaryna boýun egýär we yzygiderli geçýän özara himiki täsiriň hem-de diffuziýanyň in haýal prosesi bilen kesgitlenýär.

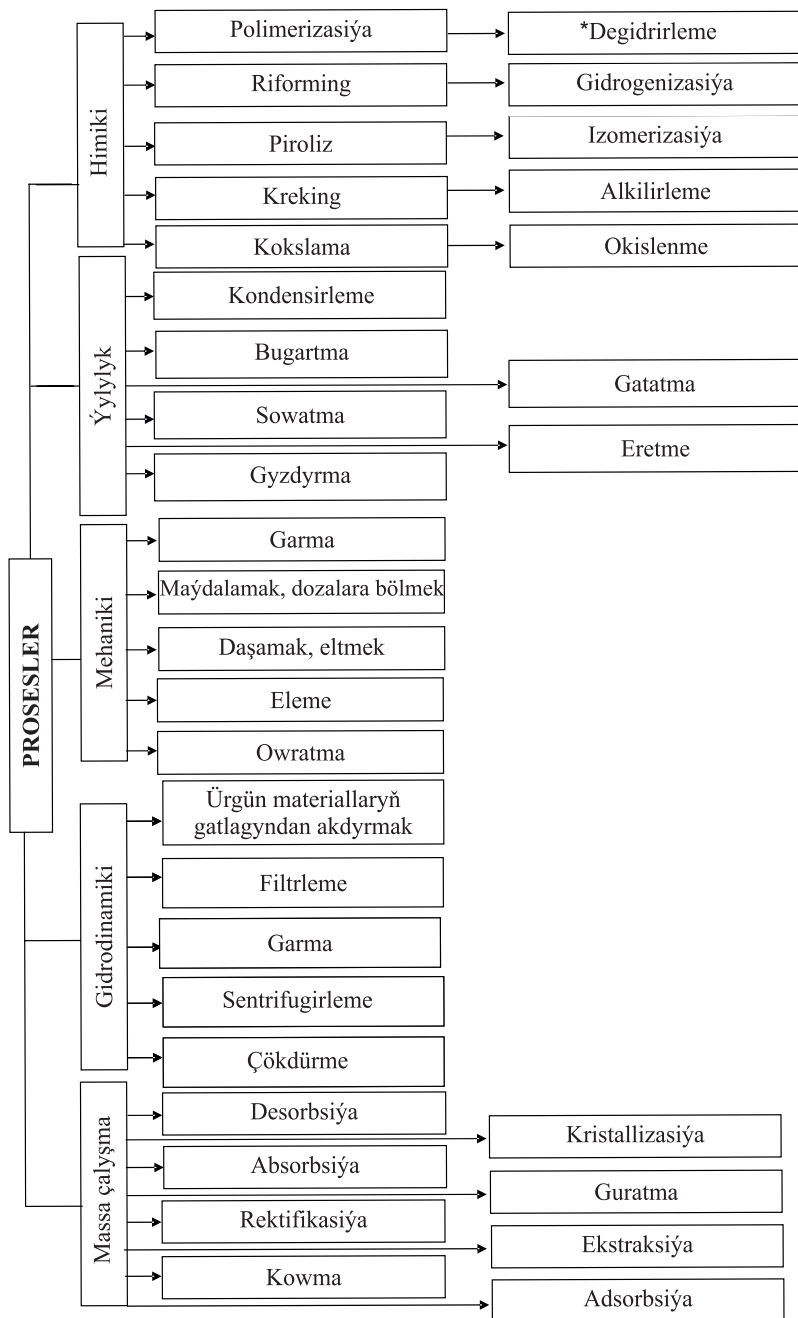
Himiki prosesiň geçişiniň kanunalaýyklyklary we reaktorlaryň gurluş hem-de işleýiş düzgünleri ýörite edebiýatlarda berilýär.

5. Mehaniki proses gaty jisimiň mehanikasynyň kanunlary arkaly teswirlenýän prosesdir. Bu proses, esasan, başlangyç ýagdaýdaky gaty materiallaryň we alynýan gaty önümleriň üstünde gaýtadan işlemekde, şeýle hem bitin we owradylan ürgün görnüşdäki materiallary göçürmek üçin ulanylýar.

Mehaniki prosese gaty jisimleriň owradylmagy, göçürilmegi, elenilip saýlanyp bölünmegi we garyşdyrylmagy girýär.

Himiki önümlerden taýýar haryt önümleri almak üçin gysma (pre-sleme), galyba guýma, gysyp deşikden çykaryp şekil bermek (ekstruziýa) we beýleki usullar arkaly gaýtadan işlenilmegi mehaniki prosesiň aýratyn toparyny düzýär. Bu prosesler we olary geçirmek üçin ulanylýan maşynlardyr apparatlar ýörite sintetiki materiallary öndürmekde ulanylýar we ýörite derslerde öwrenilýär.

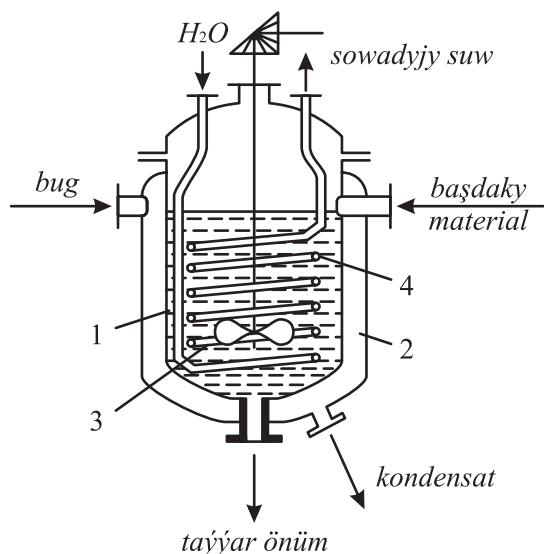
Himiýa senagatynyň köp tehnologiýa prosesleri suwuklyklaryň, gazlaryň ýa-da buglaryň hereketleriniň görnüşine bagly bolup durýar. Şeýle hem suwuklyklary garmak, dürli görnüşli garyndylary çökdürmek, filtrlemek we sentrifugirlmek prosesleriniň kömegi bilen bölmeklik ýaly usullaryna hem baglydyr. Ýokarda görkezilen fiziki prosesleriň tizligi gidromehanikanyň kanuny bilen kesgitlenýär. Şonuň üçin bu proseslere gidromehaniki prosesler hem diýilýär. Himiýa tehnologiýasynyň esasy prosesleriniň toparlara bölünmesiniň shemasy 1.1-nji suratda görkezilýär.



1.1-nji surat. Himiýa tehnologiýasynyň esasy prosesleriniň toparlara bölünmesiniň shemasy
Bellik: * Organiki birleşmelerde wodorody aýyrmagyň reaksiýasy.

Himiýa tehnologiýasynyň esasy prosesleri tehniki-guramaçylyk usullary boýunça üznükli (periodiki) we üznüksiz proseslere bölünýär.

Üznükli proses bolup geçýän himiki prosesiň ähli etaplarynyň bir ýerde (bir apparatda), emma dürli wagtda bolup geçýändigini bilen häsiýetlendirilýär. Üznükli prosesde apparatlar wagtyň belli bir kesgitli pursatynda başlangyç material bilen doldurylýar. Başlangyç material işlenenden soň apparatlar ahyrky alnan önümden boşadylýar. Apparaty boşatmak we täzeden doldurmak tamamlanandan soň proses täzeden gaýtalanýar. Üznükli proses boýunça işleýän apparatyň shemasy 1.2-nji suratda görkezilýär.

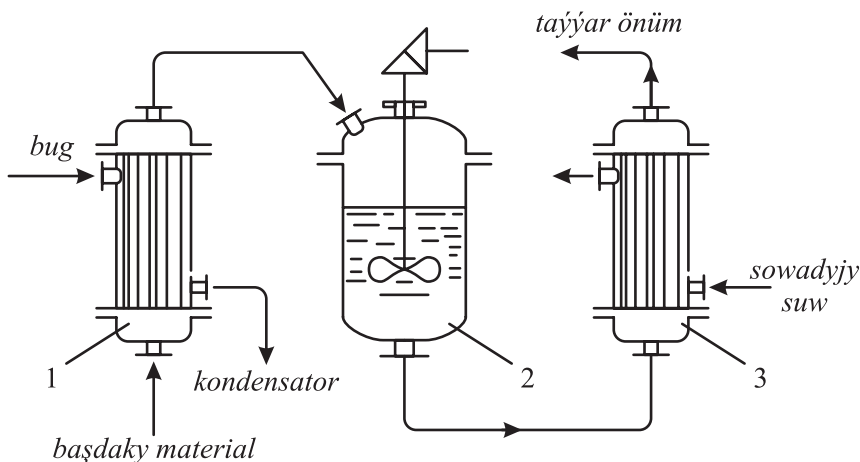


1.2-nji surat. Üznükli proses boýunça işleýän apparatyň shemasy:

1 – korpus; 2 – bug köýnegi; 3 – garyşdyryjy gural;
4 – öwrüm-öwrüm turbajyk (zmeýewik)

Üznüksiz prosesler akymly apparatlarda amala aşyrylýar. Başlangyç materiallaryň apparata berilmegi we ahyrky önümiň ondan aýrylmagy bir wagtda we üznüksiz amala aşyrylýar. Şeýlelikde, üznüksiz proses özüniň hemme etaplarynyň bir wagtda bolup geçýändigini hem-de bir apparatyň dürli böleklerinde ýa-da edil şonuň ýaly şol desgany düzýän dürli apparatlarda amala

aşýandygy bilen häsiýetlendirilýär. Üznüksiz proses boýunça işleýän desganyň takmynan (prinsipial) shemasy 1.3-nji suratda görkezilýär. Üznüksiz prosesler üznükli prosesler bilen deňeşdirilende birnäçe artykmaçlyklara eýedir. Şol artykmaçlyklaryň hasabyna apparatlaryň öndürilijiligi ýokarlanýar, işçi gullukçylara bolan talap azalýar, zähmetiň şerti gowulanýar we önümiň hili ýokarlanýar.



1.3-nji surat. Üznüksiz proses boýunça işleýän desganyň takmynan (prinsipial) shemasy:

1 – ýylylyk çalyşma apparaty; 2 – garyjy gurally apparat;
3 – ýylylyk çalyşma-sowadyjy

Himiýa tehnologiýasynda kombinirlenen prosesleriň barlygy hem bellidir. Kombinirlenen proseslere käbir etaplary üznükli proses boýunça işleýän üznüksiz prosesler ýa-da bolmasa bir ýa-da birnäçe etaplary üznüksiz proses boýunça işleýän üznükli prosesler deňşlidir.

Himiki tehnologiki prosesleriň parametrleriniň (tizliginiň, temperaturasynyň, konsentrasiýasynyň we ş.m.) wagta görä üýtgemegine baglylykda durnukly (*stasionar*) we durnuksyz (*stasionar däl ýa-da geçiş*) kada diýlip iki topara bölünýär.

Eger-de prosesiniň parametrleri wagta görä üýtgemän hemişelik saklansa, onda ol proses durnukly kada deňşlidir. Eger-de prosesiniň parametrleri wagta görä üýtgeýän bolsa, onda ol durnuksyz kada deňşlidir.

1.4. Prosesleriň we apparatlaryň hasaplamalary

Prosesleriň we apparatlaryň hasaplamalary, adaty, aşakdaky esasy maksatlar: a) ulgamyň çäklendiriji ýagdaýyny ýa-da deňagramlylyk şertini kesgitlemek; b) başlangyç materialyň sarp edilişini we alynýan önümiň mukdaryny, şeýle hem gerek energiýa (ýylylyk) mukdaryny we ýylylyk äkidijileriň sarp edilişini hasaplamak; c) apparatlaryň amatly iş kadasyny we özüne gerek işçi üstlerini ýa-da işçi göwrümlerini kesgitlemek; d) apparatlaryň esasy ölçeglerini hasaplamak üçin ýerine ýetirilýär.

Görkezilen meseleler esasy hasaplamalaryň yzygiderliligini we mazmunyny düzýär. Başlangyç etap prosesiniň statikasyny seljeriş we hasaplamak ýa-da deňagramlylyk hakynda maglumatlara garamak meselesi bolup durýar. Onuň esasynda bolsa prosesi amala aşyrmagyň usuly we çäk mümkinçilikleri kesgitlenýär. Bu maglumatlardan peýdalanylýp, prosesiniň ululyklarynyň çäklendiriji bahalary tapylýar. Ondan soňra massanyň we energiýanyň saklanmak kanunlary esasynda maddy (material) we energetiki balansy düzülýär. Ondan soňky etap prosesiniň kinetiki hasaplamalary bolup, ol prosesiniň tizligini kesgitleýär. Apparatyň saýlanyp alnan amatly iş kadasy üçin ondaky tizlik we hereket edýän güýç hakyndaky maglumatlar boýunça apparatyň işçi üsti ýa-da göwrümi kesgitlenilýär. Apparatyň üstüni ýa-da göwrümini anyklap, onuň esasy ölçegleri kesgitlenýär.

Maddy (material) balans. Massanyň saklanmak kanuny boýunça prosesiniň başynda berilýän maddalaryň massasy $\sum G_{baş}$ geçýän prosesiniň netijesinde alynýan ahyrky maddalaryň massasyna $\sum G_{ahyr}$ hökman deň bolmalydyr (ýitgi hasaba alynmasa). Onda himiki tehnologiýa prosesi üçin *maddy* balansyň deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$\sum G_{baş} = \sum G_{ahyr}. \quad (1.1)$$

Emma tejribe şertlerinde proses geçende maddalaryň yzyna gaýtaryp bolmajak ýitgileri $\sum G_{ýit}$ bolup geçýär. Şonuň üçin maddy balansyň umumy aňlatmasy aşakdaky ýaly ýazylar:

$$\sum G_{baş} = \sum G_{ahyr} + \sum G_{ýit}, \quad (1.2)$$

bu ýerde:

$\sum G_{baş}$ – prosesiniň başynda berilýän maddalaryň mukdarynyň jemi;

$\sum G_{ahyr}$ – prosesiniň ahyrynda alynýan önümleriň mukdarynyň jemi.

$\sum G_{ýt}$ – maddalaryň yzyna gaýtaryp bolmajak ýitgileriniň mukdarynyň jemi.

Maddy balans düzülende doly proses üçin ýa-da prosesiniň aýratyn tapgyry üçin düzülýär. Şonuň ýaly-da balans ähli ulgam ýa-da ulgamyň düzümine girýän bölekler üçin ýeke-ýekeden düzülip bilner. Şeýlelikde, guratmak prosesi üçin maddy balans düzülende guratmaga berilýän ähli çygly materiallar boýunça düzülişi ýaly, çygly materiallaryň her bir bölegi boýunça aýratyn hem düzülip bilner. Balans wagt birliginde, meselem, 1 sagatda, gije-gündizde (ýa-da periodiki prosesiniň bir tapgyrynda) ýa-da berilýän materialyň ýa-da alynýan ahyrky önümiň massa birliginiň hasabynda düzülýär.

Maddy balansyň esasynda önümiň göterimde aňladylýan çykyşy kesgitlenilýär. Önümiň çykyşy diýlip önümiň alnan mukdarynyň (massasynyň) nazary mümkin bolan alynmaly maksimal mukdaryna bolan gatnaşygynyň göterimde aňladylmagyna düşünilýär.

Energetiki balans. Bu balans energiýanyň saklanmak kanuny esasynda düzülýär. Energiýanyň saklanmak kanunyna laýyklykda prosese berilýän energiýanyň mukdary bölünip çykýan energiýanyň mukdaryna deňdir. Diýmek, berilýän energiýa sarp edilýän energiýa deňdir. Himiki proseslerde bolup geçýän reaksiýalarda ýylylyk täsiri örän uly baha eýe bolup biler.

Ýylylyk balansy energetiki balansyň bir bölegi bolup durýar we ol umumy görnüşde aşakdaky ýaly deňlemede aňladylýar:

$$\sum Q_{baş} = \sum Q_{ahyr} + Q_{ýt}, \quad (1.3)$$

bu ýerde $\sum Q_{baş}$ – prosesiniň başynda berilýän ýylylyk mukdarynyň jemi.

$$\sum Q_{baş} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (1.4)$$

bu ýerde:

Q_1 – apparata berilýän maddalar bilen berilýän ýylylyk;

Q_2 – apparatyň daşyndan, mysal üçin, apparaty gyzdyrýan ýylylyk äkidiji bilen berilýän ýylylyk;

Q_3 – maddalaryň fiziki ýa-da himiki özgermelerinde ýylylyk çykması (effekti), (eger prosesň dowamynda ýylylyk sňýän bolsa, onda bu agza otirisatel belgi bilen girýär);

$\sum Q_{ahyr}$ – prosesň soňunda ahyrky önüm hem-de ýylylyk äkidiji bilen (meselem, sowadyjy agent bilen) apparatdan çykýan ýylylyklaryň jemi;

$Q_{ýitgi}$ – apparatdan daşky gurşawa ýitýän ýylylyk.

Energetiki balansda ýylylykdan başga berilýän we sarp edilýän beýleki energiýalaryň ähli görnüşleri, mysal üçin, suwuklyklary herekete getirmek ýa-da gazlary gysmak we akdyrmak üçin mehaniki energiýanyň harçlanylyşy hasaba alynýar.

Ýylylyk balansy esasynda sarp ediljek suw bugunyň, suwuň we beýleki ýylylyk äkidijileriň mukdary, energetiki balansyň maglumatlary boýunça bolsa prosesň amala aşmagy üçin sarp ediljek umumy energiýanyň mukdary kesgitlenilýär.

Prosesleriň we apparatlaryň işjeňligi (intensiwligi). Himiýa tehnologiýalarynyň prosesleriniň derňewleri we hasaplamlary üçin maddy we energetiki balanslaryň maglumatlaryndan başga prosesleriň we apparatlaryň işjeňligini kesgitlemek zerur hasaplanýar.

Ýokarda görkezilen esasy prosesleriň ählisi (gidrodinamiki, ýylylyk, massa çalyşma we ş.m.) diňe käbir hereketlenýän güýjüň täsiri netijesinde geçip biler. Hereketlenýän güýç gidrodinamiki proses üçin basyşlaryň aratapawudy, ýylylyk çalyşma prosesi üçin temperaturalaryň aratapawudy, massa çalyşma prosesi üçin maddalaryň konsentrasiýasynyň aratapawudy we ş.m. bilen kesgitlenilýär. Dürli görnüşli prosesler üçin hereketlenýän güýjüň aňladylyşy şu derse degişli ýörite baplarda seredilýär.

Prosesiň netijesi prosesň işjeňligine degişli bolan hereketlenýän güýje (Δ arkaly umumy görnüşde belgilenýän), τ wagta we käbir A ululyklara proporsional bolan işlenýän maddanyň M massasy ýa-da berlen ýylylygyň mukdary bilen häsiýetlendirilýär. Şeýle ululyklara özünde energiýalaryň ýa-da massalaryň akymy bolup geçýän işçi üst, prosesň amala aşýan işçi göwrümi we ş.m. degişli bolup biler. Şeý-

lelikde, islendik prosesin deňlemesi aşakdaky ýaly umumy görnüşde aňladylyp bilner:

$$M = KA\tau\Delta. \quad (1.5)$$

Deňlemedäki K proporsionallyk koeffisiýenti bolup, prosesin tizligini häsiýetlendirýär we kinetiki koeffisiýenti ýa-da prosesin tizlik koeffisiýenti bolup durýar (ýylylyk alyp-beriş koeffisiýenti, massa alyp-beriş koeffisiýenti we ş.m.). K koeffisiýenti (1.5) deňlemäniň sag bölegine girýän ululyklarynyň hasaba almaýan ähli faktorlarynyň täsirini öz içine alýar.

Prosesin işjeňligi diýlip prosesin netijesiniň wagt birligine we A ululygynyň birligine bolan gatnaşygyna ýa-da başgaça $M/A\tau$ ululyga düşünilýär. Şeýlelikde, (1.5) deňlemäni aşakdaky ýaly ýazmak bolar:

$$\frac{M}{A\tau} = K\Delta. \quad (1.6)$$

Değişlilikde K ululyga prosesin işjeňliginiň ölçegi – işjeňligiň hereketlenýän güýjüň birligine bolan gatnaşygy ýaly garamak bolar.

Prosesin işjeňligi hemişe hereketlenýän güýje Δ proporsionaldyr we kinetiki koeffisiýente ters ululyk bolan R garşylyga ters proporsionaldyr (gidrawliki garşylyk, termiki garşylyk, massa çalyşma garşylyk we ş.m.). Şeýlelikde, (1.5) deňlemäni aşakdaky görnüşde hem ýazmak bolar:

$$M = \frac{A\tau\Delta}{R}. \quad (1.7)$$

Deňlemä girýän beýleki ululyklaryň belli bahalary boýunça aparatyň zerur işçi göwrümini ýa-da işçi üstüni (1.5) ýa-da (1.7) deňlemeden tapyp bolýar.

Prosesin işjeňliginden başga *apparatyň göwrümleýin işjeňligi* diýlen düşünje hem bar. Prosesin işjeňliginiň aparatyň umumy göwrüminiň birligine bolan gatnaşygyna *apparatyň göwrümleýin işjeňligi* diýlip düşünilýär. Göwrümleýin işjeňligiň ulalmagy bilen aparatyň ölçegleri kiçelýär we ony taýýarlamaga sarp edilýän materiallaryň çykdajysy azalýar.

Apparatyň esasy ölçegleriniň kesgitlenilişi. Üznüksiz işleýän apparatyň esasy ölçegleri (1.5) deňlemenden peýdalanylyp kesgitlenilýär. Eger wagt birliginde apparatyň üstünden akyp geçýän sredanyň göwrümi Q we tizligi w belli bolsa, onda apparatyň kese kesiginiň S meýdany aşakdaky gatnaşykdan tapylýar:

$$S = \frac{Q}{w}. \quad (1.8)$$

Apparatyň esasy ölçeglerinden biri S ululyk boýunça kesgitlenýär, meselem, silindr görnüşli apparat üçin onuň D diametri kesgitlenýär.

Apparatyň beýleki esasy ölçegleriniň biri onuň işçi beýikligi (ýa-da uzynlygy) H hasaplanýar. Apparatta prosesi amala aşyrmak üçin zerur bolan işçi göwrümi (eger $A = V$) ýa-da onuň üstüni F (1.5) deňlemenden tapyp bolýar. Apparatyň F üstüni bilip we $F = aV$ baglanyşykdan peýdalanyň (bu ýerde a – udel üst, ýagny apparatyň göwrüm birligine düşýän üst), apparatyň işçi göwrümi hasaplanýar. V ululygyň bahasy boýunça $V = SH$ gatnaşygy peýdalanyň, apparatyň H beýikligi kesgitlenýär. Üznükli prosesde hereket edýän apparatyň işçi göwrümi V berlen önümçiligiň önümi (meselem, Q m³/sek) we prosesiň doly aýlaw dowamlylygy τ sek bilen kesgitlenilýär:

$$V = Q\tau. \quad (1.9)$$

Alnan maglumatlar boýunça apparatyň esasy ölçegleri: göwrümi (sygymy), kese kesiginiň meýdany, gyzdıryjy üst meýdany, fazalaryň galtaşma üst meýdany we ş.m. kesgitlenilýär. Esasy ölçegleri kesgitlemek üçin aşakdaky umumy aňlatmany hem peýdalanyň bolar:

$$A = \frac{M}{\Delta K}, \quad (1.10)$$

bu ýerde: A – apparatyň esasy ölçegleri; M – wagt aralygynda işlenýän maddanyň massasy; Δ – prosesiň hereketlenýän güýji; K – prosesiň tizlik koeffisiýenti.

1.5. Fiziki ululyklaryň ölçeg birlik ulgamlary

Tehniki hasaplamalaryň netijesinde alynýan ululyklaryň san bahalary ölçeg birlikleriň saýlanyp alynmagyna baglydyr. Şonuň üçin hasaplanylýan formulalaryň we deňlemeleriň düzümine girýän ululyklaryň ölçeg birliklerini dogry kabul etmek zerurdyr. Ululyklary aňlatmak üçin beýleki ölçeg birliklere bagly bolmaýan *esasy* we birnäçe ölçeg birliklere bagly bolup, olaryň önümlerinden düzülýän *dürli* ölçeg birlikleriň ulgamy ulanylýar. Birlikleriň önümleri esasy birlikleriň üsti bilen aňladylýar. Bu birliklerden başga-da, käbir hasaplama işleri geçirilende ulgamdan *daşary* ölçeg birliklerini ulanmak hem zerur bolýar.

Birlikleriň dürli ulgamyny, şeýle hem ulgamdan daşary ölçeg birliklerini ulanmaklyk hasaplamalary çylşyrymlaşdyrýar we tehnologiýa hasaplamalarda düýpli ýalňyşlyklara sebäp bolýar.

Döwlet ülnülerine (standartyna) laýyklykda, biziň ýurdumyzda birlikleriň Halkara ulgamy (SI) kabul edilen. Birlikleriň ýeke-täk we köpugurly SI ulgamyna geçilmegi ölçegleriň birmeňzeşligini üpjün edýär, takyklygyny ýokarlandyrýar, şeýle hem käbir formulalary ýönekeýleşdirýär.

Prosesleriň we apparatlaryň hasaplamalarynda esasy ölçeg birliklerinden dört ölçeg birligi: metr (m), kilogram (kg), sekunt (sek) we gradus Kelwin (K) ulanylýar. Ilkinji üç birliklerden peýdalanylýan mehaniki birlikleriň önümleriniň ählisi, gradus Kelwin (K) esasynda bolsa ýylylyga degişli ölçegler üçin birlik önümleri emele gelýär.

Birlikleriň Halkara (SI) ulgamy häzirki wagta çenli ulanylýan beýleki ulgamlaryň (SGS, MKGSS we ş.m.) birlikleriniň, islendik ulgamdan daşary ölçeg birlikleriniň (litr, atmosfera, kaloriýa, at güýji we ş.m.) we ölçegleriň önümlerinden emele gelen birlikleriň (meselem, kkal/sag), şeýle hem beýleki birlikleriň hasaplamalarynda çalşylmana ýakyn hasaplanylýar.

Prosesleriň we apparatlaryň hasaplamalarynda esasy ölçeg birlikleri metr (m), kilogram-güýç (kgg) we sekunt (sek) bolan MKGSS ulgamy soňky wagtlara çenli giňden ulanylýar. Hasaplamalarda köp ulanylýan ululyklaryň ölçeg birlik ulgamlarynyň käbiriniň ölçeg birligi we SI birligine geçmek üçin köpeldijileri 1.1-nji tablisada berilýär.

Ululyklaryň ölçeg birlik ulgamlary, birlikleri we SI birligine geçmek üçin köpeldijileri

| Hasaplanýan ululyk | Birlik ulgamy | Ölçeg birligi | SI birligine geçmek üçin köpeldiji |
|--------------------|---------------------------------|--|---|
| Uzynlyk | SI MKGSS SGS | metr (m) metr (m) santimetr (sm) | 10^{-2} |
| Massa | SI MKGSS SGS | kilogram (kg) massanyň tehniki birligi (m.t.b.) kgf·sek ² /m gram (g) | 9,81 10^{-3} |
| Güýç | SI MKGSS SG | ňýuton (n) kilogram-güýç (kgf) dina (din) | — 9,81 10^{-5} |
| Basyş | SI MKGSS SG | metr kwadrata nyuton (n/m ²)metr kwadrata kilogram-güýç (kgf/m ²) santimetr kwadrata dina (din/sm ²) | — 9,81 10^{-1} |
| | Ulgamdan daşary birlikler | bar (bar) tehniki atmosfera (at, 1 kgf/sm ²) suw sütünde millimetr (suw.süt. mm.) simap sütünde millimetr (sim.süt.mm.) | 10^{-5} $9,81 \cdot 10^4$ 9,81 133,3 |
| Iş, energiýa | SI MKGSS SG | joul (j) metrde kilogram-güýç (kgf·m) erg (erg) | — 9,81 10^{-7} |
| | Ulgamdan daşary birlikler | wat-sag (wt·s) kilowat-sag (kwt·s) at güýç-sag (a.g.s.) | 3600 $3,6 \cdot 10^6$ $2,65 \cdot 10^6$ |
| Kuwwat | SI MKGSS SG | Watt (Wt) sekuntda metre kilogram-güýç (kgg·m/sek) sekuntda erg (erg/sek) | — 9,81 10^{-7} |
| Ýylylyk | SI Ulgamdan daşary birlikler | joul (j) kilokaloriýa (kkal) | — 4190 |

1.1-nji tablisada MKGSS, SGS ölçegler ulgamynyň birliklerini we ulgamdan daşary birlikleri SI ulgamynyň deňişli birliklerine getirmek üçin öwrüji köpeldijileriň bahalary görkezilýär (meselem, 1 sm = 10^{-2} m ýa-da 1 kgf = 9,81 n).

II BÖLÜM

HIMIYA TEHNOLOGIÝASYNDA GIDRAWLIKA

Himiya senagatynyň köp tehnologiýa prosesi suwuklyklaryň, gazlaryň ýa-da buglaryň hereketlenmegi, suwuk sredada garyşmagy, şeýle hem dürli jynsly garyndylaryň durlanmak, filtrlenmek we sentrifugirlenmek arkaly bölünmegi bilen baglanyşykda amala aşýar. Görkezilen ähli fiziki prosesleriň tizligi gidromehanikanyň kanunlary esasynda kesgitleýär. Şonuň üçin şeýle proseslere gidromehaniki prosesler diýilýär.

Gidromehanikanyň kanunlary we onuň amaly goşmaçalary *gidrostatika* we *gidrodinamika* diýlen iki bölümden ybarat bolan gidrawlika dersinde öwrenilýär. Hidrostatika suwuklyklaryň dynçlyk ýagdaýyndaky deňagramlylyk kanunlaryny öwrenýän ylymdyr, emma gidrodinamika suwuklyklaryň we gazlaryň hereket kanunlaryna seredýän ylymdyr. Gidrawlikanyň kanunlary gidromehanikanyň kanunlary esasynda alynýar. Şol sebäpli himik-inžener üçin gidrawlikany öwrenmegiň aňyrsy gutarmaýar. Gidrodinamikanyň kanunalaýyklyklary senagat apparatlarynda ýylylyk alyp-beriş, massa alyp-beriş prosesleriň we himiki reaksiýalaryň prosesleriniň geçiş häsiýetini, köplenç, ýokary derejede kesgitleýär.

2.1. Esasy kesgitlemeler

Gidrawlikada suwuklyklaryň, gazlaryň we buglaryň hemmesine suwuklyk diýlip bir at bilen atlandyrmak kabul edilendir. Munuň özi suwuklyklaryň we gazlaryň (buglaryň) hereket tizlikleri sesin tizliginden has pes bolanda, olaryň hereket kanunlary amaly taýdan birmeňzeşligi üçindir. Şonuň üçin suwuklyk diýlip has kiçi hereket etdiriji güýç täsir edende akyjylyk häsiýete eýe bolýan ähli maddalara aýdylýar. Suwuklyklaryň deňagramlylygynyň we hereketiniň umumy kanunlary, adaty, suwuklygy edil bir jynsly bitewi sreda ýaly kabul etmek esasynda alynýan differensial deňlemeler görnüşde aňladylýar.

Gidrawlikanyň esasy kanunalaýyklyklary kabul edilende gipotetiki ideal suwuklyklar diýlen düşünje girizilýär. Ideal suwuklyklaryň real (şepbeşik) suwuklyklardan tapawudy basyşyň täsiri astynda olaryň göwrümi hiç hili gysylmaýar, temperaturasynyň üýtgäni bilen dykzlygy üýtgemeyär we şepbeşiklik bolmaýar.

Real suwuklyklar damja we maýyşgak (gaz ýa-da bug) diýlip iki görnüşe bölünýär. Damja suwuklyklar hakykatda gysylmaýarlar we olar örän kiçi giňelme koeffisiýentine eýe bolýar. Maýyşgak suwuklyklaryň temperaturasy we basyşy üýtgände olaryň göwrümi güýçli üýtgeýär.

2.2. Suwuklyklaryň käbir fiziki häsiýetleri

Geliň, dynçlyk ýagdaýyndaky ýa-da hereket edýän suwuklykda bolup geýän himiki tehnologiýa prosesleriň hasaplamalarynda ulanylýan ululyklara we suwuklyklaryň käbir fiziki häsiýetlerine seredeliň.

Dykzlyk we *udel* agram. Suwuklygyň göwrüm birligindäki massasya dykzlyk diýilýär we ρ arkaly belgilenýär:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2.1)$$

bu ýerde: m – suwuklygyň massasy, kg; V – suwuklygyň göwrümi, m^3 . Dykzlyk SI ölçeg birlik ulgamynda kg/m^3 -de ölçenilýär.

Suwuklygyň göwrüm birligindäki agramyna udel agram diýilýär we γ arkaly belgilenýär, ýagny:

$$\gamma = \frac{G}{V}, \quad (2.2)$$

bu ýerde: G – suwuklygyň agramy, n; V – suwuklygyň göwrümi, m^3 . Udel agram SI ölçeg birlik ulgamynda n/m^3 -de ölçenilýär.

Massa we agram aşakdaky gatnaşyk ýaly özara baglanyşykda bolýar:

$$m = \frac{G}{g}, \quad (2.3)$$

bu ýerde $g = 9,81 \text{ m/sek}^2$ – erkin gaçmagyň tizlenmesi, m/sek^2 .

Deňlemeden m massanyň bahasyny (2.1) baglanyşyga goýup we (2.2.) deňlemäni göz önünde tutup, udel agram bilen dykzlygyň özara gatnaşygyny alarys:

$$\gamma = \rho \cdot g. \quad (2.4)$$

Damja suwuklyklaryň dykzlygy we udel agramy maýyşgak suwuklyklaryň (gazlaryň) degişli häsiýetnamalaryna garanyňda has ýokary bolýar hem-de basyşyň täsirinde ýa-da temperatura üýtgände olaryň dykzlygy we udel agramy maýyşgak suwuklyklara garanyňda az üýtgeýär. Gazlaryň dykzlygy takyklygyň uly ýa-da kiçi derejesinde ideal gazlar üçin hal ýagdaý deňlemesi esasynda hasaplanyp bilner:

$$pV = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T, \quad (2.5)$$

bu ýerde: p – gazyň basyşy, n/m^2 ; T – gazyň temperaturasy, K; M – 1 kmol gazyň massasy, kg/kmol ; R – uniwersal gaz hemişeligi, $R = 8314 \text{ j (kmol} \cdot \text{grad)}$.

Real gazlaryň dykzlygynyň deňlemesi (2.5) deňlemeden gelip çykýar:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p \cdot M}{R \cdot T}. \quad (2.6)$$

Gazyň massa birliginiň eýeleýän göwrümüne ýa-da dykzlygyna ters bolan ululyga gazyň udel göwrümi diýilýär we v arkaly belgilenýär:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} = \frac{R \cdot T}{p \cdot M}. \quad (2.7)$$

Basyş. Suwuklyk öz ýerleşýän gabynyň düýbüne we diwarlaryna hem-de özünde ýerleşýän islendik jisimiň üstüne basyş edýär. Dynçlykda duran suwuk göwrümiň içinde ýerleşen käbir ΔF ujypsyzja meýdança seredeliň. Suwuk göwrümiň berlen nokadynda meýdançanyň ýerleşiş ýagdaýyna garamazdan suwuklyk ol meýdança

käbir p güýç bilen basar we ol güýjüň ugry täsir edilýän meýdança geçirilen normal boýunça ugrukdyrylan bolýar. Şol güýje gidrostatiki basyş güýji diýilýär. Ululyklaryň p/F gatnaşygy ortaça gidrostatik basyş bolýar, bu gatnaşyklaryň F -iň nola ymtylýan çägindäki bahasy nokatdaky gidrostatiki basyş ýa-da ýöne basyş diýlen ady göterýär:

$$p = \lim_{F \rightarrow 0} \left(\frac{p}{F} \right). \quad (2.8)$$

Deňagramlylykda duran suwuklygyň islendik nokadyndaky basyş ähli ugurlar boýunça birmeňzeş bolýar, eger nokatlardaky basyş ugurlary boýunça birmeňzeş bolmasa, onda suwuklygyň tutýan göwrüminiň içinde suwuklygyň süýşme hereketi bolardy.

Basyşyň kesgitlemesine laýyklykda onuň ölçeg birligi SI (Hühalkara ulgamy) birliginde n/m^2 , MKGSS birliginde bolsa kgf/m^2 bilen aňladylýar.

Hasaplamalarda basyşy köphalatda fiziki we tehnik atmosferalarda ýa-da manometrik suwuklygyň (suwuň, simabyň we başgalar) sütüniniň beýikliginiň birligi H ýaly hem aňladylýar.

Suwuklyk sütüniniň beýiklik birliginde aňladylan basyş bilen n/m^2 -da (ýa-da kgf/m^2 -da) aňladylan basyşyň arasynda ýönekeý baglanyşyk bar:

$$p = \gamma H = \rho g H. \quad (2.9)$$

Ýokarky görkezmelere laýyklykda, basyşyň dürli birlikleriniň arasynda aşakdaky ýaly gatnaşyklary alyp bolar:

1 fiziki atmosfera (1 atm) = 760 mm sim.süt. = $10,33 \text{ m suw süt.}$ = $1,033 \text{ kgf/sm}^2$ = 10330 kgf/m^2 = 101300 n/m^2 ;

1 tehnik atmosfera (1 at) = $735,6 \text{ mm sim.süt.}$ = 10 m suw süt. = 1 kgf/sm^2 = 10000 kgf/m^2 = 98100 n/m^2 .

Basyşy ölçemek üçin abzallar (manometrler ýa-da wakuummetrler) ýapyk göwrümiň içindäki absolýut basyşy P_{abs} görkezmän, eýsem absolýut we atmosfera ýa-da barometrik basyşlaryň özara tapawudyny P_{atm} görkezýär. Eger-de göwrümdäki basyş atmosfera basyşyndan ýokary bolsa, onda bu tapawuda artykmaçlyk P_{art} basyşy, eger ol

atmosfera basyşyndan pes bolsa (wakuum ulgamynda), onda boşluk (wakuum) P_{wak} basyşy diýilýär. Şeýlelikde:

$$P_{abs} = P_{art} + P_{atm}; \quad (2.10)$$

$$P_{abs} = P_{atm} - P_{wak}. \quad (2.11)$$

Basyş suwuklygyň iň wajyp häsiýetnamalarynyň biridir. Basyş üýtgetmek bilen himiýa önümçiliginiň öndürijiligini üýtgetmek bolar.

Şepbeşiklik. Real suwuklyklar hereket edenlerinde olarda herekete garşylyk döredýän içki sürtülme güýçleri ýüze çykýar. Ol güýçler suwuklygyň biri-birine otnositellikde süýşýän goňşy gatlaklarynyň arasynda täsir edýär. Suwuklygyň bölejikleriniň otnositel süýşmegine täsir edýän güýje garşylyk döretmek häsiýetine suwuklygyň şepbeşikligi diýilýär. Şepbeşikligiň dinamiki ýa-da ýöne şepbeşiklik we kinematiki görnüşleri bolýar.

Dinamiki şepbeşiklik diýlip, biri-birinden 1 sm daşlykda ýerleşýän we 1 sm/sek tizlik bilen hereket edýän 1 sm² meýdany bolan suwuklygyň iki gatlagynyň özara süýşmegi üçin goýulmaly garşylyga aýdylýar we m arkaly aňladylýar. Eger-de şeýle süýşmä 1 dina (ýagny gsm/sek) güýç goýlan bolsa, onda bu suwuklygyň şepbeşikligi birlik hökmünde kabul edilýär we puaz diýlip atlandyrylýar. Hal-kara birlikler ulgamynda SI (HU) dinamiki şepbeşikligiň ölçeg birligi şeýle aňladylýar:

$$[\mu] = \frac{[T]}{[F] \cdot \frac{[w]}{[n]}} = \left[\frac{N}{m^2 \cdot \frac{m}{\text{sek} \cdot m}} \right] = \left[\frac{N \cdot \text{sek}}{m^2} \right] = [\text{Pa} \cdot \text{sek}], \quad (2.12)$$

bu ýerde: T – suwuklyklaryň galtaşma güýji, N; F – galtaşma meýdany, m²; w – suwuklygyň tizligi, m/sek; n – suwuklygyň iki gatlagynyň aralygy, m.

SGS ulgamda bolsa:

$$[\mu] = \left[\frac{\text{Din}}{\text{sm}^2 \cdot \frac{\text{sm}}{\text{sek} \cdot \text{sm}}} \right] = \left[\frac{\text{Din} \cdot \text{sek}}{\text{sm}^2} \right] = [\text{Puaz}]. \quad (2.13)$$

Sorag-jogap edebiýatlarynda, köplenç, şepbeşikligiň ölçeg birligi puazlarda (pz) däl-de, 0,01 pz deň bolan santipuaazlarda (spz) berilýär.

SI (HU) we SGS ölçeg ulgamlarynda şepbeşikligiň ölçeg birlikleriniň arasyndaky gatnaşyk:

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{sek} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{sek}}{\text{m}^2} = \frac{100000}{10000} \frac{\text{Din} \cdot \text{sek}}{\text{sm}^2} = 10 \text{ pz} = 1000 \text{ spuaz}.$$

Suwuklyklaryň şepbeşikligi kähalatlarda şepbeşikligiň kinematiki koeffisiýenti ýa-da kinematiki şepbeşikligi bilen häsiýetlendirilýär:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu \cdot g}{\gamma}, \quad (2.14)$$

ýagny suwuklygyň şol bir temperaturadaky dinamiki şepbeşikliginiň (μ) onuň ρ dykzylygyna bolan gatnaşygydyr.

SGS ulgamda kinematiki şepbeşikligiň ölçeg birligi $1 \text{ sm}^2/\text{sek}$ deň bolan stoks (st) ýa-da 100 santistoks (sst) bolýar. SI (HU) we MKGSS ulgamlarynda kinematiki şepbeşikligiň birligi $1 \text{ m}^2/\text{sek} = 10^4 \text{ st}$.

Damja suwuklyklaryň şepbeşikligi giň araçäkde bolýar. Mysal üçin, otag temperaturasyndaky suwuň şepbeşikligi, takmynan, 1 spz bolsa, gliseriniň şepbeşikligi 1500 spz barabar bolýar. Gazlaryň şepbeşikligi has pesdir: meselem, howanyň şepbeşikligi suwuň şepbeşikliginden, takmynan, 50 esse azdyr.

Damja suwuklyklaryň şepbeşikligi temperaturanyň ýokarlanmagy bilen has peselýär. Gazlaryň şepbeşikligi bolsa onuň tersine temperaturanyň ýokarlanmagy bilen ulalýar. Has pes basyşda gazlaryň şepbeşikligi temperatura bagly bolmaýar, ýöne käbir basyşdan başlap, temperaturanyň ýokarlanmagy bilen artýar.

Şepbeşiklik suwuklyklaryň akym kadasynda we olaryň hereketine täsir edýän garşylyklara uly täsir edýär. Şonuň üçin birnäçe gidromehaniki, şeýle hem ýylylyk we massa çalyşma prosesleriniň işjeňligi sredanyň şepbeşikligini peseltmek ýoly bilen amala aşyrylýar. Meselem, damja suwuklyklaryň temperaturasyny ýokarlandyrmak ýoly bilen sredanyň şepbeşikligini peseltmek amala aşyrylýar.

Damja suwuklyklaryň we gazlaryň şepbeşiklik bahalaryny hasaplap tapyp bolýar ýa-da sorag-jogap we ýörite edebiýatlarda berilýär.

2.3. Hidrostatika

Gidrostatika suwuklyklaryň deňagramlykdaky ýa-da erkinlikdäki ýagdaýlaryny öwrenýän ylymdyr. Suwuklyk absolýut ýa-da otnositel erkinlikde bolup bilýär.

Gidrostatikada, umuman, otnositel dynçlyk ýagdaýyndaky, ýagny hereket edýän, emma bölejikleri biri-birine görä otnositel hereket etmeýän suwuklyklaryň deňagramlylygy öwrenilýär. Bu ýagdaýda suwuklykda içki sürtülme güýçleri bolmaýar. Bu bolsa suwuklygy ideal suwuklyk diýip hasaplamaga mümkinçilik berýär.

Otnositel dynçlyk ýagdaýynda suwuklygyň göwrümi boýunça görnüşi üýtgemeyär we ol gaty jisime meňzeş bolup, bir bitewi sreda ýaly hereket edýär. Şonuň ýaly hem suwuklyk içinde hemişelik burç tizligi bilen aýlanýan sentrifuga barabany bolan hereketlenýän gapda (meselem, sisternada) otnositel dynçlyk ýagdaýynda ýerleşende we şuna meňzeş ýagdaýlarda şeýle häsiýete eýe bolýar. Dynçlygyň şuna meňzeş ýagdaýlaryna hereketlenýän gabyň diwaryna görä otnositel seredilýär.

Hereket etmeýän gapda (ýeriň üstüne görä otnositel) suwuklyk absolýut dynçlykda bolýar.

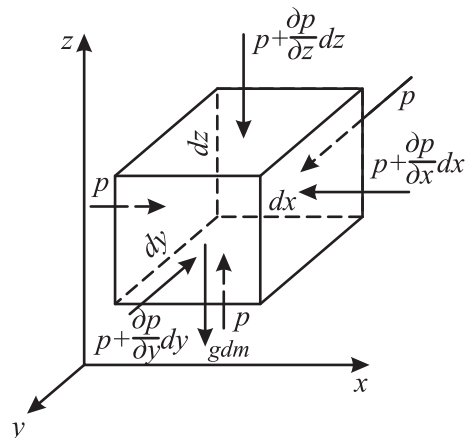
Suwuklygyň dynçlyk ýagdaýynyň görnüşine garamazdan, oňa agyrlyk güýji we basyş täsir edýär. Şonuň ýaly-da otnositel dynçlyk ýagdaýyndaky suwuklygyň göçme hereketiniň (gaby bilen bile) inertiýa güýjü hem hasaba alynýar.

Dynçlyk ýagdaýyndaky suwuklyga täsir edýän we suwuklygyň deňagramlylygyny kesgitleýän güýçleriň özara gatnaşyklary Eýleriň deňagramlylyk differensial deňlemesiniň üsti bilen aňladylýar.

2.4. Eýleriň deňagramlylyk differensial deňlemesi

Dynçlykda ýerleşýän suwuklygyň göwrüminden dV göwrümlü, dx , dy we dz gapyrgaly, x , y we z koordinata oklaryna parallel ýerleşen ýönekeýje parallelepipedini bölüp alalyň (2.1-nji surat). Parallelepipedde täsir edýän agyrlyk güýji onuň dm massasynyň g erkin gaçmanyň tizlenmesine köpeldilmegi bilen aňladylýar ýa-da gdm -e deňdir. Parallelepipedini taraplarynyň islendigine gidrostatiki basyşyň edýän

täsir güýji şol p gidrostatiki basyşyň parallelepipediniň taraplarynyň F meýdanyna köpeldilmegine deňdir. Gidrostatiki p basyş koordinatalaryň üçüsiniň hem funksiýasy diýip kabul edeliň $p = f(x, y, z)$. Gidrostatiki basyşyň suwuklygyň göwrümi boýunça paýlanyşynyň kanunyna düşünmek aýratyn mesele bolup durýar.



2.1-nji surat. Eýleriň deňagramlylyk differensial deňlemeleriniň gelip çykyş çyzygysy

Statikanyň esasy düzgünine laýyklykda, deňagramlylykda ýerleşýän suwuklygyň ýönekeýje göwrümüne täsir edýän ähli güýçleriň koordinata oklaryna bolan proyeksiýalarynyň jemi nola deňdir. Eger şol täsir güýçleriň proyeksiýalarynyň jemi noldan tapawutlanýan bolsa, onda suwuklygyň hereketi ýüze çykardy.

Parallelepipedde täsir edýän güýçleriň koordinata oklara görä proyeksiýalarynyň jemine seredeliň. Agyrlyk güýjüniň x we y oklaryna bolan proyeksiýasy nola deňdir. Şonuň üçin güýçleriň x okuna bolan proyeksiýalarynyň jemi:

$$P \cdot dy \cdot dz - \left(P + \frac{\partial P}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz = 0,$$

$$P \cdot dy \cdot dz - P \cdot dy \cdot dz - \frac{\partial P}{\partial x} \cdot \underbrace{dx \cdot dy \cdot dz}_{dV} = 0,$$

bu ýerden gysgaltmalaryň netijesinde

$$-\frac{\partial P}{\partial x} \cdot dV = 0.$$

Değişlilikde, y okuna bolan proyeksiýalaryň jemi:

$$P \cdot dx \cdot dz - \left(P + \frac{\partial P}{\partial y} \cdot dy \right) \cdot dx \cdot dz = 0.$$

$$P \cdot dx \cdot dz - P \cdot dx \cdot dz - \frac{\partial P}{\partial y} \cdot \underbrace{dx \cdot dy \cdot dz}_{dV} = 0$$

$$-\frac{\partial P}{\partial y} \cdot dV = 0$$

Şeýle hem z okuna bolan proyeksiýalaryň jemi:

$$P \cdot dx \cdot dy - \left(P + \frac{\partial P}{\partial z} \cdot dz \right) \cdot dx \cdot dy - g \cdot dm = 0.$$

Massanyň $m = \rho \cdot V$ deňlemesiniň $dm = \rho \cdot dV$ görnüşindäki aňlat-masyny hasaba alyp:

$$P \cdot dx \cdot dy - P \cdot dx \cdot dy - \frac{\partial P}{\partial z} \cdot \underbrace{dz \cdot dx \cdot dy}_{dV} - g \cdot \rho \cdot dV = 0,$$

bu ýerden:

$$-\frac{\partial P}{\partial z} \cdot dV - g \cdot \rho \cdot dV = 0,$$

ýa-da

$$-g \cdot \rho \cdot dV - \frac{\partial P}{\partial z} \cdot dV = 0.$$

Alnan deňlemeleri differensial deňlemeler ulgamy görnüşinde ýazalyň:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial x} \cdot dV &= 0 \\ -\frac{\partial P}{\partial y} \cdot dV &= 0 \\ -g \cdot \rho \cdot dV - \frac{\partial P}{\partial z} \cdot dV &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.15)$$

Şeýlelikde, ýönekeýje parallelepipedin deňagramlylyk şerti aşakdaky deňlemeler ulgamy arkaly aňladylar:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial x} &= 0 \\ -\frac{\partial P}{\partial y} &= 0 \\ -g \cdot \rho - \frac{\partial P}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.16)$$

Bu ýönekeýje parallelepipedin göwrümi üçin çykarylan (2.16) deňlemeler ulgamyna Eýleriň deňagramlylyk differensial deňlemeler ulgamy diýilýär.

Dynçlyk ýagdaýyndaky suwuklygyň bütün göwrümüne edilýän basyşyň paýlanmak kanunyny çykarmak üçin (2.16) deňlemeler ulgamyny integrirlemek gerek bolýar. Şol deňlemeleriň integrally bolsa inženerçilik amalyýetinde giňden ulanylýan gidrostatikanyň esasy deňlemesidir.

Eýleriň differensial deňlemeler ulgamyndan görnüşi ýaly, suwuklyk x we y oklary boýunça tükeniksiz kiçi aralyga (dx we dy) hereket edende ∂p basyşy üýtgemeýär, diýmek, x we y oklary boýunça basyş hemişeligine galýar. Başgaça aýdylanda, basyş x we y tekizlikleriň islendik nokadynda birmeňzeş baha eýe bolýar.

2.5. Gidrostatikanyň esasy deňlemesi

Dynçlykdaky suwuklygyň basyşy ýokardaky (2.16) deňlemeden görnüşi ýaly, gapdal (gorizontal) tekizligiň islendik nokatlarynyň ählisinde birmeňzeş bolmak bilen, diňe dikligine üýtgeýär (z oky

boýunça, 2.1-nji surat), şonuň ýaly-da x we y oklary boýunça basyşyň üýtgemegi nola deňdir. Şonuň üçin (2.16) deňlemeler ulgamyndan $\frac{\partial P}{\partial x} = 0$ we $\frac{\partial P}{\partial y} = 0$.

Önümiň $\frac{\partial P}{\partial z}$ bölegini $\frac{dP}{dz}$ bilen çalyşmak bolar we differensial görnüşde aşakdaky ýaly ýazmak bolar:

$$-\rho \cdot g - \frac{dP}{dz} = 0,$$

bu ýerden

$$-dp - \rho g dz = 0. \quad (2.17)$$

Ahyrky deňlemäniň sag we çep bölegini ρg ululyga bölüp we alamatlary çalşyp, ol deňlemäni başga görnüşe getireris:.

$$dz + \frac{1}{\rho \cdot g} dP = 0.$$

Gysylmaýan bir jynsly suwuklyklar üçin dykzylyk hemişelik bolýar. Şeýlelikde,

$$dz + d\left(\frac{P}{\rho \cdot g}\right) = 0,$$

ýa-da

$$d\left(z + \frac{P}{\rho \cdot g}\right) = 0,$$

bu deňlemäni integrirläp, alarys:

$$z + \frac{P}{\rho g} = \text{const}. \quad (2.18)$$

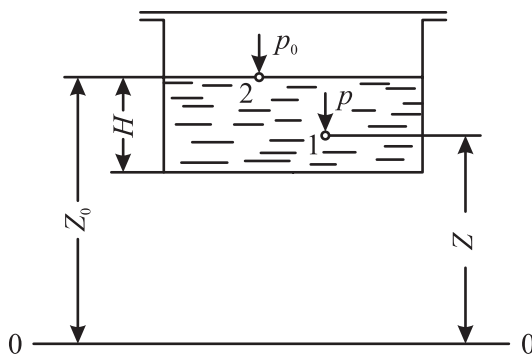
Iki sany erkin gorizontall tekizlikler üçin (2.18) deňleme aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g}. \quad (2.19)$$

Alnan (2.18) ýa-da (2.19) deňlemelere gidrostatikanyň esasy deňlemeleri diýilýär.

Gidrostatikanyň esasy deňlemelerinde (2.19): z_1 we z_2 – erkin alnan gapdal (gorizontal) tekizlikden (deňeşdirme tekizlikden) ýokarda dynçlykda duran bir jynsly damja suwuklygyň içindäki iki nokadyň ýerleşýän beýikligi, emma p_1 we p_2 bolsa şol nokatlardaky gidrostatiki basyşdyr.

Mysal üçin, suwuk göwrümiň bir bölejigi erkin alnan gapdal (gorizontal) 0-0 deňeşdirme tekizlikden z beýiklikde 1-nji nokatda (2.2-nji surat), beýleki bölejigi bolsa deňeşdirme tekizlikden z_0 beýiklikde suwuklygyň ýüzünde 2-nji nokatda ýerleşýär diýeliň. Goý, 1 we 2 nokatlardaky basyş, degişlilikde, p we p_0 bolsun. Onda (2.19) deňlemä laýyklykda



2.2-nji surat. Gidrodinamikanyň esasy deňlemesi üçin çyzgy

$$z + \frac{P}{\rho \cdot g} = z_0 + \frac{P_0}{\rho \cdot g}, \quad (2.20)$$

ýa-da:

$$\frac{P - P_0}{\rho \cdot g} = z_0 - z. \quad (2.21)$$

Gidrostatiki deňlemelerdäki (2.18) z agza erkin alnan deňeşdirme tekizlikde berlen nokadyň ýerleşýän beýikligini aňladýan ululyk bolup, oňa niwelir beýiklik diýilýär we ol uzynlyk birliginde (m) aňladylýar.

$\frac{P}{\rho g}$ – ululyga basyşyň güýji ýa-da pýezometriki güýç diýilýär.

Gidrostatikanyň esasy deňlemesine laýyklykda *dynçlykdaky suwuklygyň her nokady üçin niwelir beýikligiň we pýezometriki güýjüň jemi hemişelik ululyk bolýar.*

Niwelir beýiklige (z) başgaça geometr iki (beýiklik) güýji hem diýilýär. Bu ululyk erkin alnan deňeşdirme tekizlikde berlen nokadyň ýagdaýynyň udel potensial energiýasyny häsiýetlendirýär (2.2-nji surata ser.), emma pýezometriki güýç şol nokatdaky basyşyň udel potensial energiýasyny häsiýetlendirýär. Şol energiýalaryň jemine, ýagny suwuklygyň agram birligine düşýän umumy potensial energiýa deň bolan energiýa bolsa doly gidrostatiki güýç ýa-da statiki güýç diýilýär.

Şeýlelikde, gidrostatikanyň esasy deňlemesi energiýanyň saklanmak kanunynyň bölek ýagdaýy bolup durýar, ýagny dynçlykdaky suwuklygyň hemme nokatlarynda udel potensial energiýa hemişelik ululykdyr.

Onda (2.20) deňlemäni başgaça hem ýazyp bolýar:

$$P + \rho g z = P_0 + \rho g z_0, \quad (2.22)$$

ýa-da:

$$P = P_0 + \rho g(z_0 - z). \quad (2.23)$$

Ahyrky (2.23) deňleme Paskalyň kanunynyň aňlatmasy bolup, oňa laýyklykda dynçlykda duran gysylmaýan suwuklygyň islendik nokadynda döredilýän basyş şol suwuklygyň göwrüminiň ähli nokatlaryna birmeňzeş geçirilýär. Hakykatdan-da, (2.23) deňlemä görä, z_0 nokatda p_0 basyşyň islendik üýtgemesinde suwuklygyň islendik başga nokadynda p basyş şonça üýtgär.

2.6. Gidrodinamika

Gidrodinamika suwuklyklaryň we gazlaryň hereketleriniň kanunlaryny öwrenýän ylymdyr.

Nasoslaryň ýa-da kompressorlaryň kömegi bilen, şeýle hem suwuklyklaryň dykzlyklarynyň ýa-da derejeleriniň tapawudy netijesinde suwuklyklar akanda döreýän hereket güýji basyşlaryň tapawudyny emele getirýär.

Gidrodinamiki kanunlary bilmeklik gerek mukdardaky suwuklygyň talap edilýän tizlik bilen hereketlenmegi üçin zerur bolan basyşlaryň tapawudyny tapmaklyga ýardam berýär, diýmek, suwuklygyň hereketlenmegi üçin zerur bolan energiýanyň mukdaryny ýa-da tersine – basyşyň belli bir aratapawudy netijesinde suwuklygyň akym mukdaryny we tizligini kesgitlemäge ýardam berýär.

Gidrodinamika özüniň içki we daşky meseleleri bilen tapawutlanýar.

Gidrodinamikanyň içki meseleleri turbalaryň we kanallaryň içindäki suwuklyklaryň hereketini derňemek bilen baglanyşykly. Gidrodinamikanyň daşky meseleleri bolsa suwuklygyň dürli jisimleri ýuwup geçmek häsiýetiniň kanunalaýyklygyny öwrenmekden ybaratdyr.

Köphalatda, meselem, gaty materialyň däneli gatlagynyň üstünden suwuklyk hereket edende, ol çylşyrymly görnüşdäki kanallaryň içinde hereketlenýär we şol bir wagtda gaty bölekleri ýuwup geçýär. Şeýle ýagdaýlar filtrleme, nasadkaly apparatlarda massa çalyşma proseslerinde, gaty katalizatorly reaktorlarda amala aşyrylýan himiki proseslerde we ş.m. ýüze çykýar. Gidrodinamikanyň şuna meňzeş garyşyk meseleleri ýüze çykan ýagdaýynda suwuklyklaryň hereketini derňemek, düzgüne görä, ony içki ýa-da daşky meseleleriň çözgüdi ýaly amala aşyrylýar.

2.7. Suwuklyklaryň hereketleriniň esasy häsiýetnamalary

2.7.1. Suwuklygyň tizligi we akym mukdary

Kese kesigi hemişelik bolan turba boýunça akýan suwuklygyň hereketine seredeliň.

Turba geçirijiniň kese kesiginiň üstünden (onuň “janly (işjeň)” kesiginden ýa-da turba geçirijiniň suwuklykdan doly kesiginden) wagt

birliğinde akyp geçýän suwuklygyň mukdaryna suwuklygyň akym mukdary diýilýär. Akym mukdary m^3/sek ýa-da m^3/sag -da ölçenilýän göwrümleýin we kg/sek , kg/sag we s.m. ölçenilýän massaýyn akym mukdary diýip tapawutlanýar.

Suwuklygyň akymynyň tizligi turba geçirijiniň kese kesiginiň dürli nokatlarynda birmeňzeş däl. Akymyň tizligi turba geçirijiniň okunyň golaýynda iň ýokary, ýagny maksimal baha eýe bolýar, turba geçirijiniň diwarlaryna golaýlaşdygyça bolsa, akymyň tizligi peselýär. Şonuň üçin akymyň kese kesiginde tizligiň paýlanmak kanuny kesgitli baha eýe bolmaýar ýa-da ony hasaplamak kyn bolýar. Şonuň üçin hem hasaplamalarda, adatça, hakyky (lokal) tizlik däl-de, çaklama ortaça tizlik ulanylýar. Ol w (m/sek) tizlik *suwuklygyň* Q (m^3/sek) *göwrümleýin akym mukdarynyň akymyň işjeň kesiginiň* S (m^2) *meýdanyna bolan gatnaşygy* bilen aňladylýar we aşakdaky deňlemäniň kömegi bilen kesgitlenýär:

$$w = \frac{Q}{S}; \left[\frac{m^3/\text{sek}}{m^2} \right] = \left[\frac{m^3}{m^2 \cdot \text{sek}} \right] = \left[\frac{m}{\text{sek}} \right], \quad (2.24)$$

bu deňlemeden suwuklygyň Q göwrümleýin akym mukdaryny kesgitläp bolar:

$$Q = w \cdot S, \quad (2.25)$$

bu ýerde S – turbageçirijiniň kese kesiginiň meýdany, m^2 .

Suwuklygyň massaýyn akym mukdary M (kg/sek) harpy bilen belgilenip, aşakdaky ýaly kesgitlenýär:

$$M = \rho \cdot w \cdot S; \left[\frac{\text{kg}}{\text{sek}} \right], \quad (2.26)$$

bu ýerde: ρ – suwuklygyň dykzlygy, kg/m^3 ; $\rho \cdot w$ – ululyk suwuklygyň massaýyn tizligini aňladýar, $\text{kg}/(m^2 \cdot \text{sek})$:

$$W = \rho \cdot w. \quad (2.27)$$

Suwuklyklaryň hereketleriniň ýokardaky görkezilen esasy häsiýetnamalary dürli görnüşli kese kesikli kanallardan akýan suwuklygyň hereketine degişlidir.

2.7.2. Gidrawliki radius we ekwiwalent diametr

Dürli görnüşli kese kesikli kanallardan akýan suwuklygyň hereketi tegelek turbadan tapawutlylykda hasaplama çyzyk ölçegi hökmünde olaryň gidrawliki radiusy ýa-da ekwiwalent diametri kabul edilýär.

Gidrawliki radius r_{gidr} (m) diýip turba geçirijiniň ýa-da kanalyň suwuklykdan dolup akyp geçýän kese kesiginiň üst meýdanynyň, diýmek, akymyň işjeň kesiginiň suwuklygyň galtaşma perimetrine (ezilen perimetrine) bolan gatnaşygyna düşünilýär:

$$r_{gidr} = \frac{S}{\Pi}, \quad (2.28)$$

bu ýerde: S – suwuklyk akymynyň kese kesiginiň meýdany, m^2 ; Π – ezilen perimetr, m.

Içki diametri d bolan tegelek turba üçin, ýagny suwuklykdan ähli göwrümi doldurylan ýagdaýynda $\Pi = \pi \cdot d$, $S = \pi \cdot d^2/4$ erkin kese kesiginiň meýdany bolanda gidrawliki radiusy alarys:

$$r_{gidr} = \frac{S}{\Pi} = \frac{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}{\pi d} = \frac{d}{4}. \quad (2.29)$$

Gidrawliki radius gönüburçly kese kesigi üçin:

$$r_{gidr} = \frac{a \cdot b}{2 \cdot a + 2 \cdot b} = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b)}.$$

Inedördül kese kesigi üçin bolsa:

$$r_{gidr} = \frac{a^2}{4 \cdot a} = \frac{a}{4}.$$

Gidrawliki radiusyň üsti bilen aňladylan diametr ekwiwalent diametr bolýar:

$$d = d_e = 4r_{gidr}. \quad (2.30)$$

Şeýlelikde, (2.27) deňlemä laýyklykda:

$$d_e = \frac{4S}{\Pi}. \quad (2.31)$$

Ekwiwalent diametr tegelek kese kesigi bolan gipotetiki turba-geçirijiniň diametrine deň bolup, onuň üçin S meýdanyň Π ezilen perimetre bolan gatnaşygydyr we berlen kese kesigi tegelek bolmadyk turba geçirijiler üçin hem şonuň ýalydyr.

2.7.3. Durnukly we durnuksyz akym

Eger akymyň bölejikleriniň tizligi, şeýle hem akymyň hereketine täsir edýän beýleki faktorlaryň hemmesi (dykzlyk, temperatura, basyş we başg.) suwuklygyň akyp geçýän boşlugynyň her bir bellige alynýan nokadynda wagta görä üýtgemeýän bolsalar, onda şol suwuklygyň hereketine durnukly ýa-da stasionar akym diýilýär. Bu şertlerde akymyň her bir kese kesigi üçin suwuklygyň akym mukdary wagta görä hemişelikdir.

Durnukly hereketde görkezilen faktorlaryň islendigi, meselem, käbir x ugurda w_x tizlik $w_x = f(x, y, z)$ ýaly dürli nokatlarda dürli baha eýe bolup biler, emma akymyň ugry boýunça islendik nokatda tizlik wagta görä üýtgemän galýar, ýagny $\frac{\partial w_x}{\partial \tau} = 0$.

Akymyň durnukly hereketinden tapawutlylykda durnuksyz ýa-da stasionar däl akymda bolsa suwuklygyň stasionar akymynyň tersine akymyň tizligi we oňa täsir edýän beýleki faktorlar (dykzlyk, temperatura, basyş we başg.) wagta görä üýtgeýärler. Şonuň üçin kesgitli x ugruň islendik nokadynda suwuklygyň tizligi diňe bir berlen nokadyň x, y we z giňişlikdäki koordinatalarynyň funksiýasy bolman, eýsem τ wagtyň hem funksiýasydyr, ýagny $w_x = f(x, y, z, \tau)$. Diýmek, ol ýagdaýda $\frac{\partial w_x}{\partial \tau} \neq 0$. Durnuksyz herekete mysal hökmünde üýtgeýän beýiklik derejeli suwuklygy bolan rezerwuaryň deşiginden suwuklygyň akmagy bolup biler. Suwuklyk sütüniň beýikligiň kiçelmegi bilen deşikden akýan akymyň tizligi wagta görä kiçelýär. Suwuklygyň durnuksyz hereketi, esasan, üznükli proseslerde bolup geçýär ýa-da

üzüksiz hereket edýän apparatlar işe goýberilende, gysga wagtlaýyn saklananda, şonuň ýaly-da iş kadasy üýtgedilende ýüze çykýar.

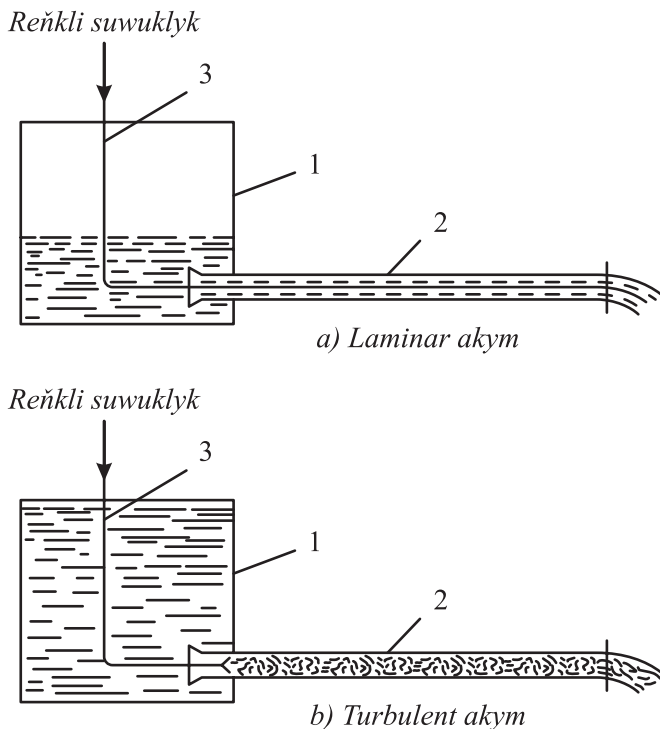
Suwuklygyň durnukly hereketiniň şertleri, esasan, himiýa tehnologiýasynyň üzüksiz proseslerine degişli bolup durýar.

2.7.4. Suwuklygyň hereket kadalary

Suwuklyk akymynyň dürli kadasynyň barlygyny bilmek üçin akyma reňklenen suwuklyk çüwdürimini goşmak bilen ýa-da haýsy-da bolsa başga indikatory ulanmak bilen göz ýetirmek bolar.

Ilkinji bolup suwuklyk akymynyň kadalary 1883-nji ýylda nemes alymy O.Reýnolds tarapyndan 2.3-nji suratda şekillendirilen tejribe guralynda öwrenilýär.

Geçirilen tejribelere seredeliň:



2.3-nji surat. Reýnoldsyň tejribesi:

1 – suwly gap; 2 – aýnadan turba; 3 – kapillýar turbajyk

2.3-nji (a) suratdan görnüşi ýaly, içinde suwuň derejesi hemişelik saklanýan gaba (1) keseleýin aýnadan turba (2) birikdirilen. Şol turba onuň oky boýunça kapillýar turbajyk (3) arkaly reňkli suwuň inçejik çüwdürimi (indikator) gosulýar. Turbadaky (2) suwuň uly bolmadyk tizliginde reňklenen çüwdürim keseleýin sapajyk çekilýän ýaly, biri-birlerine galtaşman, parallel görnüşde akar we turbanyň soňuna ýeter (2.3-nji a surat). Bu bolsa suwuklygyň bölejikleriniň ýolunyň göni çyzykly we biri-birlerine parallel hereket edýändigine şaýatlyk edýär.

Suwuklygyň hemme bölejikleri parallel traýektoriya boýunça hereketlenýän bolsa, onda şeýle akyma laminar hereket diýilýär.

Eger turbadaky (2) suwuň tizligini kesgitli çäkten has ýokarlandyrylsa, onda reňklenen çüwdürim ilki başda tolkun şekilli herekete eýe bolar, soňra bolsa galtaşyp, suwuň esasy massasy bilen garyşyp başlaýar. Bu bolsa eýýäm suwuklygyň aýratyn bölejikleriniň biri-birine we turbanyň okuna parallel hereket etmän, eýsem keseleýin ugurda garyşyp hereket edýändigini düşündirýär (2.3-nji b surat).

Suwuklygyň aýratyn bölejikleriniň haotik traýektoriyasy bolup, düşünp bolmaýan, tertipsiz hereketine we şol wagtda suwuklygyň bütin massasy ýaly tutuşlygyna bir ugra hereketlenmegine turbulent hereket diýilýär.

Tejribäniň görkezişi ýaly, akym laminar hereketden turbulent herekete geçende, suwuklygyň ρw massalaýyn tizligi we turbanyň d diametri näçe uly, emma suwuklygyň dinamiki şepbeşikligi μ näçe kiçi bolsa, şonça ýeňil bolup geçýär. Görkezilen ululyklary suwuklygyň hereket kadalaryny subut etmäge ähmiýet berýän $w d / \mu$ ölçegsiz toplumda birleşdirmek mümkinçiligini Reýnolds subut edýär.

Bu toplum Reýnoldsyň kriteriýasy (Re) diýen ady göterýär:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{w \cdot d}{\nu}, \quad (2.32)$$

bu ýerde ν – suwuklygyň kinematiki şepbeşikligi.

Akymyň hereketiniň laminar kadadan turbulent kada geçmegi Reýnoldsyň kritiki bahasy Re_{kr} bilen häsiýetlendirilýär. Şonuň üçin suwuklyklar göni ýylmanak turbada hereket edende $Re_{kr} \approx 2320$ deň. Reýnoldsyň kritiki bahasy $Re < 2320$ bolanda suwuklygyň akymy, adaty, laminar kadada bolýar, şonuň üçin Re -niň bahasynyň şol ara-

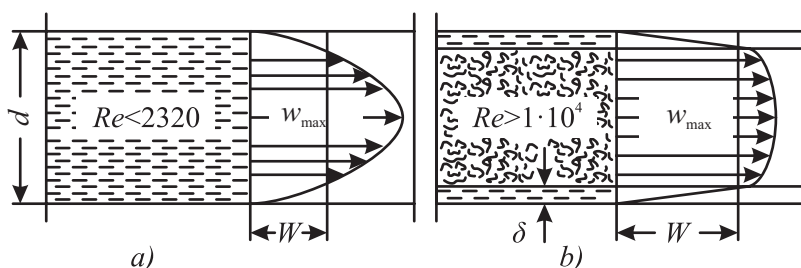
lygyna akymyň durnukly laminar kadasynyň aralygy diýilýär. Haçan-da $Re > 2320$ bolsa, onda köphalatda hereketiň turbulent häsiýeti ýüze çykýar. Emma $2320 < Re < 10000$ bolan ýagdaýynda akymyň entek durnuksyz turbulent kadasy (Re -niň bahasynyň bu üýtgeýän aralygy, köplenç, akymyň geçi şaralygy) diýilýär. Haçan-da $Re > 10\,000$ bolanda turbulent hereketi durnukly (ösen) turbulent kada öwrülýär.

Içki diametri tegelek turba görnüşinde bolman, kese kesigi başga görnüşde bolan kanalyň içinden suwuklyk hereket eden ýagdaýynda Re kriteriýa hasaplananda d diametriň ýerine (2.31) gatnaşyk arkaly kesgitlenilýän ekwiwalent diametri ulanylýar.

Reýnoldsyň kriteriýasyny kesgitleýän aňlatma (2.24) deňleme boýunça häsiýetlendirilýän akymyň orta tizligi kabul edilýär. Sebäbi turba geçirijiniň kesiginiň dürli nokatlarynda suwuklygyň hakyky tizligi birmeňzeş bolmaýar.

2.7.5. Turbulent akymyň käbir häsiýetleri

Himiýa senagatynyň tejribeliginde suwuklyklaryň turbulent hereketi giňden ýaýrandyr. Turbulent hereketde bölejikleriň haotiki hereketi netijesinde akymyň esasy massasynda tizlikleriň deňleşmesi bolup geçýär. Turbanyň kesigi boýunça tizlikleriň paýlanyşy paraboladan tapawutlanýan 2.4-nji *a* suratdaky egri hem-de has ýaýbaň depesi bolan egri (2.4-nji *b* surat) bilen häsiýetlendirilýär.



2.4-nji surat. Hereketiň dürli kadasynda tizlikleriň paýlanyşy:

a – laminar akym; *b* – turbulent akym

Turbulent hereketde ortaça tizlik w maksimal tizligiň ýarsyna deň bolman (laminar hereketindäki ýaly), has uludygyny, özüniň hem $w/w_{\max} = f(Re)$ tejribe görkezýär. Meselem, $Re = 10^4$ tizlik $w \approx 0,8w_{\max}$, eger $Re = 10^8$ bolandaky ululyk $w \approx 0,9w_{\max}$.

Laminar hereket üçin: $w_{lam.ort} = w_{max}/2$;

Turbulent hereket üçin: $w_{tur.ort} > w_{max}/2$.

Turbulent akymynyň ortaça tizligi laminar akymyna garanyňda has ýokary bolýar.

2.4-nji *b* suratdan görnüşi ýaly, turbanyň kesigi boýunça alanyňda akymyň esasy massasynda suwuklygyň tizligi köp möçberde deňleşen bolýar. Emma turbanyň diwarynyň golaýynda tizlik birdenkä peselýär, diwaryň özünde bolsa nola öwrülýär. Diwara golaý barmanka, oňa golaýlaşmagy bilen suwuklygyň hereketiniň turbulentligi kem-kemden kiçelýär we laminarlygy bolsa ulalýar, netijede bolsa gaty diwar turbanyň ugruna ugrukdyrylan akymyň turbulentligini togtadýar.

Akym ösen turbulent hereketi bolan akymyň ýadrosy diýilýän merkezi zolak ýa-da suwuklygyň esasy massasy we diwaryň golaýynda turbulent hereketiniň laminar hereketinine öwürülmesi bolup geçýän gidrodinamiki araçäk gatlak diýlip şertli tapawutlandyrylýar.

Akymyň ýadrosy bilen laminar gatlagyň arasynda geçiş zolagy bolýar we şol geçiş zolagy bilen laminar gatlagyň kähalatda gidrodinamiki araçäk gatlak diýilýär.

Turbulent akymyň gurluşy hakyndaky getirilen ýönekeý düşüňjelerden görnüşi ýaly, akymyň gaty araçäginde (turbanyň diwarynda) turbulent hereketi hemişe laminar hereketi bilen utgaşyp gidýär we laminar hereketine öwürülýär.

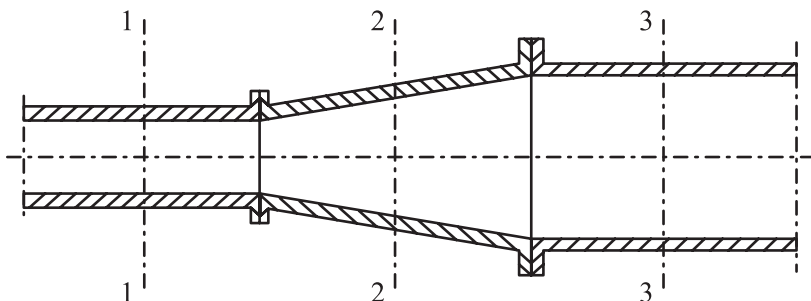
2.7.6. Suwuklygyň hemişelik akym mukdarynyň deňlemesi

Dürli kese kesigi bolan turba geçirijiden suwuklyk akanda ýüze çykýan we hereketiň bitewilik ýa-da üznüksizlik şertini berjaý edýän (suwuklykdan dolup, boşluk emele getirmeýän) dürli tizlikleriň arasyndaky umumy baglanyşygy tapalyň. Onuň üçin dürli kese kesigi bolan turba geçirijiniň çyzgysyna seredeliň.

Eger turba geçirijiniň kese-kesiginiň meýdany üýtgemeýän bolsa, onda suwuklygyň bir ugra durnukly hereketi üçin (x oky boýunça ugrukdyrylan) onuň massalaýyn tizligi hemişeligi deň bolar:

$$\rho w = \text{const}, \quad (2.33)$$

bu ýerde: w – suwuklygyň ortaça tizligi, m/sek; ρ – suwuklygyň dykyzlygy, kg/m³.



2.5-nji surat. Hemişelik akym mukdarynyň deňlemesini getirip çykarmak üçin çyzgy

Eger turba geçirijiniň kese kesiginiň S meýdany üýtgeýän bolsa (2.5-nji suratdan görnüşi ýaly), onda hereket edýän suwuklygyň massalaýyn tizliginiň deňlemesini alarys:

$$\rho w S = \text{const.} \quad (2.34)$$

2.5-nji suratdan görnüşi ýaly, üç dürli kese kesigi bolan (1-1, 2-2, 3-3) turba geçiriji üçin (2.34) deňlemäni başgaça ýazarys:

$$\rho_1 w_1 S_1 = \rho_2 w_2 S_2 = \rho_3 w_3 S_3, \quad (2.34a)$$

ýa-da

$$M_1 = M_2 = M_3,$$

bu ýerde $M = \rho \cdot w S$ – suwuklygyň massalaýyn akym mukdary, kg/sek.

Ýokardaky (2.34) we (2.34 a) deňlemelere suwuklygyň durnuklaşan hereketi üçin akymyň üznüksizlik (bitewilik) deňlemesi diýilýär. Bu deňlemä suwuklygyň akym mukdarynyň hemişeliginiň deňlemesi hem diýilýär.

Akym mukdarynyň hemişeliginiň deňlemesine laýyklykda, suwuklygyň durnuklaşan hereketinde, turba geçirijiniň içi dolup akanda, onuň her bir kese kesiginiň üstünden wagt birliginde suwuklygyň şol bir massasy akyp geçýär.

Damja suwuklyklary üçin $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho = \text{const}$ we (2.34) deňleme aşakdaky görnüşi alar:

$$wS = \text{const.} \quad (2.35)$$

Şeýlelikde,

$$w_1 S_1 = w_2 S_2 = w_3 S_3 = \text{const}, \quad (2.35a)$$

ýa-da

$$Q_1 = Q_2 = Q_3,$$

bu ýerde $Q = wS$ – suwuklygyň göwürümleýin akym mukdary, m^3/sek .

Şeýlelikde, (2.35a) deňlemeden turba geçirijiniň islendik kese kesiginde damja suwuklyklaryň tizligi şol kesikleriň meýdanlaryna ters proporsionaldygy gelip çykýar.

Ýokardaky (2.34) deňlemä laýyklykda, turbanyň başyndaky kesiginden geçýän suwuklygyň massalaýyn akym mukdary turbanyň ahyryndaky kesiginden geçýän akym mukdaryna deňdir. Şunlukda, akym mukdarynyň hemişeliginiň deňlemesi massanyň saklanmak kanunynyň bölek ýagdaýy bolýar we ol akymyň material balansyny aňladýar.

2.7.7. Eýleriň suwuklyk hereketi üçin differensial deňlemesi

Hyýaly (ideal) suwuklygyň durnuklaşan akymyna seredeliň. Belli bolşy ýaly, hyýaly suwuklygyň şepbeşikligi bolmaýar, ýagny ol sürtülmän hereket edýär.

Eýleriň deňagramlylyk differensial deňlemesiniň getirilip çykarylşy ýaly, akymdan koordinata oklaryna otnositel ugrukdyrylan, $dV = dx \cdot dy \cdot dz$ göwürümlü ýönekeýje parallelepipedini bölüp alalyň (2.1-nji surata seret). Parallelepiede täsir edýän agyrylyk we basyş güýjüniň koordinata okuna bolan proyeksiýasy aşakdaky ýaly bolar:

$$x \text{ oky üçin} \quad -\frac{\partial P}{\partial x} \cdot dx dy dz,$$

$$y \text{ oky üçin} \quad -\frac{\partial P}{\partial y} \cdot dx dy dz,$$

$$z \text{ oky üçin} \quad -\left(\rho g + \frac{\partial P}{\partial z}\right) \cdot dx dy dz.$$

Dinamikanyň esasy düzgünine laýyklykda, *suwuklygyň hereket edýän ýönekeýje göwrümine täsir edýän güýçleriň proyeksiýalarynyň jemi, suwuklygyň massasynyň onuň tizlenmesine köpeldilmegine deňdir.*

Parallelepipediniň göwrümünde suwuklygyň massasy $dm = \rho dx dy dz$.

Eger suwuklyk w tizlik bilen hereket edýän bolsa, onda onuň tizlenmesi $\frac{dw}{d\tau}$ deňdir, koordinatalar okuna görä tizlenmäniň proyeksiýasy bolsa: $dw_x/d\tau$, $dw_y/d\tau$ we $dw_z/d\tau$, bu ýerde dw_x , dw_y we dw_z - x , y we z oklaryna görä tizligiň düzüjileridir.

Dinamikanyň esasy düzgünine laýyklykda aşakdaky deňlemäni alarys:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial P}{\partial x} \\ \rho \frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial P}{\partial y} \\ \rho \frac{dw_z}{d\tau} &= -\rho g - \frac{\partial P}{\partial z} \end{aligned} \right\}. \quad (2.36)$$

Tizligiň düzüjilerine laýyk gelýän substansional önüm aşakdaky ulgama deňdir:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dw_x}{d\tau} &= \frac{\partial w_x}{\partial x} w_x + \frac{\partial w_x}{\partial y} w_y + \frac{\partial w_x}{\partial z} w_z \\ \frac{dw_y}{d\tau} &= \frac{\partial w_y}{\partial x} w_x + \frac{\partial w_y}{\partial y} w_y + \frac{\partial w_y}{\partial z} w_z \\ \frac{dw_z}{d\tau} &= \frac{\partial w_z}{\partial x} w_x + \frac{\partial w_z}{\partial y} w_y + \frac{\partial w_z}{\partial z} w_z \end{aligned} \right\}. \quad (2.37)$$

Suwuklygyň durnuklaşmaýan akymynda suwuklygyň tizligi wagta görä üýtgeýär. Onda (2.36) deňleme suwuklygyň durnuksyz akymy üçin aşakdaky görnüşi alar:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dw_x}{d\tau} &= \frac{\partial w_x}{\partial \tau} + \frac{\partial w_x}{\partial x} w_x + \frac{\partial w_x}{\partial y} w_y + \frac{\partial w_x}{\partial z} w_z \\ \frac{dw_y}{d\tau} &= \frac{\partial w_y}{\partial \tau} + \frac{\partial w_y}{\partial x} w_x + \frac{\partial w_y}{\partial y} w_y + \frac{\partial w_y}{\partial z} w_z \\ \frac{dw_z}{d\tau} &= \frac{\partial w_z}{\partial \tau} + \frac{\partial w_z}{\partial x} w_x + \frac{\partial w_z}{\partial y} w_y + \frac{\partial w_z}{\partial z} w_z \end{aligned} \right\}. \quad (2.37a)$$

Ýokardaky (2.36) deňlemeler ulgamy (2.37 a) aňlatmany hasaba alnanda durnuklaşmaýan akym üçin Eýleriň hyýaly suwuklyk hereketiniň differensial deňlemesi bolar.

Suwuklygyň durnuklaşan akymy üçin Eýleriň hereket deňlemesiniň integrally birnäçe tehniki meseleleri çözmek üçin giňden peýdalanylýan Bernulliniň deňlemesidir.

2.7.8. Bernulliniň deňlemesi

Suwuklygyň durnuklaşan akymy üçin Eýleriň suwuklyk hereketiniň deňlemesiniň çözüdi gidrodinamikanyň has wajyp we giňden ulanylýan deňlemeleriniň birine – Bernulliniň deňlemesine alyp barýar.

Ýokardaky (2.36) deňlemäniň çep we sag bölekleriniň her birini degişlilikde dx , dy we dz -e köpeldip we suwuklygyň ρ dykzlygyna bölüp, aşakdaky deňlemeleri alarys:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{d\tau} dw_x &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} dx \\ \frac{dy}{d\tau} dw_y &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} dy \\ \frac{dz}{d\tau} dw_z &= -g dz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} dz \end{aligned} \right\}$$

Bu deňlemeleri $\frac{dx}{d\tau}$, $\frac{dy}{d\tau}$ we $\frac{dz}{d\tau}$ önümleriň degişli koordinatalar

okunda w_x, w_y, w_z tizlikleriň proyeksiýasyny aňladýandygyny göz öňünde tutup goşalyň we differensiallaryň jemini jemleriň differensialy bilen çalşyp hem-de birnäçe matematiki öwürmeler geçirip, aşakdaky gutarnykly deňlemäni alarys:

$$\underbrace{z + \frac{p}{\rho \cdot g}}_{\text{Potensial energiýa}} + \underbrace{\frac{w^2}{2 \cdot g}}_{\text{Kinetik energiýa}} = \text{const.} \quad (2.38)$$

Akymyň (turbageçirijiniň) islendik iki sany 1 we 2 kese kesigi üçin (2.38) deňlemäni aşakdaky görnüşde görkezmek bolar:

$$\underbrace{z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g}}_{\text{Gidrostatiki güýç}} + \underbrace{\frac{w_1^2}{2 \cdot g}}_{\text{Tizlik güýji}} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{w_2^2}{2 \cdot g}, \quad (2.39)$$

(2.38) we (2.39) deňlemelere hyýaly suwuklyklar üçin Bernulliniň deňlemesi diýilýär:

$\left(z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{w^2}{2 \cdot g} \right)$ – ululyga doly gidrodinamiki güýç ýa-da ýöne gidrodinamiki güýç diýilýär.

Şeýlelikde, Bernulliniň deňlemesine laýyklykda, hyýaly suwuklygyň durnuklaşýan akymynyň ähli kese kesigi üçin gidrostatiki güýç üýtgemän galýar.

z – niwelir beýiklik bolup, oňa geometrik ýa-da beýiklik güýji (h_g) diýilýär we ol berlen nokatdaky (berlen kesikde) ýagdaýyň ideal potensial energiýasyny häsiýetlendirýär.

$\frac{p}{\rho \cdot g}$ – basyş güýji ýa-da pýezometrik güýç (h_{bas}), berlen nokatdaky (berlen kesikde) basyşyň hyýaly (udeal) potensial energiýasyny häsiýetlendirýär. $z + \frac{p}{\rho \cdot g}$ – jeme doly gidrostatiki ýa-da ýöne statiki

güýç (h_{st}) diýilýär we berlen nokatdaky (berlen kesikde) doly udeal potensial energiýany aňladýar. z we $\frac{p}{\rho \cdot g}$ – ululyklar uzynlyk birliginde ýa-da suwuklygyň agram birligine düşýän energiýa hökmünde udel energiýa birliginde aňladylyp bilner.

$\frac{w^2}{2 \cdot g}$ – ululyga tizlik ýa-da dinamiki güýç diýilýär we (h_{tz}) arkaly belgilenýär. Tizlik güýji berlen nokatda (berlen kesimde) udel kinetik energiýany häsiýetlendirýär we uzynlyk birliginde aňladylýar.

$$\left[\frac{w^2}{2 \cdot g} \right] = \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{sek}^2}{\text{sek}^2 \cdot \text{m}} \right] = [\text{m}].$$

Şeýlelikde, Bernulliniň deňlemesine laýyklykda, hyýaly suwuklygyň durnuklaşýan akymynda tizlik we statiki güýçleriň jemi gidrodinamiki güýje deňdir we akymyň bir kese kesiginden beýleki kese kesigine geçende üýtgemeyän ululykdyr.

Bernulliniň deňlemesinden, hyýaly suwuklygyň durnuklaşýan akymynda suwuklygyň $\left(z + \frac{p}{\rho \cdot g} \right)$ potensial we $\left(\frac{w^2}{2 \cdot g} \right)$ kinetik energiýalarynyň jemi akymyň her bir kese kesigi üçin üýtgemän hemişeligine galýar.

Turba geçirijiniň kese kesiginiň, şeýle hem suwuklygyň hereketiniň üýtgemegi bilen energiýa öwrülişigi bolup geçýär: turba geçirijiniň daralmagy bilen basyşyň potensial energiýasynyň bir bölegi kinetik energiýa öwrülýär we tersine, turba geçirijiniň giňelmegi bilen kinetik energiýasynyň bir bölegi potensial energiýa öwrülýär, emma energiýanyň umumy mukdary üýtgemän hemişeligine saklanýar. Bu ýerden hyýaly suwuklyk üçin turba geçirijiniň başdaky kese kesiginden geçýän akymynyň energiýa mukdary, turba geçirijiniň ahyrky kese kesiginden çykyp gidýän akymynyň energiýa mukdaryna deňdir.

Şeýlelikde, Bernulliniň deňlemesi energiýanyň saklanmak kanunynyň bölek ýagdaýy bolýar we akymyň energetiki balansyny aňladýar.

Hakyky (real) suwuklyklar hereket edenlerinde energiýanyň balansynyň saklanmagy üçin, (2.39) deňlemäniň sag tarapyna güýç ýit-

gisini aňladýan agzany girizmeli bolýar. Onda hakyky (real) suwuklyklar üçin Bernulliniň deňlemesini alarys:

$$\underbrace{z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g}} + \underbrace{\frac{w_1^2}{1 \cdot g}} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{w_2^2}{2 \cdot g} + h_{yitg}, \quad (2.40)$$

bu ýerde h_{yitg} – 1-1 kesimden 2-2 kesime çenli energiýanyň ýitgisi.

Güýç ýitgisi hakyky (real) suwuklygyň hereketinde gidrawliki garşylygy ýeňmek üçin sarp edilýän (suwuklygyň agram birligine gatnaşdyrylan) udeal energiýany häsiýetlendirýär. Ýokarky (2.40) deňlemäniň iki bölegini hem $\rho \cdot g$ ululyklara köpeldip, ondan Δp_{yitg} – ýitirilen basyş diýilýän ululygy taparys:

$$\Delta p_{yitg} = \rho \cdot g \cdot h_{yitg}. \quad (2.41)$$

Güýjüň ýa-da basyşyň ýitgisini kesgitlemek nasoslaryň, kompressorlaryň we ş.m. kömegi bilen real suwuklyklary hereketlendirmek üçin zerur bolan energiýany hasaplamak bilen baglanyşykly wajyp amaly mesele bolup durýar. Bu meseläniň çözgüdüniň kynçylygy real suwuklygyň hereketini suratlandyryýan differensial deňlemeler ulgamyň çözgüdüniň köp ýagdaýlarda mümkin bolmaýandygy bilen baglanyşyklydyr.

2.8. Turbageçirijileriň esasy hasaplamalary

2.8.1. Turbageçirijilerde gidrawliki garşylyklar

Turbageçirijiler boýunça hakyky (real) suwuklyklar hereket edende ýüze çykýan gidrawliki garşylygyň hasaplamasy gidrodinamikanyň amaly meseleleriniň esasyalarynyň biri bolup durýar.

Güýç ýitgilerini h_{yitg} (ýa-da basyşyň ýitgilerini Δp_{yitg}) kesgitlemegiň wajpylygy, nasoslaryň, kompressorlaryň we ş.m. kömegi bilen şol ýitgileriň öwezini dolmak (ýa-da garşylyklary ýeňip geçmek) we suwuklyklary hereketlendirmek üçin talap edilýän energiýanyň sarp edilişini hasaplamagyň zerurlygy bilen baglanyşyklydyr. Real suwuklyklar üçin h_{yitg} (ýa-

da $\Delta p_{\text{ýitg}}$) ululyklary bilmän Bernulliniň (2.40) deňlemesini peýdalanmak mümkin däldir.

Turba geçirijilerde güýçleriň ýitgisi umumy ýagdaýda sürtülme garşylygy we ýerli garşylyklar bilen şertlendirilýär.

Sürtülme garşylygy, başgaça uzynlyk boýunça garşylyk diýilýän real suwuklyklar turba geçirijileriň ähli uzynlygy boýunça hereket edende ýüze çykýar. Oňa suwuklygyň akym kadasy (laminar, turbulent, turbulentleşme-giň ösüş derejesi) täsir edýär.

Ýerli garşylyk *akymyň tizliginiň ýa-da onuň ugrunyň islendik üýtgemeginde* ýüze çykýar. Olaryň hataryna akymyň turba geçirijä girmegi we ondan suwuklygyň çykmagy, turba geçirijileriň birdenkä gysylmagy we giňelmegi, öwürimler, tirsekler, üçe bölünijiler, ýapyjylar we sazlaýjy enjanlar (kranlar, wentiller, zadwižkalar) we beýlekiler degişlidir.

Şeýlelikde, güýç ýitgileri iki görnüşli garşylygyň jeminden ybaratdyr:

$$h_{\text{ýitg}} = h_{\text{sürt}} + h_{\text{ý.g.}}, \quad (2.42)$$

bu ýerde $h_{\text{sürt}}$ we $h_{\text{ý.g.}}$ – degişlilikde sürtülmäniň we ýerli garşylyklaryň täsirleri netijesinde güýçleriň ýitgisi.

Göni turba boýunça suwuklyk laminar hereket eden ýagdaýynda sürtülme netijesinde güýçleriň ýitgisini (ýa-da uzynlyk boýunça onuň ýitgisini) $h_{\text{sürt}}$ Puazeýliň deňlemesi esasynda nazaryýet tarapdan kesgitläp bolmagy mümkin.

$$Q = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot \Delta p}{128 \cdot \mu \cdot l}. \quad (2.43)$$

Hakykatdan hem, Bernulliniň deňlemesine görä, kese kesigi hemişelik ($w_1 = w_2$) bolan kese turba geçiriji üçin ($z_1 = z_2$) sürtülme netijesinde ýitirilýän güýç

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho \cdot g} = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = h_{\text{sürt}}.$$

Puazeýliň (2.43) deňlemesinde $\Delta p = rgh_{\text{sürt}}$ ulanyp we göwrümleýin akym mukdaryny Q akymyň orta tizliginiň w turbanyň kese kesiginiň $\pi \cdot d^2/4$ meýdanyna köpeltmek hasyly bilen çalşyp alarys:

$$w \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot \rho \cdot g \cdot h_{\text{sürt}}}{128 \cdot \mu \cdot l},$$

bu ýerde: l we d – turba geçirijiniň uzynlygy we diametri; μ we ρ – suwuklygyň dinamiki şepbeşikligi we dyklyzlygy.

Bu ýerden, gysgaltmalardan soň, güýç ýitgisini taparys:

$$h_{\text{ýitg}} = \frac{32 \cdot w \cdot \mu \cdot l}{\rho \cdot g \cdot d^2}.$$

Deňlemäniň sag tarapynyň sanawjysyny we maýdalawjysyny $2w$ ululyga köpeldip we ululyklary toparlap gutarnykly alarys:

$$h_{\text{sürt}} = \frac{64 \cdot \mu}{w \cdot d \cdot \rho} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}.$$

Şeýlelikde, tegelek göni turba geçiriji boýunça suwuklygyň laminar hereketinde:

$$h_{\text{sürt}} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.44)$$

ýagny sürtülmede ýitirilen basyş güýji tizlik güýji arkaly aňladylyar $h_{\text{tizl}} = w^2/2g$.

Sürtülme netijesinde güýç ýitgisiniň tizlik güýjünden näçe esse tapawutlanýandygyny görkezýän ululyga uzynlyk boýunça energiýanyň ýitgi koeffisiýenti ýa-da uzynlyk boýunça garşylyk koeffisiýenti, ýa-da bolmasa sürtülmäniň garşylyk koeffisiýenti diýilýär we $\xi_{\text{sürt}}$ alamaty bilen belgilenýär. Bu ululygyň düzümine girýän $64/Re$ gatnaşyga, gidrawliki sürtülmäniň koeffisiýenti, ýa-da ýöne sürtülme koeffisiýenti diýilýär we λ arkaly belgilenýär. Şonuň üçin

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (2.45)$$

$$\xi_{\text{sürt}} = \lambda \cdot \frac{l}{d}. \quad (2.46)$$

Şeýlelikde, (2.44) deňlemäni şu aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$h_{\text{sürt}} = \xi_{\text{sürt}} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.47)$$

ýa-da basyş ýitgisi üçin $\Delta p_{\text{sürt}}$ ($\Delta p_{\text{sürt}} = \rho g h_{\text{sürt}}$ bolýandygyny hasaba alyp)

$$\Delta p_{\text{sürt}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}. \quad (2.47a)$$

Durnuklaşýan laminar hereketi üçin ($Re < 2320$) $\lambda = 64/Re$ bolanda (2.47) deňleme tejribeleriň maglumatlary bilen oňat laýyk gelýär. Bu şertlerde sürtülme koeffisiýenti turba geçirijiniň diwarynyň бүдүр-сүдүрлігине asla bagly bolmaýar.

Kese kesigi tegelek bolmadyk kanallar üçin (2.47) deňlemede d diametriň ýerine d_e ekwiwalent diametri goýulýar, şeýle hem:

$$\lambda = \frac{B}{Re}, \quad (2.45a)$$

bu ýerde: B – bahasy kese kesigiň görnüşine bagly bolan koeffisiýent (kwadrat kesik üçin $B = 57$, halka görnüşli kesik üçin $B = 96$ we ş.m.).

2.8.2. Turba geçirijileriň diametrini hasaplamak

Himiýa kärhanalarynyň apparatlarynyň umumy gymmatynyň köp bölegini turba geçirijileriň gymmaty bolup durýar. Olardan başga-da turba geçirijileriň ulanylmagy birnäçe serişdeleriň harç edilmegini talap edýär. Şonuň üçin turba geçirijileriň diametrini dogry saýlap almagyň tehniki-ykdysady ähmiýeti uludyr.

Öndüriligiň berlen ýagdaýynda turba geçirijileriň diametrini suwuklygyň akym mukdarynyň deňlemesinden (2.25) ugur alyp kesgitlemek bolar:

$$Q = w \cdot S = w \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

bu ýerden:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot w}}, \quad .9.(2.48)$$

bu ýerde: d – turba geçirijiniň içki diametri, m; Q – suwuklygyň göwürümleýin akym mukdary, m³/sek; w – suwuklygyň ortaça tizligi, m/sek.

Şeýlelikde, (2.48) deňlemiden görnüşi ýaly, turba geçirijiniň diamet-riniň ölçegi saýlanyp alnanda, ondaky suwuklygyň hereket tizliginiň baha-synyň saýlanyp alynmagyna esaslanyp kesgitlenilýär.

Saýlanyp alnan w tizlik näçe ýokary bolsa, (2.48) deňlemä laýyklykda turba geçirijiniň talap edilýän diametri şonça kiçi bolýar we ony ýasamak üçin gerekli materiallaryň harçlanyşy az bolýar. Şol sebäpli onuň özüne düşýän, şeýle hem turba geçirijiniň gurnama we bejerme işlerine düşýän gymmaty azalýar.

Tizligiň ulalmagy bilen turba geçirijilerde güýç ýitgileri ulalýar, ýagny suwuklygy hereketlendirmek üçin zerur bolýan basyşyň tapawudy ulalýar we şoňa laýyklykda, ony hereketlendirmäge sarp edilýän energiýa artýar. Şol sebäpli turba geçirijiniň amatly diametrini kesgitlemek üçin dürli fak-torlaryň biri-birine garşylykly täsirlerini hasaba alýan tehniki-ykdysady usul zerur bolýar. Turba geçirijiniň amatly diametri saýlanyp alnan ýag-daýynda ony ulanmak iň az harajat bilen üpjün edilýär.

Tehniki-ýkdysady seljermeleriň esasynda senagatdaky turba geçiriji-lerde suwuklyklaryň, gazlaryň we buglaryň tizlikleriniň üýtgemeginiň tek-lip edilýän çägi bellenilýär. Ol tizlikleriň bahasy aşakda görkezilýär.

Şepbeşikligi kiçi bolan damjaly suwuklyklaryň hereketi takmynan 3 m/sek tizlikden ýokary bolmaly däl; şepbeşik damjaly suwuklyklar üçin takmynan 1 m/sek deňdir. Öz akymyna hereketlenýän damjaly su-wuklyklaryň tizligi 0,2-1 m/sek, emeli hereketlendirilýän turba geçirijilerde (nasos bilen hereketlendirilýän) 1-3 m/sek. Gazlaryň we buglaryň tizlikleri aşakdaky çäkleriň töwereginde bolýar: deňeşdirmä görä uly bolmadyk ar-tykmaç (manometrik) basyşly gazlar üçin (meselem, wentilýatorlar bilen döredilýän) 8-15 m/sek, basyş astyndaky gazlar üçin 15-25 m/sek, doýgun suw bugy üçin 20-30 m/sek we aşa gyzan suw bugy üçin 30-50 m/sek.

Dürli görnüşde kese kesigi bolan kanallardan akýan suwuklygyň hereketiniň tegelek turba geçirijiden akýan suwuklygyň hereketinden ta-pawutlylykda hasaplama çyzyk ölçegi hökmünde olaryň gidrawliki radiusy ýa-da ekwiwalent diametri kabul edilýär. Turba geçirijileriň gidrawliki radiusy we ekwiwalent diametri hakynda öňde (2.7.2 bölümde) berilýär.

III BÖLÜM

SUWUKLYKLARY HEREKETLENDIRMEK (NASOSLAR)

3.1. Umumy maglumat

Himiýa senagatynda suwuk ýa-da gaz görnüşli önümleri turba-geçirijiler boýunça kärhananyň içinde aýry-aýry apparatlaryň ýa-da desgalaryň öz arasynda we kärhananyň daşynda bir ýerden başga bir ýere akdyryp äkitmek (transportirlemek) möhüm ähmiýete eýe bolup durýar.

Suwuklyklary turba geçirijiler boýunça we apparatlaryň üstünden akdyryp äkitmek energiýanyň sarp edilmegi bilen bagly bolup durýar. Käbir ýagdaýlarda, meselem, suwuklyk beýikligiň has ýokary derejesinden has pes derejesine hereket edende daşyndan energiýa sarp edilmesizden özüniň hususy potensial energiýasynyň bir böleginiň kinetik energiýasyna öwürlmeginiň netijesinde öz akymyna hereketlenýär. Suwuklygy keseleýin turba geçiriji boýunça we pes derejeden ýokary derejedäki beýiklige akdyryp äkitmek üçin nasoslar (sorup-iterijiler) ulanylýar. Ondan başga-da senagatda suwuklyklary akdyryp äkitmek üçin buguň, suwuň we gysylan gazyň (howanyň) kömegi bilen işleýän gurluşlar-gazliftler we montežler peýdalanylýar.

3.2. Nasoslar

Nasoslar – hereketlendirijiniň mehaniki energiýasyny akdyrylýan suwuklygyň energiýasyna öwürýän we basyşyny ýokarlandyryýan gidrawliki maşynlardyr. Nasosdaky we turba geçirijidäki suwuklygyň basyşlarynyň tapawudy onuň akdyrylmagyny şertlendirýär.

Nasoslar iki esasy topara bölünýärler: dinamiki we göwrümleýin.

Dinamiki nasoslarda suwuklyk nasosa girende we ondan çykanda üznüksiz geçirilýär we suwuklygyň aýyç göwrümüne edilýän güýjüň täsiri astynda akdyrylýar.

Göwrümleýin nasoslarda suwuklyk nasosa girende we ondan çykanda üznükli geçirilýär we suwuklygyň ýapyk göwrüminiň üznükli üýtgemeginde akdyrylýar.

Suwuklyga täsir edýän güýçleriniň görnüşleri boýunça dinamiki nasoslar pilçeli we sürtülme nasoslaryna bölünýärler.

Pilçeli nasoslara işçi tigrinde (ýa-da birnäçe tigrirlerde) aýlanýan pilçeleriň akdyrmagy bilen suwuklyga energiýa geçirýän dinamiki nasoslar degişlidir.

Pilçeli nasoslar, öz gezeginde, merkezden daşlaşýan we okly nasoslara bölünýärler. Merkezden daşlaşýan nasoslarda suwuklyk işçi tigriň üstünden geçip, onuň merkezinden periferiýasyna tarap hereket edýär, okly nasoslarda tigriň okunyň ugruna hereket edýär.

Sürtülme nasoslary dinamiki nasos bolmak bilen, suwuklyk sürtülme güýjüniň täsiri astynda herekete getirilýär. Sürtülme nasoslaryna towlanma we çüwdürim nasoslary degişlidir.

Ýokarky topardaky görkezilen nasoslaryň her biri konstruktiv alamatlary boýunça tapawutlanýarlar. Himiýa senagatynda peýdalanylýan nasoslaryň esasy konstruksiýalary aşakda serediler.

3.3. Nasoslaryň esasy ululyklary

Islendik görnüşli nasosyň esasy ululyklary onuň öndürijiligi, basyş güýji we kuwwaty bolup durýar.

Öndürijilik ýa-da *beriş*, Q (m^3/sek) wagt birliginde nasos arkaly akdyryjy turba geçirijä berlen suwuklygyň göwrümi boýunça kesgitlenýän ululykdyr.

Basyş güýji H (m) nasos tarapyndan akdyrylýan suwuklygyň agram birligine geçirilýän udel energiýany häsiýetlendirýän ululykdyr. Bu ululyk suwuklygyň nasosyň üstünden geçen ýagdaýynda udel energiýasynyň näçeräk artjakdygyny görkezýär we Bernulliniň deňlemesi esasynda kesgitlenýär (2.7.8 bölüme seret). Basyş güýjüni nasos tarapyndan geçirilýän energiýanyň hasabyna akdyrylýan suwuň 1 kgyny göterip biljek beýiklik derejesi hökmünde göz önüne getirmek bolar. Şonuň üçin basyş güýji akdyrylýan suwuklygyň udel agramyna γ (kgf/m^3) ýa-da dykzylygyna ρ (kg/m^3) bagly dälidir.

Nasosyň kuwwaty iki görnüşe, ýagny peýdaly kuwwata we aýlanýan okdaky (waldaky) kuwwata bölünýär.

Peýdaly kuwwat N_p , nasos tarapyndan suwuklyga energiýa geçirmek üçin sarp edilýän, suwuklygyň H udel energiýasynyň γQ agramlaýyn akym mukdaryna köpeldilmegine deň bolan ululykdyr:

$$N_p = \gamma QH = \rho g QH. \quad (3.1)$$

Aýlanýan okdaky (waldaky) kuwwat N_w nasosyň peýdaly täsir koeffisiýentini (p.t.k.) η_p hasaba alýan energiýanyň nasosdaky ýitgilerine bagly bolany üçin N_p peýdaly kuwwatdan uly bolan kuwwatdyr:

$$N_w = \frac{N_p}{\eta_p} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_p}. \quad (3.2)$$

Peýdaly täsir koeffisiýenti η_p nasosyň konstruksiýasynyň kämiligini we ulanylyşynyň ykdysady taýdan tygşytlylygyny häsiýetlendirýän ululykdyr. Ol η_p ululyk nasosyň özünde kuwwatyň oňnositel ýitgisini aňladýar we aşakdaky köpeltmek hasyly bilen aňladylyar:

$$\eta_p = \eta_v \cdot \eta_{gidr} \cdot \eta_{meh}. \quad (3.3)$$

Bu (3.3) aňlatmanyň düzümine aşakdaky ululyklar girýär:

$\eta_v = \frac{Q}{Q_n}$ – beriş koeffisiýenti, ýa-da nasosyň hakyky öndürjililiginiň Q nazary öndürjiligine Q_n bolan gatnaşygyny aňladýan göwrümleýin p.t.k. (yşlardan we nasosyň salniklerinden suwuklygyň ýitgisiniň hasabyna, şeýle hem klapanalaryň deň wagtda ýapylmazlygy we atmosfera basyşyndan pes – sorulan halatynda akdyrylýan suwuklykdan howanyň çykmagy zerarly nasosyň öndürjililiginiň ýitgisini hasaba alýar); η_{gidr} – gidrawliki p.t.k., – nasosyň hakyky basyş güýjüniň nazary basyş güýjüne bolan gatnaşygy (nasosyň üstünden suwuklygyň geçiş hereketinde basyş güýjüniň ýitgisini hasaba alýar); η_{meh} – mehaniki p.t.k., nasosdaky mehaniki sürtülmede kuwwatyň ýitgisini häsiýetlendirýär (podşipniklerde, salniklerde we başg.).

Ýokardaky (3.3) aňlatmada η_p ululyk nasosyň konstruksiýasyna we zaýalanma derejesine baglydyr we ortaça: merkezden daşlaşýan

nasoslar üçin $0,6 \div 0,7$; porşenli nasoslar üçin $0,8 \div 0,9$; uly öndüriji-likli has kämil merkezden daşlaşýan nasoslar üçin $0,93 \div 0,95$ baha eýedir.

Hereketlendirijiniň talap edýän kuwwaty ýa-da hereketlendirijiniň bellenen (nominal) N_{her} kuwwaty, elektrik hereketlendirijiden nasosa geçirilişde we elektrik hereketlendirijiniň özünde mehaniki ýitgileriň bolýanlygy sebäpli aýlanýan okdaky N_w kuwwatdan uludyr. Bu ýitgiler berşiň p.t.k.-syny (η_{ber}) we hereketlendirijiniň p.t.k.-syny (η_{her}) (3.3) deňlemä girizilip hasaba alynýar:

$$N_{her} = \frac{N_w}{\eta_{her} \cdot \eta_{geç}} = \frac{N_p}{\eta_p \cdot \eta_{geç} \cdot \eta_{her}}. \quad (3.4)$$

$\eta_p \cdot \eta_{geç} \cdot \eta_{her}$ köpeltmek hasyly hereketlendirijiniň peýdaly kuwwatlylygynyň N_p nominal kuwwatlylygyna N_{her} bolan gatnaşygy bilen kesgitlenilýän nasos desgasyň doly p.t.k.-syny η aňladýar we nasos desgasyň kuwwatynyň doly ýitgisini häsiýetlendirýär:

$$\eta = \frac{N_p}{N_{her}} = \eta_p \cdot \eta_{geç} \cdot \eta_{her}. \quad (3.5)$$

(3.3) we (3.5) deňlemelerden görnüşi ýaly, nasos desgasyň doly p.t.k.-syny baş ululygyň köpeltmek hasyly bilen aňladyp bolar:

$$\eta = \eta_v \cdot \eta_{gidr} \cdot \eta_{meh} \cdot \eta_{geç} \cdot \eta_{her}. \quad (3.6)$$

Hereketlendirijileriň gurnama kuwwaty N_{gur} nasos işe goýberilen pursatynda suwuklygyň dynçlykdaky massasynyň inersiýasyny ýeňmek zerurlygy bilen bagly emele gelýän ýük agdyklygyny hasaba alyp, N_{her} ululyk boýunça hasaplanylýar:

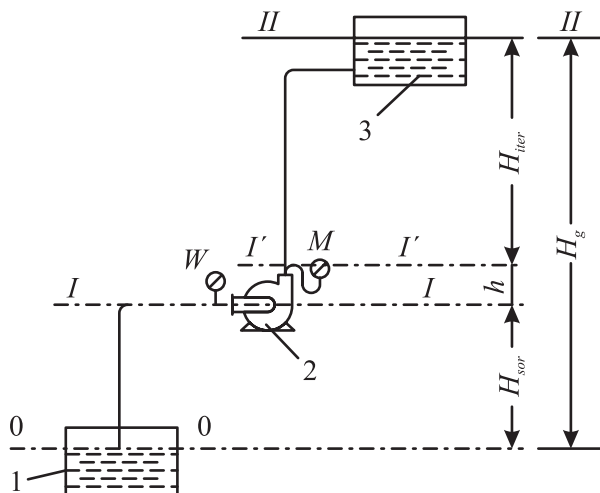
$$N_{gur} = \beta N_{her}, \quad (3.7)$$

bu ýerde: β – kuwwatyň ätiýaçlyk koeffisiýenti; onuň bahasy hereketlendirijiniň N_{her} bellenen kuwwatyna baglylykda kesgitlenilýär:

| | | | | |
|----------------------|------------|---------|----------|------------|
| N_{her} , kwt..... | 1-den kiçi | 1-5 | 5-50 | 50-den uly |
| β | 2-1,5 | 1,5-1,2 | 1,2-1,15 | 1,1 |

3.4. Nasosyň güýji

Nasosyň güýjüni öwrenmek üçin 3.1-nji suratda görkezilen nasos desgasynyň shemasyna seredeliň.



3.1-nji surat. Nasos desgasynyň shemasy:

1 – kabul edilýän göwrüm; 2 – nasos; 3 – basyş güýjüni döredýän göwrüm; M – manometr; W – wakuummetr

Belgileme girizeliň: p_0 – nasos (2) bilen sorulýan suwuklygyň kabul edilýän göwrümdäki (1) basyşy (oňa kabul edilýän göwrüm diýip şertleşeliň); p_2 – basyş güýjüni döredýän göwrümdäki (3) basyş; p_{sor} – nasosyň sorujy turbasyndaky basyş; p_{iter} – nasosyň basyş güýçli turbasyndaky basyş; H_{sor} – soruş beýikligi; H_{iter} – iteriş beýikligi; H_g – suwuklygy beriş geometriki beýiklik; h – manometriň M we wakuummetriň W gurnalan derejeleriniň arasyndaky dikligine aralyk.

Nasosyň basyş güýjüni kesgitlemek üçin Bernulliniň deňlemesini ulanallyň.

Deňeşdirme tekizlik hökmünde kabul edilýän göwrümdäki suwuklygyň derejesini kabul edeliň (0-0 kesik).

0-0 we I-I kesikler üçin Bernulliniň deňlemesi:

$$\frac{p_0}{\rho \cdot g} + \frac{w_0^2}{2 \cdot g} = H_{sor} + \frac{w_{sor}^2}{2 \cdot g} + \frac{p_{sor}}{\rho \cdot g} + h_{y.sor}. \quad (3.8)$$

I'-I' we II-II kesikler üçün Bernulliniň deňlemesi:

$$H_{sor} + h + \frac{p_{iter}}{\rho \cdot g} + \frac{w_{iter}^2}{2 \cdot g} = H_{sor} + h + H_{iter} + \frac{w_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + h_{y.iter}. \quad (3.9)$$

Bu deňlemelerde: w_0 we w_2 – kabul edilýän we basyş güýjüni döredýän göwürümlerdäki suwuklyklaryň tizlikleri (degişlilikde 0-0 we II-II kesiklerdäki); w_{sor} we w_{iter} – nasosyň soruş we iteriş turba geçirijisindäki suwuklygyň tizligi; $h_{y.sor}$ we $h_{y.iter}$ – soruş we iteriş turba geçirijilerdäki basyş güýjüniň ýitgileri.

Suwuklygyň w_0 tizligi soruş turba geçirijidäki w_{sor} tizlik bilen deňşdirilende hasaba alnandan has pesdir, şonuň üçin ony (3.8) deňlemede hasapdan aýryp bolar. Onda ol deňlemeden suwuklygyň nasosa girýän ýerindäki udel energiýasyny kesgitläp bolar:

$$E_{gir} = H_s + \frac{p_{sor}}{\rho g} + \frac{w_{sor}^2}{2g} = \frac{p_0}{\rho g} - h_{y.sor}. \quad (3.8a)$$

Şonuň ýaly-da $w_2 \ll w_{iter}$; onda w_2 ululygy hasapdan aýryp we $H_{sor} + h + H_{iter} = H_g$ suwuklygyň göterilme geometriki beýikligini göz önünde tutup, (3.9) deňleme boýunça nasosdan çykýan suwuklygyň udel energiýasyny kesgitläris:

$$E_{cyk} = H_s + h + \frac{p_{iter}}{\rho g} + \frac{w_{iter}^2}{2g} = H_g + \frac{p_2}{\rho g} + h_{y.iter}. \quad (3.9a)$$

(3.9a) deňlemäniň çep böleginden (3.8a) deňlemäniň çep bölegini aýryp, nasosyň basyş güýjüni taparys:

$$H = E_{cyk} - E_{gir} = h + \frac{p_{iter} - p_{sor}}{\rho g} + \frac{w_{iter}^2 - w_{sor}^2}{2g}. \quad (3.10)$$

Nasosyň basyş güýji üç goşulyjynyň: nasosda suwuklygyň göterilme beýikliginiň, nasosyň soruş we iteriş turba geçirijilerinde pýezometriki basyş güýçleriň tapawudynyň we dinamiki basyş güýçleriň tapawudynyň jemine deňdigini (3.10) deňleme görkezýär.

Köplenç, nasosyň soruş we iteriş turba geçirijileriniň diametrleri birmeňzeş bolýar; şonuň üçin olarda suwuklygyň tizligi $w_{iter} = w_{sor}$ we (3.10) deňleme ýönekeýleşer:

$$H = h + \frac{P_{\text{iter}} - P_{\text{sor}}}{\rho \cdot g}. \quad (3.11)$$

Şeýlelikde, nasosyň basyş güýji H soruş we iteriş turba geçirijilerdäki basyşlaryň tapawudyna göni proporsionaldyr.

(3.10) we (3.11) deňlemeler nasoslaryň taslamalarynda basyş güýjüniň hasaplamalaryny ýerine ýetirmek üçin peýdalanylýar.

Işläp duran nasosyň basyş güýjüni kesgitlemek üçin onda gurnalan manometriň p_m we wakuummetriň p_w görkezmelerinden peýdalanylýar. p_{iter} we p_{sor} absolýut basyşlary manometriň we wakuummetriň görkezýän basyşlary arkaly aňladalyň:

$$\begin{aligned} p_{\text{iter}} &= p_m + p_{\text{atm}}; \\ p_{\text{sor}} &= p_{\text{atm}} - p_w \end{aligned}$$

bu ýerde p_{atm} – atmosfera basyşy.

Bu aňlatmalary (3.11) deňlemede ýerine goýup, nasosyň basyş güýjüniň deňlemesini alarys:

$$H = \frac{p_m + p_w}{\rho \cdot g} + h. \quad (3.12)$$

Şeýlelikde, işläp duran nasosyň basyş güýji onda gurnalan *manometriň we wakuummetriň görkezmeleriniň (akdyrylýan suwuklyk sütüni m.-de aňladýlanda) we ol apparatlaryň gurnalan nokatlarynyň dikligine alnan aralygynyň jemi* ýaly kesgitlemek bolar.

Eger (3.9 a) deňlemäniň sag böleginden (3.8 a) deňlemäniň sag bölegini aýyrsak, nasosyň basyş güýjüniň başga aňlatmasyny getirip çykaryp bolar. Bu ýagdaýda aşakdaky deňlemäni alarys:

$$H = H_g + (p_2 - p_1)/\rho g + h_d, \quad (3.13)$$

bu ýerde $h_d = h_{t,\text{sor}} + h_{t,\text{iter}}$ – soruş we iteriş turba geçirijilerdäki doly gidrawliki garşylyk.

(3.13) deňlemä laýyklykda, nasos desgasynda nasosyň basyş güýji akdyrylýan suwuklygy geometriki beýiklige (H_g) götermäge, kabul edilýän göwrümiň we basyş güýjüni döredýän göwrümiň basyşlarynyň tapawudyny $((p_2 - p_1)/\rho g)$ hem-de soruş we iteriş turba geçirijilerdäki doly gidrawliki garşylyklary (h_d) ýeňip geçmäge sarp edilýär.

(3.13) deňlemeden tehnologiýa desgalary üçin gerek bolan nasoslary saýlananda peýdalanylýar.

Eger kabul edilýän göwrümiň we basyş güýjüni döredýän göwrümiň basyşlary birmeňzeş bolsa ($p_0 = p_2$), onda basyş güýjüniň deňlemesi aşakdaky görnüşe geler:

$$H = H_g + h_d \quad (3.14)$$

Suwuklyk keseleýin turba geçiriji boýunça akdyrylan şertinde ($H_g = 0$):

$$H = \frac{(p_2 - p_0)}{\rho g + h_d}. \quad (3.14 a)$$

Kabul edilýän göwrümiň we basyş güýjüni döredýän göwrümiň basyşlarynyň deň bolan ýagdaýynda keseleýin turba geçiriji üçin ($p_0 = p_2$ we $H_g = 0$) nasosyň güýji

$$H = h_d \quad (3.14 b)$$

3.5. Soruş beýikligi

Suwuklygyň nasos arkaly sorulyşy kabul edilýän göwürümdäki p_0 we nasosa sorulýan ýerdäki p_{sor} basyşlaryň tapawudynyň täsiri astynda ýa-da $p_0/\rho g - p_{\text{sor}}/\rho g$ basyş güýçleriň tapawudynyň täsiri astynda amala aşyrylýar. Soruş beýikligi (3.8) deňlemeden kesgitlenilip bilner:

$$H_{\text{sor}} = \frac{p_0}{\rho \cdot g} - \left(\frac{p_{\text{sor}}}{\rho \cdot g} + \frac{w_{\text{sor}}^2 - w_0^2}{2 \cdot g} + h_{\dot{y}, \text{sor}} \right). \quad (3.15)$$

Hakykatda kabul edilýän göwürümdäki tizlik $w_0 \approx 0$ bolýandygyny göz önüne tutup alarys:

$$H_{\text{sor}} = \frac{p_0}{\rho \cdot g} - \left(\frac{p_{\text{sor}}}{\rho \cdot g} + \frac{w_{\text{sor}}^2}{2 \cdot g} + h_{\dot{y}, \text{sor}} \right). \quad (3.16)$$

Şeýlelikde, nasosyň soruş beýikligi kabul edilýän göwürümde p_0 basyşyň artmagy bilen ulalýar we soruş turba geçiriji p_{sor} basyşyň, suwuklygyň w_{sor} tizliginiň we $h_{\dot{y}, \text{sor}}$ basyş güýjüniň ýitgisiniň ulalmaklary bilen kiçelýär.

Eger suwuklyk aýyk göwrümden sorulyp akdyrylýan bolsa, onda p_0 basyş atmosfera basyşyna p_{atm} deňdir. Nasosyň sorýan ýerindäki p_{sor} basyş sorulyp akdyrylýan suwuklygyň sorulandaky temperatura-synda doýgun buguň p_t basyşyndan uly bolmalydyr ($p_{sor} > p_t$), eger tersine bolan ýagdaýynda nasosda suwuklyk gaýnap başlar. Bu ýag-daýda suwuklykdan buguň we onda erän gazlaryň yzygiderli bölünip çykmagy netijesinde akymyň üznükli bolmagy we soruş beýikliginiň nola çenli kiçelmegi mümkin. Şeýlelikde,

$$H_{sor} \leq P_{atm}/\rho g - (P_t/\rho g + W_{sor}^2/2g + h_{y.sor}) \quad (3.17)$$

(3.17) deňlemenden görnüşi ýaly, soruş beýikligi atmosfera basyşyna p_{atm} , sorulyp akdyrylýan suwuklygyň hereket tizligine w_{sor} we dyklyzly-gyna ρ , onuň temperaturasyna t (degişlilikde – ondaky buglaryň basyşy-na) we soruş turba geçirijisiniň gidrawliki garşylygyna $h_{y.sor}$ baglydyr.

Suwuklygyň doýgun bugunyň basyşy onuň temperaturasynyň ýokarlanmagy bilen ulalýar we gaýnamak temperaturasynda daşarky (atmosfera) basyş bilen deňleşýär. Sorulyp akdyrylýan suwuklygyň temperaturasynyň ýokarlanmagy bilen nasosyň soruş beýikligi kiçel-ýär. (3.17) deňlemenden görnüşi ýaly, soruş şertlerinde, temperatura-sy gaýnama temperaturasyna ýakyn bolan suwuklyklar üçin soruş beýikligi nola deň bolmagy mümkin ($p_{atm}/\rho g = p_t/\rho g + w_{sor}^2/2g + h_{y.sor}$ bolanda $H_{sor} = 0$). Şonuň üçin gyzgyn suwuklyklar sorulyp akdyry-landa soruş tarapyndan käbir goşant bolar ýaly ýa-da kabul edilýän göwrümde artykmaç basyş dörär ýaly nasos kabul edilýän göwrümiň derejesinden aşakda gurnalýar. Şepbeşikligi ýokary bolan suwuklyk-lar hem edil şonuň ýaly sorulyp akdyrylýar.

Porşenli nasoslaryň soruş beýikligi hasaplananda soruş turba geçirijisindäki inersiýa güýjüni ýeňmek üçin ýitirilýän basyş güýjüniň ýitgisi hasaba alynmalydyr.

Bu ýitgiler porşenli nasoslaryň berşiniň deňölçegsizligi bilen düşündirilýär. Onuň netijesinde soruş turba geçirijisinde ýerleşýän we käbir üýtgeýän tizlenme bilen hereketlenýän suwuklyk sütünine su-wuklygyň hereket ugruna garşy ugrukdyrylan inersiýa güýji täsir edýär.

Nasoslaryň rugsat edilýän soruş beýikligine kawitasiýa hadysasy hem täsir edip biler.

Kawitasiýa merkezden daşlaşýan nasoslaryň işçi tigrileriniň ýokary tizlik bilen aýlanmagynda we nasosda ýerleşýän suwuklykda yzygiderli bug emele gelmegi bolup geçen ýagdaýynda ýüze çykýar. Bug düwmejikleri suwuklyk bilen bile has ýokary basyşly zolaga düşýär we göz ýumup açasy salymda kondensirlenýär. Suwuklyk şol kondensirlenen buguň ýerleşen zolagyna ymtylyp, ol zolagy doldurýar. Bu bolsa nasosda gidrawliki urgyny, gohy we sarsgyny ýüze çykarýar. Kawitasiýa gidrawliki urgynyň we bug emele gelýän döwürde korroziýanyň güýçlenmeginiň hasabyna nasosyň tiz zaýalanmagyna alyp barýar. Kawitasiýada nasoslaryň güýji we öndürijiligi çürt-kesik peselýär.

Hakykatda suw sorulyp akdyrylan şertinde nasoslaryň soruş beýikligi temperatura baglylykda aşakdaky bahalardan ýokary bolmaýar:

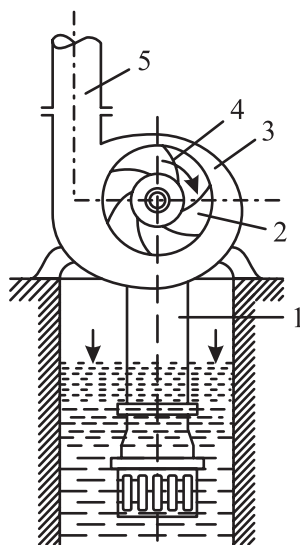
| | | | | | | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Temperatura, °C..... | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 65 |
| Soruş beýikligi, m..... | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

3.6. Merkezden daşlaşýan nasoslar

Nasoslaryň işleýiş düzgüni we görnüşleri. Merkezden daşlaşýan nasoslarda suwuklygy sormak we itermek deň ölçegde hem-de üznüksiz bolup geçýär. Ol spiral görmüşli korpusyň çäginde pilçeli işçi tigriň aýlanmagy netijesinde ýüze çykýan merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri astynda bolup geçýär.

Merkezden daşlaşýan nasoslar bir we köpbasgançakly bolýarlar. Bir basgançakly merkezden daşlaşýan nasosyň shemasyna seredeliň.

Bir basgançakly merkezden daşlaşýan nasosda (3.2-nji surat) suwuklyk sorujy turba geçirijiden (1) işçi tigriň (2) okunyň boýy boýunça nasosyň korpusyna (3) barýar we pilçelere (4) düşüp, aýlanma hereketine eýe bolýar. Merkezden daşlaşýan güýç şuwuklygy korpus bilen işçi tigriň arasyndaky üýtgeýän kesikli kanala zyňýar. Ol ýerde suwuklygyň tizligi iteriji turba geçirijidäki (5) tizlige deň baha çenli kiçelýär. Bu ýagdaýda, Bernulliniň deňlemesinden gelip çykyşy ýaly, suwuklyk akymynyň kinetik energiýasynyň statiki güýje öwrülmeği bolup geçýär. Ol bolsa suwuklygyň basyşynyň ýokarlanmagyny üpjün edýär. Tigre girelgede basyşyň pese düşmegi döredilýär we kabul edilýän göwrümden nasosa suwuklyk üznüksiz gelip durýar.



3.2-nji surat. Merkezden daşlaşýan nasosyň shemasy:

1 – sorujy turba geçiriji; 2 – işçi tigri; 3 – korpus;

4 – pilçeler; 5 – iteriji turba geçiriji

Merkezden daşlaşýan nasosda basyşyň ýokarlanmagy işçi tigriň aýlaw tizligine baglydyr. Korpus bilen işçi tigriň arasyndaky boşluk akdyrylýan suwuklykdan doly bolmalydyr. Nasosdan we sorujy turba geçirijiden suwuklyk dökülmez ýaly suwuklykdan doly sorujy turba geçirijiniň soňunda torly ters klapany gurnalýar (suratda görkezilmedik).

Bir basgançakly merkezden daşlaşýan nasoslaryň (bir işçi tigri bolan) güýji çäklendirilen we ol 50 m ýokary bolmaýar. Has ýokary güýji döretmek üçin umumy korpusyň içinde bir okda (walda) yzygider ýerleşdirilen birnäçe işçi tigri bolan köpbasgançakly merkezden daşlaşýan nasoslar ulanylýar. Köpbasgançakly nasosyň güýji takmynan bir tigriň güýjüniň ondaky tigriň sanyna köpeldilmegine deň diýip hasaplap bolar. Köpbasgançakly nasoslarda işçi tigriň sany, adatça, başden köp bolmaýar.

Merkezden daşlaşýan nasosyň teoretiki güýji H_t suwuklygyň tigre girýän ýerindäki we ondan çykýan ýerindäki güýçleriniň tapawudyna deňdir:

$$H_t = H_2 - H_1 = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g}, \quad (3.18)$$

bu ýerde: H_1 – suwuklygyň aýlanýan tigre giren ýerindäki güýji; H_2 – suwuklygyň aýlanýan tigiden çykan ýerindäki güýji; c_1 – suwuklygyň işçi tigre girýän ýerindäki absolýut tizlik; c_2 – suwuklygyň aýlanýan tigiden çykan ýerindäki tizlik.

Bernulliniň deňlemesine laýyklykda, suwuklygyň aýlanýan tigre giren ýerindäki H_1 we aýlanýan tigiden çykan ýerindäki H_2 güýji:

$$H_1 = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{c_1^2}{2g}; \quad H_2 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{c_2^2}{2g}.$$

Merkezden daşlaşýan nasosyň hakyky güýji teoretiki güýçden kiçidir. Onuň sebäbi suwuklygyň energiýasynyň bir bölegi nasosyň içindäki gidrawliki garşylygy ýeňip geçmäge sarp edilýär we ol ýerdäki pilçeleriň ahyrky sanynda suwuklyk meňzeş traýektoriyalar boýunça hereket etmeýär. Hakyky güýjüň deňlemesi aşadaky görnüşde ýazylýar:

$$H_h = H \eta_g \varepsilon, \quad (3.19)$$

bu ýerde: $\eta_g = 0,8 \div 0,95$ -e deň bolan, nasosyň gidrawliki p.t.k.-sy; $\varepsilon = 0,6 \div 0,8$ -e deň bolan, nasosdaky pilçeleriň ahyrky sanyny hasaba alýan koeffisiýenti.

Merkezden daşlaşýan nasosda ýüze çykýan ep-esli ýitgi güýji nasosyň umumy p.t.k.-synyň kiçelmegine getirýär.

Merkezden daşlaşýan nasosyň öndürjiligi Q işçi tigrin pilçeleriniň arasynda b_1 we b_2 ini bolan kanaldan geçýän suwuklygyň akym mukdary bilen gabat gelýär:

$$Q = b_1 \cdot (\pi D_1 - \delta z) c_{1r} \cdot r = b_2 \cdot (\pi D_2 - \delta z) c_{2r} \cdot r, \quad (3.20)$$

bu ýerde: b_1 we b_2 deňişlilikde içki we daşky gurşawlardaky işçi tigrin pilçeleriniň arasyndaky ini; δ – pilçeleriň galyňlygy; z – pilçeleriň sany; c_{1r} we c_{2r} – işçi tigre girýän we ondan çykýan ýerinde absolýut tizligiň radial düzüjisi ($c_{1r} = c_1$); D_1 we D_2 işçi tigrin içki we daşky diametrleri.

Gidrawliki ýitgileri azaltmak üçin suwuklygyň işçi tigre girýän ýerindäki c_{1r} tizligini sorujy turba geçirijidäki suwuklygyň tizligine deň kabul edilýär.

Proporsionallyk kanunlary. Merkezden daşlaşýan nasosyň öndürijiligi we güýji işçi tigrin aýlaw sanyna baglydyr. Ýokardaky (3.20) deňlemiden görnüşi ýaly, nasosyň öndürijiligi işçi tigiden çykýan ýerinde absolýut tizligiň radial düzüjisine göni proporsionaldyr, ýagny $Q \sim c_2$. Eger nasosyň öndürijiligini Q_1 -den Q_2 -ä çenli üýtgetmäge getirýän nasosyň aýlaw sanyny n_1 -den n_2 -ä çenli üýtgetsek, onda suwuklyk bölejiginiň hereket traýektoriyasynyň meňzeşliginiň saklanmak şertine görä, akymyň islendik başlangyç nokadyndaky tizlikleriň parallelogramy geometriki meňzeş bolarlar. Degişlilikde:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}. \quad (3.21)$$

Merkezden daşlaşýan nasosyň güýji aýlanma tizliginiň kwadrata proporsionaldyr:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2. \quad (3.22)$$

Nasos tarapyndan sarp edilýän kuwwat, nasosyň öndürijiliginiň Q_1 onuň güýjüne H köpeltmek hasylyna proporsionaldyr.

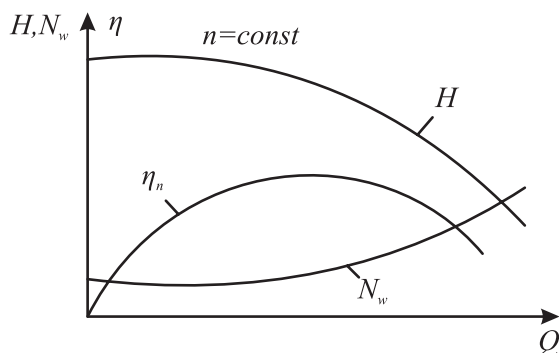
Ýokardaky (3.21) we (3.22) deňlemelerdäki baglanyşyklary göz önünde tutup, alarys:

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3. \quad (3.23)$$

Ýokardaky (3.21)-(3.23) deňlemelere merkezden daşlaşýan nasosyň proporsionallyk kanunlary diýilýär. Bu deňlemelere laýyklykda, nasosyň işçi tigriniň aýlaw sanynyň n_1 -den n_2 -ä çenli üýtgemegi nasosyň öndürijiliginiň aýlaw sanyna, güýjüň beýikliginiň ikinji derejedäki aýlaw sanyna, kuwwaty bolsa üçünji derejedäki aýlaw sanyna proporsionallykda üýtgemegine getirýär.

Amalyýetde nasosyň ululyklarynyň arasynda şular ýaly pugta baglanyşyklar bolmaýar. Proporsionallyk kanuny tigrin aýlaw sanynyň iki esseden köp bolmadyk üýtgemesinde berjaý bolýar.

Nasoslaryň häsiýetnamalary. Nasosyň işçi tigriniň hemişelik n aýlaw sanynda nasosyň H güýjüniň, walyna düşýän N_w kuwwatynyň we nasosyň η_n p.t.k.-synyň onuň Q öndürililigine bolan çyzykly baglanyşygyna nasosyň häsiýetnamasy diýilýär (3.3-nji surat). Bu baglanyşyklar merkezden daşlaşýan nasoslarda barlag geçirilende, iteriji turba geçirijide gurnalan zadwižkanyň açyklyk derejesini üýtgedilip alynýar, olar nasoslaryň kataloglarynda görkezilýär.



3.3-nji surat. Merkezden daşlaşýan nasosyň häsiýetnamasy

3.3-nji suratdan görnüşi ýaly, haçan-da $n = \text{const}$ bolanda öndürililigiň ulalmagy bilen nasosyň güýji azalýar, sarp edilýän kuwwat bolsa artýar, emma onuň p.t.k.-sy bolsa maksimum bahanyň üstünden geçýär we azalyp başlaýar. $H-Q$ egri çyzygyň uly bolmadyk başlangyç kesimi, ýagny öndürililigiň ulalmagy bilen nasosyň güýjüniň azkem artýan ýeri nasosyň durnuklaşmadyk başlangyç iş ýagdaýyna gabat gelýär.

Haçan-da güýç zadwižkasynyň ýapyk ýagdaýynda nasos iň az kuwwaty sarp edýär (haçan-da $Q = 0$ bolanda). Merkezden daşlaşýan nasosyň berlen aýlaw sanynda iň ýokary gowy ýakymly ulanylyş kadasy $\eta_n - Q$ egri çyzygynyň maksimum bahasyna gabat gelýär.

Torda (setde) nasoslaryň işleýşi. Nasos saýlanylyp alnanda toruň (setiň), ýagny üstünden suwuklyk akdyrylýan turba geçirijiniň we ondaky apparatlaryň häsiýetnamasyny hasaba almak zerurdyr.

Toruň häsiýetnamasy berlen tor boýunça suwuklygy akdyrmak üçin zerur bolan Q suwuklygyň akym mukdary bilen H güýjüň arasyndaky baglanyşygy aňladýar. H güýji edil berlişin H_g geometriki

beýikliginiň we h_y güýç ýitgisiniň jemi ýaly kesgitläp bolar. Suwuklygyň akym mukdarynyň (2.25) deňlemesinden w tizligiň bahasyny h_y umumy güýç ýitgisiniň deňlemesine goýup we V_{sek} aňlatmany Q arkaly belgiläp, güýç ýitgisiniň suwuklygyň akym mukdarynyň kwadraty-na proporsionaldygyny alarys:

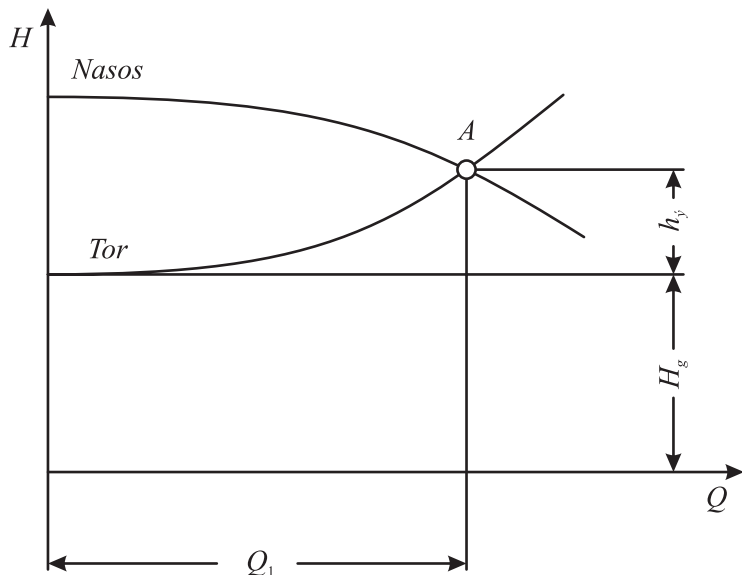
$$h_y = kQ^2,$$

bu ýerde k – proporsionallyk koeffisiýenti.

Onda toruň häsiýetnamasy parabolanyň deňlemesi görnüşindäki baglanyşyk ýaly aňladylar:

$$H = H_g + kQ^2.$$

Toruň we nasosyň häsiýetnamalarynyň bileleşmesi 3.4-nji suratda görkezilýär.



3.4-nji surat. Nasosyň we toruň häsiýetnamalarynyň bileleşmesi

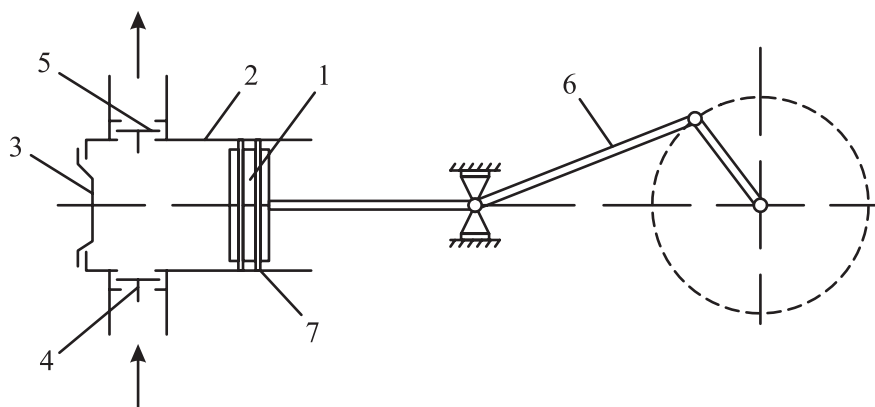
Bu häsiýetnamalarynyň kesişýän A nokadyna işçi nokat diýilýär, ol berlen torda işleýän nasosyň iň ýokary Q_1 öndürilijiligine jogap berýär. Eger has ýokary öndürililik talap edilýän bolsa, onda

ýa-ha elektro hereketlendirijiniň aýlaw sanyny ulaltmaly, ýa-da berlen nasosy uly öndürijilikli nasos bilen çalşylmaly. Öndürijiligi ýokarlandyrmaklygy toruň h_y gidrawliki garşylygyny azaltmak ýoly bilen hem amala aşyryp bolar. Bu ýagdaýda işçi nokat nasosyň häsiýetnamasy boýunça saga süýşer.

Nasos saýlananda onuň işçi nokady hökmany suratda iň ýokary p.t.k.-da talap edilýän öndürijilige we güýje laýyk gelmelidir.

3.7. Porşenli nasoslar

Nasoslaryň iş düzgünleri we görnüşleri. Porşenli nasoslarda suwuklygyň sorulmasy we iterilmesi nasosyň silindrindäki (2) porşeniň (1) yza-öňe gaýtalanýan hereketi netijesinde bolup geçýär (3.5-nji surat).



3.5-nji surat. Ýönekeý täsirli kese (gorizontal) porşenli nasosyň shemasy:

1 – porşen; 2 – silindr; 3 – silindriň gapagy; 4 – sorujy klapany; 5 – iteriji klapany;
6 – kriwoşip-şatun mehanizmi; 7 – jebislendiriji halka

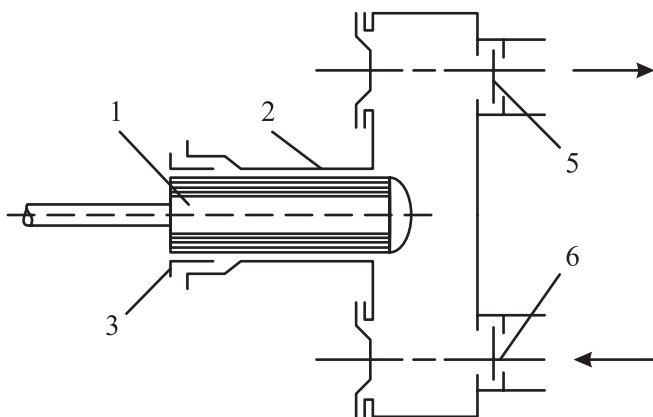
Porşen saga hereket edende silindriň gapagy (3) bilen silindriň arasyndaky ýapyk giňşlikde soruş ýüze çykýar. Basyşlaryň tapawudynyň täsiri netijesinde kabul ediji göwrümde we silindrde suwuklyk sorujy turba geçiriji boýunça göterilýär we şol pursatda açylýan sorujy klapanyň (4) üsti bilen silindre barýar. Porşen saga hereket edende iteriji klapany (5) ýapylýar, şol pursatda oňa iteriji turba geçirijidäki suwuklygyň basyş güýji hem täsir edýär. Porşen çepes

hereket edende silindrde basyş emele gelyär, onuň täsirinde bolsa klapanyň (4) ýapylýar we klapanyň (5) açylýar. Suwuklyk iteriji klapanyň üsti bilen güýçli turba geçirijä we soňra güýçli sygyma barýar. Şeýlelikde, ýönekeý usulda işleýän porşenli nasoslarda suwuklygyň sorulmasy we iterilmesi deňölçeýsiz bolup geçýär: sorulma-porşen çepden saga hereket edende, iterilme bolsa porşen ters ugra hereket edende amala aşýar. Şeýle ýagdaýda porşeniň iki hereketinde suwuklyk bir gezek sorulýar we bir gezek iterilýär. Nasosyň porşeni porşeniň yza-öňe gaýtalanýan hereketi netijesinde walyň aýlanma hereketini göni herekete öwürýän kriwoşip-şatun mehanizminiň (6) üsti bilen herekete gelyär.

Porşenli nasoslar kriwoşip-şatunyň bir aýlawynda ýa-da porşeniň iki hereketinde amala aşyrylýan sorulma we iterilme sanyna görä ýönekeý we ikeldilen täsirli nasoslara bölünýär. Nasoslar porşeniň konstruksiýasyna baglylykda, hususan-da, porşenli we plunžerli diýlip tapawutlandyrylýar.

Porşenli nasoslarda esasy işçi organ silindriň içki aýna ýaly üstüne ýylmanylyp ýerleşdirilen jebislendiriji halkalar (7) bilen üpjün edilen porşen (1) bolup durýar (3.5-nji surat). Plunžerli nasoslarda jebislendiriji halkalar bolmaýar we uzynlygynyň diametrine bolan gatnaşygynyň has ululygy bilen porşenden tapawutlanýar.

3.6-njy suratda ýönekeý täsirli plunžerli gapdal (gorizontal) nasos görkezilen.



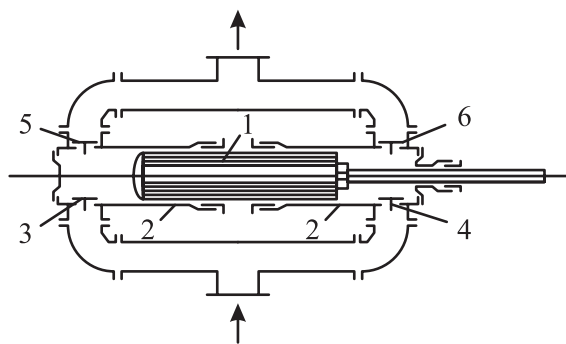
3.6-njy surat. Ýönekeý täsirli gapdal (gorizontal) plunžerli nasosyň shemasy:

1 – plunžer; 2 – silindr; 3 – salnik; 4 – sorujy klapany; 5 – iteriji klapany

Olarda porşeniň borjuny silindrde (2) yza-öňe hereket edýän plunžer (1) ýerine ýetirýär. Plunžer salnigiň (3) kömegi bilen jebislendirilýär. Plunžerli nasoslaryň silindriň içki üsti timarlananda porşenli nasoslaryňky ýaly has sünnälemegi talap etmeýär, jebislendirmek bolsa nasosy sökmezden salnigini çekdirmek ýa-da daňysyny çalyşmak ýoly bilen bejerilýär. Plunžerli nasoslar şepbeşikligi ýokary bolan we hapalanan suwuklyklary akdyrmak üçin, şeýle hem has ýokary basyş döretmek üçin ulanylýar.

Himiýa senagatynda plunžerli nasoslar porşenli nasoslara garanyňda has giňden ýaýrandyr.

Ýönekeý täsirli nasoslara garanyňda ikeldilen täsirli porşenli we plunžerli nasoslar suwuklyk akymyny deňölçegli bermek häsiýetine eýedir. Ikeldilen täsirli plunžerli gorizontel nasoslara edil, iki sany ýönekeý täsirli nasosyň birikdirilmesi ýaly seredip bolar (3.7-nji surat). Olarda dört sany: iki sorujy we iki iteriji klapa bolýar.



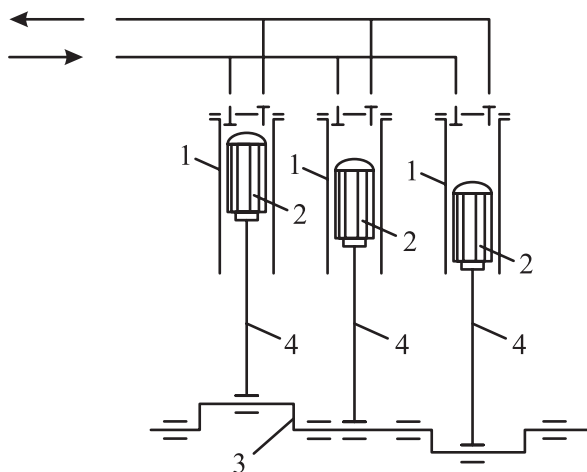
3.7-nji surat. Ikeldilen täsirli gorizontel gapdal plunžerli nasosyň shemasy:

1 – plunžer; 2 – silindrlar; 3, 4 – sorujy klapanlar; 5, 6 – iteriji klapanlar

Plunžeriň (1) saga bolan hereketinde suwuklyk silindriň (2) çep bölegine sorujy klapanyň (3) üsti bilen sorulýar we şol bir wagtda silindriň sag böleginden iteriji klapanyň (6) üsti bilen güýç turba geçirijisine baryp girýär; porşeniň yzyna bolan hereketinde bolsa soruş silindriň sag böleginde sorujy klapanyň (4) üsti bilen, iteriş bolsa silindriň çep bölegine klapanyň (5) üsti bilen amala aşýar.

Şeýlelikde, ikeldilen täsirli nasoslarda soruş we iteriş porşeniň her hereketinde bolup geçýär. Şonuň üçin bolsa şeýle görnüşli nasoslarda ýönekeý täsirli nasoslara garanyňda öndürijilik ýokary we beriş deňölçeqli bolýar.

Ýene has deňölçeqli üçeldilen täsirli nasosyň, ýa-da tripleks – nasosyň berşi hasaplanýar (3.8-nji surat). Tripleks-nasoslary ýönekeý täsirli nasoslardan düzülen görnüşlidir. Tripleks-nasosynyň umumy berijiligi ýönekeý täsirli nasoslaryň berijiliginden jemlenýär, bu ýagdaýda kolençat walyň bir aýlawynda suwuklyk üç sapar sorulýar we üç sapar iterilýär.



3.8-nji surat. Üçeldilen täsirli nasosyň shemasy (tripleks-nasosy):

1 – silindrler; 2 – plunžerler; 3 – kolençat wal; 4 – şatun

Kriwoşipiň aýlaw sany boýunça ýuwaş gidýän ($n = 45-60 \text{ min}^{-1}$), kadaly ($n = 60-120 \text{ min}^{-1}$) we tiz gidýän ($n = 120-180 \text{ min}^{-1}$) porşenli nasoslara bölünýär.

Porşenli nasoslaryň öndürijiligi. Porşenli nasoslarda suwuklyk sorulan ýagdaýynda suwuklyk silindriň içindäki porşeniň boşadýan göwrümini eýeleýär. Şol göwrümi iteriş pursatynda bolsa suwuklyk porşen bilen iteriji turba geçirijä gysylýp berilýär. Şeýlelikde, porşenli nasoslaryň teoretiki öndürijiligi (ýitgisiz suwuklykda) porşeniň wagt birliginde emele getiren göwrümi bilen kesgitlenýär.

Ýönekeý täsirli porşenli nasosda porşeniň wagt birligindäki emele getirýän göwrümi porşeniň kese kesiginiň F meýdanynyň, porşeniň hereket edende geçýän ýolunyň S uzynlygyna we kriwoşip-şatun mehanizminiň aýlawlarynyň n sanyna köpeldilmegine deňdir. Şeýlelikde, ýönekeý täsirli nasosyň nazary teoretiki öndürijiligi (Q_n m³/sek):

$$Q_n = FSn, \quad (3.24)$$

bu ýerde: F – porşeniň kese kesiginiň meýdany; S – porşeniň hereket edende geçýän ýolunyň uzynlygy; n – kriwoşip-şatun mehanizminiň aýlawlarynyň sany, sek⁻¹.

Ikeldilen täsirli nasosda porşeniň iki hereketinde ýa-da kriwoşipiň bir aýlawynda iki gezek soruş we iki gezek iteriş bolup geçýär. Porşeniň saga bolan hereketinde (3.7-nji surata seret) çep tarapdan FS -e deň bolan suwuklyk göwrümi sorulýar, sagdan bolsa $(F - f)$ S -e deň bolan göwrüm iterilýär. Bu ýerde f -ştoğuň kese kesiginiň meýdany. Porşeniň çep bolan hereketinde çep tarapdan iteriş turba geçirijä FS göwrüm iterilýär, sagdan bolsa sorujy turba geçirijiden $(F - f)$ S m³ suwuklyk sorulýar.

Şeýlelikde, kriwoşipiň n aýlawynda ýa-da porşeniň ikeldilen hereketinde ikeldilen täsirli nasosyň nazary öndürijiligini aşakdaky ýaly ýazmak bolar:

$$Q_n = FSn + (F - f)Sn = (2F - f)Sn. \quad (3.25)$$

Soňky (3.25) aňlatmadan görnüşi ýaly, eger ştoğuň ($f \ll F$) iterýän suwuklyk göwrümi hasaba alynmasa, onda ikeldilen täsirli nasosyň öndürijiligi ýönekeý täsirli nasosyň öndürijiliginden iki esse ýokary bolar.

Porşenli nasoslaryň hakyky öndürijiligi turba geçirijileriň birikdirilýän ýerleriniň we klapalaryň, salnikleriň jebis bolmanlygy üçin suwuklygyň akmagy, şeýle hem suwuklygyň basyşynyň atmosfera basyşyndan pes bolan ýagdaýynda ondaky ergin howanyň bölünip çykmagy zerarly nazary öndürijilikden pes bolýar. Nasosyň nädogry konstruksiýasynda silindrde nasosyň suwuklyk berijiligini peseldýän howa “haltalarynyň” döremegine getirmegi mümkin. Bu

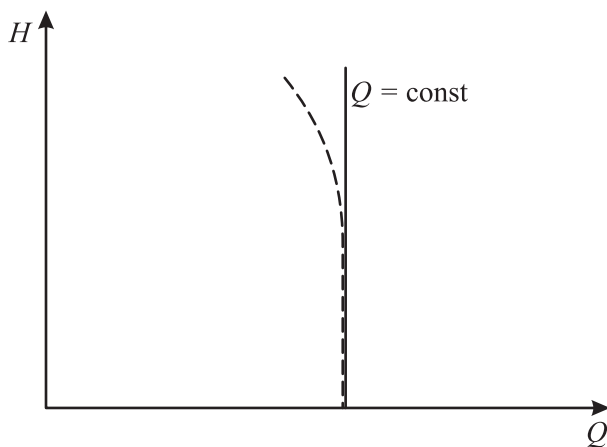
ýitgileriň hemmesi berijilik koeffisiýenti, ýa-da göwrümlü p.t.k. η_v bilen hasaba alynýar.

Nasosyň hakyky öndürijiligi:

$$Q = Q_n \eta_v. \quad (3.26)$$

Kämil uly nasoslarda berijilik koeffisiýenti 0,97–0,99; ortaça öndürijiligi bolan nasoslar üçin ($Q = 20\text{--}300 \text{ m}^3/\text{s}$) $\eta_v = 0,9\text{--}0,95$; pes öndürijiligi bolan nasoslar üçin 0,85–0,9-a ýetýär.

Nasoslaryň häsiýetnamalary. Porşenli nasosyň H güýji bilen Q öndürijiliginiň arasyndaky baglanyşyk dik göni çyzyk bilen şekillendirilýär (3.9-njy surat). Bu häsiýetnama *porşenli nasosyň öndürijiliginiň güýje bagly bolmadyk hemişelik ululykdygyny* görkezýär. Hakykatda, apparatlaryň jebis bolmanlygy sebäpli, basyşyň ýokarlanmagy bilen artýan suwuklyk ýitgisiniň ulalmagy netijesinde hakyky (real) häsiýetnama (3.9-njy suratda *üzük çyzyk bilen şekillendirilen*) nazary häsiýetnama bilen gabat gelmeýär. Basyşyň ýokarlanmagy bilen porşenli nasosyň hakyky öndürijiligi ep-esli kiçelýär.



3.9-njy surat. Porşenli nasosyň häsiýetnamasy

Suratdan görnüşi ýaly, porşenli nasosyň öndürijiligi güýje bagly bolmadyk hemişelik ululykdyr.

IV BÖLÜM

GAZLARYŇ AKDYRYLMAGY WE GYSYLMAGY (KOMPRESSOR MAŞYNLARY)

4.1. Umumy maglumat

Himiýa senagatynyň kärhanalarynda gazlaryň we olaryň garyndylarynyň köp mukdary gaýtadan işlemeklige berilýär. Köp himiki prosesleriň gaz fazasynda we atmosfera basyşyndan tapawutlanýan basyşda geçirilmegi olaryň tizlikleriniň ulalmagyna we reaksiýa geçýän apparatlaryň gerek bolan göwrüminiň kiçelmegine alyp barýar. Gazlaryň gysylmagy olaryň turba geçirijiler we apparatlar boýunça akdyrylmagy, wakuum döretmek üçin ulanylýar. Gysylan gazlar suwuklyklary garyşdyrmak, tozan görnüşinde pürkmek we ş.m. üçin peýdalanylýar. Himiýa önümçiliginde ulanylýan basyşlaryň çägi giň çäkke oýnaýar – 10^{-3} den 10^8 n/m² (10^{-8} – 10^3 at).

Gazlary akdyrmak we gysmak üçin niýetlenen maşynlara kompressor maşynlary diýilýär.

Kompressor maşynlaryň döredýän ahyrky p_2 basyşynyň gazyň sorulmasy bolýan ýerindäki başlangyç p_1 basyşyna bolan gatnaşygy-na gysylma derejesi diýilýär.

Gysylma derejesine baglylykda kompressor maşynlary aşakdaky görnüşler bilen tapawutlanýarlar:

- 1) wentilýatorlar ($p_2/p_1 < 1,1$) uly mukdardaky gazlary akdyrmak üçin;
- 2) gaz üfleýjiler ($1,1 < p_2/p_1 < 3,0$) deňeşdirilende ýokary garşylygy bolan gaz geçiriji torlarda gazlary akdyrmak üçin;
- 3) kompressorlar ($p_2/p_1 > 3,0$) ýokary basyşlary döretmek üçin;
- 4) wakuum nasoslary atmosfera basyşyndan pes basyşly gazlary sordurmak üçin.

Işleýiş düzgünleri boýunça kompressor maşynlary porşenli, rotorly, merkezden daşlaşýan, okly görnüşlere bölünýärler.

Porşenli maşynlarda gazyň gysylmasy porşeniň yzyna gaýdýan göni hereketinde gazyň çäklendirilen göwrüminiň kiçelmegi netijesinde bolup geçýär.

Gazyň gysylmasy rotorly maşynlarda eksmerkezleşip ýerleşdirilen rotor aýlananda gazyň çäklendirilen göwrüminiň kiçelmegi netijesinde bolup geçýär.

Merkezden daşlaşýan maşynlarda energiýa işçi tigrin pilçeleriniň güýçli täsir etmeginde gaz akymyna geçirilýär, şonuň netijesinde bolsa gazyň gysylmagy we kinetiki energiýasynyň artmagy bolup geçýär. Bu energiýa maşynyň hereketlenmeýän elementlerinde basyşa öwürülýär.

Okly maşynlarda gaz işçi tigrin we ugrukdyryjy aparatyň okunyň uzaboýuna onuň hereketi esasynda gysylýar.

Wakuum-nasoslary hökmünde islendik kompressor maşynlaryny ulanmak mümkindir. Wakuum nasoslarynyň beýleki görnüşli kompressor maşynlaryndan esasy aýratynlygy olarda sorma prosesi atmosfera basyşyndan has pes basyşda, iterme prosesi bolsa atmosfera basyşyndan birnäçe esse ýokary basyşlarda amala aşýar.

Himiýa senagatynda çüwdürim kompressorlary we wakuum nasoslary hem ulanylýar.

4.2. Gaz halynyň deňlemesi

Real gazlaryň gysylmasy onuň göwrüminiň, basyşynyň we temperaturasynyň üýtgetmegi bilen bolup geçýär. Bu parametrleriň özara gatnaşyklary 10^6 n/m^2 ($\sim 10 \text{ atm}$)-dan ýokary bolmadyk basyşda hyýaly gazlaryň hal-ýagdaý deňlemesi bilen häsiýetlendirilýär.

10^6 n/m^2 ($p > 10 \text{ atm}$)-dan ýokary bolan basyşlarda Wan-der-Waalsyň deňlemesini ýa-da gazyň ýokary basyşlardaky göwrüminiň, basyşynyň we temperaturasynyň arasyndaky baglanyşygy has takyk beýan edýän beýleki deňlemeleri ulanmak maslahat berilýär. Ol deňlemäni ýa-da Wan-der-Waalsyň deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$\left(P + \frac{a}{v^2} \right) \cdot (v - b) = RT, \quad (4.1)$$

bu ýerde: p – gazyň basyşy, n/m^2 ; v – gazyň udel göwrümi, m^3/kg ; $R = 8314/M$ – gaz hemişeligi, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{grad})$; M – 1 kmol massa, kg/kmol ; T – temperatura, $^\circ\text{K}$; a, b – berlen gaz üçin hemişelik ululyklar.

Haçan-da sorag-jogap edebiýatynda a we b hemişelik ululyklar berilmedik bolsa, onda olar gazyň kritiki parametrleri bilen, ýagny kritiki temperaturasy T_{kr} we basyşy p_{kr} bilen kesgitlenilýär:

$$a = \frac{27R^2T_{kr}^2}{64p_{kr}}; \quad b = \frac{RT_{kr}}{8p_{kr}}.$$

Emma amaly hasaplamalar üçin temperatura-entropiýanyň termodinamiki diagrammasy ýa-da tejribeleriň esasynda gurulýan T - S diagrammasy has amatly we ynamly hasaplanýar.

Gazlaryň gysylma proses. Gazyň gysylmasynda onuň ahyrky eýe bolýan basyşy onuň daşky gurşaw bilen ýylylyk çalyşma şertine baglydyr. Gysylmanyň nazary taýdan iki sany çäklendiriji ýagdaýy bolup bilýär:

1) gaz gysylanda bölünip çykýan ýylylygyň hemmesi dolulygyna aýrylýar we gazyň temperaturasy bolsa gysylanda üýtgemän galýar – izotermiki proses;

2) gazyň daşky gurşaw bilen ýylylyk çalyşmasy asla bolmaýar, gaz gysylanda bölünip çykýan ýylylygyň hemmesi gazyň içki energiýasynyň ulalmagyna sarp edilýär, bu adiabatiki prosesdir.

Hakykatdan hem gaz gysylanda belli bir derejede ýokarky nazary proseslere golaý bolýar. Gaz gysylanda onuň göwrüminiň we basyşynyň üýtgemegi bilen bilelikde temperaturasynyň üýtgemegi we şol bir wagtyň özünde bölünip çykýan ýylylygyň bir bölegi daşky gurşawa çykarylýar. Gysylmanyň şeýle prosesine politropik proses diýilýär.

Sarp edilýän kuwwat. Kompressoryň gazy gysmak üçin sarp edýän nazary kuwwaty N_n , (Wt) kompessoryň öndürjiligin $V\rho$ (kg/sek) gazyň gysylmasynyň udel işine l (J/kg) köpeldilmegi bilen kesgitlenilýär:

$$N_t = V\rho l, \quad (4.2)$$

bu ýerde: V – kompessoryň göwrümleýin öndürjiligi, m^3/sek , $\rho = 1/v$ – gazyň dykzlygy, kg/m^3 , v – gazyň udel göwrümi, m^3/kg .

Kompessoryň walynyň kuwwaty N_w , kompressordaky mehaniki sürtülmede ýitirilýän kuwwaty häsiýetlendirýän, gazy gysmak üçin sarp edilýän N kuwwatyň mehaniki η_{meh} p.t.k.-ä bölünmegine deň bolan ululykdyr we ony aşakdaky deňlemäni ulanyp kesgitläp bolar:

$$N_w = \frac{N}{\eta_{meh}}, \quad (4.3)$$

bu ýerde: N – gazy gysmak üçin sarp edilýän kuwwat, η_{meh} – kompressoryň mehaniki p.t.k.-sy, ol kuwwatyň ýitgisini häsiýetlendirýär we onuň bahasy 0,85-0,95 çäklerinde kabul edilýär.

Kompressoryň hereketlendirijisiniň kuwwaty N_{her} , hereketlendirijiniň özünde we geçirilişinde kuwwat ýitgileriniň bolýandygy sebäpli kompressoryň walynyň kuwwatyndan uludyr. Bu ýitgilere kompressoryň geçirilişiniň p.t.k.-sy $\eta_{geç}$ we hereketlendirijiniň p.t.k.-sy η_{her} bilen baha berilýär:

$$N_{her} = \frac{N_w}{\eta_{geç} \cdot \eta_{her}}, \quad (4.4)$$

bu ýerde: $\eta_{geç}$, η_{her} – kompressoryň geçirilişiniň we hereketlendirijisiniň p.t.k.-sy.

Hereketlendirijiniň gurnalýan kuwwaty N_{gur} adatça, hereketlendirijiniň kuwwatyndan 10-15% ätiýaçlygy bilen ýokary kabul edilýär:

$$N_{gur} = (1,1 - 1,15) N_{her} \quad (4.5)$$

4.3. Porşenli kompressorlar

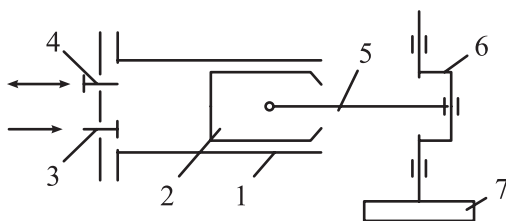
Kompressorlaryň görnüşleri. Porşenli kompressorlar porşeniň bir ikeldilen hereketinde gazlary soruşynyň we iterişiniň sanlary boýunça ýönekeý (ýekeleýin) we ikeldilen täsirli kompressorlara bölünýärler. Ýönekeý täsirli kompressorlarda porşeniň bir ikeldilen hereketinde bir soruş we bir iteriş prosesi bolup geçýär, ikeldilen täsirli kompressorlarda bolsa iki soruş we iki iteriş prosesi bolup geçýär.

Gysylma basgançagy diýip kompressor maşynynda gazyň ahyrky ýa-da aralyk (indiki basgançaga girmezinden öňki) basyşa çenli gysylmasy bolup geçýän bölegine aýdylýar.

Porşenli kompressorlar basgançak sany boýunça bir basgançakly we köpbasgançakly diýlip iki topara bölünýärler. Olar hem öz gezeğinde dik we kese görnüşlerde bolup bilerler.

Bir basgançakly gysylma. Bir basgançakly kompressorda gaz ahyrky basyşa çenli parallel işleýän bir ýa-da birnäçe silindrlerde gysylýar. Soňky ýagdaýdaky bir basgançakly kompressorlara köp silindrli diýlip aýdylýar.

Ýönekeý täsirli bir basgançakly kese kompressorlarda (4.1-nji surat) porşen halkalary bilen jebislendirijisi bolan, içinde porşen (2) hereket edýän silindr (1) bar. Silindriň bir tarapy sorujy klapany (3) we iteriji klapany (4) ýerleşdirilen gapak bilen ýapylan. Porşen şatun (5) we kriwoşip (6) bilen bilelikde mahowik (7) gurnalana birikdirilen.



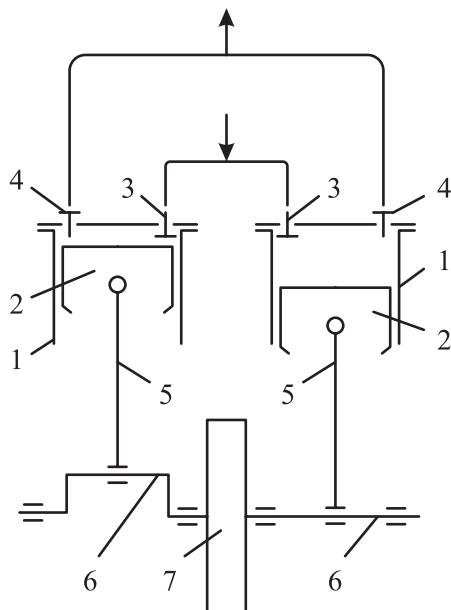
4.1-nji surat. Bir silindrli ýönekeý täsirli, bir basgançakly porşenli kompressoryň shemasy:

1 – silindr; 2 – porşen; 3 – sorujy klapany; 4 – iteriji klapany;
5 – şatun; 6 – kriwoşip; 7 – mahowik

Porşeniň çepden saga bolan hereketinde silindriň gapagy bilen porşeniň arasyndaky giňişlikde dartış emele gelýär. Soruş kanalynyň we silindrdäki basyşlaryň tapawudynyň täsiri netijesinde klapany (3) açylýar we gaz silindre girýär. Porşeniň sagdan çepä bolan hereketinde sorujy klapany ýapylýar, silindrdäki ýerleşýän gaz porşen bilen käbir basyşa çenli gysylýar, şol ýagdaýda klapany (4) açylýar we gaz iteriji turba geçirijä tarap iteklenýär. Soňra aýlaw täzeden gaýtalanýar.

Ikeldilen täsirli bir basgançakly kompressorlarda (4.2-nji surat) silindrdäki (1) gaz porşeniň (2) iki tarapy boýunça gezekli-gezegine gysylýar. Porşeniň ikileýin hereketiniň bir gezeginde iki gezek soruş we iki gezek iteriş bolup geçýär. Silindr iki sany sorujy klapany (3) we iki sany iteriji klapany (4) bilen üpjün edilýän. Ikeldilen täsirli kompressorlar has çylşyrymly gurluşa eýedir, ýöne edil özleri ýaly daşky ga-bara ölçegleri we agramlary boýunça deň bolan ýönekeý täsirli kompressorlara görä öndürilijiliği takmynan iki essä golaý ýokary bolýar.

Öndürijiligi yönekeý ýa-da ikeldilen täsirli köpsilindrlı kompressorlarda hem ýokarlandyrmak bolýar.



4.2-nji surat. Ikeldilen täsirli bir silindrlı, bir basgançakly porşenli kompressoryň shemasy:

*1 – silindr; 2 – porşen; 3 – soruşy klapan; 4 – iteriji klapan;
5 – şatun; 6 – kriwoşip; 7 – mahowik*

Köpbasgançakly gysylma gazyň ýokary basyşyny almak üçin ulanylýar. Ol proses köpbasgançakly kompressorlarda ýerine ýetirilýär. Şonda gaz yzygiderli birnäçe basgançakdan basgançaga baryp, kem-kemden ahyrky basyşa çenli gysylýar.

Himiýa senagatynda porşenli we merkezden daşlaşýan kompressor maşynlary giňden ulanylýar.

Öndürijilik. Porşenli kompressorlar üçin öndürijilik wagt birliginde iterme turba geçirijisine berilýän we soruş şertine getirilen gazyň göwrümi V bilen kesgitlenilýär.

Kompressoryň nazary öndürijiligi Q_n , porşeniň wagt birliginde şekillendirýän V_p göwrümine deňdir we ony porşenli nasoslar üçin ulanylýan (3.24) we (3.25) deňlemeler boýunça hasaplamak bolar.

Kompressoryň hakyky öndürijiligini aşakdaky deňleme boýunça kesgitlemek bolar:

$$V = \lambda_v Q_n = \lambda_v V_p, \quad (4.6)$$

bu ýerde: λ_v – göwrüm berijilik koeffisiýenti; Q_n – nazary öndürjilik; V_p – porşeniň emele getirýän göwrümi.

Köpsilindrli kompressorlaryň öndürjiligini kesgitlemek üçin (4.6) deňleme boýunça tapylan öndürjiligi silindrleriň i – sanyna köpeltmek ýeterlik bolar.

Köpbasgançakly kompressorlaryň öndürjiligi birinji basgançagyň öndürjiligi bilen kesgitlenýär. Bu ýagdaýda V_p – şol basgançakdaky porşeniň emele getirýän göwrümi.

Turbokompressorlar we turbogaz üfleýjileri ykjamlygy, gurluşynyň ýönekeýligi, deňölçegli gaz berijiligi bilen tapawutlanýarlar. Olaryň has aýratyn tarapy çalgý ýaglar bilen hapalanman, arassa gazyň berilmegidir. Ol bolsa köphalatda kompressoryň görnüşini saýlamakda esasy kesgitleýji häsiýet bolup durýar.

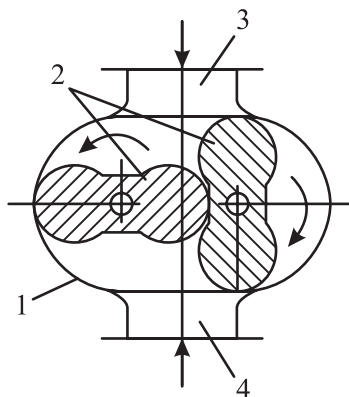
Turbokompressorlaryň p.t.k.-sy ululygy boýunça porşenli kompressorlaryň p.t.k.-syna garanynda kiçidir. Ýöne 6000 m³/sag we ondan ýokary öndürjiligi bolan turbokompressorlary köphalatda ulanyşdaky harajatlaryň we düýpli çykdajylaryň azalmagy bilen baglylykda ykdysady taýdan has amatly hasaplanýar. Şonuň üçin önümçilikde turbokompressorlary gazyň köp mukdaryny (10000-200000 m³/sag we ondan ýokary) 30 atm çenli (ortaça 10-12 atm) basyş bilen bermek üçin ulanylýar.

Az mukdarda (10000 m³/sag çenli) we basyşyň giň aralygynda (1000 atm çenli) gaz berilýän önümçiliklerde porşenli kompressorlar ulanylýar.

4.4. Rotorly we okly kompressorlar

Rotorly we wintli kompressorlary merkezden daşlaşýan kompressorlaryň artykmaçlyklary ýaly turbokompressorlara garanynda has ýokary p.t.k.-a eýedir we adaty, 6000 m³/sag we ýokary öndürjilik we 15 at-dan ýokary bolmadyk basyş gerek bolan ýagdaýynda ulanylýar. Rotorly kompressorlaryny taýýarlamak we ulanmak çylşyrymlydyr. Şeýle hem rotoryň plastinasy çalt hatardan çykýar. Netijede, iş

kamerasynyň jebisliginiň bozulmagy hem-de gysylma derejesiniň peselmegi bolup geçýär. Bu kemçilikler rotorly kompressorlarynyň ýetmezçilikleri hasap edilýär.



4.3-nji surat. Rotorly gaz üfleýjiniň shemasy:

*1 – korpus; 2 – baraban (porşen); 3 – sorujy turbajyk;
4 – iteriji turbajyk*

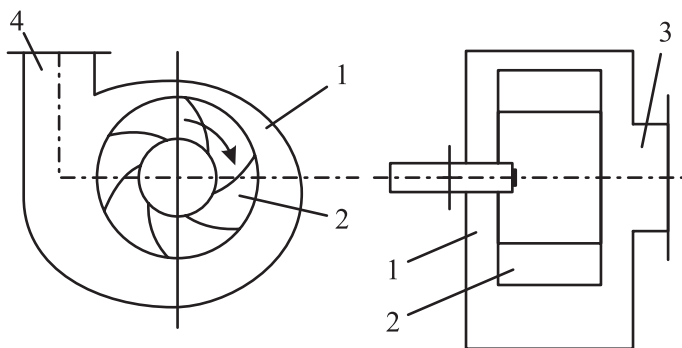
Okly kompressorlar ykjamlygy we ýokary p.t.k.-i bilen tapawutlanýarlar we olar ýokary berijilik ($80000 \text{ m}^3/\text{sag}$ we ýokary) we ýokary bolmadyk basyş (6 atm çenli) üçin ulanylýar.

Wakuum nasoslarynyň ulanylyşy talap edilýän, ýagny döredilmeli basyş bilen kesgitlenýär. Wakuum nasoslarynyň häsiýetnamalary we görnüşleri 4.6-njy paragrafda berilýär.

4.5. Wentilýatorlar

Merkezden daşlaşýan wentilýatorlar pes basyşly ($p < 10^3 \text{ n/m}^2$), orta basyşly ($p = 10^3 \div 3 \cdot 10^3 \text{ n/m}^2$) we ýokary basyşly ($p = 3 \cdot 10^3 \div 10^4 \text{ n/m}^2$) diýip şertli wentilýatorlara bölünýärler.

Wentilýatoryň spiral görnüşli korpusynda (1) köpsanly pilçesi bolan işçi tigr (baraban) (2) aýlanýar (4.4-nji surat). Pilçeleriň ininiň onuň uzynlygyna bolan gatnaşygy artdyrylýan basyşa baglydyr we ýokary basyşly wentilýatorlar üçin ol iň kiçi baha eýedir. Gazturbajyk (3) arkaly wentilýatoryň oky boýunça girýär we iteriji turbajyk (4) arkaly korpusdan zyňlýar.



4.4-nji surat. Pes basyşly ventilyatoryň shemasy:

1 – korpus; 2 – içşi tigir; 3 – sorujy turbajyk; 4 – iteriji turbajyk

Merkezden daşlaşýan ventilyatorlaryň häsiýetnamalary edil gazlary gysmak we akdyrmak üçin niýetlenen beýleki merkezden daşlaşýan maşynlar ýaly, merkezden daşlaşýan nasoslaryň häsiýetnamalaryna meňzeş (3.3-nji surata), öndüriligin, güýjüniň we kuwwatynyň aýlaw sanyna baglylygy bolsa (3.21) – (3.23) deňlemeler arkaly aňladylýar. Merkezden daşlaşýan ventilyatorlaryň häsiýetnamasy bilen toruň häsiýetnamasynyň kesişýän nokady boýunça bolsa ventilyatorlaryň işçi kadasy gurnalýar (3.4-nji surata seret).

Wentilyatoryň walyna düşýän kuwwaty N_w aşakdaky deňleme-den tapylýar:

$$N_w = \frac{V \cdot H \cdot \rho g}{\eta_w} = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta_w}, \quad (4.7)$$

bu ýerde: V – ventilyatoryň öndüriligi m^3/sek ; H – ventilyatoryň güýji, m ; ρ – gazyň dykzlygy, kg/m^3 ; $\eta_w = \lambda_v \cdot \eta_{\text{gidraw}} \cdot \eta_{\text{meh}}$ – göwrüm berijilik koeffisiýentiniň λ_v gidrawliki η_{gidraw} we mehaniki η_{meh} p.t.k.-laryň köpeldilmegi bilen kesgitlenilýän ventilyatoryň p.t.k.-sy.

4.6. Wakuum-nasoslar

Wakuum-nasoslarynyň gysylma derejesiniň ýokary bolmagy olaryň kompressorlara görä konstruktiv tapawudyny kesgitleýän aýratynlykdyr. Mysal üçin, eger wakuum-nasosy 0,05 at basyşda (dartyş 95%) gazy (howany) sorýan bolsa we ony nasosdan çykýança

1,1 at çenli gysýan bolsa (iteriji klapanda we turba geçirijide döreyän garşylygy ýeňmek üçin zerur bolan 0.1 at artykmaçlyk basyşda), onda gazyň gysylma derejesi aşakdaky ýaly we şol wagt edil bir basgançakly porşenli kompressorlar ýaly gysylma derejesi 8-den ýokary bolmaýar:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1,1}{0,05} = 22.$$

Şeýle gysylmanyň ýokary derejesinde wakuum-nasosynyň göwrüm koeffisiýenti we onuň öndürijiligi çürt-kesik pese düşýär. Şonuň üçin wakuum nasosynyň işçi göwrümini doly peýdalanmak üçin ondaky peýdasyz boşlugy minimum baha ymtylar ýaly azaltmaly. Onuň üçin bolsa wakuum nasosynyň göwrüm berijilik koeffisiýenti $\lambda_v = 0,8-0,9$ -a çenli ýokarlandyrylýar.

Porşenli wakuum nasoslary. Bu maşynlar gury we öl wakuum nasoslaryna bölünýärler. Gury wakuum nasoslary diňe gazlary sorup çykarmak üçin ulanylýar, öl wakuum nasoslary bolsa gazy we suwuklygy bir wagtda sorup çykarmak üçin (meselem, garyşdyryjy kondensatorlarda) ulanylýar.

Gury wakuum nasoslary konstruksiýasy boýunça porşenli kompressorlardan tapawutlanmaýarlar. Göwrüm berijilik koeffisiýentini ýokarlandyrmak üçin ol wakuum nasoslarynyň käbirleri zolotnikli paýlaýjy mehanizm bilen üpjün edilýär. Zolotnigiň kömegi bilen gysylma pursatynyň ahyrynda nasosyň peýdasyz boşlugy şol wagtda basyşy soruşyň p_1 basyşyna deň bolan soruş kamerasy bilen birigýär. Basyşy p_2 -ä çenli gysylan gaz peýdasyz boşlukdan p_1 basyşly kamera geçýär. Şonuň üçin peýdasyz boşlukda gazyň basyşy gaçýar (p_1 we p_2 basyşlaryň deňleşmesi bolup geçýär) we wakuum nasosyň porşeniniň soruş hereketiniň ilki başynda gazyň sorulmagy başlanýar. Bu bolsa onuň öndürijiligini artdyryar.

Ol wakuum nasoslarynda zolotnikli paýlaýjy mehanizmi bolmaýar, emma olaryň sorujy we iteriji klapany ep-esli ulaldylan bolýar. Şonuň üçin öl wakuum nasoslarynda peýdasyz boşlugyň ulaldylan göwrümi bolýar we gury wakuum nasoslaryna garanyňda has az dartyлма döredýär.

V BÖLÜM

DÜR LI JYNSLY ULGAMLARYŇ BÖLÜNIŞI

5.1. Dür li jynsly ulgamlar we olaryň bölünişi

Dür li jynsly ýa-da geterogen ulgamlar diýip iki ýa-da birnäçe fazadan ybarat bolan ulgamlara aýdylýar. Ulgamy düzyän fazalar, düzgün bolşy ýaly, bir faza beýleki fazadan mehaniki özbaşdak bolmagy mümkin.

Islendik dür li jynsly ulgam dispers (içki) fazadan we dispersion sredadan, ýa-da fazanyň bölejikleriniň paýlanan bitewi (daşky) fazasyndan durýar.

Fiziki halyna baglylykda fazalar suspenziýalar, emulsiýalar, köpürjiksler, tozanlar, tüsseler we ümürler ýaly toparlara bölünip, birbirinden tapawutlanýarlar.

Suspenziýalar – munuň özi suwuklykdan we onuň göwrümünde paýlanan gaty bölejiklerden ybarat bolan dür li jynsly ulgamdyr. Bölejikleriň (mkm – *mikrometrde*) ölçeglerine baglylykda suspenziýalar iri (100-den ýokary), uşak (0,5÷100) we bulanyk (0,1÷0,5) diýip şertli topara bölünýärler.

Hakyky erginler (gomogen ulgamlar) bilen suspenziýalaryň aralygyndaky ýagdaýdaky erginlere kolloid erginleri diýilýär.

Emulsiýalar – suwuklykdan we şol suwuklyk bilen garyşmaýan başga bir suwuklygyň ýaýran damjalaryndan ybarat bolan ulgamdyr. Dispers fazanyň bölejikleriniň ölçegleri giň araçäkde üýtgemegi mümkin. Agyrlyk güýjüniň täsiri astynda emulsiýalar gatlaklara bölünýärler, emma damjalaryň juda ujypsyz (0,4÷0,5 mkm-den kiçi) bolan ölçeginde emulsiýalar köp wagtlap gatlaklara bölünmeýärler we durnukly bolýarlar.

Dispers fazanyň emulsiýadaky mukdar möçberiniň (konsentrasiýasynyň) ýokarlanmagy bilen fazalaryň öwrülme (inwersiýa) mümkinçiligi ýüze çykýar. Damjalaryň goşulmagy (koalessensiýasy) netijesinde dispers faza бүтewilenýär; daşky ýagdaýdaky faza damja görmüşde içki faza öwrülýär.

Köpürjikler – içinde paýlanan gaz düwmejikleri bolan suwuklyk ulgamydyr. Bu gaz-suwuklyk ulgamy öz häsiýetleri boýunça emulsiýalara ýakyn.

Tozanlar we tüsseler – içinde gaty maddanyň bölejikleri paýlanan gaz ulgamydyr. Adatça, tozanlar gazda gaty bölejikleriň mehaniki ýaýradylmagynda (ownadylmada, garyşdyrylmada, gaty materiallary göçürmede) emele gelýär. Tozanlarda gaty bölejikleriň ölçegleri, takmynan, $3\div 70$ mkm aralykda bolýar. Tüsseler buglaryň (gazlaryň) suwuk ýa-da gaty hala geçenlerindäki kondensasiýa proseslerinde emele gelýärler. Şol wagt gazda $0,3\div 5$ mkm ölçegli gaty ownuk bölejikler döreýär. Şeýle ölçegdäki suwuk dispers fazalar emele gelende ümür (duman) diýlip atlandyrylýan ulgam ýüze çykýar. Tozanlar, tüsseler we ümürler aerodispers ulgamlarydyr, ýa-da olar erozollardyr.

Himiýa tehnologiýasynda suwuk we gaz halyndaky dürli jynsly ulgamlary bölmek (aýyl-saýyl etmek) bilen baglanyşykly prosesler giňden ýaýrandyr. Bölüş usulyny saýlap almaklyk, esasan, dispers (asylan) bölejikleriň ölçegleri, dispers we bütewi fazalaryň dykzlyklarynyň tapawudy, şeýle hem bütewi fazanyň şepbeşikligi bilen şertlendirilendir. Bölmekligiň, esasan, aşakdaky usullary ulanylýar: 1) çökdüriş; 2) süzüliş (filtrleme); 3) sentrifugirleme; 4) çyglandyryp bölmek usullary. Bu usullar dürli jynsly ulgamlary bölmekligiň gidromehaniki prosesleriniň esasynda ýatýar.

Çökdüriş bolanda suwuklykda ýa-da gazda ýaýran gaty ýa-da suwuk bölejikleriň bütewi fazada agyrlyk güýjüniň, inersiýa (şol sanda merkezden daşlaşýan) ýa-da elektrostatik güýçleriň täsiri astynda bölünip aýrylmak prosesidir. Agyrlyk güýjüniň täsiri astynda amala aşýan çökdürilişe durlanmak diýilýär. Durlanmany, esasan, dürli jynsly ulgamlary önürti iri maddalardan bölüp arassalamak üçin ulanylýar.

Süzüliş (*filtrleme*) – suwuklygy ýa-da gazy geçirmäge ukyply, emma ondaky gaty bölejikleri bolsa saklap bilýän deşik-deşik öýjüklü germew arkaly bölmek prosesidir. Ol basyş güýçleriniň ýa-da merkezden daşlaşýan güýçleriň täsiri astynda amala aşyrylýar we germewiň iki tarapyň basyşynyň tapawudyna esaslanýar. Bu usul suspenziýalary we tozanlary çökdürmek usulyňa garanyňda has maýda bölejikleri inçeden bölmekde ulanylýar.

Sentrifugirleme – merkezden daşlaşýan güýçleriň meýdanynda suspenziýalaryň we emulsiýalaryň bölünmek prosesidir. Bu güýçleriň täsiri netijesinde çökdüriş emele gelen çökündiniň dykyzlanmagy bilen, süzüliş (filtrleme) bolsa çökündiniň dykyzlanmagy we mehaniki guradylmagy bilen utgaşýar.

Ýokarda görkezilen usullardan başga-da ýöriteleýin bölüş usullary bar: olara gazlaryň elektrik we çyglandyrylyp arassalanýşy we beýlekiler degişlidir.

Çyglandyryp bölmek gazdaky ýaýran bölejikleri haýsy hem bolsa bir suwuklyk bilen tutup alyp galmak prosesidir. Ol agyryk ýa-da inersiýa güýjüniň täsiri astynda bolup geçýär we gazlary arassalamakda we suspenziýalary bölmekde ulanylýar.

5.2. Suwuk ulgamlary bölmek prosesiniň maddy balansy

Goý, a maddadan (bitewi faza) we b maddanyň ýaýran bölejiklerinden (dispersiýa fazasy) ybarat bolan ulgamy bölmeklige degişli bolsun. Oňa degişli belgileme girizeliň:

$G_{gar}, G_{dur}, G_{çök}$ – başdaky garyndynyň, durlanan suwuklygyň we emele gelen çökündiniň massalary, kg;

$x_{gar}, x_{dur}, x_{çök}$ – başdaky garyndyda, durlanan suwuklykda we emele gelen çökündide b maddanyň massa üleşüniň saklanmagy.

Bölünmek prosesinde maddanyň ýitgisi bolmadyk ýagdaýynda maddy balansyň deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylýar.

$$G_{gar} = G_{dur} + G_{çök} \quad (5.1)$$

Dispersiýa fazasy (b maddasy) boýunça maddy balansyň deňlemesi:

$$G_{gar} \cdot x_{gar} = G_{dur} \cdot x_{dur} + G_{çök} \cdot x_{çök} \quad (5.2)$$

(5.1) we (5.2) deňlemeleriň bilelikdäki çözügütleri suwuklykda b maddanyň berlen mukdarynda çökdürilende we durlandyrylanda durlanan suwuklygyň massasyny G_{dur} we çökündiniň massasyny $G_{çök}$ kesgitlemäge mümkinçilik berýär:

$$G_{dur} = G_{gur} \frac{x_{çök} - x_{gar}}{x_{çök} - x_{dur}}, \quad (5.3)$$

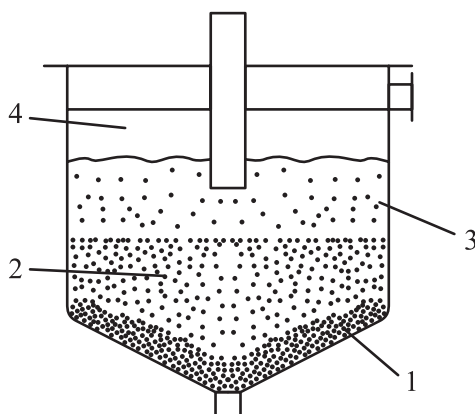
$$G_{\text{çök}} = G_{\text{gur}} \frac{x_{\text{gar}} - x_{\text{dur}}}{x_{\text{çök}} - x_{\text{dur}}}. \quad (5.4)$$

Durlandyrylan we çökdürilen suwuklykdaky maýdaja bölejikleriň saklanyş mukdary bölmek prosesiniň tehnologiiki şertine baglylykda saýlanyp alynýar.

5.3. Çökdürme prosesi

Suwuklykda ýa-da gazda dargan gaty ýa-da suwuk bölejikleriň bütewi fazada agyrylyk güýjüniň, inersiýa (şol sanda merkezden daşlaşýan) ýa-da elektrostatik güýçleriň täsiri astynda bölünip aýrylma prosesine çökdürme diýilýär. Agyrylyk güýjüniň täsiri astynda amala aşýan çökdürilişe durlanyş diýilýär. Durlanma, esasan, dürli jynsly ulgamlary deslapky iri bölüş üçin ulanylýar. Durlanma prosesi basgançaklaýyn bolýar.

Dürli jynsly ulgam çökdürilende apparata seredilende ýokardan aşak ugur boýunça dispersiýa bölejikleriň konsentrasiýasynyň kemkemden ulalýandygyny tejribeler görkezýär (5.1-nji surat). Çökdürilen gatlagyň üstünde (1-nji zolak) goýalan suspenziýa zolagy gaty bölejikleriň ysnyşykly çöküşi netijesinde emele gelýär (2-nji zolak).



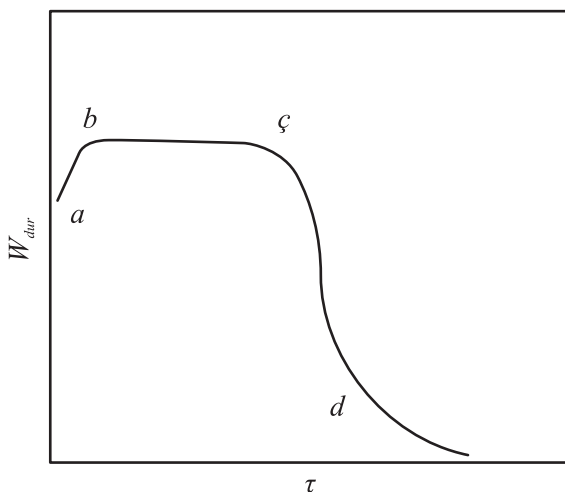
5.1-nji surat. Çökdürme prosesiniň shemasy (çyzgysy):

1 – çökündi gatlagy; 2 – goýalan suspenziýa zolagy;

3 – erkin çökmäniň zolagy; 4 – durlanan suwuklyk

5.1-nji suratdan görnüşi ýaly, goýalan suspenziýa zolagy (2-nji zolak) bilen onuň üstünde ýerleşýän erkin çökmäniň zolagynyň (3-nji zolak) arasynda aýdyň kesgitlenen araçäk emele gelýär. Erkin çökme zolagynyň ýokarsynda bolsa durlanan suwuklyk (4-nji zolak) ýerleşýär.

Çökdürmegiň üznükli (periodiki) prosesinde ýokarda agzalan zolaklaryň her biriniň beýikligi dürli jynsly ulgamyň çökündä we durlanan suwuklygyň gatlaklara doly bölünüş pursadyna çenli wagta görä üýtgeýär. Munuň özi w_{dur} durlanyş tizliginiň τ wagta görä üýtgemegi netijesinde bolup geçýär (5.2-nji surat).



5.2-nji surat. Çökdürmäniň tizliginiň wagta baglylygy

Suratdan görnüşi ýaly, çökdürme prosesinde tizlik a we b aralykda (uly bölejikleriň çökmegi) artýar. Soňra ýuwaş-ýuwaşdan çökdürmäniň tizligi hemişelige çykyar (b we $ç$ – aralyk). Wagtyň geçmegi bilen çökdürme prosesiniň tizligi pese gaçýar ($ç$ we d – aralyk). Çökdürme prosesi doly gutaranda 0 çenli baryp ýetýär.

5.4. Çökdürijiler

Gurluşy. Dürli jynsly ulgamlary bölmek üçin ulanylýan beýleki proseslere garanyňda, mysal üçin, filtrleme prosesinden çökdürme prosesi has amatly bolýar. Çökdürme prosesi dürli jynsly ulgamlary

bölmek işiniň içinde ilkinji proses hökmünde ulanylýar. Bu prosesin geçirilmegi suspenziýany (beýleki deň şertlerde) filtrlemek we sentrifugirlemek proseslerini çaltlandyrmaga ýardam berýär.

Çökdürme prosesi çökdürijiler ýa-da dykzlandyryjylar diýlip atlandyrylýan apparatlarda geçirilýär. Ol apparatlar öz işleýşi boýunça biri-birinden üznükli (periodiki), üznüksiz we ýarym üznüksiz apparatlara bölünip tapawutlanýar. Şonuň ýaly hem üznüksiz işleýän çökdürijiler, öz nobatynda, bir ýarusly, iki ýarusly we köp ýarusly diýen toparlara bölünýär.

Üznükli işleýän çökdürijiler garyşdyryjy guraly bolmadyk pessay suw howuzlarydyr. Şeýle çökdürijiler suspenziýadan doldurylýar we gaty bölekleriniň apparatyň düýbüne çökmegi üçin belli bir wagta çenli dynçlyk ýagdaýynda saklanýar. Ondan soňra çöken çökündiniň derejesinden ýokarda ýerleşýän sifonly turbajygyň ýa-da kranyň üsti bilen suwuklygyň durlanan gatlagy dökülip alynýar. Ahyrky dykz suwuk massa-şlam, apparatyň ýokarsy arkaly el bilen düşürilýär ýa-da aşaky goýberiji kran arkaly zyňylýar.

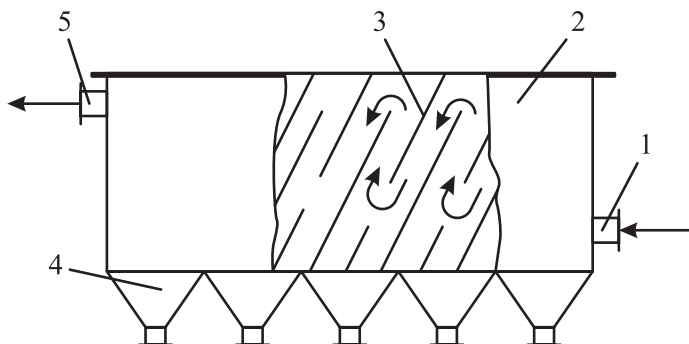
Çökdürmegiň tizligi temperatura hem baglydyr. Temperaturanyň üýtgemegi bilen suwuklygyň şepbeşikligi üýtgeýär. Çökdürmegiň tizligi bolsa şepbeşiklige ters proporsionaldyr. Şonuň üçin temperaturanyň ýokarlanmagy bilen çökdürmegiň tizligi kiçelýär.

Uly bolmadyk mukdardaky suwuklygy çökdürmek üçin ýörite apparatlaşdyrylan, silindr görnüşinde dikligine gurnalan rezerwuarlar ulanylýar.

Köp mukdardaky suwuklygy çökdürmek üçin, meselem, akar suwlaryny arassalamak üçin uly ölçegli betondan howuzlar ulanylýar ýa-da ýarym üznüksiz usulda işleýän, birnäçe zygider birikdirilen rezerwuarlar ulanylýar. Suwuklyk üznüksiz berilýär we alynýar, çökündi bolsa apparatdan üznükli düşürilýär. 5.3-nji suratda ýapgytlaýyn bölüjili ýarym üznüksiz işleýän çökdüriji apparat görkezilen.

Suratdan görnüşi ýaly, başdaky suspenziýa ergini ştuseriň (1) üsti bilen apparatyň korpusyna (2) berilýär. Onuň içinde akymy ge-

zekli-gezeginde ýokaryk we aşak ugradyjy ýapgyt bölüjiler (3) ýerleşýär. Bölüjiler apparatda suwuklygyň bolýan wagtyny we çökeriş üstüni ulaltmak üçin goýulýar. Agyrlyk güýjüniň täsir astynda bölüjileriň üsti bilen suspenziýa ergininiň gaty bölejikleri aşak gaçyrylýar. Çökündi konus şekilli aşaky gaplarda (bunkerlerde) (4) ýygnanýar, şol ýerden bolsa üznükli aýrylýar, durlanan suwuklyk bolsa ştuser (5) arkaly çökdürijiden çykarylýar.



5.3-nji surat. Ýapgyt bölüjili çökdüriji apparat:

1 – başdaky suspenziýanyň girmegi üçin ştuser; 2 – korpus; 3 – ýapgyt bölüjiler;
4 – çökündi üçin bunkerler; 5 – durlanan suwuklygy aýyrmak üçin ştuser

Çökdürijileriň hasaplamalary. Çökdürijileriň berlen garyndyda bar bolan iň maýda bölejiklerini çökdürmegiň hasabynda taslamasy ýerine ýetirilýär. Şonuň üçin arassalanylmaly garyndynyň berlen apparatdaky bolýan wagty kesgitlenilýär.

Goý, suspenziýa uzynlygy l (m), ini b (m) bolan gönüburçly kesikli çökdürijide çökündi we beýikligi h (m) bolan durlanan suwuklyk gatlaklaryna bölünýär diýeliň. Onda durlanan suwuklyk boýunça çökdüriji apparatyň öndürijiliginiň deňlemesini aşakdaky ýaly aňladyp bolar:

$$Q_{dur} = w_s \cdot b \cdot h, \quad (5.5)$$

bu ýerde w_s – suwuklyk akymynyň uzaboýuna bolan tizligi, m/sek.

Çökdürijiden suspenziýanyň geçiş τ (sek) wagtyny aşakdaky deňlemäniň kömegi bilen kesgitläp bolar:

$$\tau = \frac{l}{w_s}. \quad (5.6 \text{ a})$$

Şol geçiş wagtyň dowamynda $w_{\text{çök}}$ tizlik bilen çökdürilýän bölejikler iň uly h (m) ýoly geçmeli bolýar. Şeýlelikde, çökdürme wagty aşadaky deňlemeden kesgitlener:

$$\tau = \frac{h}{w_{\text{çök}}}. \quad (5.6 \text{ b})$$

(5.6 a) we (5.6 b) deňlemeleriň sag böleklerini deňläp we (5.5) deňlemeden w_s -niň bahasyny ýerine goýup, aşadaky deňlemäni alarys:

$$\frac{h}{w_{\text{çök}}} = \frac{l}{w_s} = \frac{l \cdot h \cdot b}{Q_{\text{dur}}},$$

bu ýerden durlanan suwuklyk boýunça çökdürijiniň öndürijiligini taparys:

$$Q_{\text{dur}} = w_{\text{çök}} \cdot lb = w_{\text{çök}} \cdot F. \quad (5.7)$$

bu ýerde F – çökdüriji apparatyň meýilnamasy boýunça berlen üstüniň meýdany, m^2 .

Soňky (5.7) deňlemeden görnüşi ýaly, çökdüriji apparatyň öndürijiligi onuň görnüp duran beýikligine bagly bolman, diňe çökdürmäniň tizligine we üst meýdanyna baglydygy aýdyň görnüp dur. Şonuň üçin has uly bolmadyk, adatça, 1,8-4,5 m-den ýokary bolmadyk beýiklikdäki çökdüriji apparatlar has uly çökdürme üste eýedirler, diametrleri örän uly bolan çökdüriji apparatlaryň beýikligi 7 m-den uly bolmaýar.

Apparatyň zerur bolmaly çökdüriji üstüniň meýdanyny aşadaky deňlemeden taparys:

$$F = Q_{\text{dur}} / w_{\text{çök}}$$

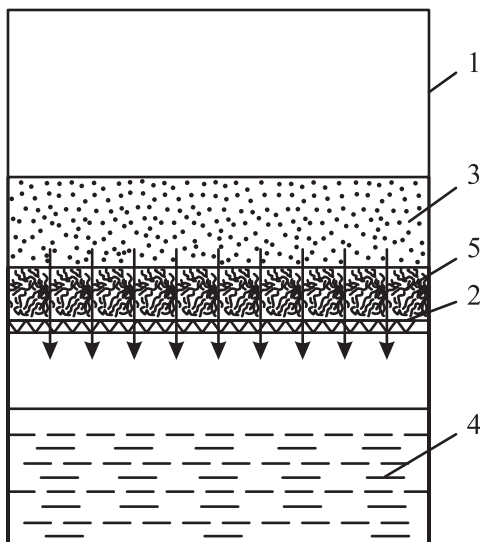
Durlanan suwuklygyň göwrümleýin akym mukdary Q_{dur} onuň ρ_{dur} (kg/m^3) dykzlygynda $Q_{\text{dur}} = G_{\text{dur}} / \rho_{\text{dur}}$, bu ýerde G_{dur} – durlanan suwuklygyň kg/sek -däki massalaýyn akym mukdary.

Adatça, apparatyň çökdüriji üstüniň meýdany hasaplama meýdanynan 30-35% artdyrylyp alynýar.

5.5. Filtrleme. Filtrleme hakynda umumy maglumat

Filtrleme (süzme) diýip suspenziýanyň gaty fazasyny saklap galýan we suwuklyk fazasyny üstünden geçirýän öýjükli germewleri ulanmak arkaly suspenziýanyň bölünmek prosesine aýdylýar.

Suwuklykdan we onuň içindäki ýaýran gaty bölejiklerden ybarat bolan suspenziýany bölmeklik süzüji germewler bilen ikä bölünen ýönekeý gap görnüşli filtrleriň (süzgüçleriň) kömegi bilen amala aşyrylýar (5.4-nji surat). Suspenziýany bu gabyň bir böleginde süzüji germew bilen galtaşar ýaly edip ýerleşdirilýär. Gabyň bölünen böleklerinde basyşlaryň tapawudy döredilýär. Şonuň netijesinde bolsa suwuklyk süzüji germewleriň öýjükleriniň üstünden geçýär we şol wagtda gaty bölejikler onuň üstünde saklanyp galýar. Şeýlelikde, suspenziýa arassa filtrata we çygly çökündä bölünýär. Suspenziýanyň şeýle bölünmek prosesine çökündi emele gelmek bilen filtrlenme (süzülme) diýilýär. Käbir ýagdaýda gaty bölejikler süzüji germewleriň öýjüklerinden geçýärler we çökündi emele getirmän, başga ýerde saklanýarlar. Şeýle prosese öýjükleriniň bitmegi bilen filtrlenme (süzülme) diýilýär. Şeýle hem haçan-da gaty bölejikler süzüji germewleriň öýjüklerine girip, onuň üstünde çökündi gatlagyny emele getirýän bolsa, filtrlemegiň aralyk görnüşü hem bolmagy mümkin.



5.4-nji surat. Filtrleme (süzme) prosesiniň shemasy:

1 – filtr (süzgüç); 2 – öýjükli germew; 3 – suspenziýa;
4 – filtrat (durlanan suwuklyk); 5 – çökündi

Süzüji germewleriň iki tarapyndaky basyşlaryň tapawudy dürli usullar boýunça döredilýär, onuň netijesinde bolsa filtrlemegiň (süzmegiň) dürli prosesleri amala aşyrylýar.

Filtrleme prosesi hemişelik basyşlar tapawudynda, hemişelik tizlikde, üýtgeýän basyşlar tapawudynda we tizlikde geçirilip bilner.

Önümçilikde filtrleme prosesi aşakda görkezilen basyşlar tapawudynda geçirilýär:

- wakuum astynda (öýjükli germewiň aşagynda wakuum döredilmeginiň hasabyna) – $5 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^4 \text{ n/m}^2$ ($0,5 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^4 \text{ kgf/m}^2$);

- gysylan howanyň uly bolmadyk basyşy astynda (öýjükli germewiň üstünde ýokary basyşyň döredilmeginiň hasabyna) – $30 \cdot 10^4 \text{ n/m}^2$ ($3 \cdot 10^4 \text{ kgf/m}^2$)-den uly bolmadyk;

- suspenziýa ergini porşenli ýa-da merkezden daşlaşýan nasoslar arkaly berlende – $50 \cdot 10^4 \text{ n/m}^2$ ($5 \cdot 10^4 \text{ kgf/m}^2$) we ondanda uly;

- suspenziýa gatlagynyň gidrostatiki basyşy astynda $5 \cdot 10^4 \text{ n/m}^2$ ($0,5 \cdot 10^4 \text{ kgf/m}^2$).

5.6. Filtrleriň gurluşy

Filtrleme (süzme) prosesleri süzgüç diýlip atlandyrylýan apparatlarda geçirilýär. Ol apparatlary toparlara bölmek üçin ulanylýan esasy häsiýetnamalaryň biri olaryň üznükli we üznüksiz işlemek häsiýetnamasydyr. Şonuň üçin ol apparatlary aşakdaky häsiýetnamalar boýunça toparlara bölmek bolar:

I. İşleýiş düzgünlerine görä: üznükli (periodiki) we üznüksiz işleýän iş kadasy.

II. Basyşlar tapawudynyň döredilişiniň usullary boýunça:

1. Atmosfera basyşynyň astynda işleýän;
2. Ýokary basyş astynda işleýän;
3. Pes basyşda (wakuumda) işleýän filtrleriň görnüşleri bolýar.

III. Tehnologiki alamatyna görä:

1. Gaz filtrleri (gazlary arassalamak üçin);
2. Suwuklyk filtrleri (suwuklyklary arassalamaga niýetlenen).

IV. Gurluşlary boýunça:

1. Basyş we wakuum astynda işleýän nutç-filtrleri. Olar, köplenç,
- 3 atmosfera çenli basyşda işleýärler;

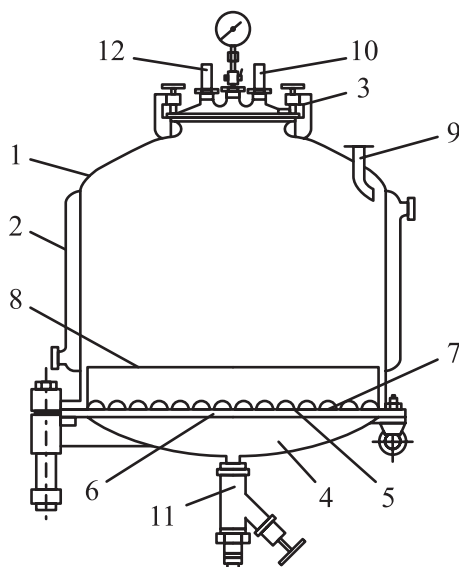
2. Filtr presler;
3. Listli filtrlr;
4. Patron filtrlr;
5. Baraban filtrlri.

Himiya senagatynda giinden ulanylyan filtrlriň käbir görnüşlerine seredeliň.

Nutç-filtrleri. Nutç filtratyň hereketi we agyrlyk güýjüniň ugry bilen gabat gelyän, wakuum ýa-da basyş astynda, üznükli (periodiki) täsirde işleýän in ýönekeý filtdir.

Nutç-filtrleriniň beýleki filtrlere görä artykmaçlygy olaryň konstruksiýasynyň, gurluşynyň ýönekeýligidir, kemçiligi bolsa çökündini aýyrmak üçin el güýjüniň zerurlygydyr.

3 atmosferadan uly bolmadyk basyş astynda işleýän nutçyň konstruksiýalaryndan biri 5.5-nji suratda görkezilen.



5.5-nji surat. Üç atmosfera çenli basyş astynda işleýän nutç filtri:

- 1 – korpus; 2 – filtriň köýnejigi; 3 – açylýan gapak; 4 – düýpki süýşýän gapak;
 5 – süzüji germew; 6 – direg germewi; 7 – gorag gözenegi;
 8 – halkalaýyn germew; 9 – suspenziýany bermek üçin ştuser;
 10 – gysylan howany bermek üçin ştuser; 11 – filtraty (durlanan suwuklyk) aýyrmak üçin ştuser; 12 – önünden goraýjy klapany

Nutç korpusdan (1), köýnekden (2), açylýan gapakdan (3) we düýbündäki süýşýän gapakdan (4); süzüji germewden (5), direk germewde (6) ýerleşýän matadan ýa-da süýümlerden ýasalan bolýar (soňky ýagdaýda germewiň (5) üstünde goraýjy tor (7) ýerleşdirilýär. Süzüji germewiň üstünde beýikligi 150 mm bolan, çökündini düşürilýän wagtynda ony saklap durýan halkalaýyn germew (8) ýerleşýär. Germewleriň ikisi hem süzüji germewlerden çökündini el güýji bilen düşürmäge mümkinçilik döretmek maksady bilen germewleriň ikisi hem 200 mm aşak düşer ýaly we ýeterlik burç bilen aýlanar ýaly nutçyň düýbüne berkidilýär. Suspenziýany bermek üçin (9) ştuşer we gysylan howany bermek üçin (10) ştuserler, filtraty aýyrmak üçin bolsa (11) ştuser hyzmat edýär, şonuň ýaly-da filtr (süzgüç) önünden goraýjy klapany (12) bilen üpjün edilen.

Ýokarda görkezilen nutçyň ýönekeý ýagdaýdaky iş aýlawy aşakdaky görnüşlerden: nutçy suspenziýadan doldurmakdan, gysylan gazyň basyşy astynda suspenziýany bölmekden, süzüji germewden çökündini aýyrmakdan we ony regenerirlemekden ybaratdyr. Şunuň ýaly nutçlaryň 1 m-e çenli diametri we 0,5 m³-a çenli sygymy bolýar.

Ähli nutçlaryň gowy taraplary olardaky çökündileri deňölçepli we doly ýuwup arassalap bolýar. Nutçlaryň umumy ýetmezçilikleri bolsa ýerleşdirilende olaryň beýlekilere garanynda köp meýdan tutýanlygydyr.

5.7. Filtrlenmegiň deňlemesi

Filtrlenmegiň (süzülmegiň) tizligi. Filtrlenmegiň tizligi her berlen pursat üçin basyşlaryň tapawudyna göni proporsionaldyr, faza suwuklygynyň şepbeşikligine we süzüji germew bilen çökündiniň gatlagynyň umumy gidrawliki garşylygyna ters proporsionaldyr. Umumy ýagdaý üçin filtrlenme prosesinde basyşlaryň tapawudynyň we çökündiniň gatlagynyň umumy gidrawliki garşylygynyň bahasy wagtyň geçmegi bilen üýtgeýär. Filtrlenmegiň üýtgeýän tizligi (m/sek) differensial görnüşde aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$W = \frac{dV}{S \cdot d\tau}. \quad (5.8)$$

Filtrleme prosesiniň esasynda filtrlenmegiň esasy differensial deňlemesini aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

$$\frac{dV}{S \cdot d\tau} = \frac{\Delta p}{\mu(R_{\text{çök}} + R_{s.g.})}, \quad (5.9)$$

bu ýerde: V – filtratyň göwrümi, m^3 ; S – filtrlemäniň üst meýdany, m^2 ; τ – filtrlemäniň dowamlylygy, sek; Δp – basyşlaryň tapawudy, n/m^2 ; μ – suspenziýanyň suwuk fazasynyň dinamiki şepbeşikligi, $n \cdot \text{sek}/m^2$; $R_{\text{çök}}$ – çökündi gatlagynyň garşylygy; $R_{s.g.}$ – süzüji germewiň garşylygy.

Ýokarda görkezilen (5.9) deňleme umumy kanunyň bölek ýagdaýy bolup, şoňa laýyklykda prosesiniň tizliginiň hereket edýän güýje göni proporsionaldygyny we garşylyga bolsa ters proporsionaldygyny aňladýar. Umumy garşylyk çökündiniň ($\mu R_{\text{çök}}$) we süzüji germewiň ($\mu R_{s.g.}$) garşylyklarynyň jeminden ybaratdyr. Görkezilen garşylyklaryň ikisi-de birnäçe üýtgeýän ululyklaryň çylşyrymly funksiýasy bolýar.

Çökündiniň göwrüminiň filtratyň göwrümüne bolan gatnaşygyny x_0 arkaly aňladyp, çökündiniň $x_0 V$ göwrümüne alarys. Şonuň bilen çökündiniň göwrümüne $h_{\text{çök}} \cdot S$ köpeltmek hasylynyň üsti bilen aňladyp bolar. Şeýlelikde,

$$x_0 \cdot V = h_{\text{çök}} \cdot S,$$

bu ýerden süzüji germewdäki çökündiniň deňölçegli gatlagynyň galyňlygy aşakdaky ýaly bolar:

$$h_{\text{çök}} = x_0 (V/S). \quad (5.10)$$

Çökündi gatlagynyň garşylygyny aşakdaky deňlik ýaly aňlatmak bolar:

$$R_{\text{çök}} = r_o \cdot h_{\text{çök}} = r_o \cdot x_0 \frac{V}{S}, \quad (5.11)$$

bu ýerde:

$$x_0 = \frac{V_{\text{çök}}}{V_{\text{filtr}}}; \quad r_o = \frac{\Delta p}{\mu \cdot h_{\text{çök}} \cdot w}; \quad R_{s.g.} = \frac{\Delta p}{\mu \cdot w},$$

bu ýerde: r_0 – çökündi gatlagynyň udel göwrümi boýunça garşylygy, m^{-2} ; $h_{\text{çök}}$ – çökündi gatlagynyň beýikligi, m.

Ýokarky (5.11) deňlemedäki r_0 ululyk 1 m galyňlykdaky çökündiniň deňölçegli gatlagynyň suwuk faza akymyna edýän garşylygyny häsiýetlendirýär.

Çökündiniň udel garşylygy şepbeşikligi 1 N sek/m² bolan suwuk fazanyň 1 m galyňlygy bolan çökündi gatlagyndan geçip, 1 m/sek tizlik bilen filtrlenmegi üçin zerur bolan basyşlar tapawudyna san taýdan deň bolan ululykdyr.

Süzüji germewiň garşylygy şepbeşikligi 1 N sek/m² bolan suwuk fazanyň süzüji germewden 1 m/sek tizlik bilen geçmegi üçin zerur bolan basyşlar tapawudyna san taýdan deň bolan ululykdyr.

Filtrleme prosesiniň öndürijiligi aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$V_{\phi} = w \cdot F, \text{ [m}^3/\text{sek]},$$

bu ýerde: V_{ϕ} – durlanan suwuklygyň wagt birliginde alnan göwrümi; F – durlandyryjynyň düýbünüň meýdany, m²; w – çökdüriş prosesiniň tizligi, m/s.

Aňlatmadan görnüşi ýaly, durlandyryjynyň öndürijiligi onuň beýikligine bagly däl. Şonuň üçin hem olaryň beýikligi, adatça, 2,5÷3,5 metr diýip kabul edilýär.

5.8. Sentrifugirleme. Esasy düzgünler

Sentrifugirleme diýlende merkezden daşlaşýan güýjüň meýdannda bitewi ýa-da suwuklygy üstünden geçirýän germewleri ulanmak bilen dürli jynsly ulgamlaryň (emulsiýalaryň we suspenziýalaryň) bölünmek prosesine düşünilýär. Sentrifugirleme prosesleri sentrifugalar diýlip atlandyrylýan maşynlarda amala aşyrylýar.

Sentrifuga bolanda ýönekeý görnüşde bitewi ýa-da bitewi däl-de, başga görnüş berlen gapdal diwary bolan dikleýin silindr şekillirotor bolýar.

Merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri astynda suspenziýa çökündä we fugat diýlip atlandyrylýan suwuk faza bölünýär. Çökündi rotorda

galýar, suwuk faza bolsa ondan çykarylýar. Sentrifugalaryň iki görnüşi, ýagny çökdüriji (otstoýnik) sentrifugalar we filtrleme (süzüji) sentrifugalar bolýar.

Bitewi diwarlary bolan çökdüriji sentrifugalarda emulsiýalaryň we suspenziýalaryň bölünmegi çökdürmek düzgüni boýunça amala aşyrylýar, özi hem agyrlyk güýjüniň täsiriniň merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri bilen çalyşmagy netijesinde bolup geçýär.

Geçiriji diwarlary bolan filtrleýji (süzüji) sentrifugalarda suspenziýalaryň bölünmek prosesi filtrlenmek (süzülmek) düzgüni boýunça amala aşyrylýar, özi hem basyşlar tapawudynyň täsiriniň ýerine merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri ulanylýar.

Adatça, emulsiýalaryň çökdüriji sentrifugalarda bölünmek prosesine separasiýa, şol prosesin amala aşýan apparatyna bolsa separator diýilýär. Şonuň ýaly prosese süýtde gaýmagyň bölünip alnyşy mysal bolup biler.

Suspenziýalaryň çökdüriji sentrifugalarda bölünmegi merkezden daşlaşýan durlamak we merkezden daşlaşýan çökdürmek prosesleri boýunça tapawutlanýar. Birinji ýagdaýda suwuklykdan az mukdarda bar bolan gaty maddalar aýrylyp zyňylýar. Bu ýagdaýa laklaryň we çalgy ýaglarynyň durlandyrylmagy mysal bolup biler. Ikinji ýagdaýda gaty fazany köp mukdarda saklanýan suspenziýa bölünýär. Oňa suwdaky kömür suspenziýasy mysal bolup biler.

Suspenziýalaryň filtrleýji (süzüji) sentrifugalarda bölünmegine merkezden daşlaşýan filtrleme diýilýär. Şonuň ýaly prosesini trozofenoldan gowşak erginiň bölünip alnyşy mysal bolup biler.

Sentrifugirleme prosesleri üznükli we üznüksiz ýagdaýda amala aşyrylýar.

Sentrifugirleme prosesleriniň nazaryýetiniň we hasaplamalarynyň takyk usullaryny işläp düzmekde birnäçe kynçylyklar ýüze çykýar. Häzirki wagtda merkezden daşlaşýan çökdürmek we merkezden daşlaşýan filtrlemek proseslerini häsiýetlendirýän we sentrifugalaryň işleýşiniň amatly şertlerini saýlamaga ýardam berýän esasy kanunalaýyklyklar kabul edildi.

5.9. Merkezden daşlaşýan güýç we bölünmek faktory

Belli bolşy ýaly, umumy ýagdaý üçin sentrifugirleme prosesinde merkezden gaçyş güýjüni $C(n)$ aşakdaky deňleme arkaly aňladyp bolýar:

$$C = \frac{m \cdot w^2}{r} = \frac{G \cdot w^2}{g \cdot r}, \quad (5.12)$$

bu ýerde: m – aýlanýan jisimiň massasy, kg; G – aýlanýan jisimiň agramy, n; w – aýlanmanyň töwerek tizligi, m/sek; r – aýlanmanyň radiusy, m; g – erkin gaçmanyň tizlenmesi, m/sek².

Aýlanmanyň töwerek tizligini aşakdaky aňlatmanyň kömegi bilen kesgitläp bolar:

$$w = \omega \cdot r = \frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot r, \quad (5.13)$$

bu ýerde: ω – aýlanmanyň burç tizligi, rad/sek; n – aýlanmanyň minutdaky sany. (5.12) we (5.13) deňlemeleri ýerine goýup taparys:

$$C = \frac{G}{r \cdot g} \left(\frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot r \right)^2, \quad (5.14)$$

ýa-da:

$$C \approx \frac{G \cdot r \cdot n^2}{900}. \quad (5.15)$$

Ýokarky (5.15) deňlemeden görnüşi ýaly, rotoryň aýlanma sanynyň ulalmagy, sentrifuganyň rotorynyň diametrini ulaldanyňdan merkezden daşlaşýan güýjüň artmagyna has uly täsir edýär.

Merkezden daşlaşýan tizlenmäniň agyrylyk güýjüniň tizlenmesine bolan gatnaşygyna sentrifuga prosesiniň bölünme faktory diýilýär, ony aşakdaky deňlemäniň kömegi bilen kesgitläp bolýar:

$$F_b = \frac{w^2}{g \cdot r}. \quad (5.16)$$

G ululygy 1 n diýip kabul etsek, onda (5.12), (5.15) we (5.16) deňlemelerden bölünme faktorynyň deňlemesini başgaça alarys:

$$F_b = \frac{r \cdot n^2}{900}. \quad (5.17)$$

Geliň, mysal getireliň: minutda $n = 1200$ aýlaw tizlik bilen aýlanýan, 1000 mm ($r = 0,5$ m) diametri bolan rotorly sentrifuga üçin bölünme faktory aşakdaka deň bolar:

$$F_b = \frac{0,5 \cdot 1200^2}{900} = 800.$$

Bölünme faktory sentrifuga prosesiniň esasy häsiýetleriniň biridir, sebäbi sentrifuganyň bölünmek täsiri F_b ululygyna baglylykda proporsional artýar. Bölünme faktorynyň artmagy bilen sentrifuga prosesiniň bölünme täsiri artýar.

5.10. Çökdüriji sentrifugalardaky prosesler

Umumy ýagdaý üçin çökdüriji sentrifugalarda suspenziýa erginleriniň bölünmegi gaty jisimleriň rotoryň diwaryna çökmek we emele gelen çökündiniň dykyzlanmak etaplaryndan ybarat bolýar. Bu etaplaryň birinjisi gidrodinamikanyň kanuny boýunça, ikinjisi topraklaryň (boşlukly sredalaryň) mehanikasynyň kanunalaýyklygy boýunça bolup geçýär.

Başlangyç suspenziýalarda gaty jisimleriň konsentrasiýasynyň az bolan ýagdaýynda (takmynan göwrümiň 4%-inden köp bolmasa) arassa suwuklyk bilen entek gatlaklanmadyk suspenziýanyň arasynda bölünmegiň aýdyň çägi bolmaýar we şol ýagdaýda rotordagaty jisimleriň erkin çökmegini synlap bolýar. Gaty jisimleriň konsentrasiýasynyň ýokary bolan ýagdaýynda gaty jisimleriň dykyzlaşyp çökmeginiň netijesinde bölünmegiň aýdyň çägi emele gelýär.

Çökdürijilerde (otstoýniklerde) we çökdüriji sentrifugalarda suspenziýalaryň bölünmek prosesleri düýpgöter tapawutlanýar.

Çökdüriji sentrifugalaryň bölüjilik ukyplylygy rotordaky çökmäniň silindrik üstüniň F meýdanynyň bölünmek faktoryna F_b köpeldilmegine deň bolan öndürijilik indeksi Σ bilen häsiýetlendirilýär:

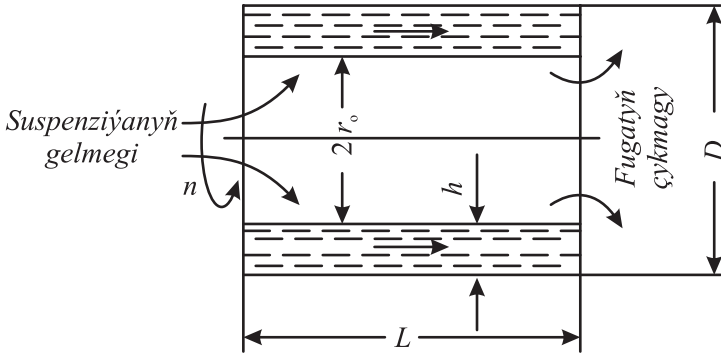
$$\Sigma = FF_b, \quad (5.18)$$

bu ýerden:

$$F_b = \frac{\Sigma}{F}. \quad (5.19)$$

Öndürijilik indeksi Σ çökdüriji sentrifugalaryň bölüjilik ukyplylygyny kesgitleýän konstruktiv aýratynlyklaryň hemmesiniň täsirini görkezýär.

Suwuklyk gatlagy ýerleşýän sentrifuganyň silindrik rotoryny ulanyp boljak öndürijilik indeksi üçin aňlatma seredeliň. 5.6-njy suratda çökdüriji sentrifuganyň işleýşiniň ýönekeýje shemasy berilýär.



5.6-njy surat. Çökdüriji sentrifuganyň işleýiş shemasy:

$D_0 = 2 \cdot r_0$ – bölünme amala aşýan zolagyň diametri;
 D – barabanyň diametri; r – radius

Tejribelikde suwuklyk gatlagynyň h galyňlygy rotoryň D diametrinden has kiçi bolýar, şonuň üçin bölünmek faktorynyň ululygyny ortaça diametre gatnaşdyryp bolar $(D-h)$. Onda (5.17) aňlatma laýyklykda:

$$F_b = \frac{(D-h)n^2}{1800}.$$

Rotordaky çökmäniň silindrik üstüniň meýdany:

$$F = \pi(D-h)L.$$

Bu ýerden:

$$\Sigma = F \cdot F_b = \frac{\pi L(D-h)^2 n^2}{1800}.$$

Ýokarda görkezilen (5.18) deňleme suspenziýanyň gaty bölekleriniň çökdürilmegi laminar hereketde bolup geçýän şertinde ulanarlykdyr. Emma birnäçe sebäplere görä proses akymyň geçiş we turbulent kadalary şertinde geçmegi mümkin. Şonuň üçin öndürijilik indeksi aşakdaky ýaly aňladylýar:

geçiş kadasynda:

$$\Sigma = F \cdot F_b^{0,715}, \quad (5.21)$$

turbulent kadasynda:

$$\Sigma = F \cdot F_b^{0,5}. \quad (5.22)$$

Bu (5.21) we (5.22) deňlemelerden görnüşi ýaly, bu kadalar-da seredilýän sentrifuganyň öndürijiligi boýunça ekwiwalent bolan çökdürijiniň meýdany bölünmek faktoryna proporsional bolman, pes intensiwlikde (gatnaşykda) ýokarlanýar.

5.11. Süzüji sentrifugalardaky prosesler

Süzüliş düzgüni boýunça bolup geçýän sentrifugirleme prosesi içki üsti süzüji material bilen örtülen, dynuwsyz aýlanýan rotory bolan, üznükli işleýän sentrifugalarda amala aşyrylýar.

Umumy ýagdaý üçin süzüji sentrifugalarda suspenziýalaryň bölünmegi çökündiniň emele gelmek, dykyzlanmak we mehaniki guramak etaplaryndan ybarat bolýar. Şeýle görnüşli sentrifugalarda çökündini ýuwmak mümkinçiligi hem bolýar.

Filtrlerde (süzgüçlerde) we süzüji sentrifugalarda suspenziýalaryň bölünmek prosesleri düýpgöter tapawutlanýar.

Çökündiniň emele gelmek etaby analiz edilende merkezden daşlaşýan güýjüň meýdanynda çökündä täsir edýän güýçli gysyjy güýjüni hasaba almak zerurdyr. Senagat sentrifugalarynda suwukly-

güň basyşy $1,5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ (15 at). Sentrifugirleme prosesinde güýçli gysylan çökündileriň boşluklary has kiçelýär, şoňa görä-de olaryň gidrawliki garşylyklary artýar. Sentrifugirlemäniň tizliginiň esli peselmegi netijesinde süzüji sentrifugany süzgüji bilen bilelikde ulanmaklyk maksadalaýyk däl bolmagy mümkin.

Süzüji sentrifugalar öndürijilik indeksi Σ bilen hem häsiýetlendirilýär.

Merkezden daşlaşýan usulda işleýän süzgüçleriň artykmaçlyklary aşakdakylardan ybarat:

1. Suwuklykda iri kristally çökündi emele gelýär we onuň häsiýetlerini üýtgedip bolýar.

2. Çökündiniň ahyrky çyglylygy pes bolýar we ony goşmaça guratmak zerur bolmaýar.

3. Çökündini ýuwup aýryp bolýar.

Bu süzgüçleriň kemçiligi – käbir halatlarda süzüji germewe galtaşýan çökündiniň gatlagynyň gaty bölejikleri merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri astynda deformirlenýärler (ýemşerýärler) we öýjükleri ýapýarlar. Şonuň üçin hem süzüji sentrifugalarda güýçli gysylan çökündi berýän suspenziýalary bölmek maslahat berilmeýär.

5.12. Sentrifuganyň gurluşy

Sentrifugalary bölünme faktorynyň alamatlary boýunça şertli iki topara bölmek bolar: kadaly sentrifugalar ($F_b < 3500$) we aşa ýokary-sentrifugalar ($F_b > 3500$).

Kadaly sentrifugalar, esasan, gaty jisimleriň konsentrasiýasy örän az bolan suspenziýalardan başga dürli suspenziýalary bölmek üçin, şeýle hem aýry-aýry materiallaryň çygyny aýyrmak üçin ulanylýar. Aşa ýokary sentrifugalar emulsiýalary we maýda dispersiýaly suspenziýalary bölmek üçin hyzmat edýär.

Kadaly sentrifugalar çökdüriji we süzüji görnüşli bolup biler. Aşa ýokary sentrifugalar çökdüriji görnüşli aparat bolýar we maýda dispersiýaly suspenziýalary bölmek üçin ulanylýan turba şekilli aşa ýokary sentrifugalara we emulsiýalary bölmek üçin hyzmat edýän suwuklykly separatorlara bölünýär.

Sentrifuganyň görnüşleriniň esasy aýratynlyklary olardan çökündileri düşürmek usuly bolup durýar. Çökündileri düşürmeklik yza-öňe (pulsirleýän) hereket edýän pyçaklaryň ýa-da daraklaryň, şnekleriň we porşenleriň kömegi arkaly el güýji bilen, şeýle hem agyrlyk güýjüniň we merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri astynda amala aşyrylýar.

Sentrifugalar aýlaw okunyň ýerleşşi boýunça dikleýin, ýapgytlaýyn we keseleýin bolup, olar biri-birinden tapawutlanýarlar. Dikleýin sentrifugalaryň rotorynyň walynyň aşagynda daýanjy bolýar ýa-da ýokardan asylyar.

Prosesiň gurnalyşyna baglylykda sentrifugalar üznükli we üznüksiz işleýän topara bölünýär. Konstruksiýalary boýunça awtomatiki, ýarym awtomatiki we mehaniki işleýän görnüşleri bolýar. Tehnologiki deňişiligi boýunça durlandyryjylara (suwuk fazanyň gaty garyndylardan arassalanmagy üçin), konsentrirleýjilere (goýaldylan suspenziýalar üçin) we bölüjilere (emulsiýalary we suspenziýalary bölmek üçin) bölünýär.

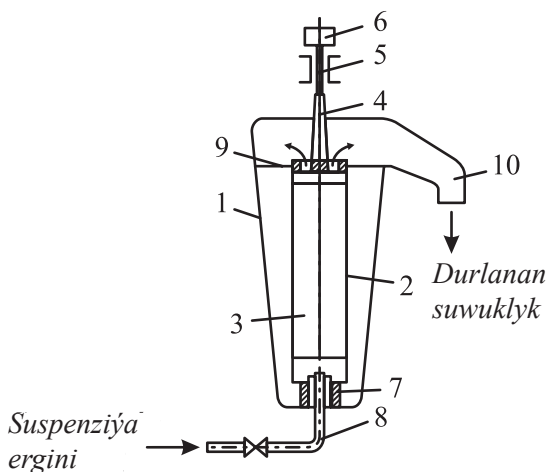
Sentrifugirleme prosesi beýleki proseslere garanyňda gymmaty iň ýokary baha düşýän prosesleriň biridir.

Gurluşy we işleýiş düzgüni boýunça sentrifugalaryň birnäçe görnüşü bardyr: üç kalonnaly sentrifugalar; asma sentrifugalar; çökündini aýyrmak üçin pyçak gurluşly dikleýin sentrifugalar; çökündini aýyrmak üçin pulsirleýji porşenli sentrifugalar; çökündini aýyrmak üçin şnekli gurluşly sentrifugalar; çökündini inersion düşürijili sentrifugalar; çökündini sandyradyp düşürijili sentrifugalar; suwuklykly separatorlar; turba şekilli aşýokary sentrifugalar ulanylýar.

Turba şekilli aşýokary sentrifuganyň gurluşyna seredeliň. Şeýle görnüşli sentrifuganyň rotorynyň diametri suwuklykly separatorlaryňky bilen deňeşdirilende kiçi bolýar (200 mm-den uly bolmaýar) we uly tizlikde aýlanýar (minutdaky aýlaw sany 45 000-e ýetýär). Bu bolsa turba şekilli aşýokary sentrifugalarda ýokary bölünme faktoryny (15 000-e ýetýän) alyp bolýar we olarda has maýda dispersiýaly ulgamy bölmäge ýardam berýär.

Turba şekilli aşýokary sentrifugalar, esasan, gaty jisimleriň konsentراسiýasyny örän az saklaýan suspenziýalary bölmek üçin, şonuň ýaly-da emulsiýany bölmek üçin giňden peýdalanylýar.

Turba şekilli aşýokary sentrifuganyň gurluş shemasy 5.7-nji suratda görkezilýär.



5.7-nji surat. Turba şekilli sentrifuganyň gurluş shemasy:

1 – sentrifuganyň korpusy (kožuh-gabyk); 2 – rotor; 3 – radial pilçeler;
 4 – şpindel; 5 – daýanç; 6 – şkiw; 7 – maýyşgak (elastiki) gönükdiriji
 element (podpýatnik); 8 – suspenziýalary sentrifuga bermek üçin turba;
 9 – deşik; 10 – durlanan suwuklygy çykarmak üçin turba

Shemada görkezilen korpusda (1) bitewi diwary bolan rotor (2) ýerleşdirilen. Onuň içinde bolsa rotoryň aýlanan pursatynda onuň diwaryndan suwuklygyň galmazlygy üçin niýetlenen radial pilçeler (3) ýerleşen. Rotoryň ýokarky bölegi koniki şpindel (4) bilen berk birikdirilen. Ol bolsa daýançada (5) asylan bolýar we şkiwiň (6) kömegi arkaly aýlanmaga mejbur edilýär. Rotoryň aşaky böleginde maýyşgak (elastiki) gönükdiriji element (7) ýerleşýär. Onuň üstünden bolsa suspenziýalary bermek üçin turba (8) geçýär. Suspenziýanyň rotorda ýokary hereketi netijesinde onuň diwarlarynda gaty bölejikler çökýär, we durlanan suwuklyk turbadaky (10) deşik (9) arkaly aýrylýar. Belli bir wagtyň geçmegi bilen aşa ýokary sentrifuganyň işi togtadylýar we rotorda ýygynanan çökündi aýrylyp zyňylýar.

Emulsiýalary bölmek üçin rotoryň ýokarky böleginde has çylşyrymly gurluşy bilen tapawutlanýan aşa ýokary sentrifugalar ulanylýar.

VI BÖLÜM

GAZ ULGAMLARYNYŇ BÖLÜNIŞI (GAZLARY ARASSALAMAK)

6.1. Umumy maglumat

Gazlaryň düzümindäki bar bolan gaty we suwuk bölejiklerden senagat taýdan arassalamak prosesi, esasan, howanyň hapalygyny azaltmak we gazdan gymmatly önümleri almak üçin ýa-da gaz täzeden işlenende ýaramaz täsir edýän, şeýle hem apparatlaryň gurluşyny we işleýşini bozýan zyýanly garyndylaryny aýyrmak üçin geçirilýär.

Himiýa önümçiliginiň galyndylaryny we zyňylýan senagat gazlaryny arassalamak himiýa senagatynda esasy tehnologiýa meseleleriniň biri bolup durýar. Şonuň üçin düzümi dürli bolan gaz ulgamlaryny arassalamak himiýa tehnologiýasynyň giňden ýaýran esasy prosesleriniň hataryna degişlidir.

Tozanjyklar, senagat şertlerinde gaty jisimler mehaniki maýdalananda (owradylanda, transportirlenende, süýkelende we ş.m.), ýangyç ýananda (çäge galyndysynda), buglaryň kondensasiýasynda, şeýle hem gazlaryň himiki özara täsiri netijesinde gaty önümiň emele gelmegi bilen we ş.m. döräp biler. Şeýle prosesleriň netijesinde dörän tozanjyklaryň ölçegi takmynan 3-70 mkm töweregi bolan gaty bölejiklerden ybarat bolýar. Buglaryň kondensasiýasy (nebit tüssesi, smolanyň ümri, kükürt kislotasy we ş.m.) netijesinde emele gelýän garyndylar, köplenç, ölçegi 0,001-den 1 mkm çenli bolan örän ownuk gaty bölejiklerden durýar.

Gazlary arassalamak, köplenç, aşakdaky usullar boýunça amala aşyrylýar we olar biri-birinden tapawutlanýar:

- 1) agyryk güýjüniň täsiri astynda çökdürme (grawitasiýa usuly);
- 2) inersiýa, käbir ýagdaýda merkezden daşlaşýan güýçleriň täsiri astynda çökdürme;
- 3) filtrleme;
- 4) çyglandyrmak esasynda arassalamak;

5) elektrostatiği güýjüň täsiri astynda çökdürme (elektriki aras-salamak).

Senagat tejribeliginde bir gaz arassalaýjy apparatyň kömegi bilen gazyň talap edilýän arassalyk derejesine ýetmek hemişe başartmaýar. Şonuň üçin köphalatda birmeňzeş ýa-da dürli görnüşli apparatlardan jemlenen iki we köpbasgançakly gaz arassalaýjy apparatlary ulanylýar.

Gazyň arassalyk derejesi η_g (%) aşakdaky deňleme arkaly kes-gitlenilýär:

$$\eta_g = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100\% = \frac{V_1 x_1 - V_2 x_2}{V_1 x_1} \cdot 100\%, \quad (6.1)$$

bu ýerde: G_1 we G_2 degişlilikde, başdaky hapa we soňky arassala-nan gazdaky gaty bölejikleriň massalary, kg/sag; V_1 , V_2 – başdaky we arassalanan gazyň normal şerte getirilen göwrümleýin harçlanmasy, m^3 ; x_1 , x_2 – degişlilikde, tozanly we arassalanan gazdaky gaty böle-jikleriň normal şerte getirilen konsentrasiýasy, kg/m^3 .

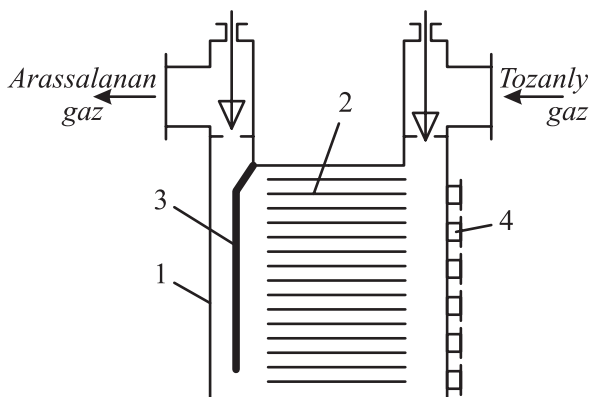
6.2. Gazlary grawitasiýa usuly bilen arassalamak

Gaz sredasynyň gaty bölejiklerini çökmek prosesi edil suwuk-lyklardaky gaty bölejikleri agyrlyk güýjüniň täsiri astynda çökdür-mek kanunyna laýyklygynyň düzgüni boýunça amala aşýar. Çökdür-me tizligi bir deň şertlerde gazyň ρ_g we ondaky gaty bölejikleriň ρ_{gat} dykyzlyklarynyň tapawudyna proporsionaldyr. Şeýle-de bolsa täsir ediji güýçleriň uly bolmany sebäpli gazy çökdürmek usuly boýunça arassalamak prosesi uly peýda bermeyän proses hasaplanýar.

Tozan çökdüriji kameralar. Gazlary agyrlyk güýjüniň täsiri astynda tozanlardan (gaty bölejiklerden) arassalamak tozan çökdüriji kameralarda amala aşyrylýar (6.1-nji surat).

Suratdan görnüşi ýaly, gazlary agyrlyk güýjüniň täsiri astynda arassalamak tozan çökdüriji kamerasynda geçirilýär. Başdaky tozanly gaz kamera (1) barýar, onuň içinde keseleýin bölüji diwarjyklar (tek-

jeler) (2) ýerleşdirilen. Gaz hereket edende tozandaky gaty bölekler tekjeleriň aralyklarynda çökyär. Tekjeleriň aralygy 0,1-0,4 m bolýar.



6.1-nji surat. Tozan çökdüriji kamera:

1 – kamera; 2 – keseleýin bölüji diwarjyklar (tekjeler);

3 – serpikdiriji diwarjyk; 4 – gapyjyklar

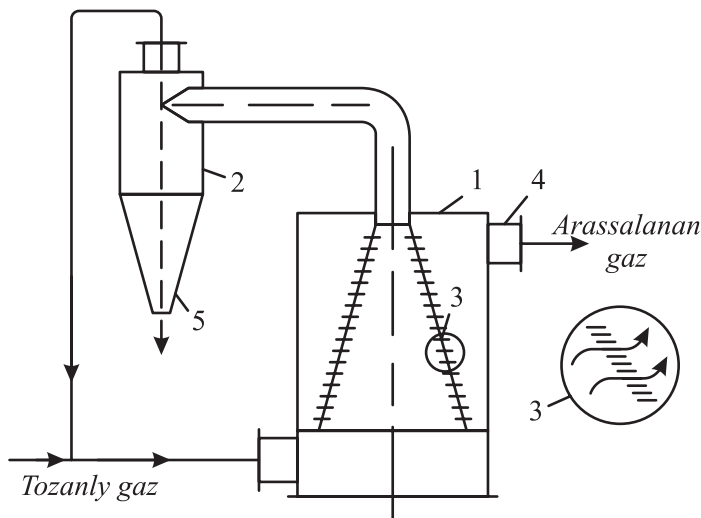
Gaz tekjeleriň aralaryndan geçende dikleýin serpikdiriji diwarjygyň (3) kömegi bilen öwrülýär we inersiýa güýjüniň täsiri astynda goşmaça birnäçe tozanjyklar çökdürilýär hem-de kameranyň gapyjylaryndan (4) el güýji (dyrmyk) bilen ýa-da suw bilen ýuwlup çykarylýar. Şol bir wagtda dikleýin serpikdiriji diwarjyk tozanly gazyň kameradaky tekjeleriň arasynda deň ölçegde paýlanmagyny üpjün edýär. Gazy tozandan üznüksiz arassalamak üçin kamerany iki sany özbaşdak bölüme bölýärler ýa-da iki sany parallel işleýän kamera gurnaýarlar. Şonda bir bölümde (ýa-da bir kamerada) gazyň arassalanmak prosesi bolup geçýär, şol wagtda beýleki bölümde (kamerada) bolsa onda çökdürilen tozanlar arassalanýar.

Tozan çökdüriji kameralaryň işçi üstüniň hasaplamalary suwuklyk üçin niýetlenen çökdürijileriň hasaplamalary ýaly ýerine ýetirilýär. Ýöne gazlar arassalananda $x_{\text{çök}} = 1$ hasabynda kabul edip bolýar. Bu kameralary köphaltda gazlary önürti iri böleklerden, ýagny tozanyň iri böleklerinden (>100 mkm) arassalamak üçin ulanylýar. Gazy tozandan arassalamagyň derejesi bu apparatlarda, köplenç, 30-40%-den ýokary geçmeýär.

6.3. Inersiýa we merkezden daşlaşýan güýçleriň täsiri astynda gazlary arassalamak

Inersiýa tozan tutujylary. Inersiýa güýjüniň täsiri astynda gazlary tozanlardan arassalaýjy apparatlara inersiýa tozan tutujylary diýilýär. Inersiýa güýji gazyň akymynyň ugry çürt-kesik (düýpgöter) üýtgedilende emele gelýär. Tozanly gazyň hereket edýän ýolunda serpikdiriji diwarjygy goýup, gazyň akymynyň ugruny 90 ýa-da 180°-a çenli düýpgöter üýtgedip bolýar. Şeýle ýagdaýda gazdaky tozan bölejikleri öz ugruny üýtgedip bilmän, başlangyç ugruny saklaýar we akymdan zyňlyp aýrylýar. Tozany tutmagyň amatly bolmagy üçin serpikdiriji diwarjygyň önünde gaz akymynyň tizligi pesinden 5-15 m/sek bolmalydyr.

Žalýuzaly çägetutujylar hususy inersiýaly ilkinji çägetutujydan (1) we ikinji çägetutujydan – siklondan (2) ybarat bolýar. Tozanly gaz içinde aralary 2-3 mm yşlar bilen gurnalan we biri-biriniň önüni ýapýan ýapgyt halkalaryň toplumy görnüşindäki žalýuzalary (3) bolan ilkinji çägetutuja (1) girýär (6.2-nji surat).



6.2-nji surat. Inersiýaly žalýuzaly tozantutujy:

1 – ilkinji žalýuzaly çägetutujy; 2 – siklon; 3 – žalýuzalar;
4 – arassalanan gaz üçin turbajyk; 5 – tozan aýryjy turbajyk

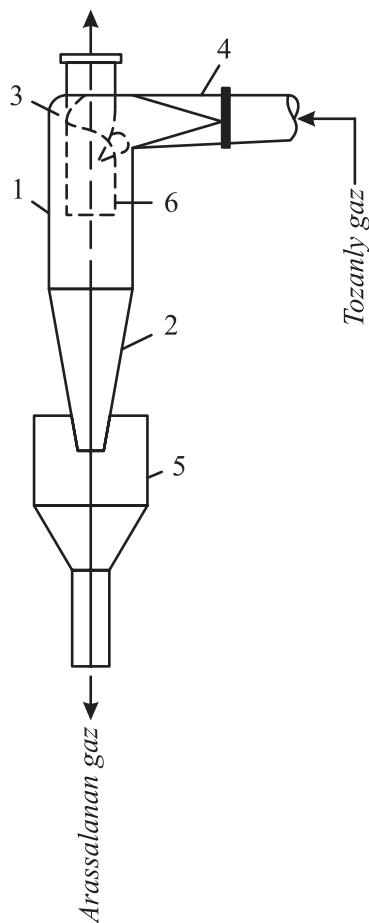
Apparatyň islendik kese kesiginde gazyň tizligini takmynan hemişelik saklamak üçin žalýuzalar konus görnüşinde bolýar. Tozan bölejikleri žalýuzanyň halkalaryna urulýar we konusyň okuna tarap zyňylýar. Tozanyň has iri bölejiklerinden arassalanan gaz bolsa konusyň yslaryndan geçýär we turbajygyň (4) üsti bilen çykyp gidýär. Tozanly gazyň köp bolmadyk mukdary (takmynan 10%) siklona (2) barýar, ol ýerde bolsa merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri astynda tozanyň esasy massasyndan arassalanýar we gaýtadan arassalanmak üçin ilkinji žalýuzaly çägetutuja dolanyp gelýär. Tozan siklondan turbajyk (5) arkaly aýrylýar. Žalýuzaly çägetutujylar keseleýin we dikleýin gaz geçiriji turbalarda gurnalyp we ulanylýp bilner.

Inersiýa tozan tutujylary ýönekeý gurluşy, ykjamlygy bilen beýlekilerden tapawutlanýarlar. Olarda gazy tozandan arassalamagyň derejesi takmynan 60%-e ýetýär (zyňylýan gaty bölejikleriň ölçegi 25 mkm-den ýokary). Olaryň kemçiligi bolsa gidrawliki garşylygynyň uly bolmagydyr, tiz hatardan çykmagydyr we diwarjyklarynyň dykylmagydyr.

Siklon. Gazyň arassalyk derejesini ýokarlandyrmak üçin ýöriteleşdirilen siklon apparatlary ulanylýar. Siklon konus görnüşli düýbi (2) bolan dikleýin silindrik korpusdan (1) we gapakdan (3) ybaratdyr (6.3-nji surat).

Tozanly gaz uly tizlik bilen (20-30 m/sek) kesigi gönüburçly turbajygyň (4) üsti bilen siklonyň korpusynyň ýokarky böleginden girýär. Korpusda tozanly gaz akymy siklonyň diwarynyň içki üstüniň boýuna aýlaw boýunça aşaklygyna hereketlenýär. Şeýle aýlawly hereketde tozan bölejikleriniň agyr bolany sebäpli, merkezden daşlaşýan güýjüň ugruna olar gaz bölejiklerine garanynda tiz hereketlenýär we akym bolup tozan ýygnaýja (5) geçirilýär. Bu ýerde tozan çökýär, arassalanan gaz bolsa towanyp aýlawly hereketini dowam edýär, ýokary göterilýär we çykaryjy turbanyň (6) üsti bilen çykarylýar. Siklonda tozan bölejikleriniň hereketi, esasan, gaz akymynyň çäge ýygnaýja tarap ugur boýunça aýlawly hereketi esasynda amala aşýar. Şonuň üçin siklonlary diňe bir dikleýin däl-de, keseleýin ýa-da ýapgytlaýyn gurnamak bilen hem ulanmak bolýar. Siklonda gazy arassalamak derejesi diňe aýrylmaly bölejikleriň ölçeglerine we gaz akymynyň aý-

law tizligine bagly bolman, siklonyň esasy elementleriniň konfigurasiýasyna we geometriki ölçegleriniň gatnaşygyna hem baglydyr.

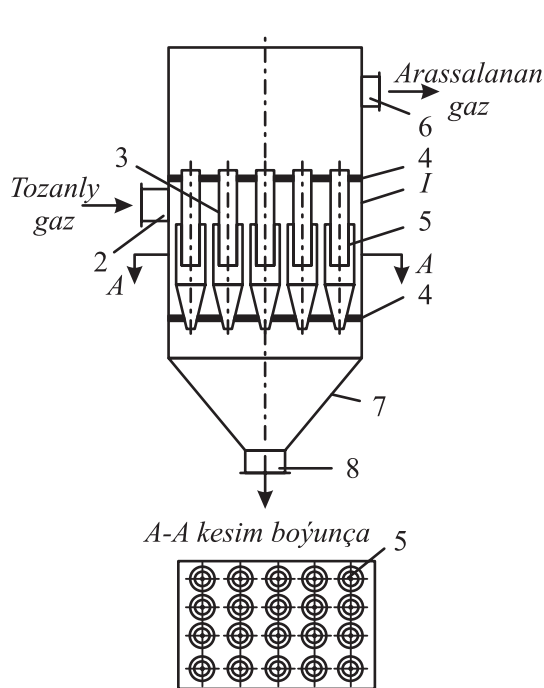


6.3-nji surat. Siklon:

*1 – korpus; 2 – konus görnüşli düýp; 3 – gapak; 4 – gazyň girýän turbajygy;
5 – tozan ýygnaýjy; 6 – çykaryp zyňyjy turba.*

Batareýli siklonlar. Senagatda köp mukdardaky tozanly gazlary arassalamak üçin, köplenç, uly diametrli siklonlaryň ýerine diametri has kiçi bolan siklonly elementler ulanylýar (olar bir korpusda gurnalýar). Şeýle siklonlara batareýli siklonlar ýa-da multisiklonlar diýilýär.

6.4-nji suratda bir umumy korpusda (1) gurnalan, parallel işleýän siklonly elementlerden ybarat bolan batareýli siklon görkezilen.



6.4-nji surat. Batareýli siklon:

- 1 – siklonyň korpussy; 2 – tozanly gazyň girmegi üçin turbajyk;
 3 – gaz paýlaýjy kamera; 4 – turbaly gözenekler; 5 – siklonly elementler;
 6 – arassalanan gazyň çykmagy üçin turbajyk; 7 – konus görnüşli düýp
 (bunker); 8 – tozanlary çykarmak üçin turbajyk

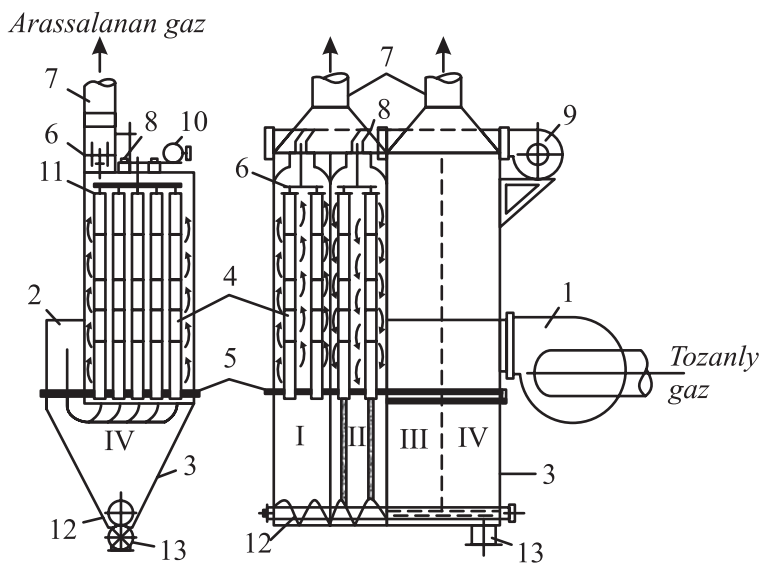
Suratdan görnüşi ýaly, parallel işleýän siklonly elementler (5) siklonyň korpussy (1) berkidilen. Tozanly gaz turbajygyň (2) üsti bilen mäkäm berkidilen siklonly elementleri (5) bolan turbaly gözenekler bilen çäklenen gaz paýlaýjy kamera (3) baryp düşýär. Ondan soňra gaz siklonyň her bir elementleri boýunça deňölçegli paýlanýar. Onuň işleýiş düzgüni adaty siklonlaryň iş düzgünine esaslanýar. Arassalanan gaz elementlerden çykyp, umumy kamera barýar we çykmak üçin niýetlenen turbajyk arkaly (6) çykarylýar. Çöken tozanlar bolsa konus görnüşli düýpde (bunkerde) (7) ýygnaýar we turbajyk arkaly (8) çykarylýar.

Batareýli siklonlar diametri 100, 150 we 250 mm bolan elementlerden ýasalýar. Olar tozanlylygy $0,05-0,1 \text{ kg/m}^3$ bolan gazlary arassalamak üçin niýetlenen bolýar. Batareýli siklonlarda diametri

5 mkm gaty bölejikleri bolan gazy arassalamagyň derejesi 65-85%, diametri 10 mkm gaty bölejikleri bolan gazy arassalamagyň derejesi 85-90%, diametri 20 mkm gaty bölejikleri bolan gazy arassalamagyň derejesi 90-95%-e deňdir.

6.4. Filtrlmek (süzmek) arkaly gazlary arassalamak

Gazy filtrlmek arkaly arassalananda ownujak gaty bölejikleri bolan gaz özünde gaty bölejikleri saklap galýan we gazy bolsa geçirip goýberýän gözenekli diwarjygyň üstünden geçirilýär. Gözenekli diwarjygyň üst gatlagynda gaty bölejikler saklanyp galýar, arassalanan gaz bolsa ol diwarjygyň gözeneklerinden geçýär.



6.5-nji surat. Ýeňli (rukawly) filtr:

I – IV – filtriň seksiýalary; 1, 9 – wentilýatorlar; 2 – gaz kanalyňa girelge;
3 – kamera; 4 – ýeň (rukawa); 5 – paýlaýjy gözenek; 6, 8 – drossel (gysyjy)
klapanlar; 7 – zyňyjy turba; 10 – silkeýji mehanizm; 11 – rama;
12 – şnek (wintli konweýer); 13 – şlýuzaly zatwor (jebislenen çykaryjy)

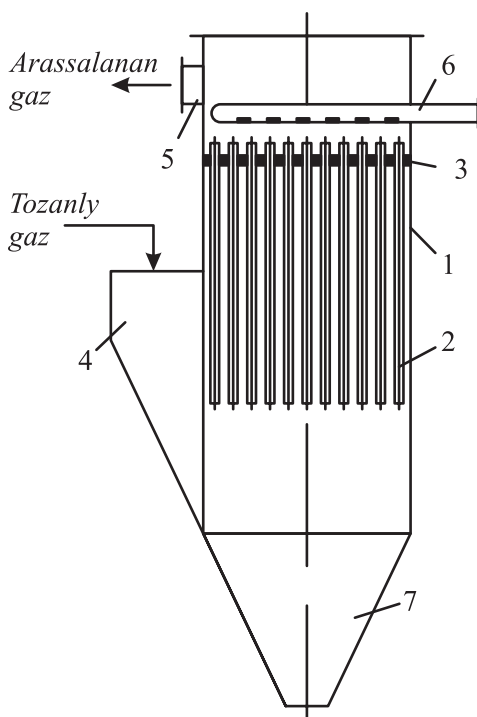
Gazlary filtrlmek üçin filtreýji diwarjyklaryň görnüşlerine görä filtrlr aşakdaky ýaly tapawutlanýarlar:

a) *Mayýşgak gözenekleri bolan diwarjykly filtrlr.* Olar tebigy, sintetiki we mineral süýümlerden (mata materiallaryndan), mata däl süýümlü materiallardan (woýlok, karton we ş.m.), gözenekli tekiz materiallardan, metally matalardan ýasalýar.

b) *Ýarym gaty gözenekleri bolan diwarjykly filtrlr* (gatlagy süýümlerden, gyryndylardan, torlardan durýan);

ç) *Gaty gözenekleri bolan diwarjykly filtrlr.* Olar däne görnüşli materiallardan (gözenekli keramikalardan, plastmassalardan, metallaryň bişirilen ýa-da gysylan unundan we ş.m.) durýar;

d) *Däne görnüşli gatklary bolan filtrlr* koksdan, daşlardan, kwars çägesinden durýar.



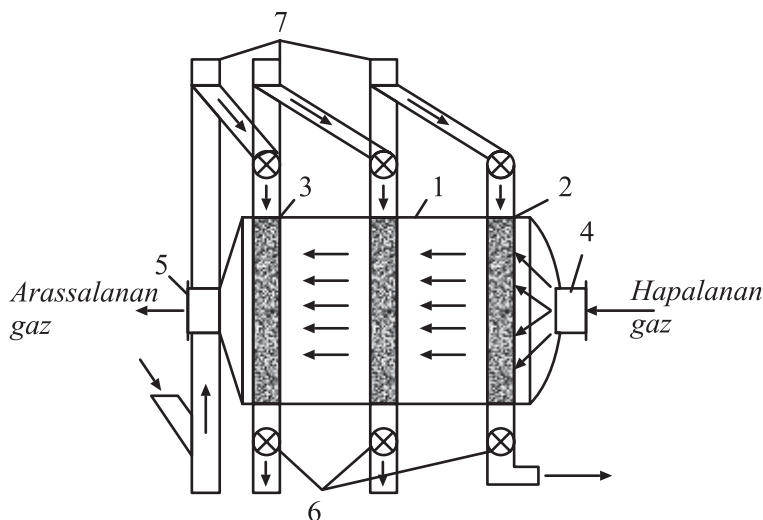
6.6-njy surat. Metalkeramiki filtr:

1 – korpus; 2 – metaldan gilzalar; 3 – gözenek; 4 – girdiriji ştuser;
5 – çykaryjy ştuser; 6 – gysylan howa kollektory; 7 – bunker.

Gözenekleri bolan diwarjykly filtrlr saýlananda filtrlenýän gazyň himiki häsiýetine, onuň temperaturasyna, filtr diwarjygynyň

gidrawliki garşylygyna we gazlardaky gaty bölejikleriň ölçegine baglylykda saýlap alyp bolýar.

Maýyşgak gözenekleri bolan diwarjykly filtrləriň, gaty gözenekleri bolan diwarjykly filtrləriň we däne görnüşli gatlaklary bolan filtrləriň gurluşy we işleýşi degişlilikde 6.5-nji, 6.6-njy we 6.7-nji suratlarda görkezilýär.



6.7-nji surat. Hereketlenýän däne görnüşli süzüji material gatlagy bolan üznüksiz işleýän filtr:

*1 – korpus; 2 – süzüji diwarjyklar; 3 – süzüji material; 4 – girdiriji ştuser;
5 – çykaryjy ştuser; 6 – zatworlar; 7 – iýmitlendirijiler*

6.5. Gazlary çyglandyryp arassalamak

Gazlary tozan bölejiklerinden has inçeden arassalamak üçin gazlary çyglandyryp arassalamak, ýagny gazlary suw ýa-da başga suwuklyk bilen ýuwmak usuly ulanylýar. Suwuklyk bilen tozanly gazyň arasyndaky ýakyn özara täsiri dikligine ýa-da ýapgyt tekizlik boýunça akýan suwuk plýonkanyň ýüzünde ýa-da bolmasa damjanyň ýa-da gaz düwmejikleriniň ýüzünde çyglandyrylan tozan tutujylarda amala aşyrylýar.

Gazlary çyglandyryp arassalamagyň esasy kemçiligi apparaturalarda korroziýa döredýän we soňlugy bilen bolsa bölmekligi ýa-

da arassalamaklygy talap edýän köp mukdardaky akyndy suwlaryň (şlamlaryň) emele gelmegi bolup durýar.

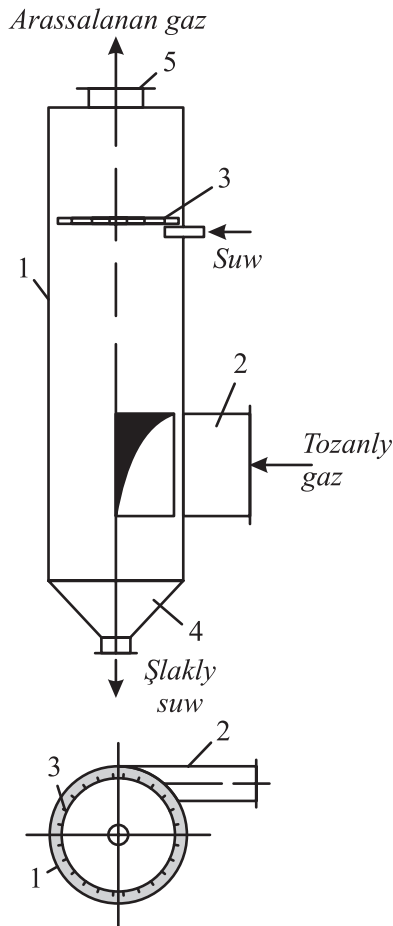
Ýarym we oturtma skrubberleri. Gazlary suwuklyk bilen çyglyndyrmak arkaly arassalamak usulynda ulanylýan apparatlara skrubber apparatlary diýilýär. Gazlary çyglyndyryp arassalamak we şol wagtda sowatmak üçin ýönekeý aparat bolup gönüburçly ýa-da tegelek kesikli ýarym skrubberler hyzmat edýär. Skrubberniň üstünden geçýän tozanly gaz aşakdan ýokary ugur boýunça 0,8-1,5 m/sek-dan ýokary bolmadyk (pürkülmeden gidýän ýitgini azaltmak üçin) tizlik bilen hereket edýär we apparatyň bütin beýikligi boýunça gurnalan pürkujiler ýa-da forsunkalar arkaly pürkülip, suw bilen çyglyndyrylýar. Şeýle ýagdaýda skrubberniň ähli kese kesigi pürkülýän suwuklyk bilen doly örtülýär.

Skrubberler üçin ulanylýan oturtma hökmünde, adatça, gönüleýin (hordalaýyn) we halkalaýyn oturtmalary, şeýle hem bölekleyin koks, kwars ulanylýar.

Ýarym skrubberlerde gazlary tozandan arassalamak derejesi 60-75%-e, oturtma skrubberlerinde 75-85%-e ýetýär. Şeýle ýagdaýda olaryň gidrawliki garşylyklary deňşililikde 150-200 n/m² (15-20 mm suw süt.) we 200-300 n/m² (20-30 mm suw süt.) barabar bolýar.

Merkezden daşlaşýan skrubberler. Merkezden daşlaşýan skrubberlerde (6.8-nji surat) tozanly gaz girýän turbajyk (2) arkaly silindrik korpusa (1) barýar we aýlanma hereketine eýe bolýar. Korpusyň diwary soplo (3) arkaly suw bilen ýuwulýar we onuň içki üsti boýunça ýukajyk kesmek (plýonka) görnüşinde akýar. Towlanma çyzygy boýunça göterilýän gaz akymynyň tozan bölejikleriniň garyndysy merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri astynda skrubberniň diwaryna tarap zyňylýar, suw kesmeginde öllenýär we skrubberniň konus şekilli düýbi (4) arkaly suw bilen aýrylýar. Arassalanan we şol bir wagtda sowadylan gaz ýörite çykaryjy turba (5) arkaly çykarylýar.

Ýarym we oturtma skrubberlere garanyňda merkezden daşlaşýan skrubberlerde arassalamak derejesi has ýokary baha ýetýär. Ol ölçegleri 5-30 mkm bolan tozan bölejikleri üçin 95%-den ýokary geçýär we ölçegleri 2-5 mkm bolan tozan bölejikleri üçin bolsa 85-90% bolýar. Bu tozantutujylar gurluşynyň ýönekeýligi we gidrawliki garşylygynyň azlygy bilen tapawutlanýarlar.

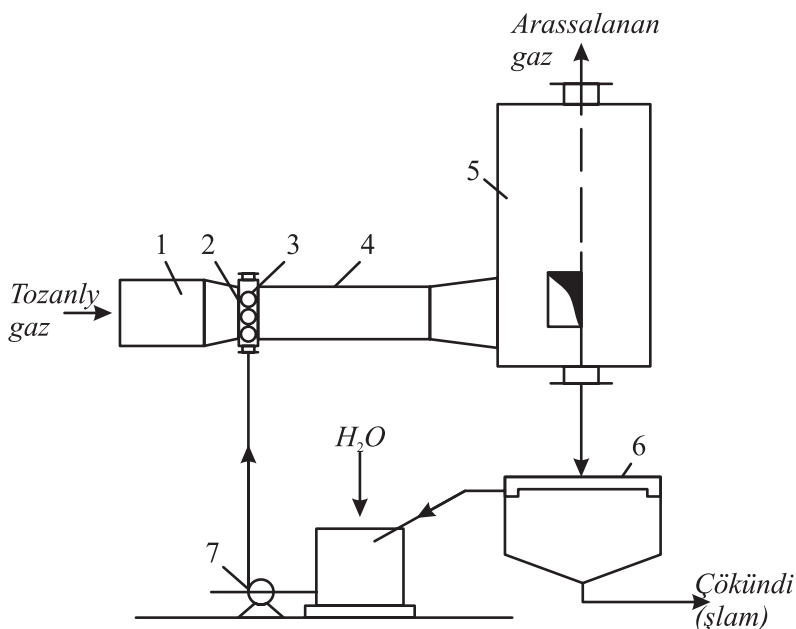


6.8-nji surat. Merkezden daşlaşýan skrubber.

1 – siklonyň korpusy; 2 – tozanly gazyň girmegi üçin turbajyk; 3 – soplo;
4 – konus görnüşli düýp (bunker); 5 – arassalanan gazyň çykmagy üçin turbajyk

Wenturi skrubberleri. Gazlary ýokary dispersli tozanlardan inçeden arassalamak üçin çüwdürimli turbulent gaz ýuwujylary – wenturi skrubberleri ulanylýar (6.9-njy surat). Tozanly gaz wenturi turbasynyň konfuzory (1) arkaly bokurdaga (2) baryp düşýär we ol ýerde onuň tizligi 60-150 m/sek ýetýär. Suwuklyk 30-100 kn/m² (0,3-1 at) artykmaç basyş astynda deşikler (3) arkaly bokurdaga (2) berilýär we ol ýerde gaz akymy bilen çaknyşyp, maýda damjalara

(diametri ~ 10 mkm) tozan görnüşinde dargadylýar. Tozanyň bölejikleri bilen urgularyň netijesinde damjalar olary özüne siňdirýär we göwrümmini ulaldýar. Bu damjalar gaz bilen bilelikde diffuzoryň (4) üstünden geçýär, ol ýerde akymyň tizligi 20-25 m/sec çenli peselýär we siklonly separatora (5) baryp düşýär. Siklonda gaz suwuklykly erginiň tizligi 4-5 m/sec çenli peselýär, damjalar merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri astynda gazlardan bölünýärler we hapalar (şlamlar) bilen bilelikde durlaýja (6) zyňylýar. Ahyrynda suw hapalardan bölünip alynýar we täzedden nasosyň (7) kömegi bilen skrubbera berilýär.

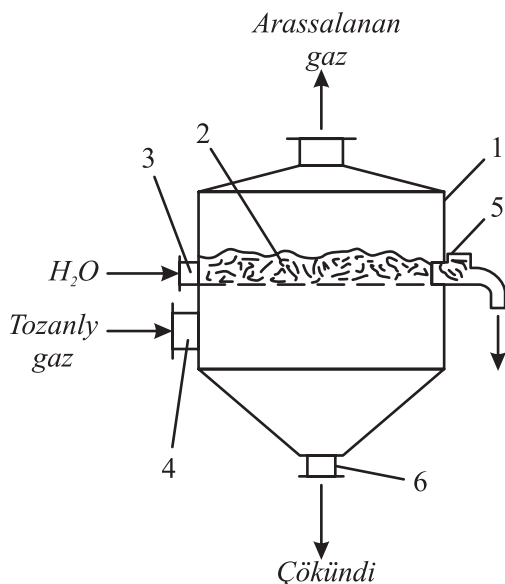


6.9-njy surat. Wenturi skrubberiniň çyzgysy:

- 1 – konfuzor; 2 – bokurdak; 3 – suwuklygy girizmek üçin deşijikler;
 4 – diffuzor; 5 – siklonly separator; 6 – durlaýjy (otstoynik);
 7 – sorup-iteriji nasos

Wenturi skrubberinde örän uşak tozan bölejikleri hem alnyp galýnýar. Apparatyň kömegi bilen gazdan 99%-e çenli hapalary aýryp, gazlary arassalap bolýar. Wenturi skrubberi gurluşy boýunça ýönekeý, emma onuň gidrawliki garşylygy beýlekiler bilen deňeşdirilende ýokary bolýar – $1500\div 7500$ n/m² (150÷750 mm suw süt.) we ondan hem uly.

Köpürjikli (barbotažly) tozantutujylar. Has hapalanan gazlary, meselem, tehnologiki, zyňlyp çykýan we tüsse gazlaryny, önümçilikdäki ýejejiredilýän howany we ş.m. arassalamak üçin barbotaž (köpürjikli) tozantutujylar ulanylýar. Bu apparatlarda gaz bilen özara täsirleşýän suwuklyk hereketlenýän köpürjik ýagdaýyna getirilýär. Ol bolsa suwuklyk bilen gazyň arasynda uly galtaşma üstüni emele getirýär we degişlilikde, gazy tozandan arassalamagyň ýokary derejesini üpjün edýär.



6.10-njy surat. Köpürjikli (barbotažly) tozantutujy:

- 1 – kamera; 2 – perforirlenen gözenekli tarelkalar;
 3 – suw bermek üçin ştuser; 4 – tozanly gazyň girmegi üçin ştuser;
 5 – sazlanýan geçelge (parog); 6 – döküji ştuser

Köpürjikli tozantutujylar bolanda kese kesigi tegelek ýa-da gönüburçly kamera (1) bolup, içinde deşik-deşik (perforirlenen) tarelka (2) ýerleşýär (6.10-njy surat). Suw ýa-da beýleki ýuwuýy suwuklyk ştuser (3) arkaly tarelka barýar, hapalanan gaz bolsa turbajyk (4) arkaly apparata berilýär. Tarelkalaryň deşiklerinden (2) geçen gaz suwuklygyň içinden böwsüp geçip barbotirlenýär we ony tutuşlygyna hereketlenýän köpürjik gatlagyna öwürýär. Köpürjikli gatlagdaky

tozan suwuklyk tarapyndan siňdirilýär we onuň esasy bölegi (~80%) köpürjik bilen bilelikde sazlanýan geçelge (5) arkaly çykarylýar. Suwuklygyň galan bölegi (~20%) bolsa tarelkadaky deşikler arkaly dökülýär we has iri bölejikler tarelkanyň aşagyndaky giňişlikde tutulyp galdyrylýar. Şeýlelikde, emele gelen suspenziýa döküji stuser (6) arkaly çykarylýar.

Şeýle hem arassalyk derejesi has ýokary bolan gazy almak üçin apparatlarda parallel ýerleşdirilen birnäçe perforirlenen tarelkalar goşmaça goýlup ulanylýar. Olaryň sany gazyň talap edilýän arassalyk derejesine baglylykda kabul edilýär.

Beýleki apparatlar bilen deňeşdirilende barbotažly apparatlaryň az mukdardaky düýpli maýa goýumynda we ulanyş çykdaýlarynda tozantutujylyk derejesi, köplenç, 95-99%-e çenli ýokarlanýar.

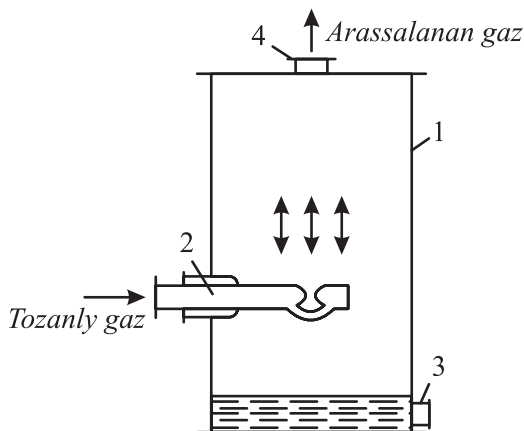
6.6. Gazlar arassalananda aýrylýan bölejikleri irilendirmek we koagulyasiýa

Dürli görnüşli apparatlarda gazlaryň arassalanýş derejesini ýokarlandyrmak we arassalamak prosesini tizleşdirmek gazdaky maýda bölejikleri önünden irilendirmek ýoly bilen amala aşyrylyp bilner. Ony amala aşyrmak üçin akustiki koagulyasiýany – hapalanan gaza ses we ultrases ýygyllykly çeýe akustiki yrgyldylaryň täsirinden peýdalanyp bolar. Ses we ultrases yrgyldylary maýdajyk bölejikleriň garyndysynyň işjeň sandyramak häsiýetini ýüze çykarýar. Bu bolsa bölejikleriň çaknyşma sanynyň çürt-kesik (düýpgöter) ýokarlanmagyna we olaryň birigip, irilenmegine alyp barýar. Bölejikleriň koagulyasiýasy durnukly tolkunly meýdanda has-da işjeň bolup geçýär.

Mysal hökmünde gazylyp alynýan ugurdaş we tebigy gazlardan kondensaty separirlemekde aerozollaryň akustiki koagulyasiýasyny amala aşyrmak maksady bilen ulanylýan desganyň shemasyna sere deliň (6.11-nji surat).

Ýokary 10 000-20 000 kn/m² (100-200 at) basyş astynda bolan gaz stuser arkaly separirleýji kamera (1) berilýär. Onuň içinde akustiki energiýanyň çeşmesi – mehaniki sandyradyjy ýa-da jürlewük (2)

ýerleşdirilen. Gazyň ses etmegi kondensatyň damjalarynyň çürt-kesik ulalmagyna getirýär, netijede bolsa, agyrlýk güýjüniň täsiri astynda aşak gaçýar we ştuser arkaly (3) daşyna zyňylýar. Arassalanan gaz ştuser (4) arkaly çykarylýar.



6.11-nji surat. Gaz arassalananda bölejikleri önünden akustiki koagulyasiýa etmek üçin ulanylýan desga:

*1 – separirleýji kamera; 2 – jürlewük; 3 – kondensaty çykarmak üçin ştuser;
4 – arassalanan gazy çykarmak üçin ştuser*

Garyndy bölejikleriň akustiki koagulyasiýasy üçin ulanylýan apparatlar ýönekeýligi we ykjamlygy bilen tapawutlanýarlar. Olary temperaturasy 550 °C gyzygynlyk derejesine çenli barýan gyzygyn gazlary, şeýle hem himiki agressiw we partlanma howpy bolan gazlary täzeden işlemek üçin peýdalanmak bolýar. Bu apparatlaryň aýratyn kemçilikleri olarda işleýän adamlaryň işlemegi üçin zähmet şertleriniň agyr bolmagy bolup durýar.

6.7. Gaz arassalaýjy apparatlary saýlamak we deňeşdirme häsiýetnamalary

Gazy arassalamak üçin apparatlaryň görnüşi saýlananda, ilki bilen, olaryň tehniki-ykdysady taýdan görkezijilerine üns bermelidir we ol görkezijileri kesgitleýän gazyň arassalanýş derejesini, apparatyň gidrawliki garşylygyny, arassalamak üçin elektroenergiýanyň, bu-

guň we suwuň harçlanmasyny, apparatyň özüne düşýän gymmatyny we gazy arassalamagyň gymmatyny (adatça, ähli çykdajylar 100 m³ arassalanan gazyň gatnaşygyna görä alynýar) hasaba almak zerur hasplanýar. Şonuň ýaly hem beýleki täsir ediji ululyklara-da, ýagny gazyň çyglylygyna we ondaky tozanyň mukdaryna, gazyň temperaturasyna we onuň himiki agressiwligine, tozanyň häsiýetine, tozan bölejikleriniň ölçeglerine we onuň fraksiýa düzümine we başgalara üns bermelidir.

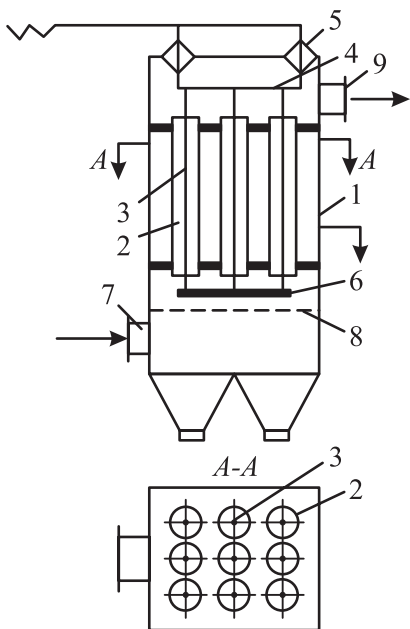
Esasy ulanylýan gaz arassalaýjy apparatlaryň käbir ortaça häsiýetnamalary aşakda görkezilýär:

| Apparatlar | Gazda tozanyň maksimal bolmagy, kg/m³ | Bölünip aýrylýan gaty bölejikleriň ölçegi, mkm | Gazyň arassalanma derejesi, % | Gidrawliki garşylygy, mm suw süt. |
|---------------------------------|---|---|--------------------------------------|--|
| Tozan çökdüriji kameralar | - | 100-den köp | 30-40 | - |
| Žalýuzaly tozan tutujylar | 0,02 | 25-den köp | 60 | 500 |
| Siklonlar | 0,4 | 10-dan köp | 70-95 | 400-700 |
| Batareýli siklonlar | 0,1 | 10-dan ýokary | 85-90 | 500-800 |
| Rukawaly filtrler | 0,02 | 1-den köp | 98-99 | 500-2500 |
| Merkezden daşlaşýan skrubberler | 0,05 | 2-den köp | 85-95 | 400-800 |
| Köpürjikli tozan tutujylar | 0,3 | 0,5-den köp | 95-99 | 300-900 |
| Elektrofiltrler | 0,01-0,05 | 0,005-den köp | 99 we kiçi | 100-200 |

Görkezilen maglumatlardan belli bolşy ýaly, inersion tozan tutujylar we siklonlar diňe iri bölejikleri saýlamak üçin ýaraýandyr we olary gurak gazlary önürti iri bölejiklerden arassalamak üçin ulanmak bolar.

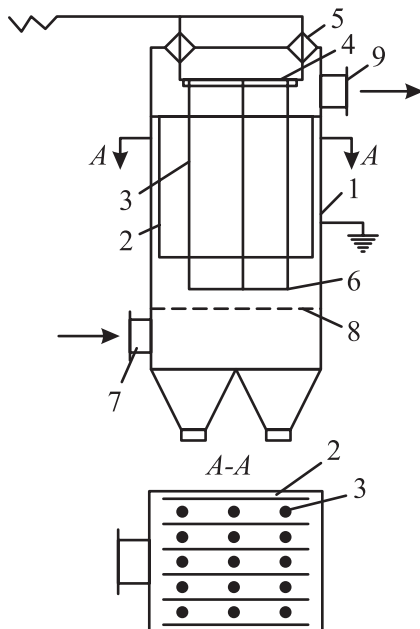
Gazlar elektriki arassalananda maýda bölejikleri tutmagyň has ýokary derejesini gazanyp bolýar. Bu ýagdaýda elektrofiltrleriň gidrawliki garşylygynyň pesligi we toguň sarp edilişiniň azlygy sebäpli, energiýa çykdajysy uly bolmaýar. 1000 m³/s möçberindäki gazy arassalamak üçin energiýanyň sarp edilişi, adatça, 0,2-0,3 kw·s barabardyr. Gurak gazlary arassalamak üçin plastinkaly elektrofiltrler, kynlyk bilen tutulýan tozanlary we ümürleri bölüp aýyrmak üçin bolsa turbaly elektrofiltrler ulanylýar. Elektrofiltrler beýlekilere garanynda gymmatbahaly we ulanyşda çylşyrymly apparatlar hasap edilýär.

6.12-nji suratda turbaly elektrofiltrniň shemasy, 6.13-nji suratda bolsa plastinkaly elektrofiltrniň shemasy görkezilýär.



6.12-nji surat. Turbaly elektrofiltrniň shemasy:

1 – kamera; 2 – çökdüriji elektrod; 3 – koronirleýji elektrod; 4 – rama; 5 – izolýator; 6 – rama; 7 – gaz kanalyňa girelge; 8 – paýlaýjy gözenek; 9 – gaz kanalyňa çykalga



6.13-nji surat. Plastinkaly elektrofiltrniň shemasy:

1 – kamera; 2 – çökdüriji elektrod; 3 – koronirleýji elektrod; 4 – rama; 5 – izolýator; 6 – rama; 7 – gaz kanalyňa girelge; 8 – paýlaýjy gözenek; 9 – gaz kanalyňa çykalga

VII BÖLÜM

SUWUK SREDALARDA GARYŞDYRMA

7.1. Umumy maglumat

Suwuk sredalarda garyşdyrma prosesi himiýa senagatynda emulsiýalary, suspenziýalary taýýarlamak we gomogen ulgamlary (erginleri) almak, şeýle hem himiki, ýylylyk we diffuzion prosesleriň işjeňligini ýokarlandyrmak üçin giňden ulanylýar. Şular ýaly ýagdaýda garyşdyrma şeýle prosesleri geçirmäge gönüden-göni niýetlenen garyşdyryjy gurallar bilen üpjün edilen apparatlarda amala aşyrylýar.

Garyşdyrmaklygyň maksady prosesiň saýlanyp alynmagy bilen kesgitlenýär.

Garyşdyrma usuly absorbsiýada, bugartmada, ekstragirlemede we himiýa tehnologiýalarynyň beýleki proseslerinde giňden ulanylýar.

Garyşdyrmaklygyň usullary. Garyşdyrmaklygyň usullary we ony amala aşyrmak üçin apparaturalary saýlap almak garyşdyrma-gyň maksadyna we garyşdyrmaly materiallaryň agregat halyna görä kesgitlenýär. Himiýa senagatynda garyşdyrmagyň suwuk sredalarda amala aşyrylýan prosesi giň gerime eýe boldy.

Haýsy sredalaryň garyşdyrylýandygyna bagly bolmazdan suwuklyk – gaz, suwuklyk ýa-da gaty ürgün madda-suwuk sredalarda garyşdyrmagyň iki sany esasy: mehaniki (dürli konstruksiýaly garyşdyryjylaryň kömegi bilen) we pneumatiki (gysylan howa ýa-da inert gazlary bilen) usullary bar. Ondan başga-da turba geçirijilerde garyşdyrmak we sopolaryň we nasoslaryň kömegi bilen garyşdyrmak usullary hem ulanylýar.

Garyşdyrmanyň netijeliligi we işjeňligi. Garyşdyryjy gural-lary deňeşdirilende olara baha bermäge esas bolýan in wajyp häsiýetnamasy: garyşdyryjy guralyň netijeliligi hem-de onuň täsiriniň işjeňligidir.

7.2. Mehaniki garyşdyrma

Garyşdyrylýan sreda daşarky çeşmeden mehaniki energiýanyň berilmegi netijesinde garyşdyrmak usuly himiýa senegatynda iň uly gerime eýe boldy. Mehaniki garyşdyrma usuly dürli görnüşli konstruksiýasy bolan garyjy gurallaryň kömegi bilen ýerine ýetirilýär. Garyjy gurallaryň aýlanma hereketi elektrik hereketlendirijileriň, reduktoryň, kemerli geçirijileriň kömegi bilen amala aşyrylýar. Şonuň ýaly-da mehaniki ýa-da elektromagnit sandyradýydan ýymitlenýän, yza-öňe hereket ediji garyşdyryjylar hem önümçilikde bellidir.

Garyjy guralynyň aýlanma tizligini aşakdaky deňlemäniň kömegi bilen kesgitlep bolýar:

$$\vartheta_{aýl.} = \pi \cdot d \cdot n, \quad (7.1)$$

bu ýerde: d – garyjy guralynyň diametri, m; n – garyjy guralynyň wagt birligindäki aýlaw sany, π – hemişelik san (ol 3,14 deňdir).

Garyşdyrma prosesini suratlandyrmak üçin Eýleriň (Eu_m), Reýnoldsyň (Re_m) we Frudanyň (Fr_m) modifisirlenen kriteriýalary ulanylýar:

$$Re_m = \frac{n \cdot d \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{n \cdot d^2 \rho}{\mu}, \quad (7.2)$$

$$Fr_m = \frac{n^2 \cdot d^2}{gd} = \frac{n^2 \cdot d}{g}, \quad (7.3)$$

$$Eu_m = \frac{\Delta p}{\rho(nd)^2}. \quad (7.4)$$

Eýleriň kriteriýasyna garyşdyryjynyň pilçeleriniň öňki we yzky tekizlikleriniň arasyndaky basyşlaryň tapawudy Δp girýär. Ol basyşlar tapawudy suwuklyga berilýän peýdaly kuwwat N arkaly aňladylýar.

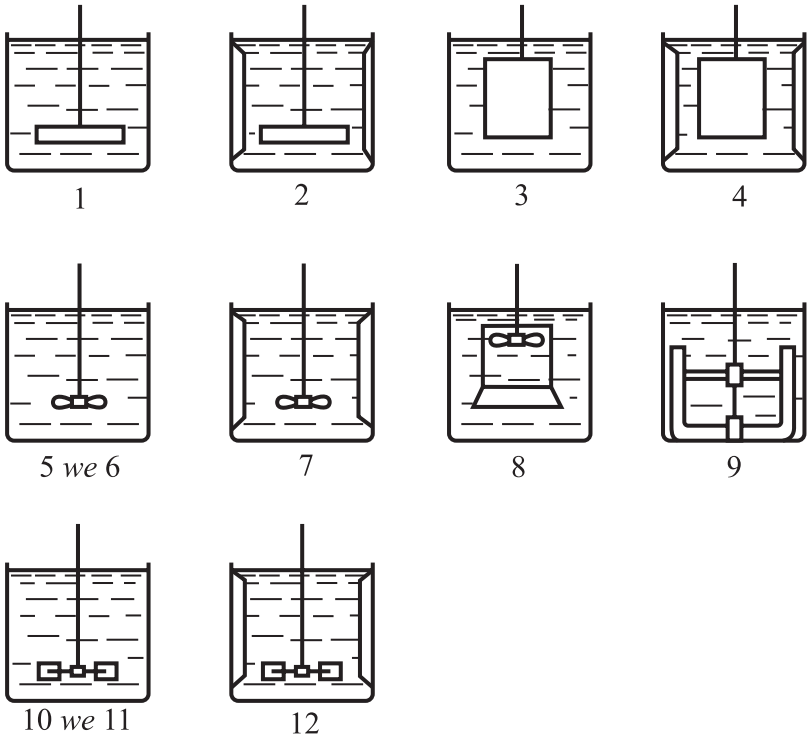
Eu_m kriteriýasy üçin aňlatmada Δp -niň bahasyny ýerine goýup mehaniki garyşdyryjyda ulanylýan kuwwaty alarys:

$$Eu_m = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = K_N,$$

bu ýerde: K_N – kuwwatyň kriteriýasy; N – peýdaly kuwwat.

Şunuň ýaly görnüşde aňladylan Eu_m kriteriýa kuwwatyň kriteriýasy diýilýär we K_N arkaly belgilenýär.

Garyşdyryjylaryň we apparatlaryň görnüşleri 7.1-nji suratda görkezilýär:



7.1-nji surat. Garyjy gurallarynyň görnüşleri:

- 1 – pilçeli garyşdyryjy; 2 – serpikdiriji diwarjygy bolan pilçeli garyşdyryjy;
 3 – tekizlikli (ýaprakly) garyşdyryjy; 4 – serpikdiriji diwarjygy bolan pilçeli garyşdyryjy;
 5, 6 – propellerli garyşdyryjy; 7 – serpikdiriji diwarjygy bolan propellerli garyşdyryjy;
 8 – diffuzory bolan propellerli garyşdyryjy;
 9 – ýakorly we ramaly garyşdyryjy; 10, 11 – turbinaly açyk garyşdyryjy;
 12 – serpikdiriji diwarjygy bolan turbinaly açyk garyşdyryjy

7.3. Pnewmatiki garyşdyrma

Haçan-da garyşdyrylýan suwuklyk uly himiki işjeňligi bilen tapawutlanýan bolsa we mehaniki garyşdyryjyny tiz zaýalap hatardan çykarýan bolsa, onda gysylan inert gazlary ýa-da howa bilen pnewmatiki garyşdyrmak usuly ulanylýar.

Gysylan gaz bilen garyşdyrmak işjeňligi pes bolan proses hasaplanýar. Pnewmatiki garyşdyrmakda energiýanyň sarp edilişi mehaniki garyşdyrmak usulyna garanynda köp bolýar.

Gysylan gaz bilen garyşdyrmak ýörite gurallar – barbotýorlar ýa-da merkezi aýlanyşykly turbalar bilen üpjün edilen apparatlarda amala aşyrylýar. Barbotýor bolanda apparatyň düýbünde ýerleşen, işlenýän suwuklyk gatlagynyň üstünden geçip, gazyň barbotažlanmagyny amala aşyrýan deşikleri bolan turba bolýar. Merkezi aýlanyşykly garyşdyrmada gaz aýlanyşykly turba berilýär. Gaz düwmejikleri özleri bilen gapda ýerleşýän suwuklygy turba boýunça ýokary alyp gidýär, soňra bolsa apparatyň suwuklygyň aýlanyşykly garyşmagyny üpjün edýän diwary bilen turbalarynyň arasyndaky halkalaýyn giňişlikden aşak goýberilýär.

Pnewmatiki garyşdyryjylaryň hasaplamalarynda gazyň zerur bolan basyşy we akym mukdary kesgitlenýär. Gazyň basyşyny Bernulliniň deňlemesi arkaly hasaplap bolar.

Barbotýorlaryň hasaplamalarynda 1 m^3 erkin üstden geçýän howanyň akym mukdaryny: haýal garyşma üçin $0,4 \text{ m}^3/\text{min}$, orta garyşma üçin $0,8 \text{ m}^3/\text{min}$, işjeň garyşma üçin $1,0 \text{ m}^3/\text{min}$ deň diýip kabul edip bolýar.

7.4. Turba geçirijilerde garyşdyrma

Suwuklyklary turba geçirijileriň üsti bilen äkidilende (transportirlenende) ulanylýan turba geçirijilerde garyşdyrmak usuly suwuklyklary (damjalaýyn we gaz görnüşindäki suwuklyklary) garyşdyrmagyň iň ýönekeý usuly bolup durýar. Turba geçirijide garyşdyrmak prosesi turbulentli pulslaşmanyň täsiri astynda bolup geçýär. Şonuň

üçin garyşdyrmagyň şeýle usulyndan aşakdaky şertlerde peýdalanmak bolar, ýagny akym turbulent häsiýetine eýe bolanda we turba geçirijiniň suwuklygyň barmaly ýerine çenli wagt aralygynda onuň garylmalygyny üpjün edip biljek ýeterlik uzynlygy bolmaly. Suwuklyklary garyşdyrmagy has-da gowulandyrmak üçin, köplenç, turba geçirijilerde ýörite gurallar, wintli çökdürijiler ýa-da inžektorlar ýerleşdirilýär.

7.5. Soplolarýň we nasoslaryň kömegi bilen garyşdyрма

Köp ýagdaýlarda apparatlarda soplo (lüle) gaz görnüşindäki we damjalaýyn suwuklyklary aýlanyşyk usulynda garyşdyrmak üçin peýdalanylýar.

Suwuklygyň lüleden çykýan çüwdürimi içki sürtülmäniň hasabyna öz kinetiki energiýasynyň bir bölegini töweregindäki suwuklyk gatlagyna geçirýär we olary herekete getirýär. Ol gatlaklaryň eýeleýän giňişliginde sorulma häsiýeti ýüze çykýar. Basyşyň peselmegi bilen giňişligiň şol bölegine tarap suwuklyk sorulmaga mejbur bolýar. Soplodan çykýan çüwdürimleriň we apparatda ýerleşýän suwuklygyň özara täsirleriniň şeýle yzygiderliligi üznüksiz we birnäçe gezek bolup geçýär hem-de apparatyň saklaýan göwrüminiň garyşmagyny üpjün edýär.

Adatça, soplo damjalaýyn suwuklyklar üçin özüne berilýän suwuklyklara zerur bolan kinetiki energiýany berýän aýlanyşyk nasoslary bilen bilelikde ulanylýar. Kähalatlarda soplony ulanmazdan, suwuklygy aýlanyşyk nasosynyň kömegi bilen apparatyň üstünden köp gezek gaýtalap geçirmek usuly bilen garyşdyrylýar.

VIII BÖLÜM

ÝÝLYLYK HADYSALARY.

HIMIKI APPARATLARDA ÝÝLYLYK GEÇIRILIŞINIŇ ESASLARY

8.1. Umumy maglumat

Dürli temperaturalara eýe bolan jisimleriň arasynda ýylylyk görnüşinde energiýanyň geçmegine ýylylyk çalyşma hadysasy diýilýär. Bu prosese gysgaça ýylylyk geçiş hadysasy hem diýilýär.

Ýylylyk çalyşmanyň islendik hadysasynyň hereketlendiriji güýji has ýokary gyzdyrylan we has pes gyzgynlykly jisimleriň temperaturalarynyň tapawudydyr. Şeýle tapawut bolanda ýylylyk termodinamikanyň ikinji kanunyna laýyklykda öz-özünden has gyzgyn jisimden gyzgynlygy pes jisime erkin geçýär. Jisimleriň arasyndaky ýylylyk çalyşmasy molekulalaryň, atomlaryň we erkin elektronlaryň arasyndaky energiýa çalyşmasydyr. Ýylylyk çalyşmasynyň netijesinde has gyzgyn jisimiň bölejikleriniň hereketiniň işjeňligi peselýär, emma gyzgynlygy pes jisimiň bölejikleriniň hereketiniň işjeňligi bolsa ýokarlanýar.

Ýylylyk çalyşma hadysasyna gatnaşýan jisimlere ýylylyk äkidijiler diýilýär.

Himiýa senagatynda prosesleriň aglabasy diňe bir ýylylyk çalyşma hadysasy bilen däl-de, eýsem ýylylyk çalyşma bilen bir wagtda massa çalyşma hadysasy hem bolup geçýär. Olara sowatma, gyzdyрма, bugartma, kondensasiýa, rektifikasiýa, absorbsiýa, desorbsiýa, guratma we başgalar degişlidir. Şonuň üçin ýylylyk alyş-çalşygy bolup geçmegi talap edýän himiki hadysalaryň netijesinde alynýan önümleriň hili we mukdary prosesiniň ýylylyk bilen üpjün edilmegi, ýagny ýylylyk prosesiniň kadaly bolup geçmegi bilen kesgitlenýär.

Ýylylyk alyp-beriş – munuň özi ýylylygyň ýaýramak prosesleri baradaky ylymdyr. Ýylylyk alyp-berişiniň kanunlary ýylylyk hadysalarynyň – gyzdyrmagyň, sowatmagyň, buglary kondensirlemegiň, bugartmagyň esasynda ýatýar we ýylylygyň berilmegi we alynmagy bilen bolup geçýän birnäçe massa çalyşma (bugardyp kowma, guratma

we ş.m. prosesleri), şeýle hem himiki prosesleriň köpüsini geçirmek üçin uly ähmiýete eýedir.

Ýylylygyň ýaýramagynyň düzgünleri biri-birinden üç sany usul: ýylylyk geçirijilik, konweksiýa we ýylylyk şöhlelenmesi bilen tapawutlanýarlar.

Ýylylyk geçirijilik – munuň özi mikrobölejikleriň tertipsiz (ýylylykdan) hereketi esasynda biri-biri bilen gönüden-göni galtaşmagy netijesinde bolup geçýän ýylylyk çalyşmasydyr. Bu hereket edýän molekulalaryň özleriniň hereketi bilen (gazlar, damja suwuklyklary), ýa-da atomlaryň yrgyldysy bilen (gaty jisimleriň kristallik gözeneginde), ýogsa-da erkin elektronlaryň diffuziýasy bilen (metallarda) bolup biler. Adatça, gaty jisimlerde ýylylyk geçirijilik ýylylygyň ýaýramagynyň esasy görnüşi bolup durýar.

Konweksiýa diýlip, gazyň ýa-da suwuklygyň makroskopik (uly) göwrümleriniň hereketi we garyşmagy netijesinde ýylylygyň geçirilişine aýdylýar. Konweksiýanyň adaty (erkin) we mejburi konweksiýa diýen iki görnüşi bolýar.

Ýylylygyň geçmegi suwuklygyň (gazyň) göwrüminiň dürli nokatlarynda temperaturalaryň tapawudynyň ýüze çykmagy netijesinde şol nokatlarda dykzlyklaryň tapawudynyň döreýänligi bilen şertlendirilen adaty ýa-da erkin konweksiýanyň, şeýle hem suwuklygyň ähli göwrüminiň mejburi hereketinde, meselem, garyşdyryjy bilen ony garyşdyrylan ýagdaýynda mejburi konweksiýanyň ýüze çykýan şertlerinde amala aşyrylmagy mümkindir.

Ýylylyk şöhlelenmesi – munuň özi şöhlelenýän jisimiň atomlarynyň ýa-da molekulalarynyň ýylylyk hereketi bilen şertlendirilen, dürli uzynlykdaky tolkunlaryň elektromagnit yrgyldylarynyň ýaýrama prosesidir. Ähli jisimler beýleki jisimleriň şöhläni siňdirişi we täzeden ýene-de ýylylyga öwürüşi ýaly energiýany şöhlelendirmäge ukyplydyr. Şeýlelikde, şöhlelenme arkaly ýylylyk çalyşmasy amala aşýar; ol şöhle goýberme we şöhle siňdirme proseslerinden ybaratdyr.

Hakyky (real) şertlerde ýylylyk ýokarda görkezilen usullaryň haýsy hem bolsa biri boýunça geçirilmän, eýsem bu usullaryň kombinirlenen (jemlenen) görnüşinde geçirilýär. Meselem, gaty diwar bilen oňa galtaşýan gaz göwrüminiň arasynda bolup geçýän ýylylyk çalyş-

lyşmasynda ýylylyk şol bir wagtda konweksiýa, ýylylyk geçirijilik we ýylylyk şöhlenenmesi usullary arkaly geçirilýär. Ýylylygyň gaty diwardan gaz (suwuk) göwrüme ýa-da ters ugra geçirilmegine ýylylyk beriş diýilýär.

Ýene çylşyrymly prosesiniň biri has gyzgyn suwuklykdan (gazdan) gyzgynlygy pes bolan suwuklyga (gaza) olary bölýän üst ýa-da gaty diwar arkaly ýylylygyň alyp-beriş prosesidir. Bu proses ýylylygy alyp-beriş diýen ady göterýär.

Ýylylygy alyp-beriş prosesinde ýylylygyň konweksiýa arkaly berilmeginde ýylylyk geçirijilik we şöhlenenme boýunça ýylylyk çalyşmasy gatnaşýar. Emma kesgitli şertler üçin ýylylygyň ýaýramagynyň haýsy hem bolsa bir görnüşi agdyklyk edýär.

Üznüksiz işleýän apparatlaryň dürli nokatlarynda temperaturalar wagta görä üýtgemeyärler we ýylylyk çalyşmanyň bolup geçýän prosesi durnuklaşan (stasionar) bolýar. Üznükli işleýän apparatlarda temperaturalar wagta görä üýtgände (gyzdyrylanda ýa-da sowadylanda) durnuksyz ýa-da stasionar däl ýagdaýda ýylylyk çalyşma hadysasy amala aşýar.

Ýylylyk çalyşyý apparatlaryň hasaplamalaryna aşakdaky meseleler degişlidir:

1. Ýylylyk akymyny (apparatyň ýylylyk ýüküni), ýagny kesgitli wagtda (üznüksiz işleýän apparatlarda 1 sekuntda ýa-da 1 sagatda, üznükli işleýän apparatlarda – bir iş gezeginde) bir ýylylyk äkidijiden beýlekä geçirip biljek Q ýylylyk mukdaryny kesgitlemek. Ýylylyk akymynyň mukdary ýylylyk balanslaryny düzmek we çözmek ýoly bilen hasaplanýar.

2. Berlen wagtda ýylylygyň talap edilýän mukdaryny geçirmegi üpjün edip biljek aparatyň ýylylyk çalyşyý üstüniň F meýdanyny kesgitlemek. Ýylylyk çalyşyý üstüň F meýdany ýylylygyň geçiriliş mehanizmine – ýylylyk geçirijilik, konweksiýa, şöhlenenme boýunça we olaryň biri-biri bilen utgaşmagyna bagly bolan ýylylyk geçirilişiniň tizligi bilen kesgitlenýär.

Ýylylyk çalyşmanyň üst meýdanyny ýylylyk geçirilişiniň esasy deňlemesinden kesgitlep bolýar.

8.2. Ýylylyk balansy

Gyzgynlygy has ýokary bolan ýylylyk äkidijiden berilýän ýylylyk (Q_1), has sowuk ýylylyk äkidijini gyzdyrmak üçin sarp edilýär (Q_2) we apparatdan daşky gurşawa ýitirilýän ýylylygy kompensirlemek üçin az mukdardaky ýylylyk ýitgisine (Q_y) harçlanýar. Ýokarda aýdylanlary göz önünde tutup, ýylylyk çalşyjy apparatyň ýylylyk balansynyň deňlemesini aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

$$Q_1 = Q_2 + Q_y.$$

Ýylylyk izolýasiýasy bilen örtülen ýylylyk çalşyjy apparatlarda Q_y ululyk peýdaly ulanylýan ýylylygyň ~3-5%-inden ýokary geçmeýär. Şonuň üçin ony hasaplamalardan aýyrmak bolýar. Onda ýylylyk balansynyň deňlemesi aşakdaky ýaly aňladylar:

$$Q = Q_1 = Q_2,$$

bu ýerde: Q – apparatyň ýylylyk ýüki.

Goý, has gyzgyn ýylylyk äkidijiniň massalaýyn akym mukdary G_1 , onuň apparata girendäki başdaky entalpiýasy I_{1b} , apparatdan çykandan soňky entalpiýasyny I_{1s} (0°C -da entalpiýa şertli nola deň). Değişlilikde, has sowuk ýylylyk äkidijiniň massalaýyn akym mukdary – G_2 , onuň başlangyç entalpiýasy I_{2b} we soňky entalpiýasy I_{2s} bolsun. Onda ýylylyk balansynyň deňlemesini aşakdaky ýaly ýazarys:

$$Q = G_1 (I_{1b} - I_{1s}) = G_2 (I_{2s} - I_{2b}). \quad (8.1)$$

Eger ýylylyk çalyşma prosesi ýylylyk äkidijileriň agregat ýagdaýlarynyň üýtgemeyän şertinde bolup geçýän bolsa, onda soňky entalpiýalar değişlilikde ýylylyk sygymynyň c temperatura t köpeldilmegine deňdir, ýagny:

– gyzgyn ýylylyk äkidiji üçin: $I_{1b} = c_{1b} \cdot t_{1b}$ we $I_{1s} = c_{1s} \cdot t_{1s}$;

– sowuk ýylylyk äkidiji üçin: $I_{2b} = c_{2b} \cdot t_{2b}$ we $I_{2s} = c_{2s} \cdot t_{2s}$.

Tehniki hasaplamalarda ýylylyk äkidijiniň entalpiýasy hasaplanyp tapyрман, onuň temperaturasyna baglylykda değişli diagrammalardan ýa-da tablisalardan tapylýar.

Eger ýylylyk çalyşmasy ýylylyk äkidijileriň agregat ýagdaýlarynyň üýtgemegi bilen bolup geçýän bolsa (buguň kondensirlenmegi, suwuň bugarmagy we ş.m.) ýa-da ýylylyk çalyşmasy hadysasynda himiki reaksiýa bolup geçýän bolsa, onda ýylylyk balansynyň deňlemesinde ýylylyk äkidijileriň fiziki ýa-da himiki öwrülişiklerinde bölünip çykyan ýylylygy hem hasaba almalydyr.

Ýylylyk äkidijiniň massalaýyn akym mukdary bilen G_1 onuň ortaça ýylylyk sygymynyň c köpeltmek hasylyna suw ekwiwalenti W diýlip şertli atlandyrylýar.

Şeýlelikde, (8.1) deňlemäni başgaça ýazarys:

$$Q = G_1 \cdot c_1 (t_{1b} - t_{1s}) = G_2 \cdot c_2 (t_{2s} - t_{2b}), \quad (8.2)$$

ýa-da:

$$Q = W_1 (t_{1b} - t_{1s}) = W_2 (t_{2s} - t_{2b}), \quad (8.2a)$$

bu ýerde: W_1 we W_2 – deňşililikde gyzgyn we sowuk ýylylyk äkidijileriň suw ekwiwalenti.

(8.1) we (8.2) deňlemelere ýylylyk çalşygy apparatlaryň ýylylyk balansynyň deňlemesi diýilýär.

8.3. Ýylylyk alyp-berşiň esasy deňlemesi

Ýylylyk akymy Q' bilen ýylylyk çalyşmanyň üst meýdanynyň F özara gatnaşygyny aňladýan ýylylyk alyp-beriş hadysalary üçin umumy kinetiki baglanyşyk ýylylyk alyp-berşiň esasy deňlemesi bolup durýar. Onda üznükli proses üçin ýylylyk alyp-berşiň esasy deňlemesini ýazarys:

$$Q' = K \cdot F \cdot \Delta t_{ort} \cdot \tau, \quad (8.3)$$

bu ýerde: Q' – gyzgyn geçirijiden sowuk geçirijä berilýän ýylylyk mukdary; K – ýylylyk çalşyjynyň hemme üstüniň boýuna ýylylyk alyp-berşiň ortaça tizligini kesgitleýän ýylylyk alyp-beriş koeffisiýenti; F – ýylylyk çalşyjynyň üstüniň meýdany; Δt_{ort} – ýylylyk alyp-beriş prosesiniň ortaça hereketlendiriji güýjini kesgitleýän ýylylyk äkidijileriň arasyndaky temperaturalaryň ortaça tapawudy, ýa-da temperaturalar güýji; τ – wagt.

Ýokardaky (8.3) deňlemä laýyklykda, *has gyzgyn ýylylyk äkidijiden has sowuk ýylylyk äkidijä alyp-berilýän ýylylygyň mukdary ýylylyk çalşygy üstiň F meýdanyna, ortaça temperaturalar güýjüne Δt_{ort} we τ wagta proporsionaldyr.*

Ýylylyk çalşmanyň üznüksiz prosesi üçin ýylylyk alyp-beriş deňlemesi aşakdaky görnüşi alar:

$$Q = \frac{Q'}{\tau} = K \cdot F \cdot \Delta t_{ort}. \quad (8.4)$$

(8.3) deňlemeden ýylylyk alyp-beriş koeffisiýentiniň fiziki manysy we onuň ölçeg birligi gelip çykýar. Şeýlelikde, $F = 1 \text{ m}^2$; $\Delta t_{ort} = 1 \text{ grad}$, $\tau = 1 \text{ sek}$ bolanda:

$$[K] = \left[\frac{Q'}{F \tau \Delta t} \right] = \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{sek} \cdot \text{grad}} \right] = \left[\frac{\text{Wt}}{\text{m}^2 \cdot \text{grad}} \right],$$

ýa-da Q' ululygy $\frac{\text{kkal}}{\text{sag}}$ -da aňladylsa:

$$[K] = \left[\frac{\text{kkal}}{\text{m}^2 \cdot \text{sag} \cdot \text{grad}} \right],$$

bu ýerde $1 = \frac{\text{kkal}}{\text{m}^2 \cdot \text{sag} \cdot \text{grad}} = 1,16 \frac{\text{Wt}}{\text{m}^2 \cdot \text{grad}}$ bellemek ýerliklidir.

Şeýlelikde, K ýylylyk alyp-beriş koeffisiýenti, *1 sek wagtyň dowamynda ýylylyk çalşyjynyň 1 m^2 üsti arkaly ýylylyk äkidijileriň arasyndaky temperaturalaryň ortaça tapawudy 1 grad deň bolanda ýokary gyzgynlykly ýylylyk äkidijiden pes gyzgynlykly ýylylyk äkidijä näçe mukdarda ýylylygyň berilýändigini görkezýär.*

Ortaça temperaturalar güýji Δt_{ort} ýylylyk çalşyjynyň üstüniň ugry boýunça ýylylyk äkidijileriň temperaturalarynyň üýtgemek häsiýetine baglydyr. Onuň kesgitlenişi aşakda berilýär.

8.4. Temperatura meýdany we temperatura gradiýenti

Ýylylyk geçirijilik hadysasy aýry-aýry bölejikleriň ýa-da jisimleriň dürli temperaturaly biri-birlerine galtaşmasy bolanda ýüze çykýar. Maddanyň agregat halyna baglylykda mikrobölejikleriň energiýasy dürli usullar boýunça geçirilýär. Meselem, hereketsiz gazlarda energiýa molekulalaryň we atomlaryň diffuziýasy arkaly geçirilýär. Suwuklyklarda we gaty jisimlerde energiýa maýyşgak tolkun görnüşinde ýaýraýar. Metallarda bolsa energiýa, esasan, erkin elektronlaryň hereketi arkaly geçirilýär.

Islendik ýylylyk geçirijilik ýa-da ýylylyk çalşyk jisimlerdäki dürli nokatlaryň ýa-da jisimleriň arasyndaky temperaturanyň dürlüligi sebäpli mümkindir.

Sredada temperaturanyň koordinata we wagta görä paýlanyşyna temperatura meýdany diýilýär.

Jisimleriň ýa-da sredanyň temperatura meýdany giňişligiň koordinatasyna we wagta baglylykda aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$t = f(x, y, z, \tau). \quad (8.5)$$

Bu deňlemä temperatura meýdanynyň matematiki aňladylyşy diýilýär.

Durnukly we durnuksyz temperatura meýdanyny tapawutlandyrýarlar. Eger-de temperatura meýdany wagta bagly üýtgemese, onda ol meýdana durnukly temperatura meýdany diýilýär. Durnukly temperatura meýdany matematiki taýdan aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$t = f(x, y, z). \quad (8.6)$$

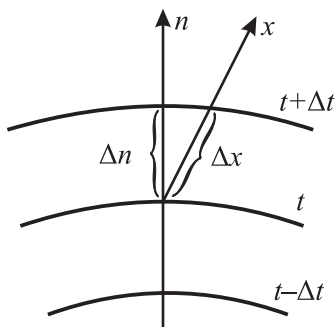
Ýokarky (8.5) formula durnukly däl temperatura meýdanyny häsiýetlendirýär. Jisimlerde ýa-da sredada temperaturanyň ýaýraýan ugurlary boýunça üç ölçegli, iki ölçegli we bir ölçegli temperatura meýdany diýlen düşüňjelerden peýdalanylýar we degişlilikde, olar matematiki taýdan aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$t = f(x, y, z, \tau); \quad t = f(x, y, \tau) \quad \text{we} \quad t = f(x, \tau).$$

Bir ölçegli, iki ölçegli we üç ölçegli durnukly temperatura meýdanlary üçin aşakdakylary ýazmak bolar:

$$t = f(x), \quad t = f(x, y) \quad \text{we} \quad t = f(x, y, z).$$

Jisimlerde temperaturanyň göwrüm boýunça paýlanmagyna garamazdan, köplenç, islendik temperatura meýdanynda birmeňzeş temperaturaly nokatlary tapmak mümkindir. Eger-de şeýle nokatlary birleşdirsek, birmeňzeş temperaturaly üsti alarys, oňa izotermiki üsti diýilýär. Izotermiki üstler kesişip bilmeýärler, sebäbi şol bir wagtda şol bir nokat dürli temperatura eýe bolup bilmeýär. Izotermiki üstleriň tekizlik bilen kesişmegi izotermiki çyzyklary emele getirýär. Olara izotermalar, ýagny birmeňzeş temperaturaly çyzyklar diýilýär. Izotermalar edil izotermiki üstleri ýaly kesişmeýärler we jisimiň çäginde üzülmeýärler. Olar tutuşlygyna jisimiň içinde ýerleşýärler ýa-da jisi-
miň üstlerinde gutarýarlar. 8.1-nji suratda biri-birleri bilen Δt ululyga tapawutlanýan izotermalar görkezilen. Suratdan görnüşi ýaly, jisi-
miň temperaturasy izotermiki üstleri kesýän ugur boýunça ýaýraýar. Uzynlyk birligindäki iň uly temperatura tapawudy izotermiki üste geçirilen normal boýunça bolýar.



8.1-nji surat. Izotermalar

Temperaturanyň izotermiki üste geçirilen normalyň ugry boýunça ulalmagy temperatura gradiýentini häsiýetlendirýär. Temperatura gradiýenti wektor ululyk bolup, aşakdaky formula bilen aňladylýar:

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta n} = \frac{\partial t}{\partial n} = \overrightarrow{grad} \cdot t. \quad (8.7)$$

Bu ýerde $\frac{\partial t}{\partial n}$ – temperatura gradiýenti. Ol izotermika üstüň dürli nokatlarynda dürlüdür. Onuň ululygy izotermiki üstleriň Δn aralygynyň kiçi ýerinde uludyr. Temperatura gradiýentiniň ölçeg birligi $\frac{\text{grad}}{\text{m}}$. Ony Ox , Oy , Oz koordinata oklaryna görä proyektirläp, aşakdaky aňlatmalary alarys:

$$\begin{cases} (grad \ t)_x = \frac{\partial t}{\partial n} \cos(n, x) = \frac{\partial t}{\partial x} \\ (grad \ t)_y = \frac{\partial t}{\partial n} \cos(n, y) = \frac{\partial t}{\partial y} \\ (grad \ t)_z = \frac{\partial t}{\partial n} \cos(n, z) = \frac{\partial t}{\partial z} \end{cases} \quad (8.8)$$

8.5. Ýylylyk geçirijilik boýunça ýylylygyň geçirilişi

Tekizlik boýunça ýylylygyň ýaýramagynyň şerti jisimleriň islen-dik nokatlarynda temperatura gradiýentiniň nola deň bolmazlygydyr. Ji-simlerde ýylylyk geçirilişi tejribe üsti bilen öwrenen belli alym Furýei-zotermiki üstden kesgitli wagt aralygynda geçýän ýylylygyň temperatura gradiýentine proporsionaldygyny subut edýär. Furýeniň dF üstden $d\tau$ wagt aralygynda geçýän dQ ýylylygy aşakdaky formula bilen aňladylýar:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau. \quad (8.9)$$

Bu formuladaky λ – proporsionallyk koeffisiýenti tejribe üsti bi-len kesgitlenip, oňa ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti diýilýär. Bu koeffi-siýent jisimiň (maddanyň) ýylylyk geçirijilik ukybyny häsiýetlendirýär we onuň ölçeg birligi $Wt/(m^0C)$.

Wagt birliginde meýdany bir birlige deň bolan izotermiki üstden geçýän ýylylyk mukdaryna ýylylyk akymynyň dykyzlygy diýilýär.

Ýylylyk akymynyň dykzlygy (8.9) formulanyň esasynda skalýar görnüşinde aşakdaky ýaly ýazylýar:

$$q = \frac{Q}{F \cdot \tau} - \lambda \frac{\partial t}{\partial n}. \quad (8.10)$$

Formuladaky “-” minus alamaty ýylylyk akymynyň temperatura gradiýentiniň tersine ugrukdyrylandygyny aňladýar. Dogrudan hem temperatura gradiýenti kiçi temperaturaly nokatdan uly temperaturaly nokada ugrukdyrylsa, ýylylyk akymy, ozal aýdylyşy ýaly tersine, ýokary temperaturaly nokatdan pes temperaturaly nokada ugrukdyrylandyr.

Ýylylyk akymynyň birligi Wt , ýylylyk akymynyň dykzlygynyň (udel ýylylyk akymynyň) birligi bolsa $\frac{Wt}{m^2}$.

(8.9) deňlemä laýyklykda, ýylylyk geçirijilik koeffisiýentiniň deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazarsyň:

$$[\lambda] = \left[\frac{dQ \partial n}{\partial t dF d\tau} \right] = \left[\frac{J \cdot m}{grad \cdot m^2 \cdot sek} \right] = \left[\frac{wt}{m \cdot grad} \right].$$

Eger ýylylyk akymynyň mukdarynyň Q ölçeg birligini kkal/sag kabul etsek, onda ýylylyk geçirijilik koeffisiýentiniň ölçeg birligi aşakdaky ýaly aňladylar:

$$[\lambda] = \left[\frac{kkal}{m \cdot sag \cdot grad} \right].$$

Şeýlelikde, ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti λ wagt birliginde ýylylyk çalşyjynyň bir birlik üstünden izotermiki üste ugrukdyrylan normalyň uzynlyk birliginde temperaturanyň 1 grad peselmeginde ýylylyk geçirijilik arkaly näçe ýylylygyň geçýändigini görkezýär.

8.6. Ýylylyk geçirijiligiň deňlemesi

Ylymda we tehnikada ýylylyk hadysalary bilen baglanyşykly meseleler çözülende sredanyň (jisimiň) temperatura meýdanyny kesgitlemeli. Temperatura meýdanyny kesgitlemek üçin hem ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesini ulanmaly bolýar.

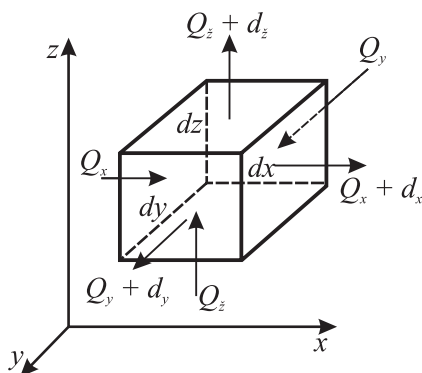
Ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesini getirip çykarmak üçin öwrenilýän giňişlikden tükeniksiz kiçi dV göwrümi alalyň. Şol dV göwrümde $d\tau$ wagtyň dowamynda ýylylyk geçirilişine seredeliň. Meseläniň çözüwini sadalaşdyrmak üçin şu aşakdaky ýönekeýleşdirmeleri girizeliň:

- öwrenilýän jisim birjynsly we izotrop;
- fiziki parametrleri hemişelik;
- temperaturanyň dürlüligi bilen döräp biljek deformasiýa seredilýän göwrümiň çäginde hasaba alardan az;
- jisimiň içindäki bolup biljek içki çeşme jisimiň göwrümi boýunça deňölçegli paýlanan.

Ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesiniň getirilip çykarylyşy energiýanyň saklanmak kanunyna esaslanýar. Ýagny dV elementar göwrüme $d\tau$ wagtyň dowamynda daşyndan berilýän dQ_1 we içki çeşmäniň berýän dQ_2 ýylylyk mukdarlary bilelikde dV göwrümlü jisimiň içki energiýasyny ýa-da entalpiýasyny (hemişelik basyşdaky ýa-da hemişelik göwrümdäki proseslere baglylykda) dQ ululyga üýtgedýär.

$$dQ = dQ_1 + dQ_2. \quad (8.11)$$

dQ_1 -i kesgitlemek üçin jisimde taraplary dx , dy , dz bolan dV göwrümlü parallelepipedini bölüp çykaralyň (8.2-nji surat).



8.2-nji surat.
Ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesiniň getirilip çykarylyşy

Suratda görkezilen Ox , Oy we Oz oklaryň ugry boýunça ugrukdyrylan dQ_x , dQ_y , dQ_z we dQ_{x+dx} , dQ_{y+dy} , dQ_{z+dz} ýylylyk akymlyry udel ýylylyk akymlyry arkaly aňladylýar. Meselem, $(dy \, dz)$ üstde $d\tau$ wagtda berilýän ýylylyk:

$$dQ_x = q_x dy \cdot dz \cdot d\tau. \quad (8.12)$$

Parallelepipedin gapma-garşylykly üstlerinden çykýan Ox okuň ugruna ugrukdyrylan ýylylyk akymy:

$$dQ_{x+dx} = q_{x+dx} dy \cdot dz \cdot d\tau. \quad (8.13)$$

Parallelepipedin Ox okunyň ugry boýunça berilýän ýylylyk:

$$dQ_{x_1} = dQ_x - dQ_{x+dx} = q_x dydzd\tau - q_{x+dx} dydzd\tau. \quad (8.14)$$

q_{x+dx} funksiýa dx aralykda üznüksiz bolany üçin ony Teýloryň hataryna dargadylýar. Hataryň has kiçi agzalaryny taşlap, aşakdaky ululygy alarys:

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx. \quad (8.15)$$

Bu aňlatmany ýokarky formulada ornuna goýup:

$$dQ_{x_1} = -\frac{\partial q_x}{\partial x} dx dy dz d\tau, \quad (8.16)$$

formulany alarys.

Edil şoňa meňzeşlikde beýleki Oy we Oz oklar üçin hem dV göwrüme berilýän ýylylyklary goşup, ýylylyk geçirijilik arkaly dV göwrümlü parallelepipedde berilýän dQ_1 ýylylygy aşakdaky ýaly ýazalyň:

$$dQ_1 = -\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) dx dy dz d\tau. \quad (8.17)$$

Wagt birliginde we göwrüm birliginde içki çeşmeden bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny q_v bilen belläp, dQ_2 bahasyny aşakdaky görnüşde aňladalyň:

$$dQ_2 = q_v dV d\tau. \quad (8.18)$$

dQ – bahasy termodinamiki prosese baglylykda kesgitlenilýär. Eger-de izohorik prosese seredilýän bolsa, onda dv göwrümlü parallelepipedde berilýän ähli ýylylyk içki energiýany üýtgetmäge sarp edilýär. $dQ = dU$. Onda:

$$dQ = dU = c_v \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau dV. \quad (8.19)$$

Bu ýerde: c_v – massa birligindäki izohorik ýylylyk sygymy, J/(kg·K); ρ – jisimiň dykzlygy, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

(8.17), (8.18) we (8.19) formulalary (8.11) formulada ornuna goýup alarys:

$$c_v \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = - \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + q_v. \quad (8.20)$$

Eger izobarik prosesde ýylylyk berilýän bolsa, onda ol jisimiň entalpiýasyny üýtgetmäge harçlanýar:

$$dQ = dH = c_p \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau dv = \frac{\partial i}{\partial \tau} dv, \quad (8.21)$$

bu ýerde: c_p – massa birliginde izobarik ýylylyk sygymy, J/kg K; i – udel entalpiýa, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$.

Entalpiýanyň üsti bilen ýokarky (8.20) formula aşakdaky ýaly ýazylýar:

$$\rho \frac{\partial i}{\partial \tau} = - \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + q_v. \quad (8.22)$$

(8.20) we (8.22) formulalara degişlilikde ýylylyk geçirilişiniň izohorik we izobarik proseslerde energiýanyň differensial deňlemeleri diýilýär.

Ýokarky formulalary

$$q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}, \quad q_y = -\lambda \frac{\partial t}{\partial y}, \quad q_z = -\lambda \frac{\partial t}{\partial z}.$$

(8.20) formulada ornuna goýup we $c_p \approx c_v \approx c$ aňladyp, ony aşakdaky görnüşde ýazalyň.

Eger-de λ üýtgeýän ululyk bolsa, onda

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{c\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) \right] + \frac{q_v}{c\rho}, \quad (8.23)$$

ýa-da:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{c\rho} \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} t) + \frac{q_v}{c\rho}. \quad (8.24)$$

Eger $\lambda = \text{const}$ bolsa, onda $a = \frac{\lambda}{c\rho}$, (a – temperatura geçirijiligi) we $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = \nabla^2 t$ bilen belläp indiki formulany alarys:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c\rho}. \quad (8.25)$$

Eger $q_v = 0$ bolsa, onda:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t. \quad (8.26)$$

Bu ýerde ∇^2 – Laplasyň operatory.

Silindrik koordinatalar ulgamynda:

$$\nabla^2 t = \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}. \quad (8.27)$$

Bu ýerde: r – radius wektor; φ – polýar burç; z – applikata.
Sferiki koordinatalary ulgamynda:

$$\nabla^2 t = \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \mu} \left[(1 - \mu^2) \frac{\partial t}{\partial \mu} \right] + \frac{1}{r^2 (1 - \mu^2)} \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2}. \quad (8.28)$$

Bu ýerde: $\mu = \cos \theta$; θ we φ polýar aralyk we uzaklyk; $a = \frac{\lambda}{c\rho}$

– jisimiň fizika parametri bolup, ol temperaturanyň üýtgeýiş tizligini häsiýetlendirýär. Temperatura geçirijilik koeffisiýenti jisimiň ýylylyk inertliligini kesgitleýär.

Ýylylyk geçirijiligiň differensial deňlemesini anyk ýylylyk proseslerinde ulanmak üçin, bu umumy prosesi beýan edýän deňlemä öwrenilýän prosesiniň hususy ýagdaýyny häsiýetlendirýän matematiki ýazgylary goşmaly. Ýokarky deňleme bilen jisimiň hususy ýagdaýyny häsiýetlendirýän goşmaça matematiki ýazgy bilelikde ýylylyk geçirijilik prosesini doly häsiýetlendirir.

Hususy ýagdaýy häsiýetlendirýän matematiki ýazgylara gyra şertler diýilýär. Bu şertler aşadakylardan ybaratdyr:

- jisimiň ölçegini we görnüşini häsiýetlendirýän geometriki şert;
- sredanyň ýa-da jisimiň fiziki häsiýetlerini öz içine alýan fiziki şert;
- başlangyç şert. Başlangyç wagtda jisimdäki temperaturanyň

paýlanyşy;

- çäk şerti.

Çäk şertleri aşaky görnüşlerde berip bolýar.

Birinji görnüşli çäk şertde jisimiň üstünde temperaturanyň ululygy berilýär.

$t_c = f(x, y, z, \tau)$ ýönekeý görnüşde $t_c = \text{const}$.

Ikinji görnüşli çäk şertde jisimiň üstüniň islendik nokadynda we islendik wagtda ýylylyk akymynyň dykzlygy berilýär: $q_n = f(x, y, z, \tau)$. Ýönekeý görnüşde $q_n = \text{const}$.

Üçünji çäk şertde daşky sredanyň temperaturasy we jisimiň üsti bilen ony gurşap alýan sredanyň arasyndaky ýylylyk çalşyk kanuny berilýär:

$$\left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_c = -\frac{\alpha}{\lambda} (t_c - t_j). \quad (8.29)$$

Anyk meselelerde, köplenç, çäk şerti hökmünde jisimiň iki tarapynda ony çäklendirýän gyrada (jisim-sreda) temperaturanyň we ýylylyk akymynyň deňlik şerti ulanylýar:

$$\begin{cases} \lambda_1 \left(\frac{\partial t_1}{\partial n} \right)_{C_1} = \lambda_2 \left(\frac{\partial t_2}{\partial n} \right)_{C_1} \\ t_1(x_1, y_1, z_1, \tau) = t_2(x_2, y_2, z_2, \tau). \end{cases} \quad (8.30)$$

8.7. Durnukly ýylylyk kadada tekiz diwarda ýylylyk geçirijilik

Tehnikada we himiýa senagatynda tekiz üstlerden we tekiz diwarlardan ýylylygyň geçirilişini bilmek gerek bolýar.

Şeýle hasaplamalar, esasan, jaýlar, apparatlar taslananda geçirilýär. Birjynsly, birmeňzeş galyňlykly, iki tarapy wertikal izotermik üstler bilen çäklenen diwaryň ýylylyk geçirijiligine seredeliň (8.3-nji surat).

Goý, bu diwaryň bir üstüniň temperaturasy beýleki üstüniň temperaturasyndan ýokary bolsun, ýagny $t_1 > t_2$. Şeýle ýagdaýda Furýeniň kanuny boýunça udel ýylylyk akym

$$q = -\lambda \operatorname{grad} t = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}, \quad (8.31)$$

bu ýerden:

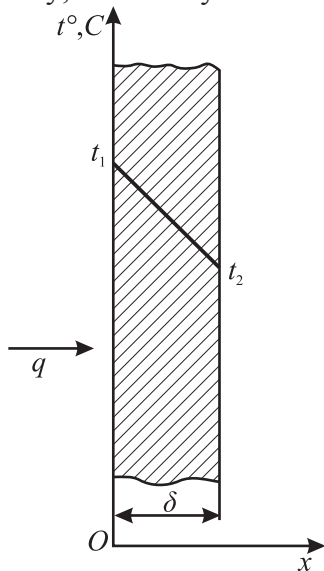
$$dt = -\frac{q}{\lambda} dx.$$

Integrirläp indiki aňlatmany alarys:

$$t = -\frac{q}{\lambda} x + C,$$

bu ýerde C – integrirlemek hemişeligi.

Ýokarky formuladan $x=0$ bolanda $t=t_1=C$ gelip çykýar, $x=\delta$ bolanda bolsa aşakdaky formula alynýar:



8.3-nji surat.
Bir jynsly tekiz diwardaky
ýylylyk geçirijilik

$$t = t_2 = -q \frac{\delta}{\lambda} + C.$$

Soňky iki formulalary biri-birinden aýryp:

$$t_1 - t_2 = C - \left(-q \frac{\delta}{\lambda} + C \right) = q \frac{\delta}{\lambda}$$

formulany alarys.

Bu ýerden ýylylyk akymy üçin aşakdaky formulany alarys:

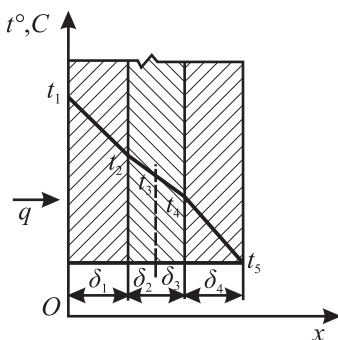
$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2). \quad (8.32)$$

Bu formula temperaturanyň birjynsly diwaryň galyňlygyna baglylykda çyzykly kanun boýunça üýtgeýändigini görkezýär (8.3-nji surata seret).

$\frac{\lambda}{\delta}$ – ululyga diwaryň ýylylyk geçirijiligi, $\frac{\delta}{\lambda}$ ululyga bolsa diwaryň ýylylyk garşylygy ýa-da termiki garşylyk diýilýär.

Hasaplamalar geçirilende ýokarky deňleme indiki görnüşde hem ulanylýar:

Eger diwar dürli galyňlykly dürli materiallardan ýasalan gatlaklardan durýan bolsa (8.4-nji surat), onda ýylylyk geçirijiligiň durnuklylygy sebäpli, her gatlak üçin q -ululygyň bahasy birmeňzeşdir. Me-selem, dört gatlakly diwar üçin



8.4-nji surat. Köp gatlakly tekiz diwaryň ýylylyk geçirijiligi

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda}}, \quad q = \frac{\lambda_3}{\delta_3} (t_3 - t_4), \quad q = \frac{\lambda_4}{\delta_4} (t_4 - t_5),$$

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_1 - t_2), \quad q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_2 - t_3)$$

Bu fomulalardan:

$$t_1 - t_2 = q \frac{\delta_1}{\lambda_1}; \quad t_2 - t_3 = q \frac{\delta_2}{\lambda_2},$$

$$t_3 - t_4 = q \frac{\delta_3}{\lambda_3}; \quad t_4 - t_5 = q \frac{\delta_4}{\lambda_4}.$$

Bu deňlikleri goşup, alarys:

$$t_1 - t_5 = q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right),$$

bu ýerden:

$$q = \frac{t_1 - t_5}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}}. \quad (8.33)$$

Bu formula dört gatlakly diwaryň umumy ýylylyk garşylygynyň aýratynlykdaky gatlaklaryň ýylylyk garşylyklarynyň jemine deňdigi-ni görkezýär.

Soňky formulany islendik n -gatlakly diwar üçin hem ýazmak bolar:

$$t_{baş} - t_{ahyr} = q \sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_i}{\lambda_i} \right),$$

ýa-da

$$q = \frac{t_{baş} - t_{ahyr}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_i}{\lambda_i} \right)}. \quad (8.34)$$

8.8. Silindr görnüşli diwarlaryň ýylylyk geçirijiligi

Içki we daşky diametrleri deňşililikde d_1 we d_2 bolan l uzynlykly turbanyň ýylylyk geçirijiligine seredeliň. Onuň içki we daşky üstleriniň t_1 we t_2 temperaturalary hemişelik bolanda ýylylyk akymynyň formulasyny kesgitleliň.

Gapdal üstüniň meýdany $F = 2\pi r l$ bolan silindr üçin Furýeniň kanuny

$$Q = -\lambda \cdot F \cdot \text{grad } t = -\lambda \cdot 2\pi r l \cdot \frac{dt}{dr}, \quad (8.35)$$

bu ýerden:

$$dt = -\frac{Q}{\lambda 2\pi r l} \cdot \frac{dr}{r}.$$

Bu deňligi $r = r_1$ bolanda $t = t_1$ we $r = r_2$ bolanda $t = t_2$ şertlerde integrirläliň:

$$t_1 = -\frac{Q}{\lambda 2\pi r l} \ln r_1 + C \quad \text{we} \quad t_2 = -\frac{Q}{\lambda 2\pi r l} \ln r_2 + C,$$

bu ýerde:

$$t_1 - t_2 = -\frac{Q}{\lambda 2\pi l} (\ln r_1 - \ln r_2) = \frac{Q}{\lambda 2\pi l} (\ln r_2 - \ln r_1) = \frac{Q}{\lambda 2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

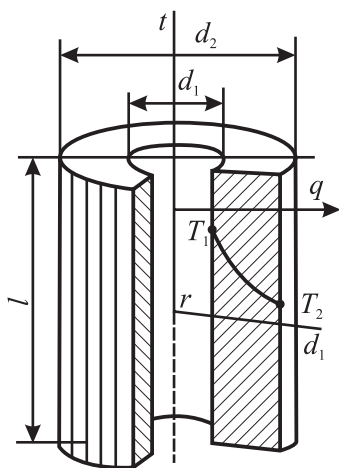
Bu formula turbalaryň diametrleri arkaly aňladylanda indiki görnüşe eýe bolýar:

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{\lambda 2\pi l} \ln \frac{d_2}{d_1}. \quad (8.36)$$

Bu ýerden ýylylyk akymy üçin indiki formulany alarys:

$$Q = \frac{\lambda 2\pi l (t_1 - t_2)}{\ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (8.37)$$

Bu formula boýunça geçirilen hasaplamalar $\Delta t = f\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$ baglylygyn egri çyzyklydygyny görkezýär.



8.5-nji surat. Silindr görnüşli diwar

Silindr görnüşli turbadan çykýan udel ýylylyk akymy indiki formula bilen kesgitlenýär:

$$q_\ell = \frac{Q}{l} = \frac{2\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (8.38)$$

Takmynan hasaplamalarda $\frac{d_2}{d_1} < 2$ bolanda silindr görnüşli turbanyň 1 metrindäki udel ýylylyk akymy

$$q_e = \frac{\lambda}{\delta} \pi d_{ort} (t_1 - t_2), \quad (8.39)$$

formula arkaly kesgitlenip bilner:

bu ýerde $\delta = \frac{d_1 - d_2}{2}$ – diwaryň ortaça galyňlygy; silindriň ortaça diametri

$$d_{ort} = \frac{d_1 + d_2}{2}.$$

Durnukly ýylylyk kadada l uzynlykly dört gatlakly turba üçin $t_1 > t_2 > t_3 > t_4 > t_5$ şertde

$$q_e = \frac{2\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{2\pi(t_2 - t_3)}{\frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}} = \frac{2\pi(t_3 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}} = \frac{2\pi(t_4 - t_5)}{\frac{1}{\lambda_4} \ln \frac{d_5}{d_4}},$$

bu ýerde:

$$\left. \begin{aligned} t_1 - t_2 &= \frac{q_e}{2\pi} \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \\ t_2 - t_3 &= \frac{q_e}{2\pi} \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \\ t_3 - t_4 &= \frac{q_e}{2\pi} \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} \\ t_4 - t_5 &= \frac{q_e}{2\pi} \frac{1}{\lambda_4} \ln \frac{d_5}{d_4} \end{aligned} \right\}.$$

Deňlemeler ulgamyndaky deňligiň sag we çep böleginiň agzalaryny goşup, $t_1 - t_5 = \frac{q_e}{2\pi} \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{\lambda_4} \ln \frac{d_5}{d_4} \right)$ formulany alarys.

Bu ýerden:

$$q_e = \frac{2\pi(t_1 - t_5)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{\lambda_4} \ln \frac{d_5}{d_4}} \quad (8.40)$$

ýa-da:

$$q_e = \frac{2\pi \cdot (t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{n+1}}{d_i}}.$$

Bu formulalar islendik sanly gatlagy bolan diwarlar üçin ulanarlyklydyr.

8.9. Konwektiw ýylylyk çalşygy

Grawitasiýa meýdanyň täsiri bilen suwuklyklar we gazlar hereket edenlerinde olaryň bölejikleriniň biri-birine görä ýa-da gaty jisimleriň üstüne görä otnositellikde hereketleri netijesinde olaryň arasynda konweksiýa boýunça ýylylyk geçirmesi (çalyşmasy) bolýar. Konweksiýa boýunça ýylylyk çalyşmasy ýylylyk geçirijilik bilen bilelikde bolup geçýär. Bilelikde bolup geçýän bu prosese konwektiw ýylylyk çalyşmasy diýilýär. Akýan sreda bilen gaty jisimiň galtaşmasynda bolýan ýylylyk çalyşma prosesinde ýylylyk akymyň ugry sredanyň we gaty üstün temperaturasyna baglydyr.

Konweksiýa boýunça berilýän ýylylyk akym Nýutonyň formulasy boýunça kesgitlenilýär:

$$Q = \alpha (t_1 - t_2) F, \quad (8.41)$$

bu ýerde: α – ýylylyk berijilik koeffisiýenti, $\frac{\text{Wt}}{\text{m}^2 \text{grad}}$; F – konweksiýa prosesine gatnaşýan üstün meýdany, m^2 ; t_1 – ýylylygy beriji akymyň ortaça temperaturasy, grad; t_2 – ýylylygy kabul ediji üstün temperaturasy, grad.

Eger gaty üstün temperaturasy suwuklygyň ýa-da gazyň temperaturasyndan ýokary bolsa, onda konweksiýa boýunça ýylylyk üstden sreda berilýär:

$$Q = \alpha (t_2 - t_1) F. \quad (8.42)$$

Formulalardaky α ýylylyk berijilik koeffisiýenti proporsionallyk koeffisiýenti bolup, ol temperatura tapawudy 1°C , meýdany 1 m^2 bolan üstden berilýän ýylylyk akymyna san taýdan deňdir. α ululyk şol bir wagtda suwuklygyň gatlaklarynyň ýylylyk geçirijiligini hem hasaba alýar.

Ýylylyk tehnikasynyň meselelerinde esasy meselleriniň α ululygy takyk kesgitlemeklige syrygýar. Ol ululyk akymyň häsiýetine bagly. Laminar kadaly akymy, turbulent kadaly akymy ýa-da akymyň geçişi kadasymy? Ol aşakda düşündirilýär.

Laminar akymda akymyň gatlaklary garyşman, akym ýuwaş dur-nukly häsiýete eýe bolýar. Turbulent akym bolanda onuň gatlaklary biri-birleri bilen gatyşyp, örän çylşyrymly köwlenme häsiýetine eýe bolýar.

Ýylylyk berijilik koeffisiýentiniň ululygy erkin konweksiýada, ýagny suwuklyk gyzdyrylanda ýa-da sowadylanda onuň bölejikle-riniň dykzlygynyň üýtgemesi bilen baglanyşykly konweksiýada bir ululyga, mejbury konweksiýada bolsa başga ululyga deňdir. Bu koeffisiýentiň ululygyna ýene-de suwuklygyň fiziki häsiýeti (dy-kzlyk, ýylylyk geçirijilik, ýylylyk sygym, şepbeşiklik), gaty üste degişlilikde (onuň içki ýa-da daşky üstüne degişlikde) ýylylyk aky-myň ugry, üstüň formasy, üstüň бүдүр-сүдүрlik derejesi we tempe-ratura interwaly täsir edýär.

Şeýle köp ýagdaýlaryň α ululyga täsir edýändigini sebäpli, onuň takyk bahasyny kesgitlemäge mümkinçilik berýän uniwersal hasapla-ma usulyny işläp düzmek örän kyn meseledir. Şonuň üçin hem bu koeffisiýentiň bahasy tejribeler geçirmeklik arkaly kesgitlenilýär. Bu ýerde bellemeli zat, tejribe arkaly kesgitlenilen ýylylyk berijilik ko-effisiýenti diňe tejribe geçirilendäki şerte gabat gelen ýagdaýlar üçin ulanarlyklydyr. Şonuň üçin bu koeffisiýentiň tejribe arkaly kesgitle-nen bahasy aýratyn bir hususy ýagdaý üçin dogrudyr.

Konwektiw ýylylyk çalşygy öwrenilende we oňa degişli hasapla-malar geçirilende ýüze çykýan ýetmezçilikleri aradan aýyrmak üçin meňzeşlik nazaryýetinden peýdalanylýar. Onuň kömegi bilen anyk meselelere degişli hususy baglanyşyklar seljerilýär we hasaplamak üçin amatly deňlemeler işlenilip düzülýär.

Meňzeşlik düşüňjesi, biziň bilşimiz ýaly, ilki bilen geometrik fi-guralar öwrenilende peýdalanyldy. Meselem, üçburçluklaryň we beý-leki figuralaryň meňzeşlikleri, soňra meňzeşlik nazary fiziki proses-leri düşündirmek üçin giňden ulanyldy. Fiziki prosesler öwrenilende geometriki meňzeşlik giňden peýdalanylýar.

Konweksiýa prosesi öwrenilende fiziki we geometriki ululykla-ry saklaýan kriteriýalar diýlip atlandyrylýan ölçegsiz gatnaşyklardan peýdalanylýar.

Ölçegsiz gatnaşyklar ýa-da kriteriýalar ýylylyk geçiriliş prosesi-ni beýan edýän deňlemeler (ýylylyk geçirijiligiň deňlemesi, konwek-tiw ýylylyk geçirijiligiň deňlemesi) ölçegsiz görnüşe geçirilip alynýar.

Kriterial formulalary peýdalanmak üçin degişli suwuklygyň we suwuklygyň galtaşýan gaty üstüniň ýylylyk, fiziki we geometriki parametrlerini bilmeli. Olardan başga-da konwektiw ýylylyk çalşygy öwrenilende kesgitleýji ölçeg diýlen parametr peýdalanylýar. Meselem, silindrik görnüşli turbanyň içki üstündäki ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti üçin kesgitleýji ölçeg bolup turbanyň içki diametri hyzmat edýär. Tekiz üstler, plastinalar üçin kesgitli ölçeg bolup suwuklygyň hereketiniň ugry boýunça onuň uzynlygy kabul edilýär.

Konwektiw ýylylyk çalşygy üçin umumy kriterial deňleme bolup

$$Nu = f(Re, Gr, Pr) \quad (8.43)$$

deňleme hyzmat edýär.

Deňlemedäki kriteriýalar (*Re* – Reýnoldsyň, *Gr* – Grasgofyň, *Pr* – Prantdlyň) ýylylyk çalşymasy nazaryýetine uly goşant goşan alymlaryň familiýalarynyň başky iki harpy bilen aňladylýar.

Ýokarky funksiýada: gidrodinamika degişli meňzeşligiň kesgitleýji kriteriýasy, Reýnoldsyň kriteriýasy bar. Ol kriteriýa turbalar we plastina üçin $Re = \frac{\omega \ell}{\nu}$ görnüşe eýedir.

Bu ýerde ω – suwuklygyň ortaça tizligi, m/s; ν – sepbeşiklik koeffisiýenti ýa-da kinematiki sepbeşiklik, m²/s.

Re-niň uly bolmadyk bahasy suwuklyklaryň laminar akymyna degişlidir. Reýnoldsyň kriteriýasy inersiýa güýjüniň şepbeşiklik güýjüne gatnaşygyny häsiýetlendirýär. Laminar akym turbulent akyma geçende $Re = 2 \cdot 10^3 \div 10^4$ baha eýe bolýar. $Re > 10^4$ bolanda ýaýbaňlanan turbulent akym ýüze çykýar. Ýokarky formula mejbury konwektiw ýylylyk çalşygy prosesinde ulanylýar. Erkin konwektiw ýylylyk çalşygynda ýokarky deňleme aşakdaky görnüşe geçýär:

$$Nu = f(Gr, Pr). \quad (8.44)$$

Göteriji güýjüň kesgitleýji kriteriýasyna Grasgofyň kriteriýasy *Gr* diýilýär. Bu kriteriýa suwuklykda dykzlygyň tapawudynyň hasabyny ýüze çykýan göteriji güýji häsiýetlendirýär:

$$Gr = \frac{\beta \cdot g l^3 \Delta t}{\nu^2}, \quad (8.45)$$

bu ýerde: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – ýokardan erkin gaçmanyň tizlenmesi; β – göwrümüne giňelme temperatura koeffisiýenti, $1/\text{grad}$; Δt – temperatura tapawudy, grad.

Mejbury konweksiýada göteriji güýjüň täsiri hasaba alynmaýar. Şonuň üçin degişli hasaplamalar üçin ulanylýan deňlemä Gragsofýň kriteriýasy girmeyär:

$$Nu = f(Re, Pr). \quad (8.46)$$

Formuladaky Pr kriteriýa konwektiw ýylylyk çalyşmada suwuklygyň fiziki häsiýetini hasaba alýar. Bu kriteriýa Prandtlýň kriteriýasy diýilýär:

$$Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda}. \quad (8.47)$$

Gazlarda Pr basyşa we temperatura az bagly. Iki atomly gazlar, howa üçin $Pr = 0,7$.

Kriterial deňlemelerinň çep tarapyndaky kriteriýa Nusseltiň kriteriýasy, oňa ýylylyk berijiligiň ölçegsiz koeffisiýenti diýilýär:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}, \quad (8.48)$$

formulalarda: λ – ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti, $\frac{\text{Wt}}{\text{m} \cdot \text{grad}}$; μ – abso-

lyüt şepbeşiklik koeffisiýenti, $\frac{\text{N} \cdot \text{S}}{\text{m}^2}$; c_p – ýylylyk sygymy, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{grad}}$.

Nusseltiň kriteriýasy, adatça, Re , Cr we Pr kriteriýalaryň funksiýasy hökmünde ulanylýar we oňa kesgitlenilmeýän kriteriýa diýilýär.

Nusseltiň kriteriýasynyň bahasy boýunça ýylylyk berijilik koeffisiýenti kesgitlenilýär:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{l}, \quad \frac{\text{Wt}}{\text{m}^2 \text{grad}}. \quad (8.49)$$

8.10. Suwuklygyň erkin hereketinde ýylylyk berijilik

Suwuklygyň erkin hereketi diýlip, onuň gyzgyn we sowuk bölekleriniň dykzlyklarynyň tapawudynyň hasabyna döreýän hereketine düşünilýär. Şeýle ýagdaýda hereket ýylylyk prosesiniň netijesinde döräp, oňa grawitasiýa güýjünden başga daşky güýç täsir etmeýär.

Erkin hereket ýa-da köplenç atlandyrylyşy ýaly, tebigy konweksiýa gyzgyn pejiň diwarlarynyň, ýyladyjy apparatlaryň howa bilen galtaşýan üstlerinde, uly göwrümde gaýnama we beýleki proseslerde bolup geçýär.

Tebigy konweksiýa arkaly berilýän ýa-da alynýan ýylylyk aky-mynyň ugruna ugrukdyrylan gyzdyrylýan ýa-da sowýan üstüň ölçegine, ol üstüň ýagdaýyna, temperatura kadasyna we suwuklygyň fizika parametrlerine bagly.

Rus alymy M.A.Miheyew tarapyndan gorizonta we wertika ýerleşdirilen islendik formaly we ölçegli jisimler üçin çäklendirilmedik giňişlikde ýylylyk berijilik koeffisiýentini hasaplamaga mümkinçilik berýän kriterial deňleme hödürleňildi:

$$Nu_m = c (Gr \cdot Pr)_m^n. \quad (8.50)$$

c koeffisiýentiň we n görkezijiniň bahasy $Gr \cdot Pr$ köpeltmek hasylynyň ululygyna bagly

| | | | |
|---------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| $Gr \cdot Pr$ | $1 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^2$ | $5 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^7$ | $2 \cdot 10 \dots 1 \cdot 10^3$ |
| c | 1,18 | 0,54 | 0,135 |
| n | 1/8 | 1/4 | 1/3 |

Fiziki hemişelikler gatlagyň araçäginde temperaturasynda kesgitlenilýär:

$$T_m = \frac{T_{Suw} + T_s}{2}.$$

Ýokarky umumylaşdyrylan formuladan başga-da ýylylyk berijilik koeffisiýentini kesgitlemek üçin aşakdaky formulalar ulanylýar: gorizonta ýerleşdirilen turbalar üçin $10^3 < Gr \cdot Pr < 10^8$ aralykda:

$$Nu_{suwk} = 0,50 (Gr \cdot Pr)^{0,25} (Pr_{suwk} / Pr_s)^{0,25}. \quad (8.51)$$

Vertikal ýerleşdirilen üstler (plastinalar, turbalar) üçin $10^3 < Gr \cdot Pr < 10^9$ aralykda, laminar kadada

$$Nu_{suwk} = 0,76(Gr \cdot Pr)^{0,25} (Pr_{suwk} / Pr_s)^{0,25}. \quad (8.52)$$

Eger $Gr_{suwk} \cdot Pr_{suwk} > 10^6$ bolsa turbulent kadada

$$Nu_{suwk} = 0,15(Gr \cdot Pr)^{0,33} (Pr_{suwk} / Pr_s). \quad (8.53)$$

Ýokarky formulalar erkin konweksiýany öwrenmek maksady bilen geçirilen köp tejribeleriň we synaglaryň esasynda alyndy.

8.11. Şöhlelenme arkaly ýylylyk çalşygy

Islendik jisim şöhlelenme energiýasyny siňdirýär we goýberýär. Ýylylyk taýdan şöhlelenme, şöhlelenýän jisimiň içki energiýasynyň elektromagnit tolkunlary arkaly ýaýrama prosesidir.

Tolkun uzynlygyna baglylykda kosmiki, rentgen, ultramelewşe, ýagtylyk, infragyzyl şöhleleri we radiotolkunlary tapawutlandyrylýarlar.

Jisimler tarapyndan elektromagnit tolkunlarynyň siňdirilmegi netijesinde onuň energiýasy jisimiň molekulalarynyň ýylylyk hereketiniň energiýasyna öwrülýär.

Elektromagnit tolkunlary oýandyryjy bolup, jisimiň düzümindäki hereket edýän elektronlar, ionlar we beýleki zarýadly bölekler hyzmat edýär.

Umumy jisim tarapyndan goýberilýän şöhlelenmäniň esasy bölegini infragyzyl şöhlelenme tutýar. Infragyzyl we ýagtylyk şöhlelenmesiniň ýaýraýyş prosesine ýylylyk şöhlelenmesi ýa-da radiasiýa diýilýär.

Ýagtylyk şöhlesine degişli ýaýrama, serpikme we döwülme kanunlary ýylylyk şöhlelenmesi üçin hem dogrudyr. Haýsy hem bolsa bir jisim tarapyndan şöhlelenýän energiýa ýa-da şöhlelenme akymy Q beýleki bir jisimiň üstüne düşende ol energiýanyň bir bölegi jisim tarapyndan siňdirilýär, bir bölegi serpikdirilýär, galan bölegi bolsa jisimiň durulyk ýagdaýyna baglylykda onuň içinden geçýär.

Eger jisim tarapyndan siňdirilýän energiýany Q_A , serpikdirilýän energiýany Q_R we galyňlygyndan geçýän energiýany Q_D bilen belgilesek, onda jisimiň üstüne düşýän umumy energiýa

$$Q = Q_A + Q_R + Q_D. \quad (8.54)$$

Bu deňligiň iki tarapyny hem Q -a böleliň we degişli belgileme geçireliň:

$$\frac{Q_A}{Q} = A, \quad \frac{Q_R}{Q} = R, \quad \frac{Q_D}{Q} = D.$$

Onda ýokardaky formulany aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$A + R + D = 1. \quad (8.55)$$

Bu ýerde: A – siňdirmе koeffisiýenti, R – serpilme koeffisiýenti, D – geçirilme koeffisiýenti.

Eger $A = 1$; $R = D = 0$ bolsa, onda jisime düşýän şöhlenme energiýanyň hemmesi jisim tarapyndan siňdirilýär. Şeýle jisime absolýut gara jisim diýilýär. Elbetde, tebigatda absolýut gara jisim ýok. Emma kä ýagdaýlarda düşýän şöhlenme energiýanyň maksimal siňdirilmegini üpjün etmek maksady bilen jisimiň, meselem, gün energiýasy peýdalanylanda gün şöhleleri düşýän diwaryň üsti emeli usulda garaldylýar we siňdirmе koeffisiýenti has ýokary bolar ýaly edilýär. Netijede, siňdirmе koeffisiýenti $A = 0,97$ we ondanam ýokary bolup, gün şöhlelerini siňdirýän üst absolýut gara jisime ýakynlaşdyrylýar.

Eger $R = 1$ we $A = D = 0$ bolsa jisime düşýän şöhlenme energiýasynyň hemmesi jisim tarapyndan serpikdirilýär we bu jisime absolýut ak jisim diýilýär. Geometriki optikanyň kanunyna degişlilikde jisimiň şöhle serpikdiriji üstüne aýnaly üst diýilýär. Eger $D = 1$, $A = R = 0$ bolsa jisim öz üstünden ähli şöhläni geçirýär. Şeýle jisime absolýut dury jisim diýilýär. Elbetde, tebigatda absolýut dury jisim hem ýokdur.

Gaty jisimleriniň köp görnüşi we damjaly suwuklyklar ýylylyk şöhleleri üçin, esasan, dury dälirler. Olar üçin $A + R = 1$. Ol jisimler

üçin siňdirilme koeffisiýenti näçe uly bolsa, şonça-da serpinkme koeffisiýenti kiçi bolýar.

Bir we iki atomly gazlar ýagtylyk we ýylylyk şöhleleri üçin durudylar. Üç atomly gazlar bolsa şöhlelenme (ýylylyk) energiýasyny goýberýärler we siňdirýärler.

8.12. Suwuklyklar gaýnandaky ýylylyk çalşygy

Suwuklyklar gaýnanda ýa-da buguň kondensirlenme prosesinde işçi jisimiň bir agregat haldan başga hala geçmesi bolup geçýär. Şol wagtdaky bolup geçýän ýylylyk çalşygyň mehanizmi bir fazaly suwuklygyň konweksiýa netijesinde ýylylyk berliş mehanizminden tapawutlanýar.

Suwuklygyň, meselem, suwuň, gaýnamasy bilen häli-şindi iş salyşýars. Gaýnama diýlip suwuklygyň ähli göwrümünde intensiw bug emele gelmek prosesine aýdylýar. Bug köpürjikleri arkaly intensiw bug emele gelmek prosesi suwuklyk doýgun temperatura otnositellikde aşa gyzan ýagdaýynda bolýar. Suwuklygyň görnüşlerine, onuň fiziki häsiýetlerine baglylykda gaýnama dürli temperaturalarda bolup biler. Suwuklygyň gaýnamasy ýylylyk çalşygy üstde (eger-de oňa daşyndan ýylylyk berilse) we suwuklygyň göwrümünde bolup bilýär.

Üstde gaýnama prosesinde bug fazasynyň emele gelmesi bu üstüň aýry-aýry ýerlerinde bolup geçýär. Suwuklygyň göwrümünde bolýan gaýnamada bug fazasy öz-özünden döreýär.

Gaýnama prosesiniň bolup geçmegi üçin, birinjiden, doýgun temperatura otnositellikde suwuklygyň aşa gyzmagy, ikinjiden bolsa, bug emele gelmek merkezleriniň bolmagy zerurdyr.

Gaty jisimiň üstünde bolup geçýän gaýnamada bug emele gelmek merkezi bolup, üstüň endigan dældigi, ondaky mikrojaýryklar hyzmat edýär.

Göwrümde bug emele gelmek merkezleri bolup, suwuklykdaky howa köpürjikleri, tozanjyklar we başgalar hyzmat edýär.

Köpürjikli we kesmekli gaýnama kadalary tapawutlandyrylýarlar.

Köpürjikli gaýnamada bug köpürjikleriniň yzygiderli emele gelmegi, onuň ulalmagy we üstden goparylmagy bolup geçýär.

Suwuklyga berilýän ýylylyk akymynyň artmagy bilen onuň belli bir ululygynda üstde emele gelýän aýry-aýry bug köpürjikleriniň birleşmesi bolup geçýär. Netijede, ýylylyk çalşygy üstde tutuş bug gatlagy, ýagny bug kesmegi emele gelýär. Üstde bug kesmeginiň emele gelmegi bilen bolup geçýän gaýnama kesmekli gaýnama diýilýär.

Kesmekli gaýnamada ýylylyk berliş intensiwligi köpürjikli gaýnama bilen deňeşdirilende has kiçidir.

Gaýnama prosesi ýylylyk energetikasynda, himiýa tehnologiýasynda, atom energetikasynda we beýleki häzirkizaman tehnikalarda giňden ulanylýar. Gaýnama ýagdaýynda ýylylyk berliş intensiwligini kesgitlemek üçin şol ýagdaýdaky ýylylyk berijilik koeffisiýentini bilmek gerek.

Köpürjikli gaýnamada ýylylyk berijilik koeffisiýentini hasaplamak üçin aşakdaky formuladan peýdalanylýar:

$$\alpha = b \left(\frac{\lambda^2}{\nu \sigma T_s} \right)^{1/3} q^{2/3}, \quad (8.56)$$

bu ýerde b – koeffisiýenti we ol:

$$b = 0,075 \left[1 + 10 \left(\frac{\rho''}{\rho' - \rho''} \right)^{2/3} \right]$$

formula bilen kesgitlenilýär.

T_s – doýma temperaturasy, ρ' we ρ'' suwuklygyň we buguň dykzlygy.

Deňlemä girýän suwuklygyň fiziki parametrleri T_s – doýma temperaturasynda alynýar. Ýokarky formula suwuklygyň özüne degişli fiziki parametrlerini goýmak arkaly işçi jisimi edilip alynýan şol suwuklyk üçin ýylylyk berijilik koeffisiýentiniň formulasyny almak bolar. Ol formula suw üçin basyş 10^{-1} – 20 MPa aralykda aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$\alpha = \frac{3.4 \rho_{suw}^{0.18}}{1 - 0,0045 \rho_{suw}} q^{2/3}, \quad (8.57)$$

bu ýerde P_{suw} , Pa, q bolsa $\frac{Wt}{m^2}$ -da aňladylýar.

Basyş 4 MPa-a çenli ýokarlananda aşakdaky formuladan peýdalanmak bolar:

$$\alpha = 3,14q^{0,7} p^{0,15}; \quad \alpha = 33,4\Delta T^{2,33} \rho^{0,5}.$$

Kesmekli gaýnama kadada: uly göwrümlü gapdal (gorizontal) turbalarda:

$$\alpha = 0,62^4 \sqrt{\lambda^{1/3} (\rho' - \rho'') gr^* / [v'' D (T_d - T_{suw})]}, \quad (8.58)$$

dik turbalar we plastinalar üçin:

$$\alpha = 0,25^3 \sqrt{\lambda^{1/3} c_p \cdot g(\rho' - \rho'') / v''}, \quad (8.59)$$

bu ýerde:

$r^* = r + 0,5c_p (T_d - T_{suw})$ – kesmekdäki buguň aşa gyzmasyny hasaba alýan bug emele gelmegiň effektiw ýylylygy, g – erkin gaçmanyň tizlenmesi.

Suwuklygyň dykzyzlygyndan ρ' beýleki fiziki parametrleri buguň ortaça temperaturasynda alynýar:

$$T_{or} = 0,5(T_d - T_s),$$

bu ýerde T_s – berlen basyşda doýma temperaturasy.

8.13. Buguň kondensasiýasynda ýylylyk çalyşma

Buguň (gazyň) suwuklyk ýa-da gaty ýagdaýa geçmesine kondensasiýa diýilýär.

Buguň üst bilen galtaşmasynda üstüň temperaturasy doýgun temperaturadan pes bolsa, bug suwuklyga öwürülýär. Buguň suwuklyga öwürülmesi bilen bugdan onuň galtaşýan gaty üste ýylylyk berilmesi bolup geçýär.

Eger-de kondensat üsti ölleýän bolsa, onda ol üste çökyär we tutuş kesmegi emele getirýär. Şeýle kondensirlenmä kesmekli kondensirlenme diýilýär. Eger-de kondensat üsti öllemeýän bolsa, onda damjalaýyn kondensasiýa bolup geçýär.

Kesmekli kondensasiýada emele gelyän kesmegiň termiki garşylygynyň barlygy sebäpli, kesmekli kondensasiýadaky ýylylyk berijilik koeffisiýenti damjalaýyn kondensasiýadaky ýylylyk berijilik koeffisiýentinden pes bolýar. Tejribeleriň görkezmegine görä, damjalaýyn kondensasiýanyň intensiwligi kesmekli kondensasiýa bilen deňeşdirilende 5-10 gezek ýokarydyr. Emma häzirki peýdalanylýan ýylylyk çalşyýy apparatlarda, köplenç, plýonkaly kondensasiýa bolup geçýär. Plýonkaly kondensasiýada ýylylyk çalşygyň intensiwligi üstün ýagdaýyna we onuň ýerleşişine bagly.

Kesmekli kondensasiýada berilýän ýylylyk akymyň dykyzlygy aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$q = (T_s - T_d) \lambda / \delta. \quad (8.60)$$

Nýutonyň-Rihmanyň kanunyna görä $q = \alpha (T_s - T_d)$, formulalar deňeşdirilende $\alpha = \frac{\lambda}{\delta}$ deňlik emele gelyär. Bu ýerde λ – kondensatyň ýylylyk geçirijiligi, $\frac{Wt}{M.K}$; δ – kondensat kesmeginiň galyňlygy, m. X kesikde kesmegiň galyňlygy:

$$\delta = \sqrt[4]{\frac{4\lambda (T_s - T_d) v_x}{rg(\rho' - \rho'')}}. \quad (8.61)$$

Onda ýerli ýylylyk berijilik koeffisiýenti aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta} = \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 rg(\rho' - \rho'')}{4(T_s - T_d) v_x}}. \quad (8.62)$$

Dik diwarlar ýa-da beýikligi h bolan turbalar üçin α -nyň orta bahasy

$$\bar{\alpha} = \frac{0,943A}{\sqrt[4]{h\Delta T}}, \quad (8.63)$$

bu ýerde:

$\Delta T = T_s - T_d$, (17.7) deňlemde $A = \sqrt[4]{\lambda^3 r g (\rho' - \rho'') / \nu}$ diýip belläliň.

Bu ýerde r – buguň kondensirlenmegindäki udel ýylylyk, ν – kinematiki şepbeşiklik.

Formulada λ, ρ, ν parametrleriň bahasy aşakdaky ortaça temperatura laýyklykda alynýar:

$$T_{or} = 0,5(T_s + T_d).$$

Ýylylyk berijilik koeffisiýentiniň ortaça bahasy gorizonta diwar üçin aşakdaky görnüşe eýedir:

$$\bar{\alpha} = \frac{0,728A}{\sqrt[4]{d\Delta T}}, \quad (8.64)$$

d – turbalaryň diametri, m.

8.14. Massa çalşygy

Ýylylyk çalyşma, köplenç, maddanyň bir komponentden beýleki bir komponente massa geçirilmesi bilen bilelikde bolup geçýär. Bu ýagdaý durmuşda we tehnikada, esasan, himiýa senagatynda, nebiti gaýtadan işleýän kärhanalarda duş gelýär.

Massa çalşyk prosesi ýönekeý we çylşyrymly görnüşde bolup bilýär. Ýönekeý massa çalşygy prosesinde bir fazanyň çäginde ony düzyän bölejikleriň geçirilmesi fazalary çäklendirilýän üste tarap ýa-da tersine, ondan fazanyň ýadrosyna tarap ugrukdyrylýar. Bu hadysa ýylylyk berlişe meňzeşlikde massa berliş diýilýär.

Massa berlişe mysal bolup, suwuklygyň bugarmasyny getirmek bolar. Suwuklygyň üstünden bugarýan suw buglary ony gurşap alýan bug gaz sreda berilýär.

Massa geçirilmesiniň çylşyrymly prosesinde massa iki fazany çäklendirýän üstüň üstünden geçirilýär, oňa massa geçiriliş diýilýär.

Massa çalşyk diffuziýa arkaly bolup geçýär. Diffuziýa diýlip, fazanyň içinde konsentrasiýanyň deň paýlanmasyna ymtylýan, öz-özünden bolup geçýän prosese aýdylýar.

Diffuziýa molekulýar ýa-da konweksiýa ýoly bilen bolup geçýär. Molekulalaryň ýylylyk hereketi arkaly bolup geçýän diffuziýa makroskopik molekulýar diffuziýa diýilýär. Konwektiw (makroskopik) diffuziýa fazalaryň giňişlikde biri-birine otnositellikdäki hereketleri netijesinde bolup geçýär.

Maddalaryň geçirilmesi konwektiw diffuziýanyň we molekulýar diffuziýanyň bilelikdäki täsiri bilen bolýan massa çalşyga konwektiw massa çalşygy diýilýär.

Ýylylyk akymynyň kuwwatynyň Furýeniň kanuny arkaly ýazylyş ýaly molekulýar ýa-da konsentrasion diffuziýa kanuny Fikiň kanuny arkaly ýazylýar:

$$dM_D = -D \frac{dc_i}{dX} dF, \quad (8.65)$$

bu ýerde: dM_D – molekulýar diffuziýa arkaly sekuntda geçýän massanyň mukdary ýa-da akymy, D – molekulýar diffuziýa koeffisiýenti, m^2/s , c_i – komponentiň massasynyň onuň göwrümüne bolan gatnaşygy ýa-da maddanyň konsentrasiýasy, kg/m^3 , $\frac{dc_i}{dx}$ – konsentratsiýa gradiýenti, $\frac{kg}{m^4}$.

Deňlemedäki minus alamaty maddanyň süýşmesiniň konsentratsiýanyň gradiýentiniň kemelýän tarapyna ugrukdyrylandygyny görkezýär.

Diffuziýa koeffisiýenti temperaturanyň artmagy bilen artyp, basyşyň artmagy bilen bolsa kiçelýändir. Eger garyndynyň temperaturasy üýtgeýän bolsa, termodiffuziýa ýüze çykýar. Bu ýagdaýda komponentleriň massalarynyň dürlüligi bolsa has agyr molekulalar sowuk göwrüme ymtylmagyna getirýär. Molekulalaryň massalary birmeňzeş bolanda ölçegleri has uly molekulalar sowuk göwrüme geçmäge ymtylýarlar. Termodiffuziýa konsentrasiýasynyň gradiýentini döretmäge

ymtylýar. Emma oňa konsentrasiýa diffuziýasy zyýan berýär. Diffuziýanyň ýene bir görnüşine barodiffuziýa diýilýär. Barodiffuziýa garyndynyň komponentleriniň basyşynyň deň dældigi netijesinde ýüze çykýar. Bu ýagdaýda agyr molekulalar ýokary basyşly göwrüme ymtylýarlar, ýeňil molekulalar bolsa pes basyşly göwrüme ymtylýarlar.

Diffuziýanyň beýleki görnüşleri ýaly barodiffuziýa hem maddanyň konsentrasiýasynyň tapawudynyň emele gelmegi netijesinde massa göçürilmesi bilen bolup geçýär.

Fikiň kanuny konsentrasiýanyň tapawudynyň üsti bilen aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$M_D = D \frac{c_1 - c_2}{\delta} F. \quad (8.66)$$

Bu ýerde: δ – maddanyň hereketiniň ugruna perpendikulýar ugrukdyrylan komponentleriň gatlaklarynyň arasynyň uzaklygy; c_1 we c_2 – birinji we ikinji gatlaklaryň maddalarynyň konsentrasiýasy.

Ýylylyk berlişe meňzeşlikde konwektiw massa çalşyga massa berliş diýilýär.

Massa berliş konwektiw ýylylyk berlişe meňzeşlikde aşakdaky ýaly ýazylýar:

$$dM_k = \beta \Delta c_{or} dF \quad (8.67)$$

bu ýerde: β – massa berijilik koeffisiýenti, m/s; Δc_{or} – faza bölünme çäginde konsentrasiýalaryň ortaça tapawudy, kg/m³.

Massa berliş koeffisiýenti aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$\beta = - \left(D / \Delta c_{or} \right) \left(\frac{\partial c}{\partial X} \right). \quad (8.68)$$

Bu aňlatma ýylylyk berliş koeffisiýentiniň formulasyna meňzeşdir

$$\alpha = - \left(\lambda_{pl} / \Delta t_{or} \right) \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right). \quad (8.69)$$

8.15. Çylşyrymly ýylylyk çalyşma

Ýylylyk çalyşmanyň ýokarda seredilen üç görnüşü: ýylylyk geçirijilik, konweksiýa we şöhlelenme tebigatda hem-de durmuşda, köplenç, bilelikde bolup geçýär. Üç görnüşü bir wagtda bilelikde bolup geçýän ýylylyk çalyşma prosesine çylşyrymly ýylylyk çalyşmasy diýilýär.

Çylşyrymly ýylylyk çalyşmada umumy ýylylyk akymynyň dykzlygyny konwektiv ýylylyk çalyşmasynyň hem-de şöhlelenme boýunça ýylylyk çalyşmasynyň üsti bilen aşakdaky ýaly aňladýarlar:

$$q = q_k + q_s, \quad (8.70)$$

bu ýerde q_k – konwektiv ýylylyk çalyşmasynda ýylylyk akymynyň dykzlygy öz içine ýylylyk geçirijilik we konweksiýa boýunça ýylylyk geçirilişi alýar.

$$q_k = \alpha_k(t_s - t_d), \quad (8.71)$$

bu ýerde: α_k – konweksiýa boýunça ýylylyk berijilik koeffisiýenti, $\text{Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; t_s we t_d – deňşililikde suwuklygyň (gazyň) ýylylygy berýän ýa-da kabul edýän üstüň (diwaryň) temperaturasy.

$q_s = \alpha_s(t_s - t_d)$ – şöhlelenme arkaly berilýän (ýa-da alynýan) ýylylyk akymynyň dykzlygy, α_s – şöhlelenme boýunça ýylylyk beriljik koeffisiýenti, $\text{Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Ýokarky formulalary göz önünde tutup, (8.71)-i aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$q = (\alpha_k + \alpha_s)(t_s - t_d) = \alpha(t_s - t_d),$$

bu ýerde: $\alpha = \alpha_k + \alpha_s$ – umumy ýylylyk beriljik koeffisiýenti. Bu ýerde şöhlelenme boýunça ýylylyk beriljik koeffisiýenti aşakdaky inženerçilik formulasy arkaly kesgitlenilýär.

$$\alpha_s = \varepsilon c_0 \cdot 10^{-8} (T_s^4 - T_d^4) / (T_s - T_d). \quad (8.72)$$

Köplenç, suwuklyklaryň (gazlaryň) arasyndaky ýylylyk çalşygy olary bölýän gaty diwarlaryň, germewiň üsti bilen bolup geçýär. Bu ýagdaýda suwuklyklaryň arasyndaky ýylylyk çalşygy olary bölýän diwaryň (germewiň) üsti bilen bolýan ýylylyk çalşygyna ýylylyk geçiriliş diýilýär.

Çylşyrymly ýylylyk çalyşmasynda ýylylyk akymy şu formula bilen kesgitlenilýär:

$$Q = K(t_1 - t_2) F, \quad (8.73)$$

bu ýerde:: K – ýylylyk geçiriliş koeffisiýenti, $\text{Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; F – ýylylyk çalşylýan üstüň meýdany, m^2 ; t_1 we t_2 – ýylylyk çalşyjy suwuklyklaryň temperaturalary.

8.16. Ýylylyk çalşyjy apparatlar

Bir ýylylyk äkidijiden beýleki ýylylyk äkidijä ýylylygy geçirmek üçin ulanylýan apparatlara ýylylyk çalşyjy apparatlar diýilýär. Ýylylyk çalşyjy apparatlar gurluşlaryna baglylykda rekuperatiw, regeneratiw we garyjy görnüşlere bölünýärler.

Rekuperatiw ýylylyk çalşyjy apparatlarda ýylylyk bir gyzgyn suwuklykdan (gazdan) başga oňa görä sowuk suwuklyga (gaza) olaryň arasyňy bölýän (germewiň) diwarlaryň üsti bilen berilýär.

Regeneratiw apparatlarda şol bir üst gyzdyrylýar we sowadylýar. Bu gurluşlarda üst gyzdyrylan wagty ýylylyk akkumulirlenýär. Soňra bu üstden gyzdyrylmaga degişli sowuk akym geçirilende bolsa, öňki akkumulirlenen ýylylygyň hasabyna sowuk suw (gaz) gyzyýar.

Seredilen iki usulda-da ýylylyk çalşygy gaty üstüň gatnaşmagy bilen amala aşyrylýar. Ýylylyk çalşyjy apparatlaryň üçünji sanalan usulynda suwuklyklaryň arasyndaky ýylylygy çalyşmada gaty üstüň bolmagy hökman däl. Bu ýylylyk çalşyjy apparatlarda gyzgyn suwuklygyň ýylylygy sowuk suwuklyga iki suwuklygyň gabyň içinde garylmany bilen berilýär.

Demir ýol pudagynda, köplenç, rekuperatiw ýylylyk çalşyýjy apparatlar ulanylýar. Bu görnüşli ýylylyk çalşyýjy apparatlar jaýlaryň ýyladyş ulgamlarynda, durmuşda we tehnikada giňden ulanylýar.

Ýylylyk çalşyýjy apparatlaryň taslamasy taýýarlananda ýylylyk hasaplamalaryň esasy maksady apparatyň ýylylyk çalşyýjy üstüni hasaplamakdan, bar bolan ýylylyk çalşyýjy apparatlar ulanylanda bolsa, ýylylyk äkidijiniň temperaturasyny kesgitlemekden ybaratdyr.

Ýylylyk çalyşma prosesinde alynýan ýa-da berilýän ýylylyk mukdary hasaplananda esasy hasaplama formulasy hökmünde aşakdaky formula peýdalanylýar:

$$Q = KF\Delta t_{or} \quad (8.74)$$

Bu ýerde: K – ýylylyk geçirmäniň koeffisiýenti, Δt_{or} – ortaça temperatura tapawudy.

Δt_{or} – kesgitlemek üçin ýönekeýje ugurdaş akym shemada işleýän ýylylyk çalşyýjy apparaty peýdalanalyň (8.10-njy surat).

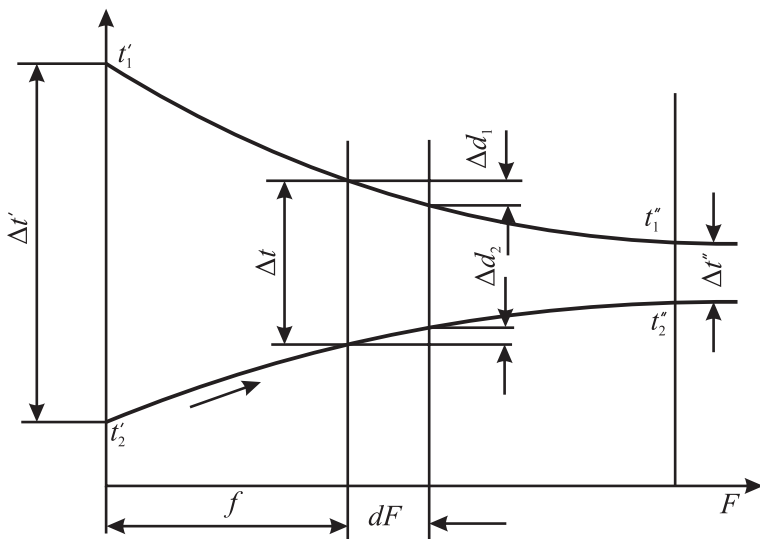
Suratda görkezilen dF – elementar üst boýunça ýylylyk geçirmäniň deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$dQ = K(t_1 - t_2)dF = K\Delta t dF \quad (8.75)$$

Şeýle hem sowaýan ýylylyk äkidiji $dQ = -c_1 dt_1$ ýylylygy, gyzdyrylýan ýylylyk äkidiji $dQ = c_2 dt_2$ ýylylygy kabul edýär.

Ýagny $dQ = -c_1 dt_1 = c_2 dt_2$. Bu ýerden $dt_1 = -\frac{dQ}{c_1}$ we $dt_2 = \frac{dQ}{c_2}$.

Temperatura tapawudynyň tükeniksiz kiçi ululyga üýtgemesi $d(t_1 - t_2) = dt_1 - dt_2 = dQ = dQ = -\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}\right)mdQ$. Bu ýerde $m = \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}\right)$. Soňky deňlemä dQ -yň bahasyny goýup we $t_1 - t_2 = \Delta t$ bilen belgiläp, aşakdakyny ýazalyň:



8.10-njy surat. Üstüň meýdany boýunça Δt -niň üýtgemesi

$$d(\Delta t) = -m K \Delta t dF,$$

ýa-da:

$$\frac{d(\Delta t)}{\Delta t} = -m K dF.$$

m we K ululyklary hemişelik diýip hasap edip, bu deňlemäni $\Delta t'$ -den Δt -e çenli we 0-dan F -e çenli çäkde integrirläliň:

$$\int_{\Delta t'}^{\Delta t} \frac{d(\Delta t)}{\Delta t} = -mk.$$

Bu ýerden

$$\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'} = -mkF,$$

ýa-da

$$\Delta t = \Delta t' e^{-mkF}. \quad (8.76)$$

Deňlemeden görnüşi ýaly, ýylylyk çalşyjynyň boýuna Δt eksponensial kanun boýunça üýtgeýär.

Ýylylyk çalşygy üstüň ähli meýdanyna degişli temperatura tapawudynyň ortaça ululygy aşakdaky usul boýunça kesgitlenýär:

$$\overline{\Delta t} = \frac{1}{F} \int_0^F \Delta t dF. \quad (8.77)$$

Formuladaky Δt ýylylyk çalşygy üstüň dF elementine degişli temperatura tapawudy. (8.77) deňlemä (8.76) deňlemeden Δt bahasyny goýup alarys:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t'}{F} \int_0^F e^{-mKF} dF = -\frac{\Delta t'}{-mkF} (e^{-mKF} - 1).$$

$$-mKF = \ln \frac{\Delta t}{\Delta t'} \quad \text{we} \quad e^{-mKF} = \frac{\Delta t}{\Delta t'}$$

bolýandygyny göz önünde tutup, ýokarky formulany aşakdaky görnüşde ýazarys:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t' \left(\frac{\Delta t}{\Delta t'} - 1 \right)}{\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'}} = \frac{\Delta t - \Delta t'}{\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'}}, \quad (8.78)$$

bu ýerde: $\overline{\Delta t}$ -ni ähli üste degişli edilýänligi üçin $\Delta t = \Delta t''$. Onda:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t'' - \Delta t'}{\ln \frac{\Delta t''}{\Delta t'}}. \quad (8.79)$$

Bu formula edebiýatlarda, köplenç, aşakdaky görnüşde ýazylyar:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_u - \Delta t_K}{\ln \frac{\Delta t_u}{\Delta t_K}}, \quad (8.80)$$

bu ýerde: Δt_u – uly temperatura tapawudy; Δt_k – kiçi temperatura tapawudy.

Bu formula ugurdaş we garşylykly akym üçin ulanylyp bilner. Bu formuladaky $\overline{\Delta t}$ – orta logarifmiki temperatura güýji diýilýär.

Indi ugurdaş we garşylykly akym düşüňjeleri barada durup geçeliň. Ýylylyk çalyşýan suwuklygyň ýa-da gazyň biri-birine görä hereket ediş ugruna baglylykda ugurdaş, garşylykly we keseleýin akymlar düşüňjeleri girizilýär. Ugurdaş bolanda suwuklyklar özara parallel bir tarapa ugrukdyrylyp hereket edýärler.

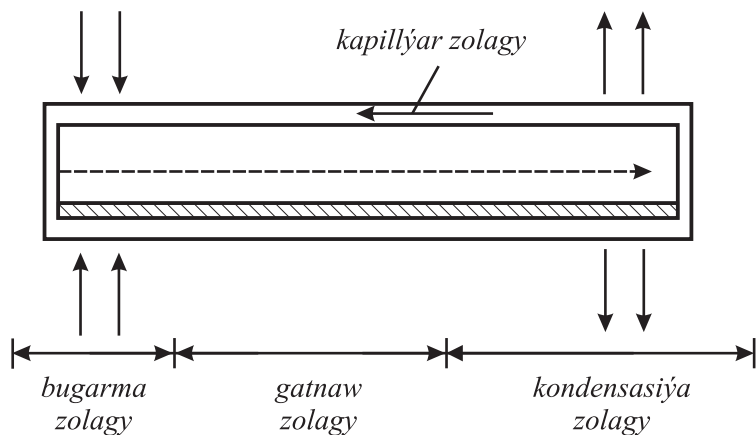
Garşylykly akymda suwuklyklar özara parallel, ýöne biri-birlerine gapma-garşy tarapa hereket edýärler. Keseleýin akym, biri-birine perpendikulýar ugurlar boýunça hereket edýän ýylylyk äkidijiler hem ýylylyk çalşygy apparatlarda köp ulanylýar.

Seredilen ýylylyk çalşygy apparatlarda ýylylyk bir sredadan beýleki sreda, esasan, konweksiýa we ýylylyk geçirijilik arkaly berilýär. Emma tehnikada ýylylyk çalşygy prosesinde suwuklygyň öz agregat halyny üýtgetmegi (bugarma we kondensasiýa) bilen bagly bolan ýylylyk geçiriji apparatlar hem ulanylýar. Şu apparatlaryň biri hökmünde ýylylyk turbajyklary diýen ady alan ýylylyk geçiriji apparaty mysal getirmek bolar. Ýylylyk turbajyklaryň häzirki döwürde ylymda, tehnikada we durmuşda has giňden ulanylýandygyny göz önünde tutup, bu gurluş barada giňräk durup geçeliň.

Bu gurluşy ilkinji gezek XIX asyrdan angliýaly I. Pekins diýen alym oýlap tapypdyr. Emma bu gurluşyň ir döwürde oýlanyp tapylýanlygyna garamazdan, ýaňy-ýakynlara çenli ulanylmandyr. XX asyryň ikinji ýarymynda ýylylyk turbajyklary harby maksatlar üçin, kosmosda we radioelektron apparatlarynda giňden ulanylyp başlandy.

Ýylylyk turbajygy näme? Bu turbajygyň iň ýönekeý görnüşine termosifon diýilýär. Termosifon diametri 1-1,5 sm, uzynlygy 40-120 sm çenli bolan, göwrüminiň üçden bir bölegi ýeňil bugarýan sowuklyk bilen doldurylan, içiniň howasy çykarylan, iki tarapy bolsa jebis ýapylan misden, latundan ýa-da ýylylygy oňat geçirýän başga materialdan ýasalan turbajykdyr (*8.11-nji surat*). Termosifon wertikal ýagdaýda ýa-da gorizonta ýatyrylanda işleýär. Eger bu turbajygyň aşaky ujuny gyzdysak, onda suwuklyk bugarýar we buglar turbanyň içi boýunça ýokary galyp, onuň ýokarky başynda kondensirlenýär. Şeýlelikde, gyzdyrylýan

zolagyň ýylylygy turbanyň beýleki ujuna bug arkaly geçirilýär. Soňra kondensirlenen bug suw damjasy görnüşinde ýeriň dartyş güýjüniň täsiri bilen turbanyň içki diwaryndan syrygyp aşak gelýär we bu proses üznüksiz gaýtalanylýar. Suwuklygyň turba boýunça yzyna gaýdyş prosesini çaltlandyrmak üçin turbanyň içki diwaryny kapillýar gurluşly material bilen örtýärler.



8.11-nji surat. Ýylylyk turbajygynyň shemasy

Kapillýar gurluşly material hökmünde örän kiçi gözenekli birnäçe gat metaldan ýasalan tor ýa-da başga material ulanylýar. Kä ýylylyk turbajyklaryň içki üstünden kesijileriň kömegi bilen örän inçejik kapillýarlar geçirilýär. Içi tor gözeneklerinden örtülen ýylylyk turbajygynyň shemasy suratda görkezilendir.

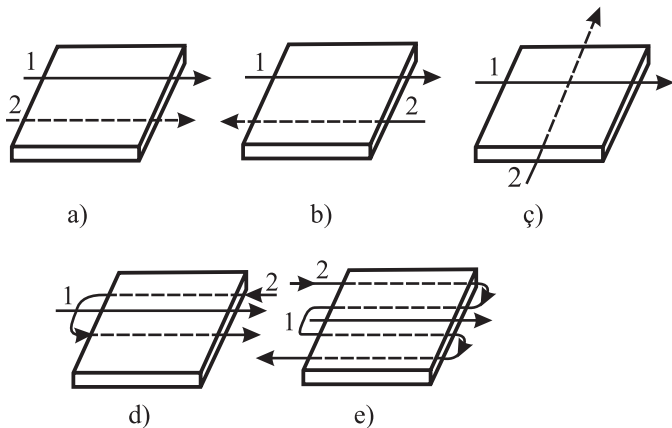
Ýylylyk turbajygynynda kapillýar gurluşyň ulanylmagy kapillýar güýjüň hasabyna kondensasiýa zolagynda buguň suwuklyga öwürülenleriniň bugardyjy zolaga gelmegini çaltlandyrýar we netijede, gyzdýrylýan zolakdan sowadylýan zolaga ýylylygyň çalt geçmegini üpjün edýär. Bu ýylylyk turbajyklaryň massasynyň kiçiligi, gurluşynyň ýönekeýligi hem-de işlände sessizligi onuň tehnikaýyň köp ýerlerinde ulanylmagyna sebäp bolýar. Ýylylyk turbajyklaryň peýdaly täsir koeffisiýenti örän ýokary bolup, ol özüniň ölçegine deň bolan kümüşden ýasalan turbajygynyň ýylylyk geçirijiligidinden 50 esseden gowrak ýylylygy çalt geçirýär. Bu apparatlar aşa gyzyan üsti çalt sowatmakda, dürli temperaturaly üstleriň temperaturasyny deňleşdirmekde, ýylylyk akymyny transformirmekde giňden ulanylýar.

8.17. Ýylylyk äkidijileriň temperaturalarynyň üýtgeýän şertinde ýylylyk alyp-beriş

Durmuşda temperaturalaryň üýtgemeyän (hemişelik) şertinde ýylylyk alyp-beriş prosesleriniň bolup geçmegi az bolýandyr (edil tekiz diwarda bolşy ýaly, şilindrik diwarlarda hem şeýle bolýar). Şeýle prosesler diňe diwaryň bir tarapynda bug kondensirlenýän we beýleki tarapynda suwuklyk gaýnaýan bolsa hemişelik temperaturalarda ýylylyk alyp-beriş prosesleri bolup geçip biler. Senagat apparatlarynda, köplenç, ýylylyk äkidijileriň temperaturalarynyň üýtgemegi bilen ýylylyk alyp-beriş prosesleri bolup geçýär.

Ýylylyk äkidijileriň temperaturalarynyň üýtgemegi, adatça, olary bölüji diwaryň F üst meýdanynyň boýuna bolup geçýär. Şeýle ýagdaýda ýylylyk äkidijileriň temperaturalary wagta görä hemişelik saklanmagy mümkin we bu ýylylyk çalyşmanyň durnuklaşan prosesini häsiýetlendirýän $t = f(F)$ baglanyşyk bilen aňladylyar. Ýylylyk çalyşmanyň durnuksyz proseslerinde iki ýagdaýyň bolmagy mümkin:

- temperatura diwaryň üstüniň her bir nokadynda diňe wagta görä üýtgeýär, ýagny olar wagtyň ýeke-täk funksiýasy bolýar [$t = \varphi'(t)$];
- ýylylyk äkidijileriň temperaturalary hem wagta görä hem-de ýylylyk çalyşjynyň üstüniň boýuna görä üýtgeýär [$t = \varphi''(t, F)$].



8.12-nji surat. Suwuklyklaryň (1) we (2) hereket ugurlarynyň çyzgysy:
a) göni akym; b) garşylykly akym; ç) keseleýin akym; d) bir gezek gaýtalanýan garyşyk akym; e) köp gezek gaýtalanýan garyşyk akym

Temperaturalaryň üýtgeýän şertinde ýylylyk alyp-beriş prosesleri ýylylyk äkidijileriň hereketleriniň özara ugurlaryna baglydyr. Ýylylyk çalyşmanyň üznüksiz proseslerinde suwuklyklaryň hereketleriniň özara ugurlary olary bölýän diwaryň boýuna görä aşakdaky görnüşlerde bolup biler (8.12-nji surat):

1) parallel akym ýa-da göni (ugurdaş) akym (8.12-nji a surat), haçan-da ýylylyk äkidijileriň ikisi-de birmeňzeş ugra hereketlenende;

2) garşylykly akym (8.12-nji b surat), haçan-da ýylylyk äkidijiler biri-birine garşylykly ugra hereketlenende;

3) keseleýin akym (8.12-nji ç surat), haçan-da ýylylyk äkidijiler biri-birine özara perpendikulýar hereketlenende;

4) garyşyk akym, bu akymda ýylylyk äkidijileriň biri diňe bir ugur boýunça hereketlenýär, beýlekisi bolsa birinji bilen ugurdaş akym boýunça-da we garşylykly akym boýunça-da hereketlenýär, şonuň üçin olar ýönekeý, ýa-da bir gezek gaýtalanýan (8.12-nji d surat) garyşyk akym we köp gaýtalanýan (8.12-nji e surat) garyşyk akym diýlip tapawutlandyrylýar.

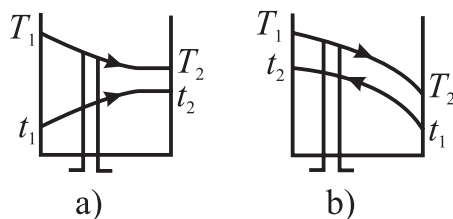
8.18. Göni we garşylykly akymda ýylylyk äkidijileriň ýylylyk alyp-beriş deňlemesi

Üznüksiz ýa-da durnuklaşan ýylylyk çalyşma prosesinde ýylylyk äkidijiler elmydama biri-birine görä hereketde bolýarlar. Olaryň ugurlary dürli-dürli bolup bilýär. Ýylylyk äkidijileriň hereketiniň esasy görnüşleri göni we garşylykly akym görnüşlerinde bolýar.

Göni akymda iki ýylylyk äkidiji hem (gyzgyn we sowuk) ýylylyk çalyşma üst boýunça bir ugra hereket edýärler. Şeýle ýagdaý üçin ýylylyk äkidijileriň temperaturalarynyň üýtgeýşi 8.13-nji a suratda görkezilýär. Suratdan görnüşi ýaly, ýylylyk çalyşyýy üst boýunça gyzgyn ýylylyk äkidijiniň temperaturasy kem-kemden peselýär, pes temperaturaly ýylylyk äkidijiniň temperaturasy bolsa kem-kemden ýokarlanýar. Diýmek, gyzgyn sredadan sowuk sreda ýylylyk geçýär. Degişlilikde, ýylylyk çalyşyýy üst boýunça ýylylyk äkidijileriň temperaturalarynyň tapawudy hem yzygiderli üýtgeýär.

Garşylykly akymda iki ýylylyk äkidiji hem ýylylyk çalyşyýy üst boýunça biri-birine görä garşylykly ugra hereket edýärler. Tempera-

turalarynyň üýtgeýiş häsiýeti ýylylyk äkidijileriň suw ekwiwalentine bagly we ol 8.13-nji *b* suratda görkezilen.



**8.13-nji surat. Ýylylyk äkidijileriň
temperaturalarynyň üýtgeýşi:**
a – göni akym; b – garşylykly akym

Göni akymda temperaturalaryň ortaça güýji maksimal t_{\max} we minimal t_{\min} temperaturalaryň orta logarifm tapawudy ýaly kesgitleňýär, ýagny:

$$\Delta t_{\text{ort}} = \frac{\Delta t_b - \Delta t_a}{2,3 \lg\left(\frac{\Delta t_b}{\Delta t_a}\right)}, \quad (8.81)$$

bu ýerde: Δt_b – ýylylyk çalşygy apparatyň başlanýan nokadynda ýylylyk äkidijileriň temperaturalarynyň tapawudy; Δt_a – ýylylyk çalşygy apparatyň ahyrky nokadynda ýylylyk äkidijileriň temperaturalarynyň tapawudy.

Göni akymda ýylylyk äkidijileriň ýylylyk alyp-beriş deňlemesi aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$Q = -KF \frac{\Delta t_u - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_u}{\Delta t_k}} = KF \frac{\Delta t_u - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_u}{\Delta t_k}}. \quad (8.82)$$

Garşylykly akym üçin bu deňlemäni başgaça ýazarys:

$$Q = KF \frac{\Delta t_u - \Delta t_k}{2,3 \lg \frac{\Delta t_u}{\Delta t_k}}. \quad (8.83)$$

Garşylykly akym üçin ýylylyk äkidijileriň aralaryndaky temperaturalarynyň ortaça tapawudyny Δt_{ort} aşakdaky deňlemäniň kömegi bilen kesgitleýän bolýar:

$$\Delta t_{ort} = \frac{\Delta t_u - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_u}{\Delta t_k}} = \frac{\Delta t_u - \Delta t_k}{2,3 \lg \frac{\Delta t_u}{\Delta t_k}}, \quad (8.84)$$

haçan-da $\Delta t_u / \Delta t_k < 2$, onda $\Delta t_{ort} = (\Delta t_u - \Delta t_k) / 2$;

haçan-da $\Delta t_u / \Delta t_k \geq 2$, onda $\Delta t_{ort} = (\Delta t_u + \Delta t_k) / 2,3 \lg (\Delta t_u / \Delta t_k)$.

Eger iki ýylylyk äkidijiniň ýylylyk sygymy we ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti temperatura baglylykda üýtgemeyän bolsa we gyzgyn ýylylyk äkidiji tarapyndan berilýän hemme ýylylyk pes temperaturaly ýylylyk äkidiji tarapyndan kabul edilýän bolsa hem-de ýylylyk ýitgisi bolmaýan we himiki reaksiýa netijesinde ýylylyk bölünip çykmaýan bolsa, onda temperatura güýjüniň ortaça logarifm tapawudyny kesgitleýän (8.84) deňleme ulanylýar.

Ýylylyk äkidijileriň başlangyç we ahyrky temperaturalarynyň birdeň şertinde göni akymda ortaça temperatura güýji garşylykly akymdakydan ýokary bolýar. Netijede, ýylylyk çalşygy diwaryň üst meýdany kiçi bolýar.

Garşylykly akymda gyzdýryjy ýa-da gyzyjy suwuklygyň harçlanmasy göni akymdakydan kiçi bolup biler. Netijede, garşylykly akym göni akym bilen deňeşdirilende has amatlydyr.

8.19. Diwaryň temperaturalaryny kesgitlemek

Ýylylyk çalyşma prosesinde ýylylyk äkidijileri bölüji diwaryň gyzgyn tarapyň üstüniň temperaturasyny (t_{diw1}) ýa-da onuň pes temperaturaly üstüniň temperaturasyny (t_{diw2}) bilmän ýylylyk beriş koeffisiýentini α kesgitlemek mümkin dälär.

Diwaryň t_{diw1} we t_{diw2} temperaturalaryny kesgitlemek ýylylyk berişini we ýylylyk alyp-berişini deňlemeleriniň esasynda ýerine ýetirilýär.

Gyzgyn ýylylyk äkidijiniň diwara berýän ýylylyk mukdary aşakdaky deňleme boýunça kesgitlenýär:

$$Q = \alpha_1 \cdot F (t_1 - t_{diw1}), \quad (8.85)$$

bu ýerde: F – ýylylyk çalşygy diwaryň üst meýdany; t_1 – gyzgyn ýylylyk äkidijiniň temperaturasy; α_1 – ýylylyk beriş koeffisiýenti.

Pes temperaturaly ýylylyk äkidijiniň kabul edýän ýylylyk mukdary aşakdaky deňleme görnüşinde aňladylýar:

$$Q = \alpha_2 \cdot F (t_{diw2} - t_2), \quad (8.86)$$

bu ýerde t_2 – pes temperaturaly ýylylyk äkidijiniň temperaturasy.

(8.85) we (8.86) deňlemelerden diwaryň üstüniň temperaturalaryny kesgitleýän deňlemeler gelip çykýar:

$$t_{diw1} = t_1 - \frac{Q}{\alpha_1 F}, \quad (8.87)$$

$$t_{diw2} = t_2 + \frac{Q}{\alpha_2 F}. \quad (8.88)$$

(8.87) we (8.88) deňlemelerde Q -yň bahasyny ýylylyk alyp-berşiň umumy deňlemesine laýyklykda ($Q = KF\Delta t_{ort}$) ýerine goýup we F ululygy gysgaldyp, diwaryň üstüniň temperaturalaryny kesgitleýän deňlemeler alynýar:

$$t_{diw1} = t_1 - \frac{K\Delta t_{ort}}{\alpha_1}, \quad (8.89)$$

$$t_{diw2} = t_2 + \frac{K\Delta t_{ort}}{\alpha_2}. \quad (8.90)$$

(8.89) we (8.90) deňlemeler boýunça diwaryň ýokary we pes temperaturaly üstüniň gyzgynlyk derejesi – temperaturasy kesgitlenilýär.

IX BÖLÜM

GYZDYRMA, SOWATMA WE KONDENSASIYA

9.1. Umumy maglumat

Himiya senagatynda suwuklyklary, gazlary gyzdyrmak we sowatmak hem-de buglary kondensirmek ýaly ýylylyk prosesleri giňden ýaýrandyr. Bu prosesler ýylylyk çalşyýjy apparatlaryň (ýylylyk çalşyjylaryň) üsti bilen amala aşyrylýar.

Ýylylyk çalşyýjy apparatlar diýip bir maddadan beýleki bir madda ýylylyk geçirmek üçin niýetlenen apparatlara aýdylýar. Ýylylyk geçirme prosesine gatnaşýan maddalara ýylylyk äkidijiler (göterijiler) diýilýär.

Gyzdyrylýan sreda garanynda has ýokary temperatura eýe bolan we ýylylyk berýän ýylylyk äkidijilere (göterijilere) gyzdyryjy sreda (agent) diýip kabul edilýär, gyzdyryjy sredanyň temperaturasyna garanynda has pes temperatura eýe bolan we ýylylyk kabul edýän ýylylyk äkidijilere (göterijilere) – sowadyjy ýa-da gyzyjy sreda (agent) diýilýär.

Himiya senagatynda ilkinji ýylylyk çeşmesi hökmünde, esasan, ýangyç ýananda gaz şekilinde emele gelýän tüsse gazy hem-de elektrik energiýasy peýdalanylýar. Şol ýylylyk çeşmelerinden ýylylyk kabul edýän we ýylylyk çalşyýjy apparatyň diwarynyň üsti bilen gyzdyrylýan sreda ýylylyk berýän maddalara aralykdaky ýylylyk äkidijiler (göterijiler) diýlip at berilýär. Himiya senagatynda köp ulanylýan aralykdaky ýylylyk äkidijileriň (gyzdyryjy agentleriň) hataryna suw bugy we gyzgyn suw, şeýle hem ýokary temperaturaly ýylylyk äkidijiler diýlip at berilýän – aşagyzan suw, mineral ýaglar, organiki suwuklyklar (we olaryň buglary), eredilen duzlar, suwuk metallar we olaryň galyndylary degişlidir.

Sredalary adaty temperatura (10-30°C) çenli sowatmak üçin sowadyjy agent hökmünde, köplenç, suw we howa ulanylýar.

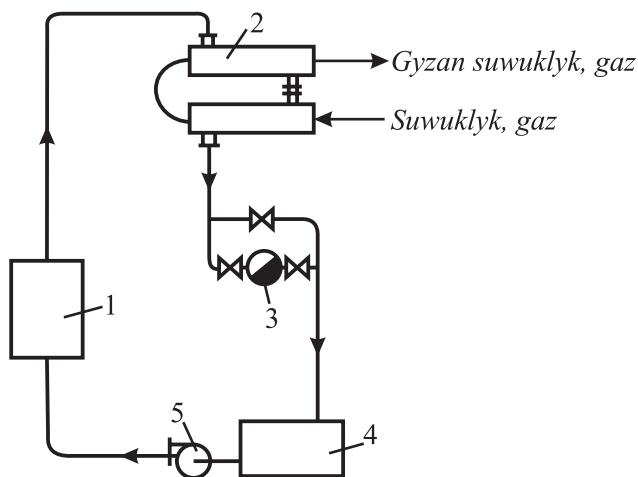
9.2. Suw bugy bilen gyzdyрма

Himiya senagatynyň apparatlarynda has giňden ulanylýan gyzdyryjy agentleriň biri hökmünde doýgun suw bugy hasaplanýar. Bu onuň ýylylyk äkidiji hökmünde düýpli artykmaçlygy bilen düşün-

dirilýär. Buguň kondensasiýasy netijesinde az mukdardaky bugdan köp mukdarda ýylylyk bölünip çykýar, ýagny $9,8 \cdot 10^4 \text{ n/m}^2$ (1 at) basyşly bug kondensirlenende takmynan $2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$ (540 kkal/kg) ýylylyk bölünip çykýar. Kondensirlenýän buguň ýylylyk beriş koeffisiýentiniň ýokary bolmagy netijesinde bug tarapyndan ýylylyk berlişe bolan garşylyk az bolýar. Bu bolsa gyzdurma prosesini kiçi üstli ýylylyk çalşyýjy apparatlarda geçirmäge mümkinçilik döredýär.

Doýgun buguň esasy wajyp artykmaçlygy onuň berlen basyşdaky kondensasiýasynda temperaturasynyň hemişelik saklanmagydyr. Bu bolsa gyzdurmanyň temperaturasyny takyk saklamaklyga mümkinçilik berýär, şeýle hem gyzduryjy buguň basyşyny üýtgetmek ýoly bilen onuň temperaturasyny sazlamak bolýar. Bug kondensatynyň ýylylygy ulanylanda bug bilen işleýän apparatlaryň p.t.k.-sy ýokary göterime ýetýär.

Suw bugunyň esasy kemçiligi – onuň temperaturasynyň ýokarlanmagy bilen basyşynyň has ýokary galmagydyr. Şonuň üçin hem, adaty, $180-190^\circ\text{C}$ -den uly bolmadyk temperaturaly doýgun suw bugunyň kömegi bilen gyzdurma prosesi geçirilýän buguň basyşy 10-12 at barabar bolýar. Ýokary basyşly bug üçin has galyň diwarly we gymmatbahaly ýylylyk çalşyýjy apparatlar talap edilýär, şeýle hem kommunikasiýalara we armaturalara has köp harajat sarp edilýär.



9.1-nji surat. Sessiz bug bilen gyzdurmanyň shemasy:

1 – bug gazany; 2 – ýylylyk çalşyýjy-gyzduryjy; 3 – kondensaty aýryjy;
4 – aralykdaky gap; 5 – merkezden daşlaşýan nasos

Sessiz bug bilen gyzdurma. Sessiz bug bilen ýylylygy ýylylyk çalşyýjy apparatyň diwarjygynyň üsti bilen geçirip gyzdurma has giňden ýaýrandyr. Sessiz bug bilen gyzdurmanyň prinsipial shemasy 9.1-nji suratda görkezilýär.

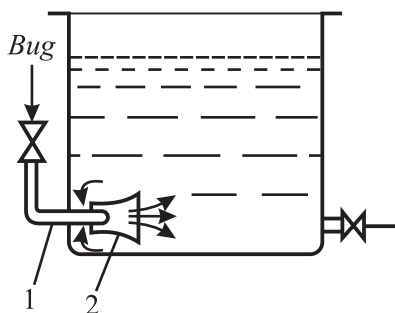
Bug generatoryndan – bug gazanyndan (*I*) çykýan gyzduryjy bug ýylylyk çalşyja (*2*) barýar. Ol ýerde suwuklyk (ýa-da gaz) bölüji diwar arkaly bug tarapyndan gyzdurylýar.

Üznüksiz gyzdurma prosesinde sessiz buguň harçlanmasy *D* ýylylyk balansynyň deňlemesinden kesgitlenýär:

$$D = \frac{G \cdot c(t_2 - t_1) + Q_y}{I_b - I_k}, \quad (9.1)$$

bu ýerde: *G* – gyzdurylýan sredanyň akym mukdary; *c* – gyzdurylýan sredanyň ortaça udel ýylylyk sygymy; *t*₁, *t*₂ – gyzdurylýan sredanyň başdaky we soňky temperaturalary; *I*_{*b*} we *I*_{*k*} – gyzdurjy buguň we kondensatyň entalpiýalary; *Q*_{*y*} – daşky gurşawa ýitirilýän ýylylyk mukdary.

Ýiti bug bilen gyzdurma. Haçan-da gyzdurylýan sredanyň bug kondensaty bilen garyşmagyna rugsat edilýän bolsa (mysal üçin, suwuk ergin bilen bug kondensatynyň garyşmagyna), onda gyzdurylýan sredanyň gönüden-göni özüne ýiti bugy bermek bilen gyzdurma usuly ulanylýar. Bu usulda bug kondensaty gyzdurylýan suwuklyk bilen garyşýar we onuň ýylylygy peýdalanylýar, netijede, olaryň temperaturalary deňleşýär we suwuklyk gyzdurylýar.



9.2-nji surat. Sessiz işleýän soploly gyzduryjy:

1 – soplo; 2 – garyjy diffuzor

Eger suwuklygy gyzdyrmak bilen birlikde ony garyşdyrmak hem zerur bolsa, onda ýiti buguň berilmegi birnäçe ýokary bakýan

deşijekleri bolan, uýy ýapyk, apparatyň düýbünde ýerleşdirilen turba – barboter arkaly amala aşyrylýar. Has gowy garyşdyrmak, sesi peseltmek we gidrawliki urgulary döretmezlik üçin sessiz işleýän gyzdyryjylar ulanylýar (9.2-nji surat).

Bug soplo (1) arkaly berilýär we garyşdyryjy diffuzoryň (2) gapdal deşiklerinden barýan suwuklygy sorup alýar. Suwuklygyň bug bilen garyşmagy netijesinde diffuzoryň (2) içindäki ses ep-esli azalýar.

Ýiti buguň harçlanmasy gyzdyrylýan suwuklygyň we kondensatyň ahyrky temperaturalar deňlemesini göz önüne tutup kesgitlenilýär we ýylylyk balansynyň deňlemesi boýunça taparys:

$$DI_b + G \cdot c \cdot t_1 = D \cdot c_s \cdot t_2 + G \cdot ct_2 + Q_{\dot{y}}, \quad (9.2)$$

bu ýerden ýiti buguň harçlanmasy:

$$D = \frac{G \cdot c \cdot (t_2 - t_1) + Q_{\dot{y}}}{I_b - c_s \cdot t_2}, \quad (9.3)$$

bu ýerde c_s – kondensatyň (suwuň) ýylylyk sygymy.

9.3. Gyzgyn suw bilen gyzdurma

Gyzdyryjy madda hökmünde ulanylýan gyzgyn suw doýgun suw bugy bilen deňeşdirilende käbir ýetmezçiliklere eýe bolýar. Mysal üçin, gyzgyn suwuň ýylylyk beriş koeffisiýenti, edil islendik beýleki suwuklyklaryňky ýaly, kondensirlenýän buguň ýylylyk beriş koeffisiýentinden pes bolýar. Ondan başga-da gyzgyn suwuň temperaturasy ýylylyk çalşyjynyň üstüniň uzaboýuna peselip gidýär, bu bolsa gyzdyrylýan maddany deňölçegde gyzdryp bilmeýär we ony sazlamaga kynçylyk döredýär.

Gyzgyn suwy ýangyç ýananda emele gelýän gazlar bilen gyzdyrylýan suw gyzdyryjy gazanlarda, bugda işleýän suw gyzdyryjylarda (boýlerlerde) alýarlar. Ol, esasan, 100°C temperatura çenli gyzdurmak üçin ulanylýar. 100°C temperaturadan ýokary gyzdurmak gerek bolanda ýylylyk äkidiji hökmünde ýokary basyşly suw ulanylýar. Käbir ýagdaýlarda gyzdurmak üçin suw bugunyň kondensaty hem ulanylýar.

9.4. Ýangyn gazlary bilen gyzdyрма

Tüsse ýa-da ýangyn gazlary has öňden ulanylýan gyzdyrjy maddalara degişlidir. Ýangyn gazlary häzirki döwre çenli öz ähmiýetini ýitirmän gelýär. Olaryň kömegi bilen ýylylyk çalşyjylardaky sähelçe artykmaç basyşda 1000-1100°C-ä ýetýän ýokary temperatura çenli gyzgynlyk alyp bolýar. Ýangyn gazlary, köplenç, diwaryň üsti bilen beýleki gyzdyrjy maddalary – aralyk ýylylyk göterijileri gyzdyrmak üçin ulanylýar.

Ýangyn gazlarynyň esasy kemçiligi: ýylylyk çalyşma prosesinde gazlaryň kem-kemden sowamagy netijesinde gyzdyrmanyň deňölçeqli bolmaýanlygy, gyzdyrmanyň temperaturasyny sazlamak kynçylygy, gazlardan diwara ýylylyk beriş koeffisiýentiniň pesligi (35-60 Wt/(m²·grad)-dan köp däl), ýangyjyň doly ýanmaýan ýagdaýynda ondan çykýan gazlaryň gyzdyrylýan materiallary hapalama häsiýeti bolup durýar. Ýangyn gazlary bilen gyzdyрма hadysasy ýöriteleşdirilen peçlerde geçirilýär.

Ýangyn gazlary bilen gyzdyrmada sarp edilýän ýangyjyň mukdaryny ýylylyk balansynyň deňlemesinden kesgitläp bolýar. Eger gaz şekilli ýangyjyň sarp edilýän mukdaryny B , ýangyn gazlarynyň entalpiýasyny I_1 (ýylylyk çalşyja girýän ýerinde) we I_2 (ýylylyk çalşyjydan çykýan ýerinde) bilen belgilesek, onda ýylylyk balansynyň deňlemesi aşakdaky görnüşli alar:

$$B(I_1 - I_2) = G \cdot c(t_2 - t_1) + Q_y,$$

bu ýerde:

$$B = \frac{G \cdot c(t_2 - t_1) + Q_y}{I_1 - I_2}. \quad (9.4)$$

Deňlemede görkezilen belgilemeler ýokarda görkezilen.

Gyzdyrmanyň ýokary temperaturaly ýylylyk äkidijiler, gaz şekilli ýokary temperaturaly ýylylyk äkidijiler, elektrik togy bilen hem amala aşyrmak usullary giňden peýdalanylýar.

9.5. Sowadyjy maddalar. Sowatmanyň we kondensasiýanyň usullary

Adaty temperatura çenli sowatmak. Adaty temperatura çenli sowatmaklyk (takmynan $10\div 30^{\circ}\text{C}$ -ä çenli) elýeterli we arzan sowadyjy hasaplanýan – suw we howa has giňden ulanylýar. Suwy howa bilen deňşdirilende suw uly ýylylyk sygymy, has ýokary ýylylyk beriş koeffisiýenti bilen tapawutlanýar we ol has pes temperatura çenli sowadyp bilýär.

Sowadyjy madda hökmünde derýa, köl, ýerasty artezion suwlary giňden ulanylýar. Eger ýerli şertlere görä suw gyt bolsa ýa-da ony getirmek has gymmada düşýän bolsa, onda sowatmaklyk aýlanyşyk suw bilen – ýylylyk çalşyjy apparatda işlenen sowadyjy suw bilen amala aşyrylýar. Bu suw açyk howdanlarda bölekleyin bugartmak ýa-da köp ýagdaýda – gradirniýalarda howa akymy bilen galtaşdyrmak ýoly bilen sowadylýar we täzeden sowadyjy hökmünde ulanylmaga ugradylýar.

Gerek bolan temperatura çenli sowatmaklyk sowadyjy maddanyň başlangyç temperaturasyna bagly bolup durýar. Derýa, köl suwlarynyň temperaturasy ýylyň paslyna görä $4\div 25^{\circ}\text{C}$ aralykda, artezion ýerasty suwlaryňky $8\div 15^{\circ}\text{C}$, aýlanyşyk suwlary bolsa takmynan 30°C temperaturada (tomusky şertlerde) bolýar. Ýylylyk çalşyjy apparatlaryň taslamasy ýerine ýetirilende ýylylyk çalşyjy apparatlaryň ýylyň dowamynda ygtybarly we bökdençsiz işlemegini üpjün etmek maksady bilen suwuň hasaplama başlangyç temperaturasy hökmünde iň amatsyz şertler (tomusky) kabul edilýär. Suwda erän duzlaryň çökmezligi we ýylylyk çalşyjy apparatlaryň hapalanmazlygy hem-de ýylylyk çalyşma täsiriniň peselmezligi üçin suwuň hiline görä onuň apparatdan çykan-daky temperaturasyny $40\div 50^{\circ}\text{C}$ -den ýokary galdyrmak bolmaýar.

Sowatmada suwuň sarp edilýän W mukdaryny ýylylyk balansynyň deňlemesinden kesgitlenilýär:

$$G \cdot c (t_b - t_s) = W \cdot c_s (t_2 - t_1),$$

bu ýerden:

$$W = \frac{G \cdot c (t_b - t_s)}{c_s (t_2 - t_1)}, \quad (9.5)$$

bu ýerde: G – sowadylýan sredanyň harçlanmasy; c – sredanyň ortaça udel ýylylyk sygymy; t_b we t_s – sowadylýan sredanyň başdaky we soňky temperaturalary; t_1 we t_2 – sowadyjy suwuň başdaky we soňky temperaturalary.

Atmosfera howasy özüniň ýylylyk beriş koeffisiýentiniň pesligine garamazdan, soňky wagtlarda sowadyjy madda hökmünde ulanmakda giň gerime eýe bolýar.

Howa sowadyjy madda hökmünde garyşdyryjy ýylylyk çalşyjylarda – gradirniýalarda has köp ulanylýar.

9.6. Pes temperatura çenli sowatma

Suwuň ýa-da howanyň kömegi bilen ýetip bolýan temperaturadan hem pesrāk temperatura ýetmek üçin (meselem, 0°C sowatmak üçin) sowadylýan suwuklyga garmak mümkin bolsa, onda buz ýa-da sowuk suw goşup sowadýarlar.

Sowatmak üçin gerek bolýan buzuň mukdaryny G_b (kg) ýylylyk balansynyň deňlemesinden kesgitläp bolýar:

$$G_b(335,2 + c_s \cdot t_s) = G \cdot c(t_s - t_b),$$

bu ýerden:

$$G_b = G \cdot c(t_s - t_b) / (335,2 + c_s \cdot t_s),$$

bu ýerde: G – sowadylýan suwuklygyň massasy, kg; c_s – suwuň udel ýylylyk sygymy; c – sowadylýan suwuklygyň udel ýylylyk sygymy, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{grad})$; t_s , t_b – sowadylýan suwuklygyň soňky we başdaky temperaturalary $^{\circ}\text{C}$; $335,2 \text{ kJ/kg}$ – buzuň ereme ýylylygy.

0°C temperaturadan hem has pes temperatura ýetmek üçin sowadyjy madda hökmünde pes temperaturada gaýnaýan suwuklyklaryň buglary, gysylyp suwuklandyrylan gazlar (CO_2 , etan we ş.m.) ýa-da sowadyjy duz erginleri ýaly sowadyjy maddalar ulanylýar. Bu maddalary ýörite sowadyjy desgalarda peýdalanýarlar.

9.7. Buglaryň kondensasiýasy

Buguň (gazyň) kondensasiýasyny bugy (gazy) sowadyp ýa-da bir wagtda sowatmak we gysmak arkaly amala aşyrmak mümkindir. Kondensasiýa prosesleri, köplenç, suw we sowuk howa bilen buglary sowatmak ýoly bilen geçirilýär.

Buglaryň kondensasiýasy, esasan, himiki-tehnologiki proseslerinde, meselem, bugartmada, wakuum-guratmada we ş.m. prosesleri geçirilende giňden ulanylýar. Buglaryň kondensasiýasy suw ýa-da howa bilen sowadylýan kondensator diýlip atlandyrylýan apparatlarda geçirilýär.

Alynýan kondensatyň göwrümi kondensirlenýän buguň göwrüminden mün we ondan hem köp esse kiçidir.

Sowatma usuly boýunça kondensatorlar garyşma kondensatorlara we üstli kondensatorlara bölünýärler.

Garyşma kondensatorlarda bug sowadyjy suw bilen galtaşýar we emele gelen kondensat sowadyjy suw bilen garyşýar. Garyşma kondensatorlaryndan suwy, kondensaty we kondensirlenmedik gazlary aýyrmak usuly boýunça garyşma kondensatorlary çygly we gurak kondensatorlara bölünýär. Çygly kondensatorlarda suwy, kondensaty we kondensirlenmedik gazlary şol bir çyg howaly wakuum-nasosy bilen aýrylýar. Gurak ýa-da barometrik kondensatorlarda suw we kondensat öz akymyna aýrylýar, gazlar bolsa aýratynlykda gurak wakuum-nasosy bilen aýrylýar.

Üstli kondensatorlarda ýylylyk kondensirlenýän bugdan diwarjygyň üsti bilen aýrylýar. Köplenç, bug bir tarapynda suw ýa-da howa bilen ýuwulýan turbajyklaryň beýleki üstünde kondensirlenýär. Şeýlelikde, alynýan kondensat we sowadyjy suw kondensatordan aýratynlykda aýrylýar we kondensat gerekli ýere ulanylýar.

9.8. Ýylylyk çalşyjy apparatlaryň konstruksiyasy

Ýylylyk geçirmegiň usulyna baglylykda ýylylyk çalşyjy apparatlary üç esasy topara bölünip tapawutlanýar:

1. Üstli ýylylyk çalşyjylary – ýylylyk alyş-çalyş edýän sredalaryň aralaryndaky ýylylyk çalyşma prosesi olary bölýän ýylylyk çalşyjy üst – bitewi diwarjyk arkaly amala aşýar.

2. Garyşma ýylylyk çalşyjylary – ýylylyk alyş-çalyş edýän sredalaryň aralaryndaky ýylylyk çalyşma prosesi olaryň özara galtaşyp, garyşmagy netijesinde amala aşýar.

3. Regeneratiw ýylylyk çalşyjylary – suwuk sredanyň gyzdrylmagy ozal gyzdrylan gaty jisim bilen galtaşmanyň netijesinde amala aşyrylýar. Bu gaty jisim apparatda ýerleşip, başga ýylylyk äkidiji tarapyndan periodiki gyzdrylýar. Bu ýylylyk çalşyýy apparatlar himiýa senagatynda has seýrek ulanylýar.

Himiýa senagatynda üstli ýylylyk çalşyýy apparatlary giňden ulanylýar we olaryň konstruksiýalary dürli-dürli bolýar.

Himiýa tehnologiýasynda dürli metallardan (uglerodly we legirlenen polatlardan, misden, titandan, tantaldan we ş.m.) ýasalan ýylylyk çalşyýy apparatlary ulanylýar. Şeýle hem metal däl materiallardan, meselem, grafitden, teflondan we ş.m. ýasalan ýylylyk çalşyýy apparatlary ulanylýar.

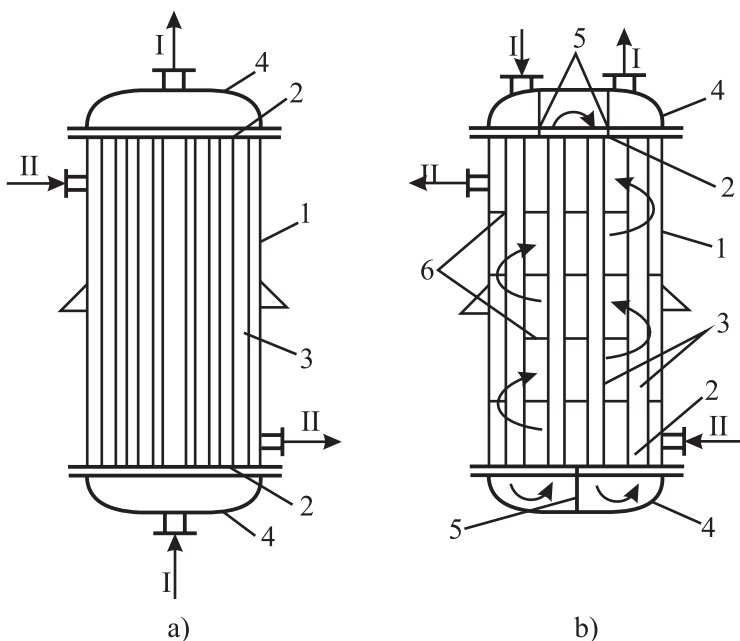
Ýylylyk çalşyýy apparatlaryň konstruksiýalary özleriniň ýönekeýligi, olary gurnamaklygyň, bejermekligiň we arassalamaklygyň amatlylygy bilen tapawutlanmalydyrlar.

9.9. Turbaly ýylylyk çalşyjylar

Gabyk (kožuh) turbaly ýylylyk çalşyýy apparatlar. Bu ýylylyk çalşyýy apparatlary has köp ulanylýan üstli ýylylyk çalşyjylaryň hataryna degişlidir. 9.3-nji *a* suratda korpusdan ýa-da gabykdan (1), we oňa birikdirilen turbalar toplumyndan ybarat bolan gözeneklerden (2) jemlenen gaty konstruksiýaly gabyk turbaly ýylylyk çalşyýy apparat görkezilen. Turbalar gözeneklerine turbalar toplumu berkidilen (3). Turba gözeneklerine gapaklar (prokladka we boltlar bilen) berkidilýär (4).

Gabyk turbaly ýylylyk çalşyýy apparatlarda ýylylyk çalyşýan sredalaryň biri *I* turbalaryň içinden (turba boşlugyndan) hereket edýär, beýlekisi bolsa *II* turbalaryň aralaryndaky boşluk boýunça hereket edýär.

Adatça, ýylylyk äkidijiler ugurlary boýunça biri-birine garşylykly hereket edýärler. Şeýle ýagdaýda gyzdrylýan sreda aşakdan ýokarlygy-na, ýylylygyny berip sowýan sreda bolsa garşylykly ugra ugrukdyrylýar. Sredalaryň ugurlary olaryň gyzmagy we sowamagy (temperaturalarynyň üýtgemegi) netijesinde dykzlyklaryň üýtgemegi bilen baglanyşykly kabul edilendir.



9.3-nji surat. Gabyk turbaly bir ýörişli (a) we köp ýörişli (b) ýylylyk çalşygy apparatlar:

*1 – korpus (gabyk); 2 – turbalardan gözenekler; 3 – turbalar;
4 – gapaklar; 5 – gapaklardaky bölüji diwarlar;
6 – turbalaryň aralaryndaky giňişligi bölüji diwarlar*

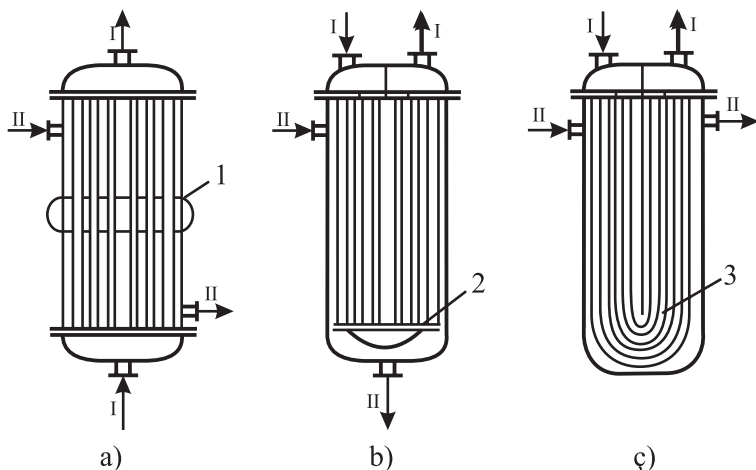
9.3-nji *a* suratda görkezilen ýylylyk çalşygy apparata bir ýörişli apparat diýilýär. 9.3-nji *b* suratda görkezilen ýylylyk çalşygy apparata köp ýörişli apparat diýilýär. Olarda korpus (1), turbalardan gözenekler (2) we olara berkidilen turbalar (3) hem-de gapaklar (4) 9.3-nji *a* suratda görkezilen ýylylyk çalşygy apparat bilen birmeňzeşdir. Ýylylyk çalşygy apparatyň gapagynda keseleýin ýerleşdirilen bölüji diwarlaryň (5) kömegi bilen turbalar seksiyalara ýa-da ýylylyk çalşyjynyň turbaly giňişliginden yzygiderli akýan suwuklygyň hereketi boýunça ýörişlere (öwürümlere) bölünýär. Sredanyň hereketiniň tizligini we geçýän ýoluny uzaltmak üçin turbalaryň aralaryndaky giňişlikde bölüji diwarlar (6) hyzmat edýär.

Dört ýörişli ýylylyk çalşygy apparatlarda (9.3-nji *b* surat) turbalaryň içindäki suwuklygyň tizligi bir ýörişli ýylylyk çalşygy apparatlara garanyňda dört esse köpdür.

Bir we köp ýörişli ýylylyk çalşygy apparatlary dikleýin we keseleýin bolýarlar. Bir ýörişli ýylylyk çalşygy apparatlarda hereket edýän sowadyjy sredanyň (suwuklugyň) tizligi pes bolýar we ýylylyk berijilik koeffisiýenti hem uly däl. Şonuň üçin ýylylyk çalyşmanyň ýokary tizligini köp ýörişli, mysal üçin, (b) ýylylyk çalşygy apparatyny ulanmak bilen döredip bolýar. Şeýle hem bu görnüşli apparatda ýylylyk berijilik koeffisiýenti ýokary bolýar.

9.10. Ýylylyk çalşygy apparatlaryň görnüşleri

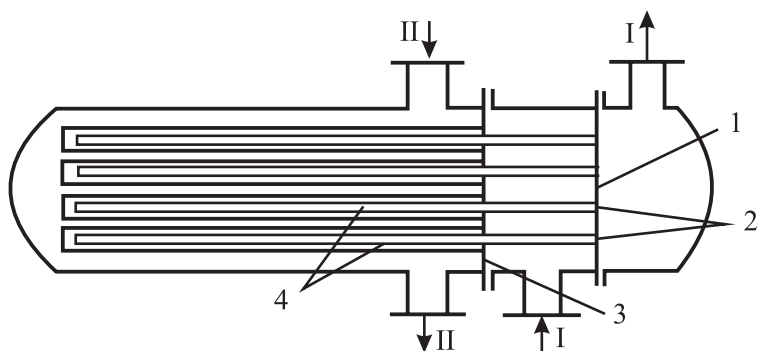
Ýylylyk çalşygy apparatlary özleriniň ýasalýan materialyna-konstruksiýasyna, gurluşyna, işleýşine, maksadyna, kuwwatyna-öndürilijiligine görä birnäçe toparlara bölünýärler. Olara linzadan kompensatorly ýylylyk çalşygy apparatlary (9.10-njy a surat), ýüzýän kellesi bolan ýylylyk çalşygy apparatlary (9.10-njy b surat), U-şekilli turbaly ýylylyk çalşygy apparatlary (9.10-njy ç surat), ikeldilen turbaly gabyk turbaly ýylylyk çalşygy apparatlary (9.11-nji surat), iki turbaly ýylylyk çalşygy apparatlary (9.12-nji surat) we başga-da birnäçe görnüşleri mysal bolup biler.



9.10-njy surat. Kompensirleýji gurluş bolan gabyk turbaly ýylylyk çalşygy apparatlar:

*a – linzadan kompensatorly; b – ýüzýän kellesi bolan; ç – U-şekilli turbaly;
1 – kompensator; 2 – gozganýan turbadan gözenek; 3 – U-şekilli turba*

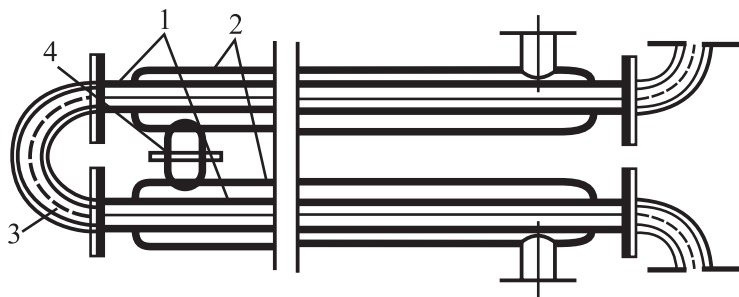
Kompensator (I) apparatyň temperatura giňelmesini sazlamak üçin ulanylýar.



9.11-nji surat.

Ikeldilen turbaly gabyk turbaly ýylylyk çalşygy apparatlar:

1,3 – turbaly gözenek; 2 – içki turbalar; 4 – daşky turbalar



9.12-nji surat.

Ikíturbaly ýylylyk çalşygy apparatlar:

1 – içki turbalar; 2 – daşky turbalar; 3 – sepleşdiriji (kalaç);

4 – geçiriji turbajyk

Bulardan başga-da ýuwujy ýylylyk çalşygy apparatlary, öwrüm-öwrüm turbajykly, plastinkaly we gapyrgaly, spirally ýylylyk çalşygy apparatlary bolýar. Ýylylyk çalşygy apparatlary üçin ýörite ýylylyk we gidrawliki hasaplamalar ýerine ýetirilýär.

X BÖLÜM

BUGARTMA

10.1. Umumy maglumat

Suwuk erginlerdäki uçmaýan maddalaryň suwuklygy gaýnadyp bugartmak esasynda ondan eredijini bölekleyin aýyrmak ýoly bilen aýrylyp konsentrirlenme prosesine bugartma prosesi diýilýär. Bugartma prosesinde erginiň ähli göwrüminden erediji aýrylýar, suwuklygyň gaýnama temperaturasyndan pes temperatura wagtynda bugartma suwuklygyň diňe üst gatlagynda bolup geçýär.

Himiýa senagatynda bugartma prosesi gaty maddaly erginlere öwürmek (duzlaryň, aşgarlaryň suwly erginlerini we ş.m.), şeýle hem ýokary gaýnaýan erginleri (käbir mineral we organiki kislotalary, köpatomly spirtleri we ş.m.) konsentirmek üçin giňden ulanylýar.

Kähalatlarda bugartma prosesi eredijini arassa görnüşinde bölüp almak üçin ulanylýar: deňiz suwy bugardylanda emele gelýän bugy sowuk suwuň ýa-da başga suwuklygyň kömegi bilen kondensirläp, alnan suwy içimlik ýa-da tehniki maksatlar üçin ulanylýar.

Köphalatda bugardylan ergin ýöriteleşdirilen bugardyjy apparatlarynda kristallara öwürmek üçin täzedan bugardylýar.

Bugartma esasynda alnan konsentrirlenen erginler we gaty maddalar gaýtadan işlemekde, saklamakda we daşamakda ýeňil we arzan bolýar.

Bugartma prosesinde gyzdyryjy hökmünde, köplenç, gyzdyryjy ýa-da birinji ýylylyk äkidiji diýlip atlandyrylýan suw bugy ulanylýar.

Birinji ýylylyk äkidiji bolup bug generatorlarynda alynýan bug ýa-da bug turbinalarynda işlenen ýa-da aralyk buglary hyzmat edýärler.

Gaýnaýan erginiň bu garmagynda emele gelýän buga ikinji ýylylyk äkidiji diýilýär.

Bugartma prosesleri wakuum astynda, ýokary we atmosfera basyşlarynda geçirilýär. Basyşy saýlap almak bugardylýan erginiň häsiýetleri we ikinji ýylylyk äkidijiniň ýylylygyny ulanmak mümkinçiligi bilen bagly bolup durýar.

Wakuum astynda geçirilýän bugartma prosesi ýokary gaýnaýan erginleri, mysal üçin, aşgar erginlerini konsentirlemek üçin giňden ulanylýar. Wakuumy ulanmak bilen ilkinji ýylylyk äkidiji hökmünde gyzdýryjy bugdan başga bugardyjy apparatyň özünden çykýan ikinji bugy hem ulanyp bolýar, bu bolsa ilkinji buguň sarp edilişini peseldýär we ş.m.

Bugartma prosesi atmosfera basyşyndan ýokary basyşda geçirilende hem ikinji bugy bugartma ýa-da başga maksatlar üçin hem ulanyp bolýar. Gapdalda aýrylan ikinji buga ekstra bugy diýilýär.

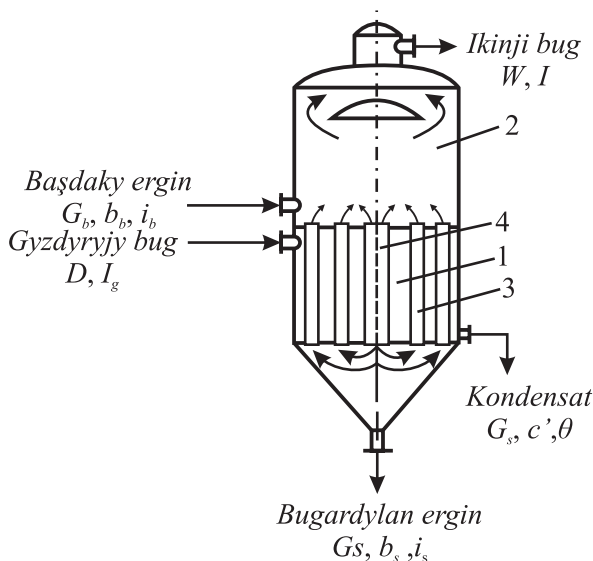
Bugartma prosesi atmosfera basyşynda geçirilende ikinji bug ulanylmaýar we adatça, atmosfera (howa) zyňylýar. Bugartmanyň şeýle usuly iň ýönekeýi, emma ykdysady taýdan amatsyzy hasaplanýar. Şu usulda we wakuumda geçirilýän bugartma prosesleri bir korpusly bugartma apparatlarynda geçirilýär. Ýöne himiýa senagatynda bugartma prosesi, köplenç, köp korpusly bugartma apparatlarynda amala aşyrylýar we ikinji bug bosa indiki bugartma apparaty üçin ulanylýar.

10.2. Bir korpusly bugartma desgasy

Bir korpusly bugartma desgasy bir bugartma apparatyndan ybarat bolýar. Içinde merkezi aýlanyşyk turbasy bolan apparatyň mysalynda, adaty aýlanyşykly ergini bolan üznüksiz işleýän ýekesal bugartma apparatynyň prinsipial çyzgysyna seredeliň (*10.1-nji surat*).

Apparat ýylylyk çalşyjy apparatdan – gyzdýryjy kameradan (1) we separator (2) durýar. Kamera we separator bir apparatda jemlenip biler (*10.1-nji surat*) ýa-da kamera aýratyn bolmagy we turbalar arkaly separator bilen birikdirilen bolmagy mümkin (10.2-nji surat). Adatça, kamera öz içindäki turbalaryň arasyndaky boşlukdan geçýän doýgun suw bugy bilen gyzdýrylýar. Kondensat kameranyň aşagyndan aýrylýar.

Apparatdaky turbalar (3) arkaly bugardylýan ergin ýokary göterilýär, gyzýar we ikinji buguň emele gelmegi bilen gaýnaýar. Suwuklykdan buguň bölünmesi separator (2) bolup geçýär. Pürkülmeden we damjalaradan saplanan ikinji bug separatoryň ýokarky böleginden çykarylýar.



10.1-nji surat. Bir korpusly bugartma apparatynyň gurluşynyň çyzgysy:

1 – gyzdyryjy kamera; 2 – seperator; 3 – gaýnadyjy turbalar;

4 – aýlanyşyk turbasy

Suwuklygyň bir bölegi aýlanyşyk turbasy (4) boýunça aşaklygyna gaýdýar we gyzdyryjy kameranyň aşaky turbaly gözeneginiň aşagyna gelýär. Aýlanyşyk turbasyndaky (4) erginiň we gaýnadyjy turbalardaky (3) bug-suwuklykly emulsiýanyň dykzyzlyklarynyň aratapawudy netijesinde suwuklyk ýapyk kontur boýunça aýlanyşyk edýär. Bugardylan ergin apparatyň düýbündäki ştuser arkaly çykarylýar.

Material balansy. 10.1-nji surata laýyklykda, bir korpusly bugartma apparatyna G_b , kg/sek massaly b_b agyr. % konsentrasiýasy bolan başdaky ergin barýar we G_s kg/sek massaly b_s agyr. % konsentrasiýasy bolan soňky bugardylan ergin aýrylýar. Eger apparatda W kg/sek suwuklyk bugardylýp alynýan bolsa, onda apparatyň maddy (material) balansynyň umumy deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazarys:

$$G_b = G_s + W. \quad (10.1)$$

Erginde ýerleşýän absolýut gury madda boýunça material balansyny:

$$\frac{G_b \cdot b_b}{100} = \frac{G_s \cdot b_s}{100}. \quad (10.2)$$

10.1-nji we 10.2-nji deňlemelerde 5 sany üýtgeýän ululyklar bar, olaryň haýsy-da bolsa üçüsi hökman berlen bolmaly. Amaly hasaplamalarda, köplenç, başdaky erginiň harçlanmasynyň G_s , onuň konsentrasiýasynyň b_b we bugardylan erginiň gerek bolan soňky konsentrasiýasynyň b_s bahalary berlen bolýar. Onda (10.1) we (10.2) deňlemelerden bugartma apparatynyň öndüriligi kesgitlenýär:

bugardylan ergin boýunça

$$G_s = \frac{G_b \cdot b_b}{b_s}, \quad (10.3)$$

bugardylýan suw boýunça

$$W = G_b - G_s = G_b (1 - b_b/b_s). \quad (10.4)$$

Ýylylyk balansy. Bugartma prosesiniň ýylylyk balansynyň deňlemesini ýazmak üçin birnäçe belgileme girizeliň: D – gyzdyryjy buguň akym mukdary; I_b – onuň entalpiýasy; I – ikinji gezek ulanylýan buguň entalpiýasy; $i_b = c_b \cdot t_b$ – başdaky erginiň entalpiýasy; $i_s = c_s \cdot t_s$ – bugardylan erginiň soňky entalpiýasy; $i' = c' \cdot \theta$ – gyzdyryjy buguň kondensatynyň entalpiýasy; c_b, c_s, c' – degişlilikde başdaky, soňky erginleriň we kondensatyň ortaça udel ýylylyk sygymlary (0°C -den suwuklygyň temperaturasyna çenli aralykda); t_b, t_s, θ – degişlilikde, erginleriň başdaky we soňky temperaturalary hem-de gyzdyryjy buguň doýgunlygy.

Gelýän we gidýän ýylylyklar:

Gelýän ýylylyk

Başdaky ergin bilen..... $G_b \cdot i_b$

Gyzdyryjy bug bilen..... $D \cdot I_g$

Gidýän ýylylyk

Bugardylan ergin bilen..... $G_s \cdot i_s$

Ikinji bug bilen..... $W \cdot I$

Bug kondensaty bilen..... $D \cdot i'$

Konsentrirlenme..... $Q_{kons.}$

Daşky gurşawa ýylylygyň

ýitgisi..... $Q_{y.}$

Şeýlelikde, bugartma prosesiniň ýylylyk balansynyň deňlemesi aşakdaky görnüşini alar:

$$G_b \cdot i_b + D \cdot I_g = G_s \cdot i_s + W \cdot I + D \cdot i' + Q_{kons} + Q_y \quad (10.5)$$

Bugardyjy apparatyň ýylylyk ýüki ýa-da ýylylyk äkidijiden (gyzdyryjy bugdan) wagt birliginde berilýän ýylylyk mukdary Q aşakdaky deňleme boýunça kesgitlenýär:

$$Q = D(I_g - c'\theta) = G_b c_b (t_s - t_b) + W(I - c''t_s) + Q_{kons} + Q_y \quad (10.6)$$

bu ýerde: c'' – suwuň ortaça udel ýylylyk sygymy (0°C -den t_s temperatura çenli aralykda);

(10.6) deňlemeden gyzdyryjy buguň akym mukdaryny kesgitläp bolýar:

$$D = \frac{G_b c_b (t_s - t_b) + W(I - c''t_s) + Q_{kons} + Q_y}{I_g - c'\theta} \quad (10.7)$$

Q_{kons} we Q_y ululygy hasaba alman, 1 kg ergini (suwy) bugartmak üçin gerek bolan gyzdyryjy buguň nazary akym mukdaryny kesgitlemek bolar. Eger başdaky ergin gaýnama temperaturasyna çenli gyzdyrylyp apparata berilýän bolsa ýa-da $t_b = t_g$, onda:

$$D = \frac{W(I - c''t_s)}{I_g - c'\theta} = \frac{W_r}{r'} \approx W, \quad (10.8)$$

bu ýerde $I - c'\theta = r'$ – gyzdyryjy bug kondensirlenende çykýan ýylylyk; $I - c''t_s = r$ – gaýnaýan erginden suwuň bugarma ýylylygy we onuň bahasyny r' -e deň diýip kabul etmek bolar.

Gyzdyryjy üst. Üznüksiz işleýän bugartma apparatlarynyň gyzdyryjy üsti ýylylyk alyp-berşiň deňlemesi (8.3) esasynda kesgitlenilýär:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{peý}},$$

bu ýerde: Q – apparatyň ýylylyk ýüki; K – ýylylyk alyp-beriş koeffisiýenti; $\Delta t_{peý}$ – bugarma prosesiniň hereket güýji (temperaturalaryň peýdaly tapawutlary).

$$K = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\Sigma \delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2},$$

bu ýerde α_1 – kondensirlenýän bugdan diwara ýylylyk beriş koeffisiýenti; α_2 – diwardan gaýnaýan ergine ýylylyk beriş koeffisiýenti.

Erginiň konsentrasiasynyň we onuň şepbeşikliginiň artmagy, şeýle hem erginiň gaýnama temperaturasynyň peselmegi bilen ýylylyk alyp-beriş koeffisiýenti (K) peselýär.

Bugartma apparatynda temperaturalaryň peýdaly tapawudy $\Delta t_{peýd}$ gyzdyryjy buguň kondensirlenýän temperaturasy $T^\circ\text{C}$ bilen bugardylýan erginiň gaýnama temperaturasynyň $t_g^\circ\text{C}$ tapawutlaryna düşünilýär:

$$\Delta t_{peýd} = T - t_g, \quad (10.9)$$

bu ýerde: T – gyzdyryjy buguň kondensirlenýän temperaturasy; t_g – bugardylýan erginiň gaýnamak temperaturasy.

Temperatura ýitgileri we erginiň gaýnamak temperatura-sy. Bugartma apparatlarynda bugardylýan ergin bilen gyzdyryjy buguň temperaturalarynyň aratapawutlaryny peseldýän temperatura ýitgileri emele gelýär. Olar temperatura depressiýalaryndan Δ' , gidrostatiki depressiýalaryndan Δ'' we gidrawliki depressiýalaryndan Δ''' jemlenýär.

Temperatura depressiýasy Δ' bolanda – bir deň basyşda erginiň gaýnamak temperaturasy bilen arassa erediji maddanyň gaýnamak temperaturasynyň arasyndaky tapawuda deň bolan ululykdyr.

Eger $p_1 = p_2$ bolsa, onda

$$\Delta' = t_2' - t_1', \quad (10.10)$$

bu ýerde: t_2' – erginiň gaýnamak temperaturasy; t_1' – arassa erediji maddanyň gaýnamak temperaturasy; p_2 – erginiň basyşy; p_1 – erediji maddanyň basyşy.

Suwuň t_s temperaturasy bilen ikinji gezek ulanylýan buguň T – temperaturasynyň arasyndaky tapawut gidrostatiki depressiýany kesgitleýär:

$$\Delta'' = t_s - T', \quad (10.11)$$

bu ýerde: t_s – suwuň temperaturasy; T' – ikinji gezek ulanylýan buguň temperaturasy.

Gidrawliki depressiýa, esasan, gidrawliki garşylyklar (sürtülme we ýerli garşylyklar) bilen häsiýetlendirilýär.

Gidrawliki depressiýa bilen häsiýetlendirilýän erginiň gaýnamak temperaturasynyň ulalmagy, adaty, $\Delta''' = 0,5 \div 1,5^{\circ}\text{C}$ aralygynda bolýar. Ýekesal bugartma apparaty üçin Δ''' ululygynyň bahasyny 1°C -ä deň diýip kabul edip bolýar.

Temperatura Δ' we gidrawliki Δ'' depressiýalary bilen häsiýetlendirilýän temperatura ýitgilerini hasaba alyp, erginiň gaýnamak temperaturasyny aşakdaky formula görnüşinde ýazmak bolar:

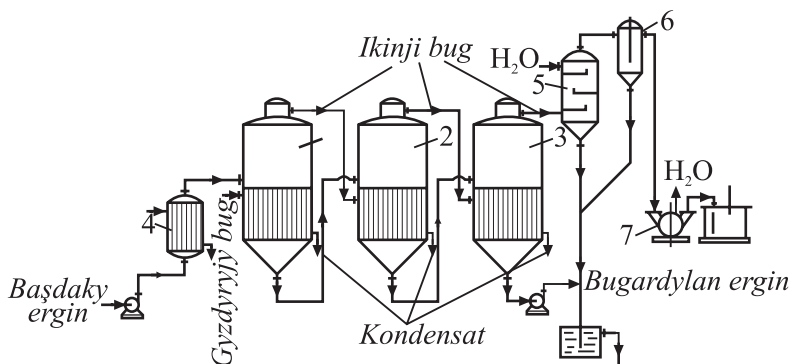
$$t_g = T' + \Delta' + \Delta''. \quad (10.12)$$

10.3. Köp korpusly bugartma desgalary

Häzirki zaman bugartma apparatlarynda örän uly mukdarda suw bugardylýar. Bir korpusly bugartma apparatynda 1 kg suwy bugartmak üçin 1 kg-dan gowrak gyzdyryjy bug gerek bolýar. Bu bolsa onuň çendenaşa köp sarp edilmegine getirýär. Ýöne, eger bugartma prosesini köp korpusly bugartma apparatlarynda geçirilse, onda buguň oňa bolan harçlanmasyny ep-esli azaldyp bolar. Onuň iş düzgüni gyzdyryjy buguň ýylylygyny köp gaýtalap ulanmaga degişlidir. Gyzydryjy bugy we ergini ugurdaş akymda işleýän köp korpusly wakuum-bugartma desgasyň tehnologiýa çyzygysyna seredeliň (10.2-nji surat).

Çyzygydan görnüşi ýaly, desga esasy üç korpusdan düzülen. Başdaky ergin, adaty, gaýnamak temperaturasyna çenli ýylylyk çalşyjy apparatda (4) gyzydrylandan soňra bugartma desgasyň birinji korpusyna barýar we ilkinji bug bilen gyzydrylýar. Bugartma desgasyň birinji korpusynda emele gelen ikinji gezek ulanylýan bug gyzydryjy bug hökmünde desganyň 2-nji korpusyna ugradylýar, ol ýerde basyşyň pesligi sebäpli, ergin birinji korpusdaka garanyňda pes temperaturada gaýnaýar.

Birinji korpusda bugardylan ergin öz-özünden (öz akymy boýunça) ikinji korpusa barýar we bu korpusda basyşyň has pesligi zerarly ergin gaýnamak temperaturasyna çenli sowadylýar.



10.2-nji surat. Köp korpusly ugurdaş akymly wakuum-bugartma desgasy:

1-3 – bugartma apparatlarynyň korpuslary; 4 – başdaky ergini gyzdyrmak üçin ýylylyk çalşygy apparat; 5 – barometriki kondensator; 6 – tutujy apparaty; 7 – wakuum-nasos

Başdaky erginiň birinji korpusda gaýnamak temperaturasyna çenli gyzdyrylmagy aýratyn gurnalan ýylylyk çalşygy apparatda (4) amala aşyrylýar. Bu bolsa birinji korpusyň gyzdyryjy üstüniň uly bolmazlygyna mümkinçilik berýär.

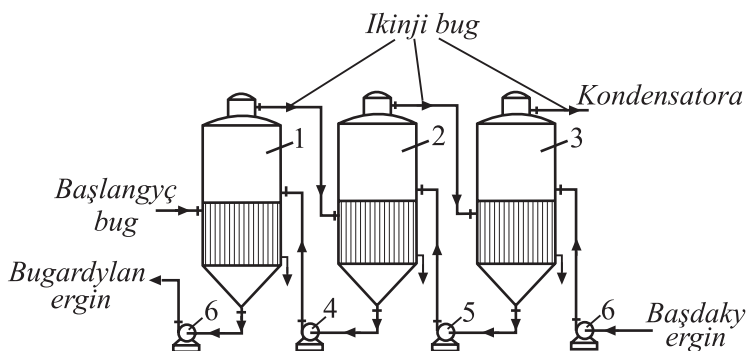
Ikinji gezek ulanylýan bug in soňky korpusdan (çyzgyda üçünjiden) çykarylýp barometriki kondensatora (5) ugradylýar, ol ýerde buguň kondensasiýasy geçende zerur bolan soruş prosesi döreýär. Esasan hem, sowadyjy suw bilen (kondensatordaky), şeýle hem turba geçirijileriň ýslary arkaly apparata düşýän we ol ýerde ýylylyk alyp-beriş prosesini çürt-kesik ýaramazlaşdyrýan howa we kondensirlenmedik gazlar wakuum-nasosy (7) bilen tutujy-pürküp saklaýjy apparatyň (6) üstünden sorulyp aýrylýar.

Köp korpusly desgalaryň esasy shemalary. Köp korpusly bugartma desgalarynyň ulanylýan shemalary biri-birinden olaryň ahyrynda ýerleşýän korpusynda ikinji gezek ulanylýan buguň basyşy boýunça tapawutlanýar. Şol alamatlaryna laýyklykda soruş astynda we artykmaç basyş astynda işleýän desgalara bölünýärler.

Bugartma desgalaryny senagatda ulanmakda giňden ýaýrany birinji topardyr (10.2-nji suratda görkezilen desga).

Köp korpusly bugartma apparatlary gyzdyryjy buguň we bugardylýan erginiň hereketleriniň özara ugurlaryna görä garşylykly akymly we parallel akymly bugartma apparatlaryna bölünýärler. Erginiň

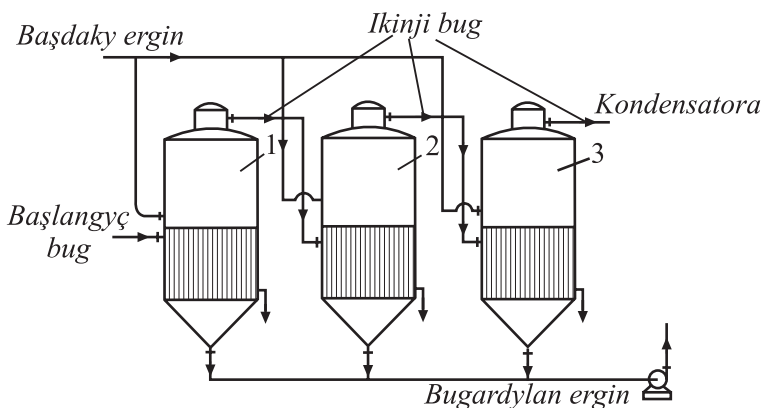
we buguň hereketleri ugurdaş akymly (10.2-nji surata seret), has giňden ýaýran desgalaradan başga-da gyzdyryjy bug we bugardylýan ergin bir korpusdan beýleki korpusa geçende özara garşylykly ugur boýunça hereketlenýän garşylykly akymly desgalar hem ulanylýar (10.3-nji surat).



10.3-nji surat. Köp korpusly garşylykly akymly bugartma desgasy:
1-3 – korpuslar; 4-6 – nasoslar

Himiýa senagatynda bu görnüşli bugartma desgalary, esasan hem, erginleri ýokary derejede konsentrirlmek üçin ulanylýar.

Korpuslary parallel ýmitlendirilýän (kabul edýän) shema boýunça işleýän desgalarda (10.4-nji surat) başlangyç ergin desganyň ähli üç korpuslaryna şol bir wagtda girýär. Ähli korpuslardan çykyan bugardylan erginleriň ahyrky konsentrasıýasy birmeňzeş bolýar.



10.4-nji surat. Korpuslary parallel ýmitlendirilýän (kabul edýän) köp korpusly bugartma desgasy (1-3)

Şeýle shema boýunça işleýän bugartma desgalary, köplenç, doýgun erginleri bugartmak üçin ulanylýar. Şeýle hem erginiň konsentrasiýasynyň has ýokary bolmagyny talap edilmeýän proseslerde ulanylýar.

10.4. Köp korpusly bugartma desgasynyň maddy we ýylylyk balanslary

Maddy balans. Bir korpusly bugartma apparatynyň maddy balansynyň deňlemesine (10.4) laýyklykda, köp korpusly bugartma desgasy üçin maddy balansy düzülýär, şoňa görä hem ähli korpuslardan bugardylyp alynýan suwuň umumy mukdary W aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$W = G_b \left(1 - \frac{b_b}{b_n} \right), \quad (10.13)$$

bu ýerde G_b we b_b – başdaky erginiň akym mukdary we onuň konsentrasiýasy; b_n – bugartma apparatlarynyň iň soňky korpusyndan çykýan bugardylan erginiň konsentrasiýasy.

Bir korpusly apparat üçin berilýän (10.1) we (10.2) deňlemeleriň esasynda köp korpusly bugartma desgasynyň apparatlarynyň her korpusyndan çykýan erginiň konsentrasiýasyny aşakdaky deňlemeleriň kömegi bilen kesgitläp bolýar (1,2,3,..., n – bugartma apparatynyň korpuslarynyň tertip sanyna laýyklykda):

$$b_1 = \frac{G_b \cdot b_b}{G_b - W_1}, \quad (10.14)$$

$$b_2 = \frac{G_b \cdot b_b}{G_b - W_1 - W_2}, \quad (10.14a)$$

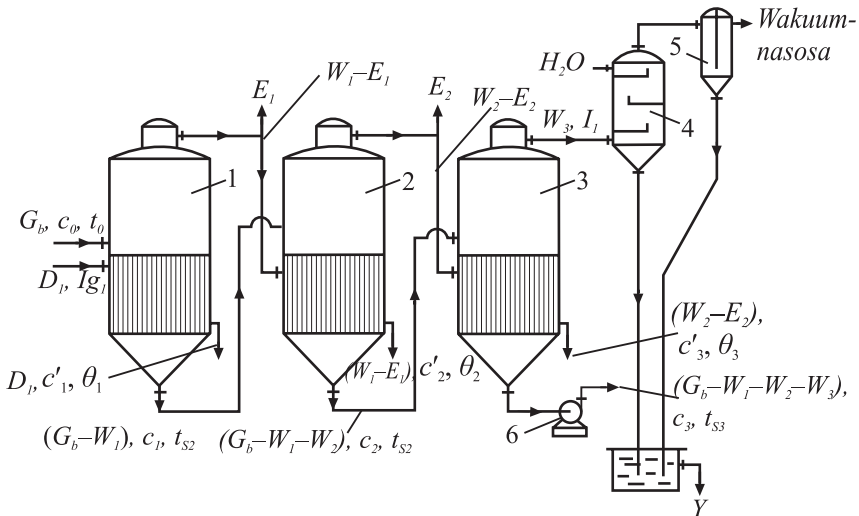
$$b_3 = \frac{G_b \cdot b_b}{G_b - W_1 - W_2 - W_3}. \quad (10.14b)$$

.....

$$b_n = b_s = \frac{G_b \cdot b_b}{G_b - W_1 - W_2 - W_3, \dots - W_n}. \quad (10.14n)$$

Ýylylyk balansy. Köp korpusly bugartma desgasynyň her korpusy üçin ýylylyk balansy bir korpusly bugartma apparatynyň ýylylyk balansynyň deňlemesini (10.6) peýdalanma karkaly düzülýär.

Üç korpusly ugurdaş akymly wakuum-bugartma desgasynyň ýylylyk balansynyň deňlemesine seredeliň (10.5-nji surat):



10.5-nji surat. Köp korpusly bugartma desgasynyň ýylylyk balansyny düzmek üçin tehnologiýa çyzgy:

1, 2, 3 – bugartma apparatlarynyň korpuslary; 4 – barometrik kondensator;
5 – tutujy apparat; 6 – nasos

Bugartma desgasynyň korpuslarynyň ýylylyk balanslarynyň deňlemesi: birinji korpus üçin:

$$Q_1 = D_1(I_{g1} - c_1'\theta_1) = G_b c_0(t_{g1} - t_0) + W_1(I_1 - c_1''t_{g1}) + Q_{kons1} + Q_{y1}, \quad (10.15)$$

ikinci korpus üçin:

$$Q_2 = (W_1 - E_1)(I_1 - c_2'\theta_2) = c_1(G_b - W_1)(t_{g2} - t_{s1}) + W_2(I_2 - c_2''t_{g2}) + Q_{kons2} + Q_{y2}, \quad (10.16)$$

üçünji korpus üçin

$$Q_3 = (W_2 - E_2)(I_2 - c_3'\theta_3) = (G_b - W_1 - W_2) \cdot c_2(t_{g3} - t_{s2}) + W_3(I_3 - c_3''t_{g3}) + Q_{kons3} + Q_{y3}, \quad (10.17)$$

bu ýerde: t_0 – başdaky erginiň temperaturasy; c_0 – başdaky erginiň ortaça udel ýylylyk sygymy; t_{g1}, t_{g2}, t_{g3} – korpuslar boýunça erginiň gaýnama temperaturalary; c_1, c_2, c_3 – korpuslar boýunça erginiň ortaça ýylylyk sygymy; $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ – gyzdyryjy buguň korpuslar boýunça kondensasiýa temperaturasy; c'_1, c'_2, c'_3 – korpuslar boýunça gyzdyryjy buguň kondensatynyň ortaça udel ýylylyk sygymy; c''_1, c''_2, c''_3 – suwuň ortaça udel ýylylyk sygymy (0 °C-den başlap korpuslar boýunça erginiň gaýnamak temperaturasyna çenli temperaturada); $Q_{kons1}, Q_{kons2}, Q_{kons3}$ – korpuslar boýunça ergini konsentrirlemegiň ýylylygy; Q_{y1}, Q_{y2}, Q_{y3} – korpuslar boýunça daşky gurşawa ýitirilýän ýylylygyň ýitgileri.

Korpuslar boýunça daşky gurşawa ýitirilýän ýylylygyň ýitgilerini deňşililikde Q_1, Q_2 we Q_3 ýylylyklaryň 3-5%-ine deň diýip kabul edilýär.

10.5. Köp korpusly bugartma desgasynda temperaturalaryň umumy peýdaly tapawudy. Korpuslaryň sanyny saýlamak

Köp korpusly bugartma desgasynda temperaturalaryň umumy peýdaly tapawudy. Köp korpusly ugurdaş akymly desganyň umumy peýdaly tapawudy Δt_{um} bolanda birinji korpusy gyzdyrýan ilkinji buguň T_1 temperaturasy bilen kondensatordaky buguň doýgunlaşma T'_{kond} temperaturasyň aratapawudyna deň bolan ululykdyr:

$$\Delta t_{um} = T_1 - T'_{kond} \quad (10.18)$$

Bir korpusly bugartma apparatynda temperaturalaryň peýdaly tapawudy gyzdyryjy (ilkinji) buguň kondensasiýasynyň temperaturasyň T we erginiň gaýnama temperaturasyň t_g aratapawudyna deňdir, ýa-da (10.12) aňlatmany göz önünde tutup:

$$\Delta t_{peýd} = T_1 - t_g = T - T' - (\Delta' + \Delta''), \quad (10.19)$$

Köp korpusly bugartma apparatlary üçin temperaturalaryň umumy peýdaly tapawudy birinji korpusy gyzdyrýan ilkinji tämiz buguň temperaturasyň T_1 we kondensatordaky buguň doýgunlaşma temperaturasyň T'_{kond} aratapawutlaryndan desganyň hemme korpuslaryndaky temperaturalarynyň ýitgileriniň jemleriniň $\sum \Delta$ aýrylmagyna deňdir, ýagny:

$$\Sigma \Delta t_{pejd} = T_1 - T'_{kond} - \Sigma \Delta, \quad (10.20)$$

Korpuslaryň arasynda temperaturalaryň umumy peýdaly tapawudy Δt_{pejd} olaryň iş şertlerine görä paýlanmalydyr.

Korpuslaryň sanyny saýlamak. Köp korpusly bugartma desgasyň korpuslarynyň sanynyň artmagy bilen olarda bugardylýan suwuň her kilogrammyna düşýän zerur bolan gyzdyryjy (ilkinji) buguň sarp edilişi azalýar. Ýokarda görkezilişi ýaly, bir korpusly bugartma apparatynda 1 kg suwy bugartmak üçin takmynan 1 kg gyzdyryjy bug sarp edilýär. Şoňa laýyklykda iki korpusly bugartma desgasynda 1 kg suwy bugartmak üçin azyndan 1/2 kg, üç korpusly üçin 1/3 kg, dört korpusly üçin 1/4 kg we ş.m. gyzdyryjy bug sarp ediler.

Şeýlelikde, köp korpusly bugartma desgasynda 1 kg suwy bugartmak üçin gyzdyryjy buguň sarp edilişi *korpuslaryň sanyna ters proporsional* diýmek bolar.

Hakykatda bolsa 1 kg suwy bugartmak üçin gerek bolan gyzdyryjy buguň sarp edilişi köp bolýar we tejribelikde onuň bahasy bugartma desgasyň korpuslarynyň sanyna baglylykda takmynan aşakdaky ýaly üýtgeýär:

| | | | | | |
|---|-----|------|-----|-----|------|
| Korpuslaryň sany | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Bugardylýan suw üçin sarp edilýän gyzdyryjy | | | | | |
| buguň mukdary, (kg/kg)..... | 1,1 | 0,57 | 0,4 | 0,3 | 0,27 |

Bu görkezijilerden görnüşi ýaly, bir korpusly bugartma desgasyndan iki korpusly bugartma desgasyňa geçilende takmynan 50% gyzdyryjy (ilkinji) bugy tygşytlap bolýan bolsa, onda dört korpusly bugartma desgasyndan baş korpusly bugartma desgasyňa geçilende bu tygşytylyk 10%-e çenli kiçelýär we ondan soňra korpuslaryň sanynyň artmagy bilen ýene-de azalýar. Bugartma desgasyň korpuslarynyň sanynyň artmagy bilen olarda gyzdyryjy buguň sarp edilişiniň tygşytylygynyň peselmegi desganyň korpuslarynyň sanynyň çäklendirilmeginiň amatlydygyny görkezýär.

Korpuslaryň sanynyň rugsat edilýän çäkten ulalmagy bilen temperaturalaryň ýitgileriniň jemi deň bolmagy hem mümkindir. Netijede, erginiň bugardylmagyna mümkinçilik bolmaýar. Ony gyzdyryjy (ilkinji) buguň temperaturasy $T_1 = 160^\circ\text{C}$, ikinji buguň (kondensatyň) temperaturasy $T'_{kond} = 60^\circ\text{C}$ bolan adaty aýlanyşykly desgada ergini

bugartmagyň mysalynda göreliň. Bir korpusly desga üçin temperaturalaryň ýitgisini $\Delta = 25^{\circ}\text{C}$ diýip kabul edip, ony köp korpusly bugardyjy desganyň hemme korpuslary üçin deň diýip hasap edeliň.

Onda korpuslar üçin temperaturalaryň peýdaly tapawudy aşakdakylara deň bolar: bir korpusly desga üçin:

$$\Sigma \Delta t_{peýd} = T_1 - T'_{kond} - \Delta = 160 - 60 - 25 = 75^{\circ}\text{C},$$

iki korpusly desga üçin:

$$\Sigma \Delta t_{peýd} = T_1 - T'_{kond} - \Sigma \Delta = 160 - 60 - 25 \cdot 2 = 50^{\circ}\text{C}.$$

Eger $\Sigma \Delta t_{peýd}$ bugartma desgasyň korpuslary boýunça deň ölçegde paýlanýan bolsa, onda temperaturalaryň peýdaly tapawudy aşakdaka deň bolar:

Iki korpusly desganyň her korpusynda:

$$\Delta t_{peýd} = \frac{\Sigma \Delta t_{peýd}}{2} = \frac{50}{2} = 25^{\circ}\text{C},$$

üç korpusly desga üçin temperaturalaryň peýdaly tapawudy:

$$\Sigma \Delta t_{peýd} = T_1 - T'_{kond} - \Sigma \Delta = 160 - 60 - 25 \cdot 3 = 25^{\circ}\text{C}.$$

Bu bolsa bir korpusdaky temperaturalaryň peýdaly tapawudy bilen takmynan gabat gelýär, ýagny:

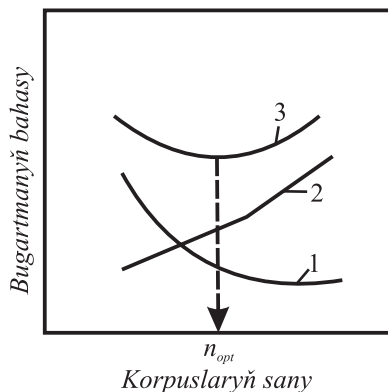
$$\Delta t_{peýd} = \frac{\Sigma \Delta t_{peýd}}{3} = \frac{25}{3} = 8,3^{\circ}\text{C}.$$

Dört korpusly desganyň her korpusy üçin temperaturalaryň peýdaly tapawudy:

$$\Delta t_{peýd} = \frac{160 - 60 - 4 \cdot 25}{4} = 0^{\circ}\text{C}.$$

Şeýlelikde, berlen şertlerde korpuslaryň mümkin bolan sanynyň çägi üçe deňdir.

Bugartma desgalarynda korpuslaryň sanyny saýlap almak, esasan hem, tehniki-ykdysady görkezijilere köp bagly bolup durýar (10.6-njy surat).



10.6-njy surat. Köp korpusly bugartma desgasynda korpuslaryň amatly sanyny saýlap almak üçin grafik:

1 – buguň bahasy; 2 – amortizasiýa harçlanmasy;

3 – bugartma prosesiniň umumy bahasy

10.6. Bugartma apparatlarynyň gurluşy

Senagatda suwuk erginleri konsentrirelemek üçin giňden ulanylýan dürli konstruksiýaly bugartma apparatlary birnäçe synplara bölünýärler. Bugartma apparatlary gyzdyryjy üstüniň görnüşi boýunça (bug köýnekli, ýylan yz şekilli we dürli görnüşli turbajykly) we giňişlikde olaryň ýerleşdirilişiniň görnüşi boýunça (dikleýin, keseleýin, kähatlarda ýapgytlaýyn gyzdyryjy kameraly apparatlar), ýylylyk äkidijisiniň jynsy boýunça (suw bugy, ýokary temperaturaly ýylylyk äkidijileri, elektrik togy we ş.m.), şeýle hem gyzdyryjy kameranyň turbalarynyň içinden ýa-da daşyndan ýylylyk äkidijiniň hereket edişine baglylykda bugartma apparatlarynyň dürli-dürli görnüşleri bolýar.

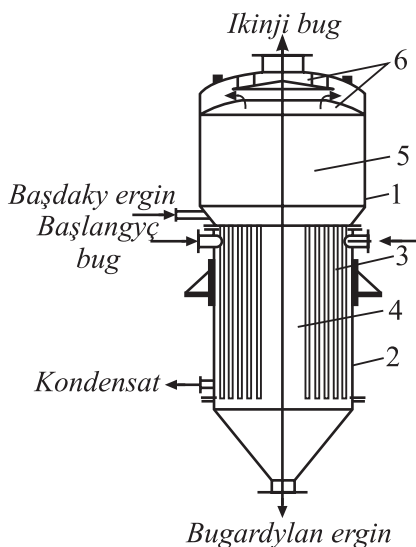
Bugartma apparatlary ergininiň aýlanyşygy boýunça tertipsiz, ýa-da erkin, tebigy we mejbury ugrukdyrylan bugartma apparatlaryna bölünýärler.

Şeýle hem bugartma apparatlary göni akymly apparatlara, ýagny erginiň bugarmasy apparatyň üstünden köp aýlanyşyk etmän, ergin

bir gezek geçende amala aşýan we ergini köp gezek aýlanyşyk edip işleýän apparatlara bölünýär.

Bugartma apparatlary özünde bolup geçýän prosesiniň gurnalysyna görä üznükli we üznüksiz täsir ediji topara bölünýär.

Içi gyzdyryjy kameraly we merkezi aýlanyşyk turbajykly aparat. Himiýa senagatynda iň bir giňden ulanylýan apparatlaryň biri içi gyzdyryjy kameraly we merkezi aýlanyşyk turbajykly bugartma apparaty bolup durýar. Geliň, onuň gurluşynyň çyzgysyna seredeliň (10.7-nji surat):



10.7-nji surat. Içi gyzdyryjy kameraly we merkezi aýlanyşyk turbajykly bugartma apparaty:

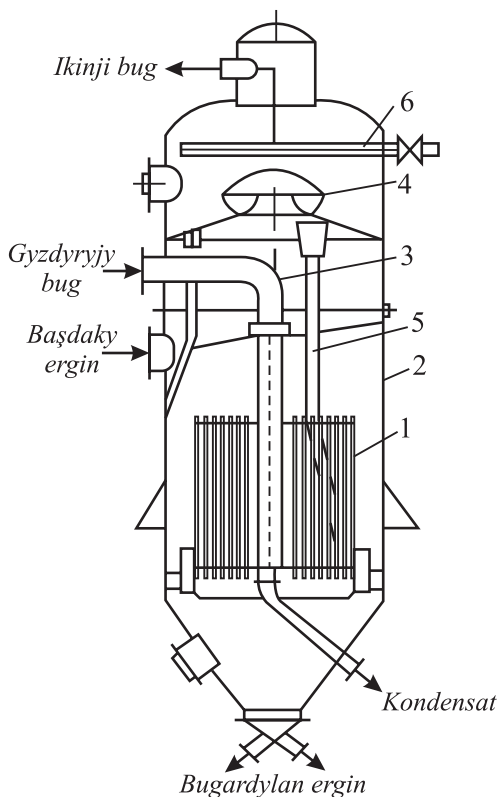
1 – korpus; 2 – gyzdyryjy kamera; 3 – gaýnadyjy turbalar;
4 – aýlanyşyk turbasy; 5 – seperiýa (bug) giňişligi; 6 – pürküptutujy

Bellenilişi ýaly, apparatda erginleriň aýlanyşygy aýlanyşyk turbasyndaky erginiň we gaýnadyjy turbalaryndaky bug-suwuklyk garyndynyň dykzlyklarynyň tapawudy netijesinde bolup geçýär.

Şeýle konstruksiýaly apparatlarda aýlanyşyk turbasy, edil gaýnadyjy turbalar ýaly bug bilen gyzdyrylýar, ol bolsa erginiň we bug-suwuklyk garyndynyň dykzlyklarynyň tapawudyny peseldýär we aý-

lanyşyk turbanyň özünde gerek bolmajak bug emele gelmä getirmegi mümkin.

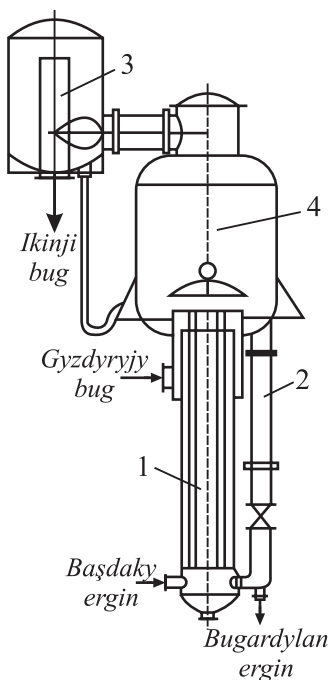
Asma gyzdyryjy kameraly bugardyjy apparat. Bu apparatlarda aýlanyşykly halkalaýyn kanalyň uly kese-kesigi bar we ol gyzdyryjy kameranyň daşynda ýerleşýär. Ol bolsa erginiň aýlanyşyk etmegine gowy täsir edýär. Daşyna çykarylan turbasy bolan bugardyjy apparatlarda hakyky aýlawyň tizligini ýokarlandyrmak bolýar (10.8-nji surat). Bu apparatlaryň gurluşy bir az çylşyrymly, ýöne olarda ýylylyk çalyşma has gowy geçýär we beýleki bugardyjy apparatlar bilen deňeşdirilende ýylylyk çalyşmanyň 1 m^2 meýdanyna düşýän metalyň harçlanmasy ýokary bolýar.



10.8-nji surat. Asma gyzdyryjy kameraly bugardyjy apparat:

1 – gyzdyryjy kamera; 2 – korpus; 3 – bug turbasy; 4 – pürkülmäni tutujy;
5 – döküji turbalar; 6 – ýuwmak üçin perforirlenen turba

Çykarylan aýlanyşyk turbaly apparat. 10.9-njy suratda bir daşyna çykýan aýlanyşyk turbasy bolan apparat görkezilen we onda ikinji bugy guratmak üçin ulanylýan merkezden daşlaşýan pürkülmäni tutujy (3) apparat hem apparatyň separasiýalaýjy (bugly) giňişliginden daşyna çykarylan bolýar.

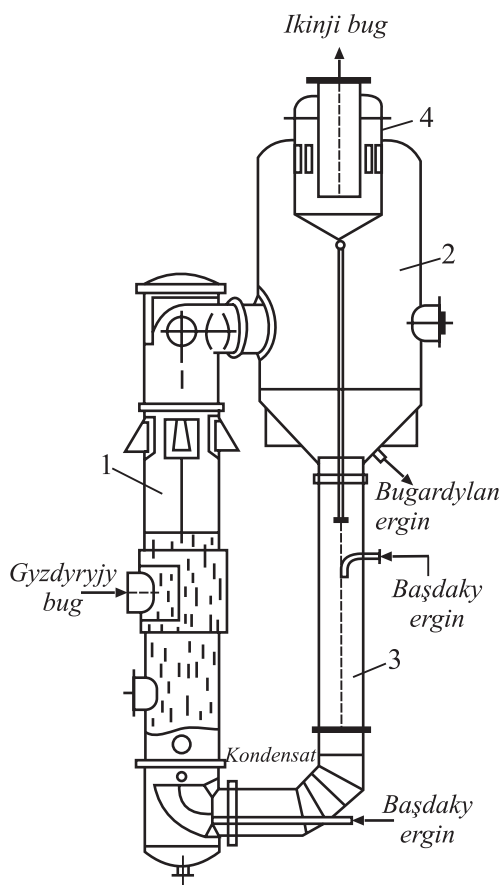


10.9-njy surat. Çykarylan aýlanyşyk turbaly bugardyjy apparat:

1 – gyzdyryjy kamera; 2 – aýlanyşyk turbasy; 3 – merkezden daşlaşýan pürkülmäni tutujy; 4 – separasiýa (bug) giňişligi.

Çykarylan gyzdyryjy kameraly apparat. Çykarylan gyzdyryjy kameraly apparatlaryň uzynlygy 7 m-e ýetýän gaýnadyjy turbalary bolýar (10.10-njy surat). Olar adaty aýlanyşykda has gowy işleýärler.

Ýokarda görkezilen bugardyjy apparatlardan başga-da himiýa senagatynda bugardyjy apparatlaryň ýene-de birnäçe görnüşlerinden peýdalanylýar.



**10.10-njy surat. Çykarylan
gyzdyryjy kameraly
bugardyjy apparat:**
1 – gyzdyryjy kamera;
2 – separator;
3 – gyzdyrylmaýan aýlanyşyk
turbasy; 4 – pürkülmäni tutujy

10.7. Köp korpusly bugartma apparatlarynyň hasaplamalary

Köp korpusly bugartma desgasynyň taslamasy ýerine ýetirilende onuň tehnologi (ýylylyk) hasaplamasy berlen iş şertlerine görä bugartma desgasynyň gyzdyryjy üstüni kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Hasaplamalar üçin, köplenç, aşakdaky ululyklar: başlangyç erginiň G_b mukdary, onuň başdaky b_b we ahyrky b_a konsentrasiýasy, bugarma girýän erginiň t_o temperaturasy, ilkinji korpusy gyzdyrýan birinji buguň T_1 temperaturasy, ahyrky korpusyň soňundaky kondensatorda ikinji buguň T'_{kond} temperaturasy berilýär.

Gözlenýän ululyklar bolsa: bugarýan suwuň umumy W mukdary we korpuslar boýunça wagt birligindäki bugarýan suwuň W_1, W_2, \dots, W_n mukdary, ilkinji korpusy gyzdyrýan tämiz buguň D_1 mukdary, korpuslaryň F_1, F_2, \dots, F_n gyzdyryjy üsti bolup durýar. Hasaplamlar goşmaça şertleri hasaba almak bilen, maddy we ýylylyk balanslarynyň hem-de ýylylyk alyp-berlişiň deňlemeler ulgamynyň çözüdi bilen tamamlanýar.

Hasaplamlar şu aşakdaky tertip boýunça ýerine ýetirilýär:

1. Bugardylyp alnan suwuň umumy mukdary aşaky deňleme boýunça kesgitlenýär:

$$W = G_b \left(1 - \frac{b_b}{b_n} \right)$$

we ol mukdar her korpuslar boýunça paýlanylýar.

Bu ýerde b_n – bugartma desgasynyň iň soňky korpusyndan çykan bugardylyan erginiň konsentrasiýasy.

2. Bugartma prosesiniň maddy balansyndan absolýut gury madda boýunça (8.82-8.85) deňlemeleri peýdalanylýp, korpuslarda erginiň soňky konsentrasiýalary kesgitlenýär.

3. Bugartma desgasyndaky umumy basyşyň üýtgemegi (tapawudy) aşaky deňleme arkaly kesgitlenýär:

$$\Delta p = p_1 - p_k.$$

Bu ýerde: p_1 – gyzdyryjy buguň basyşy; p_k – kondensatordaky buguň basyşy we ol korpuslar boýunça deňölçegde paýlanýar.

Onda n korpus üçin her korpusa düşýän basyşyň tapawudy

$$\Delta p_{\text{korp.}} = \frac{\Delta p}{n}.$$

4. Kondensatordaky ikinji buguň berlen basyşy boýunça onuň korpuslardaky basyş tapawudyny kabul edip, ikinji buguň korpuslardaky basyşy (p_{ik}) tapylýar, ýagny:

- 1-nji korpusda $p_{ik1} = p_1 - \Delta p_{korp}$.
 2-nji korpusda $p_{ik2} = p_{ik1} - \Delta p_{korp}$.
 n-nji korpusda $p_{ikn} \approx p_k$.

Soňra doýgun suw bugunyň tablisasy boýunça korpuslardaky ikinji buguň temperaturasy kesgitlenýär.

5. Korpuslar boýunça temperatura ýitgileri – temperatura depresiýasy, gidrostatiki depresiýasy we korpuslaryň arasyndaky turba geçirijilerdäki ikinji buguň gidrawliki ýitgileri hasaplanýar.

6. Bugartma desgasynyň temperaturalarynyň umumy tapawudy:

$$\Delta t_{um} = T_1 - T'_{kond}$$

Bu ýerde T_1 – birinji buguň temperaturasy; T'_{kond} – kondensatordaky ikinji doýgun buguň temperaturasy;

7. Bugartma desgasynyň temperaturalarynyň umumy peýdaly tapawudy aşakdaky deňleme arkaly kesgitlenýär:

$$\Sigma \Delta t_{peýd} = T_1 - T'_{kond} - \Sigma \Delta,$$

we ol korpuslar boýunça deň paýlanylýar.

Takmynan hasaplamada hemme korpuslar üçin ýylylyk ýüki Q_1, Q_2, \dots, Q_n kabul edilýär we ol takmynan ýylylyk alyp-beriş koeffisiýentleriniň k_1, k_2, \dots, k_n bahalarynyň üsti bilen berilýär.

Temperaturalaryň umumy peýdaly tapawudy ($\Sigma \Delta t_{peýd}$) aşakdaky deňlemeler boýunça hasaplanylýp bugartma desgasynyň korpuslaryna paýlanylýar:

$$\Delta t_1 = \frac{\frac{Q_1}{K_1} \cdot \Delta t_{peýd}}{\Sigma \frac{Q}{K}}, \Delta t_2 = \frac{\frac{Q_2}{K_2} \cdot \Delta t_{peýd}}{\Sigma \frac{Q}{K}} \dots \Delta t_n = \frac{\frac{Q_n}{K_n} \cdot \Delta t_{peýd}}{\Sigma \frac{Q}{K}}.$$

8. Temperaturalaryň umumy peýdaly tapawudy ($\Sigma \Delta t_{peýd}$), korpuslar boýunça paýlanandan soňra gyzdyryjy buguň temperaturasy, ikinji buguň temperaturasy we erginiň gaýnamak temperaturasy hasaplanýar.

Köp korpusly wakuum – desgasy (bug bilen ergin parallel hereket edýär) üçin görkezilen temperaturalary kesgitlemegiň yzygiderliligi aşakdaky ýaly tertipde amala aşýar:

| Korpus | Gyzdyryjy buguň temperaturasy $T, ^\circ\text{C}$ | Erginiň gaýnamak temperaturasy, $t, ^\circ\text{C}$ | Ikinji buguň temperaturasy $T, ^\circ\text{C}$ |
|-------------|---|---|--|
| I | T_1 (berlen) | $t_{g1} = T_1 - \Delta t_{dol.1}$ | $T_1' = t_{g1} - (\Delta_1' + \Delta_1'')$ |
| II | $T_2 = T_1' - \Delta_1'''$ | $t_{g2} = T_2 - \Delta t_{dol.2}$ | $T_2' = t_{g2} - (\Delta_2' + \Delta_2'')$ |
| n | $T_n = T_{n-1}' - \Delta_{(n-1)}'''$ | $t_{gn} = T_n - \Delta t_{dol.n}$ | $T_n' = t_{gn} - (\Delta_n' + \Delta_n'')$ |
| Kondensator | $T'_{kond} = T_n' - \Delta_{kond}'''$ | — | — |

Soňra buglaryň temperaturalary boýunça degişli tablislaryň kömegi bilen buglaryň degişli entalpiýasy tapylýar.

9. Erginleriň konsentراسiýalary boýunça sorag-jogap çeşmelerinden olaryň udel ýylylyk sygymyny we konsentririlenmäniň ýylylygyny hem-de daşky gurşawa ýylylyk ýitgilerini bilip korpuslar boýunça ýylylyk balansy düzülýär:

$$Q_n = (W_{n-1} - E_{n-1})(I_{n-1} - c_n' \theta_n) = (G_b - W_1 - W_2 - \dots - W_{n-1})c_{n-1}(t_{gn} - t_{gn-1}) + W_n(I_n - c_n'' t_{gn}) + Q_{kons n} + Q_{ý.n}. \quad (10.21)$$

Şeýle hem suw boýunça maddy deňlemäni ýazarys:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_m + \dots + W_n. \quad (10.22)$$

Ýokarky (10.21) we (10.22) deňlemeleri peýdalanyپ bugaradylyp alnan suwuň mukdary we birinji korpusy gyzdyrýan buguň harçlanmasy D_1 tapylýar.

10. Gyzdyrýan buguň harçlanmasyny bilip, korpuslar boýunça ýylylyk ýükleri Q_1, Q_2, \dots, Q_n kesgitlenýär we aşakdaky deňleme boýunça korpuslaryň ýylylyk alyp-beriş koeffisiýentleri K_1, K_2, \dots, K_n hasaplanýar:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\Sigma \delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}.$$

11. Korpuslaryň gyzdyryjy üstleriniň F_1, F_2, \dots, F_n meýdanlary aşakda görkezilen ýylylyk alyp-berişiniň umumy deňlemesi arkaly hasaplanýar.

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} F(t_1 - t_2).$$

GOŞUNDY

Fiziki ululyklaryň atlary, belgileri we ölçeg birlikleriniň halkara ulgamy





| Ady | Belgisi | Ölçeg birligi | | Birligiň ady | | Bellikler |
|---------------------------|---------|------------------------------|--------------------------------|---|---|---|
| | | Si ulgamynda | SGS ulgamynda | SI | SGS | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Beyiklik | H, h | m | sm | metr | santimetr | 1 m = 10dm = 100sm = 1000mm = = 10 ⁶ mk |
| Diametr | D, d | m | sm | metr | santimetr | 1mk = 10 ⁻⁶ m; 1A ⁰ = 10 ⁻¹⁰ m |
| Uzynlyk | L, l | m | sm | metr | santimetr | 1km = 1000 m |
| Wagt | τ | sek | sek | sekunt | sekunt | 3600 sek = 1 sag, 1min = 60 sek. |
| Meydan (we üst gatlak) | S | m ² | sm ² | kwadrat metr | kwadrat santimetr | 1m ² = 10 000 sm ² |
| Massa | M, m | kg | g | kilogram | gram | 1kg = 1000g = 0,102 kgg · sek ² /m = = 0,001tonna |
| Tizlik | v, w | m/sek | sm/sek | sekuntda metr | sekuntda santimetr | |
| Burç tizligi | ϖ | rad/sek | | sekuntda rad | | 1 aýl/min = π/30 rad/sek, 1aýl/sek = =2π rad/sek |
| Güýç | F | kg·m/sek ² (N) | g · sm/sek ² (d) | kwadrat sekuntda kilogram metr (nýuton) | kwadrat sekuntda gram santimetr (dina) | 1N = 1·10 ⁵ din = 0,102 kgg |





| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|-----|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|---|
| Tizlenme | g | m/sek ² | sm/sek ² | kwadrat sekunda metr | kwadrat sekunda santimetr | g = 9,81m/sek ² |
| Göwrüm | V | m ³ | sm ³ | kub metr | kub santimetr | 1m ³ = 1·10 ⁶ sm ³ = 1000litir |
| Udel göwrüm | υ | m ³ /kg | m ³ /g | kilogramda kub metr | gramda kub metr | 1m ³ /t = 10 ⁻³ m ³ /kg |
| Molýar göwrüm | Vn | L/mol | | molda litir | | |
| Iş (we energiýa) | E | N · m (J) | din · sm (erg) | nyuton metr (joule) | dina santimetr (erg) | 1erg = 10 ⁻⁷ J; 1 kWt · sag = 3,6 · 10 ⁶ J; 1 kkal = 4,1868 · 10 ³ J = 4,19 kJ |
| Dykyzlyk | ρ | kg/m ³ | g/m ³ | kub metrde kilogram | kKub santimetrdede gram | 1 t/m ³ = 1kg/dm ³ = 1 g/sm ³ = =10 ³ kg/m ³ , 1l = 1 · 10 ⁻³ m ³ = 1dm ³ |
| Dinamiki şepbeşikligiň koeffisiýenti | μ | Pa · sek | Pz | sekunda paskal | puaz | 1 Pz = 0,1 Pa · sek |
| Kinematiki şepbeşikligiň koeffisiýenti | υ | m ² /sek | sm ² /sek | sekunda metr | sekunda kwadrat santimetr | 1 St = 1 sm ² /sek = 1·10 ⁻⁴ m ² /sek |
| Basyş | P | Pa (N·m ²) | Din/sm ² | paskal | kwadrat santimetrdede dina | 1kgf/sm ² = 1atm = 9,81 · 10 ⁴ Pa = =735 mm. sim.süt 1mm sim.süt = 133,3 Pa; 10 MPa = 100 kgf/sm ² = 100 atm; 1mm suw. süt = 9,81 Pa; 1kgf/m ² = 9,81 Pa |
| Osmos basyşy | Π,π | Pa | | paskal | | 1bar = 10 ⁵ Pa; 1mbar = 100 Pa, 1 Pa = 10 atm |
| Temodinamiki temperatura | T | K | | kelwin | | T, K = t° C + 237,15 |






| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------------------|-----|-------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Agram (agyrlık gücü) | G | N | din | nýuton | dina | 1kg = 9,81 N, 1 dina = 10 ⁻⁵ N |
| Diffuziýa koeffisiýenti | D | m ² /sek | sm ² /sek | sekuntda kwadrat metr | sekuntda kwadrat santimetr | |
| Kuwwat | N | Wt(j/sek) | Erg/sek | watt | sekuntda erg | 1 kkal/sag = 1,163 Wt, 1 kggm/se = 9,81 Wt, 1 erg/sek = 10 ⁻⁷ Wt |
| Üst dartylma | σ | N/m (l/m ²) | erg/sm ² | metrde nýuton (kwadrat metrde joule) | kwadrat santimetrde erg | 1 kgf/m = 9,81 j/m ² , 1 erg/sm ² = 1din/sm = 10 ⁻³ j/m ² = 10 ⁻³ N/m |
| Massa harçlanma | G,L | kg/sek | g/sek | sekuntda kilogram | sekuntda gram | 1 g/sek = 1 · 10 ⁻³ kg/sek |
| Göwrüm harçlanma | V | m ³ /sek | sm ³ /sek | sekuntda kub metr | sekuntda kub santimetr | 1 sm ³ /sek=1 · 10 ⁻⁶ m ³ /sek |
| Udel ýylylyk sygymy | c | J/(kg·K) | kcal/(kg·°c) | kilogram kelwinde joule | kilogram gradus selside kilokatoriýa | 1kcal/(kg·°C) =4,19 kJ/(kg·K) |
| Ýylylyk berijilik koeffisiýenti | a | Wt/(m ² ·K) | | kwadrat metr kelwinde watt | | 1kcal/(m ² · sag·°C) =1,163 Wt/(m ² ·K) |
| Ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti | K | Wt/(m ² ·K) | | kwadrat metr kelwinde watt | | |





| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------------------|--------------------|--|----------------|--|------------------------------------|------------------------------------|
| Ýylylyk berijilik koeffisiýenti | λ | Wt/(m ² ·K) | | metr kelwinde watt | | 1 kkal/(m sag °C) =1,163 Wt/(m ·K) |
| Massa geçirijilik koeffisiýentleri | K_x, K_y | kg/[m ² · sek (her.güýç. bir.)] | | Hereket güýç birliginde sekuntda kwadrat metrde kilogram | | |
| Massa berijilik koeffisiýentleri | β_x, β_y | kg/[m ² · sek (her.güýç. bir.)] | | Hereket güýjüniň birliginde sekuntda kwadrat metrde kilogram | | |
| Udel ýylylyk | r | J/kg | | kilogramda joul | | 1 kkal/kg=1kal/g=4,19kj/kg |
| Udel entalpiýasy | I | J/kg | kkal/kg | kilogramda joul | kilogramda kilokaliýa | 1 kkal/kg=1kal/g=4,19kj/kg |
| Udel entropiýasy | S | J/(kg · K) | kkal/(kg · °C) | Kilogram kelwinde joul | kilogram gradus selside kilokaliýa | 1 kkal/ (kg ·°C) = 4,19 J/(kg ·K) |






Himiýa tehnologiýasynyň apparatlarynda, desgalarynda ulanylýan senagat apparatlary we armaturalary



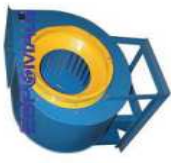


| Tertip belgisi | Apparatlaryň atlary | Apparatyň ulanyş maksady | Belgisi | SI ulgamynda ölçeg birlikleri | | Apparatlaryň görnüşleri | |
|----------------|---------------------|--|------------|-------------------------------|----------------------|---|--|
| | | | | 3 | 5 | 6 | |
| 1 | Manometr | Suwuklyklaryň we gazlaryň basyşlaryny ölçemek üçin ulanylýar | P | | Pa (paskal) |  | |
| 2 | Barometr | Atmosferanyň basyşyny ölçemek üçin ulanylýan aparat | P | | mm sim.süt |  | |
| 3 | Difmanometr | Basyşyň üýtgäp durmagyny ölçemek üçin ulanylýar | ΔP | | Pa (<i>paskal</i>) |  | |
| 4 | Wakuum manometr | Dykyzlygy pes gazlaryň basyşyny ölçemek üçin ulanylýar | P | | Bar |  | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|-------------|---|------------|------------------------------|---|
| 5 | Ariometr | Suwuklyklaryň dyklyzlygyny ölçemek üçin ulanylýar | ρ | g/sm^3 |  |
| 6 | Termometr | Suwuk erginleriň, howanyň we topragyň temperaturalaryny ölçemek üçin ulanylýar | t | $^{\circ}\text{C}$ |  |
| 7 | Wiskozimetr | Suwuk erginleriniň dinamiki we kinematiki şepbeşiklerini ölçemek üçin ulanylýar | μ, ν | $\text{Pa} \cdot \text{sek}$ |  |
| 8 | Rotametr | Suwuklyklaryň we gazlaryň harçlanmasyny ölçemek üçin ulanylýar | Q | sm^3/sek |  |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|---------------------------|---|-----|--------------|---|
| 9 | Gazy hasaplaýjy enjam | Gazlaryň göwrümni ölçemek üçin ulanylýar | V | sm^3 |   |
| 10 | Elektrik hasaplaýjy enjam | Elektrik apparatlarynyň elektrik togunyň harçlanmasyny ölçemek üçin ulanylýar | | Kwt/sag |  |
| 11 | Ampermetr | Elektrik apparatlarynyň tok güýjüni ölçemek üçin ulanylýar | | A (amper) |  |
| 12 | Woltmetr | Elektrik apparatlarynyň naprýaženiýesini ölçemek üçin ulanylýar | | V (wolt) |  |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|-----------|---|---|---|---|
| 13 | Wentiller | Turba geçirijilerde suwuň, gazyň, buguň we howanyň akymynyň ugurlaryny üýtgetmek, şeýle hem basyş döretmek üçin ulanylýar | | |   |
| 14 | Kranlar | Turba geçirijilerde suwuň, gazyň, buguň we howanyň akymynyň ugurlaryny üýtgetmek, şeýle hem basyş döretmek üçin ulanylýar | | |   |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|------------------------------|--|---|---|---|
| 15 | Zadwižka | Turba geçirijilerde suwuň, gazyň, buguň we howanyň uly göwrümlerini geçirmek, şeýle hem basyş döretmek üçin ulanylýar | | |  |
| 16 | Poslamaýan flanes (halkalar) | Turbageçirijileri bir-birleri bilen birikdirmek, şeýle hem olarda kranlary, wentilleri we zadwižkalary goýmak üçin ulanylýar | | |  |
| 17 | Muftalar | Metal turbageçirijileri bir-birleri bilen birikdirmek üçin ulanylýar | | |   |
| 18 | Plastmas birikdirijiler | Plastmas turba geçirijileri bir-birleri bilen birikdirmek we suwuk erginleriniň akymynyň ugurlaryny üýtgetmek üçin ulanylýar | | |  |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|----------------------|--|---|-----------------|---|
| 19 | Nasos | Suwuk erginleri akdyrmak, göçürmek we desgalarda, turba geçirijilerde basyşy döretmek üçin ulanylýar | | |  |
| 20 | Kompressor | Gazlary akdyrmak we gysmak üçin ulanylýar | | |  |
| 21 | Wentilýator | Uly mukdardaky gazlary akdyrmak we göçürmek üçin ulanylýar | | |  |
| 22 | Suw hasaplaýjy enjam | Suwlaryň göwrümünü ölçemek üçin ulanylýar | V | sm ³ |  |
| 23 | Dolandyryan şit | Önümçilik senagatynyň tehnologiýa proseslerini awtomatiki dolandyrmak üçin ulanylýar | | |  |

PEÝDALANYLAN EDEBIÝATLAR

1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. – Aşgabat, 2008.
2. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. – Aşgabat, 2008.
3. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. – Aşgabat, 2009.
4. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. III tom. – Aşgabat, 2010.
5. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. IV tom. – Aşgabat, 2011.
6. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. V tom. – Aşgabat, 2012.
7. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, halky söýmek bagtdyr. – Aşgabat, 2007.
8. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Türkmenistanyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). – Aşgabat, 2009.
9. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdakyşäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. – Aşgabat, 2007.
10. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazetini, 2003-nji ýylyň 27-nji awgusty.
11. *Aşyrbayew M.H., Daňatarow S.* Ýylylyk tehnika. – Aşgabat: TDNG, 2011.
12. *Aşyrbayew M.H., Daňatarow S.* Ýyladyş. – Aşgabat: TDNG, 2012.
13. *Arazmedow B., Daňatarow S.* Ýylylyk geçirilişiniň esaslary. – Aşgabat: Magaryf, 1999.
14. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». – Aşgabat, 2006.
15. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии. – М., 2005. – 753 с.
16. *Дытнерский Ю.И.* Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. Изд. 3-е. в 2-х кн: часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. – М.: Химия, 2002. – 400 с.

17. *Дытнерский Ю.И.* Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. Изд. 3-е. в 2-х кн.: часть 2. Массообменные процессы и аппараты. – М.: Химия, 2002. – 400 с.

18. *Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. 12-е изд. – М., 2005. – 576 с.

19. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С.Борисов, В.П.Брыков, Ю.И. Дытнерский, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

20. *Гальперин Н.И.* Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах. – М.: Химия, 1981. – 812 с.

21. *Плановский А.Н., Николаев П.И.* Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, 3-е изд. – М.: Химия, 1987. – 540 с.

22. *Берд Р., Стьюард, Лайтфут Е.* Явления переноса. – М.: Химия, 1974. – 688 с.

23. *Романков П.Г., Курочкина М.И.* Гидромеханические процессы химической технологии, 3-е изд. – Л.: Химия, 1982. – 288 с.

24. *Черкасский В.М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 416 с.

25. *Жужиков В.А.* Фильтрование, 4-е изд. – М.: Химия, 1980. – 440 с.

26. *Романков П.Г., Фролов В.Ф.* Теплообменные процессы химической технологии. – Л.: Химия, 1982. – 288 с.

27. *Таубман Е.И.* Выпаривание. – М.: Химия, 1982. – 328 с.

28. Процессы и аппараты химической технологии. Т. 1: Основы теории процессов химической технологии / Д.А. Баранов, А.В. Вязьмин, А.А. Гухман и др.; Под ред. А.М. Кутепова. – М.: Логос, 2001.

29. Процессы и аппараты химической технологии. Т. 2: Механические и гидромеханические процессы / Д.А. Баранов, В.Н. Блиничев, А.В. Вязьмин и др.; Под ред. А.М. Кутепова. – М.: Логос, 2001.

30. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Кн. 1, 2 / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и др. – М.: Химия, 1999, 2000.

MAZMUNY

| | |
|-------------|---|
| GIRIŞ | 7 |
|-------------|---|

I BÖLÜM HIMIYA TEHNOLOGIÝASYNYŇ PROSESLERI WE APPARATLARY

| | |
|---|----|
| 1.1. Prosesler we apparatlar | 9 |
| 1.2. Prosesler we apparatlar hakynda ylmyň döreýşi we ösüşi. | 10 |
| 1.3. Esasy prosesleriň toparlara bölünişi. | 11 |
| 1.4. Prosesleriň we apparatlaryň hasaplamalary. | 16 |
| 1.5. Fiziki ululyklaryň ölçeg birlik ulgamlary | 21 |

II BÖLÜM HIMIYA TEHNOLOGIÝASYNYDA GIDRAWLIKA

| | |
|--|----|
| 2.1. Esasy kesgitlemeler | 23 |
| 2.2. Suwuklyklaryň käbir fiziki häsiýetleri. | 24 |
| 2.3. Hidrostatika | 29 |
| 2.4. Eýleriň deňagramlylyk differensial deňlemesi | 29 |
| 2.5. Hidrostatikanyň esasy deňlemesi. | 32 |
| 2.6. Hidrodinamika | 36 |
| 2.7. Suwuklyklaryň hereketleriniň esasy häsiýetnamalary. | 36 |
| 2.7.1. Suwuklygyň tizligi we akym mukdary | 36 |
| 2.7.2. Gidrawliki radius we ekwiwalent diametr | 38 |
| 2.7.3. Durnukly we durnuksyz akym | 39 |
| 2.7.4. Suwuklygyň hereket kadalary. | 40 |
| 2.7.5. Turbulent akymyň käbir häsiýetleri | 42 |
| 2.7.6. Suwuklygyň hemişelik akym mukdarynyň deňlemesi | 43 |
| 2.7.7. Eýleriň suwuklyk hereketi üçin differensial deňlemesi | 45 |
| 2.7.8. Bernulliniň deňlemesi. | 47 |
| 2.8. Turbageçirijileriň esasy hasaplamalary | 50 |
| 2.8.1. Turbageçirijilerde gidrawliki garşylyklar | 50 |
| 2.8.2. Turba geçirijileriň diametrini hasaplamak | 53 |

III BÖLÜM SUWUKLYKLARY HEREKETLENDIRMEK (NASOSLAR)

| | |
|--|----|
| 3.1. Umumy maglumat | 55 |
| 3.2. Nasoslar | 55 |
| 3.3. Nasoslaryň esasy ululyklary | 56 |
| 3.4. Nasosyň güýji. | 59 |

| | |
|---|----|
| 3.5. Soruş beýikligi | 62 |
| 3.6. Merkezden daşlaşýan nasoslar | 64 |
| 3.7. Porşenli nasoslar | 70 |

IV BÖLÜM

GAZLARYŇ AKDYRYLMAGY WE GYSYLMAGY (KOMPRESSOR MAŞYNLARY)

| | |
|--|----|
| 4.1. Umumy maglumat | 76 |
| 4.2. Gaz halynyň deňlemesi | 77 |
| 4.3. Porşenli kompressorlar | 79 |
| 4.4. Rotorly we okly kompressorlar | 82 |
| 4.5. Wentilýatorlar | 83 |
| 4.6. Wakuum-nasoslar | 84 |

V BÖLÜM

DÜRLI JYNSLY ULGAMLARYŇ BÖLÜNIŞI

| | |
|--|-----|
| 5.1. Dürli jynsly ulgamlar we olaryň bölünişi | 86 |
| 5.2. Suwuk ulgamlary bölmek prosesiniň maddy balansy | 88 |
| 5.3. Çökdürme prosesi | 89 |
| 5.4. Çökdürijiler | 90 |
| 5.5. Filtrleme. Filtrleme hakynda umumy maglumat | 94 |
| 5.6. Filtrleriň gurluşy | 95 |
| 5.7. Filtrlenmegiň deňlemesi | 97 |
| 5.8. Sentrifugirleme. Esasy düzgünler | 99 |
| 5.9. Merkezden daşlaşýan güýç we bölünmek faktory | 101 |
| 5.10. Çökdüriji sentrifugalardaky prosesler | 102 |
| 5.11. Süzüji sentrifugalardaky prosesler | 104 |
| 5.12. Sentrifuganyň gurluşy | 105 |

VI BÖLÜM

GAZ ULGAMLARYNYŇ BÖLÜNIŞI (GAZLARY ARASSALAMAK)

| | |
|---|-----|
| 6.1. Umumy maglumat | 108 |
| 6.2. Gazlary grawitasiýa usuly bilen arassalamak | 109 |
| 6.3. Inersiýa we merkezden daşlaşýan güýçleriň täsiri astynda gazlary arassalamak | 111 |
| 6.4. Filtrlemek (süzmek) arkaly gazlary arassalamak | 115 |
| 6.5. Gazlary çyglandyryp arassalamak | 117 |
| 6.6. Gazlar arassalananda aýrylýan bölejikleri irilendirmek we koagulyasiýa | 122 |

| | |
|--|-----|
| 6.7. Gaz arassalaýjy apparatlary saýlamak we deňeşdirme häsiýetnamalary | 123 |
|--|-----|

VII BÖLÜM

SUWUK SREDALARDA GARYŞDYRMA

| | |
|--|-----|
| 7.1. Umumy maglumat | 126 |
| 7.2. Mehaniki garyşdyrma | 127 |
| 7.3. Pnewmatiki garyşdyrma | 129 |
| 7.4. Turba geçirijilerde garyşdyrma | 129 |
| 7.5. Soplolarýň we nasoslaryň kömegi bilen garyşdyrma | 130 |

VIII BÖLÜM

ÝYLYLYK HADYSALARY. HIMIKI APPARATLARDA ÝYLYLYK GEÇIRILIŞINIŇ ESASLARY

| | |
|---|-----|
| 8.1. Umumy maglumat | 131 |
| 8.2. Ýylylyk balansy | 134 |
| 8.3. Ýylylyk alyp-berşiň esasy deňlemesi | 135 |
| 8.4. Temperatura meýdany we temperatura gradiýenti | 137 |
| 8.5. Ýylylyk geçirijilik boýunça ýylylygyň geçirilişi | 139 |
| 8.6. Ýylylyk geçirijiligiň deňlemesi | 140 |
| 8.7. Durnukly ýylylyk kadada tekiz diwarda ýylylyk geçirijilik | 146 |
| 8.8. Silindr görnüşli diwarlaryň ýylylyk geçirijiligi | 149 |
| 8.9. Konwektiw ýylylyk çalşygy | 152 |
| 8.10. Suwuklygyň erkin hereketinde ýylylyk berijilik | 156 |
| 8.11. Şöhlenenme arkaly ýylylyk çalşygy | 157 |
| 8.12. Suwuklyklar gaýnandaky ýylylyk çalşygy | 159 |
| 8.13. Bugun kondensasiýasynda ýylylyk çalyşma | 161 |
| 8.14. Massa çalşygy | 163 |
| 8.15. Çylşyrymly ýylylyk çalyşma | 166 |
| 8.16. Ýylylyk çalşygy apparatlar | 167 |
| 8.17. Ýylylyk äkidijileriň temperaturalarynyň üýtgeýän şertinde ýylylyk alyp-beriş | 173 |
| 8.18. Göni we garşylykly akymda ýylylyk äkidijileriň ýylylyk alyp-beriş deňlemesi | 174 |
| 8.19. Diwaryň temperaturalaryny kesgitlemek | 176 |

IX BÖLÜM

GYZDYRMA, SOWATMA WE KONDENSASIÝA

| | |
|---------------------------|-----|
| 9.1. Umumy maglumat | 178 |
|---------------------------|-----|

| | |
|--|-----|
| 9.2. Suw bugy bilen gyzdyrma | 178 |
| 9.3. Gyzgyn suw bilen gyzdyrma | 181 |
| 9.4. Ýangyn gazlary bilen gyzdyrma | 182 |
| 9.5. Sowadyjy maddalar. Sowatmanyň we kondensasiýanyň usullary . | 183 |
| 9.6. Pes temperatura çenli sowatma | 184 |
| 9.7. Buglaryň kondensasiýasy. | 185 |
| 9.8. Ýylylyk çalşyjy apparatlaryň konstruksiýasy | 185 |
| 9.9. Turbaly ýylylyk çalşyjylar | 186 |
| 9.10. Ýylylyk çalşyjy apparatlaryň görnüşleri | 188 |

X BÖLÜM BUGARTMA

| | |
|--|-----|
| 10.1. Umumy maglumat | 190 |
| 10.2. Bir korpusly bugartma desgasy | 191 |
| 10.3. Köp korpusly bugartma desgalary | 196 |
| 10.4. Köp korpusly bugartma desgasyň maddy we ýylylyk balanslary | 199 |
| 10.5. Köp korpusly bugartma desgasynda temperaturalaryň umumy peýdaly tapawudy. Korpuslaryň sanyny saýlamak | 201 |
| 10.6. Bugartma apparatlarynyň gurluşy | 204 |
| 10.7. Köp korpusly bugartma apparatlarynyň hasaplamalary | 208 |
| Goşundy | 212 |
| Peýdalanylan edebiýatlar | 222 |

Bayrammyrat Ýaýlymowıç Atamanow

HIMIÝA TEHNOLOGIÝASYNYŇ PROSESLERI WE APPARATLARY

I tom. Gidromehaniki we ýylylyk prosesleri

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

| | |
|---------------------|-------------------------------|
| Redaktor | <i>N. Kakalyýewa</i> |
| Teh. redaktor | <i>T. Aslanowa</i> |
| Kompýuter bezegi | <i>O. Komissarowa</i> |
| Suratçylar | <i>U. Karanow, Ý. Peskowa</i> |
| Neşir üçin jogapkär | <i>H. Ýowjanow</i> |

Ýygnamaga berildi 15.07.2014. Çap etmäge rugsat edildi 12.01.2015.
Ölçeği 60x90^{1/16}. Edebi garnitura. Şertli-çap listi 14,25.
Çap listi 14,25. Hasap-neşir listi 8,639.
Neşir №4. Sargyt №79. Sany 500.

Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasynyň “Ylym” neşirýaty.
744000. Aşgabat, Türkmenbaşy şaýoly, 18.

Telekeçi Berdi Hallyýew.
744028. Aşgabat, Garaşsyzlyk şaýoly, 42.