

TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

N.Muhammedow

**HIMIÝA
TEHNOLOGIÝASYNYŇ
PROSESLERI WE
APPARATLARY**

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

N.Muhammedow, Himiýa tehnologiýasynyň
prosesleri we apparatlary.

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby,
Aşgabat – 2010 ý.

Giriş

Garaşsyzlyk alynandan soň, taryh üçin uzak bolmadyk döwürde Türkmenistanda ýurduň garaşsyzlygyny berkitmäge ýardam eden ägirt uly syýasy, hukuk we ykdysady özgertmeler amala aşyryldy. Bu ösüşleriň ählisi biziň hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň ýurtda sazlaşykly syýasy, ykdysady, durmuşy we ruhy özgertmeleri alyp barmagy, Watanyň gülläp ösmeginiň hatyrasyna jan aýaman zähmet çekmegi, ykdysadyýetde we Garaşsyz Bitarap Türkmenistanda durmuşyň ähli ugurlarynda depginli ösüşi üpjün etmäge mümkinçilik berýän milli agzybirliги, raýatlaryň hal-ýagdaýyny yzygiderli gowulandyrmak boýunça hemişelik aladasynyň netijesinde mümkin boldy.

«Himiki tilsimatynyň prosesleri we apparatlary» inžener dersi himiki tilsimatynyň nazary esaslarynyň wajyp bölümi bolup, himiki tilsimatynyň ylym hökmünde dürli ugurlaryny öwrenýän dersleriň bitewi toplumyny düzujileriň biridir.

Tilsimat prosesleriň teoriýasyny düzýän ugurlara «Tilsimat prosesleriň nazaryeti», «Umumy himiýa tilsimaty» we «Senagat ekologiýasynyň esaslary», «EHM-leriň himiýada we himiki tilsimatynda ulanylyşy», «Zawod enjamlary we taslama düzmegiň esaslary» we «Himiýa senagatynyň (degişli pudaklarynyň) tilsimaty» we ş.m. dersler degişlidir.

Talyplar «Himiki tilsimatynyň prosesleri we apparatlary» kursunda esasy prosesleriň nazaryetini, olarda ulanylýan apparatlaryň we maşynlaryň gurluş we işleýiş prinsiplerini we hasaplaýyş usullaryny öwrenýärler. Şunlukda olar tejribeden senagat proseslerine we apparatlaryna geçiş kanunalaýyklyklary bilen tanyşýarlar.

Umumy okuw, amaly we trjibe sapaklaryndan düzülen bu kursy talyplar çuňňur we dykgat bilen ünsli-oýlanyşykly öwrenmelidirler.

1. Himiýa senagatynda başda alnan maddanyň agregat ýagdaýynyň, içki gurluşynyň we düzüminiň üýtgemegi netijesinde umumy özara täsirde bolup geän çuňňur özgermeler - öwrülişikler arkaly dürli hili prosesler amala aşyrylýar. Himiki tilsimatynyň esasy düzýän himiki reaksiýalardan başga-da himiki tilsimatynda dürli hili fiziki (şol sanda mehaniki) we fiziki-himiki prosesler bar. Olara suwuklyklaryň we gaty maddalaryň (materiallaryň) göçürilmegi, gaty maddalaryň guradylmagy we klaslara bölünmegi, gazlaryň gysylmagy we bir ýerden başga bir ýere eltilmegi, maddalaryň gyzdyrylmagy we sowadylmagy, olaryň garylmagy, gyradeň birmeňzeş bolmadyk suwuk we gaz garyndylaryny bölmek, erginleriň bugardylmagy (goýylandyrylmagy), materiallaryň guradylmagy we ş.m. degişlidir.

Şunlukda agzalyp geçilen prosesleriň geçiriliş usullary köplenç halatlarda önümçilik prosesiniň amala aşmagynyň mümkindigini, onuň netijeliligini we rentabelligini kesgitleýär.

Şeýlelikde, dürli hili önümleriň we materiallaryň (kislotalaryň, aşgarlaryň, duzlaryň, mineral dökünleriň, boýaglaryň, polimer we sintetik materiallaryň, plastik massalaryň we ş.m.) önümçilik tilsimaty birmeňzeş fiziki, fiziki-himiki umumy kanunalaýyklyklar bilen häsiýetlendirilýän prosesleriň tutuş hataryny öz içine alýar. Bu prosesler dürli önümçiliklerde işleýiş prinsipleri boýunça birmeňzeş maşynlarda we apparatlarda geçirilýär.

Himiki tilsimatynyň dürli pudaklary üçin umumy bolab prosesler we apparatlar **esasy prosesler we apparatlar** diýen ada eýe boldular. Meselem, esasy prosesleriň biri bugardyp kowma (rektifikasiýa) – garyndyny düzýän komponentleriň buglarynyň basyşlarynyň tapawutlylygyna esaslanan suwuk garyndylaryň bölüniş posesidir. Bu proses kislorod önümçiliginde suwuk howany bölmek üçin, azot kislotasyny öndürmekde azot kislotasyny suwdan bölüp almakda, organiki önümleriň

çylşyrymly garyndylaryny bölmekde, nebiti gaýtadan işlemekde we köp dürli beýleki himiki önümçiliklerde ulanylýar.

Esasy apparatlaryň hataryna diňe bir rektifikasiýa proseslerinde ulanylman, eýsem komponentleri suwuk ýuwdujy arkaly gaz ýa-da bug garyndylardan bölüp almakda (absorbsiýa prosesleri), gazlaryň tozandan arassalanmagynda we ş.m. giňden ulanylýan tabakly we goýulmaly kolonnalary degişlidir.

Nasoslar we kompressorlar, süzujiler (filtrler) we sentrifuglar, ýylylyk çalşyjylar we guradyjylar hem esasy apparatlaryň we maşynlaryň hataryna girýär we dürli hili gatnaşykda himiýa önümçilikleriniň aglabasynyň abzal-enjamlaryny düzýärler.

«Himiki tilsimatynyň prosesleri we apparatlary» dersinde esasy prosesleriň teoriýasy, bu prosesleri geçirmek üçin ulanylýan apparatlaryň we maşynlaryňgurluş we işleýiş prinsipleri we olary hasplamagyň metodlary öwrenilýär. Esasy prosesleriň geçişiniň dernew-anyklanyşynda (analizinde) we apparatlaryň hasaplanyşynyň umumylaşdyrylan metodlarynyň işlenip düzülişinde fizikanyň, himiýanyň, fiziki himiýanyň, termodinamikanyň, ykdysadyýetiň we beýleki ylymlaryň düýpli mizemez (fundamental) kanunlaryna daýanylýar. Bu ders daşyndan göräýmäge birmeňzeş prosesleriň we apparatlaryň, himiýa senagatynyň haýsy pudagynda ulanylýandygyna garamazdan, analoglygyny ýüze çykarmak esasynda düzülendir.

Şeýle hem bu dersde tejribe (laboratoriýa) görnüşlerden senagat proseslerine we apparatlaryna geçişni kanunalaýyklyklary öwrenilýär. Bir masştabdan beýleki masştaba we bir ulgam-modelden alnan maglumatlary başga tebigy (natural) ululykdaky obýekt bolan ulgama geçiriş (muňa modelirlеме diýilýär) kanunalaýyklyklary bilmek himiki tilsimatynyň häzirkizaman, köplenç köptonnalaýyn öndürýän önümçilik prosesleriniň aglabasyny taslamak üçin zerur bolýar. Mysal üçin, laboratoriýada (kiçi masştabda) öwrenilen

reaksiýanyň mehanizmi, onuň wagt aralygynda geçişiniň kanunalaýyklygy nukdaýnazardan elmydama şol bir görkezijiler bilen uly masştabda gaýtalap bolmaýar. Prosesi senagat reaktorynda gaýtalamak üçin prosesiniň himiki tebigatyndan (many-düşünjesinden) başga-da apparatyň gurluşyna (konstruksiýasyna), akymyň durnuk-gurluşyna (strukturasyna) we olaryň hereketiniň kadasyna (režimine), ýylylygyň we massanyň geçirilişiniň tizligine we beýl. baglylykda reaktoryň parametrlerini kesgitlemek zerurdyr. Bu faktorlaryň jemleýin täsiri **makrobölejikleriň** – köpürjikleriň, damjalaryň, çüwdürimli akymjagazlaryň we ş.m. hereketine bagly bolan prosesiniň **makrokinetikasy** kesgitleýär.

Prosesler we apparatlar baradaky ylymda himiki tilsimatynyň esasy prosesleriniň makrokinetikasy öwrenilýär. Şunlukda fizikada, fiziki himiýada, himiki termodinamikada we beýleki ylymlarda garalyp geçilýän ýylylyk geçirijilik molekulýar diffuziýa we şolar ýaly elementar (ýönekeý) , molekulýar derejede garaşsyz bolup geçýän prosesler baradaky maglumatlar giňden ulanylýar.

Şeýlelikde, «Himiki tilsimatynyň prosesleri we apparatlary» kursunyň inžener dersi bolup himiki tilsimatynyň teoretiki esaslarynyň biridir.

Bu kursda kibernetikanyň iň kuwwatly serişdeleri bolan kompýuterleriň (EHM-leriň) himiki tehnologiýa prosesleri öwrenmekde, hasaplamakda we dolandyrmakda ulanylmagy tebigydyr.

2. Himiki tilsimatynyň esasy proseslerini klaslara dürli alamatlara baglylykda bölse bolýar.

Gurnama usullary boýunça ähli esasy himiki tehnologiýa prosesler **periodiki** (gezekleýin gaýtalanýan) we **üznüksiz** görnüşlere bölünýärler. Periodiki proseslerde başda alnan işlenilýän materiallar belli bir wagt aralygynda apparata ýüklenip, onda işlenilenden (bir sikkiden) soň, taýýar önüm çykarylyp, proses täzeden gaýtalanýar. Prosesiniň hemme

başgançaklary (stadiýalary) bir ýerde (apparatda) we dürli wagtda yzygider geçýär.

Üznüksiz proseslerde, üznüksiz, durnukly režimde, şol bir wagtda başda alnan material girizilip, taýýar önüm çykarylýar. Olaryň her bir geçiş stadiýalary şol bir wagtda, emma giňişlikde aralary açyk (dürli ýerde) geçýänligi bilen häsiýetlendirilýär. Bu prosesleriň periodiki görnüşlere garanyňdaky artykmaçlyklary aşakdakylardan ybaratdyr:

- 1) Emele gelyän önümiň çykmagynyň yzy üzülmeyär;
- 2) Awtomatlaşdyrmak aňsadrak we doly mehanizmleşdirxe bolýar;
- 3) Hemme çykýan önümiň hili birmeňzeş – gyrađen, kada saklap bolýar;
- 4) ykjamlylygy bilen tapawutlanýar we
- 5) ýylylyk tygşytlanýar.

Ulgamyň parametrleriniň (tizliginiň, temperaturasynyň, konsentrasiýasynyň we beýleleriň) wagta görä üýtgemegine baglylykda himiki tehnologiýa prosesleriň **durnukly** we **durnuksyz** görnüşleri bolýar:

Eger-de ulgam wagta görä üýtgemese, ol durnukly ýa-da **stasionar** (üznüksiz) proseslere degişlidir, wagta görä üýtgeýän ulgamlar bolsa, durnuksyz ýa-da **stasionar däl** (periodik) proseslerdir.

Prosesleriň geçiş tizligini kesgitleýän esasy kanunlara baglylykda himiki tilsimatynyň esasy prosesleri 5 topara bölünýärler:

1. **Gidromehaniki prosesler** gidrodinamikanyň – suwuklyklaryň we gazlaryň hereketi baradaky ylmyň kanunlary bilen şertlendirilýär. Olara: a) suwuklyklaryň göçürilmegi; b) gazlaryň gysylmagy we göçürilmegi; c) suwuk we gaz birmeňzeş däl ulgamlaryň agramlyk güýjüniň täsir meýdanynda durlanmagy (çökdürilmegi); d) merkezden gaçma güýçleriň meýdanynda birmeňzeş däl ulgamlaryň bölünmegi (sentrifugirleme); şeýle hem basyşlaryň tapawudynyň täsirinde

öýjükli gatlakdan (germewden) geçende süzülme (filtrleme) arkaly bölme; e) suwuklyklaryň garyşdyrylmagy we ä) gazlaryň öllenip we elektrik meýdanynda arassalanmagy degişlidir.

2. Ýylylyk prosesleri - ýylylygyň ýaýramagynyň usullary baradaky ylym bolan ýylylyk geçirmäniň kanunlary tarapyndan kesgitlenýän tizlikdebolup geçýärler. Şeýle proseslere: a) gyzdyrma; b) sowatma; c) bugartma we d) buglaryň kondensasiýasy degişlidir.

Ýylylyk prosesleriniň tizligi ep-esli derejede özara ýylylyk çalyşmadaky gidrodinamik şertlere (tizliklere, akys kadasyna) baglydyr.

3. Massaçalyşma (diffuzion) prosesler başda alnan garyndynyň bir ýa-da birnäçe komponentiniň fazalaryň bölünýän üstünden bir fazadan beýleki faza geçmegi arkaly häsiýetlendirilýär. Massaçalyşma prosesleriniň iň haýal, şonuň üçin hem adatça çäklendiriji-kesgitleýji (limitleýji) basgançagy (stadiýasy) bolup,paýlanylýan maddanyň molekulýar diffuziýasy hyzmat edýär. Massa geçiriş kanunlary bilen teswirlenýän prosesleriň bu toparlaryna: a) absorbsiýa; b) kowma (rektifikasiýa); c) erginlerden ekstragirläp alma; d) ereme; e) öýlükli gaty jisimlerden ekstragirläp alma; ä) kristallaşdyrma; adsorbsiýa; f) guratma we g) membranalaýyn prosesler degişlidir.

Massaçalyşma prosesleriniň geçmegi fazalardaky we olaryň bölünme araçägindäki gidrodinamiki şertlere, has-da hem massaçalyşma bilen köplenç ugurdaş bolan ýylylyk geçirme prosesleri bilen jebis baglanyşyklydyr.

4. Himiki (reaksion) prosesler himiki kinetikanyň kanunlary tarapyndan kesgitlenýän tizlikde amala aşýar. Ýöne himiki reaksiýalara adatça massanyň we energiýanyň geçişi ugurdaş bolýarlar we degişlilikde himiki (esasan hem senagatdaky) prosesleriň tizligi gidrodinamiki şertlere garaşlydyr. Şonuň üçin hem reaksiýalaryň tizligi makrokinetikanyň kanunlaryna boýun egýär we yzygider

geçýän himiki özara täsiriň hem-de diffuziýanyň iň haýaly bilen kesgitlenýär.

Himiki prosesleriň geçişiniň kanunalaýyklyklaryna we reaktorlaryň gurluş hem-de işleýiş prinsiplerine ýöriteleşýin edebiýatda garalyp geçilýär.

5. **Mehaniki prosesler** gaty jisimiň mehanikasynyň kanunlary arkaly teswirlenýär. Bu prosesler esasan, başda alynýan gaty materiallary we ahyrda emele gelen gaty önümleriň üstünde işlemekde, şeýle hem tokga we ürgün materiallary göçürmek üçin ulanylýar.

Mehaniki prosesleriň hataryna: a) gaty jisimleriň owradylmagy; b) göçürilmegi; c) elenilmegi – sortlara (klaslara) bölünmegi we d) garyşdyrylmagy girýär.

Mehaniki prosesleriň aýratyn toparyny himiki önümleriň taýýar haryt önümlerini almak üçin gaýtadan işlenilmegi – basyp gysma (presleme), galyba guýma, ekstruziýa (belli bir formaly deşikden gysyp çykarma) we beýlekiler düzýär. Bu prosesler we olary geçirmek üçin maşynlar ýörite sintetiki materiallary öndürmekde ulanylýar we ýörite derslerde öwrenilýär.

3. Prosesleriň kinetiki kanunalaýyklyklaryny öwrenmekligiň aýratyn ähmiýeti bar, sebäbi olarybilmezden apparatlaryň esasy ölçeglerini hasaplamak asla mümkin däl.

Himiki tilsimatynyň agzalyp geçilen esasy prosesleriniň kinetiki kanunalaýyklyklary umumy kanun görnüşde formulirlese bolar: *prosesiň tizligi hereketlendiriji güýje göni proporsionaldyr we garşylyga ters proporsionaldyr*. Garşylyga ters bolan ululygy *tizlik koeffisienti* diýip atlandyryp esasy kinetiki deňlemeleri ýazalyň.

Apparatdan geçýän materiallaryň (suwuklygyň ýa-da gazyň) toplum akymynyň hereketi üçin:

$$\frac{dV}{f \cdot d\tau} = \frac{\Delta p}{R_1} = K_1 \cdot \Delta p, \quad (1)$$

bu ýerde V - akyp geýýän suwuklygyň göwrümi;

f - apparatyň kese kesiginiň meýdany;

τ - wagt;

K_1 - prosesin tizlik koeffisiýenti (R_1 gidrawliki garşylyga ters ululyk);

R_1 - gidrawliki garşylyk; Δp - apparatdaky basyşyň aşak gaçmagy.

Ýylylygyň hereketi (geçirilmegi) üçin:

$$\frac{dQ}{F \cdot d\tau} = \frac{\Delta t}{R_2} = K_2 \cdot \Delta t, \quad (2)$$

bu ýerde Q - geçirilen ýylylygyň mukdary;

F - ýylylyk çalyşma üsti;

τ - wagt;

K_2 - ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti (R_2 termiki garşylyga ters ululyk);

R_2 - termiki garşylyk;

Δt - ýylylyklaryny çalyşýan materiallaryň arasyndaky ortaça temperatura tapawudy.

Maddanyň beýir fazadan beýleki faza geçmegi üçin:

$$\frac{dM}{F \cdot d\tau} = \frac{\Delta c}{R_3} = K_3 \cdot \Delta c, \quad (3)$$

bu ýerde M - bir fazadan beýleki faza geçirilen maddanyň mukdary;

F - fazalaryň galtaşma (kontaktlaşma) üsti;

τ - wagt;

K_3 - massa geçiriş koeffisiýenti (R_3 diffuzion garşylyga ters ululyk);

R_3 - diffuzion garşylyk; Δc - maddanyň fazalardaky konsentrasiýasynyň tapawudy.

Dürli prosesleriň tizlik koeffisiýentleri esasan hem materiallaryň akym toplumynyň hereket şertine bagly bolansoň ähli kinetiki kanunalaýyklyklaryň çykarylmagy maddy akym toparlaryň hereketiniň kanunlaryna esaslanandyr.

4. Himiki apparatlaryň we maşynlarynyň hasaplanyşynyň umumy prinsipleri

Himiki prosesleri we apparatlary hasaplamagyň esasy maksatlary:

- gaýtdan işlenilýän materiallaryň agramlaýyn akym toplumyny kesgitlemekden;
- prosesleri amala aşyrmak üçin gerek bolan energetik harajatlary kesgitlemekden we
- maşynlaryň we apparatlaryň esasy ölçegini hasaplamakdan durýar.

Inžener-konstruktor üçin prosesiniň maddy we energetik özara gatnaşyk-laryny kesgitlemek wajyp bolman, eýsem onuň kinetiki kanunalaýyklyklarynyň çuňňur anyklaýyş-derňewi (analizi) zerurdyr. Bu analiz prosesiniň maşynlarynyň we apparatlarynyň kiçi ölçegi bolar ýaly amatly (optimal) şertleri tapmaga mümkinçilik döredýär.

Prosesiniň analizini we apparatlarynyň hasaplamagy belli bir yzygiderlikde geçirýärler. Ilki başda gidrodinamikanyň ýa-da termodinamikanyň kanunlaryndan ugur alyp, olara laýyklykda **prosesiň akys ugruny** kesgitleýärler we deňagramlyk şertini anyklaýarlar. Deňagramlyk baradaky maglumatlar boýunça prosesleriň parametrleriniň başdaky we ahyrky bahalaryny (ululyklaryny) anyklaýarlar.

Maddanyň saklanmak kanunynyň esasynda **maddy balans** düzýärler:

$$\Sigma G_{\text{başky}} = \Sigma G_{\text{ahyrky}}, \quad (4)$$

bu ýerde $\Sigma G_{\text{başky}}$ - başda alnan maddanyň (materiallaryň) mukdary;
 ΣG_{ahyrky} - ahyrky emele gelen önümleriň mukdary.

Soňra prosesin ýylylyk effektini kesgitleýärler we energiýanyň saklanmak kanunyndan ugur alyp, ýylylyk balansyny düzýärler:

$$\Sigma Q_{\text{başky}} + Q_{\text{p.ý.eff.}} = \Sigma Q_{\text{ahyrky}} + Q_{\text{ýitgi}}, \quad (5)$$

bu ýerde $\Sigma Q_{\text{başky}}$ - başda alnan maddalar (materiallar) bilen apparata girýän ýylylygyň mukdary;

$Q_{\text{p.ý.eff.}}$ - prosesin ýylylyk effekti;

ΣQ_{ahyrky} - ahyrky emele gelen önümler bilen apparatdan çykyp gidýän ýylylygyň mukdary;

$Q_{\text{ýitgi}}$ - ýylylygyň gurşap alan daş-töwerege bolan ýitgisiniň mukdary.

Işçi we deňagramlylyk parametrleri häsiýetlendirýän ululyklar boýunça prosesin ***prosesin hereketlendiriji güýjünü*** kesgitleýärler.

Kinetikanyň (gidromehaniki, ýylylyk, diffuzion, himiki) kanunular esasynda ***prosesin tizlik koeffisiýentini*** tapýarlar.

Alnan maglumatlar boýunça apparatyň esasy ölçeglerini: göwrümini (sygymyny), kese kesiginiň meýdanyny, gyzdýrylýan üst meýdanyny, fazalaryň galtaşma üst meýdanyny we ş.m.-leri kesgitleýärler. Munuň üçin umumy aňlatmadan peýdalanylýar:

$$A = \frac{M}{D \cdot K}, \quad (1)$$

bu ýerde A - apparatyň esasy ölçegi;

M - wagt birliginiň aralygynda gaýtdan işlenilýän materialyň mukdary;

D - prosesin hereketlendiriji güýji;

K - prosesin tizlik koeffisiýenti.

Getirilen (6) gatnaşykdan hereketlendiriji güýjüň we prosesin tizlik koeffisiýentiniň apparatlaryň ölçegini kesgitlemekde esasy ululyklardygy gelip çykýar.

Gidromehaniki prosesler we apparatlar

1. Himiýa senagatynda tehnologik prosesleriň agzalary suwuklyklaryň ýa-da gazlaryň hereketi, suwuk göwrümlikde garyşma, şeýle hem birmeňzeş däl garyndylaryň çökdürme, süzülme, sentrifugirleme arkaly bölünmegi bilen baglanyşyklydyr. Agzalan fiziki prosesleriň tizlikleri gidromehanikanyň kanunlary bilen kesgitlenýär. Şonuň üçin hem bu proseslere **gidromehaniki prosesler** diýilýär.

Gidromehanikanyň kanunlary we olaryň tejribe goşundylary iki bölümden: **gidrostatikadan** we **gidrodinamikadan** ybarat bolan **gidrawlikada** ölçenilýär.

Gidrostatika dynçlyk ýagdaýyndaky deňagramlylygyň kanunlaryna, **gidrodinamika** bolsa, suwuklyklaryň we gazlaryň hereket kanunlaryna garap geçýär.

Esasy kesgitlemeler

Gidrawlikada suwuklyklary, gazlary we buglary bir at bilen — *suwuklyk* ady bilen birikdirmek kabul edilendir. Munuň özi suwuklyklaryň we gazlaryň (buglaryň) tizlikleri sesin tizliginden has pes bolanda, olaryň hereket kanunlary iş ýüzünde (praktiki taýdan) birmeňzeş. Şonuň üçin hem indikide suwuklyk diýip ujypsyzja süýşme güýji täsir edende akyjylyga eýe bolan maddalara aýdylar.

Gidrawlikada kanunlara seredilip geçilende, formulalar çykarylanda ideal suwuklyk diýen düşünje girizilýär.

Ideal suwuklyklar, real (süýgeşik) suwuklyklardan tapawutlylykda basyş astynda hiç hem (absolýut) gysylmaýarlar, temperatura üýtgände dykyzlyklaryny üýtgetmeýärler we olaryň süýgeşikligi bolmaýar.

Real suwuklyklar damja we maýyşgak (gazlara ýa-da buglara) görnüşlere bölünýärler. **Damja suwuklyklar** iş ýüzünde gysylmaýarlar we olaryň örän ujypsyz göwrüm giöelme koeffisiýentleri bolýar. Maýyşgak suwuklyklaryň göwrümi temperatura ýa-da üýtgände güýçli üýtgeýärler.

2. Himiki tilsimatyň proseslerini we apparatlaryny hasaplamak üçin bilmekligi zerur bolan suwuklyklaryň esasy häsiýetleri aşakdaky görnüşlere bölünýärler.

Dykyzlyk we ülüşleýin (udel) agram. Suwuklygyň göwrüm birliginiň massasyna **dykyzlyk** diýilýär we ρ arkaly belgilenýär:

$$A = \frac{M}{D \cdot K}, \quad (1)$$

bu ýerde m - suwuklygyň massasy; V - suwuklygyň göwrümi.

Halkara ölçeg birlikleri ulgamynda (SI) dykyzlyk kg/m^3 -da, MKGGS ulgamynda (ulgamda massa $kgg \cdot sek^2/m$ -de aňladylýar) bolsa $kgg \cdot sek^2/m^4$ birlikde ölçenilýär.

Suwuklygyň agram birligine **udel agram** diýilýär we γ harpy bilen belgilenýär, ýagny:

$$\gamma = \frac{G}{V}, \quad (2)$$

Massa we G agram özara gatnaşyk boýunça baglanyşandyr, bu ýerde

g - erkin aşak gaçmagyň tizlenmesi, m/sek^2 .

Udel agram bilen dykzlygyny $m = \frac{G}{g}$ özara

arabaglanyşygyny (1) deňlemeden m massanyň bahasyny (2.2) aňlatma goýup alarys:

$$\gamma = \rho \cdot g. \quad (3)$$

Damja suwuklyklaryň dykzlygy we udel agramy maýyşgak suwuklyklaryň (gazlaryň) degişli häsiýetnamalaryna garanynda ep-esli ýokarydyr we basyşyň täsiri astynda ýa-da temperatura üýtgände deňeşdirilende az üýtgeýär. Gazlaryň dykzlygy takyklygyny uly ýa-da kiçi derejesinde ideal gazlar üçin ýagdaý deňlemesiniň esasynda hasaplanyp bilner:

$$p = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T, \quad (4)$$

Bu ýerde p - basyş, N/m^2 ; T - temperatura, K ; M - gazyň 1 kmol -nyň massasy, $kg/kmol$; R - uniwersal gaz hemişeligi, $R = 8314 \text{ J/(kmol} \cdot \text{grad)}$, MKGGS ulgamynda $R = 848 \text{ kgg} \cdot m/(kmol \cdot \text{grad})$.

Deňleme (2.4)-den gelip çykýar:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p \cdot T}{R \cdot T} \quad (5)$$

Gazyň massa birliginiň tutýan göwrümine ýa-da dykzlygyna ters bolan ululyga **udel göwrüm** diýilýär we v harpy bilen belgilenýär:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} = \frac{R \cdot T}{p \cdot M}. \quad (6)$$

Basys. Suwuklyk ýerleşýän gabynyň düýbüne, diwarlaryna we oňa çümdürilen islendik jisimiň (daş) üst ýüzüne basyp täsir edýär. Dynçlykda duran suwuklygynyň göwrüminiň içindäki käbir elementar ΔF meýdançajagaza seredip geçeliň:

Meýdançajagazyň ýerleşiş ýagdaýyna garamazdan göwrümiň berlen nokadynda suwuklyk normal (dik ýokardan aşak – şol üst ýüze perpendikulýar) boýunça täsir edýän meýdançajagaza tarap ugrukdyrylan, ΔP deň bolan käbir güýç bilen basar. Oňa **gidrostatiki basyşyň güýji** diýilýär. Gatnaşyk bolsa, ortaça gidrostatiki basyşdyr, bu gatnaşygyň $\Delta F \rightarrow 0$ bolandaky predeli (çägi) berlen nokatdaky gidrostatiki basyşyň dartgynlygy ýa-da ýöne basyş diýen at bilen bellidir:

$$p = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta P}{\Delta F} \right) \quad (7)$$

Suwuklygyň islendik nokadyndaky basyş ähli ugurlar boýunça birmeňzeşdirler, başgaça bolanda suwuklygyň ýerleşýän göwrüminiň içinde onuň hereketi ýüze çykardy.

Basyşyň kesgitlemesine laýyklykda onuň birligi HU (halkara birlikler ulgamynda) N/m^2 , MKGGS ulgamynda bolsa kgg/m^2 bilen aňladylýar. Şeýle hem hasaplamalarda köplenç basyşy fiziki we tehniki atmosferalarda ýa-da manometrik suwuklygyň (suwuň, simabyň we beýl.) sütüniň H beýikliginiň birliginde-de aňladylýar. N/m^2 -da (ýa-da kgg/m^2 -da) we suwuklygyň sütüniň beýikligi birliginde aňladylan basyşlaryň arasynda ýönekeý arabaglanyşyk bar:

$$p = g \cdot H \quad (8)$$

Şuňa laýyklykda basyşyň dürli hili birlikleriniň arasyndaky gatnaşyklary anyklasa bolar:

1 atmosfera fiziki (1 atm) = 760 mm sim.süt. = 10,33 m suw

süt. = 1,033 kgg/sm^2 = 101300 N/m^2 = 101300 Pa;

1 atmosfera tehniki (1 atm) = 735,6 mm sim.süt. = 10 m suw

süt. = 1 kgg/sm^2 = 100000 N/m^2 = 98100 Pa.

Basyşy ölçeyän abzallar (manometrler ýa-da wakuummetrler) ýapyk göwrümiň içindäki absolýut basyşy

P_{abs} däl-de, eýsemabsolýut we atmosfera, ýa-da barometrik P_{atm} basyşyň tapawudyny görkezýärň Bu tapawuda, eger-de göwürümdäki basyş atmosfera basyşyndan ýokary bolsa, oňa **agdyklyk** P_{agd} . **basyşy**, atmosfera basyşyndan pes bolsa, onda oňa **boşluk** (wakuum) P_{wak} **basyşy** diýilýär. Şeýlelikde

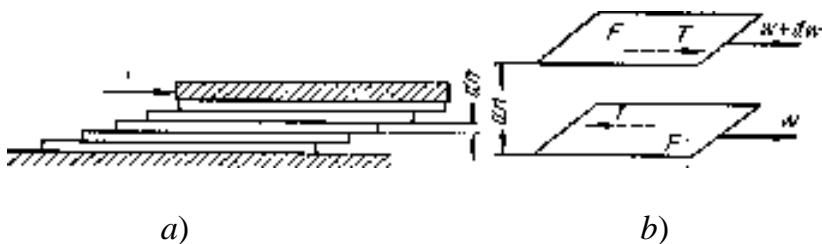
$$P_{\text{abs}} = P_{\text{agd}} + P_{\text{atm}} \quad \text{we} \quad (9)$$

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{aatm}} - P_{\text{wak}}. \quad (10)$$

Basyş suwuklygyň iň wajyp häsiýetnamalarynyň biridir. Basyşy sazlap himiýa önümçiliginiň netijelerini üýtgetse bolýar.

Süýgeşiklik. Real suwuklygyň hereketinde herekete garşylyk görkezýän içki sürtülmäniň güýçleri ýüze çykýar. Bu güýçler suwuklygyň biri-birine görä süýşýän goňşy gatlaklaryň arasynda täsirde bolýarlar.

Suwuklygyň onuň bölejikleriniň biri-birine görä özara süýşmegine getirýän göýç-täsirlere garşylyk görkezme häsiýetlerine **süýgeşiklik** diýilýär. Suwuklygyň iki sany parallel ýerleşen gorizont al ýagdaýdaky plastinalaryň arasyndaky gatlagyny göz önüne getireliň (sur. 1, a). Ýokarky plastinany aşaka görä gorizont tekizlikde üýtgeşsiz tizlikde süýşürmek üçin käbir galtaşýan güýji goýmaly bolýar, sebäbi süýgeşik suwuklyk şeýle süýşmä garşylyk görkezýär. Degişlilikde, suwuklyk agzalan süýşme döwründe onuň aýratyn alnan gatlaklarynyň arasynda galtaşma dartgynlyklary ýüze çykar we dowam eder. Şunlukda plastinalaryň arasyndaky ýerleşýän suwuklygyň tutuş gatlagyny hersiniň galyňlygy dn bolan ummasyz (tükeniksiz) köp sanly elementar gatlaklardan ybarat diýip göz önüne getirse bolar. Süýşme dartgynlygynyň islendik goňşy elementar gatlaklaryň arasynda olaryň galtaşma üstüniň uzaboýuna emele gelen sürtülmäniň netijesinde ýüze çykjakdygy aýdyňdyr.



Sur. 1. Süýgeşikligiň häsiýetnamasyna degişli

Hersiniň meýdany F bolan iki sany şeýle parallel gatlak sur. 1, b -da görkezilen. Özem ýokarda ýerleşýän, tizligi $w + dw$ bolan gatlagyň aşakda ýerleşen gatlagyň tizligine görä ummasyz kiçi dw ululykça tiz hereket edýär. Gatlaklaryň normal (üst ýüzüň meýdanyna perpendikulýar – ýokardan dik aşak) boýunça aralygynyň birligine gabat gelýän tizligiň üýtgemegini häsiýetlendirýän tizlik gradiýenti $\frac{dw}{dn}$ näçe uly

bolsa, plastinany süýşürmek üçin gerek bolan galtaşma T güýji şonça-da köp goýmalydygyny tejribe görkezýär. Mundan başga-da T güýç gatlaklaryň galtaşma F meýdanyna göni proporsionaldyr. Diýmek

$$T = -\mu \cdot F \cdot \frac{dw}{dn}, \quad (11)$$

bu ýerde μ – proporsionallyk koeffisiýenti.

Suwuklygyň içinde dörän garşylyk güýji goýlan T güýje deňdir we garşylykly tarapa ugrukdyrylandyr. Bu güýjüň gatlaklaryň galtaşma üstüne bolan gatnaşygyny τ bilen bejgileýärler we içki sürtülmäniň dartgynlygy, şeýle-de süýşme dartgynlygy ýa-da galtaşma dartgynlygy diýilýär. Degişlilikde, deňleme (11)

$$\tau = -\mu \cdot \frac{dw}{dn}. \quad (12)$$

görnüşe geler. Adatça, bu görnüşde deňleme (12) **Nýutonyň içki sürtülme kanunyny** aňladýar, ýagny: *suwuklyk akan wagtynda onuň gatlaklarynyň arasyndaky ýüze çykyan içki sürtülmäniň dartgynlygy tizlik gradiýentine göni proporsionaldyr.*

(11) we (12) deňlemelerdäki proporsionallyk (μ) koeffisiýentine süýgeşikligiň dinamiki koeffisiýenti, dinamiki süýgeşiklik ýa-da ýöne **süýgeşiklik** diýilýär.

Süýgeşikligiň üç görnüşi bar: *dinamiki, kinematiki we şertleýin süýgeşiklik.*

Dinamiki süýgeşiklik (μ) diýip bir birinden 1 *sm* daşlykda ýerleşýän we 1 *sm/sek* tizlik bilen hereket edýän 1 *sm*² meýdany bolan suwuklygyň iki gatlagynyňözara süýşmegi üçin goýulmaly garşylyga aýdylýar. Eger-de şeýle süýşmä 1 **dina** (ýagny *g·sm/sek*) güýç goýlan bolsa, onda bu suwuklygyň süýgeşikligi birlik hökmünde kabul edilýär we puaz diýip atlandyrylýar. Halkara birlikler ulgamynda (HU) dinamiki süýgeşikligiň ölçeglikligi şeýle aňladylýar:

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

SGS ulgamda bolsa

$$[\mu] = \left[\frac{Dn}{sm^2 \cdot \frac{sm}{\text{sek} \cdot sm}} \right] = \left[\frac{Dn \cdot \text{sek}}{sm^2} \right] = [Pz].$$

Maglumatly edebiýatda köplenç süýgeşikligiň bahalary **santipuaзда**, ýagny 0,01 *Pz*-da berilýär.

HU we SGS ölçeg ulgamlarynyň arasyndaky gatnaşyk

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

MKGGS ulgamymda süýgeşiklik tehniki birlikde ölçenýär:

$$[\mu] = \left[\frac{kgg}{m^2 \cdot \frac{m}{\text{sek} \cdot m}} \right] = \left[\frac{kgg \cdot \text{sek}}{m^2} \right]$$

Süýgeşikligiň tehniki birli gi we SGS ulgamynyň gatnaşygy:

$$1 \frac{kgg \cdot \text{sek}}{m^2} = \frac{981000}{10000} \frac{Dn \cdot \text{sek}}{sm^2} = 98,1 \text{ Pz} = 9810 \text{ sPz}.$$

Kä halatlarda suwuklygy süýgeşikligiň kinematiki koeffisiýenti ýa-da **kinematiki süýgeşiklik** ν bilen häsiýetlendirýärler. Munuň özi şol bir temperaturada suwuklygyň dinamiki (μ) süýgeşikliginiň onuň ρ dykzlygyna bolan gatnaşygydyr:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu \cdot g}{\gamma} \quad (13)$$

SGS ulgamymda kinematiki süýgeşikligiň ölçeg birli gi bolup ***stoks*** (*st*), ýagny biri-birinden 1 *sm* daşlykda duran we biri beýlekisine görä 1 *sm/sek* tizlik bilen süýşýän 1 *sm*² üst ýüzi bolan suwuklygyň iki gatlagynyň özara süýşmegine 1 *dina* (*Dn*) garşylyk görkezýän, dykzlygy 1 *g/sm*³-a deň suwuklygyň süýgeşikligi hyzmat edýär.

HU ulgamymda kinematiki süýgeşiklik *m*²/*sek*-da ölçenilýär (1 *m*²/*sek* = 10⁴ *st*).

Sertleýin süýgeşiklik Engler graduslarynda aňladylýar. Engler graduslarynyň sany diýip berlen temperaturada synag edilýän önümiň 200 *ml*-iniň Engler wiskozimetrinden dökülen

wagtynyň 20°C temperaturada distilirlenen suwuň 200 ml-niň dökülen wagtyna bolan gatnaşygyna aýdylýar.

Süýgeşikligi $m > 1sPz$ (*santipuez*) bolan suwuklyklar üçin Engler graduslaryndaky birlikden tehniki birliklere geçmek üçin aşakdaky formuladan peýdalanylýar:

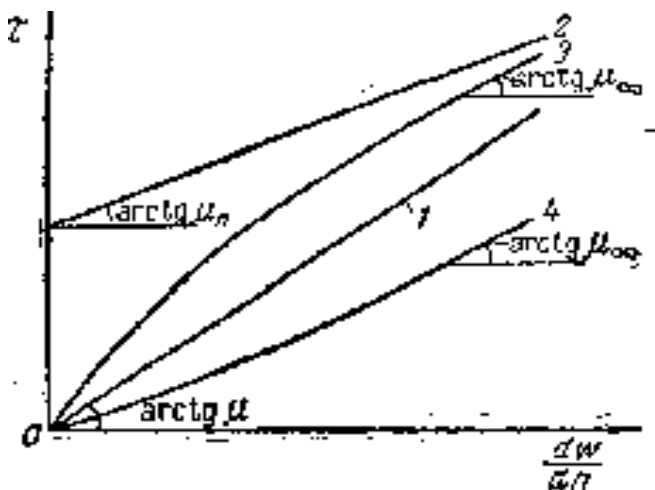
$$\mu = \left(7,24 \cdot E - \frac{6,25}{E} \right) \cdot \frac{\rho}{10^5}. \quad (14)$$

Suwuklyklar nýuton we nýuton suwuklyklaryna deňişli bolmadyk görnüşlere bölünýärler.

Nýutonyň kanunyna boýun egýän suwuklyklara normal ýada **Nýuton suwuklyklary** diýilýär. Nýutonyň kanunyna boýun egmeýän suwuklyklara **Nýuton suwuklyklaryna deňişli bolmadyk suwuklyklar** diýilýär, olara anomal häsiýetler mahsusdyr.

Nýuton suwuklyklaryna deňişli bolmadyk suwuklyklara polimerleriň köpüsiniň erginler, kolloid ulgamlary, goýy suspenziýalar, pastalar we ş.m. deňişlidir.

Nýuton suwuklyklaryna deňişli bolmadyk suwuklyklar üçin süýşme dartgynlygynyň (τ) we tizlik gradiýentiniň $\left(\frac{dw}{dn} \right)$ arasyndaky arabaglanyşyk süýgeşiklige deň ýapgytlyk burçynyň tangensi bolan koordinatynyň başlangyjyndan geçýän göni çyzyk bilen aňladylýar (sur. 2, 1-nji çyzyk).



Sur. 2. Süýşmegiň dartgynlygy we tizliginiň arasyndaky baglylyk
(akym egri çyzyklary)

Berlen temperaturada we basyşda Nýuton suwuklyklaryna degişli bolmadyk suwuklyklaryň süýgeşikligi hemişelik bolman, süýşmäniň tizligine, onuň dowamlylygyna baglylykda üýtgeýär.

Nýuton suwuklyklaryna degişli bolmadyk suwuklyklar üçin süýşmäniň dartgynlygynyň (τ) tizligiň gradiýentine $\left(\frac{dw}{dn}\right)$ baglylyklary egri çyzyklar görnüşindedirler. Bu arabaglanyşyklara **akymyň egri çyzyklary** diýilýär.

Nýuton suwuklyklaryna degişli bolmadyk suwuklyklary üç sany uly topara bölüp bolýar:

Birinji topara **süýgeşik**, ýa-da **stasionar nýuton suwuklyklaryna degişli bolmadyk suwuklyklar** degişlidir. Bu

suwuklyklar üçin funksiýa $\frac{dw}{dn} = f(\tau)$ wagtda garaşly däldir.

Berlen funksiýanyň (akymyň egri çyzygynyň) görnüşine görä bu toparyň aşadaky getirilen görnüşleri bardyr:

a) **Plastik bingam suwuklyklary**. Süýşmegiň kiçi τ dartgynlyklarynda olar diňe biraz deformirlenýärler we diňe τ_0 -yň **akyjylyk çägi** (*predeli*) diýip atlandyrylýan käbir

bahasynda akyp başlaýarlar. Akyp başlanmaka suwuklygyň berk strukturasy dargap başlaýar we $\tau > \tau_0$ bolanda bolsa bingam suwuklyklary Nýuton suwuklyklary ýaly akýarlar. Dartgynlygyň, tersine, $\tau < \tau_0$ baha çenli peselmeginde bingam suwuklyklary gaýdymly dikelýärler.

Bingam suwuklyklarynyň hataryna örän goýy suspenziýalar, pastalar we şamlar degişlidirler, olaryň akym egri çyzygynyň deňlemesi aşakdaky görnüşde bolýar:

$$\tau - \tau_0 = \mu_p \cdot \frac{dw}{dn}, \quad (15)$$

bu ýerde μ_p – plastiki süýgeşiklik diýip atlandyrylýan proporsionallyk koeffisiýenti.

Garaşlylyk 2-nji suratda ýapgytlyk burç tangensli $tg\alpha = \mu_p$ 2-nji egri çyzyk bilen şekillendirilýär.

b) **Pseudoplastik* suwuklyklar** Nýuton suwuklyklary ýaly eýýäm τ -nyň ujypsyzja bahalarynda akyp başlaýarlar, emma bu suwuklyklar üçin hyýaly süýgeşiklik diýip atlandyrylýan μ_h süşme dartgynlygynyň tizlik gradiýentine bolan gatnaşygy ululyga garaşlydyr (sur.2, 3-nji egri çyzyk).

μ_h ululyk $\frac{dw}{dn}$ -iň bahasy ulaldygyça kiçelýär, we akymyň egri çyzygy hemişelik predel μ_∞ ýapgytlykly (ummasyz uly süşmedäki süýgeşiklikli) göni çyzyga ýuwaş-ýuwaşdan öwrülýär (geçýär).

Pseudoplastik suwuklyklar üçin akymyň egri çyzygynyň deňlemesi

$$\tau = k \cdot \left(\frac{dw}{dn} \right)^m \quad (16)$$

görnüşde bolýar. Bu ýerde k we m - hemişelik ululyklardyr (konstantalardyr). Konstanta k süýgeşikligiň atrtmagy bilen ulalýar we suwuklygyň konsis-tensiýasynyň ölçegidir.

^{*)} **Psewdo** - goşulmasy *galp, emeli, ýalan, hyýaly* diýen manylary berýär.

m ululygyň bahasy 1-den kiçidir (0 bilen 1-ň aralygynda) näçe az boldugyça psewdoplastik suwuklygyň akyjylygy şonça-da nýuton suwuklyklarynyňkydan ep-esli tapawutlanýar (iň soňky $m = 1$, diýmek $k = m$ bolar).

Psewdoplastik suwuklyklar, meselem, polimerleriň aglabasynyň erginleri ýa-da asimmetrik bölejikli suspenziýalar üçin μ_3 -niň üýtgeýşi köplenç olaryň bölejikleriniň (molekulalarynyň) suwuklygyň göçýän ugruna tarap ugrukdyrylmagy (orientasiýasy) bilen baglanyşyklydyr. Çuňlukda polimerleriň molekulalary süýşmäniň ep-esli tizliklerinde biri beýlekisine süýnen zynjyrlara meňzeýär-ler.

Netijede $\frac{dw}{dn}$ we τ ululyklar biri-birine proporsional bolýarlar

(sur.2, 3-nji egriçyzygyň göni çyzyk ýaly aralygy).

ç) **Dilatant suwuklyklary** psewdoplastik suwuklyklardan tapawutlylykda -nyň ösmegi we $\frac{dw}{dn}$ -niň ulalmagy bilen häsiýet lendirilýär (sur.2, 4-nji egri çyzyk).

Şeýle hem olar üçin $\tau = k \cdot \left(\frac{dw}{dn}\right)^m$ baglylykdan

peýdalansa bolýar, emma bu olar üçin $m > 1$. Dilant suwuklyklary psewdoplastik suwuklyklara garanda seýrek gabat gelýär we köplenç köp mukdary gaty fazasy bolan suspenziýalardyr. Ikinji topara $\frac{dw}{dn}$ we τ -nyň arasyndaky

baglylyklary wagt aralygynda üýtgeýän nýuton suwuklyklaryna

degişli bolmadyk suwuklyklar degişlidir. Bu suwuklyklar üçin hyýaly süýgeşiklik diňe bir tizligiň gradiýenti bilen bolman, eýsem ondan başga-da süýşmäniň dowamlylygy, ýagny suwuklygyň öňki taryhy bilen hem kesgitlenýär.

Bu toparda suwuklyklar süýşmäniň dowamlylygynyň suwuklygyň strukturasyna täsiriniň tebigatyna laýyklykda *tiksotrop we reorektant suwuklyklara* bölünýärler.

Tiksotrop suwuklyklar üçin süýşmäniň dartgynlygynyň täsiriniň ulalmagy belli ululykdaky struktura dargaýar we akyjylyk artýar. Dartgynlyk aýrylandan soň suwuklygyň struktura ýuwaş-ýuwaşdan dikelýär we ol akmagy bes edýär.

Şeýle suwuklyklaryň hataryna meselem, boýaglaryň aglabasy degişlidir. Olaryň tiksotrop häsiýetleri boýagy çalmagy ýeňilleşdirýär we dik (wertikal) üste çalnanda bolsa, onuň aşaklygyna päsgel berýär. Şeýle hem tiksotrop hadysasyna kefir, gatyk we ş.m. ýaly silkelenende süýgeşikligi peselýän süýt önümlerinde aýdyň görmek bolýar.

Reopektant suwuklyklaryň süýşme dartgynlygynyň täsiriniň dowamlylygynyň ýokarlananda özleriniň akyjylygynyň peselmegi bilen tapawutlanýarlar.

Üçünji topara dartgynlygyň täsiri astynda akyp başlaýan, dartgynlyk aýrylandan soň maýyşgak gaty jisimler ýaly öz durkuny (formasyny) kem-kesleýin dikeldýän süýgeşik-maýyşgak ýa-da makswell suwuklyklar girýär. Şeýle häsiýetler käbir smolalara we hamyr görnüşli konsistensiyaly maddalara mahsusdyr. Ähli nýuton suwuklyklaryna degişli bolmadyk suwuklyklaryň hyýaly süýgeşikligi adaty suwuň süýgeşikligini ep-esli ýokarlandyrylýar.

Üst dartylmasy. Himiki tilsimatyň prosesleriniň käbirinde suwuklyk hereket edende, onuň bilen iş ýüzünde (praktiki taýdan) garyşmaýan gaz ýa-da bug ýa-da başga bir damja suwuklygy bilen galtaşýar. Fazalaryň aralaryndaky bölünme üsti üst güýçleriniň täsiri astynda kiçelmäge – iň kiçi baha (minimuma) eýe bolmaga

ymtylýar. Degişlilikde, gazda (bugda) ýa-da başga bir suwuklykda asylygy ýaly haldaky damjalar, we suwuklykdaky gaz düwmejikleri azda-kände togalak (şar) görnüşi kabul edýärler. Bu bolsa, suwuklygyň molekulalarynyň onuň göwrüminiň içinde goňşy molekulalaryň takmynan birmeňzeş täsirine sezewar bolýandygy, şol bir wagtda fazalaryň bölünme üstüniň göniden-göni golaýynda ýerleşýän molekulalarynyň, suwuklygyň içki gatlaklarynyň molekulalary tarapyndan, gurşap alan daş-töweregiň (sredanyň) molekulalaryna garanda güýçlüräk çekýändigini bilen düşündirilýär. Suwuklygyň üst ýüzünde, onuň üst ýüz meýdanyna ýokardan aşak dikligine perpendikulýar (normal boýunça), suwuklygyň içine tarap ugrukdyrylan we suwuklygyň üstüniň ululygyny minimal ölçeglere çenli kiçeltmäge ymtylýan basyş ýüze çykýar.

Diýmek, üst ýüziň meýdanyny ulaltmak üçin, ýagny täze üst döretmek üçin energiýanyň käbir harçlanmasy zerurdyr. Täze üstüň birliginiň emele gelmegi üçin ýerine ýetirilmeli işe *fazaara dartyлма*, ýa-da *üst dartylmasy* diýilýär we σ harpy arkaly belgilenýär.

Üst dartylmasy aşadaky birliklerde aňladylýar:

HU birlikler ulgamynda $[\sigma] = [j/m^2] = [N \cdot m/m^2] = [n/m]$;

SGS ulgamynda $[\sigma] = [erg/sm^2] = [din \cdot sm/sm^2] = [din/sm]$;

MKGGS ulgamynda $[\sigma] = [kgg \cdot m/m^2] = [kgg/m]$.

Adatça, temperaturanyň ýokarlanmagy bilen kiçelýär. Ol maglumat ululygydyr.

3. Gidrostatika – munuň özi deňagramlykdaky ýa-da dynçlykdaky suwuklyklary öwrenýän ylymdyr. Suwuklyk *absolýut* ýa-da *göräleýin* (otnositel) dynçlykda bolup biler.

Gidrostatikada umuman otnositel dynçlykdaky, ýagny hereket edýän, ýöne bölejikleri biri-birine görä hereket etmeýän (süýşmeýän) suwuklyklaryň deňagramlylygyny öwrenýär. Şunlukda içki sürtülmäniň güýçleri ýokdur, bu bolsa suwuklygy ideal suwuklyk diýip hasaplamaga mümkinçilik berýär.

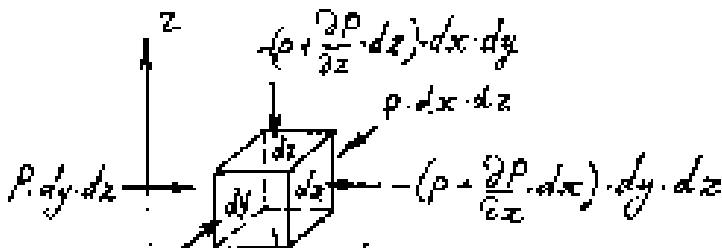
Otnositel dynçlykda suwuklygyň göwrüminiň durky (formasy) üýtgemeyär we ol gaty jisim deýin (ýaly) tutuşlaýyn süýşýär, meselem, süýşýän (hereket edýän) gaplarda (mysal üçin, sisternada), hemişelik burç tizligi bilen aýlanýan sentrifuganyň barabanyňyň içinde we ş.m.-lerde suwuklyk otnositel dynçlykda durýar. Şuňa meňzeş ýagdaýlarda dynçlyk hereket edýän gabyň diwarlaryna görä (otnositel) seredilip geçilýär.

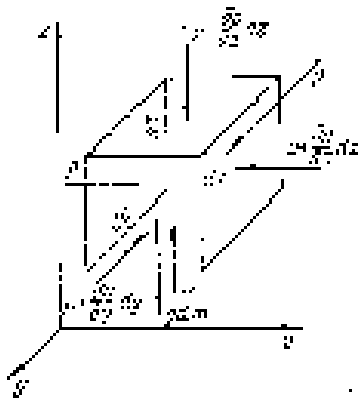
Eýler deňagramlylyk differensial deňlemeleri

Dynçlyk ýagdaýynyň görnüşlerine garamazdan suwuklyga agram we gidrostatiki basyşyň güýçleri täsir edýär. Bu güýçleriň arasyndaky gatnaşyklary kesgitlemek zerurdyr. Geliň güýçleriň ähli göwrüme däl-de, gapyrgalary dx , dy we dz , x , y we z koordinatalarda we dynçlykda

$$dV = dx \cdot dy \cdot dz$$

elementar göwrümlü parallelopipede (sur. 3) seredip geçeliň, Bu elementar göwrüm üçin çykarylan deňlemelere **Eýler deňagramlylygynyň deňlemeleri** diýilýär.





Sur. 3. Eýler deňagramlyk deňlemeleriniň çykarylyşyna degişli

Parallelopipede täsir edýän agyrlyk güýji dm massanyň g erkin aşak gaçmagyň tizlenmesine köpeltmek hasylyna deňdir:

$$\text{agyrlık güýji} = -g \cdot dm.$$

Mundan başga-da elementar parallelopipediň ähli taraplaryna P gidrostatiki basyşyň güýji täsir edýär. Ol bolsa, gidrorawliki p basyşyň elementar parallelopipediň gapdallarynyň F meýdanyna köpeldilmegine deňdir:

$$P = p \cdot F,$$

bu ýerden p gidrawliki basyş

$$p = \frac{P}{F}$$

Gidrawliki p basyş üç (dz , x , y we z) koordinatyň hem funksiýasy diýip kabul edeliň.

Statikanyň esasy kanunyna laýyklykda: deňagramlykda duran elementar göwrüme täsir edýän ähli güýçleriň koordinat oklara bolan proyeksiýalarynyň jemi nola deň. Başgaça ýagdaýda suwuklyk hereketde bolardy. Parallelopiped täsir edýän güýçleriň koordinat oklara görä proyeksiýalaryna seredi p geçeliň:

1) x oky üçin

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

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

onda

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

2) y oky üçin

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

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

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

3) z oky üçin

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

massanyň $m = \rho \cdot V$ formulasynyň $dm = \rho \cdot dV$ görnüşdäki aňlatmasyny 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 Eýler differensial deňlemeleriniň ulgamsy görnüşinde ýazalyň:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial x} \cdot dV &= 0 \\ -\frac{\partial P}{\partial y} \cdot dV &= 0 \\ -g \cdot \rho \cdot dV - \frac{\partial P}{\partial z} \cdot dV &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Onda elementar parallelopipediň deňagramlylyk şerti deňlemeleriň ulgamsy arkaly aňladylar:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial x} &= 0 \\ -\frac{\partial P}{\partial y} &= 0 \\ -g \cdot \rho - \frac{\partial P}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Getirilen (17) we (18) deňlemelere *Eýler deňagramlylyk differensial deňlemeleri* diýilýär.

Eýler differensial deňlemeleriniň fiziki manysy: eger-de x we y oklary boýunça tükeniksiz kiçi aralyga (dx we dy) hereket edende (süýşende) ∂P basyşyň üýtgemesi bolup geçmeýär, diýmek, x we y oklary boýunça basyş hemişelikdir (üýtgewsizdir). Başgaça aýdylanda, basyş x we y tekizlikleriň islendik nokadynda birmeňzeşdir.

4. Gidrostatikanyň esasy deňlemesi

Bizi esasan hem dynçlykdaky suwuklygyň ähli göwrümündäki güýçleriň paýlanylyşy (paýlanma kanuny) gyzyklandyrýar. Munuň üçin bolsa Eýler differensial (2.18) deňlemelerini integrirlemelidir. Basyşyň diňe wertikal z ok

boýunça üýtgeýänligi, ýagny $\frac{\partial P}{\partial x} = 0$ we $\frac{\partial P}{\partial y} = 0$ bolanlygy

sebäpli diňe şu $-z$ oka degişli differensial deňlemä garap geçeris. Şeýlelikde $\frac{dP}{dz}$ hususy önümi (proizvodnyny) doly

differensial görnüşde ýazsa bolar:

$$-\rho \cdot g - \frac{dP}{dz} = 0 \quad \text{ýa-da} \quad -\rho \cdot g \cdot dz - dP = 0.$$

Deňlemäniň agzalaryny(-1)-e köpeldip we $\rho \cdot g$ köpeltmek

$$\text{hasylytyna bölüp alarys: } dz + \frac{dP}{\rho \cdot g} = 0$$

Differensialyň häsiýetini ulanyp p we g hemişelikleri differensial alamytna girizeliň:

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

Differensialyň jemiň jemiň differensialy görnüşde aňladalyň, ýagny

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

Integrirläp alarys:

$$z + \frac{P}{\rho \cdot g} = C \quad \text{ýa-da} \quad z + \frac{P}{\rho \cdot g} = \text{const} \quad (19)$$

Iki sany islendik gorizontalk tekizlik üçin

$$z_0 + \frac{P_0}{\rho \cdot g} = z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g}. \quad (20)$$

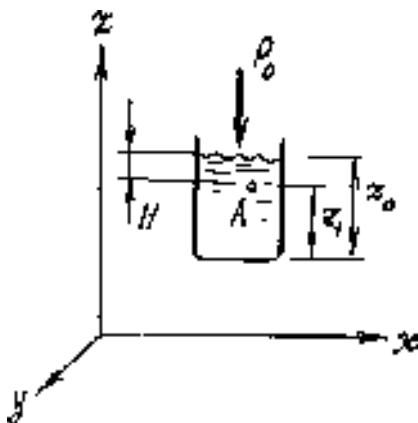
Alnan(19) we (20) deňlemelere **gidrostatikanyň esasy deňlemeleri** diýilýar.

Suwuklygyň göwrüminiň islendik nokadyndaky, meselem berlen, H çuňlukdaky A nokatdaky(sur. 4) basyşy gidrostatikanyň esasy deňlemesinden kesgitlese bolýar:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} = z_0 - z_1 + \frac{P_0}{\rho \cdot g}$$

$$P_1 = P_0 + \rho \cdot g \cdot (z_0 - z_1); \quad (21)$$

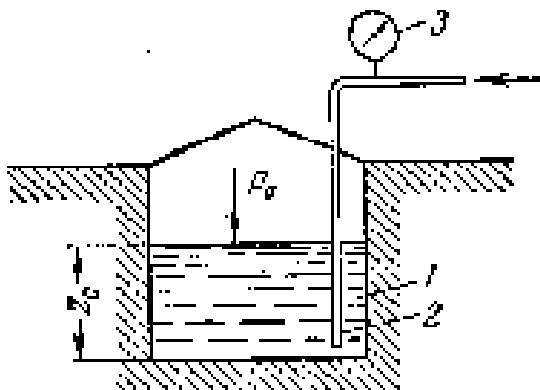
$$P_1 = P_0 + \rho \cdot g \cdot H \quad (22)$$



Sur. 4.

Bu (21) we (22) deňlemeler gidrostatikanyň esasy deňlemesiniň dowam-netijesi hökmünde «Paskalyň kanuny» at bilen bellidir: eger-de dynçlykda duran suwuklyga daşyndan basyş bilen täsir edilse, onda bu basyş suwuklygyň ähli nokatlaryna geçirilýär. Bu ýerden gidrostatikanyň esasy deňlemesiniň iş ýüzünde ulanylmagy gelip çykýär.

Uly silindrik gaplardaky (rezerwuarlardaky) suwuklyklaryň mukdarynyň pnevmatiki ölçenilişi. Haýsy hem bolsa bir, meselem, ýerasty 1 rezerwuardaky (sur.5) suwuklygyň mukdaryna gözegçilik etmek üçin, aşaky ujy rezerwuaryň düýbüne çenli ýetip duran 2 turbany, rezerwuaryň içine ýer-leşdirilýär. Rezerwuaryň içindäki suwuklygyň üstüdüki basyş P_0 -a deň.



Sur. 5. Suwuklygyň derejesini pnevmatik ölçeýji

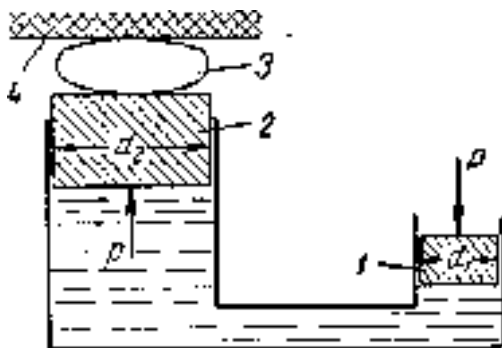
Turba 2 boýunça, basyşy 3 manometr arkaly ölçenilýän gysylan howany ýa-da başga bir gazy, onuň basyşyny ýuwaş-ýuwaşdan ýokarlandyrylyp berilýär. Haçanda howa rezerwuardaky suwuklygyň sütüniniň garşylygyny ýeňip geçende we suwuklygyň içinden düwmejikler görnüşinde geçip çykyp (barbotirläp) başlanda, 3 manometriň görkezýän P basyşy ýokarlanmagyny bes edýär we (18) deňlemä laýyklykda

$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot z_0 - z_1$ deň bolar, bu ýerden rezerwuardaky suwuklygyň derejesi

$$z_0 = \frac{P - P_0}{\rho \cdot g}$$

Rezerwuaryň kese kesiginiň belli meýdany we z_0 ululyk boýunça onuň içindäki suwuklygyň göwrümi kesgitlenilýär.

Gidrostatik maşynlar. Himiki senagatda dürli materialalry gysyp dykzlsndyrmak (preslemek) we basyp kerpiç ýa-da plita görnüşe getirmek (briketlemek) üçin ulanylýan gidrostatiki maşynlaryň, meselem, gidrostatik presleriň (sur. 6) işleýşi gidrostatikanyň esasy deňlemesinden peýdalanmaklyga esaslanandyr. Eger-de kiçi d_1 diametrli silindrde hereket edýän 1 porşene göräleýin uly bolmadyk güýç täsir etdirilse we 1 porşeniň üstünde p basyş döredilse, onda Paskal kanunyna laýyklykda, şonça-da p basyş uly d_2 diametrli silindde hereket edýän 2 porşene-de täsir eder (basar).



Sur. 6. Gidrawlik presiň shemasy

Şunlukda, 1 porşene bolan basyş güýji

$$P_1 = p \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4},$$

2 porşene bolan basyş güýji bolsa

$$P_2 = p \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$$

bolar

Netijede, uly d_2 diametrli silindriň kese kesiginiň meýdany kiçi d_1 diametrli silindriňkä garanda näçe esse uly boldugyça, uly d_2 diametrli 2 porşen kiçi d_1 diametrli 1 porşene goýlan güýçden şonça esse köp güýç geçirer. Şu usul bilen deňeşdirilende uly bolmadyk güýçleriň kömegi bilen 2 porşen we butnamaýan 4 plitanyň arasynda ýerleşdirilen 3 materialyň preslenmegi amala aşyrylýar (sur. 6).

Gidrodinamika – hereketdäki suwuklygy öwrenöän ylymdyr we ol suwuklygyň hereketiniň kanunlaryny kesgitleýär.

Suwuklygyň akmagyndaky hereketlendiriji güýje basyşlaryň tapawudy diýilýär. Ol nasoslaryň we kompressorlaryň kömegi bilen döredilýär, ýa-da suwuklyklaryň derejeleriniň ýa-da dykzlyklarynyň tapawudy netijesinde emele gelýär.

Gidrodinamikada meseleleriň üç görnüşine garalyp geçilýär:

1) ***ički*** – suwuklyklaryň turbalaryň ýa-da kanalyň içinden akyp geçmegi derňelip anyklanylýar;

2) ***daşky*** – dürli göwrümlü we durkly (formaly) gaty jisimlerden aýlanyp (gurşap alyp) geçme, ýa-da germewlerden (süzülip) geçme;

3) ***garyşan*** (*kombinirlenen*) – ýokarda agzalan iki meselä hem bilelikde seredilip geçilýär, meselem, suwuklyklaryň digir-digir gatlakdan geçmegi.

Suwuklyklaryň hereketiniň esasy häsiýetnamalary

Gidrodinamikada kesgitlenýän esasy ululyklar: suwuklygyň akýş tizligi we hereket edýän suwuklyklarda döreýän basyşdyr.

Akym toplumynyň esasy ölçeg birligi – suwuklygyň harçlanylyşy diýip akym toplumynyň kese kesiginden akyp geçen suwuklygyň mukdaryna aýdylýar. Harçlanylyşyç iki görnüşi bolýar:

1) **göwrümleýin** (ölçeg birligi m^3/sek , m^3/sag) we

2) **massalaýyn** (ölçeg birligi kg/sek , kg/sag) harçlanyşy.

Suwuklygyň akym toplumynyň gönüleýi tizligi, onuň kese kesiginiň dürli nokatlarynda birmeňzeş däl. Sebäbi, akym toplumynyň ok boýunça ortasyndaky gönüleýin tizlik iň ýokarydyr, ýagny maksimaldyr. Turbanyň diwaryna golaý ýerdäki tizlikler (diwarlara sürtelme ýa-da onuň tekiz däl — digir-digir bolanlygynyň netijesinde) pes bolýar. Sonuň üçin hem hasaplamalarda V göwrümleýin harçlanyşyň S akym toplumynyň kese kesigine bolan gatnaşygyny – akym toplumynyň w ortaça gönüleýin tizligiden peýdalanylýar:

$$w = \frac{Q}{S}; \left[\frac{m^3 / sek}{m^2} \right] = \left[\frac{m^3}{m^2 \cdot sek} \right] = \left[\frac{m}{sek} \right]. \quad (23)$$

Bu ýerden suwuklygyň göwrüm harçlanyşy Q

$$Q = w \cdot S, \quad (24)$$

S – akym toplumynyň kese kesiginiň meýdany.

Massalaýyn harçlanyş M harpy bilen belgilenýär we aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$M = \rho \cdot V = \rho \cdot w \cdot S; \left[\frac{kg}{m^2 \cdot sek} \right] \quad (25)$$

bu ýerde ρ - suwuklygyň dykzlygy; $\rho \cdot w$ ululyk suwuklygyň massalaýyn tizligidir. Onuň ölçeg birligi - kg/sek .

Massalaýyn harçlanyşyň ölçeg birligi $kg/(m^2 \cdot sek)$.

Suwuklyklaryň kadalaşan we kadalaşmadyk hereketi

Suwuklyk hereket edende oňa belli bir bölejiklerden düzülen ýaly seretse bolýar we olaryň hersi wagtyň kesgitli bir pursadynda (momentinde) belli bir giňişlikde ýa-da akym toplumynda ýerleşýär we doly derejede belli bir takyk w tizlige, ρ dykzlyga, μ süýgeşiklige we beýleki häsiýetlere ýeeder. Bir nokatdan başga bir nokada geçende bu parametrler üýtgäp bilýärler we koordinatalaryň üznüksiz funksiýalarydyr (sur. 7 seret)

$$w = f(x, y, z)$$

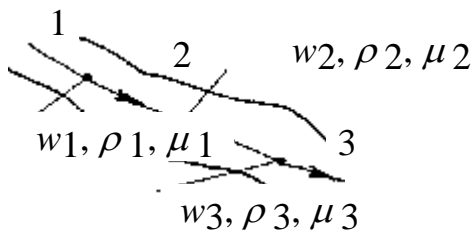
Eger-de akym toplumynyň tizligi we beýleki parametrleri wagtyň geçmegi bilen üýtgemese, ýöne öz bahalaryny bir nokatdan beýleki nokada geçende üýtgedip bilse onda oňa **kadalaşan akym** (stasionar) **toplumy** diýilýär, ýagny

$$\frac{\partial w}{\partial \tau} = 0 \quad (26)$$

ýa-da

$$w = f(x, y, z). \quad (27)$$

(22) we (23) deňlemeler suwuklygyň kadalaşan hereketini häsiýetlendirýär.

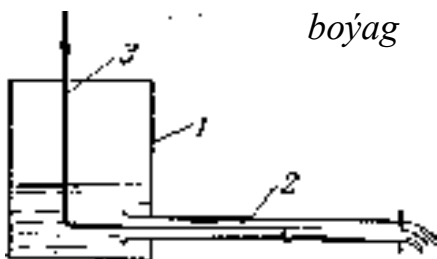


Sur. 7.

Kadalaşmadyk akym toplumynda, stasionar akym toplumyndan tapawutlylykda, suwuklygyň hereketine täsir edýän faktorlar wagta görä üýtgeýärler. Meselem, kesgitli bir ugra hereket edende, suwuklygyň islendik nokatdaky tizligi diňe bir giňişlik ol nokadyň x , y we z koordinatlarynyň funksiýasy bolnan, τ wagtyň hem funksiýasydyr, ýagny $w = f(x, y, z, \tau)$. Diýmek sunlukda $\frac{\partial w}{\partial \tau} \neq 0$.

Suwuklygyň hereketiniň akýş kadalary (režimleri). Suwuklyklaryň dürli akym kadalaryna akym toplumyna suwuklygyň boýalan akymjagazyny ýa-da haýsam bolsa bir indikatory girizip gözegçilik etse bolýar. Akýş režimleri ilkinji gezek O.Reýnolds tarapyndan 1883-nji ýylda ölçenildi. Onuň ulanan desgasy sur. 8 görkezilen.

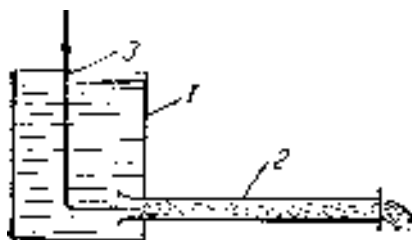
a)



laminar hereket

b)

boýag



turbulent hereket

Sur. 8. Reýnolds tejribesi

a) laminar hereket;

b) turbulent hereket

1- suwuklykly gap; 2 - içi görünyän (çüýseden) turba; 3 - kapillýar turbajyk

Suwuklykly 1 gapda suwuklygyň derejesi üýtgemez ýaly şert döredilýär. Kapillýar 2 turbajykdan boýag (ýa-da indikator) goýberilende uly bolmadyk tizliklerde 1 gaba birikdirilen çüýşe turbanyň beýleki ujyna garyşman akýar. Şunuň ýaly, suwuklygyň ähli bölejikleri biri-birine parallel, göni çyzykly hereket edýän akyma ***laminar akym*** diýilýär. Suwuklygyň tizligini belli bir çäkten agdyk bolanda reňkli akymjagaz ilki tolkun görnüşde, soňra suwuklyklygyň umumy massasy bilen garyşyp hereket edýär. Bölejikleriň şeýle, tertipsiz (haotiki), umuman tutuş akymyň bolsa bir taraplaýyn, hereketine ***turbulent akym*** diýilýär.

Laminar hereketiň onuň turbulent gör-nüşine geçmegi suwuklygyň $\rho \cdot w$ massalaýyn tizligi hem-de turbanyň d diametri näçe köp boldugyça we suwuklygyň μ süýgeşikligi näçe kiçi boldugyça şonça-da ýeňil geçýär. Reýnolds agzalan ululyklary san bahasyna görä suwuklygyň akys kadasyny kesgitlemäge mümkinçilik berýän $w \cdot d \cdot \rho / \mu$ ötçeşsiz komplekse birikdirip bolýandygyny anyklady. Bu komplekse ***Reýnolds kriteriýasy*** (*Re*) diýilýär.

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{w \cdot d}{\nu}, \quad (28)$$

bu ýerede - kinematik süýgeşiklik.

Reýnolds kriteriýasy hereket edýän akym toplumyndaky süýgeşiklik we inersiýa güýçleriniň gatnaşygynyň ölçegidir.

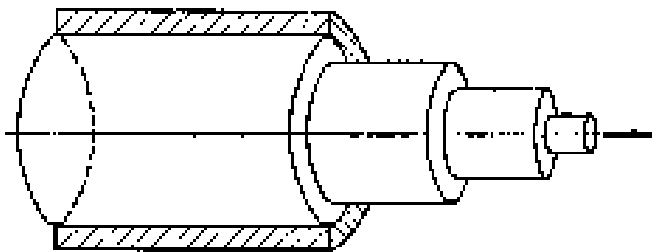
Laminar hereketden turbulent akyma geçme Re_{kr} *kritiki baha* bilen häsiýetlendirilýär. Suwuklyklar göni içki diwary ýylmanak turbalarda hereket edenlerinde $Re_{kr} \approx 2320$. $Re < 2320$ bolanda **durnukly laminar**, $2320 < Re < 10000$ – **durnuksyz** (geçiş) **turbulent**, $Re > 10000$ bolanda **durnukly** (ösen) **turbulent akym kadasy** (režimi) diýilýär.

Kadalaşan laminar akym toplumynda tizlikleriň paýlanylyşy we suwuklyklaryň harçlanylyşy

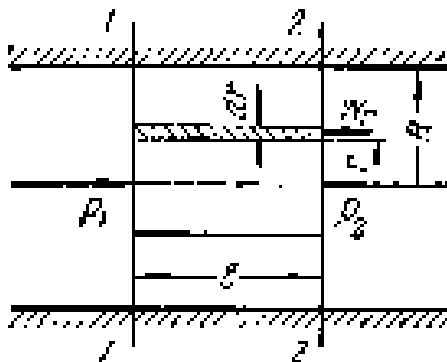
Süýgeşik suwuklygyň kese kesigi tegelek göni turbadaky laminar hereketinde, ähli suwuklygy turba bilen bir okdan duran halkalaýyn gatlaklaryň hatary görnüşinde göz önüne getirse bolýar (sur. 9, *a*). Okuň golaýyndaky silindrik gatlagyň tizligi iň ýokarydyr – maksimaldyr. Turbanyň okyndan daşlaşdygyça elementar halkalaýyn gatlaklaryň tizlikleri kem-kemden peselýär. Göniden-göni diwara degip duran suwuklyk elementar gatlyk diwara «ýelmeşýär» we onuň tizligi nula öwrülýär.

Radiusy R turbada laminar hereket edýän suwuklygyň akym toplumyndan uzynlygy l we radiusy r silindrik gatlagy alalyň (sur. 9, *b*).

a)



b)



Sur. 9. Laminar hareketde tizlikleriň paýlanylyşyny we suwuklygyň harçlanylyşyny kesgitlemeklige degişli

Gatlagyň hereketi silindriň iki ujynyň tarapyndan P_1 we P_2 gidrostatiki basyş güýçleriniň täsiri netijesinde bolup geçýär:

$$P_1 - P_2 = (p_1 - p_2) \cdot \pi r^2,$$

bu ýerde P_1, P_2 – 1-1 we 2-2 kesimlerdeki gidrostatiki basyşlar.

Silindriň hereketine bolsa içki sürtelme güýji T garşylyk görkezýär:

$$T = -\mu \cdot F \cdot \frac{dw_r}{dr}$$

bu ýerde w_r – suwuklygyň silindriň oky boýunça okdan r aralyk daşlykdaky hereketiniň tizligi;

$F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l$ – silindriň daşary üsti; μ – suwuklygyň süýgeşikligi.

Minus alamaty r radiusyň ulaldygyça tizligiň peselýändigini görkezýär

($r = R$ bolanda $w_r = 0$).

Kadalaşan hereketde basyş güýçleriniň $P_1 - P_2$ tapawudy T sürtelmäniň güýçlerini ýeçip geçmäge harçlanýar, ýagny

$$(p_1 - p_2) \cdot \pi \cdot r^2 = -\mu \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \frac{dw_r}{dr},$$

bu ýerden üýtgeýän ululyklary gysgaldyp we bölüp alarys

$$\frac{(p_1 - p_2)}{2 \cdot \mu \cdot l} \cdot r \cdot dr = -dw_r$$

Turbadaky suwuklygyň tutuş göwrümüne geçip, deňlemäniň çep tара-pyndaky radiusyň üýtgeýän ululygy r -den $r = R$ -e çenli üýtgeýär, sag tarapda-ky üýtgeýän tizlik bolsa $w = w_r$ -den $w = 0$ -a (turbanyň diwarynyň golaýynda $-r = R$) üýtgeýär diýip hasap edip, bu deňlemäni integrirläp alarys:

$$\int_r^R \frac{p_1 - p_2}{2 \cdot \mu \cdot l} \cdot r \cdot dr = - \int_{w_r}^0 dw_r.$$

Onda
$$\frac{p_1 - p_2}{2 \cdot \mu \cdot l} \cdot \left(\frac{R^2}{2} - \frac{r^2}{2} \right) = w_r$$

ýa-da

$$w_r = \frac{p_1 - p_2}{4 \cdot \mu \cdot l} \cdot (R^2 - r^2). \quad (29)$$

Bu formula akym toplumynyň kese-kesiginiň islendik nokadyndaky tizligi kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Tizligiň

maksimal bahasy $r = 0$ bolan ýerde, ýagny turbanyň oky boýunçadyr:

$$w_{max} = \frac{p_1 - p_2}{4 \cdot \mu \cdot l} \cdot R^2 = \frac{p_1 - p_2}{16 \cdot \mu \cdot l} \cdot d^2. \quad (30)$$

(2.29) we (2.30) deňlemeleri deňeşdirip taparys:

$$w_r = w_{max} \cdot \frac{R^2 - r^2}{R^2} = w_{max} \cdot \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right). \quad (31)$$

(2.31) deňleme *laminar hereketde turba geçirijiniň kese kesigindäki tizlikleriň parabolik paýlanylyşyny* aňladýan **Stoks kanunydyr**.

Laminar hereketde suwuklygyň harçlanyşyny kesgitlemek üçin içki r radiusy we $(r + dr)$ daşky radiusy, meýdany $dS = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr$ bolan elementar halkalaýyn kese kesige (sur. 9, *b*) seredip geçeliň. Bu kese kesikden geçýän suwuklygyň dQ harçlanylyşyny tapalyň:

$$dQ = w_r \cdot dS = w_r \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr = \frac{p_1 - p_2}{4 \cdot \mu \cdot l} \cdot (R^2 - r^2) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr,$$

bu ýerde $dS = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr$ – halkanyň meýdany.

Üýtgeýän ululyklary bölüp we deňlemäni integrirläp suwuklygyň umumy harçlanylyşyny alarys:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{p_1 - p_2}{4 \cdot \mu \cdot l} \cdot \int_0^R (R^2 - r^2) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr = \\ &= \frac{p_1 - p_2}{4 \cdot \mu \cdot l} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot R^2 - 2 \cdot \pi \cdot \int_0^R r^2 \cdot dr \right) = (32) \\ &= \frac{p_1 - p_2}{8 \cdot \mu \cdot l} \cdot \pi \cdot R^4. \end{aligned}$$

Turbanyň R diametrine derek $d = 2 \cdot R$ goýup we $p_1 - p_2 = \Delta p$ bilen belgiläp taparys

$$Q = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot \Delta P}{128 \cdot \mu \cdot l}. \quad (33)$$

Suwuklygyň togalak göni turba boýunça laminar hereket edendäki harçlanylyşyny kesgitleýän (2.32) deňleme ***Puazeýl deňlemesi*** ady bilen bellidir.

Orta tizlik w_{orta} we maksimal w_{max} tizligiň aragatnaşygyny (24) we (32) deňlemeleri deňeşdirip alyp bolar:

$$Q = w \cdot S = w \cdot \pi R^2 \quad \text{we} \quad \pi \cdot R^2 \cdot w = \frac{p_1 - p_2}{8 \cdot \mu \cdot l} \cdot R^4,$$

bu ýerden

$$w = \frac{p_1 - p_2}{8 \cdot \mu \cdot l} \cdot R^2$$

(34)

(2.30) we (2.34) deňlemeleri deňeşdirip taparys:

$$w = \frac{w_{\text{max}}}{2}.$$

Şeýlelikde, *turbadaky laminar akymda suwuklygyň ortaça tizligi turbanyň oky boýunça tizliginiň ýarsyna deňdir.*

Degişlilikde (2.31) deňleme arkaly aňladylan tizlikleriň turbanyň kese kesigi boýunça paýlanyşynyň parabolik kanunyny aşakdaky görnüşde görkezilse bolar:

$$w_r = 2 \cdot w \cdot \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right).$$

Bu nazary (nazaryýet taýdan çykarylan kanun tejribe arkaly alnan tizlikleriň epýurlary bilen tassyklanýar (sur. 10, a).

Bernulli deňlemesi

Kadalaşan akym toplumy üçin hereketiň Eýler deňlemesiniň çözüdi gidrodinamikanyň has wajyp we giňden ulanylýan Bernulli deňlemesine alyp barýar.

İdeal suwuklygyň hereket edýän elementar göwrümine ähli güýçleriň täsirine garap geçmek üçin (2.37) Eýler deňlemesini integrirlemeli. Bu deňlemäniň integraly ***Bernulli deňlemesi*** ýa-da ***gidrodinamikanyň ikinji kanuny*** diýen at bilen bellidir:

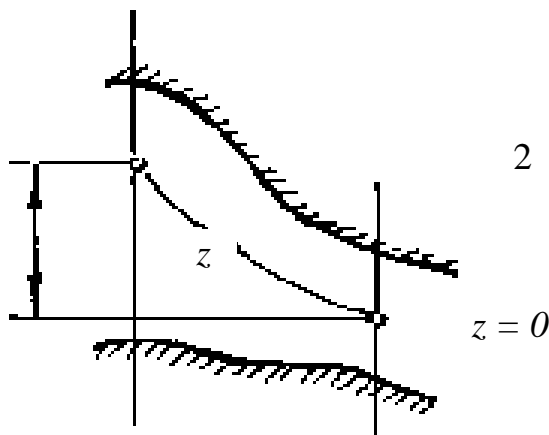
$$\underbrace{z + \frac{p}{\rho \cdot g}}_{\text{Potensial energiýa}} + \underbrace{\frac{w^2}{2 \cdot g}}_{\text{Kinetik energiýa}} = \text{const}$$

$$\left(z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{w^2}{2 \cdot g} \right) \text{ ululyga } \textbf{doly gidrodi-namiki itergi} \text{ ýa-}$$

da yöne *gidrodinamiki itergi* diýilýär.

Akym toplumynyň (turba geçirijiniň) islendik iki 1 we 2 kese kesigi üçin Bernulli deňlemesini (sur. 12) görnüşde ýazsa bolar.

$$\underbrace{z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g}}_{\text{Gidrostatiki itergi}} + \underbrace{\frac{w_1^2}{2 \cdot g}}_{\text{Tizlikleýin itergi}} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{w_2^2}{2 \cdot g} \quad (39)$$



Sur. 12

Bu (39) deňleme *ideal suwuklyk üçin Bernulli deňlemesidir*.

Diýmek, Bernulli deňlemesi energiýanyň ählumumy kanunynyň hususy ýagdaýydyr we oňa laýyklykda *ideal suwuklygyň kadalaşanakym toplumynyň ähli kesiklerinde gidrodinamiki iterginiň ululygy (potensial we kinetiki energiýalaryň umumy jemi) üýtgemeyär*.

Gidrodinamiki itergi üç goşulmadan durýar: olaryň ilkinji ikisi z we $\frac{p}{\rho \cdot g}$ gidrostatikanyň esasy (19) deňlemesine girýär.

z – niwelir beýiklik (ýa-da geometrik itergi) hg; ol berlen nokatdaky (kese kesikdäki) ýerleşiş ýagdaýyň ülüş (udel) potensial energiýasyny kesgitleýär.

$\frac{p}{\rho \cdot g}$ – statiki ýa-da pýezometriki itergi (h_{st}), berlen nokatdaky (kese kesikdäki) basyşyň ülüş potensial energiýasyny görkezýär.

z we $\frac{p}{\rho \cdot g}$ uzynlyk birliginde hem aňlatsa bolýar, ýagny suwuklygyň agram birligine düşýän energiýanyň birliginde-de aňladyp bolýar.

Üçünji goşulma $\frac{w^2}{2 \cdot g}$ hem uzynlyk birliginde aňladylyr:

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

ýa-da agram birligine (N – HU-da ýa-da kgg – MKGGS) köpeldilenden we bölünenden soň alarys:

$$\left[\frac{w^2}{2 \cdot g} \right] = \left[\frac{N \cdot m}{m} \right] = \left[\frac{J}{m} \right]$$

ýa-da

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

$\frac{w^2}{2 \cdot g}$ ululyk **tizlikleýin**, ýa-da **dinamiki itergi** diýlip atlandyrylýar we h_{tizl} belgi bilen aňladylyr. Tizlikleýin itergi berlen nokatdaky (kese kesikdäki) üleş kinetiki energiýany häsiýetlendirýär.

Seýlelikde, Bernulli deňlemesine laýyklykda *ideal suwuklygyň kadalaşan hereketinde gidrodinamiki itergä deň bolan tizlikleýin we statik itergileriň we niwelir beýikligiň jemi akym toplumynyň bir kese kesiginden beýlekisine geçende üýtgemeyär*.

Şunuň bilen birlikde, Bernulli deňlemesinden onuň agzalarynyň energetik manysyna laýyklykda, *ideal suwuklygyň*

kadalaşan hereketinde akym toplumynyň her bir kese kesigi üçin suwuklygyň potensial $z + \frac{P}{\rho \cdot g}$ we kinetik $\frac{w^2}{2 \cdot g}$ energiýalarynyň jemi üýtgemän galýar.

Şeýlelikde Bernulli deňlemesi energiýanyň saklanma kanunynyň hususy ýagdaýy bolup, ol akym toplumynyň energetik balansyny teswirleýär.

Bernulli deňlemesiniň geometrik manysy: «*gidrostatiki we tizlikleýin itergileriň jemi hemişelik ululykdyr we **suwuklygyň doly gidrodinamiki itergisini düzýär***».

Biz köplenç real suwuklygyň hereketi bilen iş salyşýarys. Şunlukda energiýanyň ýa-da iterginiň käbir bölegi ýüze çykýan garşylyklary ýeňip geçmekde ýitýär. Onda real suwuklyk üçin Bernulli deňlemesi aşakdaky görnüşe geçer:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{w_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{w_2^2}{2 \cdot g} + h_{\text{ýitgi}} \quad z = 0, \quad (40)$$

bu ýerde $h_{\text{ýitgi}}$ – energiýanyň ýa-da iterginiň ýitgisi.

Turbageçirijileriň we apparatlaryň gidrawliki garşylygy

1. Real suwuklyklaryň turbageçirijiler boýunça hereket edendäki gidrawliki garşylyklaryny hasaplamak gidrodinamikanyň esasy amaly meseleleriniň biridir.

Iterginiň $h_{\text{ýitg}}$ (ýa-da basyşyň $\Delta P_{\text{ýitg}}$) ýitgisini kesgitlemegiň möhümligi bu ýitgileriň öwezini doldurmak (kompensirlemek) we suwuklyklary daşamak (göçürmek), meselem, nasoslar, kompressorlar we ş.m. arkaly göçürmek üçin talap edilýän energiýa harajatlaryny hasaplamaklygyň zerurlygy bilen pugta baglanyşyklydyr. Real suwuklyklar üçin Bernulli (40) deňlemesi $h_{\text{ýitg}}$ ululygy bilmezden ulanmaklygyň mümkin däldigini ýatlalyň.

Turbageçirijilerdäki itergi ýitgileri, umuman, sürtülme garşylygy we ýerli garşylyklar bilen şertlendirilýär.

Şeýlelikde ýitirilen itergi iki goşulmanyň jeminden ybaratdyr:

$$h_{\text{ýitg}} = h_{\text{sürt}} + h_{\text{ý.g.}} \quad (41)$$

bu ýerde $h_{\text{sürt}}$ we $h_{\text{ý.g.}}$ – deňşilikde sürtülmäniň we ýerli garşylyklaryň täsirleri netijesinde iterginiň ýitgileri.

Sürtülme garşylygy – real suwuklygyň turbageçirijiniň uzaboýuna hereketinde bolýar. Onuň ululygyna suwuklygyň akymynyň (laminar, turbulent, turbulentligiň ösüşiniň derejesi) kadasy (režimi) täsir edýär. Meselem, turbulent akym toplumy, ýň aýdylýp geçilişi ýaly, diňe bir adaty süýgeşiklik bilen däl-de, eýsem gidrodinamiki şertlere bagly bolan turbulent şýýgeşiklik bilen hem kesgitlenilýär we suwuklyk hereket edende energiýanyň goşmaça ýitgisini döredýär.

Ýerli garşylyklar akym toplumynyň tizlikleriniň ululygy we ugry boýunça islendik üýtgemesinde ýüze çykýar. Olaryň hataryna akym toplumynyň turbageçirijä girmegi we ondan suwuklygyň çykmagy, turbalaryň birden inçelmegi we giňelmegi, sowulmalar, tirsekler, üçýol çatryklar, böwetleýji we sazlaýjy gurluşlar (kranlar, wentiller, zadwižkalar we beýl.) degişlidir.

Göni turba boýunça laminar hereketde iterginiň $h_{\text{sürt}}$ sürtülmä bolan ýitgisi nazaryýet taýdan Puazeýl (32) deňlemesiniň esasynda kesgitlenip bilner.

Hakykatdan hem, Bernulli deňlemesine görä gorizonta ($z_1 = z_2$), üýtgemeyän kese kesikli ($w_1 = w_2$) turbageçiriji üçin sürtülmä ýityän itergi

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

Puazeýl (32) deňlemesinde $\Delta p = \rho \cdot g \cdot h_{\text{sürt}}$ çalşyp we göwrümleýin Q harçlanmanyň ýerine akym toplumynyň ortaça w tizliginiň turbanyň kese kesiginiň $\pi d^2/4$ meýdanyna köpeltmek hasylyny goýup 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 – turbanyň uzynlygy we diametri;

μ we ρ – suwuklyklaryň süýgeşikligi we dykzlygy.

Bu ýerden gysgalyşdyryşlardan soň, ýitirilen ýitgini taparys:

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

Sag tarapyň sanawjysyny we maýdalawjysyny $2 \cdot w$ 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 togalak göni turba boýunca laminar hereketde

$$h_{\text{sürt}} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (42)$$

ýagny sürtülmä ýiten itergi tizlikleýin $h_{\text{ýitg}} = w^2/2 \cdot g$ itergi arkaly aňladylýar.

Bu (3.42) deňlemä **Darsi-Weýsbah deňlemesi** diýilýär. Sürtülmä ýiten iterginiň tizlikleýin itergiden näçe esse tapawutlanýandygyny görkezýän ululyga sürtülmäniň garşylygynyň koeffisiýenti diýilýär we $\xi_{\text{sürt}}$ alamaty bilen

bellenilýär, bu ululygyň düzümine girýän $64/Re$ gatnaşyga bolsa, gidrawliki sürtülmäniň koeffisiýenti, ýa-da Darsi koeffisiýenti diýip atlandyrylýar we λ harpy bilen belgilenýär. Şonuň üçin hem

$$\lambda = \frac{64}{Re} \text{ we } \xi_{\text{sürt}} = \lambda \cdot \frac{l}{d}.$$

Diýmek, (42) deňleme

$$h_{\text{sürt}} = \xi_{\text{sürt}} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} \quad (43)$$

görnüşinde görkezilip bilner ýa-da ($\Delta p_{\text{ýitg}} = \rho \cdot g \cdot h_{\text{sürt}}$ bolýandygyny hasaba alyp) basyş ýitgisi üçin alarys:

$$\Delta p_{\text{sürt}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}.$$

Turbulent kadada sürtülmäniň garşylygy. Turbulent akymda sürtülme λ koeffisiýentini ygtybarly hasaplap bolmaýar, sebäbi suwuklygyň turbageçiriji boýunça köp parametrlere garaşlydyr. Şonuň üçin hem λ -ny alnan maglumatlaryň tejribe-eksperiment taýdan öwrenmek we jemläp netije çykarmak esasynda tapylýar. Bu maglumatlar meňzeşlik nazapyýeti arkaly umumylaşdyrylyp netijä gelýärler.

Diwarynyň iç ýüzi ýylmanak turbageçirijilerde laminar kada bilen deňeşdirilende, turbulent kadada ($Re = 4 \cdot 10^3 \div 10^5$) λ sürtülme koeffisiýenti Re sanyna az derejede baglydyr we meňzeşlik usuly bilen hasaplanan λ sürtülme koeffisiýentiniň bahalary umumylaşdyrylan garaşlylyk bilen aňladylýar:

$$\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}. \quad (44)$$

Eger-de Re 3000-den 10000-e çenli aralykda bolsa, onda λ -ny hasaplamak üçin (44) deňlemeden peýdalanylýar.

Şeýlelikde, eger-de laminar hereketde iterleriniň sürtülme görä ýitgisi suwuklygyň tizliginiň birinji derejesine [(42) deňlemä seret] proporsional bolýan bolsa, onda turbulent hereketde iterleriniň bu ýitgisi suwuklygyň tizligine has köp derejede garaşlydyr – ýitirilen iteri $w^{1,75}$ -e proporsionaldyr.

Turbulent akym toplumynda λ sürtülme koeffisiýenti, umuman, diňe bir suwuklygyň hereketiniň tebigatyna (Re sanynyň bahasyna) bagly bolman, eýsem turbanyň diwarynyň бүдүр-сүдүрliğine hem baglydyr. Turbulent kadaly akymda λ ululygy içki ýüzi ýylmanak bolmadyk turbalar üçin (44) deňlemeden gelip cykýan netijä garanda uludyr. Re sanynyň kinetiki bahasynyň golaýyndaky uly bolmadyk çäklerde hereketiň kadasy durnuksyz bolýar we λ ululygy asla-da ygtybarly kesgitläp bolmaýar.

Akym toplumyna turbulentliginiň ýokarlanmagy netijesinde turbalardaky garşylyklara hapalar, dürli hili бүдүр-сүдүрлікler, nätekizlikler ep-esli derejede täsir edýär. Olara mukdar taýdan turbalaryň iç ýüzünde çykyp duran digir-digirlikleriň ortaça beýikligini görkezýän **absolýut бүдүр-сүдүрлигиň** käbir ortalaşdyrylan k ululygy bilen baha berse bolar.

Гöräleyin (*otnositel*) ε **бүдүр-сүдүрлік** – munuň özi absolýut k бүдүр-сүдүрлигиň turbageçirijiniň d diametrine bolan gatnaşygydyr:

$$\varepsilon = \frac{k}{d}. \quad (45)$$

Turbulent hereketiň ähli çäkleri (zonalary) üçin sürtülme λ koeffisiýenti hasaplamakda

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] \quad (46)$$

deňlemäni ulansa bolar.

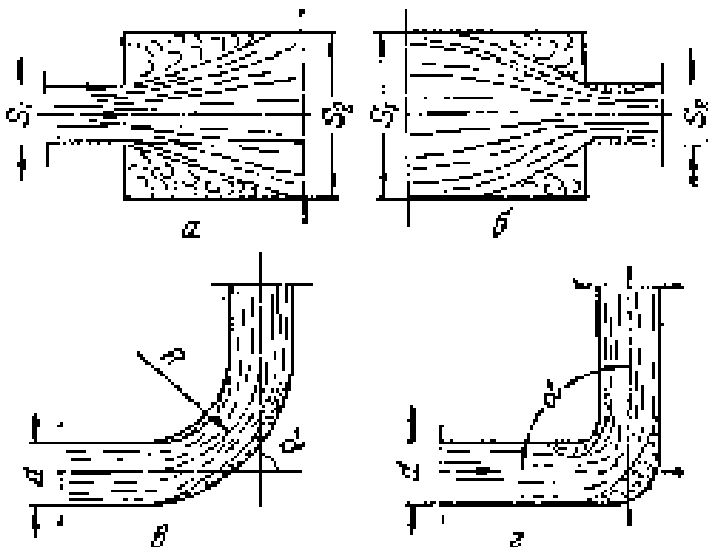
Ýylmanak sürtülme λ -ny (2.44) deňleme boýunça ýa-da inedördül ýaýlaryň içindeki birinji goşundysy aýrylan (2.46) deňleme boýunça hasaplanylýar. Bu agza бүдүр-сүдүрлігің täsirini görkezýär we berlen zona üçin zyňyp taşlarly ujypsyz kiçi ululykdyr. Degişlilikde

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \lg \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} = 1,81 \cdot \lg Re - 1,5. \quad (47)$$

Örän güýçli depginli turbulent hereketde λ sürtülme koeffisiýenti Re sanyna garaşly bolmagyny bes edýär we diňe бүдүр-сүдүрліге baglydyr. Onda (46) deňlemedäki ikinji goşundyny zyňyp taşlasa bolar we ol deňleme

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \lg \frac{3,7}{\varepsilon} \quad (48)$$

görnüşe geçer.



Sur.13. Käbir ýerli garşylyklar:

- a* - birdenkä giňelme; *b* - birdenkä daralma;
ç - eňaý bilen 90°-a öwrülme (sowma);
d - birdenkä 90°-a öwrülme (tirsek)

Ýerli garşylyklar diýip akym toplumynyň tizliginiň ýa-da ugrunyň üýtgemegi bilen baglanyşykly energiýanyň ýitmegine aýdylýar. Dürli hili ýerli garşylykda akym toplumynyň tizliginiň ululygy (meselem, ser. sur. 13 *a*, *b*), ugry (sur. 13, *ç*, *d*) boýunça ýa-da ululygy we ugry boýunça bilelikde bir wagtda üýtgemegi bolup geçýär. Şunlukda energiýanyň (iterginiň) sürtülme bilen baglanyşykly ýitgilerden başga-da goşmaça gaýdymсыз ýitgileri ýüze çykýar. Meselem, turbanyň kese kesiginiň birdenkä ulalmagynda (sur. 13 *a*) itergi turbageçirijiniň kiçi diametrli böleginde uly tizlik bilen çykýan akym toplumynyň turbageçirijiniň uly diametrli bölegindäki haýal hereket edýän akym toplumyna bolan urgusynyň netijesinde ýityär; şunlukda has giň kese kesigi bolan turbanyň göni burçuna birikýän ýerlerinde ters akymly towlanmalar ýüze çykýar. Olaryň emele gelmegine energiýanyň bir bölegi

peýdasyz harçlanýar. Turbageçiriji birdenkä daralanda (sur. 13, *b*) bolsa, energiýanyň goşmaça ýitgisi akym toplumynyň kese kesigi turbanyň öz kese kesiginden hem kiçi kese kesige çenli kiçelýär we diňe şondan soňra akym toplumu tutuş turbany dolduryp giňeýär. Akym toplumynyň ugry üýtgände (sur. 13 *ç*, *d*) towlanmalaryň emele gelmegi inersion (merkezden daşlaşýan) güýçleriň täsiri astynda bolup geçýär.

Ýerli garşylyklar böwetleýji-sazlaýjy gurluşlarda-da ýüze çykýar (sur. 14). Iterginiň yerli garşylyklardaky ýitgileri, sürtülmä bolan ýitgileri aňladylyşy ýaly, tizlikleýin itergi arkaly aňladylýar. Berlen ýerli garşylyklary $h_{\dot{y}.g.}$ itergi ýitgisiniň

$$\text{tizlikleýin itergä bolan } h_{\text{tizl.}} = \frac{w^2}{2 \cdot g} \text{ gatnaşygyna ýerli}$$

garşylyklaryň koeffisiýenti diýilýär we $\xi_{\dot{y}.g.}$ bilen belgilenýär.

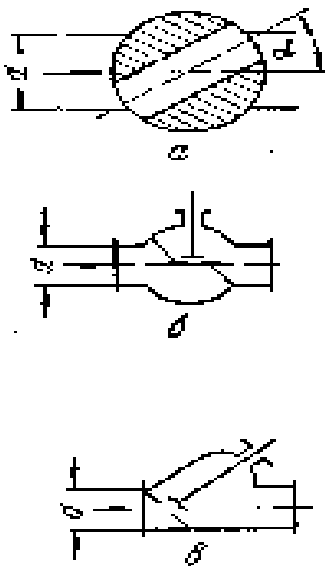
Diýmek, dürli ýerli garşylyklar üçin

$$h_{\dot{y}.g1.} = \xi_{\dot{y}.g1.} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{\dot{y}.g2.} = \xi_{\dot{y}.g2.} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}$$

.....

$$h_{\dot{y}.gn.} = \xi_{\dot{y}.gn.} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}$$



Sur.14. Kābir bōwetleýji-sazlaýjy gurluşlar:
a - dykylaýyn kran; *b* - adaty standart wentil;
ç - göniakar gapdala gyşardylan şpindelli wentil

ýa-da jemläp alnanda – turbageçirijiniň ähli ýerli garşylyklary
 üçin

$$h_{ý.g.} = \sum \xi_{ý.g.} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} . \quad (49)$$

Köp halatlarda dürli ýerli garşylyklaryň koeffisiýentleri tejribe arkaly tapylýar; olaryň ortaça bahalary degişli maglumat beriji edebiýatlarda getirilýär.

Iterginiň umumy ýitgisini kesgitlemek üçin (43) we (49) aňlatmalary hasaba alyp hasaplaýyş (41) deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazsa bolar:

$$h_{\text{ýtig}} = \xi_{\text{sürt}} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} + \sum \xi_{\text{ý.g.}} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g},$$

bu ýerde $\Sigma \xi$ – garşylyklaryň (sürtülme we ýerli garşylyklaryň) koeffisiýentleriniň jemi.

Şeýlelikde, itergi ýitgisi

$$h_{\text{ýtig}} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_{\text{ekw}}} + \sum \xi_{\text{ý.g.}} \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} \quad (50)$$

deňleme boýunça tapylar.

Değişlilikde basyş ýitgisi ($\Delta p = \rho \cdot g \cdot h_{\text{ýtig}}$ bolýandygyny hasaba alyp)

$$\Delta p_{\text{ýtig}} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_{\text{ekw}}} + \sum \xi_{\text{ý.g.}} \right) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

(50) deňlemedäki $h_{\text{ýtig}}$ ululyk suwuklygyň sütininiň metrinde (m) aňladylýar we suwuklygyň asyl görnüşine (hiline) garaşly däl, basyş $\Delta p_{\text{ýtig}}$ ýitgisiniň ululygy onuň dykzlygyna baglydyr.

2. Himiki kärhanalaryň abzallardyr enjamlarynyň umumy durýan bahasynyň ep-esli bölegini turbageçirijileriň bahasy tutýar. Mundan başga-da turbageçirijileriň ulanylmagy köp serişdeleriň harç edilmegini talap edýär. Şonuň üçin hem turbageçirijileriň diametrini dogry saýlap almagyň tehniki-ykdysady ähmiýeti uludyr.

Berlen öndürijilikde turbageçirijiniň diametrini harçlanýş (21) deňlemesinden ugur alyp hasaplasa bolar

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

bu ýerden

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot w}}$$

bu ýerde d – turbageçirijiniň içki diametri; Q – suwuklygyň göwrüm harçlanylyşy, m/sek .

Şeýlelikde, turbageçirijiniň diametriniň ululygy onuň içinde hereket edýän suwuklygyň tizligini takyk saýlap almak bilen kesgitlenýär.

Gidrawlik radius we ekwiwalent diametr akym toplumynyň kese kesiginiň durky (formasy) tegelekden tapawutly özge hili (başgaça) formada bolanda gönileýin(liniýa) hasaplaýyş ölçeği hökmünde ulanylýar.

Gidrawliki radius r_{gidr} - munuň özi içinden suwuklyk geçýän turba geçirijiniň ýa-da kanalyň çümdirilen S kese kesiginiň öllenen Π perimetre bolan gatnaşygydyr:

$$r_{gidr} = \frac{S}{\Pi}$$

bu ýerde S - suwuklygyň akym toplumynyň kese kesiginiň meýdany, m^2 ;

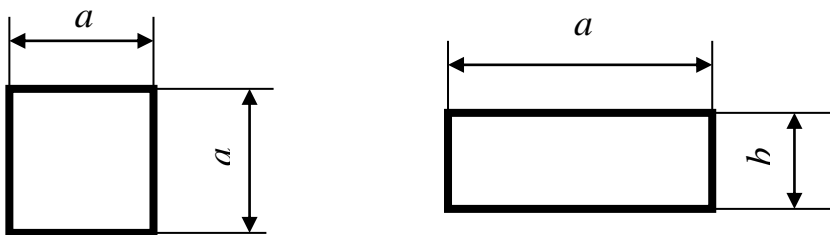
Π - öllenen perimetr, m

Kese kesigi tegelek turba üçin $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, turbanyň d diametriniň ölçeği
 $\Pi = \pi \cdot d$, şonuň üçin hem

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

Gidrawliki r_{gidr} radius arkaly aňladylan diametre d_{ekw} *ekwiwalent diametr* diýilýar: $d = d_{\text{ekw}} = 4 \cdot r_{\text{gidr}}$ ýa-da

$$d_{\text{ekw}} = 4 \cdot r_{\text{gidr}} = \frac{4 \cdot S}{\Pi}.$$



Gidrawliki radius göniburçly kese kesik üçin:

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

Inedördül kese kesik üçin bolsa:

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

3. Suwuklyklaryň we gazlaryň akym toplumynyň esasy ölçeg birligi – suwuklygyň harçlanylyşy diýip akym toplumynyň kese kesiginden akyp geçen suwuklygyň mukdaryna aýdylýar. Harçlanylyşyň iki görnüşi bolýar:

- 1) **göwrümleýin** (ölçeg birligi m^3/sek , m^3/sag)
- 2) **massalaýyn** (ölçeg birligi kg/sek , kg/sag) harçlanylyşy.

Suwuklygyň akym toplumynyň gönüleýji tizligi, onuň kese kesiginiň dürli nokatlarynda birmeňzeş däl. Sebäbi, akym toplumynyň ok boýunça ortasyndaky gönüleýin tizlik iň ýokarydyr, ýagny maksimaldyr. Turbanyň diwaryna golaý ýerdäki tizlikler (diwarlara sürtelme ýa-da onuň tekiz däl — digir-digir bolanlygynyň netijesinde) pes bolýar. Sonuň üçin

hem hasaplamalarda V göwrümleýin harçlanyşyň S akym toplumynyň kese kesigine bolan gatnaşygyny – akym toplumynyň w ortaça gönileýin tizligiden peýdalanylýar:

$$w = \frac{Q}{S}; \left[\frac{m^3 / sek}{m^2} \right] = \left[\frac{m^3}{m^2 \cdot sek} \right] = \left[\frac{m}{sek} \right]. \quad (51)$$

Bu ýerden suwuklygyň göwrüm harçlanyşy Q

$$Q = w \cdot S, \quad (52)$$

S – akym toplumynyň kese kesiginiň meýdany.

Massalaýyn harçlanyş M harpy bilen belgilenýär we aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$M = \rho \cdot V = \rho \cdot w \cdot S; \left[\frac{kg}{m^2 \cdot sek} \right] \quad (53)$$

bu ýerde ρ - suwuklygyň dyklyzlygy; $\rho \cdot w$ ululyk suwuklygyň massalaýyn tizligidir. Onuň ölçeg birligi - kg/sek .

Massalaýyn harçlanyşyň ölçeg birligi $kg/(m^2 \cdot sek)$.

Suwuk gurşawdaky garyşdyrma

1. Himiýa senagatynda kärhananyň içinde suwuk we gaz görnüşli önümleriň aýratyn alnan desgalaryň we apparatlaryň arasynda we kärhananyň daşynda göçürmeklik örän möhüm ähmiýeti bar.

Suwuklyklaryň turbageçirijiler boýunça we apparatlaryň içindäki hereketi energiýa harçlanylyşy bilen baglanyşyklydyr. Käbir halatlarda, meselem, has ýokary derejededen has pes derejä, suwuklyk öz akymy bilen hususy potensial energiýasynyň bir böleginiň kinetiki energiýa, ýagny daşyndan energiýany sarp etmezden göçürilýär. Suwuklygy kese (gorizontal) turbageçirijiler boýunça we aşaky derejededen ýokary derejä göçürilende *nasoslar* (sorup-iterijiler) ulanylýar. Mundan başga-da, senagatda suwuklyklary buguň, suwuň we gysylan

gazyň (howanyň) kömegi bilen göçürmek üçin gurluşlar – çüwdürimleýin nasoslar, gazliftler we montežýular giňden ulanylýar.

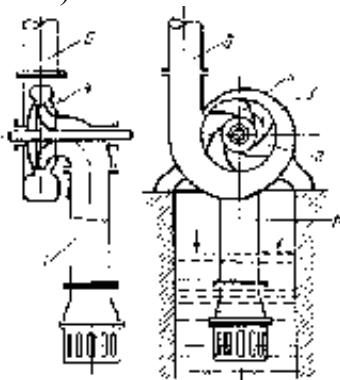
Nasoslar – hereketlendirijiniň mehaniki energiýasyny göçürilýän suwuklygyň energiýasyna (onuň basyşyny ýokarlandyryp) öwürýän gidrawlik maşynlardyr. Nasosdaky suwuklygyň we turbageçirijidäki basyşlaryň tapawudy onuň göçürilmegini şertlendirýär.

Nasoslaryň klaslara bölünilişi

Işleýiş prinsipi boýunça nasoslar:

1. Kürekleýin ýa-da merkezden daşlaşdyrýan;
2. göwrümleýin;
3. tüweleýjikleýin we
4. oklaýyn kysymly görnüşlere bölünýärler.

Kürekleýin (merkezden daşlaşdyrýan) nasoslarda basyş kürekli tigirleriň aýlanmagynda suwuklyga täsir edýän güýç arkaly döredilýär (sur. 1).

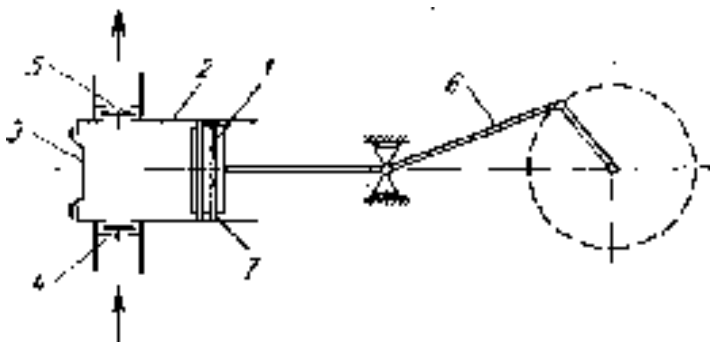


Sur. 1. Merkezden daşlaşdyrýan (kürekleýin) nasosyň shemasy:

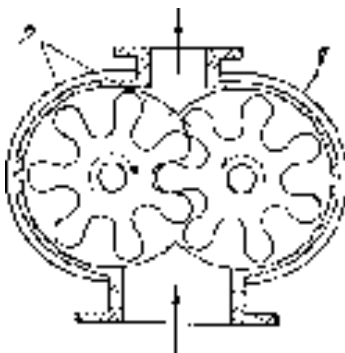
- 1 - sorujy turbageçiriji; 2 - işçi tigir; 3 - nasosyň örtügi (daşy, korpus); 4 - kürekler;
5 - iteriji turbageçiriji

Göwrümleýin nasoslarda basyşlaryň tapawudy suwuklygyň öňe-yza ýa-da aýlanyp hereket edýän jisimler arkaly ýapyk

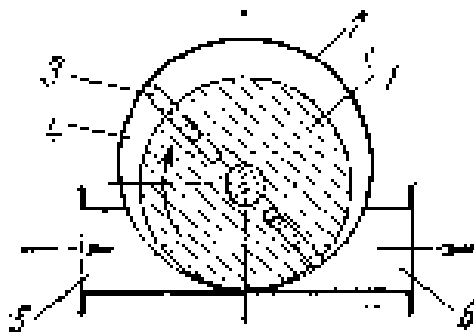
göw-rüm giňişliginden gysyp çykarylada ñüze çykýar. Şu kysymly maşynlara porşenleýin (sur.2), we rotasion (şesternýalaýyn (sur. 3), plastinalaýyn (sur. 4) we wintleýin (sur. 5)] nasoslar degişlidir. Öz gezeginde porşenleýin nasoslar hem iki görnüşde – porşenli we plunžerli*, ýagny oklawly (sur. 6 we 7) bolup biler.



Sur. 2. Ýönekeý täsirdäki kese (gorizontal) porşenli nasosyň shemasy
1 - porşen; 2 - silindr; 3 - silindriň gapagy; 4 - sorujy klapany; 5 - iteriji klapany;
6 - kriwoşip-şatunly mehanizm; 7 - jebislendiriji halkalar



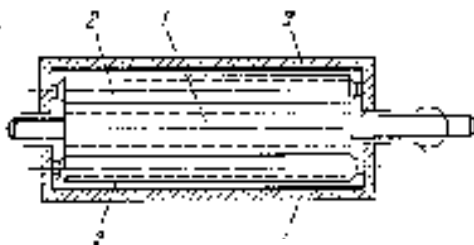
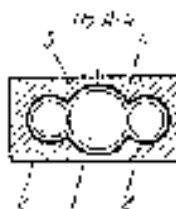
Sur.3. Şesternýalaýyn nasosyň shemasy:
1 - daşy (örtügi, korpus); 2 - şesternýalar



Sur. 4. Plastinaly rotasion nasosyň shemasy:

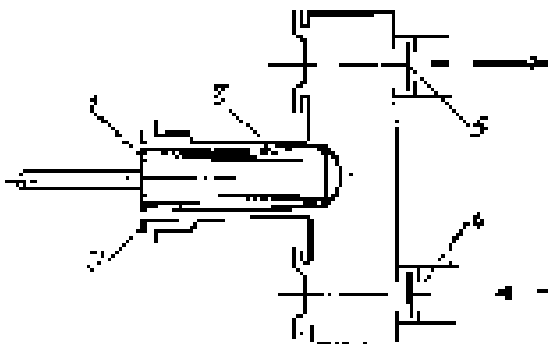
1 - rotor; 2 - daşy (örtügi, korpus); 3 - plastinalar; 4 - işçi giňişlik; 5 - sorujy turba; 6 - iteriji turba

*) plunžer - oklaw



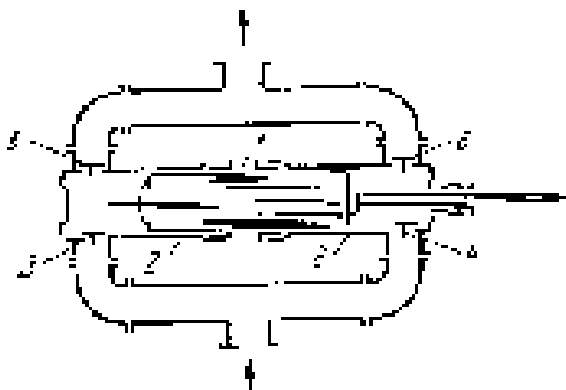
Sur.5. Wintleýin nasosyň shemasy:

1 - alyp baryjy wint;
2 - alnyp barylýan wint; 3 - oboýma;
4 - daşy (örtgi, korpus)



Sur. 6. Gorizontaal ýönekeý täsirli plunžerli nasosyň shemasy:

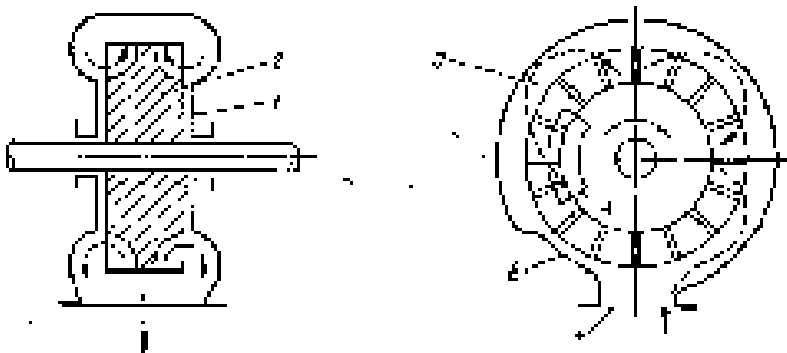
1 - plunžer (oklaw); 2 - silindr; 3 - salnik; 4 - sorujy klapán; 5 - iteriji klapán



Sur. 7. Gorizontaal goşa täsirli plunžerli nasosyň shemasy:

1 - plunžer; 2 - silindr; 3, 4 - sorujy klapánlar; 5, 6 - iteriji klapánlar

Tüweleýjikleýin nasoslarda (sur. 8) işçi tigr aýlananda emele gelýän tüweleýjikleriň energiýasy basyş energiýasyna öwrülýär (transformirlenýär).

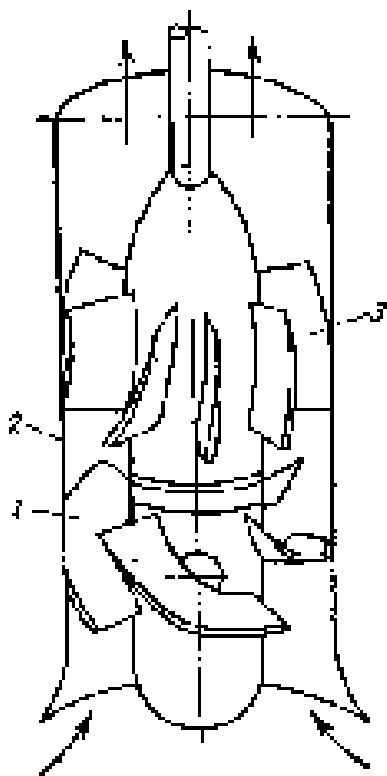


Sur. 8. Tüweleýjikleýin nasosyň shemasy:

A - girelge penjiresi; B - jebisleýji bölümçe (uçastok).

1 - daşy (örtügi, korpus); 2 - işçi tigrir; 3 - halkalaýyn ötelge (kanal); 4 - iteriji turba

Oklaýyn (propellerli) nasoslaryň (sur. 9) işleýşi kürekli wintli gurluşyň suwuklygyň içinde aýlananda ýüze çykýan göçürilişe esaslanandyr.



Sur. 9. Propellerli (oklaýyn) nasosyň shemasy:
1 - işçi tigr; 2 -daşy (örtügi, korpus); 3 - ugrukdyryjy apparat

Çüwdürümleýin nasoslarda suwuklygyň göçürilmegi howanyň, buguň bady ýa-da suwuň çüwdürimi arkaly amala aşyrylýar. **Gaz-liftlerde** bir ujy göçürilýän suwuklyga çümdürilen iki tarapy açyk dikleýin (wertikal) turba gaz girizilende emele gelýän gaz-suwuklyk garyndysynyň we suwuklyklaryň dykzlyklarynyň tapawudynyň täsiri astynda suwuklyk göçürilýär (ýokary galdyrylýar). Montežýularda göçürilýän suwuklygyň üstüne howanyň, gazyň ýa-da bugyň basyşy ulanylýar. Çüwdürümli nasoslaryň, gaz-liftleriň we montežýunyň hiç-hili aýlanýan bölegi ýokdur.

2. Nasoslaryň islendik kysymynyň esasy parametrleri – onuň öndürilijligi, itergisi, kuwwatlylygy we peýdaly täsir koeffisiýentidir.

Öndürilijlik, ýa-da üstünden geçirip *g o ý b e r m e*, $\dot{O} (m^3/sec)$ nasos tarapyndan iteriji turbageçirijä wagt birliginde berlen suwuklygyň göwrümi bilen kesgitlenýär.

I t e r g i $H (m)$ göçürilýän suwuklygyň agram birligine nasos arkaly berilýän üleş (udel) energiýasyny häsiýetlendirýär. Bu parametr suwuklyk nasosdan geçende onuň üleş energiýasynyň artjak ululyk mukdaryny görkezýär we Bernulli deňlemesi arkaly kesgitlenilýär. Itergini göçürilýän suwuklygyň $1 kg$ -ynyň oňa nasos tarapyndan berilýän energiýanyň hasabyna ýokary göterilen (galan) ýaly göz önüne getirse bolar. Şonuň üçin hem itergi göçürilýän suwuklygyň g üleş agramyna (kgg/m^3) ýa-da ρ dykzlylygyna garaşly dälendir.

Kuwwatlylygyň iki görnüşü bolýar:

1. **Peýdaly kuwwatlylyk** N_p – suwuklyga basyş energiýasyny bermek üçin harçlanýar we H üleş energiýasynyň suwuklygyň $g \cdot Q$ harçlanylyşyna köpeltmek hasylyna deňdir:

$$N_p = g \cdot Q \cdot H = r \cdot g \cdot Q \cdot H. \quad (1)$$

2. Aýlanýan okdaky (waldaky) kuwwatlylyk N_{ao} , – energiýanyň nasosdaky ýitgilerine baglylykda N_p peýdaly kuwwatlylykdan uludyr. Ýitgileriň göräleýin (otnositel) ululygy nasosyň η peýdaly täsir koeffisiýenti (p.t.k.) arkaly baha berilýär:

$$N_{a.o.} = \frac{N_p}{\eta_n} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_n}. \quad (2)$$

Peýdaly täsir koeffisiýenti η nasosyň düzgütiniň (konstruksiýasynyň) kämilligini we amatly (tygşytyly)

ulanylyşyny häsiýetlendirýär. η ululyk kuwwatlylygyň nasosyň hut özündäki göräleýin ýitgisini görkezýär we aşakdaky köpeltme hasyly bilen aňladylýar:

$$\eta_n = \eta_V \cdot \eta_{\text{gidr}} \cdot \eta_{\text{meh}} \cdot \quad (3)$$

(3) aňlatma girýän ululyklar:

$\eta_V = \frac{Q}{Q_n}$ – berliş koeffisiýenti, ýa-da göwrümleýin p.t.k. –

nasosyň hakyky Q öndürjiliginin nazary (teoretiki) öndürjiligine bolan gatnaşygydyr (suwuklygyň nasosyň yslaryndan we salniklerinden akyp bolýan ýitgisiniň hasabyna, şeýle hem klapanalaryň bir wagtda ýapylmazlygy – atmosfera basyşyndan pes basyşda – sorulan wagtynda – göçürilýän suwuklykdan howanyň çykmagy netijesinde nasosyň öndürjilifiniň ýitgisini hasaba alýar);

η_{gidr} – gidrawliki p.t.k., nasosyň hakyky itergisiniň nazary itergä bolan

gatnaşygy (suwuklygyň nasosdan geçiş hereketinde iterginiň ýitgisini hasaba alýar);

η_{meh} – mehaniki p.t.k., kuwwatlylygyň nasosdaky (podşipniklerde, salniklerde we

beýl.) mehaniki sürtülmä bolan ýitgisini häsiýetlendirýär;

η_n ululyk nasosyň düzgütine we harap bolma derejesine baglydyr:

- merkezden daşlaşdyrýan nasoslar üçin –
0,6 ÷ 0,7;
- porşenleýin nasoslar üçin –
0,8 ÷ 0,9;
- ýokary öndürjilikli has kämil merkezden daşlaşdyrýan nasoslar üçin –
0,93 ÷ 0,95.

Hereketlendiriji tarapyndan talap edilýän kuwwatlylyk ýa-da hereketlendirijiniň nominal kuwwatlylygy N_{her} aýlanýan okdaky (waldaky) N_{ao} kuwwatlylykdan elektrik hereketlendirijiden nasosa geçiriliş we elektrik hereketlendirijiniň özündäki mehaniki ýitgileriň ululygyça uludyr. Bu ýitgiler (3) deňlemä geçiriliş p.t.k. geçir we hereketlendirijiniň p.t.k. her girizmek arkaly hasaba alynýar:

$$N_{\text{her}} = \frac{N_{\text{a.o.}}}{\eta_{\text{her}}} = \eta_{\text{n}} \cdot \eta_{\text{geç}} \cdot \eta_{\text{her}} \cdot \quad (4)$$

$\eta_{\text{n}} \cdot \eta_{\text{geç}} \cdot \eta_{\text{her}}$ köpeltmek hasyly nasos desgasyň η doly N peýdaly kuwwatlylygyň hereketlendirijiniň nominal kuwwatlylygyna N_{her} bolan gatnaşygy ýaly kesgitlenilýär we nasos desgasyň kuwwatlylygynyň doly ýitgisini häsiýetlendirýär:

$$\eta = \frac{N_{\text{p}}}{N_{\text{her}}} = \eta_{\text{n}} \cdot \eta_{\text{geç}} \cdot \eta_{\text{her}} \cdot \quad (5)$$

(3) we (5) deňlemelerden nasos desgasyň doly p.t.k. baş sany ululygyň köpeltmek hasyly bilen aňladylyp bilner:

$$\eta = \eta_{\text{v}} \cdot \eta_{\text{gidr}} \cdot \eta_{\text{meh}} \cdot \eta_{\text{geç}} \cdot \eta_{\text{her}} \cdot \quad (6)$$

Hereketlendirijiniň gurnalys kuwwatlylygy N_{gurn} hereketlendirijiniň N_{her} kuwwatlylygynyň ululygy boýunça suwuklygyň dynçlykda duran massasynyň inersiýasyny ýeňip geçme zerurlygy bilen baglanyşykly ýüze çykýan, nasosy işledip başladys pursadyndaky bolup biläýjek aşa ýükleri hasaba alyp hasaplanylýar:

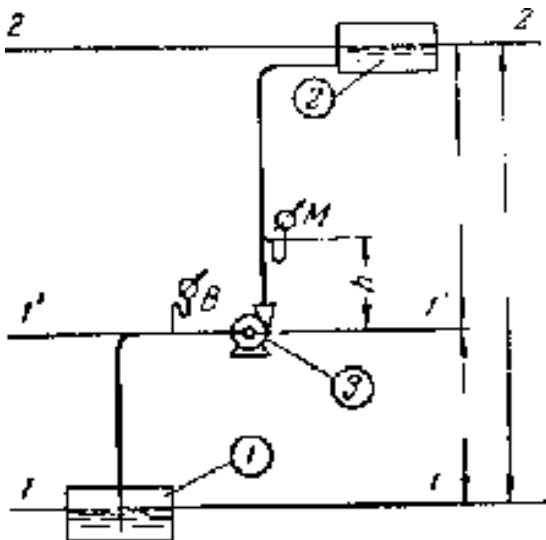
$$N_{\text{gum.}} = \beta \cdot N_{\text{her}} \cdot \quad (7)$$

Bu ýerde β – kuwwatlylygyň ätiýaçlylyk koeffisiýenti; onuň bahalaryny hereketlendirijiniň N_{her} nominal kuwwatlylygynyň ululygyna baglylykda kes-gitlenilýär:

N_{her}, kWt	1-den az	1-5	5-50
50-den ýokarda			
β	2-1,5	1,5-1,2	1,2-1,15 1,1

Nasosyň itergisi. Soruş beýikligi

Itergi. 1-njy suratda görkezilen nasos desgasynyň shemasyna seredip geçeliň:



Sur. 1. Nasos desgasynyň shemasy:

1 - kabul edýän göwrüm-gap; 2 - itergileýin gap; 3 - nasos; M - manometr; W - wakummetr

Bellikler girizeliň: p_1 - içinden suwuklyk nasos 3 bilen sorulyp alynýan 1 gabyň (sertleýin kabul edilýän göwrüm-gap diýip atlandy-ralyň) içindäki basyş; p_2 - itergile-ýin 2 gabyň içindäki basyş;

p_{sor} - nasosa girelgedäki basyş;

p_{iter} - nasosdan çykalgadaky basyş; H_{sor} - sorulyş beýikligi;

H_{iter} - iteriş beýikligi; H_g - suwuklygyň berlişi-niň geometrik beýikligi; h - M ma-nometriň we W wakuummetriň gurnalys derejeleriniň dikleýin (wertikal boýunça) aralygy.

Nasoslaryň itergisiniň ululygy-ny kesgitlemek üçin deňşdiriş te-kizligi hökmünde kabul edilýän gapdaky suwuklygyň derejesini (kesim 1-1) kabul edip sorulyşda 1-1 we 1ä-1ä kesimler üçin Bernulli deňlemesini ýazarys:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{w_1^2}{2 \cdot g} = H_{\text{sor}} + \frac{w_{\text{sor}}^2}{2 \cdot g} + \frac{P_{\text{sor}}}{\rho \cdot g} + h_{y.\text{sor}}. \quad (8)$$

Deňşdiriş tekizligi hökmünde nasosyň okundan geçýän tekizligi (kesim 1-1) kabul etsek, onda iterilişde 1-1 we 2-2 kesimler üçin Bernulli deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$\frac{P_{\text{iter}}}{\rho \cdot g} + \frac{w_{\text{iter}}^2}{2 \cdot g} = H_{\text{iter}} + \frac{w_2^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + h_{y.\text{iter}} \quad (9)$$

Bu deňlemelerde

w_1 we w_2 – degişlilikde kabul edilýän we itergi gaplaryndaky

(1-1 we 2-2 kesimlerdeki) suwuklyklaryň tizlikleri;

w_{sor} we w_{iter} – nasosyň sorujy we iteriji turbalaryndaky suwuklygyň tizligi;

$h_{\dot{y}.sor}$ we $h_{\dot{y}.iter}$ – iterginiň sorulyş we iteriliş turbageçirijilerdäki ýitgisi.

Kabul edilýän we itergi gap-göwrümlerdäki suwuklyklaryň derejesiniň ýagdaýynyň üýtgeýşiniň tizligi suwuklygyň sorujy we iteriji turbageçirijilerdäki tizligi bilen deňeşdirilende zyňyp taşlarlykly ujypsyz, ýagny $w_1 \approx 0$ we $w_2 \approx 0$ diýip kabul etse bolar.

Nasosyň doly itergisi H sorujy we iteriji turbalardaky basyşlaryň tapawudyna göni proporsionaldyr:

$$H = \frac{P_{iter} - P_{sor}}{\rho \cdot g} . \quad (10)$$

Bu tapawudy (4.8) we (4.9) deňlemelerden kesgitläp alarys:

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho \cdot g} + \frac{w_{sor}^2 - w_{iter}^2}{2 \cdot g} + H_{iter} + H_{sor} + h_{\dot{y}.sor} + h_{\dot{y}.iter} . \quad (11)$$

(11) deňleme nasos desgasy taslananda nasosyň doly itergisini hasaplamak üçin umumy aňlatmadyr. Bu aňlatmany $w_{iter} = w_{sor}$ bolýandygyny (sebäbi nasosyň iteriji we sorujy turbalarynyň diametrlerini deň birmeňzeş ýasalýar) göz önünde tutup ýönekeýleşdirse bolýar. Mundan başga-da $H_{iter} + H_{sor} = H_g$ (seret sur. 11) we $h_{\dot{y}.iter} + h_{\dot{y}.sor} = h_{\dot{y}}$ (bu ýerde $h_{\dot{y}}$ - turbageçirijiniň umumy garşylygy).

Onda

$$H = H_g + \frac{P_1 - P_2}{\rho \cdot g} + h_{\dot{y}} . \quad (12)$$

(12) deňlemä laýyklykda, *nasosyň doly itergisi suwuklygyň H_g doly geometrik beýiklige galdyrylmaklyga, itergileýin we kabul edilýän gap-göwrümlerdäki basyşlaryň tapawudyny,*

şeyle hem sorujy we iteriji turbageçiriji-lerdäki gidrawliki garşylyklary ýeňip geçmeklige harçlanýar.

Eger-de itergileýin we kabul edilýän gap-göwürümlerdäki basyşlar özara deň bolsa, ýagny $p_1 = p_2$, onda (12) deňleme aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$H = H_g + h_y. \quad (12a)$$

Suwuklygy kese (gorizontal) turbageçiriji boýunça göçürilende ($H_g = 0$):

$$H = \frac{p_1 - p_2}{\rho \cdot g} + h_y. \quad (12b)$$

Kabul edilýän we itergileýin gap-göwürümlerde basyşyň deň bolan halatla-rynda kese (gorizontal) turbageçiriji üçin ($p_1 = p_2$ we $H_g = 0$) doly itergi

$$H = h_y. \quad (13)$$

Işläp duran nasosyň doly itergisi manometriň p_m we wakuummetriň p_w görkezýän bahalary boýunça hem kesgitlenip bilner. Iteri pursadyndaky basyşy p_{iter} we sorulyş pursadyndaky basyşy manometriň we wakuummetriň görkezýän basyşlary arkaly aňladalyň:

$$p_{iter} = p_m + p_{atm} + h \cdot r \cdot g, \quad p_{sor} = p_{atm} - p_w,$$

bu ýerde p_{atm} - atmosfera basyşy.

$h \cdot r \cdot g$ ululyk manometriň we wakuummetriň gurnalýş derejeleriniň arasyn-daky suwuklygyň sütüniniň basyşydyr.

p_{iter} we p_{sor} üçin alnan aňlatmalary (10) deňlemä goýup taparys

$$H = \frac{p_m + p_w}{\rho \cdot g} + h. \quad (14)$$

Şeýlelik bilen, işläp duran *nasosyň itergisi manometriň we wakuummetriň görkezýän* p_m we p_w (ölçeg birligi – göçürilýän suwuklygyň sütüniniň metrinde) *basyşlarynyň we bu abzallaryň ýerleşýän dikleýin* (wertikal boýunça) *nokatlarynyň h aralygynyň jemleri bilen kesgitleňýär.*

(14) deňlemäni hereket edýän (işleýän) nasosyň itergisi hasaplanylanda ulanylýar.

Sorulyş beýikligi. Suwuklygyň nasos arkaly sorulyşy kabul edilýän gap-göwrümindäki p_1 basyşyň we nasosdaky p_{sor} basyşyň ýa-da – itergileriň tapawudynyň täsiri astynda amala aşyrylýar. Sorulyş beýikligi (8) deňleme-den kesgitlenilip bilner:

$$H_{\text{sor}} = \frac{p_1}{\rho \cdot g} - \left(\frac{p_{\text{sor}}}{\rho \cdot g} + \frac{w_{\text{sor}}^2 - w_1^2}{2 \cdot g} + h_{y.\text{sor}} \right). \quad (15)$$

Iş ýüzünde tizlik $w_1 \approx 0$ bolýandygyny göz önüne tutup alarys

$$H_{\text{sor}} = \frac{p_1}{\rho \cdot g} - \left(\frac{p_{\text{sor}}}{\rho \cdot g} + \frac{w_{\text{sor}}^2}{2 \cdot g} + h_{y.\text{sor}} \right). \quad (16)$$

Şeýlelikde, *nasosyň soruş beýikligi kabul edilýän gap-göwrümdäki* p_1 *basyşyň artmagy bilen beýgelyär we* p_{sor} *basyşyň, suwuklygyň* w_{sor} *tizliginiň we sorujy turbageçirijidäki* $h_{y.\text{sor}}$ *ýitgileriň ýokarlanmagy bile peselýär.*

Suwuklygyň doýgun buglarynyň basyşy temperaturanyň ýokarlanmagy bilen ulalýar we onuň gaýnamak

temperaturasynnda daşky (atmosfera) basyşyna deň bolýar. Göçürilýän suwuklygyň gyzgynlygynyň (temperaturasynyň) ýokarlanmagynda nasosyň soruş beýikligi peselýär. Şonuň üçin hem gyzgyn (ýa-da gaýnag) suwuklyklar göçürilende nasos kabul edilýän gap-göwrümiň ýerleşýän derejesinden pesde (aşakda) gurnalýar.

Adatça iş ýüzünde suw göçürilende nasosyň soruş beýikligi aşakdaky getirilen bahalardan geçmeýär:

Temperatura, °C	10	20	30	40	50	60	65
Sorulyş beýikligi, <i>m</i>	6	5	4	3	2	1	0

Gazlaryň gysylmagy we transportirlenmegi

1. Himiýa senagatynda gazlaryň we olaryň garyndylarynyň köp mukdary gaýtadan işlemeklige berilýär. Birnäçe himiki prosesleriň atmosfera basyşyndan tapawutlanýan basyşda geçirilmegi gaz fazalarynda gazlaryň tizlikleriniň ulaldylmagyna we reaksiýa apparatyň gerek bolan göwrümüne çenli kiçeldilmegine getirýär. Gazlaryň gysylmagy olaryň turbageçirijiler boýunça iberilmegi, apparatlara berilmegi we wakuüm döretmek üçin ulanylýar. Gysylan gazlar suwuklyklary garmak, pürkmek üçin peýdalanylyýar. Himiýa ýnümçiliginde ulanylýan basyşlaryň çägi örän tapawutly – 10^{-3} basyşda 10^8 N/m³ (10^{-8} – 10^3 at).

Gazlary gysmak we ibermek üçin niýetlenen maşynlara kompressor maşynlary diýilýär.

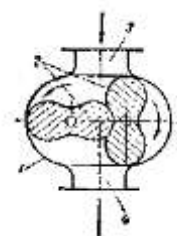
Gazlaryň sorulmasynda kompressor maşynlarynyň döredýän ahyrky basyşynyň P_2 başlangyç basyşyna P_1 bolan gatnaşygyna ***gysylma derejesi*** diýilýär. Gysylma erejesiniň ululygyna baglylykda kompressor maşynlary aşakdaky görnüşlere bölünýärler:

1. Wentilýatorlar ($P_2/P_1 < 1,1$) – gazlaryň köp mukdaryny ibermek üçin.

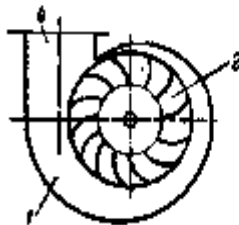
2. Gazüfleýjileri ($1,1 < P_2/P_1 < 3,0$) – Gazlary, gaz geçiriji ulgamdaky ýokary garşylygy bolan ýagdaýynda ihermek üçin.
3. Kompessorlar ($P_2/P_1 > 3,0$) - ýokary basyşy döretmek üçin.
4. Wakuum nasoslar – Basyşy atmosfera basyşyndan pes bolan gazlaryu sordurmak üçin.

Işleýiş prinsipi boýunça kompessor maşynlary:

1. Porşenli
2. rotasion
3. merkezden daşlaşýan
4. oklaýyn görnüşlere bölünýärler



Surat 1. Rotasion gaz üfleýji



Surat 2. Pes basyşly wentiýator.

2. Kompessorlaryň kuwwatlylygy.

Kompessoryň öndürijiligi aşakdaky deňleme arkaly kesgitlenýär:

$$Q = \lambda * F * s * n / 60$$

Bu ýerde λ - berilme koeffisiýenti, ölçegsiz;

F – porşeniň meýdany, m^2 ;

s – porşeniň heeketiniň uzynlygy, m ;

n – aýlanma ýygyllygy, aýlaw/min.

Berilme koeffisiýenti:

$$\lambda = (0,8 - 0,95) * \lambda_0$$

bu ýerde λ_0 – kompessoryň göwrümlü peýdaly täsir koeffisiýenti:

$$\lambda_0 = 1 - \varepsilon_0 * ((P_2/P_1)^{1/m} - 1)$$

bu ýerde ε_0 - porşen tarapyndan görkezilýän silindriň zyýanly göwrüminiň umumy göwrüme bolan gatnaşygy;

m – zyýanly giňişlikde galýan gysylan gazyň giňelme politropyny görkeziji.

Kompressorda harçlanýan nazary kuwwatlylyk gazy gysmadaky onuň öndürijiligine köpeltmek hasylyna deň.

$$N_t = (l \cdot Q_p) / 60 \cdot 1000 \text{ kWt}$$

ýa-da

$$N_t = (l \cdot G) / 1000 \text{ kWt}$$

bu ýerde l – gysylmanyň nazary işi, j/kg;

Q – kompressoryň öndürijiligi, m³/min;

p – gazyň dykzlygy, kg/m³;

G – sorulýan gazyň mukdary, kg/sek.

Gazlaryň gysylmagy we transportirlenmegi üçin maşynlaryň esasy görnüşleriniň konstruksiýasy

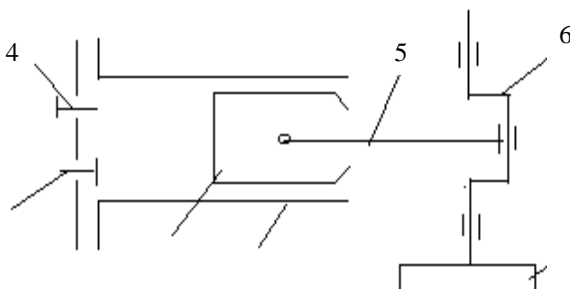
1. Himiýa senagatynda kompressor maşynlarynyň porşenli we merkezden daşlaşýan görnüşleri giňden ulanylýar.

Porşenli kompressorlar gysylma basgançagy boýunça

1. birbasgançakly
2. köpbasgançakly

görnüşlerde tapawutlandyrylýar we öz gezeginde dik hem-de kese görnüşlere bölünýär.

Gysylma basgançagy diýip ahyrky ýa-da aralyk basyşa çenli gazlaryň gysylmasy bolup geýän kompressoryň bölegine aýdylýar.



Surat Bir silindrli kompressor

- 1- silindr
- 2- porşen
- 3- soryjy klapan
- 4- üfleýji klapan
- 5- şatun
- 6- kriw 3
- 7- mahowik

Bir basgançakly porşenli kompressorlar öz gezeginde

1. Bir silindrli
2. Köp silindrli

bolup bilýärler.

2.Himiýa tilsimatynda porşenli we merkezden daşlaşýan kompressor maşynlary giňden ulanylýar.

Turbokompressorlar we turbogazüfleýjileri ýzleiniň ykjamlygy, gurluşynyň ýonekeýligi, gyradeň gaz berijiligi bilen tapawutlanýarlar. Olaryň has aýratyn tarapy hem çalgý ýaglar bilen hapalanman gazyň arassa berilmegidir. Bu bolsa kompressory sýlamakda has ýygy kesgitleýjidir. P.t.k. ululygy boýunça turbokompressorlar porşenli kompressorlarsra öz ornuny berýär. Ýöne öndüriligi sagatda 6000m³ bolan turbokompressorlary pul çykdaýjylarynyň we ulanylyş çykdaýjylarynyň azalmagy bilen baglylykda ykdysady taýdan amatsyz. Şonuň üçin turbokompressorlaryny gazyň köp mukdary (10000-20000 m³/sag we ondan ýokary) önümçilikde ulanylýar. Az gaz berilýän (10000 m³/sag çenli) önümçiliklerde porşenli kompressorlar ulanylýar.

Rotasion we wintleýin kompressorlarynyň, merkezden daşlaşýan kompressorlaryňkydan has ýokary p.t.koeffisiýenti bolup, sagatda 6000 m³ öndüriljek bolan ýagdaýynda ulanylýar. Rotasion kompressorlarynyň kemçiligi, olaryň taýýarlanysynda we ulanylyşynda çylşyrymlylygy, şeýle hem rotoryň plastinasynyň çalt hatardan çykması, onuň netijesinde bolsa iş kamerasyň jebisliginiň bozulmagy we gysylma derejesiniň peselmegi bilen baglanyşykly.

Okly kompressorlary ykjamlygy we ýokary p.t.k. bilen tapawutlanýar we ýokary berijilik ($80000 \text{ m}^3/\text{sag}$ we ýokary) üçin we ýokary bolmadyk basyş (6 at çenli) üçin ulanylýar.

Wakuum nasoslaryň ulanylyşy, olar bilen döredilmeli basyş bilen kesgitlenýär.

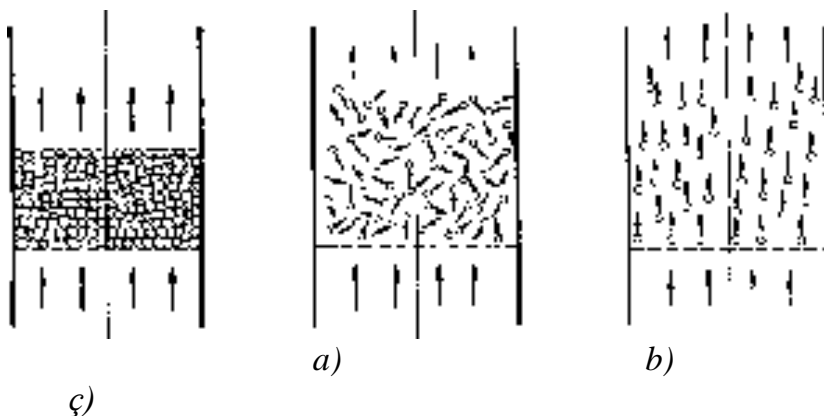
Gaty maddalary göçürmek

1. Soňky üç onýyllykda senagatyň himiki we beýleki pudaklarynda gazlaryň (seýrek – damja suwuklyklarynyň) gaýnaýan, ýa-da psewdosuwuklandyrylan haldaky uşak owradylan gaty bölejikleriň gatlagy bilen özara täsiri bilen baglanyşykly prosesleriň ulanylmagy giň gerim aldy. Gaýnaýan gatlakly apparatlar ürgün materiallaryň göçürmek we garyşdyrmak üçin ýakylma, ýylylyk çalyşma, guratma, adsorbsiýa, katalitiki we beýleki prosesleri geçirmek – amala aşyrmak üçin ulanylýar. Gaýnaýan gatlakdaky prosesleriň şeýle giň ýaýramagy olaryň artykmaçlygynyň giden bir hatary bilen şertlendirilendir. Biz olara adsorbsiýa we guratma bagyşlanan baplarda garap geçiris. Bu ýerde bolsa diňe psewdosuwuklandyрма hereketsiz gatlakdaky materialyň bölejikleriniňkä garanyňda has kiçiržk ölçegli bölejikleriň sezewar bolýandygyny belläp geçiris. Suwuklykda gaýnaýan gatlagyň gidrawliki garşylygy otnositel (deüeşdirerlikli, göräleýin) uly däl bölejikleriň ölçegleriniň kiçelmegi bolsda olaryň akym toplumy bilen galtaşmagynyň (kontaktynyň) üst ýüzüniň ulalmagyna getirýär we gaty hem gaz (ýa-da suwuk) fazalaryň özara täsirinde bölejikleriň içindäki diffuziýanyň garşylygyny peseldýär. Netijede köp prosesleriň geçiş tizligi ýokarlanýar (artýar).

Suwuklyklaryň däneleýin gatlakdan geçme hereketiniň kanunalaýyklyklary iş ýüzünde akymyň islendik tizliklerinde, diňe onuň ýokardan aşak hereketinde berjaý edilýär. Haçanda akym toplumy aşakdan ýokary hereket edende, gatlagyň

hereketsizligini (butnamazlygyny) bozulmaýan şertlerde bu kanunalaýyklyklary ulansa bolýar.

Ýokary ugrukdyrylan akym toplumynyň tizligine baglylykda gaty bölejikleriň üç mümkingadar haly bolup biler (sur. 1).



Sur. 1. Gazyň (suwuklygynyň) gaty bökejikleriň gatlagynyň içinde geçiş hereketi
a) hereketsiz gatlak; b) gaýnaýan (pseudosuwwuklandyrylan) gatlak; c) gaty bölejikleriň akym toplumy tarapyndan äkidilmegi

Uly bolmadyk tizliklerde däneleýin gatlak butnamaýar (sur. 1, a) we onuň häsiýetnamalary (ülüş üst ýüzi, aýry-aýrylygy we ş.m.) akym toplumynyň tizliginiň artmagy bilen üýtgemeýärler. Emma, haçanda tizlik käbir kritiki ululyga ýetende, gatlak butnamazlygyny bes edýär, onuň aýry-aýrylygy we beýikligi ulalyp başlaýar, gatlak akyjylyk ukybyna eýe bolýar, gaýnaýan (pseudosuwwuklandyrylan) haldaky ýaly ýagdaýa geçýär. Şeýle gatlakda gaty bölejikler akym toplumynda dürli ugurlara (taraplara) güýçli möwç alyp (intensiw) hereket edýärler (sur. 1, b) we tutuş gatlak gatlakdan geçen akym toplumy bilen arasy anyk ýokarky bölünme araçäk bilen çäklendirilen gaýnaýan suwuklygy ýada salýar.

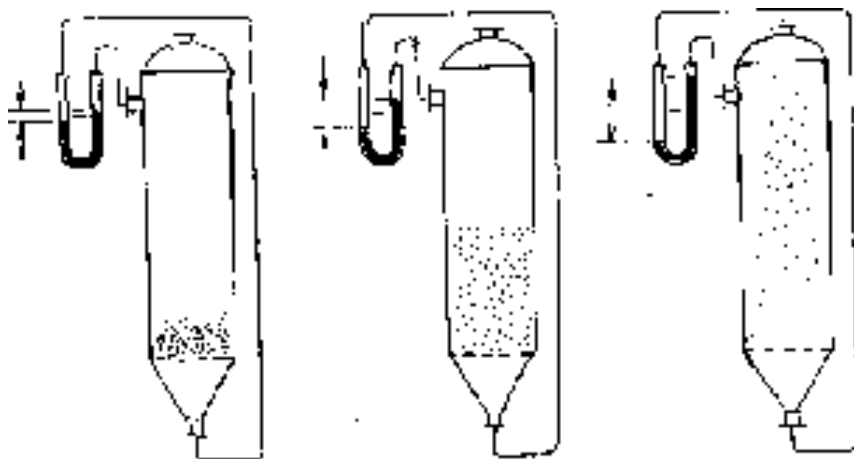
Akym toplumynyň tizliginiň mundan soňraky ýokarlanmagynda gatlagyň aýry-aýrylygy we onuň beýikligi

tizligiň täze bir kritik bahasyna ýetendäki pursadyna çenli artýar. Bu ýagdaýda gatlak dargaýar, gaty bölejikler akym toplumy bilen äkidilip başlanýar (sur. 1, ç).

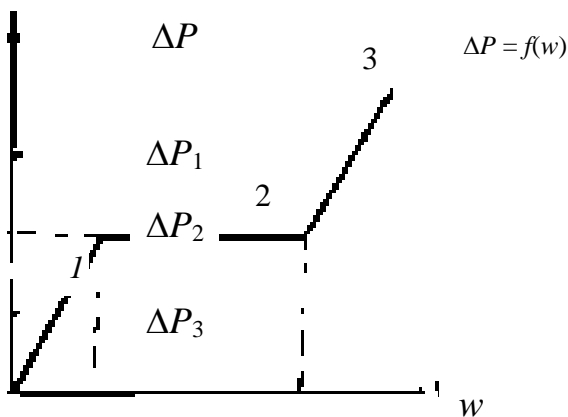
Ýokarda seredilip geçilen hadysany grafiki görnüşde beýan edeliň (sur. 2)

$\Delta P = f(w)$ grafikden (sur. 3) görnüşi ýaly, gazyň tizliginiň ýokarlanmagy bilen garşylyk artýar (sur. 2, *a* we sur. 3, kesim 1). Bu hadysa gazyň «kritiki tizlik» diýlip atlandyrylýan käbir w_{kr} berliş tizlige çenli dowam edýär. Gazyň tizliginiň soňraky ýokarlanmagynda basyşyň ýitgisi bolup geçmeýär we apparatdaky garşylyk «äkidiş tizligi» diýlip atlandyrylýan käbir w'_{erk} bahasyna çenli üýtgeşsiz saklanýar (sur. 2, *b* we sur. 3, kesim 2).

Bu hala *pseudosuwuklandyryлма* diýilýär, şunlukda garşylyk bolmaýar (ýagny, ýok), galtaşma (kontakt) üst ýüzi bolsa giňden doly maksimal ösen ýagdaýda bolýar. Ýöne «äkidiş tizliginiň» käbir bahasyndan w'_{erk} başlap gaty ürgün materialyň apparatdan zyňnylyp çykarylmagy ýa-da äkidilmegi (pnemotransport) bolup geçýär (sur. 19, ç we sur. 20, kesim



Sur. 2. $\Delta P = f(w)$ grafiğiň teswirlenmegine degişli



$\Delta P = f(w)$ w_{kr} – kritiki tizlik;

w'_{erk} – äkidiş tizligi

Sur. 3. $\Delta P = f(w)$ grafiği:

1 - butnamaýan gatlak;

2 - «gaýnaýan» gatlak (pseudosuwuklandyrylma);

3 - äkidiş (pneumotransport)

2. «Gaýnaýan» ýa-da pseudosuwuklandyrylan gatlak – munuň özi däneleýin ürgün materialyň, onuň içinden geçýän gaz ýa-da suwuklyk akym toplumynyň (suwuklandyryan

agentleriň) täsiri astynda gaty materialyň bölejikleriniň (dänejikleriniň) biriniň beýlekisine görä güýçli depginde ýerini üýtgetme halydyr. Şeýle ýagdaýda gatlak gaýnaýan suwuklygy ýadyňa salýar we däneleýin material bilen suwuklandyryjy agentiň (gazyň) arasynda jebis galtaşma gazanylýar.

Suwuklandyrylan halda güýçli depginde garyşma bolup geçýär, we bu ýagdaýda gaty materialyň häsiýati suwuklygyňka meňzeşdir. Gaýnaýan gatлага süýgeşiklik, akyjylyk, üst dartylyşy ýaly häsiýetler mahsusdyr we bu hala birikdirilen gaplaryň prinsipini hem ulansa bolar. Däneleýin materialyň gidrawliki garşylygy onlarça esse peselýär, prosesiniň tizligi bolsa artýar. Bu hadysa himiýa we nebit himiýasy senagatlarynda: nebit önümleriniň katalitik krekinginde, ýangyçlaryň gazifikasiýasynda, sulfid magdanlary ýakylanda, guratma, adsorbsiýa, garyşdyrma we beýleki proseslerde giňden ulanylýar.

Pseudosuwuklandyrylmagyň şertlerine garap geçeliň: «Gaýnaýan gatlak» haly ýokary galýan gaz akym toplumunuň basyşynyň aşak düşmegi ($\Delta P_{\text{ýitgi}}$) – ýagny ýitmegi däneleýin ürgün materialyň gatlagynyň ΔP_{stat} statiki basyşyndan agdyklyk eden pursadynda ýüze çykýar, ýagny

$$\Delta P_{\text{stat}} = \Delta P_{\text{ýitgi}} \quad (1)$$

(«gaýnaýan gatlagyň» ýüze çykma şerti)

$$\Delta P_{\text{stat}} = \rho_{\text{dök}} \cdot g \cdot H \cdot (1 - \varepsilon_{\text{kr}}), \quad (2)$$

bu ýerde ε_{kr} – meýdanyň maksimal aýry-aýrylygy ýa-da boşluk göwrüme düş-

ýän paý. **Aýry-aýrylyk**

– munuň özi gatlagyň eýelän göwrüminiň

birliğinde bölejikleriň (dänejikleriň) arasyndaky erkin giňişligiň (boşlugyň) göwrümidir, $\varepsilon = 0,35 \div 0,45$.

$\rho_{\text{dök}}$ – däneleýin materialyň dökülen (gapgarylan) ýagdaýyndaky dykzylygy.

Onda

$$\Delta P_{\text{ýtgi}} = \frac{32 \cdot w \cdot \mu \cdot l}{d_{\text{ekw}}^2}. \quad (3)$$

Emma däneleýin ürgün materialyň gatlagynyň içinden parran geçýän gazyň basyşynyň ýitgisi aşakdaky deňleme boýunça aňladylýar:

$$\Delta P_{\text{ýtgi}} = \frac{200 \cdot w \cdot \mu \cdot H}{d_{\text{ekw}}^2} \cdot \left[\frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^2} + \Phi^2 \right], \quad (4)$$

Φ – durk koeffisiýenti, ýagny materialyň durkuny (formasyny) hasaba alýan koeffisiýent` meselem togalak däneler üçin $\Phi = 0,77$; $\Phi = 0,58$; $\Phi = 0,66$. Şar görnüşli bölejikler üçin $\Phi = 1$.

(2) we (3) deňlemeleri deňläp alarys:

$$\rho_{\text{dök}} \cdot g \cdot H \cdot (1 - \varepsilon_{\text{kr}}) = \frac{200 \cdot w \cdot \mu \cdot H}{d_{\text{ekw}}^2} \cdot \left[\frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^2} + \Phi^2 \right]. \quad (5)$$

Eger-de

$$\text{Re}_{\text{pl}} = 4\Gamma / \mu_{\text{suwuklyk}}$$

deňlemäni tizlige görä çözssek, w_{kr} pseudosuwuklandyrylma daşdaky kritik tizligi gelip çykýar:

$$w_{\text{kr}} = \frac{0,005 \cdot \rho_{\text{dök}} \cdot g \cdot d_{\text{ekw}}^2 \cdot \varepsilon_{\text{kr}}^2}{\mu \cdot (1 - \varepsilon_{\text{kr}}) \cdot \Phi^2}. \quad (6)$$

Pseudosuwuklandyrylma başlanan wagtyndaky tizligi peseltmegiň esasy maksady we (6) deňlemäniň derňew-analizi «gaýnaýan» gatladyň ýüze çykmagynyň şertlerini saşlap almaga ýardam berýär. $\Delta p = f(w)$ baglylyk grafigindäki 2-nji kesim uçastogy real proses üçin ürgün daty materialyň bölejikleriniň arasyndaky ilteşme göýçlerini ýeňip geçmegiň hökmandygyny görkezýär. Munuň üçin goşmaça garşylyklary ýeňip geçmelidir, ýagny ΔP kritiki tizligiň hasabyna çenli artýar.

3. Grafikdäki ikinji kesimi tutýan uçastok (bölümme) - «gaýnaýan» gatladyň, ýagny pseudosuwuklandyrylmanyň amala aşmagynyň şertidir. Ol gazyň tizliginiň käbir **äkidiş tizligi** diýlip atlandyrylýan baha çenli basyşyň ýitgisiniň geçmeýänligini görkezýär, ýagny $\Delta P = const$. Bu energiýa taýdan örän amatly - energiýanyň goşmaça ýitgisi ýok. Iş 2-nji bölümçäniň diapazonyny giňeltmäge ymtylýar. Emma äkidiş tizliginden başlap gaty madda apparatdan zyňylyp başlaýar, ýagny gazyň ýokary galýan akym toplумы bilen äkidilýär.

«Gaýnaýan» gatlagyň barlygy ýa-da ýoklygy Reýnolds kriteriýasy arkaly

$$Re_{\text{gaýn.gatl.}} = \frac{w_{kr} \cdot d}{\nu},$$

Arhimed kriteriýasy Ar belli bolsa

$$Re_{\text{gaýn.gatl.}} = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}}$$

boýunça kesgitlenýär. Muňa **Todes baglylygy** hem diýilýär, bu ýerde

$$Ar = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_{\text{dök}} - \rho_0)}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}}.$$

Eger-de berlen w_0 (fikiw) tizlik $w_0 > w_{\text{gaýn.gatl.}}$ bolan ýagdaýynda, tizligiň ýokarlanmagy bilen gatlak giňeýär we erkin göwrüme düşýän paý artýar. Şunlukda psewdosuwuklandyrylan gatlagyň $H_{\text{gaýn.gatl.}}$ beýikligi bilen ilkibaşdaky butnamaýan $H_{\text{baş}}$ gatlagy aşakdaky görnüşde baglanyşyklydyr:

$$H_{\text{gaýn.gatl.}} \cdot (1 - \varepsilon_{\text{gaýn.gatl.}}) = H_{\text{baş}} \cdot (1 - \varepsilon_{\text{baş}}).$$

Gatlagyň dagamagy we bölejikleriň köpçülikleýin äkidilmegi başlaýan wagtyndaky gaýmalama $w_{\text{gaýmal.}}$ tizligini aşakdaky aňlatmadan tapsa bolýar:

$$Re_{\text{gaýmal.}} = \frac{w_{\text{gaýmal.}} \cdot d}{\nu},$$

ýa-da jisimleriň islendik hereket kadasy (režimi) üçin

$$Re_{\text{gaýmal.}} = \frac{Ar}{18 + 0,575 \cdot \sqrt{Ar}}.$$

Bu baglanyşyklar eksperimental (tejribe) ýoly bilen maglumatlary meňzeşlik nazaryeti arkaly işläp alyndy.

Pnewmoïkidiş (*pneumotransport*) diýip gaz (ýa-da howa) akym toplумы arkaly ürgün gaty materialyň bölejikleriniň köpçülikleýin äkidilişine aýdylýar.

Gaz ýa-da howa üçin ürgün gaty materialyň ΔP_{stat} statiki basyşynyň we basyşyň $\Delta P_{\text{garş.}}$ garşylygyndan ybarat ΔP agdyklyk basyş bolmalydyr:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{stat}} + \Delta P_{\text{garş.}}$$

Öz gezeginde

$$\Delta P_{\text{stat}} = \rho_{\text{hyýaly}} \cdot g \cdot H,$$

bu ýerde $\rho_{\text{hyýaly}}$ – ürgün gaty materialyň hyýaly (göwnüňe bolaýjak ýaly) dyklyzlygy;

$$\Delta P_{\text{garş.}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{(G + G_{\text{gaty}}) \cdot G}{2 \cdot \rho},$$

bu ýerde λ – garşylyk koeffisiýenti;

G we G_{gaty} – degişlilikde gazyň (ýa-da howanyň) we ürgün gaty bölejikleriniň köpçülikleýin tizligi.

Onda

$$\Delta P = \rho_{\text{hyýaly}} \cdot g \cdot H = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{(G + G_{\text{gaty}}) \cdot G}{2 \cdot \rho}.$$

Gidroakidish hem şuna meňzeşlikde amala aşyrylýar.

Suwuk maddalary garmak

1. Himiki tilsimatynyň prosesleriniň aglabasy turbageçirijilerden we apparatlardan iki fazalaýyn akym toplumlarynyň hereket etmegi arkaly geçirilýär. Adatça bu akym toplumlarynda fazalaryň biri **dispers**, beýlekisi bolsa **tutuşlaýyn (bütewi)** ýa-da **dispersion** bolýar, özem birinji faza ikinji fazynyň göwrümünde bölejikler, damjalar, köpürjik, plýonka we ş.m. görnüsde paýlanandyr. Akym toplumyndaky iki fazanyň hem özara hereket ugurlary dürli hili bolup biler. Meselem, gaty bölejikleriň we gaz akym toplumynyň howa arkaly göçürijidäki (pnewmotransportdaky), bugun köpürjikleriniň we gaýnaýan suwuklygyň tebigy (aýlanyşly) sirkulýasiýaly bugardyjy apparatlaryň dik (wertikal) turbalardaky hereketi bir ugra ugrukdyrylandyr, ýagny

göniakymlaýyndyr. Beýleki ýagdaýlaryň aglabasynda bolsa fazalar biri-birine garşy ugurlarda hereket edýarler, ýagny olaryň hereketi **garşyakymlaýyndyr.** Hususan-da, fazalaryň garşylyklaýyn akymynda, plýonkalaýyn ýa-da goýulmaly absorbsion ýa-da rektifikasion kolonnalarda aşak akýan suwuklygyň plýonkasynyň gazyň ýa-da buguň ýokary galýan akym toplumlary bilen özara täsiri, içi boş ýa-da boş kolonnaýyn ekstraktorlarda damjalaryň başga bir suwuklygyň akym toplumu (tutuşlaýyn fazasy) bilen özara täsiri we ş.m. amala aşyrylýar. Apparatyň tutuş göwrümünde ýa-da onuň aýry-áýry bölümlerinde fazalaryň özara hereketi göni ýa-da garşydaş akymdaka garanda, meselem, galp (emeli) suwuklandyrylan (pseudosuwuk) gatlakly apparatlardaky ýa-da massaçalyşma apparatlarynyň tabaklaryndaky barbotažda has çylşyrymlydyr.

Iki fazaly akym toplumlarynda tutuşlaýyn faza bilen turbageçirijiniň ýa-da apparatyň diwarynyň arasyny bölýän araçäkden başga-da iki hereketdäki fazany bölýän araçäk hem bar. Bu araçägiň görnüşine baglylykda kik fazalaýyn akym toplumlary iki topara bölünýärler:

1. Tutuşlaýyn fazasy gaz ýa-da suwuklyk, dispers fazasy bolsa gaty bolan akym toplumu;

2. Gaz (bug)-suwuklyk we suwuklyk-suwuklyk (ýagny iki sany garyşmaýan suwuklyklaryň) ulgamlarynyň akym toplumu.

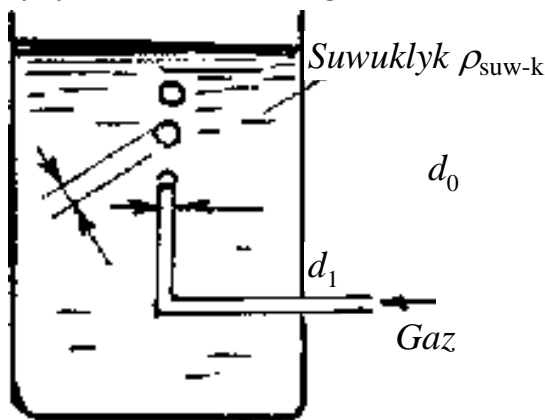
Iki fazalaýyn akym toplumlarynyň birinji we ikinji toparalrynyň hereket mehanizmleriniň esasy tapawudy – gaty bölejikler çökdürme, pseudosuwuklan-dyrma, howa göçürsesi (pnemotransport) ýaly proseslerde öz durkuny (formasyny) we massasyny üýtgetmeýärler, şol bir wagtda dispers fazalaryň elementleri gaz-suwuklyk we suwuklyk-suwuklyk (köpürjikler, damjalar, plýonkalar) ulgamlarynyň akym toplumynda adatça hereket edende öz durkuny (fazalaryň bölünme araçägiň hereketdeligi sebäpli), köp halatlarda bolsa (käbir köpükleriň we damjalaryň birikmegi ýa-da dargamagy netijesinde) massasyny üýtgetýärler. Mysal hökmünde senagatda giňden

ýaýran prosesleriň gazyň (bugyň) suwuklygyň içinden geçmeginiň (barbotažynyň) we gaz (bug) bilen galtaşýan suwuklygyň plýonkalaýyn akyşynyň fiziki görnüşnamasyna we esasy häsiýetnamalaryna gysgaça seredip geçeliň.

2.Barbotaž. Gazyň (buguň) suwuklygyň içinden barbotažynda (parran geçende) dürli gurluşlaryň deşiklerinden paýlanýan gaz fazasy suwuklygyň içinde köpük görnüşinde dispergirlenýär (uşak bölejiklere pytraýar). Şunlukda emele gelen dispersiýa – **köpürjik*** diýilýär. Şeýle köpürjikdurnuksyzdyr we gazyň berilmegi bes edilen badyna dargaýar. Durnukly köpürjikler suwuklyga üst-işjeň (aktiw) maddalar goşulanda emele gelip biler.

Eger-de gaz suwuklygyň içinde bir kapillýarda (ýeke-täk deşikden) geçip paýlanýan bolsa, onda ol uly bolmadyk harçlanyşda suwuklygyň içinden aýratyn alnan erkin ýüzüp çykýan köpükler (döwmejikler) görnüşinde barbotirlenýär (erkin hereket).

Köpügiň üzülip aýrylan pur-sadyndaky d_1 diametrini hasaplalyň (sur. 1). Kapillýaryň (deşiğiň) dia-metrini d_0 , suwuklygyň we gazyň dykyzlyklaryny degişlilikde $\rho_{\text{suw-k}}$ we ρ_{gaz} , üst dartylyşyny bolsa σ bilen belgiläliň.



Sur.1. Barbotaž

Gaz suwuklyga çümdürilen kapillýarda (onuň deşiginden) çykan wagtynda d_1 diametrli köpük emele gelyär. Köpügiň kapillýardan («üzülip») suwuklyga geçmegine sebäp bolýan güýji anyklamak zerurdyr.

Barbotazyň ýüze çykmagy şer-tinden köpügiň predel (çäkleyin) diametri, diýmek kapillýaryň (deşigiň) diametriniň nähili bolmalydygyny hasaplasa bolýar.

Haçanda göteriji (arhimed) güýji, $\frac{\pi \cdot d_1^3}{6} \cdot g \cdot (\rho_{\text{suw-k}} - \rho_{\text{gaz}})$ we üst dartylma-syna garaşly bolan üzülip aýrylma garşylyk görkezýän R güýç ($R = \pi d_0 \cdot \sigma$) özara deň bolanlarynda erkin hereketde kapillýaryň uujnda (deşiginde) emele gelyän köpügiň ilki başda diametri ulalýar, soňra bolsa üzülip aýrylýar – ýokary galýar, ýagny deňläp alarys:

$$\frac{\pi \cdot d_1^3}{6} \cdot g \cdot (\rho_{\text{suw-k}} - \rho_{\text{gaz}}) = \pi \cdot d_0 \cdot \sigma, \text{ bu ýerden}$$

*) Suwuklyk-suwuklyk dispersiýalarynyň (emulsiýalaryň) häsiýetnamalary köp tarapdan barbotažda emele gelyän gaz-suwuklyk dispersiýalaryňka meňzeşdir.

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot d_0 \cdot \sigma}{g \cdot (\rho_{\text{suw-k}} - \rho_{\text{gaz}})}} \quad (1)$$

Bu (1) deňlemeden görnüşi ýaly erkin hereketde köpügiň d_1 diametri gazyň harçlanyşyna bagly bolman, eýsem kapillýaryň (deşigiň) d_0 diametri we suwuklyklaryň fiziki häsiýetleri bilen kesgitlenýär. Emele gelyän köpükleriň sanyny köpeldip barbotaž prosesiniň netijeliligini güýçlendirse bolýar.

Suwuklygyn plýonka görnüşinde akysy. Himiki tilsimatynyň prosesleriniň giden bir hatarynda (absorbsiýa, rektifikasiýa, bugartma we beýl.) içinde suwuklyk üst ýüz boýunça ýukajyk ýorka (plýonka) görnüşinde akýan apparatlar giýden ulanylýar. Bu prosesleriň geçiş tizligi plýonkalaýyn akysyň häsiýetnamalaryna, olaryň galyňlygyna hem köp derejede baglydyr.

Suwuklygyn plýonkasynyň agyrylyk güýjüniň täsiri astynda dik (wertikal) üst boýunça aşak akysyna gaz (bug) akym toplумы suwuklygyn hereketine täsir etmeýär diýen şert bilen garap geçeliň. Bu şert gazyň uly bolmadyk tizliklerinde berjaý edilýär.

Suwuklygyn we gazyň özara iň ýokary (maksimal) galtaşygyny üpjün etmek üçin plýonkanyň parametrlerini öwrenmek zerurdyr.

Plýonka hereket edende prosesiniň tizligi plýonkanyň hereketiniň häsiýetna-malaryna ýa-da onuň gidrodinamiki akys kadasyna (režimine) baglydyr. Plýonkanyň akys kadasy $Re_{plýon}$ Reýnolds kriteriýasynyň ululygy bilen kes-gitlenilýär:

$$Re_{plýonka} = \frac{w \cdot d_{ekw} \cdot \rho_{suw-k}}{\mu_{suw-k}}, \quad (2)$$

bu ýerde w – plýonkanyň hereketiniň ortaça tizligi;
 d_{ekw} – plýonkanyň ekwiwalent diametri.

Galyňlygy δ bolan plýonkanyň ekwiwalent diametri plýonkanyň kese kesiginiň meýdany $S = \Pi \cdot \delta$ we plýonkanyň hereket edýän üst ýüzüniň Π perimetri bilen kesgitlenilýär:

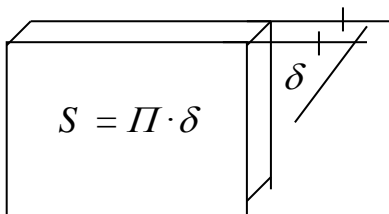
$$d_{ekw} = \frac{4 \cdot \delta}{\Pi} = 4 \cdot \delta. \quad (3)$$

$S = \Pi \cdot \delta$ – plýonkanyň öllän meýdady;

Π – üst meýdanynyň perimetri;

δ – plýonkanyň galyňlygy
 (Plýonkanyň turbanyň iç ýüzüniň üstünden hereketinde $\Pi = \pi d$, bu ýerde d – turbanyň içki diametri)
 d_{ekw} ululygynyň bahasyny (2) deňlemä goýup alarys:

$$Re_{\text{plýonka}} = \frac{w \cdot 4 \cdot \delta \cdot \rho_{\text{suw-k}}}{\mu_{\text{suw-k}}} \quad (4)$$



Plýonkanyň galyňlygyny we hereket tizligini ölçemegiň kynlygy (çetinligi) sebäpli $Re_{\text{plýon}}$ üçin aňlatma girýän $w \cdot d \cdot \rho_{\text{suw-k}}$ ululyklaryň köpeltmek hasylyny hasaplamalarda ulanmak has amatlydyr. Bu köpeltmek hasyly

$$\Gamma = \frac{w \cdot \Pi \cdot \delta}{\Pi} \cdot \rho_{\text{suw-k}} = \frac{w \cdot S}{\Pi} \cdot \rho_{\text{suw-k}} \quad (5)$$

görnüşde ýazsa bolar.

Γ [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{sek})$] ululyga **suwarmagyň gönüleýin massa dykyzlygy** diýilýär. Ol plýonkanyň wagt birliginde plýonkanyň akýan üst ýüzüniň perimetriniň uzynlygynyň birliginde akyp geçen suwuklygynyň mukdarydyr:

$$\Gamma = \frac{\mu_{\text{suw-k}}}{\Pi} = \rho_{\text{suw-k}} \cdot \frac{w \cdot S}{\Pi} = \rho_{\text{suw-k}} \cdot w \cdot \delta. \quad (6)$$

$\Gamma = \rho_{\text{suw-k}} \cdot w \cdot d$ köpeltmek hasylyny $Re_{\text{plýon}}$ aňlatmasyna goýup, plýonka üçin Reýnolds kriteriýasyny alarys:

$$Re_{\text{plýonka}} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu_{\text{suw-k}}} . \quad (7)$$

Tejribe geçirmek arkaly plýonkalaýyn akymyň hereketiniň 3 sany esasy akys kadasynyň (reäiminiň) barlygy kesgitlenildi:

1. Gaz bilen arasy deňeşdirilende ýylmanak (tekiz) bölünme üst ýüzli plýonkanyň laminar akymy ($Re_{\text{plýon}} < \sim 20 \div 120$);

2. Fazalarynyň arasy tolkun bölünme üst ýüzli plýonkanyň laminar akymy ($Re_{\text{plýon}} \approx 20 \div 120 — 1600$);

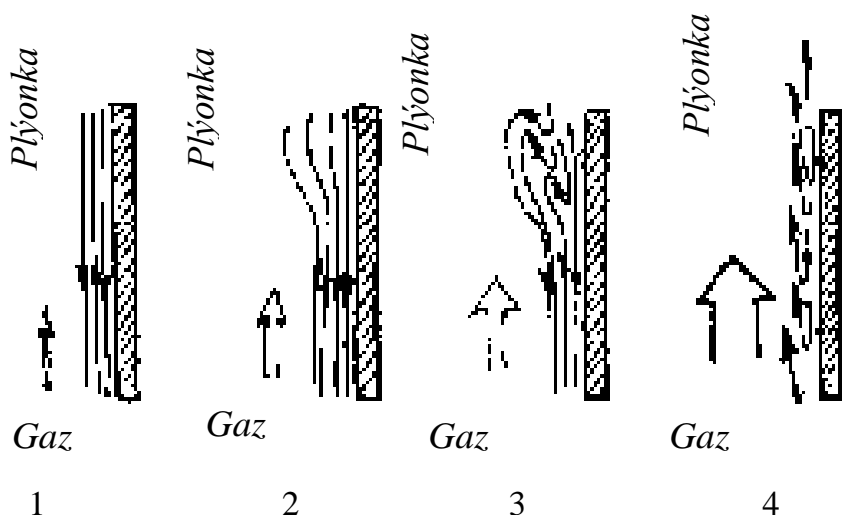
3. Plýonkanyň turbulent akymy ($Re_{\text{plýon}} > 1600$).

Aşak akýan plýonkanyň üst ýüzünde tolkunyň döremegi köp derejede üst dartys güýçleriniň erkin (plýonkanyň gaz ýa-da bug bilen bölünme araçağı bolan) üste täsiri bilen şertlendirilýär. Tolkunyň basyp ýatyrylmagy we ýylmanak üstli plýonkanyň laminar hereketi 120-den has ýokary $Re_{\text{plýon}}$ bahalarynda diňe suwuklyga üst-işjeň maddalary goşmak arkaly gazansa bolýar.

Ýylmanak tekiz üst ýüzli plýonkanyň laminar akymynda onuň galyňlygy boýunça w tizligi gaty diwaryň golaýynda noldan başlap, erkin üst ýüzüň golaýynda bolsa w_{max} baha çenli parabolik kanuna laýyklykda üýtgeýär, şunlukda $w_{\text{max}} = 1,5 \cdot w_{\text{ort}}$, bu ýerde w_{ort} – plýonkanyň ortaça tizligi.

Suwuklygyň plýonkasynyň dik wertikal turbanyň içki üst ýüzi boýunça ýokardan aşak akanda we oňa garşy ugurda, ýagny aşakdan ýokary gazyň (buguň) akym toplумы hareket edende, şeýle hem gazyň tizligi ýeterlik derejede pes bolsa, onda plýonkanyň tizligi we onuň galyňlygy gazyň tizligine bagly dälir.

3. Plýonkalaýyn akymyň barlygy köplenç gazyň berliş tizligi bilen kesgitlenilýär. Şunlukda (sur. 2):



Sur.2. Gazyň dürli berliş tizliklerine laýyklykda suwuk plýonkanyň özüni alyp barşy

1. Gazyň berliş tizligi az bolsa, onda ýokarda aýdylşy ýaly plýonkalaýyn akymyň hereket tizligi we galyňlygy üýtgemeyär. Bu ýagdaýda plýonkadaky galtaşma dartgynlygy gaty diwaryň golaýynda iň ýokary (maksimal) baha, erkin üst ýüzde bolsa nola deňdir.

2. Tizligiň ýokarlanmagy bilen plýonkanyň galyňlygy artýar. Şu ýagdaýda fazalaryň arasyndaky galtaşma üsti kiçelýär. Plýonkalaýyn akymyň gidrawliki garşylygy ýokarlanýar.

Gazyň tizliginiň artmagy bilen onuň suwuklygyň üst ýüzüne bolan sürtülme güýji ýokarlanýar. Hem gazda, hem suwuklykda olaryň aralyk bölünme üst ýüzünde ululygy boýunça deň alamlary boýunça bolsa ters bolan galtaşma dartgynlyklar ýüze çykýar. Şunlukda suwuk plýonkanyň hereketi togtap başlaýar, özem öňde aýdylşy ýaly, onuň galyňlygy artýar, ortaça tizligi peselýär, apparatyň gaz toplumyna bolan gidrawliki garşylygy ýokarlanýar.

3. Gazyň kesgitli bir ($\sim 5 \div 10 \text{ m/sek}$) tizliginde plýonkanyň agramlyk güýji (bu güýjüň täsiri astynda plýonka hereket edýär) we plýonkanyň hereketini togtadýan üst ýüzdäki sürtülme güýjüniň deňagramlylygy gazanylýar, akymyň plýonka haly ýitýär. Bu bolsa apparatyň **demikmegine**, ýagny «düwnükme» akym kadasynyň ýüze çykmagyna getirýär we bu ýagdaý suwuklygyň apparatda ýygnanmagy, onuň apparatdan ýyňlyp çykmagy we gidrawliki basyşyň birdenkä ýokarlanmagy bilen bilelikde bolup geçýär. Özara täsirdäki fazalaryň garşylyklaýyn hereketi demikme nokadyndan ýokardaky tizliklerinde asla mümkin däl. Önuň üçin hem demikme nokady islendik kysymly apparatlardaky garşylykly akym prosesleriniň tizliginiň ýokarky (predel) çägene laýyk gelýär.

4. Wertikal dik turbada gazyň tizliginiň mundan aňry ýokarlanmagynda plýonkanyň hereketi tersine öwrülýär we ol aşakdan ýokary «süýşüp» başlaýar. Gazyň we suwuklygyň ýokary galýan **göniakym** kadasy ýüze çykýar. Şunlukda gidrawliki garşylyk ilki başda käbir maksimal baha çenli (demikme nokadyna laýyk gelýän garşylyk bilen deňeşdirilende) pese düşýär, soňra bolsa ýokarlanýar. Gazyň tizligi $15 \div 40 \text{ m/sek}$ -dan ýokary geçse **syçrap äkitme** başlanýar. Bu ýagdaýda suwuklyk plýonkanyň üst ýüzünden gopup, gaz arkaly syçran damja görnüşinde ýokary (alyp gidilýär) äkidilýär.

Ýokardan aşak hereketde (**aşak gaýdan göniakym**) gaz suwuklygyň plýonkasynyň tizligini artdyryp we onuň galyňlygyny kiçeldip plýonkany alyp gaýdýar. Gazyň şol bir tizliklerinde aşak gaýdýan akym toplумы üçin gidrawliki garşylyk, ýokary galýanyňky üçin gidrawliki garşylykdan pes gelýär. Aşak gaýdýan göniakymyň durnukly geçiş kadasy (režimi) gazyň takmynan $15 \div 30 \text{ m/sek}$ tizliginde bolýar, ondan ýokarda syçrap äkitme bolup geçýär.

Agzalyp geçilen hadysalar massageçirme tizligine güýçli täsirini ýetirýär we häzirki wagtda işlenip düzülýän tizleýin

massaçalyşma apparatlarynda prosesleriň netijeliligini ýokarlandyrmak üçin ulanylýar.

Birmeňzeşdäl ulgamda suwuklyklaryň we gazlaryň bölünmegi

1. Birmeňseş däl, ýa-da geterogen ulgamlar diýip iki ýa-da birnäçe fazadan ybarat ulgamlara aýdylýar.

Ulgamy düzýän fazalar umuman birini beýlekisinden mehaniki usul arkaly aýryp bolýar.

Islendik birmeňzeş däl ulgam *dispers* (içki) fazadan we dispers fazanyň bölejikleri paýlanan *dispersion gurşap alyşdan*, ýa-da *bitewi* (daşky) fazadan durýar.

Fiziki halyna baglylykda fazalar klasdaky görnüşlere bölünýärler: *suspenziýalar*, *emulsiýalar*, *köpürjikler*, *tozan*, *tüsseler* we *ümür* (*duman*).

Suspenziýalar – munuň özi suwuklykdan we onuň göwrümünde paýlanan gaty bölejiklerden ybarat ulgamdyr. Bölejikleriň [mikrometrde (*mkm*-de)] ölçeglerine baglylykda suspenziýa gödek (100 *mkm*-den ýokary), uşak ($0,5 \div 100$ *mkm*) we bulanyk ($0,1 \div 0,5$ *mkm*) bolup bilýär. Kolloid erginler – hakyky erginler (gomogen ulgamlar bilen suspenziýanyň aralygydyr.

Emulsiýalar – suwuklykdan we onda ýaýran başga bir birinji suwuklyk bilen garyşmaöan suwuklygyň damjalardan ybarat ulgamdyr. Dispers fazanyň ölçegi giň aralykda üýtgäp biler. Agyrlyk güýjüniň täsiri astynda emulsiýalar gatlklara bölünýärler, emma damjalaryň ölçegi juda ujypsyz ($0,4 \div 0,5$ *mkm*-den az) bolan emulsiýalar köp wagtlap gatlklara bölünmeýärler.

Dispers fazanyň emulsiýadaky mukdar möçberiniň (konsentrasiýasynyň) ýokarlanmagy bilen fazalaryň öwrülme (*inwersiýa*) mümkinçiligi ýüze çykýar. Damjalaryň goşulmagy

(koalesensiýasy) netijesinde dispers faza бүтewilenýär: daşky ýagdaýdaky faza damja görnüşde içki faza öwrülýär.

Köpürjikkler – içinde gazyň düwmejikleri paýlanan suwuklykdan duran ulgam. Häsiýetleri boýunça emulsiýalara ýakyn.

Tozanlar we **tüsseler** – gaty maddanyň bölejikleri içinde paýlanan gaz ulgamydyr. Tozanlar köplenç gaty bölejikleriň gazda mehaniki ýaýradylanda (ownadylmada, garyşdyrylmada, gaty materiallar göçürilende) emele gelýär. Tozanlaryň bölejikleriniň ölçegi takmynan $3 \div 70 \text{ mkm}$. Tüsselere buglaryň (gazlaryň) kondensasiýa proseslerinde, suwuk ýa-da gaty hala geçenlerinde döreýärler. Olaryň bölejikleriniň ölçegi $0,3 \div 5 \text{ mkm}$. Şeýle ölçegdäki dispers suwuk dispers fazalar emele gelende bu ulgamlara **ümür** (duman) ýüze çykýar. Tozanlar, tüsseler aerodispers ulgamlardyrlar, olara **aerozollar** hem diýilýär.

2. Himiki tilsimatyndada suwuk we gaz birmeňzeş däl ulgamlary bölmek (aýyl-saýyl etmek) bilen baglanyşykly prosesler giňden ýaýrandyr. Bölüş usulyny saýlap almaklyk esasan dispers (asylan) bölejikleriň ölçegleri, dispers we бүтewi fazalaryň dykzlyklarynyň tapawudy, şeýle hem бүтewi fazanyň süýgeşikligi bilen şertlendirilendir: Ulanylýan esasy bölüş metodlary aşakdakylardan ybaratdyr:

- 1) Çökdüriş;
- 2) Süzüliş (filtrleme);
- 3) Sentrifugirleme;
- 4) Öllenip bölüniş usullary.

Bu metodlar birmeňzeş däl ulgamlary bölüniş usullarynyň esasyny tutýar.

1. **Çökdüriş** – munuň özi suwuklykda ýa-da gazda asylan gaty ýa-da suwuk bölejikleriň бүтewi fazada agyrylyk güýjüniň, inersiýa (şol sanda merkezden daşlaşýan) ýa-da elektrostatik güýçleriň täsiri astynda bölünip aýrylma prosesidir. Agyrylyk

güýjüniň täsiri astynda amala aşýan çökdürilişe durylanýş diýilýär. Durylanma esasan birmeňzeş däl ulgamlary deslapky gödek bölüş üçin ulanylýar.

2. **Süzüliş (filtrleme)** – suwuklygy ýa-da gazy geçirip, gaty bölejikleri saklap, alyp galyp bilýän öýjükli germew arkaly bölüş prosesidir. Ol basyş güýçleriniň merkezden daşlaşýan güýçleriň täsiri astyndaamala aşyrylýar we germewiň iki tarapyň basyşynyň tapawudyna esaslanýar. Bu usul suspenziýalary we tozanlary çökdürilişe garanda has inçeleyin bölmekde ulanylýar.

3. **Sentrifugirleme** – merkezden daşlaşýan güýçleriň meňdanynda suspenziýalaryň we emulsiýalaryň bölünüş prosesidir. Bu güýçleriň täsiri netijesinde çökdüriş emele gelen çökündiniň dykyzlanmagy bilen, süzüliş (filtrleme) bolsa dykyzlanma we mehaniki guratma bilen utgaşdyrylýar.

Ýokarda agzalanusullardan başga-da ýöriteleýin bölüş metodlary bar: olara gazlaryň elektrik we öllenilip arassalanyşy we beýl. degişlidir.

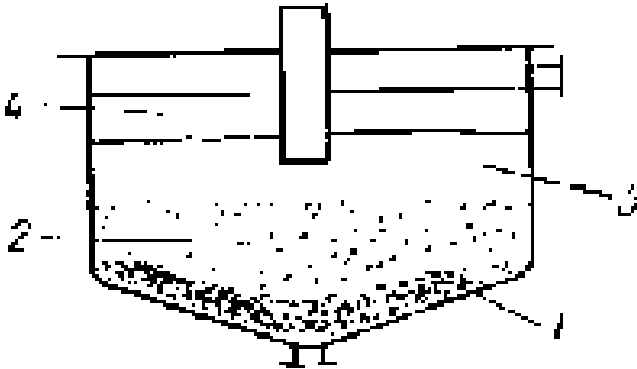
4. **Öllenilip bölünüş** – haýsy hem bolsa bir suwuklyk bilen gazdaky asylan haldaky bölejikleri tutup alyp galmak prosesidir. Ol agyrlyk güýçleriniň ýa-da inersiýa güýçleriniň täsiri astynda bolup geçýär we gazlary arassalamakda we suspenziýalary bölmekde ulanylýar.

Agyrlyk güýjiniň täsiri meýdanynda birmeňzeşdäl ulgamlaryň bölünmegi

1. Suwuklykda ýa-da gazda asylan gaty ýa-da suwuk bölejikleriň bütewi fazada agyrlyk güýjüniň, inersiýa (şol sanda merkezden daşlaşýan) ýa-da elektrostatik güýçleriň täsiri astynda bölünip aýrylma prosesine çökdüriş diýilýär. Agyrlyk güýjüniň täsiri astynda amala aşýan çökdürilişe durylanýş diýilýär. Durylanma esasan birmeňzeş däl ulgamlary deslapky gödek bölüş üçin ulanylýar.

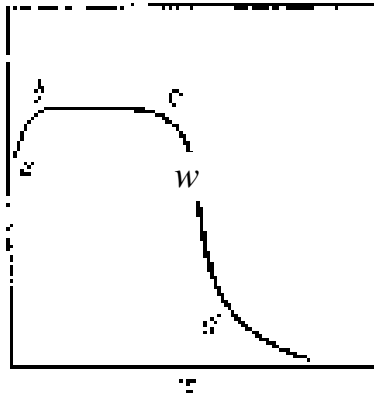
Birneñzeş дәл ulgamy bölmek üçin öñde dürli maksatlary goýmak mümkin. Olar:

1. Arassa çökündi almak;
2. Arassa бүтewi (даşky fazany almak;
3. Arassa çökündi we бүтewi (даşky fazany almak.



Sur. 1. Durylanyş prosesiniň shemasy:

1 - çökündiniň gatlagy; 2 - goýalan suspenziýa (gyslyşykly çöküş) zonasy; 3 - erkin çöküş zonasy; 4 - durylanan suwuklyk



Sur. 2. Durylanyş tizliginiň wagta baglylygy

Adatça durylanyş prosesi birneñzeş дәл ulgamlary bölmegiň gödek usulydyr. Durylanma prosesi başgançaklaýyn birnäçe stadiýada bolup geçýär. Ony birnäçe zonalara bölmek mümkin (sur. 1).

1-nji suratdan görnüş i ýaly durylanyş prosesinde çökündiniň (1-nji zonanyň) üstünde goýalan suspenziýa (2-nji zona) bölejikleriň gyslyşykly çöküş i netijesinde emele gelýär.

Durylanan suwuklygyň (4-nji zonanyň) aşagynda gyslyşykly çöküş (2-nji) zona we ondan ýokarda ýerleşýän erkin çöküş (3-nji) zonanyň aarsynda aýdyň görünyän araçäk emele gelýär.

Gezekleýin (periodiki) durylanyş prosesinde ýokarda agzalan zonalaryň beýikligi birmeňzeş däl ulgamyň çökündä we durylanan suwuklygyň gatlakra doly bölünüş pursadyna çenli üýtgeýär. Munuň özi durylanyş w_{dur} tisliginiň t wagta görä üýtgame-gi netijesinde bolup geçýär (sur. 2): ab kesim – uly bölejikleriň çökmegi; bc – köpçülikleýin (kollektiwleýin) çöküş; cd – tizligiň peselmegi (şunlukda $w_{gysl.çökm} < w_{erkin} çökm.$).

2. Erkin çöküş zonasynda werk.çökm tizlik ($\Phi = 1$ bolanda) *Stoks kanuny* boýunça kesgitlenilýär:

$$w_{\text{erkr.çökm.}} = \frac{d^2 \cdot (\rho_{\text{gaty}} - \rho_{\text{suwuk}})}{18 \cdot \mu} \cdot g. \quad (1)$$

Durylanyş prosesine aşadaky faktorlar ýardam berýär:

1. Temperaturanyň ýokarlanmagy;
2. Gaty bölejikleriň iň ýokary (maksimal) diametri;
3. Suwuk we gaty maddalaryň dykzlyklarynyň maksimal tapawudy.

Çöküş tizligi togalak bolmadyk ($\Phi \neq 1$) bölejikler üçin aşadaky ýaly kesgitlenilýär:

$$w_{\text{ekr.çökm.}} = \frac{d^2 \cdot (\rho_{\text{gaty}} - \rho_{\text{suwuk}})}{18 \cdot \mu} \cdot g \cdot 0,8431 \cdot \lg\left(\frac{\Phi}{0,065}\right). \quad (2)$$

(1) we (2) deňlemeler suwuklygyň laminar hereketinde, $Re \leq 0,2$ bolan halatynda peýdalanylýar.

Turbulent akys kadasynda ($Re > 500$) çöküş tizligi aşakdaky aňlatmalar arkaly kesgitlenilýär:

$\Phi = 1$ bolanda

$$w = 1,74 \cdot \sqrt{\frac{d \cdot (\rho_{\text{gaty}} - \rho_{\text{suwuk}})}{\mu}} \cdot g. \quad (3)$$

$\Phi \neq 1$ bolanda

$$w = 1,74 \cdot \sqrt{\frac{d \cdot (\rho_{\text{gaty}} - \rho_{\text{suwuk}})}{\mu}} \cdot (12,1 - 11,1 \cdot \Phi)^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

4. Durylanyş prosesiniň öndürilijligi aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$V = w \cdot F, \quad [m^3/\text{sek}] \quad (5)$$

bu ýerde V – durylanan suwuklygyň wagt birliginde alnan göwrümi;

F – durylandyryjynyň düýbünüň meýdany, m^2 ; w – çöküş prosesiniň tizligi.

Aňlatmadan görnüşi ýaly durylandyryjynyň öndürilijligi onuň beňikligine bagly däl. Şonuň üçin hem olaryň beýikligi adatça $2,5 \div 3,5$ metr alnýar.

Süzüliş

1. Süzüliş (filtrleyiş) – munuň özi birmeňzeş däl ulgamlary gaty fazany saklap alyp galýan we bütinleýin fazany (suwuklyk ýa-da gaz) üstünden geçirýän öýjükli germewleri ulanmak arkaly bölüniş prosesidir. Suwuklykda we onuň içinde paýlanyp ýaýran gaty bölejiklerden ybarat suspenziýany süzgüç (filtr) arkaly amal aşyrylýar (sur. 28). Iň ýönekeý görnüşde ol – öýjükli süzüji germew bilen ikä bölünen gapdyr. Bu gabyň bir böleginde suspenziýany süzüji germew bilen galtaşan ýagdaýda ýerleşdirýärler. Gabyň bölünen böleklerinde basyşlaryň tapawudyny döredýärler. Şonuň netije-sinde bolsa suwuklyk süzüji germewden geçirilýär. Şunlukda suspenziýa arassa **filtrata** we öllenen (yzgarly) **çökündä** bölünýär.

Basyşlaryň tapawudyny üç usul arkaly döretse bolýar:

1. Suspenziýanyň gatlagynyň gidrostatiki ba-syşynyň hasabyna – $5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ -a

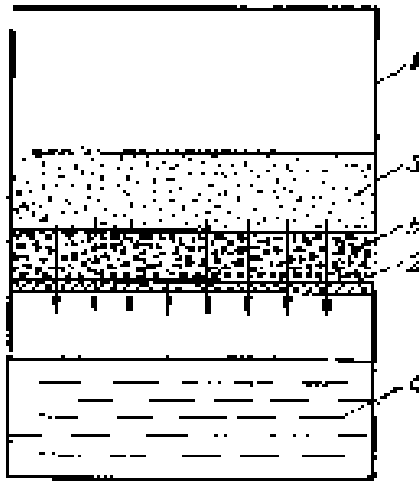
($0,5 \cdot 10^4 \text{ kgg/m}^2$ -a) çenli;

2. Süzüji germewiň ýokarsynda (üstünde) ýokary basyşyň döredilmeginiň hasabyna:

a) gysylan howanyň köp bolmadyk basyşy astynda – $30 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ ($3 \cdot 10^4 \text{ kgg/m}^2$);

b) suspenziýa porşenli ýa-da merkezden daşlaşýan nasoslar arkaly berlende – $50 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ ($5 \cdot 10^4 \text{ kgg/m}^2$) we ondan-da köp;

3. Süzüji germewiň aşagynda gowzaýyş ýa-da boşluk (wakuum) döredil-meginiň hasabyna – $5 \cdot 10^4 \div 9 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ ($0,5 \cdot 10^4 \div 0,9 \cdot 10^4 \text{ kgg/m}^2$).



Sur.1. Süzüliş prosesiniñ shemasy:

- 1 - süzgüç (filtr); 2 - süzüji (öýjükli germew); 3 - suspenziýa;
4 - filtrat; 5 - çökündi

2. Süzüliş prosesleri süzgüç diýlip atlandyrylýan apparatlarda geçirilýär.

Süzgüçleri klaslara bölmek üçin dürli häsiýetnamalar ulanylýar:

I. İşleýiş prinsiplerine görä:

1. Periodik (gaýtalanyp işleýän) we
2. Üznüksiz işleýän süzgüçler bar.

II. Basyşlar tapawudynyň döredilişiniň usullary boýunça:

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

III. Tehnologik alamatyna görä:

1. Gaz süzgüçleri (gazlary arassalamak üçin);
2. Suwuklyk süzgüçleri (suwuklyklary arassalamakda ulanylýan) bolup bilýär.

IV. Gurluşlary boýunça:

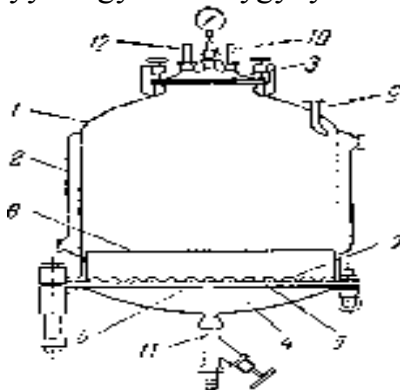
a) gaz süzgüçleri:

1. Tekiz süzüji germewli we

2. Batareýa süzgüçlerine bölünýärler.
- b) suwuklyk süzgüçleriniň:
1. Deprek (baraban) görnüşli;
 2. Disk görnüşli;
 3. Talas (lenta) görnüşli;
 4. Aýlaw (karusel) görnüşli;
 5. Telär (rama) görnüşli we ş.m.kysymdaky görnüşleri bar.

Suwuklyk süzgüçleri

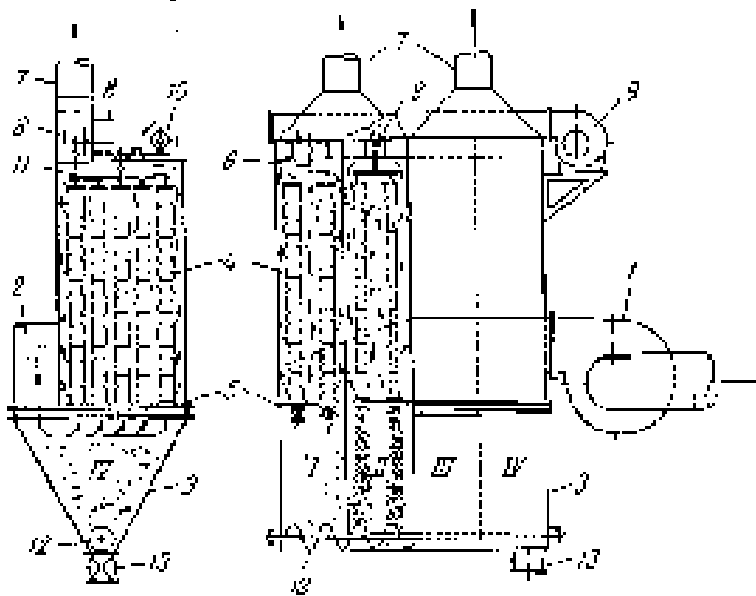
Olaryň içinde has giňden ýaýrany **nutç-filtrler**, olar wakuum astynda ýa-da ýokary basyşda (sur. 3) işleýär. Nutç-filtrleriň artykmaçlygy – olaryň düzgütleriniň (konstruksiýasynyň, gurluşynyň) ýönekeýligi; kemçiligi bolsa, çökündini el bilen aýyrmagyň zerurlygydyr.



Sur. 3. Üç atmosfera çenli basyş astynda işleýän süzgüç:

- 1 - korpus; 2 - köýnek; 3 - süýşýän düýp-gapak; 4 - süýşýän düýp-gapak (aşagy); 5 - süzüji germew; 6 - direg germewi; 7 - gorag gözenegi; 8 - halkalaýyn germew; 9 - suspenziýa berilýän ştuser; 10 - gysylan howa berilýän ştuser; 11 - filtrar äkidilýän ştuser; 12 - önüni alyjy gorag gapajygy (klapan)

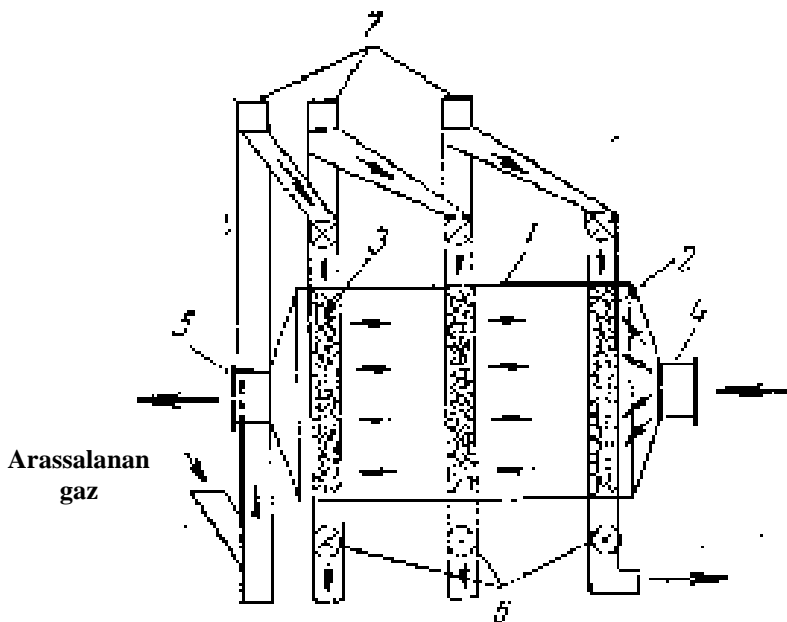
Gaz süzgüçleri



Sur.4. Mehaniki silkeleýjili we mata yzynyň üflemligi gurally ýeňleýin süzgüç:

I-IV - süzgüjiň seksiyalary (bölümleri); 1, 9 - şemalladyjylar (wentilýatorlar); 2 - giriş gazgeçidi; 3 - kamera; 4 - ýeňler; 5 - paýlaýjy gözenek; 6, 8 - drossel klanalary; 7 - tüsse çykar turba; 10 - silkeleýji mehanizm; 11 - daýanç diregi (rama); 12 - şnek; 13 - şlýuz böwedini (zatwor)

Zireleýin materially süzgüçler



Sur.5. Zirelevin süzüji materialy hereketdäki gatlakda bolan üznüksiz işleýän süzgüçler:

- 1 - korpus; 2 - süzüji germew; 3 - süzüji material (şlak, koks, kwars çägesi, çagyl we ş.m.); 4 - girelge ştuseri; 5 - çykalga ştuseri; 6 - böwetler (zatworlar); 7 - iýmitlendiriji

Birmeňzeş däl ulgamlary merkezden gaçýan güýçleriň täsiri meýdanynda bölünmegi

1. Sentrifugirleme - munuň özi merkezden daşlaşýan güýjüň meýdanynda bütewi ya-da suwuklygy üstünden geçirýän germewi ulanmak bilen birmeňzeş däl ulgamlaryň (emulsiýanyň, suspenziýanyň) bölüniş prosesidir. Prosesiň hereketlendiriji güýji merkezden daşlaşýan güýçdir. Netijede, çökündi we fugat diýlip atlandyrylýan suwuk faza bölünýär.

Sentrifugirlemegiň iki görnüşi bolýar.

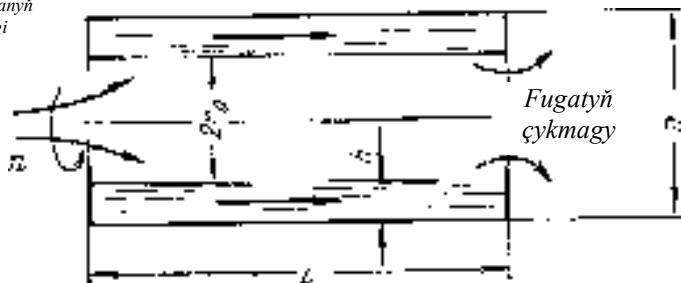
1. Durulandyryjy sentrifugalar;
2. Süzüji sentrifugalar.

Durulandyryjy sentrifugalarda

Bitewi diwarly durulandyryjy sentrifugalarda suspenziýalar, emulsiýalar durylanýş prinsipi boýunça amala aşyrylýar, şunlukda, agyrlyk güýji merkezden daşlaşdyryjy güýçleri bilen çalşylýar.

Durulandyryjy sentrifugalarda bolup geçýän prosesler 1-nji suratda görkezilen.

*Suspenziýanyň
gelmegi*



Sur.1. Durulandyryjy sentrifuga

$D_0 = 2 \cdot r_0$ - bölüniş amala aşýan zonanyň diametri; D - depregiň diametri; r - radius

Merkezden daşlaşdyrýan P_{merk} güýç aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$P_{\text{merk}} = \frac{m \cdot u^2}{r}, \quad (1)$$

bu ýerde $u = \omega \cdot r$ - töwerekleýin tizlik; ω - burçlaýyn tizlik;
 P_{merk} - merkezden daşlaşdyrýan güýç.

onda

$$P_{\text{merk}} = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot r^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r = \frac{P_{\text{agryl.}}}{g} \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (2)$$

bu ýerde $P_{\text{agryl.}}$ - agyrlyk güýji.

Merkezden daşlaşdyrylýan we agyrlýk $P_{\text{agyrl.}}$ güýçleriniň gatnaşygy şeýle aňladylýar

$$\frac{P_{\text{merk}}}{P_{\text{agyrl.}}} = \frac{\omega^2 \cdot r}{g}. \quad (3)$$

Şeýlelikde, (3) deňlemenden görnüşi ýaly merkezden daşlaşdyrylýan P_{merk} güýç agyrlýk $P_{\text{agyrl.}}$ güýçden $\frac{\omega^2 \cdot r}{g}$ esse ulydyr. Diýmek, sentrifugirleme prosesi durylandyryşa garanda has netijelidir. $\frac{P_{\text{merk}}}{P_{\text{agyrl.}}}$ ululyga bölünüş faktory diýilýär we Φ harpy bilen belgilenýär:

$$\Phi = \frac{P_{\text{merk}}}{P_{\text{agyrl.}}} = \frac{\omega^2 \cdot r}{g};$$

Burçlaýyn ω tizlik aýlanma n ýygylýk arkaly hem aňladylýar:

$$\omega^2 = \frac{n^2 \cdot \pi^2}{900},$$

onda ýerine goýup alarys:

$$\Phi = \frac{P_{\text{merk}}}{P_{\text{agyrl.}}} = \frac{D \cdot n^2}{1800},$$

bu ýerde n - aýlanma ýygylýgy.

Bu aňlatmany derňäp şeýle netijä gelse bolýar:

1. Sentrifugirleme durulandyrys bilen deňeşdirende $\frac{D \cdot n^2}{1800}$

esse utuş berýär;

2. Sentrifugirlemäniň netijeliligini iki faktoryň hasabyna ýokarlandyrylsa bolýar. Olar:

a) Diametri ulaltmak;

b) Depregiň ýa-da rotoryň aýlanyş sanyny ulaltmak.

3. Diametri ulaltmak bilen deňeşdirilende aýlanyş sanyny köpeltmek has netijelidir.

2. Suspenziýalaryň we emulsiýalaryň bölüniş derejesi, şeýle hem sentrifugalaryň öndürijiligi bölüniş faktoryna we rotoryň

üst ýüzüniň $\Phi = \frac{\omega^2 \cdot r}{g}$ ululygyna baglydyr.

Durulandyryjy sentrifugalaryň öndürijiligi aşakdaky aňlatma boýunça hasaplanylýar:

$$V_{\text{sagat}} = \frac{900 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot H}{\tau_{\text{çök}}}, m^3/sec,$$

bu ýerde V_{sagat} – goýberilýän suspenziýanyň göwrümi, m^3 ;

H – depregiň ýa-da suspenziýanyň beýikligi, m ;

$\tau_{\text{çök}}$ – çökdürilişin dowamlylygy, sek .

Süzüji sentrifugalaryň öndürijiligi bolsa, aşakdaky ýaly kesgitlenilýär:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot H \cdot z, m^3/sag,$$

bu ýerde – siklleriň (gaýtalanmalaryň) sagatdaky sany;

$\Sigma \tau$ – doly sikliň dowamlylygy.

Doly sikl aşakdaky operasiýalary öz içine alýar:

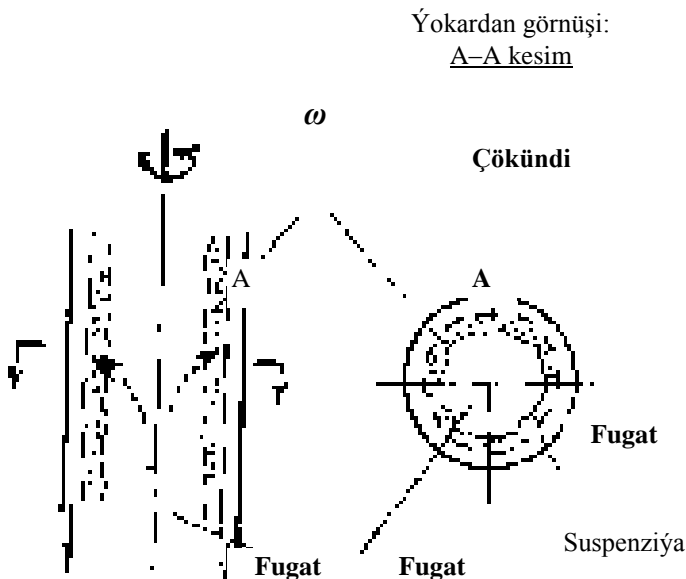
1. Suspenziýanyň berilmegi:

2. Depregiň işledilip başladylmagy we bat almagy;
3. Sentrifugirleme prosesi;
4. Çökündiniň ýuwulmagy;
5. Goşmaça sykym;
6. Togtadylma (duruzma);
7. Çökündiniň aýrylyp düşürilişi.

Süzüji sentrifugalar

Üstünden suwuklyk geçip bilýän germewli (diwarly) süzüji sentrifugalar (sur. 34) bölüniş prosesi emulsiýalar, suspenziýalar süzüliş prinsipi boýunça amala aşyrylýar. Seýleklikde basyşlaryň tapawudyna derek merkezden daşlaşma güýjünden peýdalanylýar.

Merkezden daşlaşdyrýan güýji ulan-mak arkaly süzülişden esasan deňeşdi-rilende suwuk fazasy az bolan suspenziýalardan we şamlardan gaty fazany bölüp alnanda peýdalanylýar.



Süzüji sentrifugalardaky prosesler

Süzüliş prinsipi boýunça geçýän sentrifugirleme iç ýüzünden süzüji material bilen örtülen, dyngysyz aýlanýan rotory bolan, siklleýin (gaýtalanyp) işleýän sentrifugalarda amala aşyrylýar.

Merkezden daşlaşýan süzülişiň artykmaçlyklary aşakdakylardan ybarat:

1. Iri kristally çökündi emele gelýär we onuň häsiýetlerini üýtgedip bolýar;

2. Çökündiniň ahyrky çyglylygy pes we goşmaça guratma hökman däl.

3. Çökündini ýuwup 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.

3. Sentrifugalar aşakdaky alamatlar boýunça klaslara bölünýärler:

1. Bölüniş Φ faktorynyň ululygyna baglylykda sentrifugalar ik topara bölünýärler:

a) normal sentrifugalar ($\Phi < 3500$);

b) arş sentrifugalary ($\Phi > 3500$).

2. Aýlanma okunyň ýerleşşi boýunça sentrifugalaryň:

a) dik (wertikal);

b) ýapgyt;

ç) kese (gorizontal) görnüşleri bolýar.

3. İşleýiş prinsipine laýyklykda:

a) periodik we

b) üznüksiz işleýän sentrifugalara bölünýärler.

4. Düzgütlerine (konstruksiýalaryna) görä:
 - a) awtomatik;
 - b) ýarym awtomatik;
 - ç) mehaniki işleýän görnüşleri bolýar.
 5. Tehnologik deňişiligi boýunça:
 - a) durylandyryjylar (suwuk fazanyň gaty garyndylardan arassalanmagy üçin);
 - b) konsentrirleýjiler (goýaldylan suspenziýalar üçin);
 - ç) bölüjiler (emulsiýalary we suspenziýalary bölmek üçin).
- Sentrifugirleme prosesi iň gymmat prosesleriň biridir.

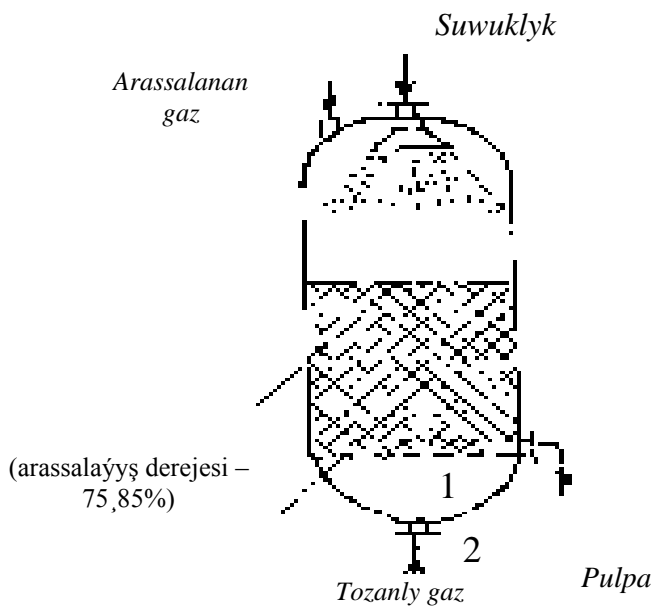
Birmeňzeşdäl ulgamyň bölünmeginde ýörite usullar

1. Gazlary tozan bölejiklerinden has inçe arassalamak üçin öllenip arassalanylyşy – gazlary suw ýa-da başga bir suwuklyk bilen ýuwma usuly ulanylýar.

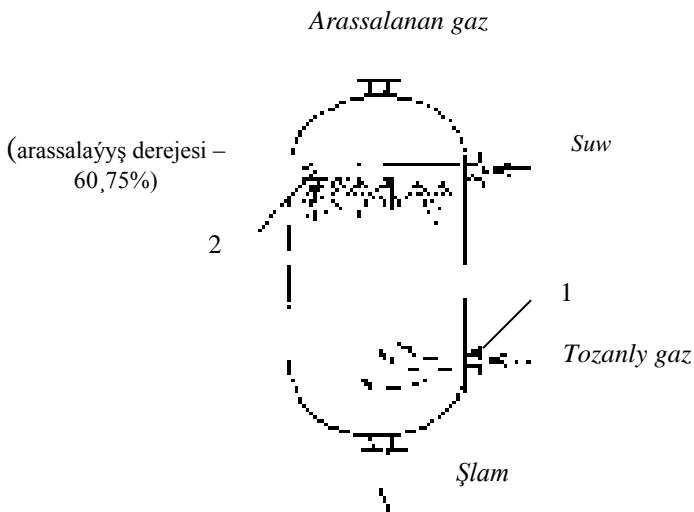
Suwuklyk bilen tozanly gazyň arasyndaky jebis özara täsir ölleýän tozantutujylarda amala aşyrylýar.

Goýulma hökmünde hordalaýyn we halkala-ýyn goýulmalar, koks, kwars ulanylýar.

2. Suwuklyk bilen ölmek arkaly arassalanyş usulynda ulanylýan skrubberler 1-nji, 2-nji we 3-nji suratlarda görkezilen. Olaryň kemçiligi dökülip harçlanýan suwuklygyň mukdarynyň köplügidir. Ulanylan suw apparatlary poslama (korroziýa) sezewar edýär, ondan ýene-de peýdalanmak üçin bölünişe we aras-salanyşa ugrukdyrmaly bolýar.



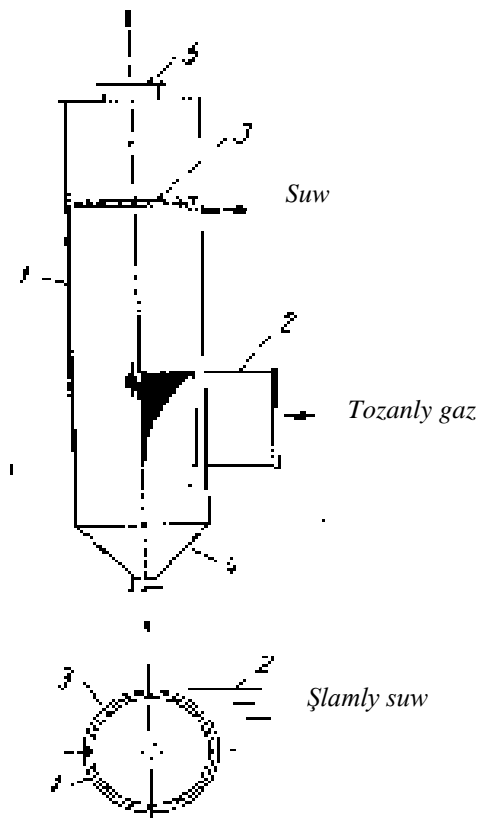
Sur. 1. Goýulmaly skrubber: 1 - goýulmalar; 2 - gözenek germew



Sur. 2. Içi boş skrubber:

1 - korpus; 2 - paýlap pürküji

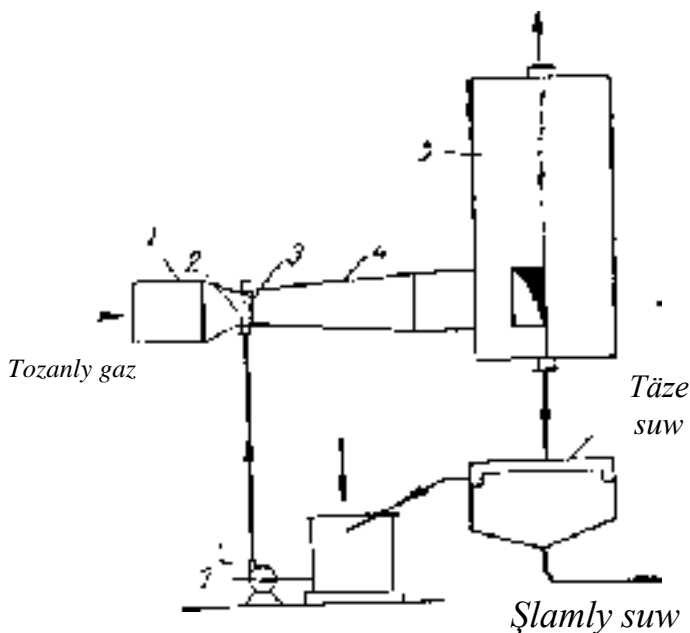
Arassalanan gaz.



Sur. 3. Merkezden daşlaşdyrýan skrubber (arassalaýyş derejesi – 95%):
1 - korpus; 2 - giriş turbasy; 3 - lüle; 4 - konus şekilli düýp; 5- çykyş turbasy;

Gazlary ýokary dispersli tozandan inçeden arassalamak üçin çüwdürimli turbulent gaz ýuwujylary – Wenturi skrubberleri (sur. 4) ulanylýar.

Arassalanan gaz



Sur. 4. Wenturi skrubberiniň shemasy

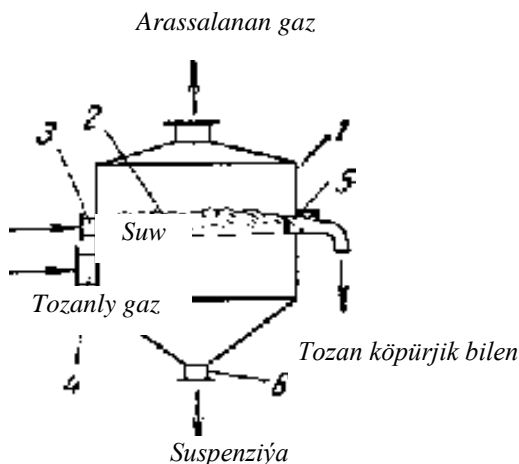
- 1 - konfuzor; 2 - bokurdaklyk; 3 - suwuklyk girizmek üçin deşik; 4 - diffuzor; 5 - siklonlaýyn separator;
6 - durylandyryjy; 7 - sorup-iteriji (nasos)

Suwuklyk bokurdaklyga agdyklyk edýän basyş astynda berilýär, we ol gaz akym toplумы bilen kaklyşyp uşak damjalarla tozap gidýär. Tozan bölejikleri bilen kaklyşanda damjalar olary ýuwdup ulalýarlar we gaz toplумы bilen bilelikde diffuzora düşýärler. Bu ýerde akym toplumynyň tizligi peselip, ol siklon görnüşli separatora girýär. Sik-londa merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri astynda tozan garyşan damjalar gazdan aýrylýarlar we şlam bilen bilelikde durylandyryja barýarlar.

Wenturi skrubberinde örän uşak tozan bölejikleri hem alnyp galynýar – apparatyň arassalaýyş derejesi 99%-dir.

Biçak hapаланan, meselem, teh-nologiki, zyňylyp çykýan, tüsseleýin we ş.m. gazlary arassalamak üçin barbotаж (köpürjikleýin) tozantutujylar (sur. 4) ulanylýar.

Bu apparatlarda tozanly gaz deşik-deşik (perforirlenen) tabagyň astyndan berilýär. Tabagyň deşiklerinden geçen gaz suwuklygyň içinden parran geçip barbotirlenýär we onuň tutuş gatlagyny hereketdäki köpürjige öwürýär. Bu bolsa öz gezeginde suwuklyk bilen gazyň arasynda ýokary galtaşyk üstüň emele gelmegini, degişlilikde ýokary arassalaýyş derejesini (95÷99%) üpjün edýär. Suwuklyk arkaly ýuwdulan (~80%) tozan köpürjik bilen 1 ştuserden çykarylýar. Galan (~20%) suwuklyk tabagyň deşiklerinden aşak dökülip tabakasty giňişlikde has iri tozan bölejiklerini tutup alyp galýar. Şunlukda emele gelen suspenziýa 2 döküliş ştuserinden çykarylýp aýrylýar.



Sur. 5. Barbotažlaýyn (köpürjikleýin) tozantutujy:

- 1 - kamera; 2 - perforirlenen deşik-deşik tabak; 3 - suw goýbermek üçin ştuser;
- 4 - tozanly gazy girizmek üçin turba-girelge; 5 - bosaga; 6 - döküliş ştuseri

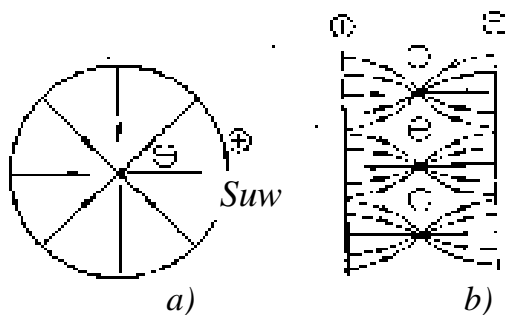
Has ýokary arassalanýş derejeli gaz almak üçin apparatda goşmaça parallel ýerleşdirilen tabaklar goýýarlar.

3. Gazlaryň elektrikleýin arassalanýlyşy – munuň özi elektrik meýdanynda çökdürişdir. Elektriki arassalanýş usuly arassalanýş derejesini 99,9%-e çenli ýetirmäge mümkinçilik berýär.

Prosesiň fiziki esaslary

Elektrik arassalanma gazyň molekularynyň elektrik razrýady arkaly ionlaşmagyna esaslanandyr. Eger-de ionlaşan gazy ýokary dartgynlykly hemişelik elektrik akymy goýberilen iki sany elektrodyň meýdanynda ýerleşdirilse, onda ionlar we elektronlar güýçleýin liniýalaryň (çyzyklaryň) ugurlary boýunça hereket edip başlarlar. Gaz doly ionlaşdyrylanda elektrod-laryň arasynda elektrik razrýadynyň döremeginiň şerti ýüze çykýar. Elektrik meýdanynyň dartgynlylygynyň soňraky ýokarlandyrylmagynda uçgun böküp geçmegi, soňra bolsa elektrik deşiliş we gysgalaýyn utgaşma bolmagy ähtimal. Şeýle bolmazlygy üçin sim görnüşindäki elektrodлары turbanyň oky boýunça (sur. 6, *a*) ýa-da bolmasa parallel (sur. 6, *b*) ýerleşdirilen plastinalary arasyndan çekip gurnamak arkaly birsydyrgyn bolmadyk elektrik meýdanyny döredýärler.

Bir sydyrgyn bolmadyk elektrik meýdanynda, haçanda elektrodлар üst ýüzüniň ululygy boýunça biçak tapawutlananlarynda, şeýle meýdanyň dürli nokatlarynda dartgynlylyk birmeňzeş bolmaýar. Iň ýokary dartgynlylyk inçejik elektrodda bolýar. Doly ionlaşdyrylma üçin ýeterlik dartgynlylyk bolanda elektrodларыň arasynda garaňkyda mawymelewşe şöhlemenmesi bilen bolup geçýän täçleýin razrýad ýüze çykýar. Täjiň töwereginde otrisatel zarýadларыň köp mukdary üýşýär.

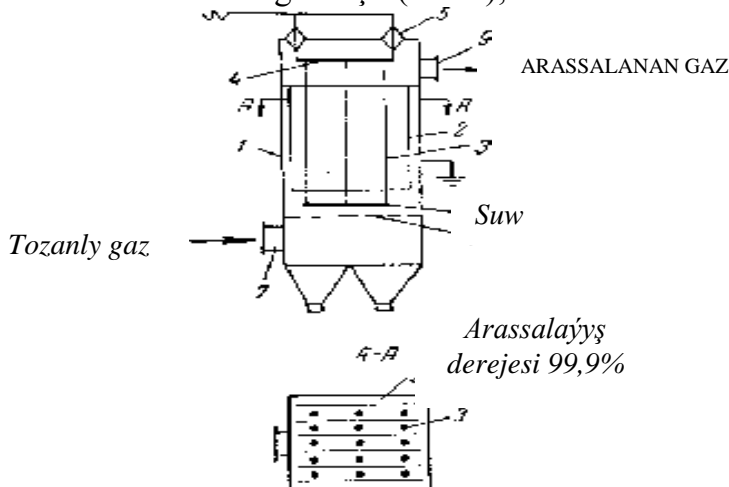


Sur. 6. Birsydyrgyn bolmadyk elektrik meýdanyny döretmek üçin elektrodларыň ýerleşdirilişi

Inçejik sim položitel zarýadlanan, ýagny ol elektrik akym çeşmesiniň položitel polýusyna birikdirilen. Elektrik meýdanynyň täsiri astynda položitel ionlar täçlenýän elektroda tarap hereket edýärler we onuň üstünde zarýadlaryny ýitirýärler (neýtrallaşýarlar), otrisatel ionlar we elektronlar çökdüriji elektroda tarap süýşýärler. Tozanyň çökýän elektrodyna çökdüriji elektrod diýilýär.

3. Elektrik süzgüçler çökdüriji elektrodyň durky (formasy) boýunça tapa-wutlanýarlar:

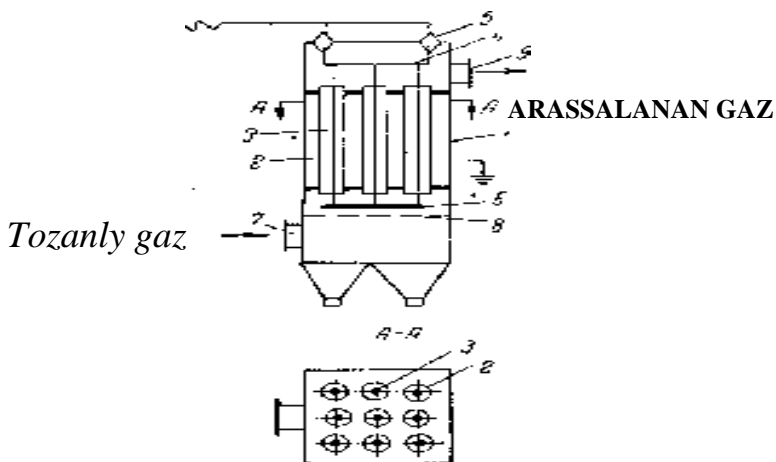
1. Turba görnüşli (sur. 7);



Sur. 7. Turba görnüşli elektrik süzgüjiň shemasy:

1 - kamera; 2 - çökdüriji elektrod; 3 - täçlen-ýän elektrod; 4 - daýanç-direg; 5 - izolýator; 6 - daýanç-direg; 7 - giriş gazgeçirijisi; 8 - paýlaýjy gözenek; 9 - çykyş gazgeçirijisi

2. Plastina görnüşli (sur. 8).



Sur. 9. Plastina görnüşli elektrik süzgüjiň shemasy:

1 - kamera; 2 - çökdüriji elektrod; 3 - täçlen-ýän elektrod; 4 - daýanç-direg; 5 - izolýator; 6 - daýanç-direg; 7 - giriş gazgeçirijisi; 8 - paýlaýjy gözenek; 9 - çykyş gazgeçirijisi

Plastina görnüşli elektrik çökdürijiler öz düzgütleri (konstruksiýalary boýunça has ykjam, has uly çökdüriji üst ýüzi bar, az metal harçlanýar. Olar beýleki çökdürijilerden gurnamaklygy ýönekeýligi bilen tapawutlanýarlar.

Turba şekilli elektrik çökdürijilerde elektrik meýdanynyň has uly adrtgynlylygyny döretmekligiň mümkinçiligi bar we degişlilikde gazy ýokary tizlikde goýberse bolýar, ýagny olaryň öndüriligi ýokary. Olarda aram çyglylykly gazlardan tutup alyp galmasý kyn bolan tozanlar aňsat aýrylýar.

Ýylylyk prosesleri we apparatlary

1. Himiýa senagatynda prosesleriň aglabasy diňe bir ýylylyk çalyşma bilen däl, eýsem hem ýylylyk, hem massaçalyşma bilen geçýär. Olara sowatmak, gyzdymak, bugartmak, konedensasiýa, rektifikasiýa, desorbsiýa, guratmak we başgalar degişli. Şonuň üçin, ýylylyk alyş-çalyşyny talap edilýän prosesleriniň önümleeriniň hili we mukdary, ýylylyk bilen üpjün etmeklik, ýagny ýylylyk prosesleriniň netijesi bilen kesgitlenýär. Temperaturalary boýunça tapawutlanýan

jisimleriniň arasynda bolup geçýän energiýanyň ýylylyk görnüşde* geçişe **ýylylyk çalyşma** diýilýär. Ýylylyk çalyşmanyň islendik prosesiniň hereketlendiriji güýji has ýokary gyzdýrylan we has pes gyzgynlykly jisimleriniň temperaturalarynyň tapawudydyr. Şeýle tapawut bolanda ýylylyk termodinamikasynyň ikinji kanunyna laýyklykda öz-özünden has gaty gyzgynlykly jisimden az gyzgynlykly jisime geçýär. Jisimleriniň arasyndaky ýylylyk çalyşyş molekulalaryň, atomlaryň we erkin elektronlaryň arasyndaky energiýa çalyşmasydyr; ýylylyk çalyşmagynyň netijesinde has gyzgyn jisimiň bölejikleriniň hereketiniň depginliligi peselýär, gyzgynlygy pes jisimiňki bolsa ýokarlanýar.

Ýylylyk çalyşyş gatnaşýan jisimlere **ýylylykgöterijiler** diýilýär.

2. Ýylylyk geçiriş – munuň özi ýylylygyň ýaýramagy barada ylymdyr. Ýylylyk geçiriş kanunlary ýylylyk prosesleriniň – gyzdýryşyň, sowadyşyň, buglaryň kondensasiýasynyň, bugartmagyň esasy tutýar we himiki tilsimatynyň ýylylygyň berilmegi we aýrylmagy bilen geçýän massaçalyşma (bugardyp kowma, guratma we beýl.) şeýle hem reaksiýa prosesleriniň köpüsini geçirmek üçin ähmiýeti uludyr.

Ýylylygyň ýaýramagy biri-birinden düýpli tapawutlanýan üç sany elementar usuly bar, olar: **ýylylyk geçirijilik, konweksiýa we ýylylyk şöhlelenmegi.**

Ýylylyk geçirijilik – munuň özi biri-biri bilen gönüden-göni galtaşýan mikrobölejikleriň tertipsiz (ýylylyklaýyn) hereketiniň netijesinde ýylylyk geçirilişidir. Bu hereket – molekulalaryň (gazlar, damja suwuklyklary) özleleriniň hereketi ýa-da atomlaryň (gaty jisimleriniň kristallik gözeneginiň) yrgyldysy, ýa-da erkin elektronlaryň (metallarda) diffuziýasy bolup biler. Adatça gaty jisimlerde ýylylyk geçirijilik ýylylygyň ýaýramagynyň esasy görnüş bolup durýar.

Konweksiýa diýlip gazyň ýa-da suwuklygyň makroskopik (uly) göwrüminiň hereketi we garyşdyrylmagy netijesinde ýylylygyň geçirilişine aýdylýar. Onuň iki görnüşini bolýar:

1. Tebigy (erkin) konweksiýa we
2. Mejbury konweksiýa.

Ýylylyk geçirilmegi suwuklygyň (gazyň) göwrüminiň dürli nokatlaryň-daky temperaturalaryň tapawudynyň ýüze çykmagy netijesinde şol nokatlardaky dyklylyklaryň tapawudy bilen şertlendirilen tebigy, ýa-da **erkin konweksiýanyň**, şeýle hem suwuklygyň ähli göwrüminiň mejbury hereketindäki, meselem, ony garyşdyryjy bilen garyşdyrylandaky **mejbury konweksiýanyň** şertlerinde amala aşyrylmagy mümkindir.

*)Gelejekde bu prosese gysgaça ýylylyk geçiş prosesi diýeris.

Ýylylyk şöhlelenmesi – munuň özi şöhlelenýän jisimiň atomlarynyň ýa-da molekulalarynyň ýylylyklaýyn hereketi bilen şertlendirilen dürli uzynlykdaky tolkunly elektromagnit yrgyldylarynyň ýaýrama prosesidir. Ähli jisimler beýleki jisimler arkaly ýuwdulan (siňdirilen) we täzedan ýene-den ýylylyga öwürülýän energiýany şöhlendirmäge ukyplydyr. Şeýlelikde, şöhleleýin ýylylyk çalyşma amala aşyrylýar, ol **şöhlegoýberme** we **şöhlesiňdirme** (ýuwutma) proseslerinden ybaratdyr.

Hakyky (real) şertlerde ýylylyk ýokarda görkezilen usullaryň haýsy hem bolsa biri bilen geçirilmän, eýsem bu usullaryň kombinasiýasy görnüşinde geçirilýär. Meselem, gaty diwar hem-de onuň bilen galtaşýan gaz göwrüminiň arasynda ýylylyk bir wagtda konweksiýa, ýylylyk geçirijilik we şöhlelenme usullary arkaly geçirilýär. Ýylylygyň gaty diwardan gaz (suwuk) göwürüme ýa-da ters ugra geçirilmegine **ýylylyk berliş** diýilýär. Mundan hem çylşyrymly proses – ýylylygyň has gyzan suwuklykdan (gazdan) pes gyzan suwuklyga olary

bölyän üst ýüzden ýa-da diwardan geçişidir. Bu prosese *ýylylyk geçirijilik* diýilýär.

Ýylylyk geçiri prosesinde konweksiýa arkaly ýylylyk geçişe ýylylyk geçirijilik we şöhlenenmeli ýylylyk çalyşma gatnaşýar. Emma kesgitli şertler üçin ýylylygyň ýaýramagynyň haýsy hem bolsa biri adatydyr.

Üznüksiz işleýän apparatlarda dürli nokatlardaky temperaturalar wagta görä üýtgemeyärler we bolup geçýän ýylylyk çalyşma *kadalaşan* (*stasionar*) prosesdir. Periodik (üzňükli, gaýtalanyp) işleýän apparatlarda, ýagny dürli nokatlardaky temperaturalar wagta görä (gyzdyrylanda ýa-da sowadylanda) ýylylyk çalyşmanyň *kadalaşmadyk* ýa-da *stasionar däl prosesleri* amala aşyrylýar.

2. Ýylylyk çalyşýan apparatlaryň hasaplanylýşy aşakdakylary öz içine alýar:

1. Ýylylyk akym toplumynyň (apparatyň ýylylyk ýüki), ýagny bir ýylylyk göterijiden beýlekä belli bir kesgitli wagtda (üzňüksiz işleýän apparatlarda 1 sekuntda ýa-da periodiki (gaýtalanyp) işleýän apparatlarda 1 sagatda) geçiril-meli Q ýylylyk mukdaryny kesgitlemek. Ýylylyk akym toplumu ýylylyk deňliliklerini (balanslaryny) düzülmegi we çözülmegi arkaly hasaplanýar.

2. Apparatyň berlen wagtda ýylylygyň talap edilýän mukdarynyň geçirilişini üpjün edýän ýylylyk çalyşyş üst F ýüzüni kesgitlemek. Ýylylyk çalyşyşyň F üst ýüzi ýylylygyň ýylylyk geçirijilik, konweksiýa, şöhlenenme we olaryň biri-biri bilen utgaşdyrylandaky geçiriliş mehanizmine bagly bolan ýylylyk geçirijiň tizligi bilen kesgitlenilýär. Ýylylyk çalyşma üst ýüzi ýylylyk geçirijiň esasy deňlemesinden tapylýar.

3. Wagt birliginde, has gyzgyn temperaturasy bolan gurşawdan has pes gyzgynlygy bolan gurşawa diwar arkaly geçirilýän ýylylyk mukdaryny kesgitleliň.

τ Wagtda, has gyzgyn gurşawdan diwara berilýän ýylylygyň mukdaryny ýylylyk gowşurma deňlemesinden

$$Q' = \alpha_1 F \tau (t_1 - t_{\text{diw}1})$$

Diwar gatlaklaryndan ýylylyk geçirijilik ýoly bilen geçýän ýylylyk mukdary:

$$Q' = (\chi_1 / \delta_1) F \tau (t_{\text{diw}1} - t_{\text{diw}1}')$$

We

$$Q' = (\chi_2 / \delta_2) F \tau (t_{\text{diw}1}' - t_{\text{diw}2})$$

Diwardan has gyzgyn gurşawa berilýän ýylylygyň mukdary

$$Q' = \alpha_2 F \tau (t_{\text{diw}2} - t_2)$$

Q' üçin alnan aňlatmalary aşakdaky görnüşde ýazýarys:

$$Q' / \alpha_1 = F \tau (t_1 - t_{\text{diw}1}')$$

$$Q' (\chi_1 / \delta_1) = F \tau (t_{\text{diw}1} - t_{\text{diw}1}')$$

$$Q' (\chi_2 / \delta_2) = F \tau (t_{\text{diw}1}' - t_{\text{diw}2})$$

$$Q' / \alpha_2 = F \tau (t_{\text{diw}2} - t_2')$$

Deňlemeleri goşup, aşakdaky deňlemeleri alarys:

$$Q' (1 / \alpha_1 + \chi_1 / \delta_1 + \chi_2 / \delta_2 + 1 / \alpha_2) = F \tau (t_1 - t_2)$$

ýa-da

$$Q' = (1 / (1 / \alpha_1 + \chi_1 / \delta_1 + \chi_2 / \delta_2 + 1 / \alpha_2)) F \tau (t_1 - t_2)$$

$\tau = 1$ bolanda

$$Q = (1 / (1 / \alpha_1 + \Sigma \chi / \delta + 1 / \alpha_2)) F \tau (t_1 - t_2)$$

Deňlemäniň sag tarapyndaky köpeltmek hasylyna **ýylylyk geçirme koeffisiýenti** diýilýär:

$$K = 1 / (1/\alpha_1 + \Sigma \chi/\delta + 1/\alpha_2)$$

$$K = Q / F\tau (t_1 - t_2) = j / m^2 \cdot \text{sek} \cdot \text{grad} = \text{wt} / m^2 \cdot \text{grad}$$

4. Gyzgynlygy has ýokary bolan ýylylyk göterijiden berilýän ýylylyk (Q_1), has sowuk göterijini (Q_2) gyzdyrmak üçin we az mukdarda daşky gurşawa ýitgä (Q_y) harçlanýar. Onda ýylylyk balans deňlik bilen aňladylar:

$$Q_1 = Q_2 + Q_y$$

Goý, has ýokary bolan ýylylyk göterijiniň mukdaryny G_1 , onuň girelgedäki entalpiýasyny I_{1b} , çykalgadakysyny I_{1a} , degişlilikde has sowuk göterijiniňkini G_2 , onuň başlangyç entalpiýasyny I_{1b} , ahyrkysyny I_{2a} diýip bellesek, onda ýylylyk balansynyň deňlemesi:

$$Q = G_1 (I_{1b} - I_{1a}) = G_2 (I_{2a} - I_{2b})$$

Ýylylyk geçirijilik

1. Biri-biri bilen gönüden-göni galtaşýan mikrobölejikleriň tertipsiz (ýylylyklaýyn) hereketiniň netijesinde ýylylyk geçirilişe **ýylylyk geçirijilik** diýilär. Bu hereket – molekulalaryň (gazlar, damja suwuklyklary) özleriniň hereketi ýa-da atomlaryň (gaty jisimleriň kristallik gözeneginiň) yrgyldysy, ýa-da erkin elektronlaryň (metallarda) diffuziýasy bolup biler. Adatça gaty jisimlerde ýylylyk geçirijilik ýylylygyň ýaýramagynyň esasy görnüşi bolup durýar.

Ýylylyk geçirilişiniň esasy deňlemesi

$$Q = K * F * t_{ort} * \tau \quad (8)$$

(8) deňleme durnuksyzlygy hasaba alnanada ýylylyk geçirijiligiň esasy deňlemesi

$$Q = K * F * t_{ort} \quad (9)$$

(9) deňleme durnuklaşan üznüksiz prosesler üçin ýylylyk geçirijiligiň esasy deňlemesi.

bu ýerde Q – gyzgyn geçirijiden sowuk geçirijä berilýän ýylylyk mukdary;

K – ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti;

t_{ort} – temperaturanyň ortaça tapawudy, ol prosesiň esasy hereketlendiriji güýji;

τ – wagt.

2. Tekiz diwaryň üsti bilen, gyzgyn ýylylyk geçirijiden sowuk geçirijä ýylylygyň geçirilmesiniň çylşyrymly prosesine seredeliň. Gyzgyn ýylylyk geçirijiniň gatlagynda T -den t_{diw1} çenli, diwaryň galyňlygynda t_{diw1} –den t_{diw2} -çenli, sowuk ýylylyk göterijiniň gatlagynda t_{diw1} -dan t çenli üýtgeýär.

Konweksiýa bilen gyzgyn ýylylyk geçirijiden diwara, ýylylyk geçirijilik bilen diwardan we konweksiýa bilen sowuk ýylylyk göterijä ýylylygyň berlişiniň deňlemesini ýazalyň:

$$Q_1 = \alpha_1 * F (T - t_{diw1})$$

$$Q_{diw} = (\chi/\delta) * F (t_{diw1} - t_{diw2})$$

$$Q_1 = \alpha_2 * F (t_{diw1} - t)$$

bu ýerde α_1 , α_2 – gyzgyn ýylylyk göterijiden diwara we diwardan sowuk ýylylyk göterijä ýylylyk berme koeffisiýenti.

Ýylylyk gowşurma üsti diwaryň üst ýüzüne deň we tekiz diwar ýagdaýynda hemişelik ululykdyr.

Durnuklaşan prosesde, gyzgyn ýylylyk göterijiden diwara (Q_1), diwar üstünden (Q_{diw}) we diwardan gyzgyn göterijä (Q_2) berilýän ýylylyk mukdary öz aralarynda deň bolmaly, ýagny

$$Q_1 = Q_{diw} = Q_2 = Q$$

(1) deňlemmeden temperatura itergisini kesgitläliň:

$$\begin{aligned}\theta_1 &= T - t_{\text{diw}} = Q / \alpha_1 * F \\ \theta_{\text{diw}} &= t_{\text{diw}} - t_{\text{diw}2} = Q / (\chi/\delta) * F \\ \theta_2 &= t_{\text{diw}2} - t = Q / \alpha_2 * F\end{aligned}\quad (2)$$

Umume temperatura itergisi:

$$\theta = T - t = Q / k * F$$

$q = Q / F$ – gatnaşyk wagt birliginde üst birliginden berilýän ýylylyk mukdary. Bu ululyga, ***udel ýylylyk agramy*** ýa-da ***ýylylyk akymynyň dykzlygy*** diýilýär (ölçeg birligi wt/m^2).

3. $r_1 = 1/\alpha_1$ we $r_1 = 1/\alpha_2$, ýylylyk gowşurma koeffisiýentiniň ters ululygyna, ýylylyk göterijiniň araçäk gatlagyndan ýylylyk geçendäki ***ýylylyk (termiki) garşylygy*** diýilýär. Şeýlelikde, $r_{\text{diw}} = \delta/\chi$ gatnaşygy diwaryň ýylylyk garşylygy, $r = 1/k$ bolsa bir ýylylyk geçirijiden beýlekä ýylylyk gowşurmadaky umumy ýylylyk garşylyk bolar. Ýylylyk garşylygynyň ölçeg birligi $\text{m}^2 * \text{grad}/\text{wt}$.

(2) Deňlemä ýylylyk agramyny we ýylylyk garşylygyny goýmak bilen aşakdaky deňlemäni alarys:

$$\begin{aligned}\theta_1 &= q * r_1 \\ \theta_{\text{diw}} &= q * r_{\text{diw}}\end{aligned}\quad (3)$$

$$\theta_2 = q * r_2$$

(2) Deňlemäni bolsa aşakdaky görnüşde ýazarys:

$$\theta = q * r \quad (4)$$

Temperatura itergileriniň jemine umumy temperatura itergisine deň

$$\theta_1 = \theta_{\text{diw}} = \theta_2 = \theta$$

onda, (3) we (4) deňlemelerdäki θ_1 , θ_{diw} , θ_2 bahalaryny goýup, gysgaldylandan soňra aşakdaky deňlemäni alarys:

$$r = r_1 = r_{diw} = r_2 \quad (5)$$

ýagny, umumy ýylylyk garşylygy aýratyn ýylylyk garşylyklarynyň jemine deň.

Ýokarda berlen ýylylyk garşylyklarynyň r , r_1 , r_{diw} , r_2 bahalaryny (5) deňlemede goýup tapýarys:

$$1/k = 1/\alpha_1 + \delta/\chi + 1/\alpha_2$$

ýa-da

$$k = 1 / (1/\alpha_1 + \delta/\chi + 1/\alpha_2) \quad (6)$$

Bu deňleme örän wajyp bolup, iki ýylylyk göterijiniň α_1 we α_2 ýylylyk gowşurma ýylylygy, şeýle hem olary bölýän diwaryň galyňlygy we ýylylyk geçirijiligi belli bolsa, ýylylyk bermek k koeffisiýentini hasaplamaga kömek berýär.

Ýylylyk gowşurma

1. Ýylylyk geçiriş – munuň özi ýylylygyň ýaýramagy barada ylymdyr. Ýylylyk geçiriş kanunlary ýylylyk prosesleriniň – gyzdýryşyň, sowadyşyň, buglaryň kondensasiýasynyň, bugartmagyň esasyny tutýar we himiki tilsimatynyň ýylylygyň berilmegi we aýrylmagy bilen geçýän massaçalyşma (bugardyp kowma, guratma we beýl.) şeýle hem reaksiýa prosesleriň köpüsini geçirmek üçin ähmiýeti uludyr.

Ýylylygyň konweksiýa arkaly berilmegi, suwuklygyň hemme massasy turbulent hereket eden ýagdaýynda has tiz geçýär. Şeýlelikde, konweksiýa ýylylygyň mehaniki geçirilmesi bilen baglanyşykly we suwuklygy gidrodinamiki skymy bilen berk baglanyşykly.

Konwektiw ýylylyk çalyşmanyň mehanizminiň çylşyrymlylygy, ýylylyk gowşurma prosesiniň hasabynyň kynlygy bilen baglanyşykly. Şonuň üçin, ýylylyk gowşurmanyň hasabynyň amatlylygy üçin, onuň esasyna ýönekeý görnüşli, ýylylyk gowşurma kanuny ýa-da Nýuton sowatma kanuny ady bilen belli bolan deňleme ulanylýar:

$$dQ = \alpha * dF (t_{diw} - t_s) d\tau \quad (1)$$

Bu deňlemä laýyklykda, t_s temperaturaly suwuklyga, t_{diw} temperaturasy bolan diwaryň dF üstünden $d\tau$ wagt birliginde berilýän ýylylyk mukdary dQ , dF üste we temperaturalaryň tapawudyna göni proporsional.

Üznüksiz proses üçin bu deňleme aşakdaky görnüşe geçýär:

$$Q = \alpha * dF (t_{diw} - t_s) \quad (2)$$

(1) we (2) Deňlemelerdäki proporsionallyk koeffisiýentlerine **ýylylyk gowşurma koeffisiýenti** diýilýär.

Ýylylyk gowşurma koeffisiýenti aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$\alpha = [Q / dF (t_{diw} - t_s)] = [j / m^2 * sek * grad] = [wt / m^2 * grad]$$

Eger Q kkal/sag aňladylsa, onda

$$\alpha = [kkal / m^2 * sag * grad]$$

Şeýlelikde, **α ýylylyk gowşurma koeffisiýenti**, diwar bilen suwuklygyň arasyndaky temperaturalaryň 1 grad. tapawudynda, 1 sek wagtyň dowamynda diwaryň $1m^2$ meýdanyndan suwuklyga (ýa-da suwuklykdan diwaryň $1m^2$ meýdanyna) berilýän ýylylygyň mukdaryny görkezýär.

2. Ýylylyk göterijiler biri-birlerine görä dürli hili hereket edip bilýärler:

1. Göni (ugurdaş) akym

2. Garşylykly akym
3. Atanaklaýyn (çatryklaýyn) akym
4. Garyşyk akym

Temperaturanyň ortaça temperaturasy bu akymlar üçin aşakdaky deňlemeler arkaly tapylýar:

$$t_b \rightarrow t_a$$

$$t_b \rightarrow t_b$$

$$t_b \leftarrow t_a$$

$$t_a \rightarrow t_a$$

$$t_b$$

$$t_b \leftarrow t_a$$

$$t_a$$

$$t'_b \rightarrow t'_a$$

$$\underline{t}_b \rightarrow \underline{t}_a$$

$$\Delta t_u \quad \Delta t_k$$

$$\Delta t_u / \Delta t_k \leq 2$$

$$\text{onda } \Delta t_{\text{ort}} = (\Delta t_u - \Delta t_k) / 2$$

$$\Delta t_u / \Delta t_k \geq 2$$

$$\text{onda } \Delta t_{\text{ort}} = (\Delta t_u + \Delta t_k) / 2, 3 \lg (\Delta t_u / \Delta t_k)$$

Ýylylyk beriş proseslerini güýçlendirme usullary

1. Himiýa tilsimatynda ýylylyk çalşyýjy apparatlarynda geçýän ýylylyk prosesleri – gyzdirmek, sowatmak, kondensasiýa giňden ýaýran.

Ýylylyk çalşyýjy aparat diýip, bir maddadan beýleki madda ýylylygyň geçirilmegi üçin ulanylýan apparatlara aýdylýar. Ýylylyk çalyşma prosesinde gatnaşýan maddalara ýylylyk görterijiler diýilýär. Gyzdrylýan gurşawdan has ýokary temperaturasy bolan maddalara gyzdryjy, ýylylygy berýän maddalara bolsa **gyzdryjy agentler** diýilýär. Ýylylygy kabul edilýän gurşawyň temperaturasyndan pes ýylylygy bolan görterijilere bolsa, **sowadyjy agentler** diýilýär.

Himiýa tilsimatynda ýylylygyň göni çüşmesi hökmünde ýangyjyň ýanma gaz halyndaky önümleri bolan tüsse gazlary we elektrik energiýa ulanylýar. Şol çüşmelerden ýylylygy kabul edýän we gyzdyrylýan gurşawa diwaryň üsti bilen geçirýän maddalara **aralyk ýylylyk göterijiler** diýilýär. Has giň ýaýran aralyk ýylylyk göterijileriň hataryna suw bugy we gyzgyn suw, şeýle hem **ýokary temperaturaly ýylylyk göterijiler** diýip atlandyrylýan – aşa gyzdyrlan suw, mineral ýaglar, organiki suwuklyklar (we olaryň buglary), gyzdyrylyp eredilen duzlar, suwuk metallar we olaryň splawlary degişli.

2. Himiýa tilsimatynda gyzgyn ertmekligiň aşakdaky usullary giňden ulanylýar:

1. Suw bugy bilen gyzdyrmak
2. Ýangyç gazlary bilen gyzdyrmak
3. Aralyk ýylylyk göterijiler bilen gyzdyrmak
4. Elektrik togy bilen gyzdyrmak

Iň giň ýaýran gyzdyryjy agent suw bugydyr. Bu, onuň has tapawutly aýratynlygy bilen esaslandyrylýar. Doýgun buguň wajyp artykmaçlygy, onuň hemişelik kondensirlenme temperaturasynyň bolmagydyr. Ol bolsa gyzdyrmaklygyň temperaturasyny hemişelik saklamaga, şeýle hem zerur bolan ýagdaýynda gyzdyryjy buguň basyşyny üýtgetmek bilen ony sazlamaga mümkinçilik berýär.

Suw buguny gyzgyn göteriji hökmünde iki görnüşde ulanylýar:

1. Kütäk bug bilen gyzdyrmak
2. Ýiti bug bilen gyzdyrmak

Bu iki görnüşüň kütäk bug bilen gyzdyrylmasy giňden ýaýran. Bug tarapyndan ýylylyk çalşyjylarda ýylylyk diwardan geçirilýär.

Ýangyç gazlary bilen gyzdyrmaklyk iň gadymy usul bolup, bu usul bilen 180-1000⁰C temperatura çenli gyzdyryp

bolýar. Tüsse gazlary gaty, suwuk ýa-da gazgörnüşli ýangyçlary ýakmakda emele gelýär.

Önümleriň hilini saklamakda ýa-da işiň howpsyz geçirilmegi üpjün etmek üçin aralyk ýylylyk görterijiler bilen gyzdymaklyk ulanylýar. Gyzdymaklyk diwaryň üsti bilen geçirilýär.

Elektrik togy bilen gyzdymaklyk gyzdyma prosesini gyradeň we örän takyk sazlamak bilen geçirmäge mümkinçilik berýär. Elektrik energiýasyny ýylylyk energiýa öwürmekligiň usullary boýunça induksion we dugaly elektrik garşylykly peçler tapawutlandyrylýar.

Ýylylyk ýaýradyjylary

1. Ýylylyk çalşyjyny saýlap almaklyga ilkinji nobatda gyzdymaklyk we sowatmaklyk üçin talap edilýän temperatura, olary sazlamaklyga bagly. Mundan başga-da senagat ýylylyk görterijileri olaryň az mukdarda massalaýyn we göwrümleýin harçlanmasynda ýokary netijede ýylylyk çalşymasyny üpjün etmeli. Ýonuň bilen bir hatarda olar degişlilikde az süýgeşikli, ýöne dykzlygy, ýylylyk sygymy we bug emele getirijiligi ýokary bolmaly. Ýylylyk görteriji ýanmaýan, zähersiz, termiki taýdan durnukly, ýylylyk çalşyjynyň materialyny hatardan çykaryjy häsiýetsiz we şular bilen bir hatarda hem ýeterlik derejede elýeter we arzan madda bolmaly.

Köplenç halatda ýylylyk çalşyjy apparatlarda ýylylyk görteriji hökmünde ulanylýan önümçiligiň ýarymýönleriniň, önümleriniň we zyňyndylarynyň ýylylygyny ulanmaklyk ykdysady taýda maksada laýyk hasaplanýar.

2. Iki ýylylyk çalşyjynyň arasynda, olaryň haýsy hem bolsa birini gyzdymak üçin ulanylýan apparata ýylylyk çalşyjy diýilýär. Özüniň niýetleniş maksadyna baglylykda ýylylyk çalşyjy apparatlar:

1. Gyzdyryjylar

2. Sowadyjylar

görnüşlerine bölünýärler. Ýylylyk çalşygyda, gyzdyrmak üçin ulanylýan ýylylyk göterijä gyzdyryjy agent diýilýär.

Gyzdyrmak üçin birnäçe ýylylyk göterijiler (ýaýradyjylar) ulanylýar. Olara:

1. Suw buglary

2. Gyzgyn suw

3. Ýanyjy gazlar

4. Ýokary temperaturaly ýylylyk gýterijiler

a) aş gyzdyrlan bug

b) Mineral ýaglar

c) Ýokary temperaturada gaýnaýan organiki maddalar we olaryň buglary

d) Gyzdyrlyp eredilen duzlar

e) Simap we suwuk metallar

5. Hereketsiz ýa-da hereketli gatlakda ýokary temperaturaly gazlar bilen gyzdyrmak

6. elektrik togy bilen gyzdyrmak

Himiýa tilsimatynda ulanylýan gyzdyryjylar ulanylyş şerti bilen 1-nji jedwelde getirilýär:

Jedwel 1

Himiýa tilsimatynda ulanylýan gyzdyryjylar we olaryň ulanylyş şerti

Gyzdyryjylar	Desgada iş şerti	
	Temperatura, °C	Absolýut basyş, at
Suw buglary	180-190°C	12-12
Gyzgyn suw	100 ýokary däl	1
Ýanyjy gazlar	1000-1100 çenli	200 çenli
Ýokary temperaturaly ýylylyk gýterijiler:		
Aş gyzdyrlan bug	374	225
Mineral ýaglar	250-300	1

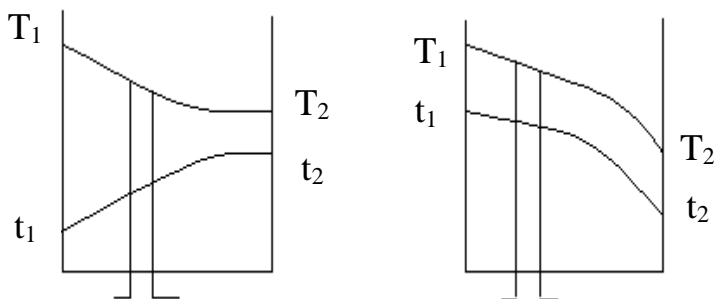
Ýokary temperaturada gaýnaýan organiki maddalar we olaryň buglary	250-400	0,8 –2,5
Gyzdyrlyp eredilen duzlar	500-540	1
Simap we suwuk metallar	400-800	2
Hereketsiz ýa-da hereketli gatlakda ýokary temperaturaly gazlar bilen gyzdyrmak	350-700	1
Elektrik togy bilen gyzdyrmak	Giň çäkde	Islendik basyşda
	0-dan -10 çenli	3 çenli

Apparatlarda ýylylygyň ugruny üýtgemegiň görnüşleri

1. Üznüksiz prosesde ýylylyk görterijiler elmydama biri-birine görä hereketde bolýarlar. Olaryň ugurlary dürli-dürli bolup bilýär. Ýylylyk görterijileriň hereketiniň esasy görnüşleri göni akym we garşylyklaýyn akym görnüşlerinde bolýar

Göni akymda iki ýylylyk görteriji hem ýylylyk çalyşma üst boýunça bir ugra hereket edýärler. Temperaturanyň üýtgeýiş häsiýeti 1-nji suratda (a) görkezilen.

Garşylyklaýyn akymda iki ýylylyk görteriji hem ýylylyk çalyşma üst boýunça garşylykly ugra hereket edýärler. Temperaturanyň üýtgeýiş häsiýeti ýylylyk görterijileriň suw ekwiwalentine bagly we 1-nji suratda (b) görkezilen.



Surat 1. Ýylylyk gýterijileriň temperaturalarynyň üýtgeýşiniň häsiýeti

a – göni akym; b – garşylyklaýyn akym.

Göni akymda hem garşylyklaýyn akymda hem temperatura itergisi maksimal (t_{\max}) we minimal (t_{\min}) temperatura itergisiniň ortalogarifm bahasy ýaly kesgitlenýär:

$$t_{\text{ort}} = ((t_{\max}) - (t_{\min})) / (2,3 \lg (t_{\max}) / (t_{\min})) \quad (1)$$

Temperatura itergisiniň ortalogarifm bahasyny kesgitlenýän (1) deňleme, eger iki ýylylyk görerijiniň ýylylyk sygymy we ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti temperatura baglylykda üýtgemeyän bolsa we gyzgyn ýylylyk göreriji tarapyndan berilýän hemme ýylylyk, sowuk ýylylyk göreriji bilen alnyp-berilýän bolsa, hem-de ýylylyk ýitgisi we himiki reaksiýa netijesinde ýylylyk bölünip çykmaýan bolsa ulanylýar.

Garşylyklaýyn akymda ýylylyk çalşyjylarynyň başlangyç we ahyrky temperaturalarynyň bir meňzeşliginde ortaça temperatura itergisi garşylykly akymdakydan ýokary. Netijede ýylylyk çalyşma üst kiçi.

Garşylykly akymda gyzdyryjy ýa-da sowadyjy agentň harçlanmasy göni akymdakydan kiçi bolup biler. Netijede, garşylykly akym göni akym bilen deňeşdirlende has amatly.

2. Hemişelik temperaturada geçýän ýylylyk çalyşma prosesleri az ýaýrandyr. Şeýle prosesler, mysal üçin diwaryň bir tarapyndan bug kondensirlenýän bolsa, beýleki tarapynda suw gaýnaýan bolsa geçýär. Senagat apparaturalarynda, köplenç ýylylyk göterijileriň üýtgeýän temperaturalarynda ýylylyk çalyşma geçýär.

Üznüksiz proseslerde diwar bilen bölünen suwuklyklar aşakdaky görnüşde hereket edýärler:

1. ugurdaş akym
2. garşylykly akym
3. atanaklaýyn akym
4. garyşyk akym.

Gyzdyrylýan madda ýylylygy eltmegiň birnäçe görnüşleri bolup, ol aşakdakylardan ybarat:

1. Konweksiýa
 - a) mejbury konweksiýa
 - b) erkin konweksiýa
2. Şöhle goýbermek
 - a) gazlaryň şöhle goýbermesi
 - b) gaty jisimleriň şöhle goýbermesi

Sowatmak

1. Himiýa tilsimatynda gazlary, buglary we suwuklyklary sowatmak zerurlygy ýygy-ýygydan ýüze çykýar. Olary sowatmakda adaty has giň ýaýran we elýeter ýylylyk göterijiler ulanylýar. Olara suw we howa degişli. Sowadylma, sowadylýan we sowadýan gurşawlaryň arasynda bolup geçýär. Munda sowadýan gurşawyň temperaturasy, sowadylýanyňkydan pes bolmaly.

Ýylyň möwsümine we klimat şertine baglylykda howa bilen sowatmaklyk 25-30°C çenli bolup bilýär. Ýylylyk

geçirijileri suw bilen sowatmaklykda has pes temperatura çenli amala aşyryp bolýar. Adatça, ýylyň möwsümine we klimat şertine baglylykda saýlanan suwuň temperaturasyny 15-25°C deň diýip kabul edilýär.

Howa we suw bilen sowatmaklyk dürli ýylylyk çalşyjylarda amala aşyrylýar. Munda, sowadylýan we sowadýan gurşawlar diwar bilen (eger-de bu gurşawlaryň bibi-biri bilen galtaşmasy kábir sebáplere görá rugsat berilmeyán ýagdaýynda) bölünen, ýa-da öz aralarynda göniden – göni galtaşýarlar.

Ýylylyk çalyşmada gatnaşýan sowadyjy suwuň harçlanmasyny ýylylyk balansyndan tapýarys:

$$G \cdot c \cdot t_b + W \cdot t_1 = G \cdot t_a + W \cdot t_2 \cdot Q_y \quad (1)$$

bu ýerden

$$W = (G \cdot c \cdot (t_b - t_a) - Q_y) / t_1 - t_2 \quad (2)$$

bu ýerde G – sowadylýan ýylylyk göterijiniň mukdary; c – degişlilikde sowadylýan we sowadýan ýylylyk göterijiniň berlen temperaturadaky ýylylyk sygymy; t_1, t_2 – sowadýan suwuň başlangyç we ahyrky temperaturasy; t_b, t_a – ýylylyk göterijiniň başlangyç we ahyrky temperaturasy; Q_y – daşky gurşawa ýitirilýan ýitgi, kkal/sag.

Suwuň ýylylyk sygymyni bir diýip kabul edilýär.

Buz bilen sowatmaklyk, sowadylýan suwuklygyň nul gradus temperaturasyny gazanmakda ulanylýar. Sowatmakda buzy köplenç sowadylýan suwuklyga goýberilýär. Bu ýagdaýda buz suwuklyk bilen 0°C temperatura çenli gyzdyrylýar we sonar sowadylýan suwuklykdan ýylylygy alyp, ereýär. Şeýle usul suw bilen tásir edişmeýán we garyşdyрма rugsat berilýän suwuklyklar üçin ulanylýar.

Buz bilen sawadylmada, sowadylýan suwuklyk bilen apparata ýylylyk girizilýär

$$Q_s = G \cdot c \cdot t_b$$

bu ýerde G – sowadylýan suwuklygyň mukdary; c – degişlilikde sowadylýan suwuklygyň berlen temperaturadaky

ýylylyk sygymy; t_1, t_2 – sowadýan suwuklygyň başlangyç temperaturasy.

Buz bilen sowuklyk Q_y mukdaryda (ýa-da otrisatel alamatly ýylylyk) girizilýár.

$$Q_y = L \cdot (-r)$$

bu ýerde L – buzuň mukdary, kg; r – buzuň ereme ýylylygy, kkal/kg.

Sowadylýan garyndynyň we suwuň (buzuň eremesi netijesinde emele gelýán) ahyrky temperaturasyny t_k bilen belláp prosesiniň ýylylyk balansyny aňladýarys:

$$G \cdot c \cdot t_b + L \cdot r = G \cdot c \cdot t_b + L \cdot t_k$$

Bu deňlikden buzuň harçlanmasyny kesgitleýáris:

$$L = G \cdot c \cdot (t_b + t_k) / t_a + r$$

Buz bilen sowatmaklyk wagty prosesiniň geçiriliş şertine bagly. Ol buzuň ölçeginiň kiçi bolmagy we suwuklygyň garylmasynyň çaltlandyrylmagy bilen azalýar.

Has pes temperatura almakda ýörite sowadyjylar ulanylýar. Himiýa tilsimatynda ulanylýan sowadyjylar ulanylyş şerti bilen jedwelde 1 getirilýár:

Jedwel 2

Himiýa tilsimatynda ulanylýan sowadyjylar we olaryň ulanylyş şerti

Sowadyjylar	Desgada iş şerti	
	Temperatura, °C	Absolýut basyş, at
Geliý	-272 çenli	1 çenli
Wodorod	-257 çenli	10 çenli
Azot, kislorod, howa	-210 çenli	200 çenli
Metan	-100-den -160 çenli	40 çenli
Etan, etilen, freonlar	-70-den -150 çenli	40 çenli

12 we 22 freonlar, ammiak, kükürdiň ikili okisi, uglerodyň ikili okisi	0-dan -70 çenli	15 çenli
Etilenglikol	0-dan -65 çenli	1
Kalsiý hlorynyň şerebesi	0-dan -50 çenli	1
11,21,112,114 freonlar	0-dan -10 çenli	3 çenli

2. Atmosfera howasy özüniň pes ýylylyk gowşurma koeffisiýentine garamazdan, soňky wagtlarda sowadyjy agent hökmünde giňden ulanylýar. Tejribeden görnüşi ýaly, howa arkaly sowatmaklygy ulanmaklyk, mysal üçin iri önümçilik kärhanalarynda buguň kondensatorlarynda mejburi howa aýlawyna elektrik energiýanyň harçlanmasy, suw bilen sowatmakdaka garanynda has az harçlanýar. Mundan başga-da, howa bilen sowatmaklyk, esasan hem ýerli suw baýlyklarynyň çäklendirilen ýagdaýynda suwuň umumy harçlanmasyny peseltmäge mümkinçilik berýär. Himiýa tilsimatynyň desgalarynda ulanylýan ýylylyk çalyjylar şu aşakdan toparlara bölünýärler: 1) turba turbanyň içinde görnüşdäki ýylylyk çalyjylar; 2) turbaly gabykly apparatlar ; 3) howa arkaly sowadyjy apparatlar (HASA); 4) göni garyşdyrma ýylylyk çalyjylary. Howa arkaly sowadyjy apparatlar senagatda has giň ýaýradylar. HASA-dan peýdalanmak bilen, suwuň aýlawdaky harçlanmasyny azaltmaga, apparatlary kesmekden arassalamak we abatlaýdyrma harçlanýan harajatlary azaltmaklyga mümkinçilik berýär. Hazirki zaman desgalarynda ýylylygyň 80%-ti howa arkaly sowatma apparatda sowadylýar. HASA kollektorly turba toplumyndan (toplama turbalar) elektrohereketlendirijili wentilýatordan „sazlaýan enjamlardan durýar. Ýylylyk berijilik garşylyklaýyn akym prinsipy boýunça amala aşyrylýar. Wentilýator bilen howa

turba ara boşlygyndan geçirilýär. Turbalaryň toplymy daş tarapdan sowadylýar. Turba üstlerinde ýylylygyň aýrylmagynyň hasabyna önüm sowadylýar. Turbalaryň sowadyan üstleri boýunça howanyň gyradeň ýaýaramaklygy üçin, wentilýator turba toplumy bilen diffuzorlar arkaly birleşdirilýär. Turbalar, kollektorlar we ramalar bölümleri emele getirilýär. Turbalaryň içki üstlerini arassalamak mümkinçiligini döretmek üçin, kollektorlary sökülýän gapaklar ýa-da dykylar bilen üpjün edýlýär. Turbalaryň daşky üstünden howa tarap ýylylygyň berijiligini tizleşdirmek üçin, turbalaryň üstüni digir-digir edip, onuň meýdanyny ulaldylýarlar. Digir–digir turbanyň doly üstüniň, gapyrganyň esasyndaky tekiz turbanyň daşky üstüne bolan gatnaşyga digir - digirlik koefisiýenti diýilýär. Digir-digirlik koefisiýenti näçe uly bolsa, ýylylyk çalyşýan turbalaryň daşky üstüniň howa tarap ýylylyk berijilik koefisiýenti hem şonça uly bolýar. Maşyn gurluşyk senagaty tarapyndan kadalaşdyrlan 9; 14,5 we 22 digir digirlik koefisiýentli howa arkaly sowatma apparatlary öündirilýär. HASA gurluşlary boýunça dürli-dürli bolýarlar. Olar biri birinde turba seksiyalaryň ýerleşmesi bilen tapawutlanýarlar. Iň köp ýaýaran HASA bu kese we egrem-dugram görnüşli apparatlardyr. Mundan başgada az akymly we ýokary süýgeşikli gurşawlar üçin ýörite HASA–lar öndirilýär.

Ýylylyk çalyşýan apparatlar

1. Ýylylygy geçirme usuly boýunça ýylylyk çalşyjy apparatlary aşakdaky görnüşlerde tapawutlandyryýarlar:

1. üst ýüzli, ýylylyk göterijiler diwar bilen bölünen, ýylylyk bolsa şol diwaryň üstünden geçirilýär;
2. regeneratiw, olarda sowuk we gyzgyn ýylylyk çalşyjylaryň arasynda ýylylyk çalyşma prosesi wagt boýunça bölünýär we ýylylyk çalşyjynyň

goýulmasynda gyzdymaklygyň we sowatmaklygyň gezeleşdirilmesi bilen amala aşýar.

3. garyjy, olarda ýylylyk çalyşma ýylylyk göterijileriniň göniden göni galtaşmagy bilen geçýär.

Ýylylyk göterijileriniň agregat halyna baglylykda ýylylyk çalyşma üçin apparatlar:

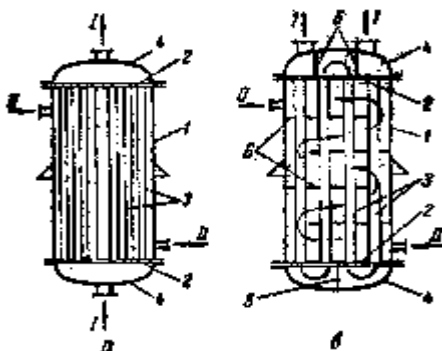
1. gazlaryň arasynda (gazlary tüsse gazlary bilen gyzdymaklyk, gaz ýylylyk çalyşmalar we başgalar);
2. gaz bilen buguň arasynda (howa üçin tüsse gazlary bilen gyzdymaklyk, gyzdymaklyk we başgalar);
3. gaz bilen suwuklygyň arasynda (gazlar üçin ýylylyk çalyşmalar);
4. bug bilen suwuklygyň arasynda (gazlary bilen gyzdymaklyk, kondensatlar we başgalar);
5. suwuklyklaryň arasynda (suwuklyk üçin sowadymaklyk, ýylylyk çalyşmalar we başgalar).

Üst ýüzli ýylylyk çalyşmalaryň görnüşleri:

№	Görnüşleri:	Tapawutly görnüşi
1.	Türba şekilli	1. Turba gabykly
		2. "Turba turbada"
		3. Suwarylýan
		4. Çümdirilýän
2.	Plastina şekilli	
3.	Spiral şekilli	
4.	Apparatyň diwary tarapyndan üst ýüzi döredilen	
5.	Gapyrga görnüşde ýylylyk çalyşma üstli	

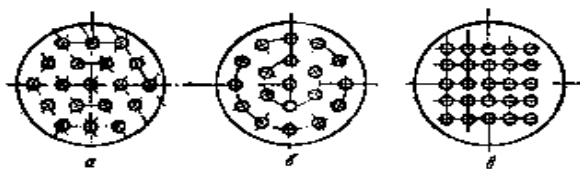
2. Üst ýüzli ýylylyk çalyşmalaryň içinde iň köp ulanylýanlarynyň biri hem turba gabykly ýylylyk çalyşma

apparatlarydyr. Turba gabykly ýylylyk çalşyjysy 1-nji suratda görkezilen. Ol korpusdan, oňa kebşirlenen turbalar üçin gözenekden ybarat.



Surat 1. Turbagabykly bir hereketli (a) we köphereketli (b) ýylylyk çalşyjy

Turbalar gözenekde dogry altyburçlykda, ýagny deňtaraply üçburçlygyň beýikliginde, kä halatda töwerek boýunça birsydyrgyn ýerleşdirilýär. Ýylylyk çalşyjyda turbalaryň ýerleşdiriliş usullry 2-nji suratda getirilýär.

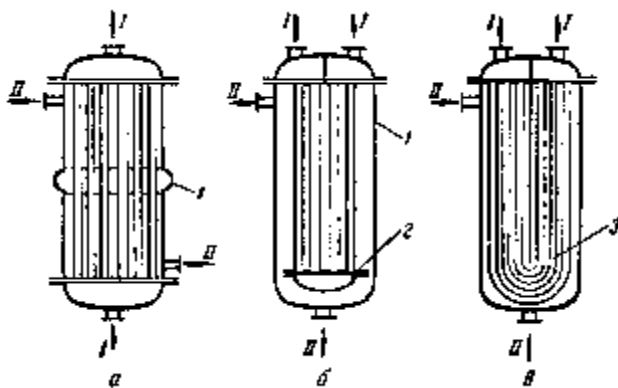


Surat 2. Ýylylyk çalşyjyda turbalaryň ýerleşdiriliş usullry

a – dogry altyburçlygyň perimetri boýunça; b – konsentriki töwerek boýunça;ç - göniburçlygyň perimetri boýunça.

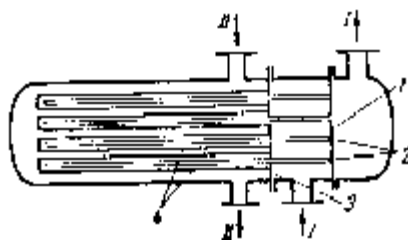
Turbanyň uza boýynyň uzynlygynda, şeýle hem turbanyň we gabygyň materiallarynyň tapawudynda, temperaturanyň uly tapawutly ýagdaýynda temperatura deformasiýasyny kiçeltmek üçin linza kompensatorly ýylylyk

çalşyjylary ulanylýar (Surat 3.). Olaryň korpusynda maýyşgak deformasiýa sezewar edilýän kompensatorlar bar.



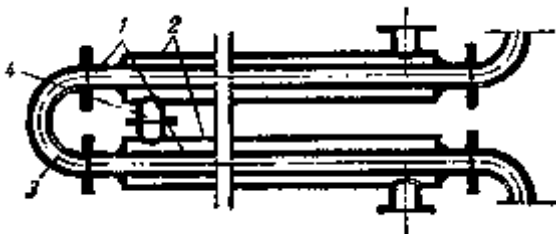
Surat 3. Kompensirleýji gurluşly turba gabykly ýylylyk çalşyjylar
a – linza kompensatorly; b – ýçzýän kellejikli; ç – U şekilli turbaly.
1 – kompensator; 2 – hereker edýän turba gözenekli; 3 – U şekilli turba.

Himiýa tilsimatynda iki turbaly ýylylyk çalşyjylar ulanylýar (Surat 4). Apparadyň bir tarapynda iki sany turba gözenegi 1 ýerleşdirilen. Onda iki tarapy açyk kiçi diametrli 2 turba dessesi berklenen. Gözenekde 3 ahyrky çep tarapy ýapyk uly diametrli turbalar 4 berkidilen. Şeýle gurluşly ýylylyk çalşyjylarda, tmeraturanyň täsirinde ýylylyk çalşyjynyň korpusyna bagly bolmazdan uzalyn süýniň hilvär



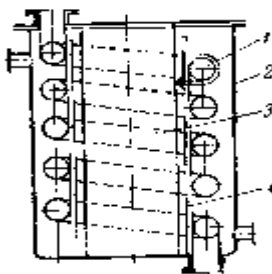
Surat 4. Iki turbaly ýylylyk çalşyjylar
1, 3 – turbalar üçin gözenekler; 2 – içki turbalar; 4 – daşky turbalar.

“Turba turbada” görnüşli ýylylyk çalşyjylar birnäçe yzygider birikdirilen turba elementlerinden ybarat (Surat 5). Bir ýylylyk göteriji içki turbadan 1, beýlekisi bolsa iki turbanyň emele getirýän halka giňişliginden hereket edýär.



Surat 5. “Turba turbada” görnüşli ýylylyk çalşyjy

Çümdirilýän ýylan şekilli ýylylyk çalşyjylarynda (Surat 6) damja suwuklyklary, gaz ýa-da bug apparatyň korpusynda (2) diametri 15-75mm turbadan ýasalan ýylan şekilli spiraldan hereket edýär. Bu ýylylyk çalşyjylar örän uly göwrümlü we ýylylyk çalyşma üst üçin örän köp mukdarda metal talap edýär.



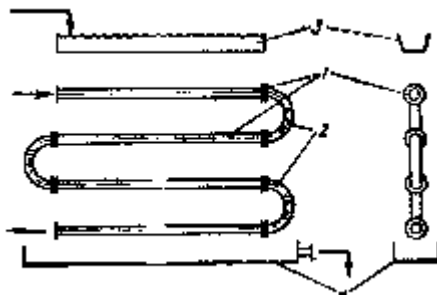
Surat 6. Çümdirilýän ýylan şekilli ýylylyk çalşyjy

1 – egrem-bugram ýylan şekilli turba; 2 – apparatyň korpusy;

3- içki stakan; 4 - ýylan şekilli turbany berklenýän gurluş.

Suwarylýan ýylylyk çalşyjylar, biri biriniň üstünde ýylan şekilli turbalaryň ýerleşdirilen apparatdyr (Surat 7). Turbalar adatça parallel bölüm görnüşinde ýerleşdirilendir. Egrem-bugram turbalar ýokardan, dişli gyraly želobyň kömegi bilen

damja ýa-da akym görnüşünde suw bilen suwarylýar. Suwarylýan ýylylyk çalşyjylar esasan sowadyjy we kondensator hökmünde ulanylýar. Olarda ýylylygyň deň ýarsy sowadyjy buguň bugarmasyna harçlanýar. Suwarylýan ýylylyk çalşyjylar ýokary bolmadyk ýylylyk agramynda işleýär we olaryň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti ýokary däl. Ol apparatlar köplenç himiki taýdan durnukly materiallardan ýasalýar.



Surat 7. Suwarylýan ýylylyk çalşyjylar

Bugartma

1. Erginleri bugartma prosesi, erginleri konsentrirlemek ýa-da olardaky duzlary kristallaşdyrmak üçin geçirilýär. Bu proses hiç hili uçmaýan maddalaryň erginlerinden eredijileri gaýnatma ýoly bilen bugardyp, bölme usulydyr. Bugartma, adatça aty maddalaryň erginleri, şeýle hem bugartma temperaturasynda pes basyşy bolan ýokary temperaturada gaýnaýan suwuklyklar sezewar edilýär. Olara mineral we organiki kislotalar, köp atomly spirtler we başgalar degişli. Bugartma prosesini kä wagt, erginden arassa görnüşde eredijini almak üçin, meselem deňiz suwuny bugartma usuly bilen ýumşadylanda, emele gelýän bugy kondensirläp, agyz suwy üçin ýa-da tehniki maksat üçin ulanylýar. Aşgarlary, kislotalary öndürmekde we beýleki önümçilik sensgatynda giňden ulanylýar. Ýokary konsentrasiýaly erginleri, bütinleý diýen ýaly gury ýa-da

kristalliki önümleri daşamaklyk we saklamaklyk arzan düşýär.

2. Bugartma prosesini geçirmek üçin hökman ýylylyk göteriji gerek. Ýylylyk göteriji božup bolsa köp halatda gyzdyryjy bug ulanylýar we buga bolsa ilkinji bug diýilýär. Bugartma netijesinde emele gelýän buga bolsa ikilenji bug diýilýär. Gyzdyryjy bug bilen ýylylyk berme usullarynyň has giň ýaýran görnüşi hem diwaryň üsti bilen ýerine ýetirmekdir. Bugartmagyň üç usuly tapawutlandyrylýar :

1. Atmosfera basyşy astynda
2. Wakuumda
3. Ýokary basyş astynda

Atmosfera basyşy astynda – bu esasan tejribe usulydyr. Wakuum astynda bugartma, erginiň gaýnama temperaturasyny peseldýär. Bu usul esasan ýokary temperatura durnukly bolmadyk maddalaryň erginleri üçin ulanylýar.

Ýokary basyş astyndaky bugartma erginiň gaýnama temperaturasyny ýokarlandyrýar. Bu ýagdaýda ýokary parametrli (görkezijili) ikilenji bug alynýar. Şonda ikilenji buguň bir bölegi bugartma prosesi bilen bagly bolmadyk başga prosesler üçin ulanylýar. Bu başga ugra iberilýän buga bolsa **ekstra bug** diýilýär. Bugartma prosesi

1. Üznükli
 2. Üznüksiz
- bolup bilýär.

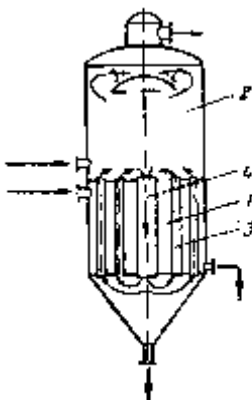
Bugartma

1. Bir korpusly
2. Köp korpusly

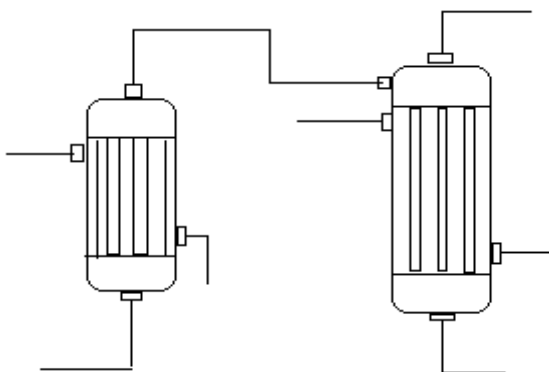
bolýar. Bir korpusly bugartma bir apparatda amala aşyrylýar. Ikilenji bug adatça ulanylmar.

Bir korpusly bugartma desgalary

1. Bu desgada erginiň gaýnama temperaturasy peselýär. Şunlukda, ol ergini gyzdyrmak üçin beýleki önümçiligiň galyndylary bolan pes görkezijili (parametrli) buglary ulanyp bolýar.

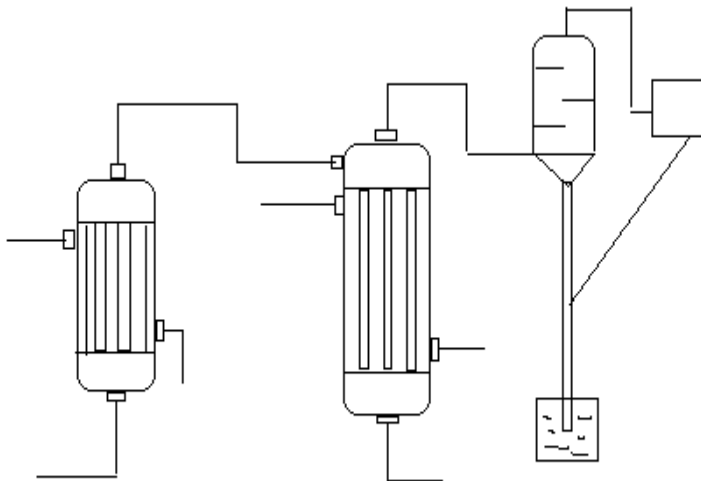


Surat Bir korpusly bugardyjy desganyň gurluş çyzgysy



Surat Bugardylýan ergini öňünden gyzdyryjy bilrn gyzdyrmak arkaly bir korpusly bugardyjy desgа

Bir korpusly bugardyjy desgа bilen deňeşdirilende, köp korpusly bugartma prosesinde buguň tygşylylygy onuň birnäçe



gezek ulanylmagy bilen amala aşyrylýar. Emma, korpuslaryň sanyny tükeniksiz ulaltmak hem tehniki nukdaý nazardan bolmaýar. Ýagny, bugartma desgalarynyň basyşy korpuslarda kiçeldilmelidir (birinjiden soňkylara çenli). Korpuslaryň sanlarynyň köp bolan ýagdaýynda, basyşy has hem pese düşürmeli bolýar. Basyşyň tapawudy bugartma desgasyň **temperaturasynyň umumy tapawudyny kesgitleýär**. Temperaturanyň umumy tapawudy, bu ilkinji gyzdyryjy bug bilen desganyň soňky korpusyndaky ikinji buguň temperaturasynyň tapawudydyr.

Surat 4. Bir korpusly, wakuumda bugartma desgasyň çyzgysy

Bu desgada erginiň gaýnama temperaturasy peselýär. Şunlukda, ol ergini gyzdyrmak üçin beýleki önümçiligiň galyndylary bolan pes görkezijili (parametrli) buglary ulanyp bolýar

2. Ilkinji gyzdyryjy bug bilen ilkinji buguň temperaturasynyň arasyndaky tapawuda **temperaturanyň umumy tapawudy** diýilýär. Ýöne temperaturanyň umumy tapawudy prosesiniň hereketlendiriji güýji dälidir.

Prosesiň hereketlendiriji güýji bu – temperaturanyň peýdaly tapawudydyr. Ilkinji gyzdyryjy buguň temperaturasy bilen erginiň gaýnama temperaturasynyň tapawudyna **temperaturanyň peýdaly tapawudy** diýilýär.

Köpkorpusly bugardyjy desgalarda hemme korpuslar üçin temperatura itergisi, temperaturanyň umumy peýdaly tapawudyna, ýagny birinji korpusa barýan gyzdyryjy buguň temperaturasynyň (T_1), ahyrky korpusdan ikilenji buguň doýma temperaturasyndan (v_n) korpuslar boýunça ýitgileriň jemini $\sum \Delta$ aýyrmaklyga deň.

$$\theta_{\text{peýd}} = \theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n = T_1 - v_n - \sum \Delta$$

bu ýerde $\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n$ - I, II, ..., n sanly korpuslar üçin temperatura itergisi;

$$\sum \Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n$$

bu ýerde $\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n$ - I, II, ..., n sanly korpuslar üçin temperatura ýitgisi.

$$\theta_1 = T_1 - t_1 = T_1 - (v_1 + \Delta)$$

$$\theta_2 = T_2 - t_2 = T_2 - (v_2 + \Delta)$$

bu ýerde t_1 we t_2 - I we II korpuslarda gaýnama temperatura;

T_1 we T_2 - I we II korpuslar üçin gyzdyryjy buguň temperaturasy;

v_1 we v_2 - I we II korpuslardaky ikilenji buguň doýma temperaturasy.

θ_1 we θ_2 üçin ululyklary goşup we $v_1 = T_1$ deň diýip, aşakdaky aňlatmany alarys:

$$\theta_1 + \theta_2 = T_1 - v_2 - (\Delta_1 + \Delta_2) = T_1 - v_2 - \sum \Delta$$

Köp korpusly bugardyjy desgalaryň hasaplamasynda hemme korpuslaryň üstüniň deň bolmagynda, korpuslar boýunça θ_1 ululygy paýlaşdyrmak maksada laýyk hasaplanýar. Bu bolsa apparatlary ýasamakda ýonekeýleşdirýär we arzanlaşdyrýar, hem-de ulanylanda apparalaryň we olaryň bölekleriniň özara çalyşyjylygyny üpjün edýär.

3. Eridijiniň üst ýüzüniň doýgun bugunyň basyşy arassa eridijiniň basyşyndan hemişe pes. Şonuň üçin köpkorpusly bugardyjy desgalarda temperaturalaryň umumy tapawudy buguň iň aşak we iň ýokary tapawudy boýunça, ýagny birinji korpusy gyzdyyrýan we kondensatora barýan buguň temperaturalarynyň tapawudy ýaly kesgitlenýär:

$$\Delta t_{um} = T - t_{kond}$$

Köpkorpusly bugardyjy desgalardaky temperaturalaryň ýitgisiniň umumy tapawudy korpuslar boýunça jemi ýitgiden kesgitlenýär. Hakykatdan hem, bir korpusly bugardyjy desgada bir apparatdaky gidrawliki ýitgi, temperatura ýitgisi we gidrostatiki ýitgileriň jeminiň aýrylmagy bilen, temperaturanyň umumy ýitgisi ýaly kesgitlenýär. Üç korpusly bugardyjy desgada ýitgileriň jemi, üç apparatdaky gidrawliki ýitgiden, üç apparatdaky depressiýanyň hasabyndaky ýitgiden we üç apparatdaky gidrostatiki netijeden dörän ýitgileriň jeminiň goşulmagyndan durýar.

Ýokarda bellenişinden ugur alyp, korpuslaryň her biri üçin peýdaly tapawut hemme ýitgileriň jeminiň temperaturanyň umumy tapawudyndan aýrylmagyna deň, ýagny

$$\sum \Delta t = \Delta t_{um} - \sum \Delta g - \sum \Delta d - \sum \Delta y$$

bu ýerde $\sum \Delta g$ – hemme korpuslarda gidrostatiki netije boýunça ýitgileriň jemi; $\sum \Delta d$ – hemme korpuslarda temperatura depressiýasynyň hasabyna ýitgileriň jemi; $\sum \Delta y$ – hemme korpuslardaky gidrawliki ýitgileriň jemi.

4. Temperaturanyň umumy tapawudynyň (Δt_{um}) we temperaturanyň peýdaly tapawudynyň ($\Delta t_{peýd}$) arasyndaky tapawuda **temperatura ýitgisi** ($\Sigma\Delta$) diýilýär.

Temperatura ýitgisi 3 görnüşdäki ýitgiden ybarat:

1. temperatura depressiýasyndan
2. gidrostatiki depressiýasyndan
3. gidrawliki depressiýasyndan

Depressiýa – kiçelme, peselme diýmegi aňladýar.

Temperatura depressiýasy Δ' - diýip, erginiň gaýnama temperaturasy bilen arassa eredijiniň gaýnama temperaturasynyň arasyndaky tapawuda aýdylýar. Mysal üçin, 25 % konsentasiýasy bolan KOH ergini 110°C gaýnaýar, arassa suw 100°C gaýnaýar. Diýmek $\Delta' = 10^{\circ}$ deň.

Köp erginleriň atmosfera basyşda gaýnama temperaturalary soragnamalarda berilýän ululykdyr.

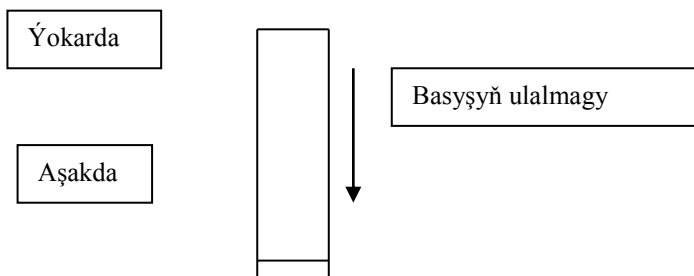
Atmosfera basyşyndan tapawutly temperatura depressiýasyny Tişenko deňlemesi esasynda hasaplap bolýar:

$$\Delta' = 16,2 (T^2/r) * \Delta'_{atm}$$

r - bugarma ýa-da kondensasiýa ýylylygy.

T – erginiň absolýut gaýnama temperaturasy.

Gidrostatiki depressiýa Δ''



Gaýnadyjy turbadaky erginiň sütüniniň gidrostatiki badyşy gidrostatiki depressiýany aňladýar. Erginiň aşaky gatlagynyň gaýnama temperaturasy ýorýkarky gatлага seredilende ýokarydyr.

$$\Delta'_{\text{gaýn aş.}} > \Delta'_{\text{gaýn ýokary.}}$$

Bu tapawut $1-3^{\circ}\text{C}$.

Gidrawliki depressiýa Δ'''

Gidrawliki depressiýa - Δ''' köp korpusky bugartma prosesine häsiýetli bolup, ol separatoradaky, bug geçirijilerdäki we başgalardaky gidrawliki garşylyga deňşlidir. Bu ululyk $1-1,5^{\circ}\text{C}$ deň.

Şeýlelikde:

$$\Sigma\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$$

$$\Delta t_{\text{peýd.}} = \Delta t_{\text{umumy}} = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$$

(1)

(1) Deňleme, bugartma prosesiniň hereketlendiriji güýji.

Gyzdyrma üsti kesgitlemek

$$Q = K * F * \Delta t_{\text{ort}} \quad \text{Ýylylyk geçirijiligiň sasy deňlemesi}$$

Bugartma üçin:

$$Q = K * F * \Delta t_{\text{peýd}}$$

Bu ýerden

$$F = Q / K * \Delta t_{\text{peýd}}$$

Peýdaly tapawudyň korpuslarda paýlaşdyrylmasyndaky hasaplamasynda aşakdaky şertleriň biri kabul edilýär:

1. Bugartma desgasynyň hemme korpuslarynda gyzdurma üsti birmeňzeş bolmaly;
2. Bugartma desgasynyň hemme korpuslarynda üstüň jemi minimal bolmaly.

1-nji şerti

$$F_1 = F_2 = F_3 = \dots = F_n$$

$$Q_1 / F_1 \cdot \Delta t_1 = Q_2 / F_2 \cdot \Delta t_2 = \dots = Q_n / F_n \cdot \Delta t_n$$

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 \cdot ((Q_1 / K_2) / (Q_1 / K_1))$$

$$\Delta t_i = \Sigma \Delta t \cdot ((Q_i / K_i) / (\Sigma Q_i / K_i)) \quad (2)$$

$$\Sigma \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$$

$$\Delta t_{\text{peýd.}} = \Delta t_{\text{umumy}} = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$$

(2)deňleme temperaturanyň peýdaly tapawudyny kesgitlemek üçin ulanylýar. Deňlemäniň manysy: temperaturanyň peýdaly tapawudynyň jemi korpuslarda ýylylyk agramynyň ýylylyk geçirijiligiň koeffisiýentine gatnaşygyna deň paýlanýar.

2-nji şerti

$$F_1 + F_2 = F_{\text{umumy}} = F_{\text{min}}$$

$$\Delta t_i = \Sigma \Delta t \cdot ((Q_i / K_i) / (\Sigma \sqrt{Q_i / K_i}))$$

Temperaturanyň peýdaly tapawudynyň jemi korpuslarda ýylylyk ýüküň ýylylyk geçirijiniň koeffisiýentine gatnaşygynyň kwadrat köküne proporsionaldyr.

$$K = 1 / (1/\alpha_1 + \delta_{\text{diw}}/\lambda_{\text{diw}} + \delta_{\text{kesm}}/\lambda_{\text{kesm}} + 1/\alpha_2)$$

Bugartma desgalarynyň material we ýylylyk balanslary

1. Köp korpusly bugartmanyň maddy balansy

X_s – ilkinji girýän erginiň konsentrasiýasy;

X_R – soňky erginiň konsentrasiýasy.

Hemme madda boýunça maddy balans

$$S=W+R \quad (1)$$

$$S \cdot X_s = R \cdot X_r$$

deňlemeden R apýarys:

$$R=S-W$$

$$S \cdot X_s = (S-W) \cdot X_r \quad S \cdot X_s - S \cdot X_r = -W \cdot X_r$$

$$S \cdot (X_s - X_r) = -W \cdot X_r$$

$$W = S \cdot (X_r - X_s) / X_r = S \cdot (1 - (X_s/X_r)) \quad (1)$$

(1) deňleme bugartmagyň maddy balansynyň deňlemesi.

bu ýerde W - emele gelýän buguň mukdary

S – başlangyç erginiň mukdary

X_r , X_s – erginiň başlangyç we ahyrky konsentrasiýasy.

Ýylylyk balansy

Ýylylyk balansy – bu dürli proseslerde peýdaly ulanylan ýa-da ýitirlen ýylylygyň (geliş we çykyş) deňeşdirilişidir. Wagt

birliginde has gyzgyn jisimden sowuga berilýän ýylylyk mukdaryna q ýylylyk akymy diýilýär (J/sek).

Goý gezgyn ýylylyk göterijiniň mukdaryny G_1 , onuň başky we ahyrky entalpiýasyny I_b we I_{ah} diýip belläliň. Sowuk ýylylyk göterijiniňkini bolsa g , entalpiýasyny bolsa i_b we i_{ah} .

Onda prosesiniň başynda:

$$Q = G \cdot I \quad (1)$$

bu ýerde Q – ýylylyk mukdary.

$$Q_{baş} = G_b \cdot I_b + g_b \cdot i_b$$

$$Q_{ah} = G_a \cdot I_a + g_a \cdot i_a$$

Onda ýylylyk balansy şeýle ýazsak bolýar:

$$Q_{baş} = Q_{ah} \quad (2)$$

$$G_b \cdot I_b + g_b \cdot i_b = G_a \cdot I_a + g_a \cdot i_a \quad (3)$$

$$I = C \cdot t$$

bu ýerde C – ýylylyk sygymy

$$G_b \cdot I_b + G_a \cdot I_a = g_a \cdot i_a + g_b \cdot i_b \quad (4)$$

$$G_b = G_a = G$$

$$g_b = g_a = g$$

$$G(I_b + I_a) = g(i_a + i_b)$$

(2), (3) we (5) deňlemeler ýylylyk balansynyň deňlemesi.

$$G \cdot C_{g.g.} \cdot (I_b + I_a) = g \cdot C_{s.g.} \cdot (i_a + i_b) \quad (6)$$

$$Q_{\text{baş}} = Q_{\text{ah}} + Q_{\text{ýtigi}} \quad (7)$$

(7) deňleme ýylylygy ýitirme bilen geçýän real prosesleriň ýylylyk balansynyň deňlemesidir.

2. Korpuslaryň sanynyň çägi

Temperaturanyň peýdaly tapawudy 80°C

Erginiň gaýnama temperaturasy 110°C

Arassa erdigijiniň gaýnama temperaturasy 100°C

$$\Delta = 10^0$$

Eger **2 korpus** bolsa onda temperaturanyň peýdaly tapawudyny kesgitläliň:

$$(80^0 - 2 \cdot 10^0) / 2 = 30^0$$

3 korpus üçin:

$$(80^0 - 3 \cdot 10^0) / 3 = 16,6^0$$

4 korpus üçin:

$$(80^0 - 4 \cdot 10^0) / 4 = 10^0$$

5 korpus üçin:

$$(80^0 - 5 \cdot 10^0) / 5 = 6^0$$

6 korpus üçin:

$$(80^0 - 6 \cdot 10^0) / 6 = 3,3^0$$

7 korpus üçin:

$$(80^0 - 7 \cdot 10^0) / 7 = 1,4^0$$

8 korpus üçin:

$$(80^0 - 8 \cdot 10^0) / 8 = 0^0$$

Temperaturanyň peýdaly tapawudy prosesin hereketlendiriji güýji bolanlygy sebäpli, biz onuň ýeterlik derejede ýokary bolmagyny gazanmaly. Şonuň üçin, bugartma desgasynyň korpuslarynyň amatly (optimal) sanyny kesgitlemeli.

3. Turbadan ýasalan ýylylyk çalyşygy üsti bolan bug arkaly gyzdyryp bugardyjy apparatlar has giňden ulanylýar.

Bug arkaly gyzdyryp bugardyjy apparat iki sany esasy bölümlerden ybarat:

a) ýylylyk üsti ýerleşdirilen we erginiň bugardylmasy geçýän **gaynadyjy** (gyzdyryjy kamera)

b) **separator** – iklenji buguň erginden bölünýän giňişligi.

Bug giňişliginiň bolmagynyň zerurlygy, ýylylyk çalşyjy apparatlaryň esasy gurluş aýratynlygydyr. Gaýnaýan suwuklygyň bugardyjy apparatdaky hereketiniň häsiýeti boýunça bugardyjy apparatlar aşakdaky görnüşlerde tapawutlandyrylar:

1. erkin aýlawly bugardyjy apparatlar
2. hakyky aýlawly bugardyjy apparatlar
3. mejbury aýlawly bugardyjy apparatlar
4. plýenkaly aýlawly bugardyjy apparatlar

5. Bugardyjy apparatlaryň gurluşlary

6.

Hemme bugardyjy apparatlary özleriniň gurluşlary (konstruksiýasy) boýunça esasy 3 klasa bölse bolýar:

I. Erkin aýlaw edýän (sirkulirlenýän) apparatlar

II. Hakyky aýlaw edýän (sirkulirlenýän) apparatlar

III. Mejbury aýlaw edýän (sirkulirlenýän) apparatlar

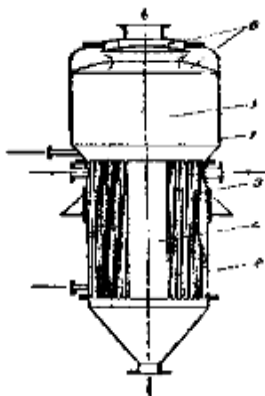
Sirkulýasiýa – akymyň birnäçe gezek hereketi diýmekdir.

Üznukli hereketli ýönekeý apparatlar bu erkin aýlaw edýän (sirkulirlenýän) apparatlardyr. Bu apparatlar çanak ýa-da gazan görnüşlidir.

Has giň ýaýran bugardyjylar bu hakyky aýlaw edýän apparatlar bolup, olarda ergin gyzdyrylmagy bilen kiçi turbadaky erginiň süýgeşikligi we dykzylygy kiçelýär. Uly turbadaky erginiň bu görkezijileri onuň tersine ulalýar. Şonuň üçin ergin aşak akyp, inçe turba düşýär. Proses ýene-de gaýtalanýar. Şeýlelikde hakyky aýlaw bolup geçýär.

Hakyky aýlaw edýän (sirkulirlenýän) apparatlaryň aşakdaky görnüşleri tapawutlandyrylýar:

1. Merkezi aýlaw ediji turbaly
2. Asma gyzdyryjy kameraly
3. Çykarlan gyzdyryjy kameraly
4. Çykarlan aýlaw ediji turbaly apparatlar.



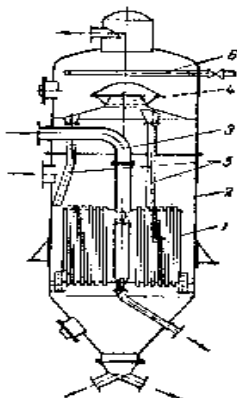
Surat 1. Merkezi aýlaw ediji turbaly bugardijy apparat

1 – korpus; 2 – gyzdyryjy kamera; 3 – gaýnadyjy turbalar; 4 – aýlaw etdiriji turba; 5 – separasion giňişlik; syçramany tutujy.

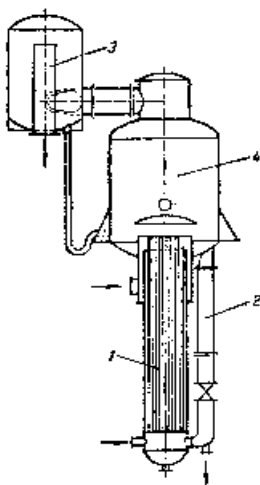
Bu apparatň gaýnadyjy turbasynyň yzynlygy 2 – 4 m we aýlaw etdiriji diametri boýunça uly bolan turba, kameranyň okunda ýerleşdiirlen. Gaýnadyjy turbada we aýlaw ediji turbada erginiň dykyzlygynyň tapawudynyň bolmagynyň hasabyna erginiň aýlawy ýerine ýetýär. Hakyky aýlawly apparatlarda bugartma prosesi ýokary derejede bolmanlygy sebäpli mejbury aýlawly bugardijy apparatlar ulanylýar Ýagny nasosdan peýdalanylýar.

Bellenşi ýaly, erginleriň hakyky aýlawy eger erginiň düşýän böleginde gowy sawadylsa has gowy geçer. Munuň bilen birlikde, çykarlan turbasy bolan bugardijy apparatlarda, hakyky aýlawyň tizligini ýokarlandyrmak bolýar (surat 2). Bu apparatlaryň gurluşy bir az çylşyrymly, ýöne olarda ýylylyk

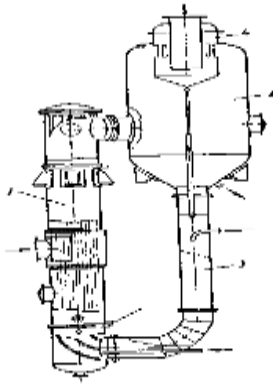
çalyşma has gowy geçýär we beýleki bugardyjy apparatlar bilen deňeşdirlende 1m^2 meýdana metalyň harçlanmasy azalýar.



Surat 2. Asma gyzdyryjy kameraly bugardyjy apparat
1 – gyzdyryjy kamera; 2- korpus; 3 –bug turbasy; 3 – gaýnadyjy turbalar; 4 –
sýçramany tutujy; 5 – guýujy turbalar; 6 – ýuwmak üçin turba.

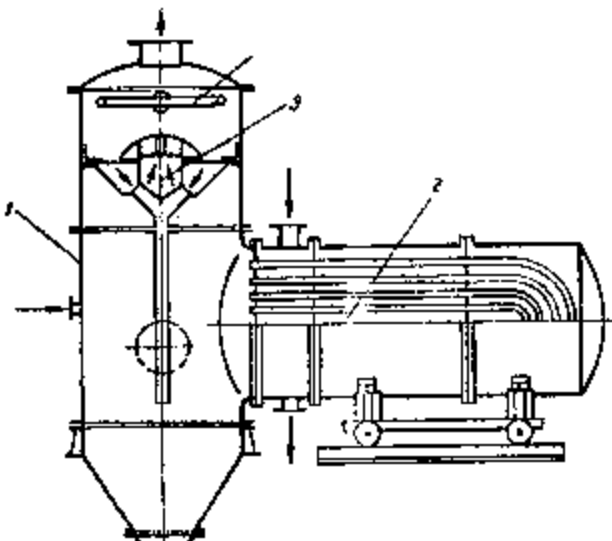


Surat 3. Çykarlan gyzdyryjy kameraly bugardyjy apparat
1- gyzdyryjy kamera; 2 – aýlaw etdiriji turba; 3 – merkezden aýlanýan
syçramany tutujy; 4 - separasion giňişlik.

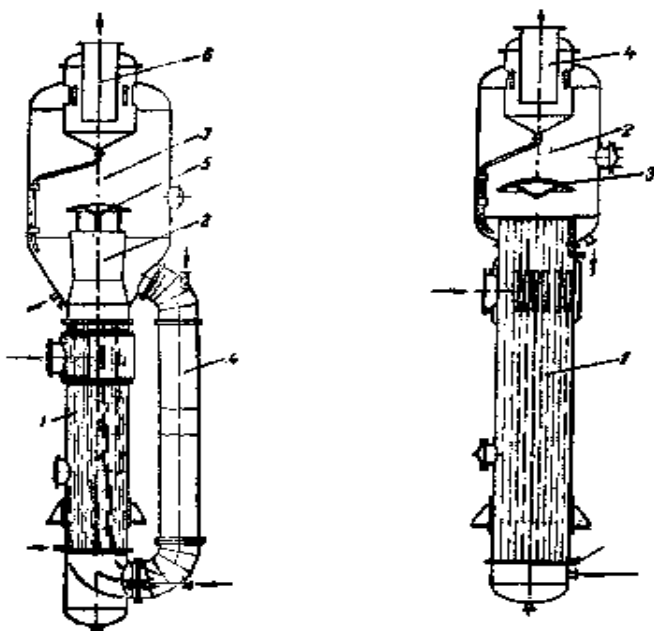


Surat 4. Çykarlan aýlaw ediji turbaly apparat
1 – gyzdyryjy kamera; 2 – separator; 3 – gyzdyrylmaýan aýlaw etdiriji
turba; 4 – syçran suwuklygy tutup alyp galyjy.

Gyzdyryjyny, kameradan daşyna çykarmaklyk, diňe bir suwuklygyň we bug-suwuklyk garyndysynyň aýlaw ediji konturdaky dykzlyklarynyň tapawudy boýunça ýokarlandyrylman, eýsem gaýnadyjy turbalary ulaltmak bilen hem ýokarlandyryp bolýar.

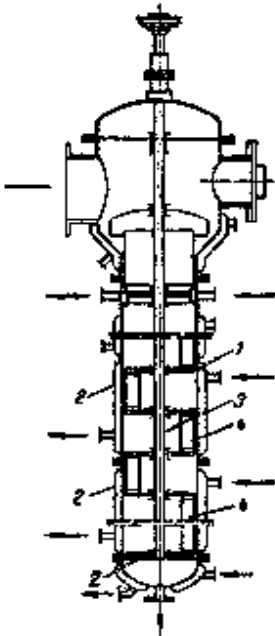


Surat 5. Kese turbaly bugardyjy apparat
 1 – korpus; 2 - gyzdyryjy kamera; 3 – syçran suwuklygy tutup alyp
 galyjy.

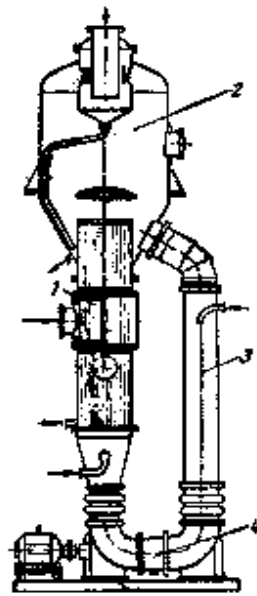


Surat 7. Gaýnama bölümi daşyna
 çykarlan bugardyjy apparatlar
 1 – gyzdyryjy kamera; 2 – gaýnadyjy
 turba; 3 - separator; 4 –gyzdyrylmaýan
 aýlaw etdiriji turba; 5 otboýnik; 6–
 syçran suwuklygy tutup alyp galyjy.

Surat 8.Ýokary göterilýän
 plýonkaly bugardyjy apparat
 1 – gyzdyryjy kamera; 2 -
 separator; 3 - otboýnik; 4–
 syçran suwuklygy tutup alyp
 galyjy.



Surat 9. Göni akymly rotorly



Surat 10. Mejbury aýlawly

bugardyjy apparatlar
1 – korpus; 2 – bug eşiği; 3 -rotor;
4 –gyrtaşjy.

bugardyjy apparatlar
1 – gyzdyryjy kamera; 2 -
separator;
3 – aýlaw etdiriji turba; 4–
nasos.

EDEBIÝATLAR

1. Türkmenistanyň Konstitusiyasy. 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. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň “Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin” Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. “Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry” Milli

- maksatnamasy. “Türkmenistan” gazeti, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. “Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy”. Aşgabat, 2006.
 10. Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2009.
 11. А.Г. Касаткин. Процессы и аппараты химической технологии, Химия, 1973
 12. А.Н. Плановский. Процессы и аппараты химической технологии, М., Химия, 1987.
 13. К.Ф. Павлов, П.Г. Носков. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л., Химия, 1987.
 14. Ю.И. Дытнерский. Процессы и аппараты химической технологии. (Указание по проектированию). М., Химия, 1987
 15. Галперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии, М., Химия, 1981.
 16. Б.М. Рамм. Адсорбция газов, М., Химия, 1976.
 17. Т.И.Прождорина, Б.Я. Атаманов. Gidromehaniki ýylylyk we massaçalyşma prosesleri we apparatlary
 18. (metodiki gollanma) Aşgabat. 1991.
 19. Т.И. Прождорина Механики we gidromehaniki prosesler (metodiki gollanma) Aşgabat 1994.

Mazmuny

Giriş	7
I. Gidromehaniki prosesler we apparatlar.....	18
1.1 Turbageçirijileriň we apparatlaryň gidrawliki garşylygy.....	56
1.2 Suwuk gurşawdaky garyşdyrma	68
1.3 Nasosyň itergisi. Soruş beýikligi.....	79
1.4 Gazlaryň gysylmagy we transportirlenmegi.....	85
1.5 Gazlaryň gysylmagy we transportirlenmegi	üçin
maşynlaryň esasy görnüşleriniň konstruksiýasy. 87	
1.6 Gaty maddalary göçürmek.....	89
1.7 Suwuk maddalary garmak	99
1.8 Birmeňzeşdäl ulgamda suwuklyklaryň we gazlaryň bölünmegi	108
1.9 Agyrlyk güýjiniň täsiri meýdanynda birmeňzeş däl ulgamlaryň bölünmegi.....	111
1.10 Süzüliş	115
1.11 Birmeňzeş däl ulgamlary merkezden gaçýan täsiri meýdanynda bölünmegi	119
1.12 Birmeňzeşdäl ulgamyň bölünmeginde ýörite	usullar
.....	126
II. Ýylylyk prosesleri we apparatlary.....	134
2.1 Ýylylyk geçirijilik	139
2.2 Ýylylyk gowşurma	143
2.3 Ýylylyk beriş proseslerini güýçlendirme	usullary
.....	145
2.4 Ýylylyk ýaýradyjylary.....	147
2.5 Apparatlarda ýylylygyň ugruny üýtgemegiň görnüşleri.....	149
2.6 Sowatmak.....	152
2.7 Ýylylyk çalyşýan apparatlar.....	156

III. Bugartma.....	161
3.1 Bir korpusly bugartma desgalary.....	163
3.2 Bugartma desgalarynyň material we ýylylyk balanslary.....	171
Edebiýatlar.....	181